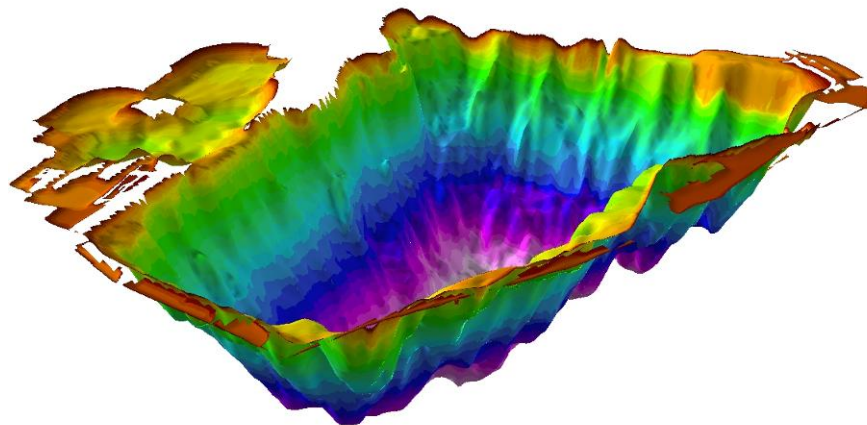


Ouderkerkerplas: systeemanalyse en onderzoek flexibel peil

oktober 2010

J.M. Stroom
T.A.H.M. Pelsma
J.G.R. Beemster
J. Stoffels
C.A.G. Hogenes



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

www.waternet.nl

oktober 2010

Inhoud

1	Inleiding	7
1.1	Doel	7
1.2	Aanpak en leeswijzer	7
1.3	Korte gebiedsbeschrijving en historie van de plas	8
1.4	Waterbeheer	9
2	Geohydrologie	11
2.1	Veldwerk	11
2.2	Geohydrologische bodemopbouw	12
2.3	Grondwatersysteem	14
2.4	Ionenratio en geleidbaarheid	16
2.5	Chloride	17
2.6	Kwantificering grondwaterfluxen	21
2.7	Overig chemie (oa. fosfor)	22
2.8	Conclusies Geohydrologie	22
3	Chemie en fytoplankton	25
3.1	Trends	25
3.2	Maandgemiddelden 2000 – 2009	29
3.3	Diepteprofielen	32
3.4	Fytoplankton	33
3.5	Bodemchemie (sulfaat en ijzer)	34
3.6	Conclusies Chemie en fytoplankton	35
	3.6.1 Karakterisering plas	35
	3.6.2 Schets in historisch perspectief	36
	3.6.3 Koelwater	37
4	Vegetatie en vis	39
4.1	Vegetatie	39
	4.1.1 KRW scores	39
	4.1.2 Waterplanten	39
	4.1.3 Oevervegetatie	40
4.2	Vismigratie	41
	4.2.1 Bestaande visstand Ouderkerkerplas	41
	4.2.2 Bestaande visstand Bullewijk & vergelijking	42
	4.2.3 Migratiestructuur en obstakels	43
4.3	Conclusies Vegetatie en vis	43
5	Waterbalans en belasting van chloride en fosfor	45
5.1	Aanpassingen t.o.v. eerdere balansversies	45
5.2	Waterbalans	46
	5.2.1 In- en Uitlaat, Berging	46
	5.2.2 Afstroming en watervraag peilgebied	48
	5.2.3 Neerslag	49
	5.2.4 Verdamping	49
	5.2.5 In- en Uitflux grondwater	51
5.3	Chloride en Fosfor	51

5.3.1	Cl&P Inlaat	51
5.3.2	Cl&P Afstroming peilgebied	52
5.3.3	Cl&P Neerslag	52
5.3.4	Cl&P Influx grondwater	52
5.3.5	N&P Vogels	52
5.4	Calibratie waterbalans	55
5.4.1	Chloride	55
5.4.2	Peilbeheer	59
5.5	Resultaten Waterbalans en belasting van chloride en fosfor	60
5.5.1	Resultaten waterbalans	60
5.5.2	Resultaten fosforbelasting	61
5.5.3	Interpretatie fosforbelasting	62
5.5.4	Check: Retentie van fosfor	64
6	Flexibel peil en scenario's	67
6.1	Grondwaterstanden	67
6.2	Veiligheid en drooglegging	70
6.3	Funderingen	72
6.3.1	Aanpak	72
6.3.2	Resultaten	72
6.4	Vegetatie en vis	74
6.4.1	Oevermorfologie en droogval	74
6.4.2	Vegetatie	76
6.4.3	Vis	77
6.5	Fosforbelasting (inc. scenario's)	77
6.5.1	Bodemchemie	77
6.5.2	Balans en scenario's	78
6.6	Discussie flexibel peil en scenario's	80
7	Conclusies Systeemanalyse en onderzoek Flexibel Peil	82
7.1	Geohydrologie	82
7.2	Chemie en fytoplankton	82
7.3	Vegetatie en vis	83
7.4	Balans en belasting	83
7.5	Scenario's	84
7.6	Flexibel peil	86
8	Aanbevelingen	87
8.1	Uitvoering flexibel peil	87
8.2	Overige maatregelen	87
8.3	Nabranders	88
9	Literatuur	90
Bijlage 1; bestek ontgravingen en ophogingen GGA		94
Bijlage 2; bestek drains en ontgravingen GGA		95
Bijlage 3; resultaten grondwateranalyses peilbuizen		96

Bijlage 4; Historische diepteprofielen 1976 – 1997	97
Bijlage 5; Berekening capaciteit in- en uitlaat	106
Bijlage 6; Berekening verdamping	107
Bijlage 7; Resultaten archiefonderzoek funderingen	112
Bijlage 8; Opstuwing en golfoploop	113

Colofon

Opdrachtgever

Sector	Watersysteem
Afdeling	Planvorming en Realisatie
Projectleiding	Piet Johan Radsma

Opdrachtnemer

Projectleiding	Jasper Stroom
Kwaliteitsborging	Alice Fermont
Projectnummer	66083-6 300 563000
Projectnaam	Ouderkerkerplas flexpeil
Contactgegevens	T 06-57.54321.3 E jasper.stroom@waternet.nl

Rapport

Rapportnummer	10.012935
Trefwoorden	Ouderkerkerplas, flexibel peilbeheer, grondwatergestuurd peilbeheer, systeemanalyse, waterbalans, fosforbelasting, visknelpunt, vismigratie, grondwater, dieptesondering, oeverzone, ecologie, vegetatie, droogval, vis, blauwalgen, cyanobacteriën, fundering

1 Inleiding

1.1 Doel

De Ouderkerkerplas voldoet niet aan de doelstellingen voor de kaderrichtlijn water. Bloei van blauwalgen is een jaarlijks terugkerende oorzaak van zwemverboden in het recreatiegebied. De waterkwaliteit in de plas dient verbeterd te worden. In het watergebiedsplan Bijlmerring wordt het vigerende peilbesluit herzien. Hierbij is het streven een zoveel mogelijk flexibel peil in te voeren. Daarvoor is nodig de (on)mogelijkheden van flexibel peil te analyseren en te beoordelen.

Het doel van dit onderzoek is de oorzaak van de huidige waterkwaliteit in de Ouderkerker- plas te doorgronden, en aan te geven of flexibeler peilbeheer in de plas mogelijk en wenselijk is om de waterkwaliteit te verbeteren.

Daarnaast worden ook maatregelen gesuggereerd om de plas te verbeteren. De effecten van een drietal KRW-maatregelen zoals beschreven in de projectbladen voor de Ouderkerkerplas, worden hierbij ingevuld:

- Onderzoeksmaatregel 'waarom is het zoals het is'
- Uitvoeringsmaatregel 'obstakels voor vis opheffen'
- Uitvoeringsmaatregel 'peilfluctuaties toestaan'.

1.2 Aanpak en leeswijzer

Het onderzoek is opgesplitst in deelonderzoeken:

- Geohydrologie, H2
- Chemie en fytoplankton, H3
- Vegetatie en vis, H4
- Waterbalans en belasting van chloride en fosfor, H5

Elk hoofdstuk wordt afgesloten met een paragraaf waarin de resultaten c.q. conclusies worden weergegeven.

Vervolgens zijn de deelonderzoeken gebruikt om de implicaties van flexibel peil te beoordelen:

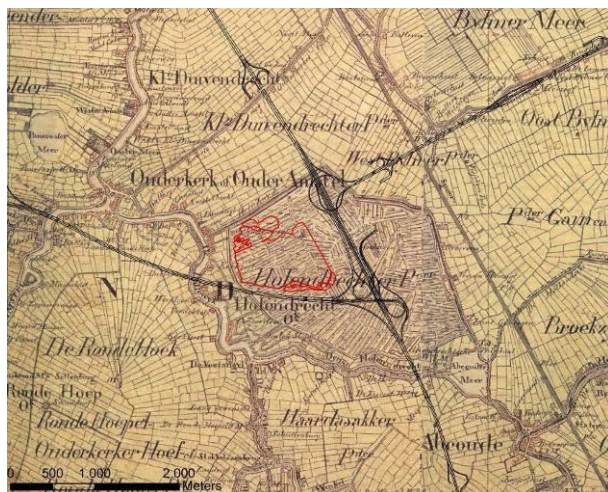
- Flexibel peil en scenario's (H6)

De bevindingen van alle deelonderzoeken en de wenselijkheid en mogelijkheid om flexibel peilbeheer in de Ouderkerkerplas in te voeren staan in:

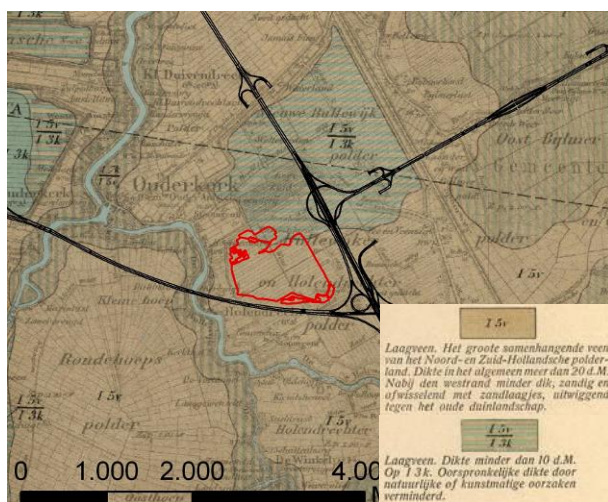
- Conclusies Systeemanalyse en onderzoek Flexibel Peil (H7)
- Aanbevelingen (H8)

Deze hoofdstukken zijn als samenvatting leesbaar.

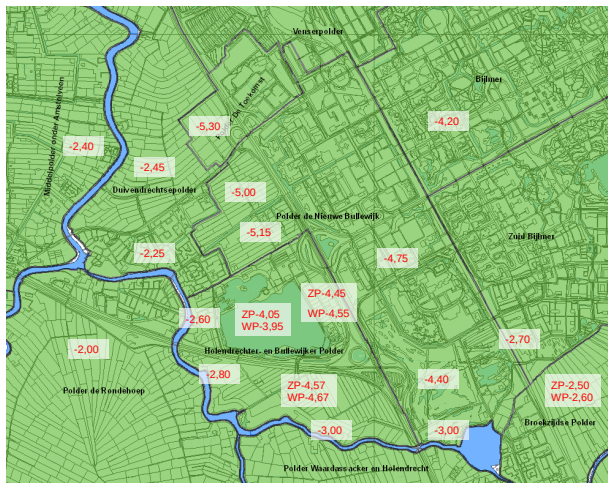
1.3 Korte gebiedsbeschrijving en historie van de plas



Figuur 1-1; De contouren van de huidige Ouderkerkeplasen A2/A9 in de Holendrecht polder rond 1850 (bewerkt uit Wolters Noordhoff).



Figuur 1-2; Bodemkaart 1928 en A2/A9. De Ouderkerkeplas ligt in een uitgestrekt laagveengebied (bewerkt uit digitaal archief Waternet / Kees Hogenes, oorspronkelijk van Rijksgeologische Dienst).



Figuur 1-3; De actuele peilen in de polders rondom de Ouderkerkeplas in de huidige situatie.

De Holendrecht polder is een laagveenpolder die vanaf 1200 is ontgonnen. De turfwinning, de ontwatering, en de bijkomende maaiveld daling resulteerden in noodzakelijkheid van veendijken rond het gebied. In Figuur 1-1 zijn deze herkenbaar als noordelijke en oostelijke begrenzing van de (in het plaatje centraal gelegen) polder (Het Zwet of de Zuwe). Het meest westelijke gedeelte hiervan heet nu de Middenweg. De polder heet nu de Holendrecht- en Bullewijk polder.

De aanleg van de diepe plas is begonnen in 1969 ten behoeve van de snelweg A9.

Het boezempeil van de Amstel en de Bullewijk ligt enkele meters hoger dan de peilen in de omringende polders (zie Figuur 1-3). Verder oostelijk liggen de polders weer dieper. Vooral de polder de Nieuwe Bullewijk ligt diep.

In eerste instantie, tot april 1972, is alleen het diepe deel van de plas (11.5 miljoen m³) aangelegd. De gemeente Ouder Amstel is destijds met Rijkswaterstaat (RWS) overeengekomen dat de put na winning van het zand weer gedempt zou worden. RWS is daarmee begonnen door puin en bouwafval in de put te storten. In de oosthoek ligt (volgens duik-sites) 'puin, pilaren, en betonplaten'. Naar verwachting doet dit weinig voor de chemische waterkwaliteit. Het zou substraat voor algenfilterende mosselbanken kunnen zijn. Begin jaren '80 zijn de plannen gewijzigd en heeft RWS voor tien miljoen gulden deze verplichting

afgekocht. Onder andere dit bedrag is gebruikt voor de herinrichting van de plas tot de huidige inrichting als recreatieplas¹.

In 1987 – 1988 is die herinrichting uitgevoerd. Er is aan de noordzijde een ondiepe zone van 0,04 km² bijgemaakt. Hierin ligt nu een ecologisch ingericht deel met wandelpaden er doorheen aan de westkant, en een zwemzone (strand + gras) aan de noordkant. Bij die uitbreiding zijn ook de oevers van de plas heringericht.

Het totale volume van de plas is nu ongeveer 12 miljoen m³ en heeft een oppervlak van 0,73 km². Het hele recreatiegebied Ouderkerkerplas heeft een oppervlak van 1,27 km². De maximale diepte is 43 meter (tov. streefpeil), en de gemiddelde diepte is 19 meter.

Bij de uitbreiding is de deklaag (veen en klei) deels verwijderd, en daaronder is zand gewonnen. In totaal is 30.000 m³ van de bovenste deklaag in de put gespoten. Er is 150.000 m³ grond verplaatst om het zand te kunnen winnen, en dat is vervolgens weer op dezelfde plek terug gebracht. Er is 67.000 m³ van de oorspronkelijke deklaag opgemengd met 40.000 m³ van het gewonnen zand om te gebruiken voor de ophoging van het recreatiegebied en de eilandjes aan de westzijde. Nog 90.000 m³ zand is gebruikt voor een reservedepot, en de aanleg van de parkeerplaats en het strand. Ook onderwater zijn de zwemwaterzones over 20-30 meter met maximaal een meter dik zand bedekt. Zie Grontmij 1987 en Bijlage 1.

De ecologisch ingerichte randen ten oosten en zuiden van de plas zijn in diezelfde periode aangelegd. Het inmiddels gestorte puin in de plas gebleven. De grond gebruikt als ophoogmateriaal voor de eilanden en voor ophogingen in het peilvak ten oosten van de plas. Zie Grontmij 1987/2.

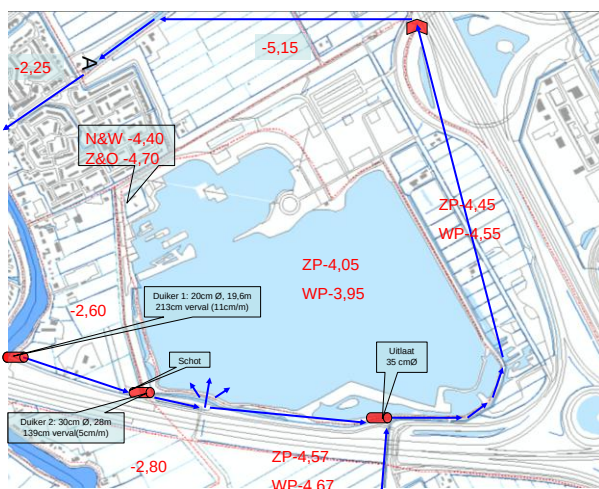
Bovenstaand is van belang omdat na deze herinrichtingswerken zowel de waterbodem in de plas als het afstromend oppervlak verrijkt is met veen en klei. Veen is vrijwel altijd een fosfaat-leverende bron, en klei kan zowel fosfaat binden als naleveren, afhankelijk van de omstandigheden. Exacte details van het storten in de plas zijn niet bekend, maar veel materiaal zal vermoedelijk in het diepe deel in de buurt van de recreatiezone terecht gekomen zijn. Indicatief: stel dat de 30.000 m³ in 20% van het bodemoppervlak terecht is gekomen, dan levert dat een laagje van 20 cm op. Het opgehoogde recreatiegebied is gedraineerd en watert bij goed functionerende drains niet af op de plas (Bijlage 2). De drains worden eens per 10 jaar onderhouden. De eilanden zijn niet gedraineerd.

1.4 Waterbeheer

Het waterbeheer wordt in detail besproken bij de uitwerking van de waterbalans in H5, hier worden alleen de hoofdlijnen ter introductie beschreven.

Het waterbeheer in de plas wordt al minimaal 15 jaar op dezelfde manier uitgevoerd door dezelfde beheerder. Zowel de inlaat als de uitlaat wordt handmatig bediend door een watersysteembediener van Waternet. In Figuur 1-4 staat weergegeven hoe het watersysteem functioneert.

¹ Mondeling Wim Roozenbeek, sr. projectleider Groengebied Amstelland.



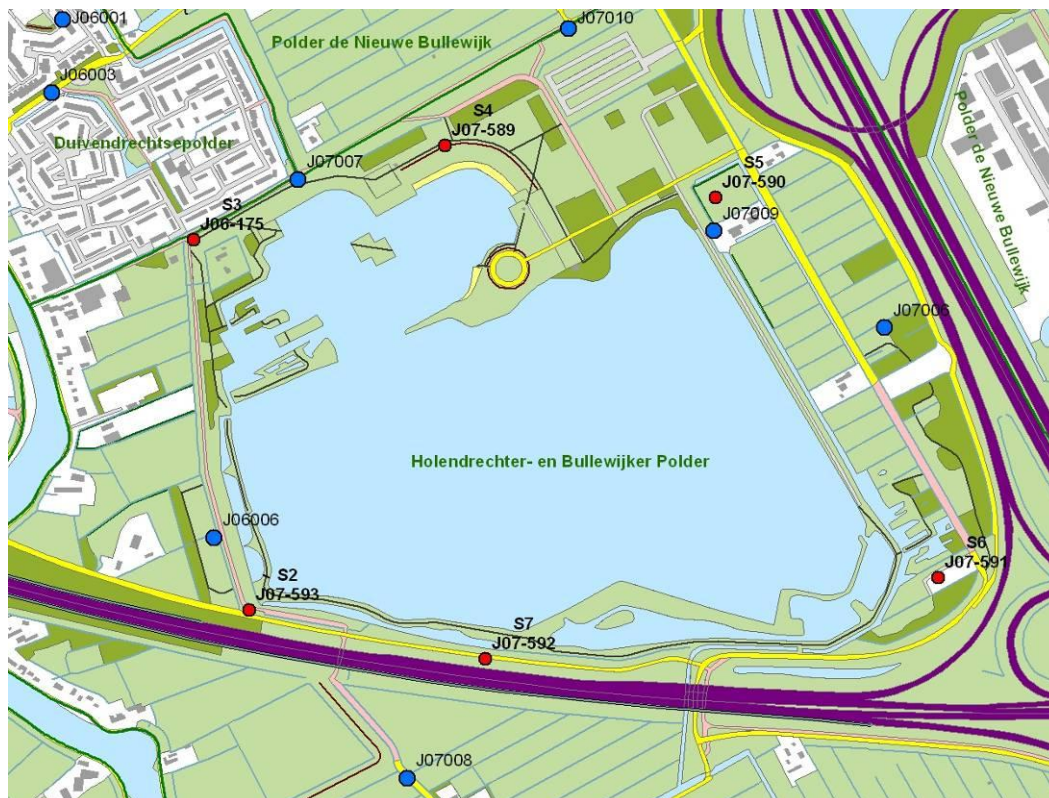
Figuur 1-4; Watersysteem Ouderkerkerplas. De rode stippellijnen geven de peilvakgrenzen aan. Inlaat vanuit Bullewijk gaat via twee duikers en een sloot naar ringsloot van de plas. Het inlaatwater kan alleen in oostelijke richting en vervolgens onder een bruggetje door de plas op. Ook aan de zuidkant verder naar het oosten is het aflaatpunt naar lager gelegen peilvakken.

Er is één inlaat (ZW), en één uitlaat (Z). De inlaat is niet alleen voor de Ouderkerkerplas. De waterbehoefte van de rest van de Holendrecht- en Bullewijkerpolder en de polder de Nieuwe Bullewijk komt deels via dezelfde inlaat uit de Bullewijk (zijtak van de Amstel). Het wateroverschot van de Holendrecht- en Bullewijkerpolder en polder de Nieuwe Bullewijk komt niet in de Ouderkerkerplas, maar gaat via de oost- en de noordzijde van de plas via gemaal de Nieuwe Bullewijk retour naar de rivier de Bullewijk. Het peilvak van de plas is klein met een recreatieve functie, waardoor het een

overzichtelijk en vrij geïsoleerd systeem is. Het peilvak ten westen van de Ouderkerkerplas wordt gevoed vanuit de noordzijde, en watert via een waterloop onder de A9 af naar het gemaal Holendrecht en Bullewijk. Daarbij kruist het water de duiker van de inlaat van de Ouderkerkerplas.

2 Geohydrologie

2.1 Veldwerk

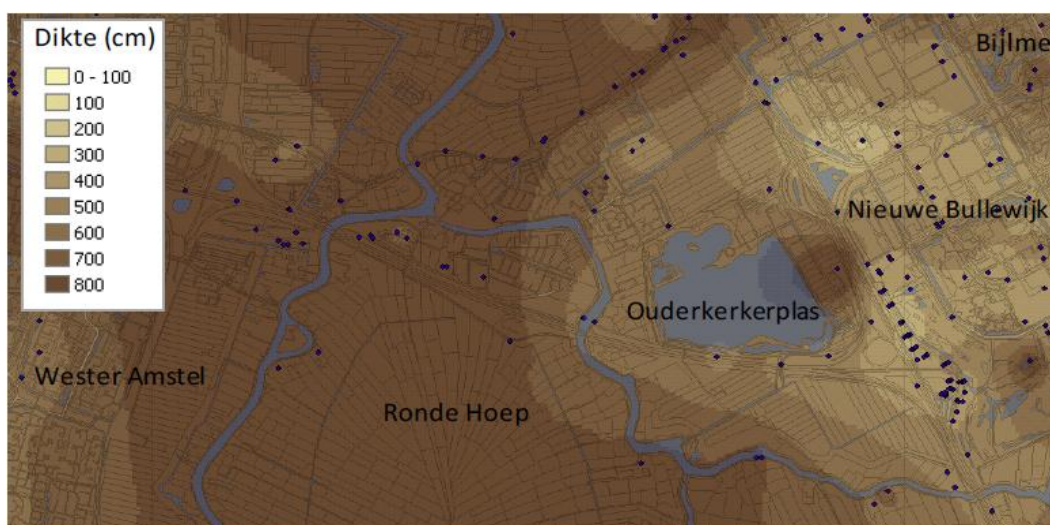


Figuur 2-1; Locaties van peilbuizen (blauw) en sonderingen (rood). Locatie S1 (wrijvingsweerstand) is hetzelfde als S2 (wrijvingsweerstand en geleidbaarheid), en wordt S1=S2 genoemd.

- In januari 2010 is door Fugro een diepsondering uitgevoerd op locatie S1 tot ca. 70 m diepte met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand. Tijdens het sonderen is tevens de waterspanning gemeten (code DKMP). Deze informatie is gebruikt in 2.2.
- Daarnaast zijn 6 diepsonderingen met meting van de plaatselijke wrijvingsweerstand en de geleidbaarheid (code DKMG) op locaties S2 t/m S7 uitgevoerd. De locatie van S1 is identiek aan die van S2. De locatie wordt in het vervolg aangeduid met S1=S2. Hierbij zijn ook z.g. BAT-metingen uitgevoerd om de geleidbaarheid om te kunnen rekenen naar chloride. De resultaten zijn gebruikt in 2.5 en 5.3.4 .
- Om een actueel beeld te krijgen van de huidige waterkwaliteit van het grondwater rondom de plas zijn op 30 november 2009 grondwatermonsters genomen uit beschikbare peilbuizen rondom de plas. In het veld zijn pH en EC gemeten. In het lab is een aantal parameters bepaald. In Bijlage 3 zijn de resultaten van het grondwateronderzoek samengevat. De resultaten zijn gebruikt in 2.5, 2.4, en 2.7.

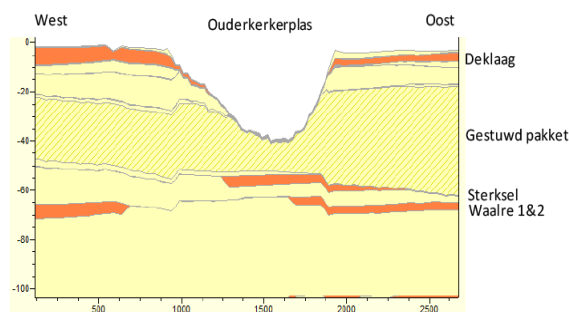
De locaties staan weergegeven in Figuur 2-1. Meer informatie over de sonderingen staat in Fugro 2010.

2.2 Geohydrologische bodemopbouw



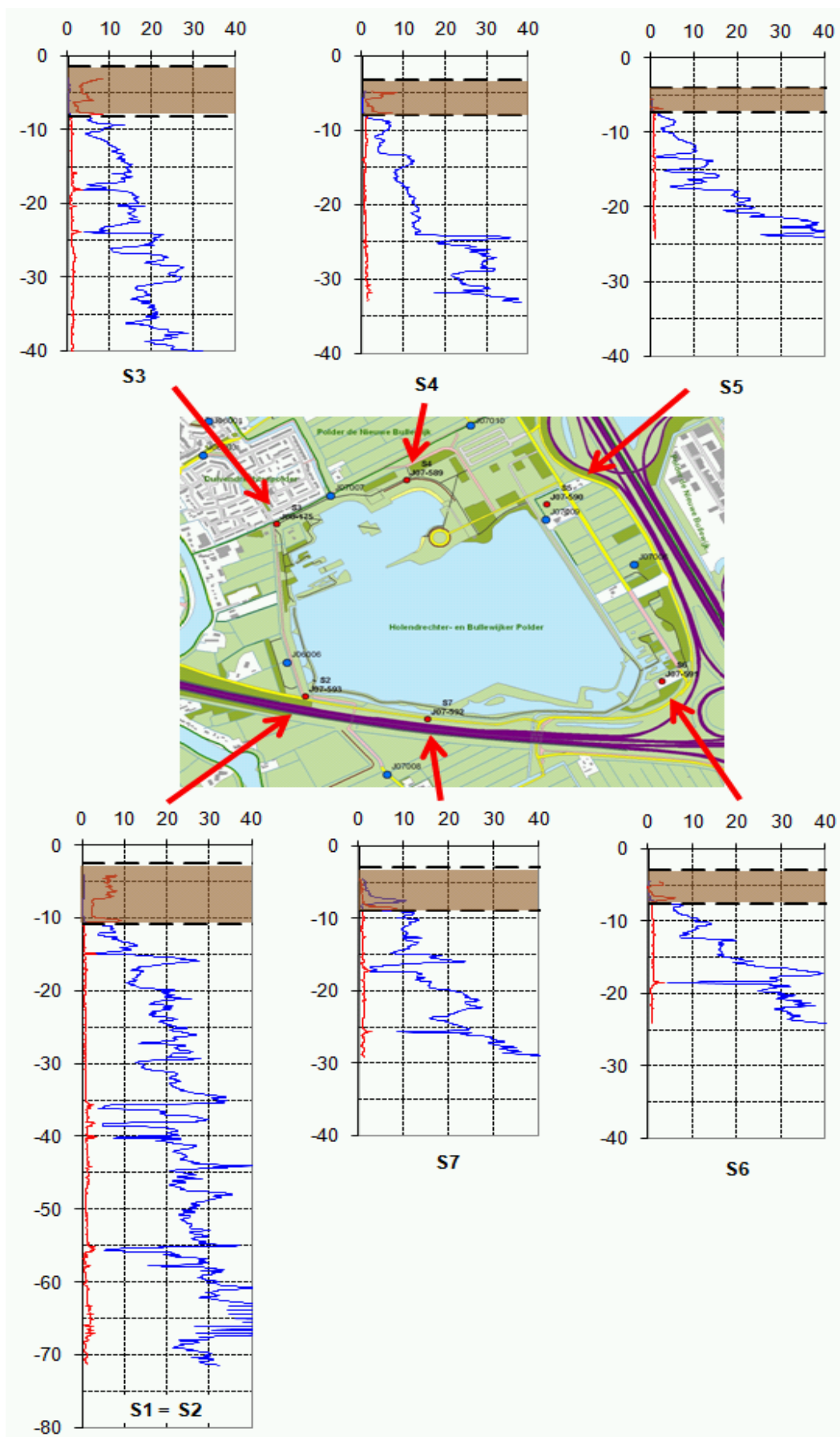
Figuur 2-2; Verbreiding en dikte holocene deklaag. Met punten de DINO boringen weergegeven. Voor de polders van Bijlmer en Bullewijk is meer informatie gebruikt. Uit Acacia 2010. De lokale dikte deklaag aan de oostoever van de plas is gebaseerd op één historische onbetrouwbare boring.

Uit de systeemanalyse die in het kader van “Leven met Zout Water” is uitgevoerd, is naar voren gekomen dat vooral de dikte van de deklaag bepalend is voor de grondwaterstroming en de grootte van de kwel. Uit het karteringsonderzoek (Figuur 2-2) komt naar voren dat de Ouderkerkerplas in een overgangszone ligt. De deklaag is ter plaatse van de polder de Nieuwe Bullewijk relatief dun (zie ook Figuur 2-4).



Figuur 2-3; Doorsnede uit het grondwatermodel. Zandlagen zijn geel, klei- of veenlagen zijn oranje gekleurd (Acacia Water 2010).

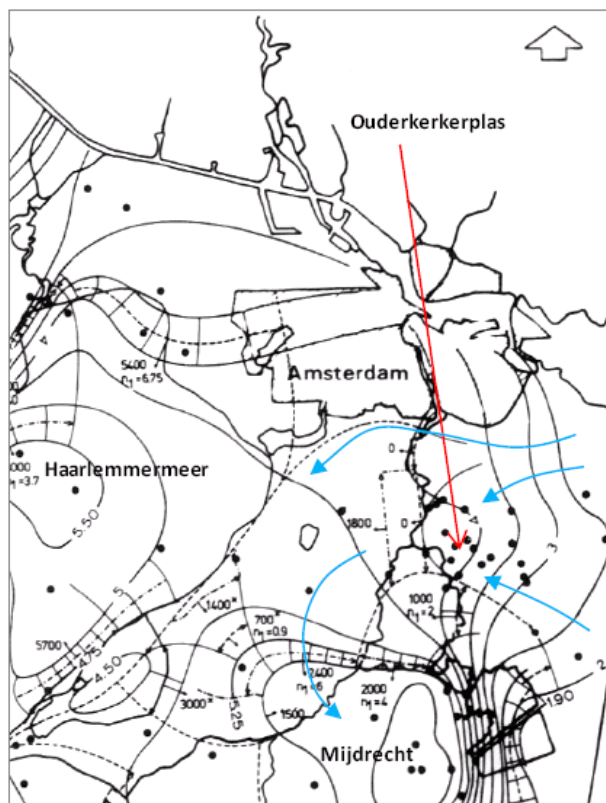
Op de dunste plekken is veel kwel en komt brak water omhoog, wat bevestigd is met EC metingen (zie 2.5). Naar het westen toe neemt de deklaag eerst in dikte toe (Ronde Hoep, 8 m) om in de polder Wester Amstel weer af te nemen. Het zoute grondwater wordt rondom de rivier de Bullewijk dan ook relatief diep aangetroffen omdat het niet opkwelt (zie 2.5).



Figuur 2-4; Resultaten van het Fugro sonderingsonderzoek (Op de x-as de conusdruk blauw [Mpa] en wrijvingsgetal rood [%], op de y-as staat de diepte tov. NAP), De dikte van de deklaag is bruin aangegeven.

De Ouderkerkerplas doorsnijdt over vrijwel het gehele oppervlak de deklaag volledig. De geologische bodemopbouw onder de deklaag kan geschematiseerd worden tot een grondwatersysteem bestaande uit twee watervoerende pakketten afgesloten door een deklaag. Tussen beide watervoerende pakketten komen kleilagen voor van de Formaties van Sterksel en Waalre. Deze kleilagen zijn volgens gegevens van TNO (REGIS database) onder de Ouderkerkerplas deels afwezig. Het aantal boorgegevens, op basis waarvan de verbreiding van kleilagen in REGIS is afgeleid, is echter beperkt. Omdat de aanwezigheid van kleilagen in de ondergrond een groot effect kan hebben op de verticale grondwaterstroming en daarmee op de waterbalans van de Ouderkerkerplas, zijn op zes locaties sonderingen uitgevoerd (Figuur 2-4), waaronder een diepe. Op een diepte van NAP -56 m is in sondering S1=S2 (zuidwesten van de plas) een klei-/leemlaagje van 75 cm dikte aangetroffen. Deze diepte komt overeen met het voorkomen van de Sterksel klei aan de oostzijde van de plas conform REGIS. De RID heeft in 1972 een verkenningsboring laten plaatsen en interpreteren op verzoek van Rijkswaterstaat, Directie wegen. De aanleiding was een verdere uitbreiding en verdieping van de plas. De exacte locatie van deze boring is niet bekend. In deze verkenningsboring is op 55 m-mv een kleilaag aangetroffen, waarover zelfs een gering stijghoogteverschil is gemeten. Geconcludeerd wordt dat in beide boringen sprake is van de Sterksel kleilaag en dat deze kleilaag onder de Ouderkerkerplas overal aanwezig is. De dikte is echter gering en daarmee is de verticale weerstand beperkt. De diepe sondering S1 is geëindigd op een diepte van NAP -71,4 m. Tot deze diepte zijn geen kleilagen van Waalre aangetroffen. Omdat de Waalreklei in deze omgeving op circa NAP -70 m voorkomt, is geen uitsluitsel te geven of deze formatie hier aanwezig of afwezig is.

2.3 Grondwatersysteem



Figuur 2-5; Isohypsens (zwart) en stroombanenpatroon (blauw) in het eerste w.v.p. (Vellinga 1976)

Het regionale stromingsbeeld is weergegeven in Figuur 2-5. Het isohypsenpatroon is gebaseerd op metingen begin jaren '70, maar komt in grote lijnen nog steeds overeen met de huidige situatie. In Figuur 2-6 is het lokale stromingspatroon weergegeven dat is gebaseerd op het regionale beeld in combinatie met lokale peilbuizen en gegevens over het peilbeheer in de plas en de omliggende peilvakken. Voor een detailbeschrijving wordt verwezen naar Acacia Water 2010. De regionale westelijke stroming wordt op lokale schaal vrijwel geheel teniet gedaan, zo niet omgekeerd, door het lokale peilbeheer in de omliggende peilvakken en polders. In de eerste plaats trekken de diepe



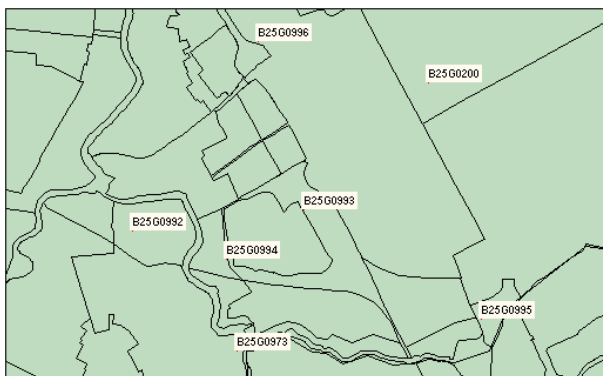
Figuur 2-6; Afgeleide locaal stroombanenpatroon in het eerste watervoerende pakket op basis van peilbuismetingen.

bevestigd door chloridemetingen in peilbuis J7009 (Figuur 2-1) waarin een doorbraak van het zoetere plaswater aan de oostzijde is gemonitord. Het initiële brakke grondwater is daar weggedrukt door de horizontale grondwaterstroming. Onder andere deze doorbraak wordt in 2.6 gebruikt om de lokale uitflux te kwantificeren.

Het peilbeheer in de plas heeft naar verwachting een dempend effect op de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket rondom de plas. Naarmate de infiltratie/drainageweerstand op de plasbodem/talud geringer is (en de kD van het watervoerend pakket groter) zal dit effect groter zijn. Als de grondwaterstand door het jaar fluctueert, zal deze fluctuatie in de buurt van de plas gedempt worden. De plas wordt immers via in- en uitlaten op nabij het streefpeil gehouden (zie 5.2.1).

locatie	GLG	Gem	GHG	GLG-GHG
B25G0996_1	-3.75	-3.61	-3.51	-0.24
B25G0992_2	-3.98	-3.91	-3.85	-0.13
B25G0995_1	-3.23	-3.16	-3.09	-0.14
B25G0973_2	-4.01	-3.96	-3.91	-0.10
B25G0200_1	-3.63	-3.56	-3.51	-0.12
B25G0994_2 (J6006-2)	-4	-3.95	-3.9	-0.10
B25G0993_1 (J7009-1)	-4	-3.96	-3.92	-0.08

Tabel 2-1; Grondwaterregime rondom de plas. GLG = gem. laagste grondwaterstand (gws), Gem. = gemiddelde gws, GHG = gem. hoogste gws. De onderste twee peilbuizen staan zo dicht op de plas dat ze het plaspeil weergeven.



Figuur 2-7; Locaties waar de peilregimes uit Tabel 2-1 zijn geanalyseerd.

polderpeilen in de Nieuwe Bullewijk en de Bijlmer aan de oostzijde van de plas de stijghoogten in het eerste watervoerende pakket omlaag, waardoor de westelijke stromingscomponent fors verminderd wordt. Bovendien ligt pal aan de oostzijde van de plas een peilvak met een vrij dunne deklaag waarin het peil een halve meter lager is dan het plaspeil. De combinatie van beide fenomenen zorgt voor een lokale, ondiepe stroming van plaswater in oostelijke richting. Dit wordt

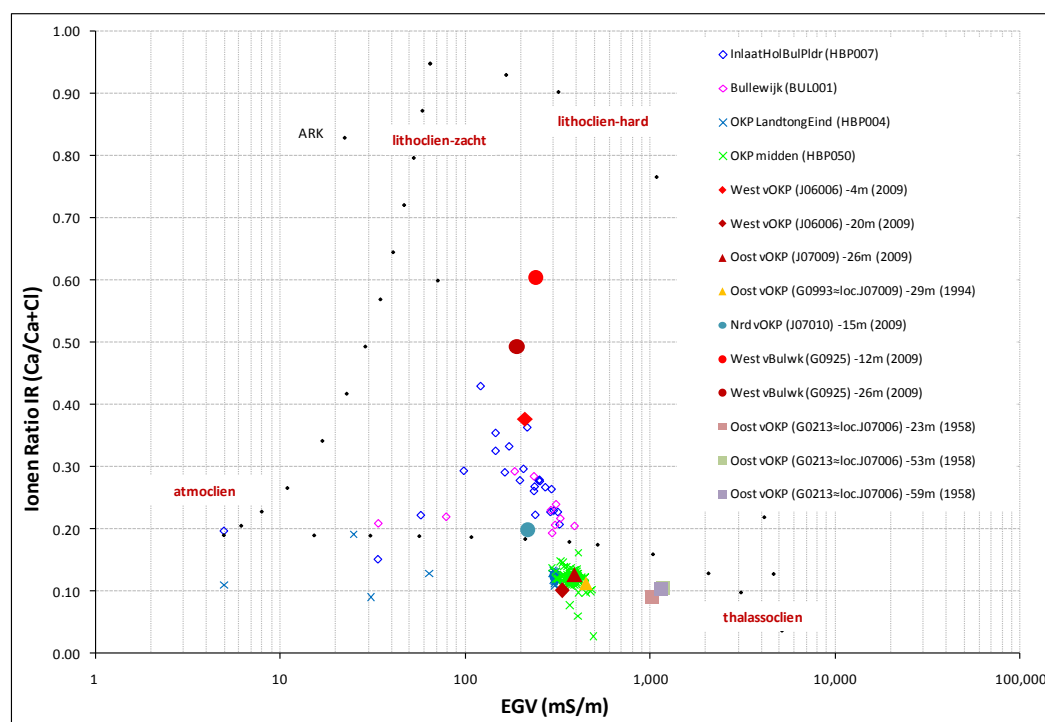
In de zomer heeft de plas door het neerslagtekort de neiging om uit te zakken. Door relatief strak peilbeheer gebeurt dat maar in beperkte mate. In eerste instantie zal de peildaling ook gecompenseerd worden door grondwateraanvoer, vermoedelijk vanuit voornamelijk het zuiden en wellicht ook het westen en noorden. Ook de regionale grondwaterstand zal in de zomer uitzakken. Als de grondwaterstand dieper uitzakt dan het (beheerde) plaspeil zal de stromingsrichting omdraaien: de plas draineert naar het grondwater. In de winter is het omgekeerde het geval. Het neerslagoverschot zal in eerste instantie de uitstroom van plaswater naar het grondwater doen verminderen. Maar ook de regionale grondwaterstand stijgt

en zodra deze hoger wordt dan het plaspeil zal het grondwater richting plas infiltreren.

In Tabel 2-1 staat weergegeven dat uit peilbuiswaarnemingen op grotere afstand van de plas (B25G0992, B25G0995, B25G0996 en B25G0200) blijkt dat de jaarlijkse gemiddelde fluctuatie (GHG – GLG) circa 12 tot 24 cm bedraagt. Peilbuizen die zo dicht bij de plas staan dat ze het plaspeil weergeven, vertonen een fluctuatie van 8 tot 10 cm (B25G0993 en B25G0994). Dit rechtvaardigt de aanname dat de som van in- en uitstroom van plaswater onder invloed van peilschommelingen door de jaren heen gemiddeld nul is en dat jaarrond de oostelijke lokale uitflux gecompenseerd wordt door influxen elders.

2.4 Ionenratio en geleidbaarheid

Om de hydrochemische achtergrond van water te classificeren kunnen verschillende systemen worden ingezet. In een eenvoudig diagram kan de chemische samenstelling van water worden weergegeven en vergeleken met karakteristieken van standaardwateren. In Paulissen e.a. 2007 wordt een aantal systemen besproken. In het kennisdocument Diepe meren en plassen (Stowa 2010, concept) is gekozen voor het Van Wirdum-diagram om meer inzicht te krijgen in de samenstelling van water. Hierin wordt het elektrisch geleidingsvermogen (EGV, mS/m), uitgezet tegen de ionenratio (IR): $[Ca^{2+}] / ([Ca^{2+}] + [Cl^-])$, concentraties uitgedrukt in meq/l (milli-equivalenten), of $\frac{1}{2}[Ca^{2+}] / (\frac{1}{2}[Ca^{2+}] + [Cl^-])$, concentraties in mol/l. De IR is een maat voor de kalkrijkheid van het water.



Figuur 2-8; Van Wirdum diagram met inlaatwater, Ouderkerkerplas, en grondwater op verschillende locaties. De locaties rondom de plas staan weergegeven in Figuur 3-1.

De volgende karakteristieken zijn te onderscheiden:

- Atmoclien (als regenwater): EGV $\approx$ 5 mS/m, en IR $\approx$ 0.2
- Thalassoclien (als zeewater): EGV $\approx$ 5000 mS/m, en IR $\approx$ 0.04

- Lithoclien (gerijpt grondwater): $EGV \approx 60 - 70 \text{ mS/m}$, en $IR \approx 0.95$

Deze karakteristieken kunnen worden vergeleken tussen grondwater, plaswater en inlaatwater (de Bullewijk). In Figuur 2-8 staat een Van Wirdum-diagram met plaswater (1982–1996), inlaatwater (2005–2006), en grondwater (zie legenda).

- Het inlaatwater (open ruitjes) heeft een vrij hoge EGV. Soms heeft het meer een neerslagkarakter, soms neigt het meer naar grondwater.
- Het plaswater (kruisjes) heeft een lage IR, wat impliceert dat het grondwaterkarakter gering is. Hier valt op dat bij bemonstering vanaf de landtong soms blijkaar veel regenwater is bemonsterd.
- In de peilbuis ten westen van de plas (gesloten rode ruitjes) wordt water gevonden dat op NAP -4 m tussen grondwater en Bullewijkwater in zit. Op een diepte van NAP -20 m lijkt het water sterk op plaswater, al zit het aan de zoete kant en bij een lage IR. Dit is opvallend en belangrijk, omdat het gemeten chloridegehalte in het grondwater altijd lager is geweest dan in de plas (zie Figuur 2-10).
- Ten oosten van de plas wordt op NAP -26 m en -29 m plaswater gevonden.
- De drie locaties aan de westkant van de rivier de Bullewijk (rode gesloten rondjes) lijken het meest op karakteristiek grondwater.
- Ten noorden van de plas op 500 m afstand van het diepe deel (blauw gesloten rondje) wordt op NAP -15 m water gevonden dat tussen Bullewijkwater en plaswater in lijkt te zitten.
- Wat verder ten oosten van de plas (gesloten vierkantjes) wordt veel brakker water gevonden met een lage IR.

Het Van Wirdum-diagram bevestigt het beeld dat het water aan de oostzijde uit de plas infiltreert naar het lager gelegen peilvak, en ook dat het een zeer lokaal systeem betreft. De noordelijke peilbuis is vrij ondiep (een paar meter onder de deklaag), en niet goed te karakteriseren. Het is te zoet voor plaswater. De meting ten westen van de plas is onverwacht. De IR suggereert dat het plaswater is, maar zowel chloride als calcium zijn veel lager dan in de plas. Het is daarmee onwaarschijnlijk dat het plaswater betreft, het lijkt eerder een artefact van de betrekkelijk eenvoudige analyse.

2.5 Chloride

De grondwaterstroming vindt plaats in het watervoerende pakket tussen de bovenliggende deklaag en het onderliggende gestuwde pakket, waardoor de invloed van het grondwater op de plas m.n. bepaald wordt door de grondwaterkwaliteit tussen grofweg de 10 – 25 meter onder NAP.

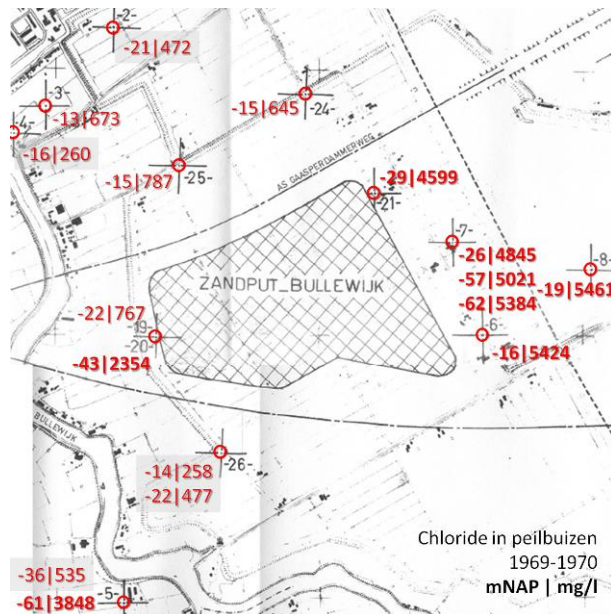
Volgende de indeling van Redeke (Tabel 2-2) valt de Ouderkerkerplas met 800 mgCl/l onder de categorie oligohalien (licht brak).

Indeling naar saliniteit volgens Redeke (1932,1975)

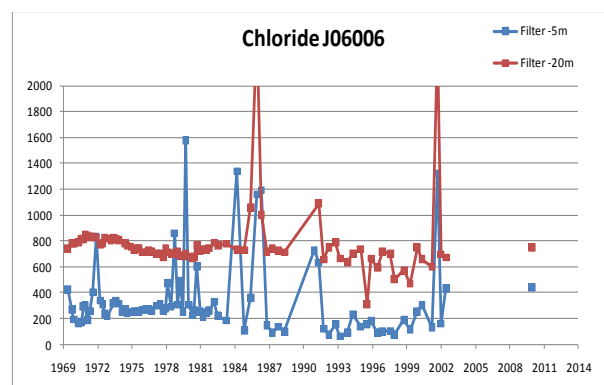
<100 mg Cl/l	infrahalien
100-1.000 mg Cl/l	oligohalien
1.000-10.000 mg Cl/l	mesohalien
10.000-17.000 mg Cl/l	polyhalien
>17.000 mg Cl/l	ultrahalien

Tabel 2-2; Indeling chloride gehalte volgens Redeke (Redeke 1932 en 1975). Infrahalien = zoet, oligohalien = zwak brak, mesohalien = brak, polyhalien = sterk brak, en ultrahalien = zout.

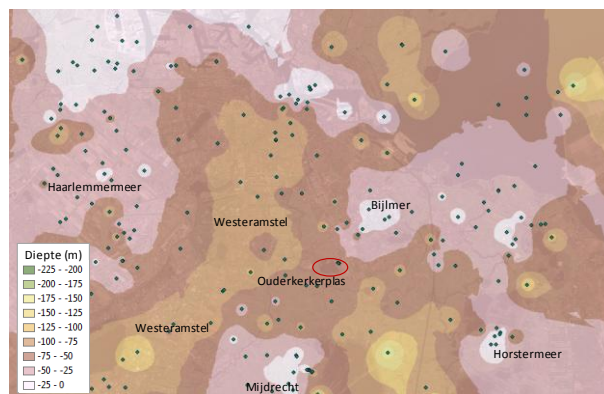
In Figuur 2-9 staan historische chloridemetingen ruimtelijk weergegeven (RWS 1972), en in Figuur 2-10 staat een chloridereeks direct ten westen van de plas weergegeven.



Figuur 2-9; Chloride rondom Ouderkerkerplas ten tijde van de ontzanding (1969-1970).



Figuur 2-10; Chloridereeksen op locatie 19 (zie Figuur 2-9) op twee dieptes direct ten westen van de plas. In Figuur 2-13 staat het verloop ten oosten van de plas.



Figuur 2-11; Diepte van het zoet-brak grensvlak van ca. 5000 mg/l (Acacia Water 2010).

Opvallend:

- Rondom de rivier de Bullewijk was het grondwater tot op enige tientallen meters –NAP zoet tot zwak brak.
- Op enkele honderden meters afstand van de Bullewijk was het vanaf 15 meter diepte wat brakker. Gehaltes liggen daar rond 700 mgCl/l, vergelijkbaar met de concentraties in de Bullewijk. Het is onbekend in hoeverre dit ook ten oosten van de huidige plas het geval is, door afwezigheid van ondiepe peilbuizen. De diepe peilbuizen aan de oostzijde zijn brakker dan de diepe buizen aan de westzijde van de Ouderkerkerplas.
- Pas op grotere diepte (puntmeting -43 m, op locatie van de huidige J06006, zie Figuur 2-1) was het brak.
- Ten oosten van de plas was vanaf de ondiepste meting (NAP -16 m) alles brakker dan aan de westzijde van de plas.

De regionale zoet/brak-verdeling is weergegeven in Figuur 2-11. De verdeling is weergegeven als de diepte van het 5000 mg/l grensvlak chloride. Dit kaartbeeld is een interpolatie van VES-metingen (verticale elektrische sondering) en chloridemetingen van peilbuizen uit het archief van DINO en Waternet.

De zoet-brakverdeling in het gebied wordt in sterke mate bepaald door de onderlinge peilverschillen van de

verschillende polders en de dikte van de deklaag. In de relatief diepst gelegen polders (droogmakerijen) komt het brakke water omhoog en ligt het grensvlak ondiep. Dit geldt voor de Haarlemmermeerpolder, Mijdrecht, Horstermeer en Bijlmer/Bullewijk. Onder de (voorheen) hoger gelegen gebieden is nog altijd zoet water aanwezig (zoals bij de polder Westeramstel). Aan de oostzijde van de plas ligt de zoet-brakgrens veel hoger dan aan de westzijde.

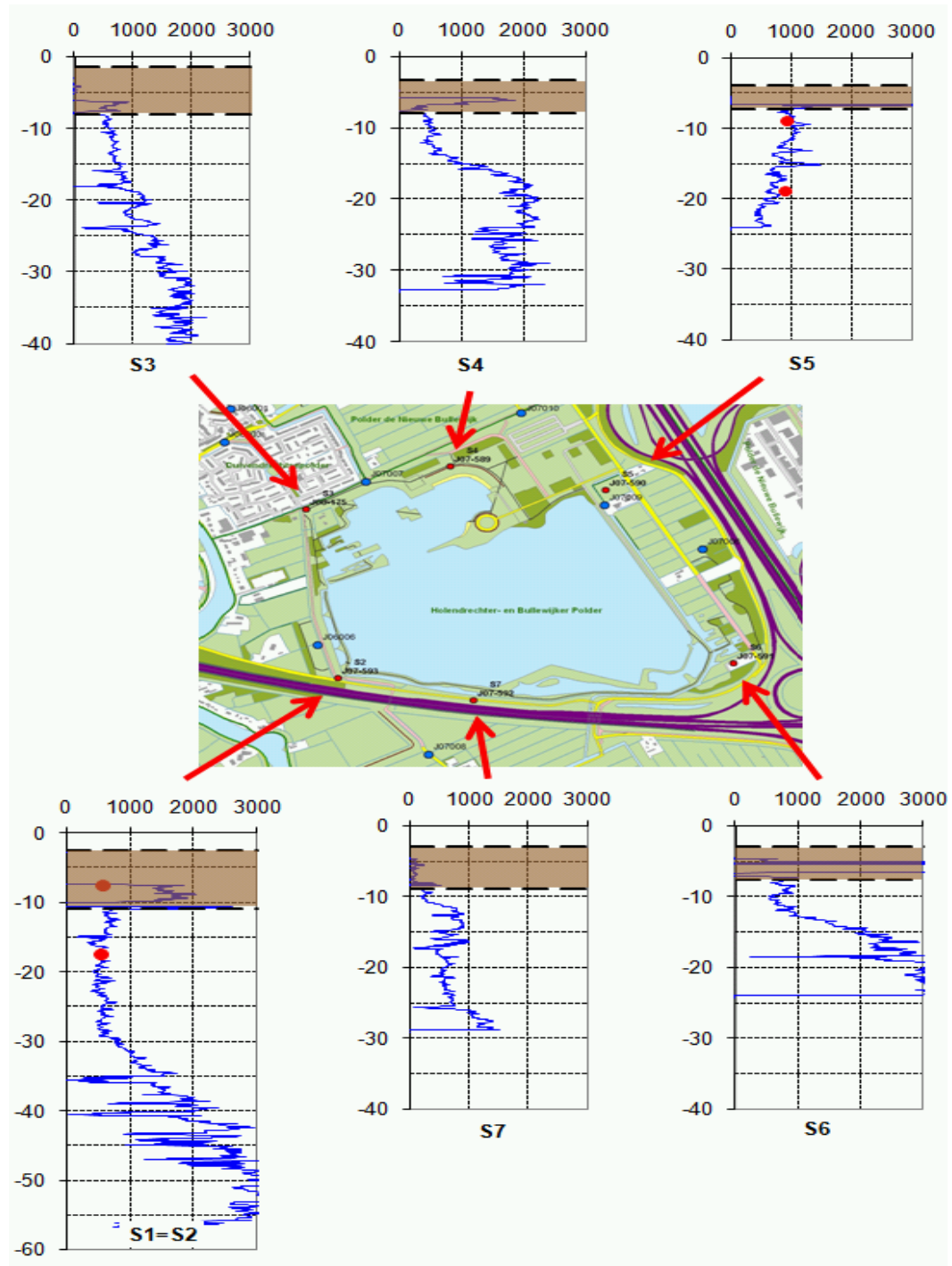
De in januari 2010 uitgevoerde geleidbaarheidssonderingen geven diepteprofielen van de geleidbaarheid. Deze formatie-geleidbaarheid is met de door Acacia Water / VU gemodificeerde relatie van Jorgensen omgerekend naar chlorideconcentraties. Deze relatie is gebruikt ten behoeve van geleidbaarheidssonderingen in polder Groot Mijdrecht (Acacia Water / VU 2008). In Figuur 2-12 staan de resultaten van weergegeven. De resultaten in de deklaag zijn niet betrouwbaar. Onder de deklaag wordt verondersteld dat de horizontaal doorstroomde zone een geleidelijke en beperkte gradiënt vertoont in de chlorideconcentraties. In de diepere zones nemen chloridegehaltes toe en wordt het chlorideverloop onregelmatig. Dit lijkt overeen te komen met het gestuwde pakket waar de doorstroming minder is (Acacia Water 2010). De horizontale stroming vindt vooral plaats tussen deklaag en gestuwd pakket.

- Ten zuidwesten van de plas (S1=S2), heeft de doorstroomde zone tussen NAP -11 m en -30 m chlorideconcentraties rond de 500 – 550 mg/l. Deze concentraties zijn lager dan in de plas en in de Bullewijk. Gezien de verwachting dat er wel doorstroming plaats vindt zal dit een influx naar de plas kunnen zijn.
- Ten noordwesten van de plas (S3) is de doorstroomde zone vanaf NAP -8 m tot -18 m, waarbij chlorideconcentraties geleidelijk oplopen van 500 mg/l naar 1000 mg/l.
- Ten noorden van de plas (S4) is tussen NAP -8 m en -12 m de chlorideconcentratie ongeveer 500 mg/l. Dieper loopt deze snel op naar 2000 mg/l rond NAP -18 m. Overigens lijkt S4 (net als S3) dicht bij de plas te liggen. De recreatiezone is echter ondiep en steekt niet door de deklaag heen². Onder de deklaag is de afstand van S3 en S4 tot de plas ongeveer 400 m.
- Ten oosten aan de noordzijde van de plas (vlakbij de peilbuis J07009) is ook een sondering gezet (S5). De geleidbaarheidssondering wordt niet als betrouwbaar beschouwd. Met name de kleefmeting lijkt hier incorrect, waardoor de omrekening van geleidbaarheid naar chloridegehalte niet goed gaat. Er zijn hier echter ook directe chloridebepalingen gedaan (BAT-monster) op een diepte van NAP -9 m en -19 m. De gemeten concentraties zijn resp. 950 mg/l en 910 mg/l. Dit punt bevindt zich 50m verder oostwaarts dan J07009. Dit duidt erop dat de uitflux van het plaswater deze locatie ook heeft bereikt.
- Ten zuid-oosten van de plas (S6) is de gradiënt vergelijkbaar met S4, maar de concentraties net onder de deklaag zijn hoger (rond 800 mg/l), en lopen vanaf NAP -13 m snel op naar 3000 mg/l bij een diepte van NAP -20 m.
- Ten zuiden van de plas (S7) is de chlorideconcentratie in het grondwater vanaf de onderkant van de deklaag (NAP -9 m) variërend van 300 mg/l tot

² Bij de aanleg van het recreatiegebied is plaatselijk wel de deklaag gecutterd, zand gewonnen, waarna de deklaag weer is teruggestort (zie 1.3). Invloed van dit werk op de doorlatendheid van de deklaag zijn buiten beschouwing gelaten.

900 mg/l water. Vanaf NAP -26 m neemt de concentratie snel toe naar 1300 mg/l op NAP -29 m.

De metingen ondersteunen de analyse zoals beschreven in 2.3 en weergegeven in Figuur 2-6 dat er vanuit het zuiden (S7), en waarschijnlijk het noorden (S4) een grondwaterflux richting plas te verwachten. Aan de zuidwestrand (S1=S2) is op basis van de analyses de situatie niet duidelijk. Uitgaande van de mogelijke influxen bij



Figuur 2-12; Geleidbaarheidsonderingen vertaald naar chlorideconcentraties in het grondwater. Op de x-as de vanuit gemeten EC berekende (blauw) en gemeten (rood) chlorideconcentraties (blauw) [mg/l] en op de y-as de diepte tov. NAP [m]. De dikte van de deklaag is bruin weergegeven.

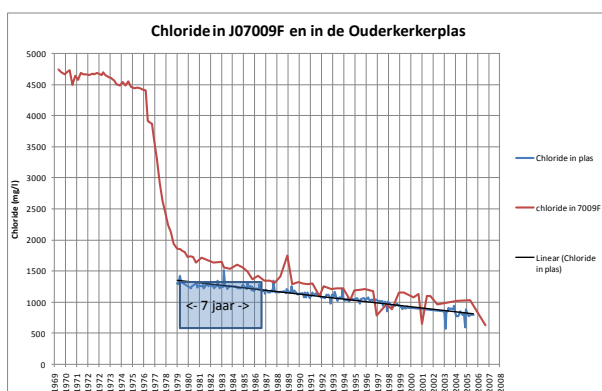
S1=S2, S3, en S7, zal de chlorideconcentratie van de influxen tussen 300 en 2000 liggen. Daarbij komen concentraties lager dan 400 of hoger dan 900 mg/l weinig voor en zijn concentraties tussen 500 en 600 mg/l dominant.

2.6 Kwantificering grondwaterfluxen

De influx is niet berekend bij gebrek aan een verdedigbare methode, maar wordt gelijk gesteld aan de uitflux (zie 2.3). De uitflux is op twee manieren berekend.

1 Doorslag plaswater in peilbuis J07009

In Figuur 2-13 zijn meetreeksen weergegeven van chloride in de plas en uit de peilbuis direct ten oosten van de plas. De oorspronkelijke 4500 mgCl/l wordt medio



Figuur 2-13; Historisch verloop chloride in de plas en in peilbuis NAP -26 m direct ten oosten van de plas (locatie 21 uit Figuur 2-9).

jaren '70 weggedrukt door plaswater met een veel lagere concentratie. Het blauwe blokje geeft aan dat het ongeveer zeven jaar duurt voordat het plaswater het peilfilter heeft bereikt. Uitgaande van horizontale stroming op NAP -26 m (22 meter onder plasniveau), rekening houdend met het profiel van de plas, bedraagt de horizontale afstand tussen plas en peilfilter 175 meter (GIS). De horizontale stroomsnelheid door het zand is dan 25 m/j (70 mm/dg). De

porositeit is ongeveer 0,3 voor zand, de horizontale stroomsnelheid uit de plas is dan 7,5 m/j (21 mm/dg).

Vervolgens is het doorstroomd oppervlak berekend om de conversie van mm/d horizontaal (profiel van de plas), naar mm/d horizontaal (oppervlak van de plas) te maken. Nat oppervlak uitflux: 12.000 m² (betreft lokale breedte van 800 m en gemiddelde dikte zandpakket tussen deklaag en gestuwd pakket van 15m).

Consequenties:

- Verhouding nat oppervlak uitflux / oppervlak plas: 1 op 61
- Uitflux $\approx$ influx $\approx$ 0.35 mm/dg (verticaal, omgerekend naar plaspeil).

2 Stijghoogteverschillen

De horizontale uitflux gaat tegen de regionale grondwaterstroming in. Een groot gedeelte van die flux zal door de deklaag heen omhoog kwellen. Indicatief kan uit het peilverschil tussen plas en het peilvak ten oosten van de plas de kwelflux berekend worden. Uit boringen blijkt dat de lokale deklaag ongeveer 3 tot 4 meter dik is (S5 $\approx$ 3,2 m, S6 $\approx$ 4,1 m, zie Figuur 2-4). De top is veen met daaronder klei. In Tabel 2-3 is op basis hiervan een eenvoudige kwantificering weergegeven van de

dikte veen	1.8 meter		
dikte klei	1.8 meter		
c-waarde veen	50 dagen/meter	90 dagen	
c-waarde klei	100 dagen/meter	180 dagen	
drainageweerstand (slootafstand in meters)		40 dagen	
totale weerstand		310 dagen	
plaspeil	-4 mNAP		
stijghoogte peilvak	-4.5 mNAP		
stijghoogteverschil over deklaag		0.5 meter	
flux		1.6 mm/dag	
oppervlakte polder		200000 m2	
afvoer		323 m3/dag	
oppervlakte plas		728748 m2	
infiltratie naar polder		0.44 mm/dg	

Tabel 2-3; Indicatieve berekening infiltratie uit de plas naar oostelijk gelegen peilvak.

infiltratie van de plas naar de polder (dijkse kwel). De flux uit de plas zou volgens deze methode 0,44 mm/d bedragen.

In de geulen van de sloten is de deklaag dunner, en het is niet gezegd dat de bodemsamenstelling homogeen is. In Figuur 2-2 staat overigens tussen S5 en S6 een dikkere deklaag gegeven. Deze is gebaseerd op een boring die onbetrouwbaar wordt geacht.

De fluxen 0,35 mm/d en 0,44 mm/d zijn als richtwaarden gebruikt in de waterbalans. Zie hiervoor H5 en 5.4.1.

2.7 Overig chemie (oa. fosfor)

Van het grondwater in peilbuizen is een klein aantal historische en recente (in het kader van dit project gemeten) chemische analyses uitgevoerd. De overige recente grondwateranalyses zijn verwerkt in Bijlage 3. De regionale verschillen in de meetwaarden zijn groot. De laagst gemeten fosforconcentratie is 0.33 mgP/l in 1958 op NAP -53 m. De hoogste is 3.0 mgP/l op NAP -15 m in 2009. Het gaat om een tiental metingen op verschillende dieptes, te weinig en te sterk variërend om conclusie uit te trekken. In Tabel 2-4 staat de samenstelling van het grondwater direct ten westen van de Ouderkerkerplas, water waarvan verondersteld wordt dat het de plas in stroomt. Het fosforgehalte is hoog: 1,4 – 2 mgP/l. De regionaal hoogste waarde is gevonden in J07010 (NAP -15 m). Dit is een locatie die zo'n 400 m van de plas af staat, maar wellicht ook model kan staan voor de kwaliteit van het instroomwater vanuit het noorden. Totaal-fosforgehalte in J07010 is 3,0 mgP/l. Het ijzergehalte is niet bijzonder hoog. Sulfaat is hoog in het veenpakket, maar laag in zand. Arseen is extreem hoog, maar dat is bekend in deze regio (RIVM 2008).

PEILBUIJS J6006 ten westen tegen OKP			
30/11/2009		-4 mNAP	-20 mNAP
GWS	mNAP	-4.41	-3.9
zuurgraad (pH)		6.4	7.5
geleidbaarheid	mS/m	211	336
meettemperatuur EC	°C	16	15.9
aluminium (Al)	µg/l	< 50	< 50
arseen (As)	µg/l	6	850
barium (Ba)	µg/l	86	500
ijzer (Fe)	mg/l	1.2	4.5
calcium (Ca)	mg/l	150	48
kalium (K)	mg/l	11	47
magnesium (Mg)	mg/l	48	98
natrium (Na)	mg/l	160	430
nitraat als N	mg N/l	0.13	< 0.05
nitriet als N	mg N/l	< 0.01	< 0.01
ammonium als N	mg N/l	1.3	10
opgelost fosfaat als P	mg P/l	0.06	0.17
totaal stikstof als N	mg N/l	5.1	11
totaal fosfaat als P	mg P/l	1.4	2
bicarbonaat	mg/l	350	800
chloride	mg/l	440	750
sulfaat	mg/l	160	3.9

Tabel 2-4; Samenstelling water in de peilbuis stroomopwaarts (ten westen) direct naast de plas.

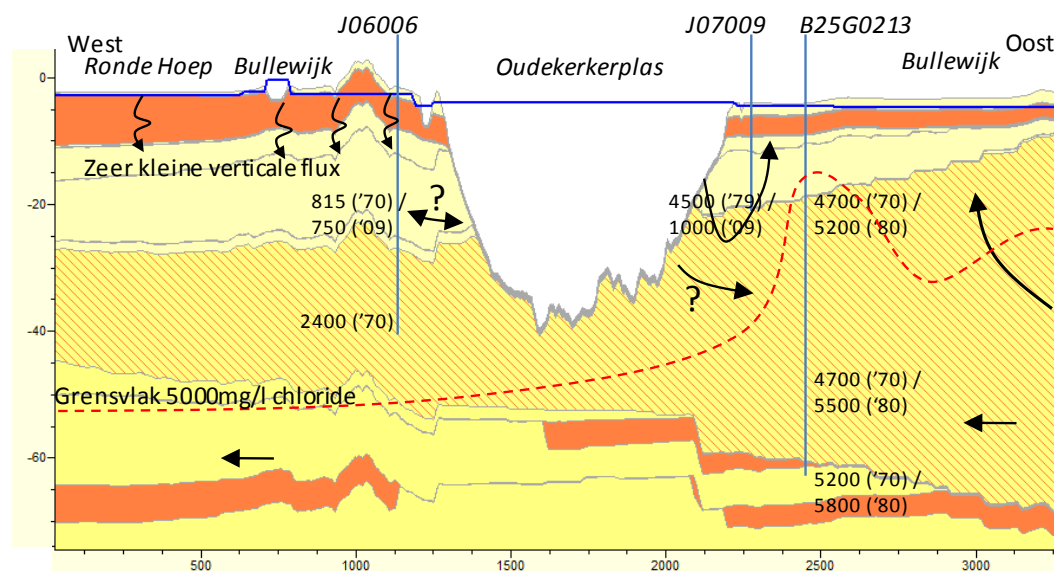
2.8 Conclusies Geohydrologie

Figuur 2-14 toont een schematische doorsnede (west-oost) van de plas met daarin het geïnterpreteerde locale stromingssysteem. De regionale stroming is van oost naar west. Deze is met de kleine pijlen aangegeven vanwege de geringe locale stroomsnelheid. De grotere pijlen aan de oostkant representeert de regionale component die opkwelt in de polder Nieuwe Bullewijk. Die regionale component heeft dus geen invloed op de plas.

In een aantal geleidbaarheidssonderingen is een trend waargenomen waarbij ondiep een kleine gradiënt (passend bij een doorstroomd profiel) is, en dieper een overgang bestaat naar geleidelijk oplopende chlorideconcentraties met de diepte. De scherpe overgang lijkt in enkele gevallen verband te houden met de overgang naar het

gestuwde pakket waar de doorstroming minder zal zijn dan in de hogere bodemlagen tot slecht doorlatende deklaag.

De diepere chlorideconcentraties lijken niet of nauwelijks te zijn beïnvloed door de aanwezigheid van de plas. Dit leidt tot de interpretatie dat de stroming van en naar de plas (als die plaatsvindt) ondiep is vanaf de onderkant van de deklaag tot een diepte die ongeveer overeenkomt met de overgang naar het gestuwde pakket.



Figuur 2-14; Afgeleide lokale stromingsrichtingen. Bij de peilbuizen zijn chlorideconcentraties weergegeven (Acacia 2010).

De veronderstelde situatie is als volgt:

- De grondwaterstroming wordt niet sterk beïnvloed door de hoogteligging van de omringende polders en de rivier de Bullewijk. Dit komt door de relatief dikke en slecht doorlatende deklaag in het gebied. Vooral nabij de 3,6 m hoger liggende rivier de Bullewijk is de deklaag dik (6,6 – 8,4 m, S3 en S1=S2) dik. De grondwaterstroming wordt goeddeels lokaal bepaald.
- Het grondwater is via een goed doorlatend zandpakket direct gekoppeld aan de plas, in die zin zijn de gemeten grondwaterpeilen direct naast de plas een goede maat voor het actuele peilbeheer in de plas. De direct rond de plas gemeten peilen zijn vanaf de aanleg een paar decimeter gestegen. Volgens de peilbuismetingen wordt het huidig peilbeheer vanaf 1990 uitgevoerd. De plas wordt actief beheerd rond het evenwichtspeil van NAP -4 m. In 5.2.5 wordt hier op ingegaan in relatie tot de balans.
- Netto wordt jaarrond niet verwacht dat grondwater de waterbalans van de plas substantieel beïnvloedt. De regionale grondwaterpeilen stijgen in de winter, en dalen in de zomer. De fluctuatie is ongeveer 12 – 24 cm. In de zomer zakt de grondwaterstand uit, in de winter stijgt de grondwaterstand. Het peilbeheer in de plas is relatief strak en fluctueert met ongeveer 8 - 10 cm. Naar verwachting ligt de grondwaterstand rondom de plas in de winter wat hoger, en in de zomer wat lager dan plaspeil. Dit zorgt voor een toestroom van grondwater in de winter, en een uitstroom in de zomer. Aangenomen wordt dat het plaspeil jaarrond ongeveer in evenwicht is met het grondwater in het eerste watervoerende pakket.

- Aan de oostzijde ligt een diepe polder waarvan de deklaag relatief dun is. Daar infiltreert de plas naar een lager peilvak, met indicatief ongeveer 0,35 – 0,44 mm/d.
- Uitgaande van een hypothetisch constant plaspeil en constante omringende grondwaterstanden zal de plas de kwel die aan de oostzijde uit de plas stroomt, kunnen aanvullen met grondwater. De plas heeft in het eerste watervoerende pakket immers een 'open' verbinding met het grondwater. Er wordt verwacht dat zeker vanuit het zuiden, maar waarschijnlijk ook vanuit het noorden de plas in komt. In het westen is de situatie niet duidelijk. Dit volgt uit de analyse van het regionale grondwaterpatroon in combinatie met de analyse van locale peilbuizen. Het wordt ondersteund door metingen die aangeven dat het grondwater op die locaties te zoet is om plaswater te kunnen zijn en door het van Wirdum diagram. Door de fluctuerende grondwaterstanden in combinatie met het strakkere plaspeilbeheer zal de situatie door het jaar heen veel dynamischer zijn.
- De regionale influx gaat vergezeld van lichtbrak water. De influx vindt plaats tussen de deklaag en het gestuwde pakket. De chloride-concentraties aldaar zijn over het algemeen zoeter dan het inlaatwater vanuit de Bullewijk. De in 2010 uitgevoerde geleidbaarheidssonderingen geven aan dat de chlorideconcentraties op locaties waar een flux naar de plas kan plaatsvinden rond 400 – 900 mg/l liggen, voornamelijk met chlorideconcentraties rond 500 – 600 mg/l.
- De gemeten fosforconcentraties in de peilbuizen zijn hoog. Aan de westzijde is de concentratie 1,4 – 2 mgP/l, van de zuidkant zijn geen metingen. Aan de noordoostzijde, niet direct naast de plas, is 3 mgP/l gemeten.

3 Chemie en fytoplankton

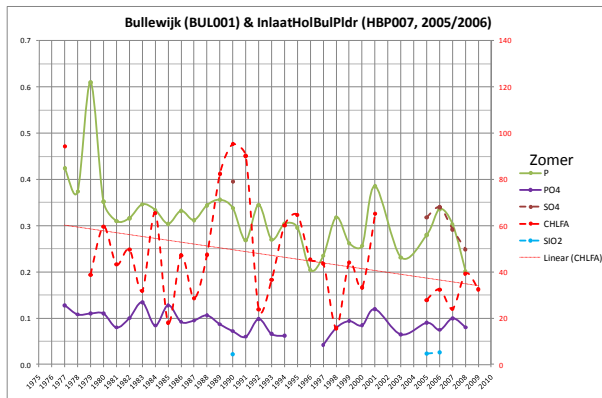


Figuur 3-1; Monsterpunten in en om de Ouderkerkerplas.

In de analyse van de chemie is gefocust op de parameters die naar verwachting de meeste invloed op het bereiken van een goede ecologische toestand hebben. Dwz. dat bijvoorbeeld zware metalen, microverontreinigingen (bestrijdingsmiddelen, geneesmiddelen, etc.) en fecale bacteriën buiten beschouwing worden gelaten. In de volgende paragrafen wordt alleen geobserveerd, de conclusies staan in 3.6.

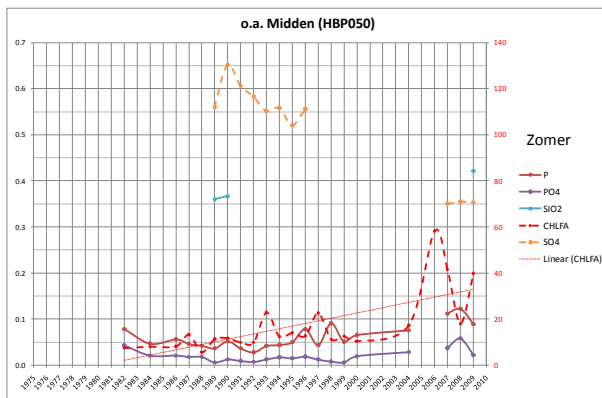
3.1 Trends

- De zomerperiode van het inlaatwater wijkt af van wat in waterbalansen en systeemanalyse normaliter verstaan wordt onder het 'zomerhalfjaar'. Voor het inlaatwater wordt april niet tot de zomer gerekend, omdat dan nog weinig water ingelaten wordt. Voor de beoordeling van de plas wordt april wel meegenomen tot de zomer gerekend.
- Ortho-fosfaat wordt vanaf 1 januari 2010 bepaald door het filtraat van een 0.45 μm filter op PO_4^{3-} te analyseren. Voorheen werd het monster door een vouwfilter van 4-7 μm gehaald. De nieuwe methode levert 10 - 20% lagere waarden ortho-fosfaat op dan de nieuwe. Dit is niet essentieel voor de bepaling voor een limiterende situatie. Wel is het zo dat bij dit soort extreem lage bepalingen het hele traject van monsternamen tot analyse erg gevoelig is voor vervuilingen, waardoor lage meetwaarde eerder een overschatting dan een onderschatting van beschikbaar fosfaat opleveren.
- Voor fosfaat was de rapportagegrens 0,01 mgP/l. In 1998 is de grens verhoogd naar 0,02 mgP/l. Vanaf 1999 tot heden is de rapportagegrens 0,005 mgP/l. Waarden onder de rapportagegrens zijn gehalveerd.
- De parameters die met stippellijn zijn weergegeven horen bij de rechter y-as.



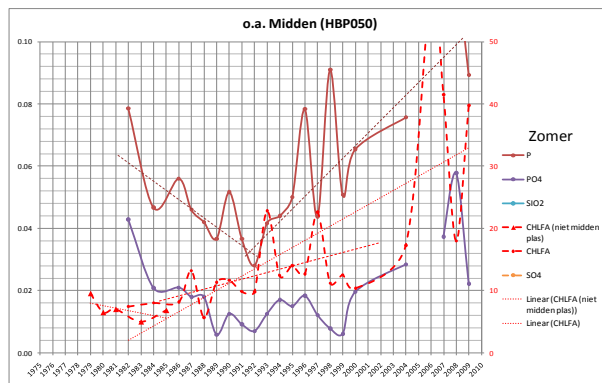
Figuur 3-2; Inlaat: fosfor, sulfaat, silicium, chlorofyl

Het inlaatwater vanuit de Bullewijk, zijtak van de Amstel, bevat veel fosfor, sulfaat en silicium. Langjarig is een dalende trend waarneembaar, maar de laatste 10 jaar is de situatie vrij constant. Chlorofyl-a neemt licht af.



Figuur 3-3; Plas: fosfor, sulfaat, silicium, chlorofyl

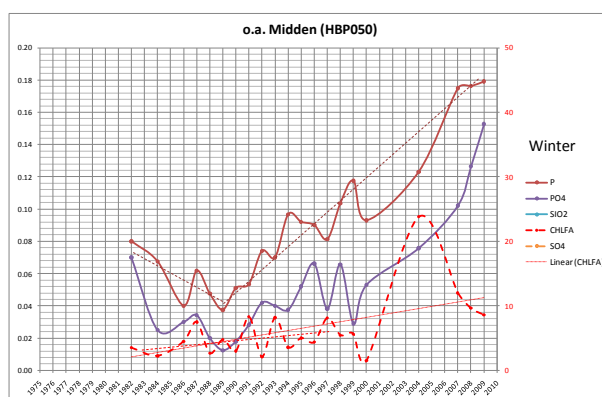
Midden op de plas is de situatie beduidend anders. Begin jaren '90 slaat een dalende fosfor-trend om in een stijgend verloop. Chlorofyl-a neemt toe naar hoge waarden vanaf 2000. Sulfaat in de plas is hoog, en vergelijkbaar met het inlaatwater. Silicium is laag.



Figuur 3-4; Zoom van Figuur 3-3

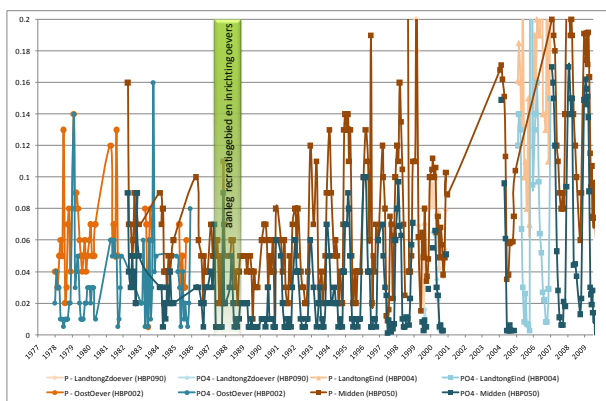
Zomerfosfor in detail bekeken geeft een opvallende trendbreuk in korte tijd vanaf 1991/1992 (zie Figuur 3-4).

Voor chlorofyl is bij gebrek aan metingen midden op de plas een aantal metingen vanaf de oostoever bijgevoegd. Rond 1987 – 1990 slaan consequent lage chlorofyl-a-metingen om in hogere zomergemiddelden. De hoge gemiddelden in 2006 en 2007 zijn het gevolg van een enkele hoge waarde midden in de zomer.



Figuur 3-5; Wintersituatie, verder als Figuur 3-4

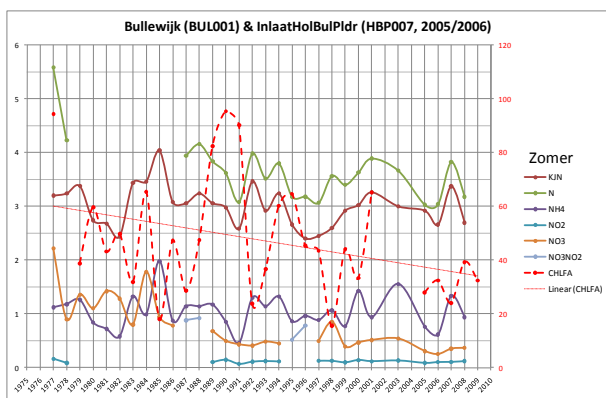
De winter laat voor fosfor een vergelijkbaar beeld zien. De trendbreuk is eerder dan in de zomer, in 1990.



Figuur 3-6; Totaal fosfor en ortho-fosfaat van alle monsterpuntlocaties in de OKP.

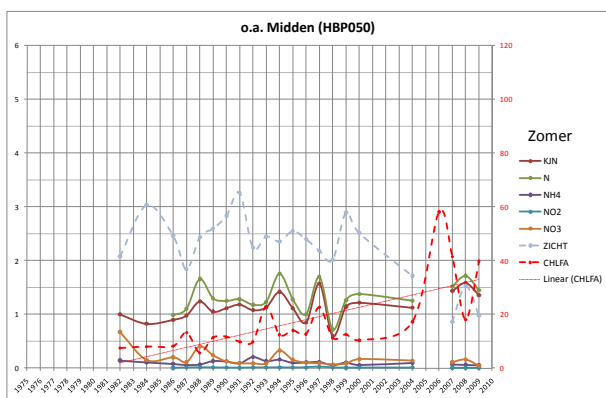
Vóór 1982 werd niet midden op de plas gemeten. In Figuur 3-6 staan alle metingen van fosfor in de plas.

Een stabiele situatie of licht dalende trend in totaal fosfor wordt vlak na herinrichting van de oevers en de aanleg van het recreatiegebied omgebogen in een nadrukkelijk stijgende trend in fosforconcentraties.



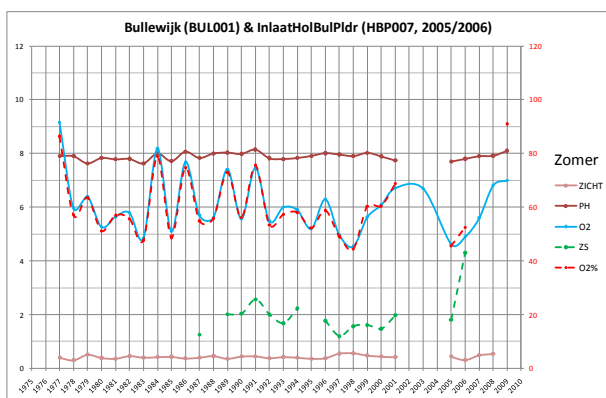
Figuur 3-7; Inlaat: stikstof en chlorofyl

Het inlaatwater bevat veel stikstof. Er is langjarig een afnemende trend, maar het laatste decennium zijn de concentraties stabiel. Stikstof wordt vooral in de vorm van organisch materiaal en NH_4 aangevoerd, NO_3 -gehaltes zijn beduidend lager.



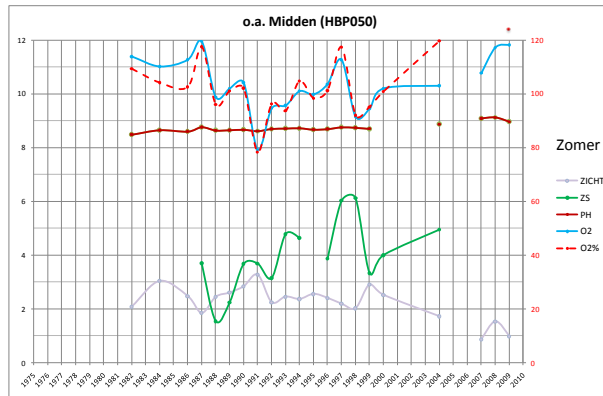
Figuur 3-8; Plas: stikstof chlorofyl en doorzicht

Op de plas zijn de concentraties stikstof een factor 3 lager dan in het inlaatwater. Een groot gedeelte is opgeslagen in biomassa gezien de hoge N-kjeldahl (KJN) en lage NH_4 . Beschikbare stikstof was en is laag, al is NO_3 niet altijd uitgeput (gemiddeld over de zomer). In de weergave van de maandgemiddelden (zie 3.2) is het verloop door het jaar heen te zien.



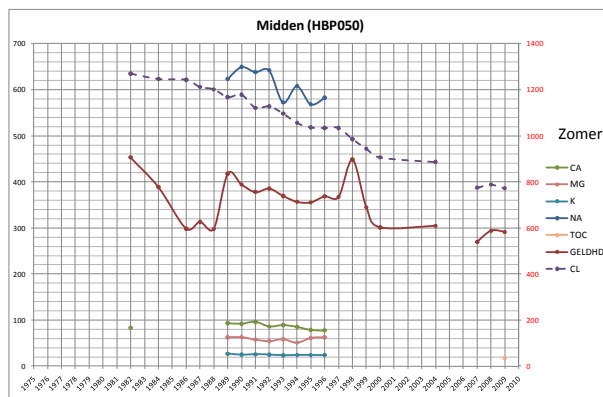
Figuur 3-9; Inlaat: doorzicht, pH, zuurstof, zwevende stof

Het doorzicht van het inlaatwater is minder dan een halve meter. Gezien de vrij neutrale pH zal er in dat inlaatwater geen excessieve algenbloei aanwezig zijn, al is de stijging vanaf 2005 opvallend. Zuurstof en zwevende stof zijn ook van een regulier boezem-niveau.



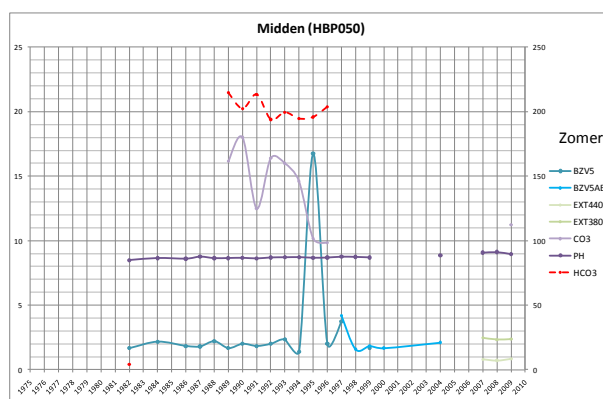
Figuur 3-10; Plas: doorzicht, zuurstof, zwevende stof

In de plas is het zuurstofgehalte hoog en (over)verzadigd. Zwevende stof stijgt, terwijl het doorzicht vooral het laatste decennium sterk is gedaald.



Figuur 3-11; Plas: kationen, organisch koolstof, geleidbaarheid en chloride

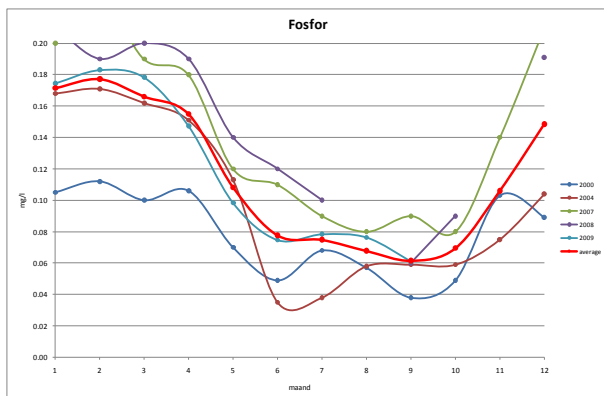
Calcium, magnesium, en kalium zijn in de jaren '90 gemeten stabiel. Natrium daalt parallel aan de daling van chloride. De geleidbaarheid is instabieler dan de regelmatige trend van chloride.



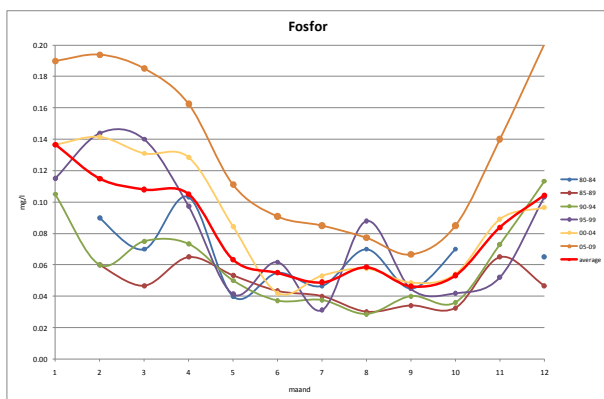
Figuur 3-12; Plas: zuurstofverbruik, extinctie, (bi)carbonaat en pH

Het zuurstofverbruik is laag en stabiel op een hoge waarde in 1995 na (uitbijter). Er is in de jaren '90 een dalende trend van carbonaat. De pH is in die periode stabiel. Pas vanaf meetjaar 2004 is de pH structureel hoger.

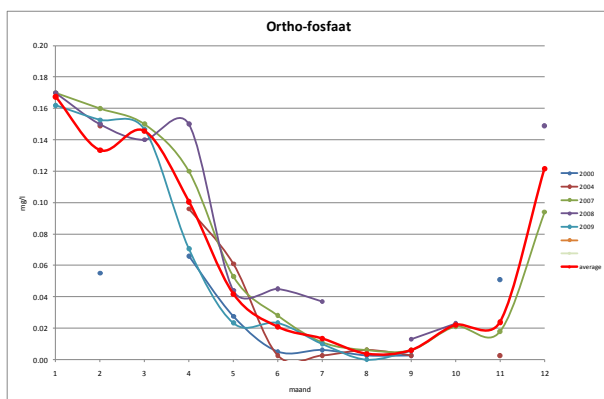
3.2 Maandgemiddelden 2000 – 2009



Figuur 3-13; Plas: maandgemiddeld fosfor



Figuur 3-14; Plas: maandgemiddeld - per 5 jaar blok – fosfor



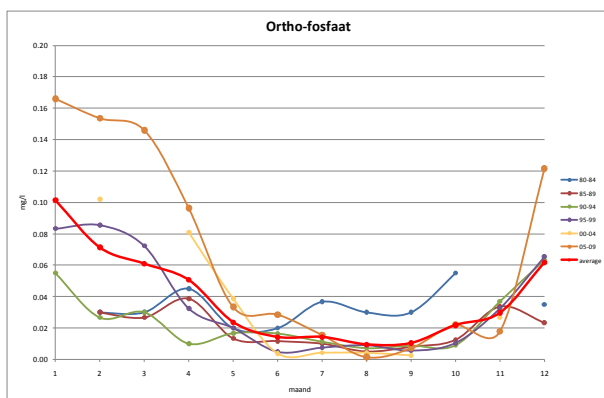
Figuur 3-15; Plas: maandgemiddeld ortho-fosfaat

Totaal fosfor volgt een klassiek patroon van een eutrofe diepe plas. Hoog in de winter als gevolg van het opmengen van hypolimnion. Laag in de zomer als gevolg van sedimenterende algen. Opmerkelijk is dat fosfor in 2000 een stuk lager start dan in de jaren daarna.

Kijkend naar de complete meetset in Figuur 3-14, per 5 jaar gemiddeld, dan valt op dat vanaf het tijdsvak 1995 – 1999 en later de winter- en voorjaarsconcentraties veel hoger zijn dan de jaren daarvoor. Met name het laatste tijdvak 2005–2009 geeft extreem hoge waarden te zien, die ook z'n weerslag hebben op de zomerconcentraties. De verliesposten in de zomer (sedimentatie algen) kunnen de hoge initiële concentraties dan niet meer compenseren en/of de concentraties (drijvende

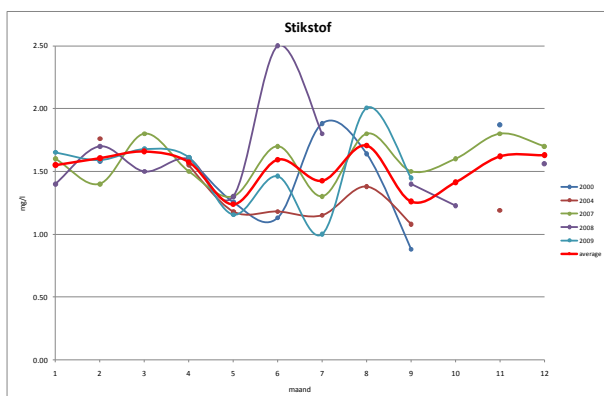
blauw)algen zijn hoger dan voorheen.

Voor orthofosfaat wordt t/m 2004 de rapportagegrens regelmatig overschreden. Deze varieert van 0.005 (huidig) tot 0.02 mg/l. In 2000 en 2004 is orthofosfaat in juni laag. In 2007 t/m 2009 is ortho-fosfaat vanaf juli of augustus laag.



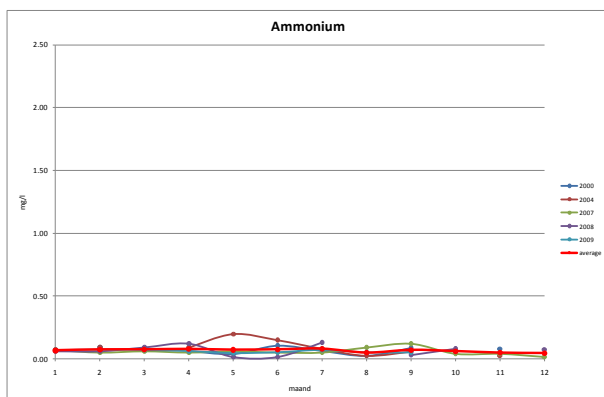
Figuur 3-16; Plas: maandgemiddeld - per 5 jaar blok - ortho-fosfaat

Kijkend naar de complete meetset in Figuur 3-16, per 5 jaar gemiddeld, dan valt op dat de tijdsvakken 1980 – 1984 en 1985 – 1989 nog vrij lage decemberconcentraties hebben (januari niet gemeten), terwijl in de tijdvakken later de winterconcentraties veel hoger zijn dan de jaren daarvoor. Met name het laatste tijdvak (2005 – 2009) heeft extreem hoge waarden, die pas vanaf juli/augustus laag worden.



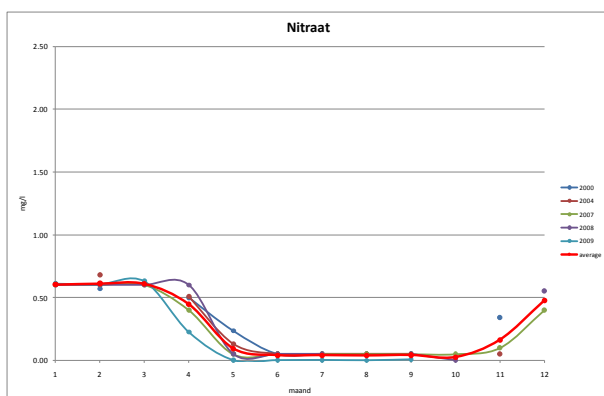
Figuur 3-17; Plas: maandgemiddeld stikstof

Totaal stikstof ligt rond 1.5 mg/l. In de winter zijn de gehalten stabiel, in de zomer per jaar fluctuerend.



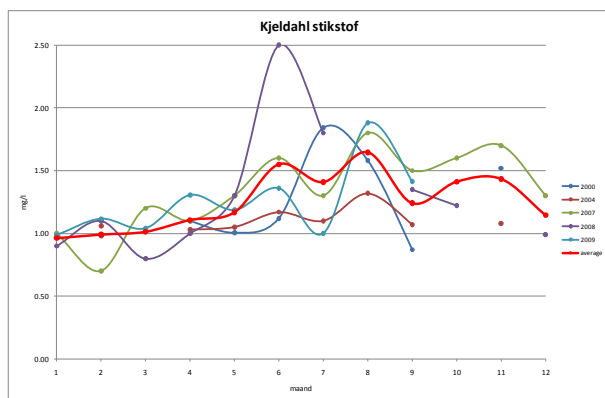
Figuur 3-18; Plas: maandgemiddeld ammonium

Het ammoniumgehalte ligt jaarrond vrijwel op de rapportagegrens. Ammonium wordt aangevoerd via de Bullewijk, maar is ook een afbraakproduct van organisch materiaal.



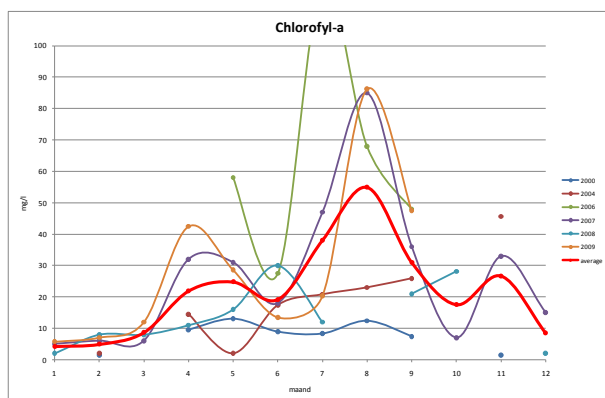
Figuur 3-19; Plas: maandgemiddeld nitraat

Nitraat raakt in mei binnen een korte periode uitgeput.



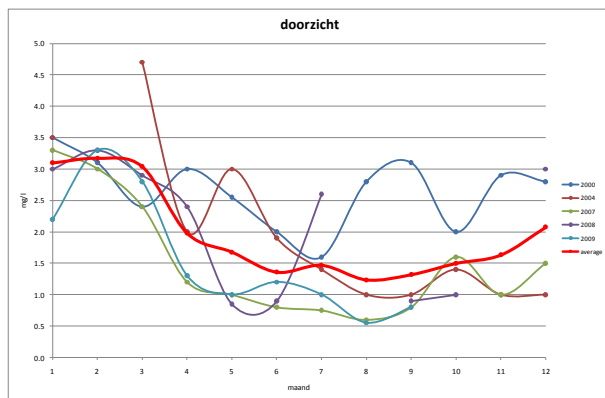
Figuur 3-20; Plas: maandgemiddeld kjeldahl stikstof

Omdat er zo weinig ammonium aanwezig is, is Kjeldahl-stikstof een goede maat voor het organische stikstof dat vooral in algen opgeslagen zit. Het gehalte loopt licht op gedurende het groeiseizoen.



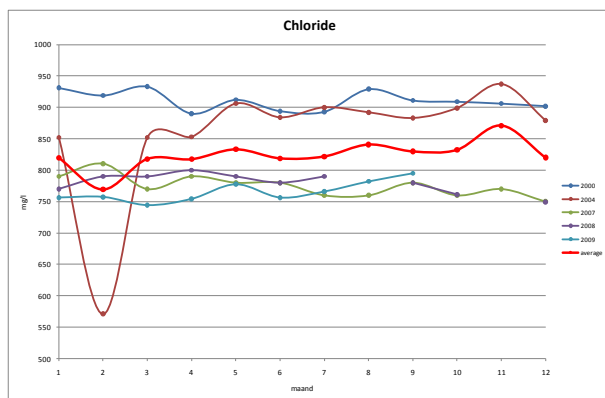
Figuur 3-21; Plas: maandgemiddeld chlorofyl-a

Chlorofyl-a kent een voorjaarspiek en een bloeiperiode rond augustus. In 2000 en 2004 zijn de gehalten lager dan in de periode daarna.



Figuur 3-22; Plas: maandgemiddeld doorzicht

Het doorzicht van de plas is in de winter ongeveer twee meter. In de zomer neemt het af. In 2000 bleef het doorzicht hoog. In 2004 is het doorzicht eind zomer lager. Vanaf 2007 is het al vanaf mei laag.



Figuur 3-23; Plas: maandgemiddeld chloride

Chloride is jaargemiddeld constant, en door de jaren heen dalend. De laatste jaren is de daling beperkt. De lage waarde in februari 2004 is een enkele meting in een vrij natte periode.

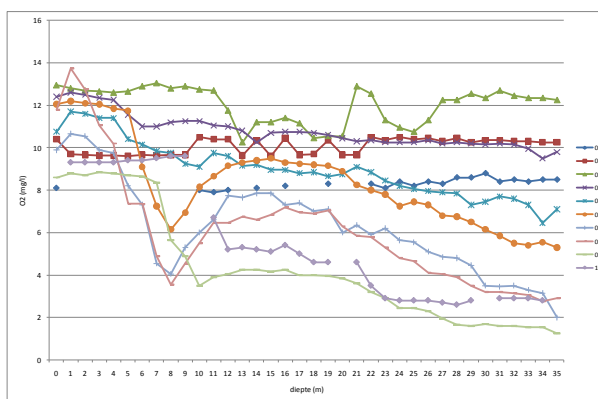
3.3 Diepteprofielen

Een diepe plas raakt in de zomer thermisch gestratificeerd. De toplaag (epilimnion) raakt opgewarmd, terwijl de onderlaag (hypolimnion) koel blijft. De twee waterlagen raken zo ontmengd en op een aantal vlakken chemisch en ecologisch geïsoleerd van elkaar. Sedimentatie van organisch materiaal wordt nauwelijks gehinderd door de stratificatie. De grote diepte zorgt ervoor dat gesedimenteerd materiaal niet door windwerking kan resuspenderen. In een redelijk hoog belaste plas zal door afbraak van dit organisch materiaal de waterbodem anaeroob raken. Hierdoor zal aan ijzer gebonden fosfaat vrijkomen. Uit historische profielmetingen tussen 1976 en 1997 en 2009 blijkt dat de Ouderkerkerplas de laatste decennia voldoet aan het gedrag van een typische diepe plas in west Nederland (zie Bijlage 4). Kenmerkend is:

1. Opbouw stratificatie vanaf april.
2. Spronglaag hoogzomer op diepte van ongeveer 8 – 10 meter.
3. Temperatuur epilimnion loopt op tot meer dan 20 °C
4. Temperatuur hypolimnion loopt in de zomer op tot 6-8 °C.
5. Plas raakt in december weer volledig gemengd zonder temperatuur- of zuurstofgradiënten over de diepte.
6. Minimale wintertemperatuur bedraagt ongeveer 3 °C, er is dan geen dieptegradiënt.

7. Het zuurstofgehalte neemt het eerst af in de spronglaag en daalt verder in het hypolimnion. Alleen direct nabij de bodem (35 – 40 m) raakt het water ook echt zuurstofloos (<1 mg/l), op zijn vroegst in augustus, en uiterlijk in oktober. Opvallend is dat dit verschijnsel in de metingen wel vrijwel jaarlijks, maar niet altijd doorzet tot zuurstofloosheid:

- In 1986 wordt voor het eerst, en voor een lange periode (sept. – dec.) zuurstofloosheid boven de waterbodem gemeten. Dit kan niet te maken hebben met de herinrichting omdat de bestekken uit februari 1987 stammen (zie 1.3).
- Soms is de meetreeks incompleet, juist in de maanden dat er de grootste kans is op zuurstofloosheid.



Figuur 3-24; Zuurstofprofiel 2009. In de legenda (rechts) staan de maanden weergegeven. Vanaf juni daalt zuurstof in de spronglaag sterk. Vanaf september is het zuurstofgehalte in het hele hypolimnion gelijk of lager dan in de spronglaag.

In 2009 zijn door B-ware onder andere fosfor-profielen gemeten (B-ware 2010). Uit deze data blijkt dat vanaf augustus 2009 de fosforconcentratie in het hypolimnion toeneemt. Vooral op 30-35 m is de toename sterk: de fosforconcentraties lopen op tot 0,4 - 0,5 mgP/l in september t/m december. Buiten deze periode en in ondiepere zones blijft de totaal fosforconcentratie in het hypolimnion ongeveer 0,15 – 0,25 mgP/l.

3.4 Fytoplankton

Van de overlast veroorzakende blauwalgen hebben de verschillende geslachten verschillende omstandigheden nodig om in een goede concurrentiepositie te kunnen komen. Over het algemeen is *Planktothrix* vaak dominant in eutroof en troebel water, terwijl *Anabaena* juist betrekkelijk veel licht nodig heeft en het dus goed doet in een helderder systeem. Net als *Anabaena* is *Aphanizomenon* een stikstoffixeerder, en daarom vaak dominant bij lage ammonium- en nitraatgehaltes. *Microcystis* heeft weinig last van graas, heeft een grote overwinterende ent, kan met lage fosfaatconcentraties toe, kan hoog in de waterkolom blijven, maar kan geen stikstof fixeren. Zie ook Pires 2007.

Er zijn weinig goede fytoplanktongegevens beschikbaar. Pas in 2006 is voor het eerst gemonitord. Er zijn toen tellingen uitgevoerd voor de KRW. In de jaren daarna zijn met onregelmatige intervallen bij de zwemzones enige quickscans uitgevoerd. In een quickscan wordt niet gekwantificeerd.

2006, tellingen midden op de plas:

- *Planktothrix* (tienduizenden/ml), *Aphanizomenon* & *Anabaena* (duizenden/ml)
- Overig blauwalgen: *Pseudanabaena* & *Limnothrix* (duizenden/ml)

2007, Quicksans bij de zwembzones

- 2 mei: *Planktothrix* (zeer weinig), *Lyngbya* (weinig)

- 17 juli: *Anabaena* (veel),

diverse draadvormers

(veel). *Aphanizomenon*

(matig)

- 6 augustus 2007: diverse draadvormers (zeer veel), *Anabaena* (matig)

2008, Quickscans bij de zwembzones (Tabel 3-1):

- Op verschillende momenten zijn vooral draadvormige blauwalgen aangetroffen. Veelal *Anabaena* en *Aphanizomenon* en *Planktothrix*. *Microcystis* is in deze waarnemingen ook waargenomen, itt. in de eerdere globale waarnemingen

Blaauwen							mcr-2.1	mcr-4.2	mcr-19.1						
HSP102 Dreenstrand	21-4	6-5	19-5	2-6	16-6	30-6	7-7	14-7	25-7	11-8	25-8	8-9			
Aphanizomenon					-	+	-	-	-	-	-	-			
Anabaena					-	++	+-	-	+-	-	-	+-			
Anabaenopsis															
Aphanocapsa			--	--		-					--				
Gomphosphaeria															
Lymghya															
Merismopedia		--	--												
Microcystis								--	--		+-				
Planktothrix	-	-	--	--	--		--	--	+-	+-	-	-			
Diversen blauw draadje	-	-	+-	+-	+-	+ ±									
Diversen blauw coccalen	--	--			+-	--			--						
Blauwwier-/bacteriedraad															
Limnithrix redekii			-			--									
Pseudonabaela				--				--							
Cyanodicyon				--											
Aphanothece															
Chroococcus															
Cyanoactina								--							
Blaauwen	mcr-1.3	mcr-15.2			mcr-1.6	mcr-1.2	mcr-6.9	mcr-340	mcr-5.2	mcr-3.1	mcr-340	mcr-3.8	mcr-31.2	mcr-82	mcr-28
HSP103 Zandstrand	30-6	30-6	7-7	7-7	14-7	14-7	23-7	29-7	29-7	4-8	11-8	11-8	1-9	3-9	8-9
Anabaena	++	++	++	++	-	-	++	++	++	++	++	++	++	++	++
Anabaenopsis															
Aphanocapsa	-						-								
Gomphosphaeria															
Lymghya															
Merismopedia	--														
Microcystis					-	--	-	+	-	-	+	+	+	+	+
Planktothrix agardii	--	--	--	--	--	--	--	--	--	-	+	+	++	++	++
Diversen blauw draadje	++ ±	+	--	--	--	--				--			++	++	++
Diversen blauw coccalen															
Blauwwier-/bacteriedraad															
Limnithrix redekii															
Chroococcus															
Aphanothece															
Cyanodicyon	++														
Pseudonabaela							--	--	--						
Cyanoactina															
Oscillatoria							--	--	--						
Cyanogranis															
	buiten	in de	dryfpaal	buiten	dryfpaal	buiten	terrestrisch	dryfpaal	buiten	afwateringskanaal	dryfpaal	buiten			

Tabel 3-1; Quickscans 2008 algen aan de zwemstrandjes.

2009, celtellingen bij de zwemzones. Er is in deze dataset geen onderscheid gemaakt tussen drijfslaag of geen drijfslaag, dus de tellingen hebben geen waarde, de soortensamenstelling wel:

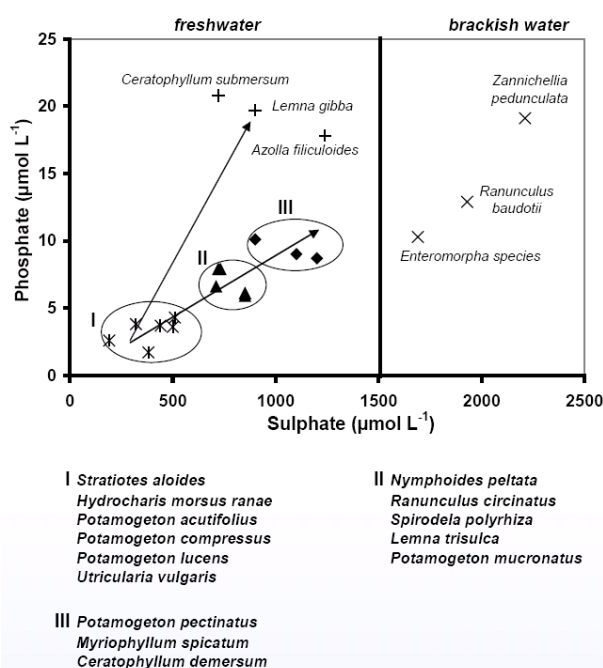
- 20 juni: 36% *Pseudoanabaena*, 23% *Anabaena*, 18% *Aphanizomenon*
- 21 juni: 69% *Pseudoanabaena*, 9% *Planktothrix*, 7% *Anabaena*
- 27 juni: 100% *Anabaena* (250 miljoen cel/ml)
- 18 aug.: 49% *Pseudoanabaena*, 42% *Planktothrix*, 5% *Anabaena*, 4% *Aphanizomenon*
- 1 sept.: 67% *Planktothrix*, 28% *Pseudoanabaena*

Samengevat:

- Veelal filamenteuze soorten (*Pseudoanabaena*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*)
- Veelal drijfblaagvormers (*Pseudoanabaena*, *Anabaena*, *Microcystis*, in mindere mate ook *Aphanizomenon* en *Planktothrix*)
- Veelal toxineproducenten (*Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Planktothrix*, *Microcystis*)
- Veelal stikstoffixeerders (*Pseudoanabaena*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*)
- *Microcystis*, veel voorkomend in diepe plassen in west Nederland, komt sporadisch voor.

3.5 Bodemchemie (sulfaat en ijzer)

In een diepe plas zal veel organisch materiaal in de zomer sedimenteren. Afhankelijk van de chemische omstandigheden zal dit begraven kunnen worden en zo uit de ecologische kringloop verdwijnen. Deze mate van 'retentie' hangt onder andere af van het ijzergehalte in de waterbodem en het zuurstofgehalte. Afbraakprocessen in het hypolimnion kunnen de waterbodem periodiek anoxisch maken. In diepe plassen met matige tot hoge belasting in West-Nederland is dit vrijwel overal het geval. Daarnaast speelt sulfaat een grote rol in het mobiliseren van gebonden fosfaat uit de waterbodem. Fosfaat is in oxische omstandigheden gebonden aan ijzer, voor zover aanwezig. Sulfaat bindt echter ook aan ijzer tot ijzersulfide. Dit gebeurt onder zuurstofloze condities. Daarbij komt fosfaat weer vrij. Als er weinig ijzer in het systeem aanwezig is, kan zelfs onder oxische omstandigheden er toch nog fosfor uit de bodem mobiliseren, vooral als sulfaathoudend grondwater toetreedt. De combinatie veel sulfaat, weinig ijzer, weinig zuurstof zal zo resulteren in weinig retentie van fosfaten in de waterbodem. In 5.5.3 is de retentie berekend van de Ouderkerkerplas.



Figuur 3-25; Relatie sulfaat – fosfaat (uit B-ware 2009).

Sulfaat heeft ook effect in de ondiepe zones. Het bindt zich in eerste instantie aan organisch materiaal (bv. oud veen op de bodem) waarbij sulfides worden gevormd, die giftig zijn voor planten(wortels). Bij de anaerobe reductie van sulfaat (dus bij afbraak van organisch materiaal) wordt naast sulfide ook carbonaat gevormd (B-ware 2009), waardoor de alkaliniteit in sulfaat belaste wateren toeneemt. Onderzoek in diverse wateren heeft uitgewezen dat er een bijna lineair verband is tussen de concentratie sulfaat en beschikbaar fosfaat (Figuur 3-25). In brakke wateren worden vaak hoge sulfaatconcentraties gevonden in combinatie met hoge

fosfaatconcentraties. Sulfaat heeft dus twee negatieve effecten op de ecologie: mobilisatie van fosfaat en vorming van giftig sulfide.

Zuurstof injecteren nabij de bodem (installatie aangelegd door Nuon in 2009) maakt het systeem minder gevoelig voor de eutrofiërende rol van sulfaat. Het grondwater voert ook sulfaat aan, maar in de spaarzame metingen blijken de gehalten sterk uiteen te lopen. Het is nog onduidelijk of het zuurstofhoudend maken van de bodem, het vrijmaken van fosfaat geheel of slechts gedeeltelijk tegengaat. Dit zal sterk afhangen van de hoeveelheid ijzer die in de waterbodem beschikbaar is (Lucassen e.a. 2008). De onderzoeksfase van het koudewinningsproject in de Ouderkerkerplas zal meer inzicht geven in de effecten van zuurstofinjectie.

3.6 Conclusies Chemie en fytoplankton

3.6.1 Karakterisering plas

Vooraf de laatste vijf jaar zijn de winter- en voorjaarsgehalten van fosfaat erg hoog, een teken dat het hypolimnion na opmenging in de winter veel fosfaat toevoegt aan het totale watervolume. Er is geen reden om aan te nemen dat de invloed van het grondwater of andere bronnen in korte tijd veel groter is geworden, waardoor hier toename van chemische nalevering door de waterbodem waarschijnlijk een rol zal spelen. De sulfaatgehalten in het inlaatwater en in de plas zijn hoog, en dat verhoogt de potentie tot fosfaattnalevering vanuit de waterbodem.

Totaal stikstof is jaarrond stabiel en niet erg hoog. In het begin van het jaar bestaat dit voor een groot deel uit nitraat, en de rest van het jaar zit alle stikstof in organisch materiaal. De beschikbare hoeveelheid nitraat + ammonium is in de winter al niet hoog, en raakt in het voorjaar al uitgeput doordat het door biomassa (algen) wordt opgenomen. Dat is te zien aan de chlorofylconcentraties die in het voorjaar toenemen en vervolgens in mei/juni weer dalen als gevolg van sedimentatie van de algen. Er is dan nog wel fosfaat aanwezig, maar voor algen direct opneembaar stikstof is op. Het is echter niet zo dat het gebrek aan stikstof een sterk remmende werking op de groei van algen uitoefent. De biomassa hoogzomer wordt onder andere gedomineerd door de blauwalgen *Pseudoanabaena*, *Anabaena*, en *Aphanizomenon*. Deze geslachten kunnen atmosferisch stikstof opnemen (stikstoffixatie), waardoor het gebrek aan nitraat en ammonium weinig effect sorteert op de algenbiomassa. Daarnaast zijn *Planktothrix* en in mindere mate *Microcystis* in de plas aanwezig die geen stikstof kunnen fixeren. Als bij gelijkblijvende vrachten van fosfaat de beschikbare hoeveelheid stikstof zou toenemen, dan is er een goede kans dat met name de *Microcystis*-populatie daar wel bij zou varen.

Midden in de zomer is de algengroei in de plas gelimiteerd door de actuele belasting van fosfaat. De actuele belasting is dan kleiner dan (of gelijk aan) wat de biomassa nodig heeft voor optimale groei. Er zit overigens wel een vertraging in de effectiviteit van lage fosfaatconcentraties omdat blauwalgen een voorraad fosfor aan boord hebben die genoeg is tot 4 celdelingen (Pires 2007). Fosfaatuitputting leidt zo niet direct tot vermindering van de groei. Totaal fosfor en chlorofyl nemen toe in de periode dat ortho-fosfaat op lijkt. Alle fosfaat dat (m.n. via inlaatwater) binnenkomt wordt per direct opgesoupeerd door blauwalgen.

Het is niet te kwantificeren in hoeverre er sprake is van een effectieve limitatie. Het via stikstoffixatie genereren van biomassa is energetisch ongunstig wat leidt tot lagere groeisnelheden (in vergelijking met een situatie waarin voldoende ammonium

en nitraat voorhanden is), maar toch zijn er hoge biomassa's blauwalgen aanwezig. De lage fosfaatgehalten in de zomer zullen waarschijnlijk de groeisnelheden ook hebben doen afnemen.

Bovenstaande is een veralgemenisering waarin de invloed van de meteorologie buiten beschouwing wordt gelaten. In de praktijk zijn in een diepe plas vaak ook voorjaarsbloeien van blauwalgen aanwezig. Bij gebrek aan gegevens is onbekend hoe vaak dit in de Ouderkerkerplas voor komt.

3.6.2 Schets in historisch perspectief

In 1982 is begonnen met de metingen in de plas. In de zomers van 1982 en 1984 was relatief veel ortho-fosfaat aanwezig, maar niet extreem veel biomassa. Het systeem lijkt stikstof gelimiteerd. Stikstof ligt rond 1 mgN/l, en bijna alle stikstof zit in organisch materiaal. De plas is dan ruim tien jaar oud. Het doorzicht is 2 tot 3 meter. Niet extreem hoog voor een diepe plas, maar wel voldoende. Door de jonge leeftijd van de plas is de waterbodem nog schoon zand.

In 1986 wordt de eerste zuurstofloosheid bij de waterbodem waargenomen. In 1987 en 1988 zijn de oevers ecologisch heringericht en is de plas uitgebreid met een recreatiegebied (zie 1.3). De uitbreiding heeft tot gevolg gehad dat en (1) 30.000 m³ deklaag (veen en klei) in de put is gestort, en dat (2) een maaiveldophoging is uitgevoerd van een mengsel van zand en diezelfde deklaag. De maaiveldophoging is gedraineerd en watert in theorie niet op de plas af, maar de onderhoudsfrequentie is te laag om dat door de decennia heen zeker te stellen.

Dat deze werkzaamheden, in combinatie met de periodieke zuurstofloosheid, voor een verhoging van de belasting hebben gezorgd is aannemelijk, maar zonder bodemanalyses moeilijk te kwantificeren temeer omdat er ook een geringe maar fosfaatrijke grondwaterinflux plaatsvindt. In 1987 is het doorzicht onder 2 meter geraakt. Dit zou een tijdelijk gevolg van het werk kunnen zijn, want het doorzicht loopt t/m 1992 weer op naar 3 meter.

In de winters vanaf 1990 lopen de fosforgehaltes snel op en dat blijft doorgaan. Dat wil zeggen dat uit het hypolimnion (chemie waterbodem influx grondwater) en/of door uitspoeling van de percelen en/of door overwinterende watervogels, de plas elk jaar meer opgeladen raakt met fosfor. Elk voorjaar komt meer fosfor voorhanden, grotendeels in de vorm van fosfaat. Chlorofyl loopt langzaam maar zeker op, en lijkt in het voorjaar in bedwang gehouden te worden door stikstoflimitatie en in de zomer door fosforlimitatie. In de winter lopen de beschikbare stikstof-fracties niet erg hoog op. Zowel in de zomer als in de winter is er geen grote beschikbare hoeveelheid opgelost stikstof. Opvallend is dat vanaf 1989 (110 mg/l) en 1990 (130 mg/l) sulfaat in de plas erg hoog is, hoger dan het inlaatwater (80 mg/l). Er kan geen directe relatie met de stort van de deklaag gelegd worden omdat voordien geen metingen zijn uitgevoerd. Vanaf die periode daalt de sulfaatconcentratie naar de huidige waarde (70 mg/l), en dat is vergelijkbaar met het inlaatwater.

Tussen 2000 en 2003 zijn geen metingen beschikbaar, maar in 2004 is de situatie als volgt: gehalten fosfor en fosfaat zijn verder opgelopen (0,07 mgP/l P-totaal in de zomer, 0,12 mgP/l P-totaal in de winter), en fosfaat is limiterend vanaf juni. Het doorzicht is gedaald tot onder de 2 meter, en stikstof is vrij stabiel gebleven (1,2 mgN/l). In 2005 en 2006 is niet gemonitord, maar in 2007 – 2009 is de situatie verder verslechterd. Fosfor is hoog (0,11 mgP/l P-totaal in de zomer, 0,17 mgP/l P-totaal in de winter), en fosfaat is limiterend vanaf juli - augustus. Stikstof is ook wat hoger (1,5 mgN/l), doorzicht is afgenomen tot 1 tot 2 meter.

De chemische verslechtering qua nutriënten is in 1990 is ingezet. Dit heeft niet direct geleid tot (blauw)algenbloeien. Vanaf 2000 is het systeem achteruit gegaan, wellicht ook door de opkomst van (stikstoffixerende) blauwalgen gezien de verandering in pH. De zomer-pH is tot 1999 vrijwel stabiel rond 8.6, en in 2007 – 2009 is de pH zomergemiddeld > 9. Juist blauwalgenbloeien gaan gepaard met een hogere pH. Doordat het hypolimnion naar verwachting steeds eerder en over een groter volume anoxisch wordt, zal dit het vrijkomen van fosfaat uit de bodem stimuleren. De plas is zo in een zichzelf versterkende spiraal beland.

In hoeverre is het knikpunt aan de herinrichting/uitbreiding van 1987 en 1988 te koppelen? De plas heeft rond 1990 een omslag gemaakt van een schone plas met lage nutriëntgehalten naar de hoge concentraties die het nu heeft. Er is niet een directe relatie in de tijd te leggen omdat de snelheid van de chemie in de waterbodem en in de opgebrachte grond niet bekend zijn. Binnen de periode van 1987 - 1988 is niet bekend wanneer wat is uitgevoerd. Het effect van de twee invloeden (storten en maaiveldophoging) is niet helemaal los van elkaar te trekken, maar het is aannemelijk dat de stort een veel grotere invloed heeft gehad dan de (gedraineerde) maaiveldophoging.

De initiële daling (of niet directe stijging) van jaarrond hoge fosforconcentraties in 1988 – 1990 kan met het volgende te maken hebben:

- In de zomers wordt pas na een aantal jaar hogere concentraties gemeten:
 - In winterperiode, met altijd een neerslag overschot, is in 1990 een trendbreuk ingezet (Figuur 3-5). De verhoogde concentraties in de winter worden in het voorjaar in biomassa omgezet. Aangezien de belasting nog niet heel groot is blijft chlorofyl in die zomers nog vrij laag, maar de al aanwezige stijgende trend zet door. De biomassa bezinkt in het voorjaar. In die periode neemt de afspoeling af (verdampingsoverschot) en wordt de naleverende waterbodem via stratificatie chemisch geïsoleerd van de toplaag waar de monsternamen plaatsvindt.
 - Uitspoeling was in 1989 – 1991 gering vanwege gemiddeld weinig neerslag (677 mm), tegen juist een natte periode 1992 (vanaf eind augustus) – 1994 (983 mm).
- In 1986, dus een jaar voor de aanleg van het recreatiegebied, is de eerste langdurige en vrijwel volledige zuurstofloosheid bij de bodem gemeten. Vanaf 1986 is de waterbodem jaarlijks een periode zuurstofloos door mineralisatie van organisch materiaal. Dit is een aanjager voor nalevering van fosfaat uit de waterbodem.
- De rol van sulfaat is onduidelijk. In de plas was sulfaat vanaf 1989 extreem hoog, en hoger dan het inlaatwater. Voor die periode is niet gemeten.
- Tijdens het storten kan organisch materiaal juist fosfaat adsorberen, waarna het bij de (periodiek) zuurstofloze bodem weer vrij kan komen. Bij de herinrichting Klinkenbergerplas is een dergelijk fenomeen waargenomen waarbij initieel de fosfaatconcentratie afnam, maar later weer toenam.

3.6.3 Koelwater

In de Ouderkerkerplas wordt sinds de zomer van 2010 door Nuon koelwater onttrokken en geloosd. In 2010 wordt in het hypolimnion geloosd, vanaf 2011 zal de lozing in het epilimnion plaats vinden. Er wordt nabij het sediment zuurstof toegediend om te voorkomen dat de waterbodem anoxisch wordt. In het optimale

geval kan zo de waterbodem als fosfaatbron opdrogen waardoor het ingenomen en dus ook het geloosde water een lager fosforgehalte zal hebben dan vóór 2010 in het hypolimnion aanwezig was. Dit zal een positief effect op de waterkwaliteit hebben zolang het koelwater onder de spronglaag geloosd wordt. De voorjaarconcentraties zullen namelijk lager worden terwijl nauwelijks invloed op de zomerbelasting van het epilimnion verwacht wordt. In combinatie met maatregelen die de actuele belasting in het groeiseizoen verminderen kan dit significant positief effect op de waterkwaliteit sorteren. Indien in het epilimnion geloosd wordt zal hierdoor vooral in het groeiseizoen (omdat het geloosde debiet dan het hoogste is) de belasting in de eufotische zone toenemen. Het lozingswater zou een hogere ammonium- en nitraatbelasting kunnen krijgen waardoor er een populatieverschuiving binnen de blauwalgen plaatsvindt ten nadele van dominantie van de stikstoffixeerders. De lozing beïnvloedt de stratificatie, het epilimnion zou dikker kunnen worden afhankelijk van hoe en waar de lozing plaats vindt. Het netto effect van deze veranderingen op de algensamenstelling en totale biomassa is onbekend. De impact van de koelwaterlozing wordt in dit onderzoek alleen waar nodig aangestipt maar niet uitgewerkt. De onderzoeksfase van het koudewinningsproject zal hier meer inzicht in geven. Zie ook B-ware 2010.

4 Vegetatie en vis

4.1 Vegetatie

4.1.1 KRW scores

De Ouderkerkerplas met doeltype M20 (matig grote diepe gebufferde meren) scoort “slecht” op de ecologische maatlat van de KRW. Van de biologische kwaliteitselementen scoort de vegetatie het laagst (0,11 categorie slecht in meetjaar 2006, Altenburg & Wymenga 2007). Maar ook de scores van macrofauna en in mindere mate fytoplankton zijn ver onder de norm. Vis scoort wel boven de norm. De vegetatie scoort zo slecht omdat er nauwelijks vegetatie wordt aangetroffen. Eigenlijk alleen wat schedefonteinkruid en dwergkroos. Overigens is uit onderzoek gebleken (Waterproef 2008) dat er meer soorten waterplanten in de plas voorkomen. Echter dit beïnvloedt de KRW score niet merkbaar omdat deze soorten in zeer lage dichtheden voorkomen en waarschijnlijk niet zouden worden aangetroffen bij de voor een KRW-beoordeling voorgeschreven meetinspanning.

De KRW norm voor het chloridegehalte van 200 mg/l is niet haalbaar, zeker niet zolang brak water uit polder groot Mijldrecht wordt ingelaten (zie 5.4.1). Tabel 4-1 toont de huidige scores van de Ouderkerkerplas met daarbij de verwachting voor 2015 en het Goed Ecologisch Potentieel (GEP) voor M20 wateren.

Maatlat	Huidige situatie	Verwachting 2015	GEP	Toelichting
Macrofauna (EKR)	0,26		0,5	G3
Overige waterflora (EKR)	0,11		0,51	G2
Fytoplankton (EKR)	0,31		0,6	G1
Vis (EKR)			0,53	G3
Totaal fosfaat (zomergemiddelde) (mg P/l)	0,11		0,03	G1
Totaal stikstof (zomergemiddelde) (mg N/l)	1,52		0,9	G1
Chloride (zomergemiddelde) (mg Cl/l)	775		200	G1
Temperatuur (maximum waarde) (°C)	20,67		25	G1
Doorzicht (zomergemiddelde) (Meter)	0,82		1,7	G1
Zuurgraad (zomergemiddelde) (-)	8,97		6,5-8,5	G1
Zuurstofverzadiging (zomergemiddelde) (%)	102		60-120	G1

Legenda: ■ slecht ■ ontoereikend ■ matig ■ goed ■ zeer goed

Tabel 4-1; KRW Score Ouderkerkerplas. Kleine cursieve waarden zijn gedateerd (Waternet 2009).

4.1.2 Waterplanten



Figuur 4-1; Bedekking van submerse waterplanten met diepte, 2007&2008.

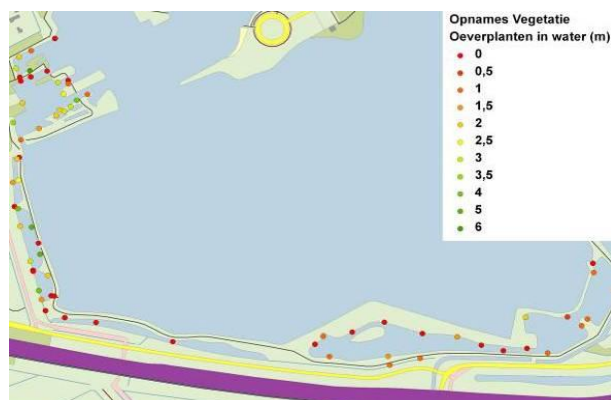
locaties zijn submerse waterplanten aangetroffen. Figuur 4-1 toont de locaties waar in 2007 en 2008 de bedekking van waterplanten is onderzocht. Op 59 van 89 locaties zijn geen submerse waterplanten aangetroffen. De hoogste bedekking wordt gevonden in de ondiepere ecologisch ontworpen randmeertjes. Toch worden er ook nog hier en daar waterplanten aangetroffen op de steil aflopende en diepe zones van

In 2006 is onderzoek gedaan naar de waterplanten en oevervegetatie in de plassen van het AGV-gebied (Altenburg en Wynema 2007). In 2007 en 2008 zijn nog aanvullende metingen gedaan door Waterproef (Wil Leurs) aangezien niet alle ondiepe zones waren onderzocht op waterplanten. De resultaten van deze recente onderzoeken geven een eenduidig beeld dat de submerse vegetatie nauwelijks tot niet ontwikkeld is. Slechts op enkele van de onderzochte

de centrale plas. Het gaat hier in vrijwel alle gevallen om *Potamogeton pectinatus*, schedefonteinkruid. Deze waterplant strekt z'n lange smalle bladen vaak uit tot aan het oppervlak, waardoor hij ook goed gedijt in troebel water. Tevens is deze soort zeer zouttolerant. Naast schedefonteinkruid worden maar een paar andere soorten aangetroffen. Ook hier gaat het dan voornamelijk om soorten die tot aan het oppervlak komen of drijven zoals *Potamogeton pusillus* (tenger fonteinkruid) en *Lemna minor* (klein kroos). De enige minder algemene soort die is aangetroffen is *Najas marina* (groot nimfkruid). Ook is in 2008 zittende zanichellia (*Zannichellia palustris subsp palustris*) aangetroffen op twee plaatsen, een brakwater-waterplant.

Gebrek aan doorzicht en/of te grote waterdiepte lijkt een voorname belemmerende factor voor ondergedoken waterplanten. Maar ook de brakheid is een factor van belang. Brakke wateren zijn in principe niet rijk aan waterplanten (diversiteit), al kunnen de soorten die er wel willen groeien hoge bedekkingen halen. Het chloridegehalte in de plas is in ieder geval te hoog voor kranswervelden zoals die bijvoorbeeld in de Vinkeveense Plassen voorkomen, maar een soort als aarvederkruid zou in principe (in ondiepe zones) sterk bedekkend kunnen zijn (Nagpal 1981). In de diepere randzones is het doorzicht soms meer dan een meter, maar in de ondiepe randmeertjes reikt het doorzicht meestal niet eens tot op de bodem. Ook vraat door grote aantallen watervogels (zie ook 4.3.5) kan een negatieve invloed hebben op het areaal waterplanten.

4.1.3 Oevervegetatie



Figuur 4-2; Breedte oevervegetatie zone in open water

In 2006 zijn op negen locaties de oevers van de Ouderkerkerplas beoordeeld op bedekkingsklassen en de breedte van het potentieel begroeibaar areaal. Hieruit blijkt dat gemiddeld over deze oevertrajecten het begroeibaar areaal 7 meter uit de oever bedraagt. De bedekkingsgraad echter slechts 10%. Ook de soortensamenstelling is in de oeverzones mager. Naast het dominante *Phragmites australis* (riet) worden ook wel lokaal

Glyceria maxima (liesgras) en *Bolboschoenus maritimus* (heen) waargenomen. Heen is een typische soort voor zeer voedselrijke grond.

Aangezien slechts op negen locaties opnamen zijn gemaakt, is in het veld een snelle inventarisatie gemaakt van de oevervegetatie (11/11/2009). Hierbij is op 66 locaties in de randmeertjes de breedte van de in het water staande oevervegetatie ingeschat (Figuur 4-2).



Figuur 4-3; Gemaaide oeverzone bij randsloot ZW-hoek.

Op 25 van 66 locaties staat geen vegetatie in het water, vaak bij scherpe oevers. Gemiddeld is de breedte van de vegetatiezone in het water 1,35 m. Dit terwijl hier de meerderheid van deze oevers als natuurvriendelijk te boek staat. Wel zijn er enkele oevers langs de randmeertjes met een drassige landzone waar dicht en hoog riet groeit. Deze zones worden om de paar jaar gemaaid om verjonging en de opkomst van nieuwe soorten te stimuleren (Figuur 4-3).

4.2 Vismigratie

Er is een reeds geformuleerde maatregel 'vismigratie' voor dit waterlichaam. Bron van die maatregel is de opname van deze plas op de vismigratieknelpuntenlijst uit de nota 'Aan de slag met Vismigratie' (Waternet 2008/2). In deze nota wordt de maatregel niet concreet onderbouwd. Om de noodzaak tot een vismigratiemaatregel te kunnen beoordelen is eerst in beeld gebracht voor welke soorten dat zou moeten gelden, via welke route en in welke richting. En afhankelijk daarvan is ingeschat of het al of niet faciliteren van vismigratie een toename van de ecologische kwaliteit in de Ouderkerkerplas of andere waterlichamen zal opleveren.

4.2.1 Bestaande visstand Ouderkerkerplas

Voor de KRW zijn in 2006 visbemonsteringen op de Ouderkerkerplas uitgevoerd. De resultaten daarvan zijn getoetst aan de maatlaten voor vis die gelden voor dit type (M20, zie Tabel 4-1). Vis is het enige biologische kwaliteitselement dat goed scoort in de Ouderkerkerplas, hetgeen onder meer wordt veroorzaakt door de aanwezigheid van relatief veel plantenminnende vis. In absolute zin is er weinig biomassa vis op de Ouderkerkerplas aangetroffen. Naast de algemene soorten brasem en snoekbaars komt plantenminnende vis voor (zeelt, ruisvoorn). De soortensamenstelling wijkt enigszins af van de andere diepe plassen rond/in Amsterdam. Het is iets soortenrijker. Opvallende soorten zijn spiering en kleine modderkruiper, beide soorten die meestal niet in diepe plassen worden

Gilde	Vissoort	Sloterplas	Gaasperplas	Ouderkerkerplas	Noorder Lj. plas	Vaarten in Amsterdam	Sloten Dui-vendrecht	Gewogen gemiddelde v. A dam
Eurytoop	Alver	-	-	-	-	0,0	-	0,0
	Baars	6,9	3,8	0,6	1,7	5,0	40,3	5,5
	Blankvoorn	13,4	1,9	0,1	0,8	6,5	174,6	8,7
	Brasem	24,1	2,0	16,8	35,4	25,8	5,8	25,5
	Driedoornige stekelbaars	-	-	0,0	-	-	-	-
	Karper	12,1	-	0,0	7,2	4,1	0,9	4,1
	Kleine modderkruiper	-	0,1	0,0	-	-	-	-
	Kolblei	0,7	0,0	0,0	0,4	0,6	-	0,6
	Paling of aal	1,2	2,6	0,3	15,0	0,7	-	0,7
	Pos	0,9	0,3	0,1	0,0	0,1	-	0,1
	Snoek	1,4	2,2	0,3	4,5	-	138,8	1,8
	Snoekbaars	3,0	1,6	1,3	0,9	3,8	-	3,7
	Spiering	-	-	0,0	-	0,0	-	0,0
	Bittervoorn	-	-	-	-	-	1,3	0,0
Limnofiel	Bot	-	-	-	-	0,0	-	0,0
	Kroeskarper	-	-	-	-	-	9,3	0,1
	Ruisvoorn	-	0,3	0,2	0,9	-	5,3	0,1
	Zeelt	-	0,0	1,2	1,0	-	4,9	0,1
Rheofiel	Rivierdonderpad	-	-	-	-	0,0	-	0,0
	Winde	-	-	-	-	0,0	-	0,0
Totaal		63,7	14,8	20,9	67,8	46,6	381,2	51,0

0,0 : < 0,05 kg/ha; - : geen exemplaren aangetroffen

Tabel 4-2; Aangetroffen vissoorten in Amsterdam 2006 (Ouderkerkerplas in 3de kolom) .

aangetroffen. Mogelijk migrerende soorten zijn aal, spiering en driedoornige stekelbaars. Van spiering is echter bekend dat die op sommige wateren residente populaties kan vormen, waarbij de spiering zich voortplant zonder (zoals normaal) naar andere wateren te migreren. Dit geldt ook voor de driedoornige stekelbaars, die op de Ouderkerkerplas voorkomt, maar die de plas (misschien) niet uit kan, doch zich wel kan handhaven. Niet migrerende spieringen en stekelbaarzen zijn vaak veel kleiner dan wel migrerend. De palingstand is zeer laag. Dit wijst op een slechte intrek van glasaal (of op een goede uittrek van schieraal, maar dat is niet erg waarschijnlijk). Snoek komt wel voor, maar in lage dichtheden. Doordat brasem en snoekbaars dominant zijn en er weinig snoek voorkomt, toont de Ouderkerkerplas kenmerken van het zogenaamde snoekbaars/brasem type dat meestal op geutrofiëerde ondiepe plassen wordt aangetroffen (maar dan gewoonlijk met hoge biomassa). Het voorkomen van zeelt en ruisvoorn is daarmee in tegenspraak, zodat er eigenlijk sprake is van twee typen, een op de diepe plas (brasem/snoekbaars/spiering/baars) en een type in de luwe oeverzones (zeelt, ruisvoorn, kleine modderkruiper).

4.2.2 Bestaande visstand Bullewijk & vergelijking

De in 2006 aangetroffen vissoorten in de Bullewijk uit het KRW monitoringsprogramma van Waternet zijn (in kg/ha):

- aal (1,3)
- alver (0,2)
- baars (1,2)
- blankvoorn (0,1)
- brasem (140,3)
- karper (1,7)
- kolblei (0,6)
- pos (0,3)
- snoekbaars (25,4)

Als er migratiebehoefte bestaat tussen Ouderkerkerplas en de boezem (Bullewijk) moet dat blijken uit de visgemeenschap. Anders gezegd, als er vissoorten op de Ouderkerkerplas leven die voor het voltooien van hun levenscyclus de plas ongeschonden moeten kunnen verlaten, dan is er sprake van migratiebehoefte. Andersom kan het ook zo zijn dat de plas van eminent belang is voor het voltooien van de levenscyclus van vissoorten die op de boezem leven. Dan moeten dergelijke soorten dus aanwezig zijn én moet de Ouderkerkerplas habitat toevoegen wat elders in/langs de Amstelboezem niet aanwezig is.

De aangetroffen soorten (behalve de aal) op de Bullewijk zijn allen eurytoop, dwz. hebben geen specifieke voorkeur voor een bepaald watertype en zijn niet migrerend. Vergelijking met de visstand van de Ouderkerkerplas laat zien dat de visstanden geen sterk verband met elkaar houden (de spiering en de driedoornige stekelbaars worden niet op de boezem aangetroffen, wel op de plas). Inzoomend op de aalstand is te zien dat die laag is, zowel in de plas als op de boezem. Dus de Ouderkerkerplas vormt een relatief onbelangrijk water voor schieraal, en dat is ook te verwachten. Immers aal groeit het best in ondiepe voedselrijke wateren. De enigszins vergelijkbare NoorderIJ-Plas vertoont echter wel een grote aalstand, maar daar is de veel betere glasaalintrek vanuit het Noordzeekanaal waarschijnlijk debet aan. Uit onderzoek (+ mondelinge mededelingen Arjan Kikkert, RWS en Martin Melchers, gemeente Amsterdam) is

inmiddels het beeld naar voren gekomen dat glasaal bij IJmuiden nog redelijk talrijk binnenkomt, maar dat niet veel van die glasaal het water achter Amsterdam bereikt.

Deze gegevens beschouwend, kan in beginsel worden gesteld dat er geen sterke migratiebehoefte is van de Bullewijk naar de Ouderkerkerplas. Wel zal het zo zijn dat via inlaatwater vislarven (bijvoorbeeld van snoek) in de Ouderkerkerplas geraken. Deze zogenaamde passieve migratie is doorgaans geen probleem en zolang er water wordt ingelaten vindt die plaats. Bij het eventueel stoppen van de waterinlaat kan dat op termijn een klein effect hebben op de visstand van de Ouderkerkerplas.

4.2.3 Migratiestructuur en obstakels

Het inlaatwater uit de Bullewijk stroomt via een tamelijk kleine sloot (zuidwestzijde Ouderkerkerplas) naar de Ouderkerkerplas (zie Figuur 1-4) daarbij enkele duikers en een overstort passerend. Vislarven kunnen deze route passief volgen met de waterstroom en dat zal ongetwijfeld in bepaalde tijden van het jaar ook gebeuren. Grotere vissen kunnen omgekeerd deze route tot de Bullewijk niet nemen en kunnen niet de Bullewijk bereiken. Hoewel er in principe een lokkende stroom aanwezig zou kunnen zijn (Bullewijkwater dringt de Ouderkerkerplas binnen), is deze route rijk aan obstakels die migratie verhinderen en is de watergang smal. Er is wel grotere vis in waargenomen.

De (water)route de plas uit is lang en loopt via eveneens smalle slootjes en tal van bochten en duikers naar de hoofdstroom voor gemaal Nieuwe Bullewijk. Dit gemaal maalt het water weer uit op de Bullewijk. Deze route is ongunstig (maar niet onmogelijk) voor vismigratie vanwege de vele duikers. Het gemaal is niet visvriendelijk. Het visvriendelijk maken van dit gemaal is bij renovatie verplicht, maar zal relatief weinig bijdragen aan meer migrerende vissen naar de Amstelboezem of de Noordzee.

4.3 Conclusies Vegetatie en vis

Ondergedoken vegetatie in- en rond de Ouderkerkerplas scoort zowel op kwantiteit als kwaliteit slecht. Slechts op enkele plaatsen worden waterplanten aangetroffen. Het gaat hier dan ook nog in de meeste gevallen om één soort, *Potamogeton pectinatus*. Gebrek aan doorzicht en/of de grote populatie watervogels vormen mogelijke belemmeringen voor de ontwikkeling van waterplanten door directe vraat. Met de oevervegetatie is het iets minder slecht gesteld. Bij de randmeertjes zijn hier en daar natuurvriendelijke oevers aangelegd wat resulteert in een smalle band van gemiddeld 1.35 meter oevervegetatie in het water, overwegend riet. Aan de steile oevers van de plas zelf staat veel minder vegetatie. In beide gevallen wordt het potentiële areaal aan oevervegetatie lang niet gehaald. Oorzaken hiervoor zijn waarschijnlijk de vraat van jonge rietscheuten door ganzen en voor de diepere delen het doorzicht. Daarnaast komen door het starre waterpeil weinig zaden op drooggevallede oevers tot ontkieming. De soortensamenstelling bestaat voornamelijk uit riet (*Phragmites australis*), maar meerdere andere soorten zorgen wel voor enige variatie. Op drassige stukken land aangrenzend aan de oevers komen ook andere soorten oeverplanten voor zoals rietzwenkgras (*Festuca arundinacea*), pitrus (*Juncus effusus*) en harig wilgenroosje (*Epilobium hirsutum*). Deze stukken worden door Groengebied Amstelland door middel van maaien onderhouden.

Er zijn in absolute zin maar weinig vissen die in of uit de Ouderkerkerplas zouden willen migreren, en dat nu niet kunnen. Dat ligt voor een diepe lichte brakke plas (omgeven door zoeter ondiep water) met relatief weinig geschikt vishabitat, ook niet voor de hand. De Ouderkerkerplas kan eigenlijk (vanuit de vis) worden beschouwd als een op zichzelf functionerend systeem dat geen (extra) verbinding behoeft vanuit vis. Er zijn op de Ouderkerkerplas drie vissoorten aangetroffen die in potentie (brak/zoet) migrerend zijn, te weten de aal, de driedoornige stekelbaars en de spiering. Van deze drie valt de spiering af, omdat de infrastructuur van de plas qua aanvoer en afvoer niet geschikt is voor spiering. Spiering is een soort die zich niet in slootjes waagt. De driedoornige stekelbaars kan waarschijnlijk goed het gemaal passeren doordat het visje zo klein is. Ook kan de soort de plas (kennelijk) goed binnenkomen. Een obstakel voor de driedoornige stekelbaars zou in de afvoerroute kunnen zitten, waarbij overstorten/stuwtjes stroomafwaarts gepasseerd moet worden. Het is niet duidelijk of dat voor deze soort een probleem is, mogelijk niet. De aal komt in erg lage dichtheden voor zodat er voor deze soort eigenlijk geen knelpunt is. Er wordt ook geen knelpunt verwacht vanwege het grote oppervlak aan diep water dat geen optimaal leefgebied voor aal is.

5 Waterbalans en belasting van chloride en fosfor

De kwantitatieve systeemanalyse is uitgevoerd met een waterbalans waarmee chloride- en fosforbelasting berekend kan worden. De basis daarvoor is voor het KRW-proces gelegd in *oup7806smient.xls* (met daaraan gekoppeld *bakje1_oup.xls*), d.d. 10/09/2007. De resultaten hiervan zijn beschreven in de *Watersysteembeschrijving Ouderkerkerplas* (Waternet 2007). Daarna is ten behoeve van de KRW een verdere analyse uitgevoerd in *KRW-detailuitwerking voor het waterlichaam Ouderkerkerplas* (Waternet 2008). In voorliggende analyse is gebruik gemaakt van de opzet van balansen die standaard binnen Waternet worden gebruikt³.

5.1 Aanpassingen t.o.v. eerdere balansversies

Zowel wat betreft de waterbalans als de belastingen door chloride en fosfor is een aantal aanpassingen in de spreadsheet doorgevoerd (naast het updaten van de dataset t/m oktober 2009).

Waterbalans:

- In- en Uitlaat. Na locatiebezoek met peilbeheerder is het gemodelleerde peilbeheer aangepast. Zie 5.2.1.
- Afstroming en watervraag peilgebied. Het Waternet-bakjesmodel is aangekoppeld en er is extra areaal toegevoegd. Zie 5.2.2.
- Neerslag. Er is een prioriteit aangebracht in het gebruikte neerslagstation. Zie 5.2.3.
- Verdamping. Voor verdamping is via uitgebreid vergelijkend literatuur- en spreadsheetonderzoek gekeken naar de meest geschikte methode voor verdamping uit een diepe plas. Zie 5.2.4.
- In- en Uitflux grondwater. De in – en uitflux van grondwater zijn kwalitatief en waar mogelijk gekwantificeerd (zie 2.6 en 5.2.5).

Input chloride (Cl) en fosfor (P):

- Cl&P Inlaat. Per jaar is een zomergemiddelde chloride- en fosforconcentratie gebruikt voor het inlaatwater (zie 5.3.1).
- Cl&P Influx grondwater. De chlorideconcentratie is een calibratieparameter, die binnen de range aan historische en recente meetwaarden in peilbuizen rondom de plas past (zie 2.8 en 5.3.4).
- N&P Vogels. Via vogeltellingen en literatuuronderzoek is de belasting door vogels op de plas berekend (zie 5.3.5).

Aan de uitvoerkant is een tab met de toelaatbare en excessieve belasting toegevoegd voor een aantal scenario's. Hierin is voor scenario's de analyse gemaakt worden of de actuele belasting een probleem vormt voor de waterkwaliteit (zie 5.5.3).

³ Het rekenblad is ontwikkeld door Maarten Ouboter.

5.2 Waterbalans

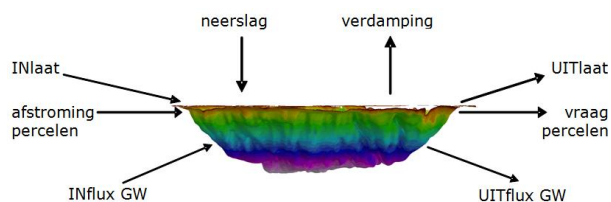
De waterbalans is samengesteld uit verschillende posten:

IN

- Inlaat
- Afstroming percelen
- Neerslag
- Influx van GW (grondwater)

UIT

- Uitlaat
- Watervraag percelen
- Verdamping
- Uitflux naar GW (grondwater)



Figuur 5-1; Schema waterbalans Ouderkerkerplas

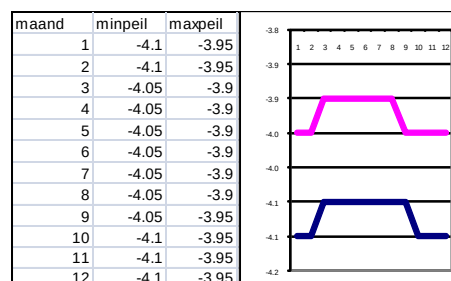
Daarnaast is er een post *Berging*, die zowel positief als negatief kan zijn. In de volgende paragrafen staan de verschillende balansposten beschreven.

5.2.1 In- en Uitlaat, Berging

De *In-* en *Uitlaat* zijn de sluitposten van de balans. Op dagbasis wordt bepaald of er een wateroverschot of een watertekort is. In eerste instantie wordt deze toegeschreven aan de post *Berging*. *Berging* is gedefinieerd als het verschil ten opzichte van het gemiddelde streefpeil NAP -4 m, uitgedrukt in mm of m³. Vervolgens wordt gekeken of met minimale of het maximale peil wordt onder- resp. overschreden. Indien dit het geval is wordt water ingelaten of uitgelaten. Het beheer, vertaald naar de balans, is gedestilleerd uit gesprekken met de beheerder⁴:

Winter: Bij een peil van NAP -3,95 m wordt water uitgelaten. In het uitzonderlijke geval dat het waterpeil uitzakt, wordt pas bij NAP -4,1 m water ingelaten. Er wordt namelijk vanuit gegaan dat natuurlijke aanvulling het tijdelijk uitzakken snel zal compenseren. **Zomer:** Vanaf maart wordt rekening gehouden met afname van het waterbezwaar in de komende periode. Dwz. dat het peil wat hoger op mag komen dan in de winter voordat wordt uitgelaten, nl. tot NAP -3,9 m. Vanaf een peil van NAP -4,05 m wordt water ingelaten. Aan het eind van de zomer wordt rekening gehouden met een komende natte periode, zodat in september het maximaal toegestane peil met 5 cm wordt verlaagd naar NAP -3,95 m.

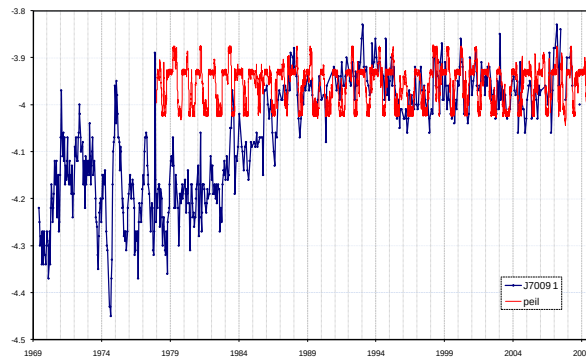
Kortom: door verdampingoverschot in de zomer en neerslagpieken in de winter zijn de peilen veelal NAP -4,05 m in de zomer en NAP -3,95 m in de winter. In voorjaar en herfst mogen daar (beperkte) uitschieters tussen zitten omdat geanticipeerd wordt op de komende seizoenswisseling. Dwz. dat in praktijk 10 cm flexibel peilbeheer aangehouden wordt.



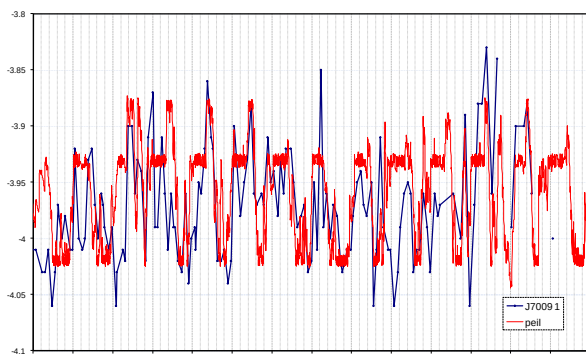
Tabel 5-1; Peilbeheer in het spreadsheetmodel van de Ouderkerkerplas

⁴ De beheerder is Co Straver

Bij de peilschaal aan de zuidkant naast de doorgang (bruggetje) naar de plas wordt het peil afgelezen. Het bruggetje naast de peilschaal is ook een kenmerk voor de beheerder. Bij zeer hoog water komt het waterpeil vrijwel tegen onderkant brug (nagerekend⁵: onderkant brug $\approx$ NAP -3,93 m, dus vrijwel ertegenaan is NAP -3,95 m). Volgens de beheerder is het in de afgelopen 15 jaar éénmaal voorgekomen dat het water tegen betonijzer in de brug kwam ($\approx$ NAP -3,88 m).



Figuur 5-2; Verloop stijghoogte in peilbuis direct ten oosten van de plas (J7009-1) en berekend plaspeilverloop.



Figuur 5-3; Zoom van Figuur 5-2.

Van de plas is geen historisch peilverloop bekend op basis van metingen. Wel zijn rond de plas peilbuizen aanwezig. Peilbuis J70009F (filter NAP -26 m) aan de oostzijde van de plas (zie Figuur 2-1) ligt op enkele tientallen meters van de plas en zal het plaspeil in grote mate volgen. Het zoals hierboven beschreven peilbeheer met een effectieve fluctuaties van 10 cm is (vooruitlopend op de resultaten van de balans) in Figuur 5-2 en Figuur 5-3 weergegeven samen met gemeten peilen in de peilbuis. Het berekende plaspeil in de figuur varieert van NAP -4,03 m tot NAP -3,93 m. Deze niveaus komen goed overeen met het nagestreefde peilverloop tussen circa en NAP -4,05 m en NAP -3,95 m. Er is geen aanleiding om het peilbeheer als calibratieknop te gebruiken. In de balans wordt NAP -4,05 m en NAP -3,95 m aangehouden.

Overigens is de oorzaak van de lagere grondwaterpeilen tot 1984 niet bekend. Vermoedelijk werd de plas op een lager peil beheerd. Het is opvallend dat juist in 1987, het jaar waarin de ecologische oeverzones en het recreatiegebied zijn aangelegd, de plas rond het huidige peil is gekomen.

Indien de marges van het peilbeheer worden overschreden, wordt water ingelaten of uitgelaten. De inlaat gaat via een tweetal duikers. De eerste duiker ($\Phi 20$ cm) loopt vanuit de Bullewijk in een 2.2 m lager gelegen toevoersloot en ligt volledig verdronken. Vanuit de toevoersloot stroomt het water via een overlaat en een duiker ($\Phi 30$ cm) met een verval van 1.4 m naar de Ouderkerkerplas.

⁵ Bij bezoek aan Ouderkerkerplas 15/10/2005 is het leesbare gedeelte van de peilschaal geëxtrapoleerd (zie *poging aflezen peilschaal Ouderkerkerplas 15102009.pptx*). Peil was -NAP -4,01 m. Waterpeil tot onderkant brug (83 mm) en tot betonijzer (126 mm) is opgemeten, waardoor het max-peil (bijna tot onderkant brug) en extreme hoogwaterpeil (tot betonijzer in de brug) in NAP-peilen vertaald kon worden.

De uitlaat gaat via een duiker met een verval van 0.5 m naar het naastgelegen peilvak. Met de weerstandsvergelijkingen uit het Cultuurtechnisch Vademecum (Cultuurtechnische Vereniging 1988: Deel V, Ontwerp en Uitvoering 1.1.6) zijn de maximale in- en uitlaatdebieten berekend, zie Bijlage 5.

De eerste duiker is beperkend voor het maximale inlaatdebiet. Volgens de beheerder staat bij

Inlaat van Bullewijk	Inlaat naar OKP	Uitlaat	
0.12	0.20	0.20	m ³ /s
10.0	17.4	17.1	1000 m ³ /d

Tabel 5-2; Berekende in- en uitlaatdebieten.

inlaatbehoefte de inlaat minimaal 24 uur geheel open. In de balans is de post *Inlaat* een calibratieparameter (zie 5.4.2).

De uitlaat staat in de praktijk vaak half open. In de balans is de post *Uitlaat* gelimiteerd op maximaal 17.100 m³/dag, en minimaal 8.700 m³/dag.

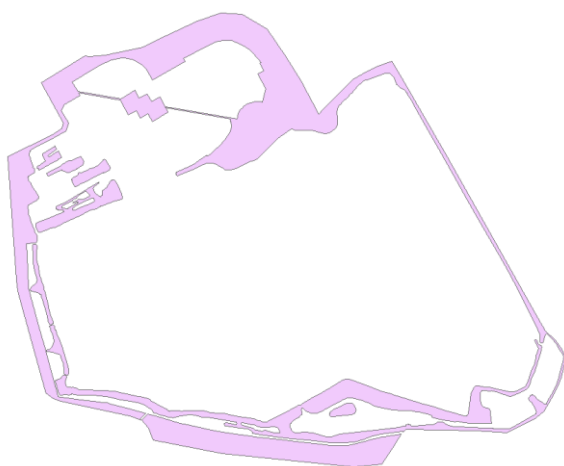
Over het peilbeheer, uit gesprek met beheerder⁶ en locatiebezoek:

- In een gemiddelde zomer (april t/m september) wordt nooit water uitgelaten.
- In een natte zomer wordt indicatief 10 dagen uitgelaten.
- In een natte zomer wordt hoogzomer ook niets uitgelaten.
- Op dagbasis hoogzomer bij mooi weer: debiet inlaat is orde grootte gelijk aan peilverlaging. Peilverlaging in warme periodes is nauwelijks 'bij te benen' met de inlaat.
- Per zomer wordt ongeveer 30 dagen ingelaten.

Deze items komen terug in de calibratie van de waterbalans, zie 5.4.

5.2.2 Afstroming en watervraag peilgebied

Het bij Waternet veel gebruikte 'bakjesmodel' is gekoppeld aan de waterbalans. Hiermee wordt wateroverschot en watervraag van omringend landoppervlak op dagbasis gemodelleerd. In dit geval is alleen een bakje 'onverhard' gebruikt. Het aangekoppelde oppervlak betreft volgens GIS de 179190 m², 20% van het totale oppervlak van het peilgebied. (Figuur 5-4).



Figuur 5-4; Afwaterend oppervlak tov. totaal oppervlak peilgebied volgens GIS.

valt dan de infiltratiecapaciteit van het perceel. Dan treedt oppervlakkige afstroming op. Aan de andere kant zijn ook delen die binnen het peilvak vallen gedraineerd, bv. de strandjes aan de noordzijde. Bovendien zal bij disfunctionerende drains water

Het opgehoogde recreatiegebied is een gedraineerd gebied, afwaterend op de polder De Nieuwe Bullewijk (zie Bijlage 2). Deze drains zijn na aanleg eind jaren '80 onderhouden rond 2000, en in 2009/2010. Dit is normaliter onvoldoende om een goede werking te garanderen. Afhankelijk van de grondsoort moet een drain regelmatig (indicatief: elke twee jaar) doorgespoeld worden om z'n werking te behouden. Bovendien heeft drainage beperkt effect bij piekbuien waarbij meer neerslag

⁶ Co Straver, Watersysteembediener Waternet

eerder oppervlakkig afgevoerd worden, waarna het alsnog via de sloten afgevangen wordt en niet in de plas terecht komt.

De inlaat van de plas loopt via een sloot parallel aan de snelweg. Het op de sloot afwaterende gebied is ongeveer 15.000 m². Dit gedeelte ligt hoger dan de plas. Het kan zodoende wel uitspoeling genereren maar geen water vragen van de plas. Het is wel meegenomen in het totale oppervlak. Overigens zit hier niet het oppervlak bij dat naar het zuiden afwatert onder de A9 door (zie 1.4). Het totale afwaterende oppervlak wordt zo 194.000 m². Alle bebouwde percelen rondom de plas vallen in een ander peilvak dan de Ouderkerkerplas.

In het bakjesmodel wordt een dagbalans van verschillende typen landoppervlak gemaakt op basis van 'bakjes'⁷. In het kort is het bakjesmodel een eenvoudig neerslag / afvoermodeel. Er wordt een balans opgesteld van alle in- en uitgaande posten in een perceel.

Het bakjesmodel is met één type bakje (nl. *onverhard zonder drain*) aan de balans gekoppeld met de standaardwaarden. Dwz. dat alleen neerslag, verdamping, maaiveldhoogte en oppervlakte zijn ingevoerd. Kwel/wegzijging is op nul gezet. Verdamping betreft makkink met gewasfactor 1 (gras). Maximum drainage naar de plas toe is 30% per dag. Watertekort in het bakje wordt aangevuld via een 15-daags gemiddelde van het dagelijkse tekort. De balans rekent net als het bakjesmodel op dagbasis.

5.2.3 Neerslag

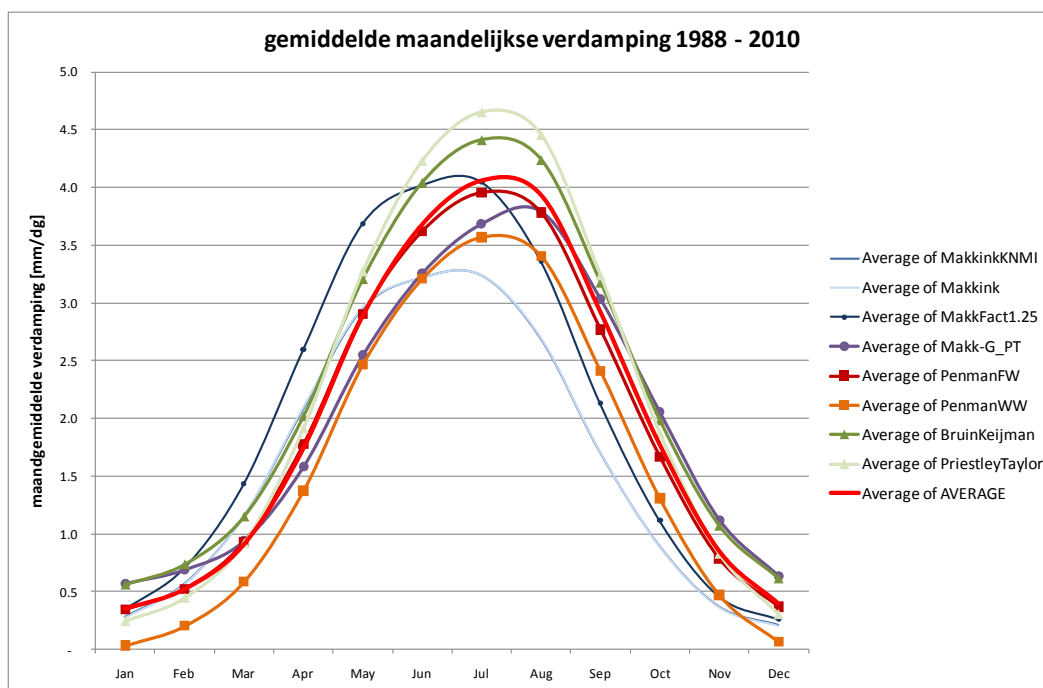
Voor neerslag zijn reeksen van Schiphol en Abcoude beschikbaar. De reeks van Schiphol is volledig, de reeks van Abcoude wat locatie betreft representatiever. Voor Abcoude is 1992 t/m 2009 beschikbaar met her en der ontbrekende dagen. In de balans wordt in eerste instantie Abcoude gebruikt. Bij een ontbrekende dagwaarde wordt de meting bij Schiphol gebruikt.

5.2.4 Verdamping

Zie Bijlage 6 voor een uitgebreidere beschrijving en achtergronden van de verschillende berekeningsmethoden voor verdamping. Hier de samenvatting.

Er is literatuuronderzoek gedaan waarbij berekeningsmethodes voor verdamping vergeleken zijn. Er is gezocht naar een alternatief voor de in Nederland standaard gebruikte methode Makkink voor verdamping. Deze methode is ontwikkeld voor gewasverdamping en niet erg geschikt buiten de zomerperiode, en niet geschikt voor open water. Belangrijk aspect voor een diepe plas is de energieopslag in de waterkolom. In de lente wordt deze watermassa opgewarmd als gevolg van de instraling door zonlicht. Deze opwarming komt niet ten goede aan verdamping. In de herfst gebeurt het omgekeerde: de opgeslagen energie in de plas levert als het ware verdamping na. Bij de methode Makkink wordt hier geen rekening mee gehouden. Die extra verdamping in de nazomer veroorzaakt een relevante beïnvloeding van de resultaten van de balans. Naast een goede modellering van verdamping van open water is de parametrisatie van de modellering van belang. De gemeten meteorologische invoergegevens moeten boven het wateroppervlak gemeten worden en dat is, zeker voor langjarige reeksen in binnenwater, niet het geval.

⁷ Het bakjesmodel is onderdeel van het eerder genoemde spreadsheetmodel wat hier is toegepast. Het rekenhart van het bakjesmodel is door Theo Olsthoorn in Matlab omgezet en gedocumenteerd (Olsthoorn 2009).



Figuur 5-5; De gemiddelde maandelijkse verdamping over 22 jaar met verschillende berekeningsmethoden. MakkinkKNMI is de referentie verdamping direct verkregen van KNMI. Makkink betreft berekende referentieverdamping uit meteorologische parameters. MakkFact1.25 is de de potentiële verdamping via een constante gewasfactor van 1.25. Makk-G-PT is de Makkinkverdamping gecorrigeerd voor bodemwarmteflux. PenmanFW is de berekende Penman open water verdamping geparametriseerd volgens de rapportages van Future Water. PenmanWW is de berekende Penman open water verdamping geparametriseerd in overleg met WaterWatch. BruinKeijman betreft de open water verdamping van De Bruin en Keijman. PriestleyTaylor betreft de open water verdamping volgens Priestley - Taylor.

In de Figuur 5-5 is per maand, en in Tabel 5-3 per kwartaal, weergegeven wat verschillende berekeningswijzen van verdamping over 22 jaar gemiddeld opleveren. De invloed van het meenemen van de bodemwarmteflux blijkt uit de verschuiving van maximale verdamping richting het najaar. Als grotere dieptes (h) worden gebruikt schuift de verdamping verder naar achter in het jaar, maar de totale jaarlijkse verdamping (oppervlak onder de curve) verandert nauwelijks.

	Average of MakkinkKNMI	Average of Makkink	Average of MakkFact1.25	Average of Makk-G_PT	Average of PenmanFW	Average of PenmanWW	Average of BruinKeijman	Average of PriestleyTaylor	Average of AVERAGE
1ste kwart	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.3	0.8	0.5	0.6
2de kwart	2.7	2.8	3.4	2.5	2.8	2.3	3.1	3.1	2.8
3de kwart	2.5	2.6	3.2	3.5	3.5	3.1	3.9	4.1	3.6
4de kwart	0.5	0.5	0.6	1.3	0.9	0.6	1.2	1.0	1.0
	1.6	1.6	2.0	2.0	2.0	1.6	2.3	2.2	2.0
mm/jr	588	590	735	727	713	581	828	802	730

Tabel 5-3; Kwartaalgemiddelde verdamping voor de 6 verschillende berekeningsmethoden (plus Makkink direct van KNMI dataset) voor verdamping.

Er is gebruik gemaakt van daggegevens van het KNMI om voor de periode februari 1988 tot heden de verdamping te berekenen. In de balans is de methode van Priestley en Taylor gebruikt. In de periode vóór februari 1988 is Makkink gebruikt met een constante gewasfactor van 1.25 bij gebrek aan gegevens om Priestley-Taylor te kunnen berekenen. In 5.5 staat het effect van de verschillende methoden op de waterbalans en de chloridecalibratie beschreven en wordt aangegeven waarom de methode van Priestley - Taylor is gebruikt.

Merk op dat de verdamping vanuit de percelen (bakjesmodel) wel met Makkink rekent, met een gewasfactor van 1 (gras).

5.2.5 In- en Uitflux grondwater

In 2.6 (Kwantificering grondwaterfluxen) en 2.8 (Conclusies Geohydrologie), is beschreven hoe het grondwatersysteem functioneert en dat de influx (uit het grondwater naar de plas) jaarrond naar verwachting ongeveer even groot is als de uitflux (uit de plas naar het grondwater). Er is op twee manieren berekend wat de vermoedelijke grootte van de fluxen is: 0.35 mm/dg of 0.44 mm/dg. Dit is als basis gebruikt voor de posten *In- en Uitflux grondwater*. Wel zijn deze fluxen door hun onzekerheid ook gebruikt bij de calibratie.

In 5.4 wordt aangegeven waar de posten *In- en Uitflux GW* op uit komen na calibratie.

5.3 Chloride en Fosfor

Voor chloride en fosfor zijn geen balansen gemaakt, maar hiervan zijn alleen de inkomende posten beschouwd. Aan de inkomende posten van de waterbalans zijn concentraties toegevoegd. Daarnaast is de belasting van vogels gekwantificeerd.

De concentraties worden opgelegd als een 'ondergrens' per balanspost, met daar bovenop een 'increment'. De som van de ondergrens en de increment bepaalt de maximaal te verwachten concentratie. In de Tabel 5-4 staat een samenvatting van de waarden, die in de volgende paragrafen toegelicht worden. De invloed van stratificatie is in het model niet meegenomen. Dat wil zeggen dat metingen in het epilimnion niet altijd representatief zijn voor de hele waterkolom, terwijl het model altijd van een volledig gemengde bak uitgaat.

	fosfor		chloride
	ondergrens	increment	
neerslag	0.04	0.02	6
influx GW	1.0	1.0	500
inlaat	tab P	0	tab Cl
percelen	0.25	0.25	40
vogels	tab Birds	50%	

Tabel 5-4; Opgelegde concentraties fosfor en chloride. 'Tab' slaat op een tabblad. Inlaatconcentraties komen uit een meetreeks, en de input van vogels is berekend.

5.3.1 Cl&P Inlaat

De kwaliteit van het inlaatwater uit de Bullewijk is gekoppeld aan gemiddelde meetwaarden in de Bullewijk nabij het inlaatpunt (BUL001). Zie tabs 'Cl' en 'P' in de balans. Omdat normaliter pas vanaf mei relevante hoeveelheden worden ingelaten, is voor het berekenen van de gemiddelde jaarlijkse inlaatconcentratie mei t/m september als inlaatperiode aangehouden. In 2006 is op BUL001 niet gemeten, terwijl wel bij de duiker van toevoersloot naar de plas gemeten is (HBP007). Voor de jaren dat niet gemeten is, is het gemiddelde genomen van de jaren 1999 – 2009 (geel in Tabel 5-5).

In de meetset valt op dat zowel de chloride-als de fosfor-gehalten van het inlaatwater stevig fluctueren; per jaar, maar zeker ook binnen een zomerperiode. De meetfrequentie is te laag om de ingelaten vrachten goed te

	Chloride	Fosfor
1978	1011	0.37
1979	729	0.61
1980	921	0.35
1981	1074	0.31
1982	1051	0.32
1983	712	0.35
1984	939	0.33
1985	910	0.30
1986	955	0.33
1987	722	0.31
1988	878	0.34
1989	779	0.36
1990	957	0.34
1991	829	0.27
1992	747	0.35
1993	907	0.27
1994	804	0.30
1995	901	0.30
1996	968	0.20
1997	883	0.24
1998	683	0.32
1999	702	0.26
2000	632	0.26
2001	701	0.39
2002	727	0.28
2003	919	0.23
2004	727	0.28
2005	732	0.28
2006	698	0.34
2007	700	0.30
2008	736	0.20
2009	727	0.28

Tabel 5-5; Chloride en fosfor in inlaatwater (zomer). Geel gemarkeerd zijn de gemiddelde waarden voor jaren waarin niet gemeten is.

kunnen berekenen. De impact van het inlaatwater op de waterkwaliteit is relevant genoeg om dit aspect zo goed mogelijk mee te nemen (zie 5.4).

5.3.2 CI&P Afstroming peilgebied

Het landoppervlak dat in hetzelfde peilgebied als de plas ligt bestaat uit veen, klei, en zand (strand). Het recreatiegebied bestaat grotendeels uit de toplaag van het laagveen uit de voormalige polder gemengd met zand (zie 1.3). Er zijn geen concentraties gemeten. We gaan uit van 40 mgCl/l en 0.25 mgP/l met een increment van 0.25 mgP/l.

5.3.3 CI&P Neerslag

Voor neerslag is uitgegaan van 6 mgCl/l, en 0.04 mgP/l met een increment van 0.02 mgP/l.

5.3.4 CI&P Influx grondwater

Chloride (resumerend uit 2.8): De chloridereeks wordt binnen de gemeten bandbreedte (400 – 900 mgCl/l, zie 2.8) als calibratieparameter gebruikt (zie 5.4). Zoals in 2.7 besproken is er een vrij grote variatie gemeten aan fosforgehaltes in de peilbuizen rondom de plas. Daar bovenop komt de onzekerheid over de invloed van de bodemchemie. De influx van het zuurstofloze grondwater kan bij de overgang van poriewater naar zuurstofrijker oppervlaktewater zorgen voor vastlegging van ijzerfosfaat. De diepe Ouderkerkerplas is echter niet jaarrond zuurstofrijk (zie 3.3). Dus de kans dat medio/eind zomer, als de zuurstofloosheid nabij de waterbodem optreedt, fosfor weer in oplossing gaat en beschikbaar gaat komen als fosfaat is groot. Daarentegen komt zuurstofloosheid alleen voor in de diepste delen van de plas, vanaf 35m diepte, terwijl een flink deel van de post *INflux van GW* naar verwachting op geringere diepe instroomt (zie 5.2.5).

De metingen aan de peilbuis J06006 in november 2009 zijn als basis genomen. Fosforgehaltes zijn daar 1,4 mgP/l (NAP -4 m) en 2,0 mgP/l (NAP -20 m). Om een zekere fosfaatretentie door sedimentatie in te bouwen maar ook de mogelijkheid van nalevering van de fosfaten te modelleren is gekozen voor een minimale waarden van 1,0 mgP/l met een increment van 1,0 mgP/l.

5.3.5 N&P Vogels

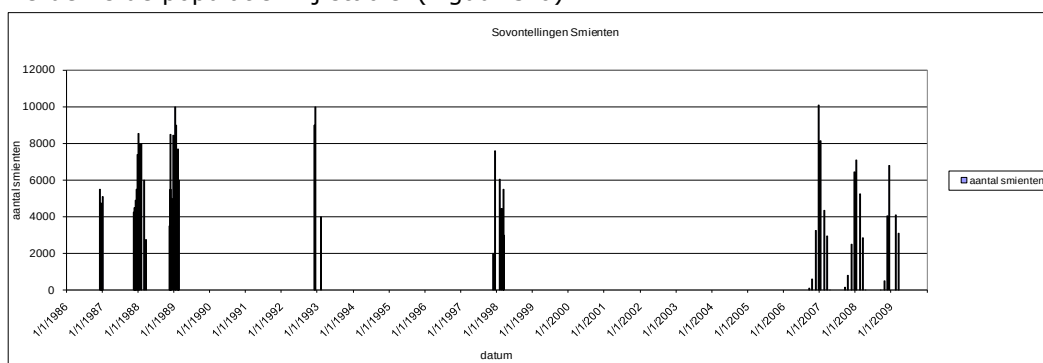
De fosforinput van vogels is bepaald aan de hand van tellingen en literatuur over fosforexcretie per vogel(soort) per dag. Deze vogels worden de laatste jaren vaak maandelijks geteld waardoor vrij goed bekend is hoeveel er verblijven. De telgegevens zijn gevalideerd en geleverd door Sovon – Vogelonderzoek Nederland.

Wintervogels

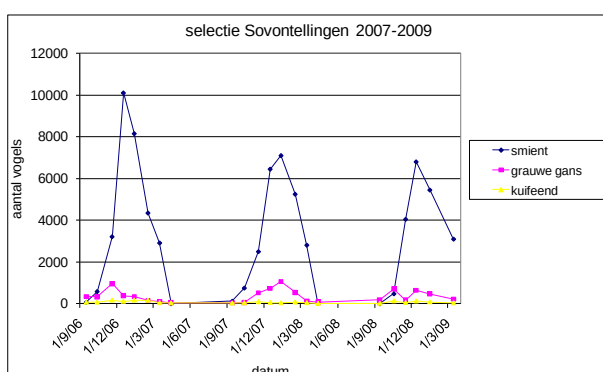
De smient is de belangrijkste overwinteraar in de Ouderkerkerplas. Er heeft een getal gecirculeerd van 40.000 smienten, maar dit aantal wordt niet bevestigd door de tellingen van Sovon. In deze studie is het getal van 40.000 dan ook verlaten. Niettemin zijn de hoogste aantallen in de jaren 90 geteld, ka 15.000⁸. Thans wordt dit aantal niet meer gehaald en zitten de maxima tussen 8000 en 10.000 smienten op een januaridag. De smienten hebben zich waarschijnlijk (mede) verspreid over omliggende wateren zoals Botshol, Wavershoek en de Middenpolder. Dus midden

⁸ De historische gegevens zijn analoog vergaard via de huidige Sovon waarnemer Jos Vrolijk, die het archief van zijn voorganger Nico v/d Lelie beheert.

jaren '90- , is de nutriënteninput uit smienten hoger geweest dan thans becijferd. Verder is de populatie vrij stabiel (Figuur 5-6).



Figuur 5-6; Historische reeks Sovontellingen smienten.



Figuur 5-7; Aantallen smienten, grauwe ganzen en kuifeenden in 3 winters op de Ouderkerkerplas.

De Sovon-tellingen van eind 2006 t/m begin 2009 zijn gebruikt om een maandgemiddelde populatie uit te rekenen waar de fosforbelasting op gebaseerd is. Er wordt uitgegaan van elk jaar dezelfde aantallen smienten per maand. De smient is het meest talrijk met in december/januari tussen de 8.000 en 10.000 exemplaren. De grauwe gans verblijft met maximaal 1000 exemplaren op de plas.

De in de wintermaanden op de Ouderkerkerplas verblijvende vogels zijn voornamelijk smient en grauwe gans. Daarnaast komen ook kuifeend, wilde eend, krakeend, meerkoet en kokmeeuw in het winterhalf jaar voor in relevante aantallen. Zie Figuur 5-7 en Tabel 5-7.

Het product van het aantal vogeldagen en de belasting per vogel per dag levert de belasting door vogels in grammen per dag. Het aantal vogeldagen is berekend uit de maandgemiddelde tellingen. Hahn heeft voor de belasting een model opgezet gebaseerd op eigen waarnemingen en literatuuronderzoek (Hahn 2007). Naast het stikstof- en fosforgehalte van de uitwerpselen is de locatie van de belasting van belang. Alleen de buiten de plas ingenomen nutriënten die vervolgens in de plas terecht komen leveren een netto belasting op. Dit is in het model van Hahn meegenomen. Dit is gedaan aan de hand van de doorlooptijd, dat is de tijd die het na het eten kost om de darmen te legen. Voor een smient en gans is dat 1 à 2 uur⁹. Samen met het gewicht van de vogel is uit de doorlooptijd en enkele andere aannames een getal te berekenen dat soortspecifiek (en dieet- en seizoensspecifiek) is, en de stikstof- en fosforinput per vogel per dag weergeeft (Tabel 5-6). Naast invloed van

soort	netto input grP/d per vogel
smient	0.06
grauwe gans	0.23
kuifeend	0.06
wilde eend	0.08
meerkoet	0.031
kokmeeuw	0.30
krakeend	0.015

Tabel 5-6;
Fosforbelasting per vogel per dag.

⁹ Naast het raadplegen van literatuur is ook contact gelegd met Stef van Rijn, Ruurd Noordhuis (RWS Waterdienst) en Maarten Loonen (RUG).

lichaamsgewicht levert een vis-/aaseter (kokmeeuw) meer fosfor dan een planteneter.

Zomervogels

Ook in de zomer wordt de plas door vogels belast. De aantallen zijn echter veel geringer en het voedsel van de vogels komt vaak uit of van de plas zelf, zodat er niet (altijd) sprake is van netto input van nutriënten.

Uit de broedvogeltellingen van Sovon zijn de mogelijk relevante soorten de soepgans, de kokmeeuw, en de kleine mantelmeeuw.



Figuur 5-8; Teleenheid NH7441, Ouderkerkerplas. De kilometerhokken zijn alleen van belang voor de broedvogels (zie onder zomervogels), de wintervogels zijn in de plas geteld.

Deze tellingen worden in zogenaamde kilometerhokken uitgevoerd, zodat niet direct duidelijk is of de vogels ook echt op de plas verblijven, of althans in de plas kunnen poepen. Navraag bij Wil Leurs (Waterproef) leverde op dat deze twee meeuwensoorten eigenlijk goeddeels buiten de Ouderkerkerplas broeden op verkeersterreinen. De soepgans broedt wel in of aan de Ouderkerkerplas (tussen 10 en 70 stuks, dit aantal stemt overeen met de mondeling meegedeelde

bevindingen van Jos Vrolijk, Sovon) en een deel van de uitwerpselen van de soepgans komt ongetwijfeld in de plas terecht, hoewel deze soort de meeste tijd op het land verblijft. Voor het bepalen van de belasting door zomervogels is de bijdrage voor de soepgans en een aantal andere watervogels (zie Tabel 5-7) meegenomen in de berekening. Ten opzichte van de input door de wintervogels is de bijdrage van de zomervogels gering.

N&P belasting

soort	gP/ind/dag	P-Belasting per soort (mgP/m ² /dag)												gem./jr
		jan	feb	mrt	apr	mei	jun	jul	aug	sept	okt	nov	dec	
smient	0.06	0.57	0.38	0.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.27	0.64	0.18
grauwe gans	0.23	0.20	0.11	0.05	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.12	0.17	0.19	0.08
kuifeend	0.06	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00
wilde eend	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
meerkoet	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
kokmeeuw	0.30	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.01
krakeend	0.015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
overig zwaar	0.23	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
overig licht	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
soepgans	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totaal		0.81	0.53	0.32	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.12	0.22	0.49	0.87	0.29

Tabel 5-7; Berekende fosforbelasting gemiddeld per maand gemiddeld per vogelsoort. Op de onderste rij staan de in de balans gebruikte belasting per maand in mgP/m²/d.

In de berekening zijn ook de watervogels meegenomen die in lage aantallen voorkomen en de soepgans die jaarrond voorkomt. Van deze overige watervogels zijn sommige soorten wintergasten, andere zomergasten en weer anderen standvogel. Vandaar dat voor elke maand een getal is berekend.

De jaarlijks gemiddelde netto fosforinput door (water)vogels bedraagt 0,29 mgP/m²/dag, ofwel 77 Kg fosfor per jaar voor de hele plas (oppervlakte 0,73 km³). Voor de increment is een marge van 50% op de maandwaarden aangehouden. Op dezelfde wijze is de netto stikstof input berekend, deze bedraagt in kilogrammen stikstof per kalenderjaar 894 kg stikstof, ofwel 3,4 mgN/m²/dag.

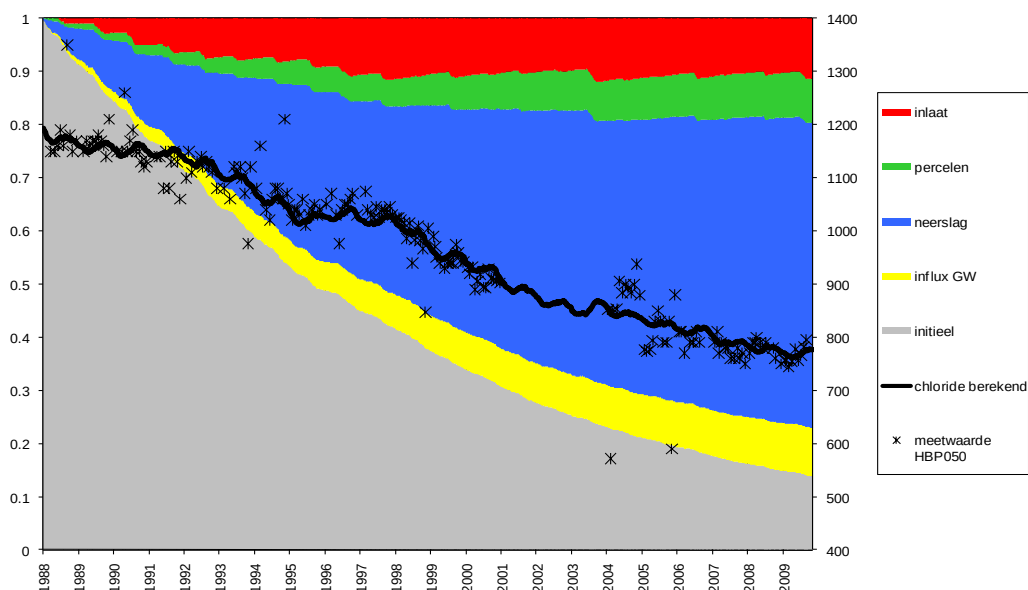
5.4 Calibratie waterbalans

5.4.1 Chloride

De chlorideconcentraties in de plas zijn berekend en vergeleken met de metingen. De kwantificering van de debieten en concentraties zijn onderbouwd in 5.2 en 5.3. De belasting door grondwater en de verdampingsmethodiek zijn gebruikt als calibratieparameters:

- Grondwaterinflux: is berekend tussen 0.35 – 0.44 mm/d. Eindwaarde is 0.4 mm/d.
- Grondwater chlorideconcentratie: is gemeten tussen 400 – 900 mgCl/l: Eindwaarde is 500 mgCl/l.
- Open water verdamping volgens de Priestley en Taylor.

In de Figuur 5-9 staat het calibratieresultaat van chloride weergegeven.

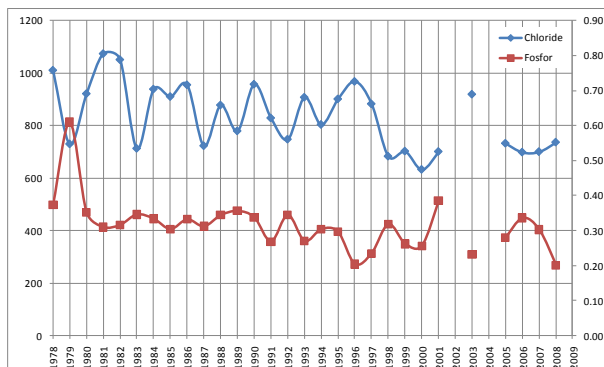


Figuur 5-9; Resultaat calibratie op chloride in de Ouderkerkerplas. Op de x-as de periode 1988 – 2009. Op de linker as het aandeel van de verschillende bronnen in de tijd. De gekleurde vlakken geven in de tijd aan hoe het (grijze) initiële water verdrongen wordt door de diverse bronnen. Goed te zien is dat de influx van grondwater (influx GW) een constante is (want opgelegd als constante influx), terwijl het aandeel inlaatwater een veel onregelmatiger verloop heeft als gevolg van wisselende meteorologische omstandigheden. Op de rechter as staat het verloop van de berekende (lijn) en gemeten (kruis) chlorideconcentraties.

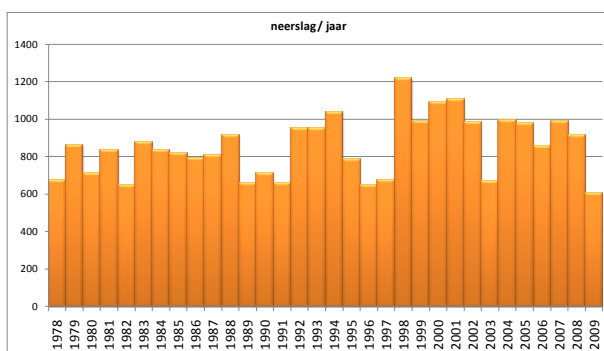
Het is in de Ouderkerkerplas-balans eenvoudig om de chlorideconcentraties van 1988 tot het niveau van 2009 te laten dalen door de marges van de verschillende fluxen en concentraties aan te passen. De calibratie is echter pas geslaagd als alle balansposten binnen de gemeten of berekende marges blijven en als hydrologisch afwijkende

perioden ook goed uit de verf komen. Dat laatste gaat alleen goed als de afzonderlijke debieten en concentraties van de verschillende bronnen goed kloppen, en niet alleen de resulterende vrachten per bron. Dat wordt in onderstaande voorbeelden toegelicht.

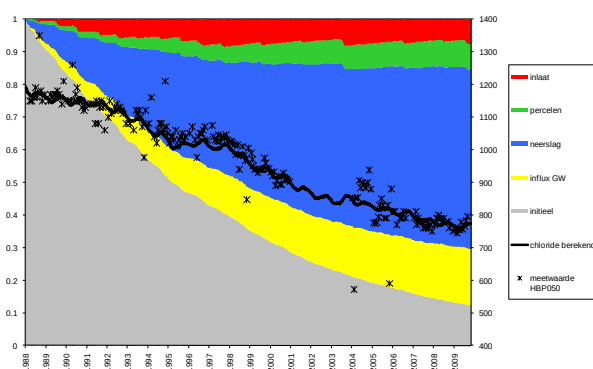
Modellering 1995 - 1997



Figuur 5-10; Chloride en fosfor in het inlaatwater (gemiddeld mei-sept)



Figuur 5-11; Neerslag per jaar



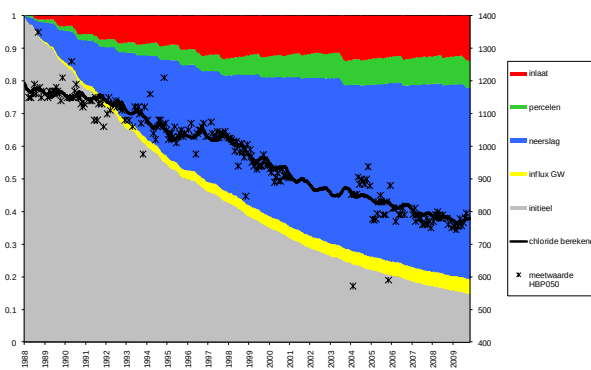
Figuur 5-12; Berekend chlorideverloop. Chloride grondwater is 675 mgCl/l, influx 0.8 mm/d .

hoeveelheid inlaatwater, met een verlaagde chloridevracht tot gevolg. Dit kan gecompenseerd worden door de veronderstelde chlorideconcentratie in het grondwater te verhogen.

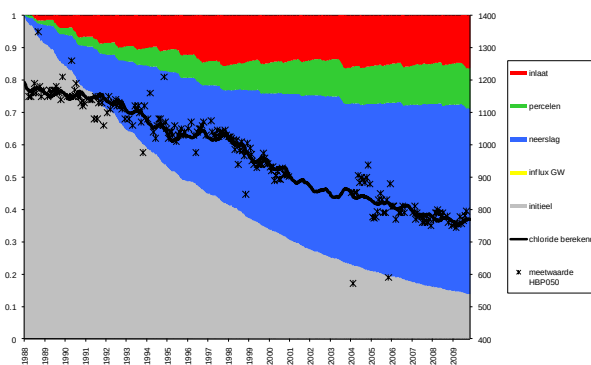
De periode 1995 – 1997 is een afwijkende periode. Waar chloride een dalende trend volgt blijven de concentraties in 1995 - 1997 vrij constant op ruim 1000 mgCl/l. Alle bronnen, behalve het inlaatwater, verdunnen de plas. Daarnaast zorgt verdamping voor een concentratietoename. De periode 1995 – 1997 is bijzonder omdat het de laatste jaren zijn (behalve het extreem droge jaar 2003) dat chlorideconcentratie van het inlaatwater boven de 800 mgCl/l was (Figuur 5-10). Bovendien zijn het droge jaren waarin veel water is ingelaten. Dit maakt deze periode tot een goede calibratieperiode. Chloride in de periode 1995 – 1997 wordt alleen goed gemodelleerd als debiet en concentratie van de grondwaterflux beiden kloppen. Want het ingevoerde debiet van de grondwaterflux beïnvloedt direct het *berekende* inlaatdebiet uit de Bullewijk.

Met een concentratie van ruim 800 mgCl/l is het inlaatwater brakker dan het grondwater van 500 mgCl/l. De verhouding inlaatwater vs. grondwater is daarom bepalend voor de calibratie.

In Figuur 5-12 is weergegeven hoe de calibratie uitpakt als de grondwaterinflux dubbel zo hoog wordt verondersteld. Dit gaat ten koste van de berekende



Figuur 5-13; Berekend chlorideverloop. Chloride grondwater is 150 mgCl/l, influx 0.2 mm/d.



Figuur 5-14; Berekend chlorideverloop. Influx grondwater 0 mm/d, afstromend oppervlak van percelen 150%.

Los van het feit dat beide waarden minder goed passen in de marges die voor de chlorideconcentratie en de grondwaterinflux zijn vastgesteld, is het calibratieresultaat in de periode 1995 – 1997 minder goed dan in Figuur 5-9.

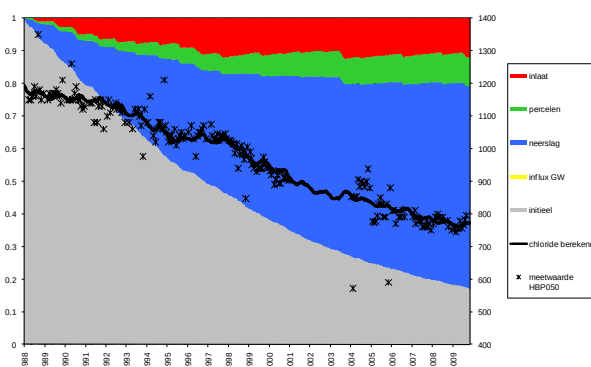
In het tegenovergestelde geval, de influx grondwater wordt gehalveerd, kan de calibratie wel goed uitpakken. Maar alleen als de chlorideconcentraties in grondwater zo laag ingeschat worden dat dit niet met de metingen te rijmen valt (Figuur 5-13). Zonder grondwaterflux is het chlorideverloop niet afdoende omlaag te brengen tenzij het afstromend oppervlak met 50% wordt verhoogd (Figuur 5-14).

Verdamping

De invloed van verdamping op de balans is groot. Van de uitgaande posten in de waterbalans is tegen de 60% verdamping. Door het spreadsheetmodel wordt de in- en de uitlaat berekend. Dat wil zeggen dat meer of minder verdamping direct bepaalt of er meer of minder water ingelaten wordt. Naast de hoge winterse fosfaatvoorraad in de plas is juist die actuele belasting in de zomer essentieel voor de potenties van blauwalgbloei in de zomer (zie 3.6.1), en dat maakt verdamping voor diepe plassen

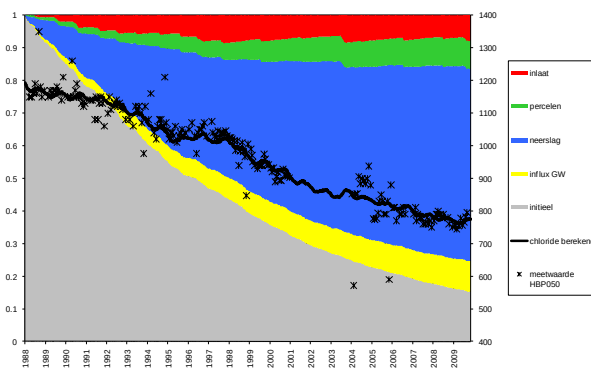
een belangrijke parameter. Er is een vijftal voor open water toepasbare methoden onderzocht¹⁰, en hier wordt de impact van Priestley – Taylor ten opzichte van het gemiddelde van die vijf methoden besproken.

Bij de methode van Priestley – Taylor verdampt 50.000 m³ meer water dan bij de gemiddelde verdamping. Dit staat gelijk aan 37% meer inlaatwater per jaar.



Figuur 5-15; Berekende chlorideverloop bij gemiddelde verdamping, zonder grondwaterinflux.

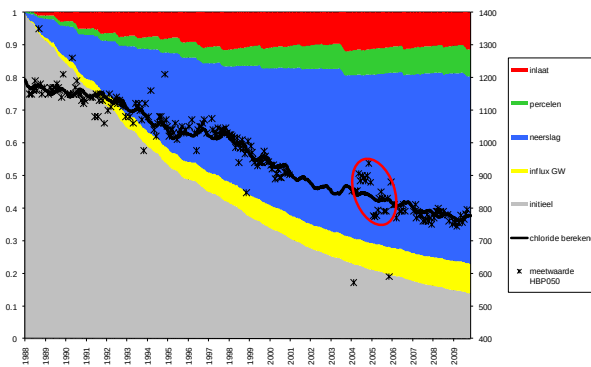
¹⁰ Gemiddelde van Makkink met warmteopslagcorrectie, Penman volgens rapportages Future Water, Penman gecorrigeerd volgens Water Watch, Priestley – Taylor, en de Bruin en Keijman.



Figuur 5-16 Berekende chlorideverloop bij gemiddelde verdamping, zonder met grondwaterinflux van 0.4 mm/d en 900 mgCl/l.

grondwaterinflux hoge chlorideconcentraties (900 mgCl/l) mee te geven, vergelijkbaar met inlaatwater (Figuur 5-16). Beide hypothesen worden niet ondersteund door analyses van grondwaterstroming en concentraties in grondwater. De keuze van de verdampingsmethodiek is daardoor een calibratieparameter.

Modellering 2004 – 2005



Figuur 5-17; Calibratieresultaat, met de uitbijters 2004 en 2005 rood omcirkeld.

calibreren, zelfs niet als voor het inlaatwater in 2005 nul mgCl/l wordt aangenomen. De Ouderkerkerplas heeft zo'n groot watervolume dat een zo snelle stijging i.c.m. een snelle daling in twee jaar tijd niet mogelijk is. Een (deel) van de verklaring voor de weergave in de berekening kan liggen in de stratificatie. In het model wordt dit effect van stratificatie niet gemodelleerd. Het epilimnion heeft een veel kleiner volume dan de hele plas. Er is geen meetset van chloride in inlaatwater in 2004, er is daarom een gemiddelde aangenomen (5.3.1). Als in 2004 relatief brak water is ingelaten wat in de toplaag terecht is gekomen en gebleven, dan zal dat hogere chloridewaarden opleveren dan berekend in het model. In 2005 waarin het inlaatwater zoeter is, zou dan het tegenovergestelde gebeuren. Opvallend is wel dat in 2006 het inlaatwater weer iets zoeter was dan in 2005, en dat meer water is ingelaten dan in 2005. Toch worden in 2006 niet dergelijk lage waarden gemeten.

Kortom, de amplitudes van de metingen zijn in alle jaren groter dan in de berekeningen. Dat zou het gevolg kunnen zijn van niet gemodelleerde stratificatie. Het verklaart echter niet de jaren 2004 en 2005 volledig. Wellicht dat inlaatwater een periode hoog in de waterkolom aanwezig kan blijven en zo de meting beïnvloedt. Of

Indien een gemiddelde verdamping gebruikt wordt heeft dit een verhoging van het berekende inlaatwater tot gevolg. Dit leidt tot verhoging van de berekende chloridegehalten in de plas omdat verdamping de enige uitpost in de balans is waarbij chloride niet de plas uit raakt. Een goede chloridecalibratie kan bij gemiddelde verdamping alleen tot stand komen door of de grondwaterinflux op nul te stellen (Figuur 5-15), of de

De hoge gemeten chloridewaarden in 2004 en de daaropvolgende lage waarden in 2005 zijn niet met het spreadsheetmodel te verklaren. Alleen bij extreme concentraties in de bronnen kunnen dergelijke hoge waarden gemodelleerd worden, maar dat werkt door in opvolgende jaren. 3000 mgCl/l in het inlaatwater in 2004 zou 2004 goed krijgen, maar de jaren daarna zijn dan niet meer te

wellicht dat er in die jaren structureel niet midden in de plas maar op een andere locatie, meer beïnvloed door inlaatwater, bemonsterd is. In 2.4 wordt opgemerkt dat uit het van Wirdum diagram blijkt dat indien van een landtong wordt bemonsterd, af en toe een voetafdruk van neerslagwater gevonden wordt.

5.4.2 Peilbeheer

Uit de gesprekken met de beheerder zijn karakteristieken van het beheer overgenomen (zie 5.2.1). De vraag is of deze overeenkomen met de berekeningen in de balans:

- *In een gemiddelde zomer (april t/m september) wordt nooit water uitgelaten.*

Gemiddeld over de laatste 25 jaar wordt volgens de balans 25.000 m³ uitgelaten in de periode april t/m september. Dat is drie dagen op halve capaciteit of 1,5 dag op volle capaciteit uitlaten. Indien de eerste dagen in een natte aprilmaand niet worden meegenomen, wordt nooit uitgelaten in een gemiddelde zomer.

- *In een natte zomer wordt indicatief 10 dagen uitgelaten.*

In de natte zomers van 1994, 1998 en 2001 wordt rond 100.000 m³ uitgelaten. Dit is 11 dagen op halve capaciteit of 6 dagen op volle capaciteit aflaten.

- *In een natte zomer wordt hoogzomer ook niets uitgelaten.*

In de natte zomers van 1994, 1998 en 2001 wordt in april nog veel uitgelaten, later in de zomer niet meer. Alleen in 1998 wordt medio juni nog 17.000 m³ uitgelaten.

- *Op dagbasis hoogzomer bij mooi weer: debiet inlaat is orde grootte gelijk aan peilverlaging. Peilverlaging in warme periodes is 'nauwelijks bij te benen' met de inlaat.*

- *Per zomer wordt ongeveer 30 dagen ingelaten.*

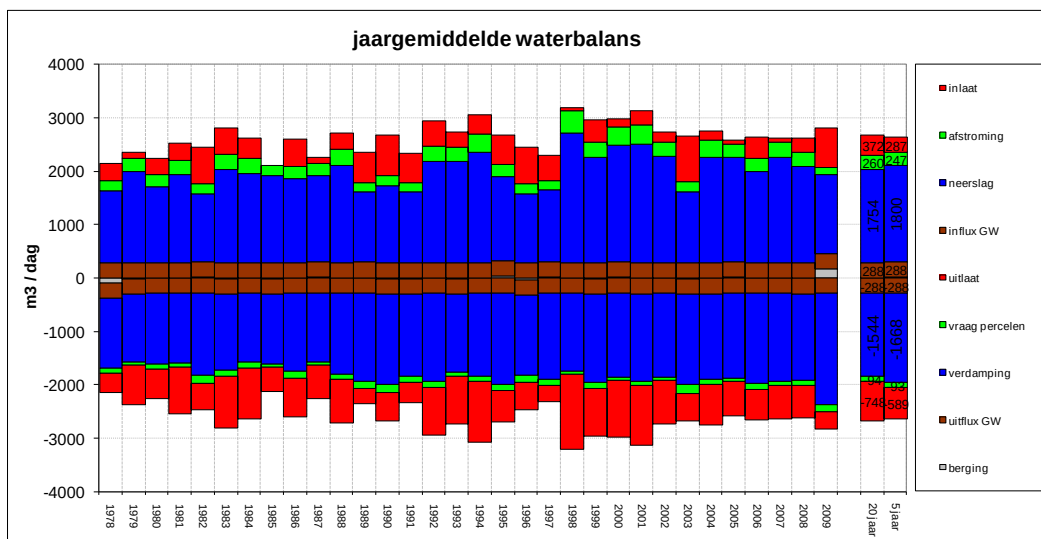
De inlaat kan via de twee duikers in theorie 10.000 m³ per dag aanvoeren. Daarbij is niet de weerstand over de sloot meegerekend, en ook niet de eventuele weerstandsverhoging bij het inlaatwerk aan de Bullewijk, of de (geconstateerde) weerstandsverhoging bij de overlaat naar de plas door begroeiing en aangespoeld materiaal. In de balans is de inlaat op 7.500 m³/dg gezet. Dit is ongeveer een centimeter per dag op de plas. Directe verdamping en de infiltratie naar land bedraagt in een droge, warme periode zo'n 8 mm, oftewel 6000 m³. Dus strikt genomen is verdamping net bij te houden. Er wordt op basis van dit inlaatdebiet gemiddeld 20 dagen ingelaten. Merk op dat dit geen calibratieparameter is, omdat dit alleen het aantal dagen van de inlaat beïnvloedt, maar de totale belasting niet.

In de balans is niet meegenomen dat het grondwatersysteem een dynamiek kent. In de zomer is het plaspeil wat lager, maar het grondwaterstanden ook. Het is plausibel dat de grondwaterstanden (in eerste watervoerende pakket) in omgeving van de plas in de zomer verder dalen dan het kunstmatig beheerde plaspeil, waardoor in de zomer de plas netto wat water verliest (zie 2.8). Dit fenomeen is niet meegemodelleerd en leidt tot onderschatting van de inlaatbehoefte en dus ook het aantal inlaatlagen. In de winter wordt dit weer gecompenseerd: het plaspeil stijgt weer wat, maar de grondwaterstand meer, waardoor vanuit grondwater een extra aanvulling plaats vindt.

5.5 Resultaten Waterbalans en belasting van chloride en fosfor

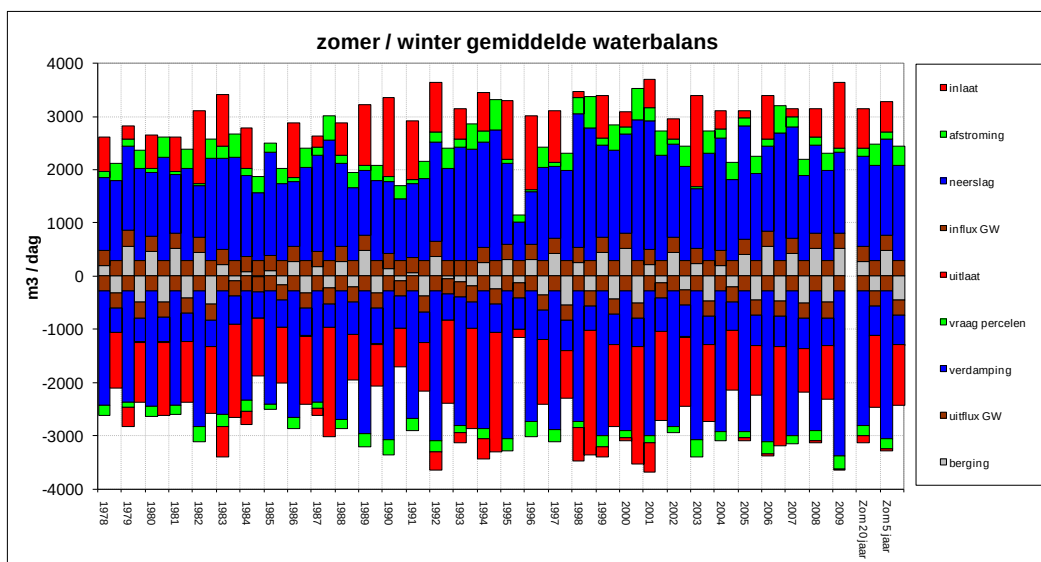
5.5.1 Resultaten waterbalans

De waterbalans is weergegeven in een tweetal figuren. Merk op dat voor 2009 niet het hele jaar, maar alleen de periode t/m oktober is meegenomen.



Figuur 5-18; Jaargemiddelde waterbalans uitgedrukt in m³/dag.

De plas wordt gedomineerd door neerslag en verdamping. Er wordt meer water ingelaten dan er met het grondwater in komt. Er wordt op jaarbasis bijna tweemaal zoveel water uitgelaten als er ingelaten wordt.

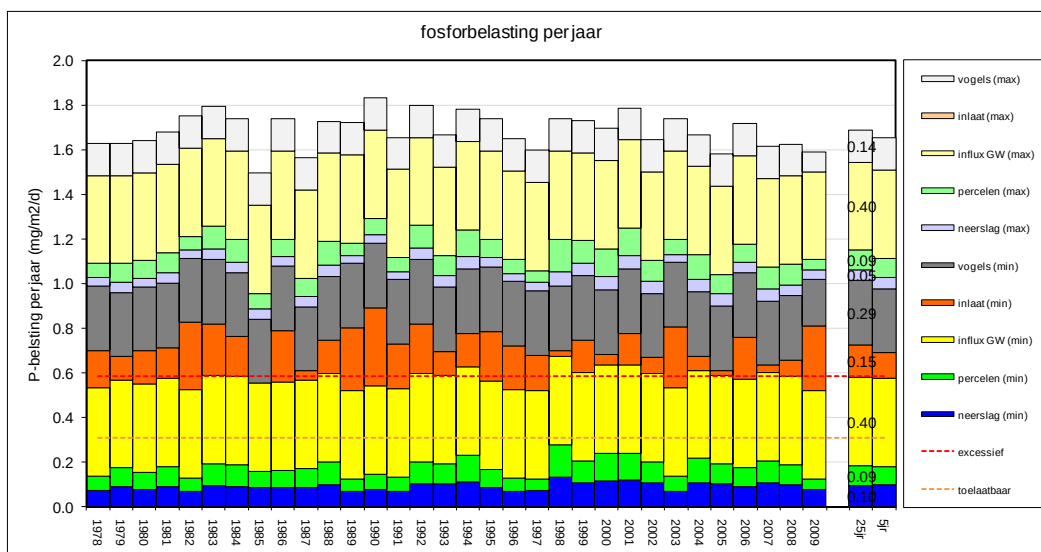


Figuur 5-19; Jaargemiddelde waterbalans in m³/dag gemiddeld. Per jaar wordt de zomer links aangegeven en de winter rechts.

In de halfjaarbalsen zijn de extreme perioden goed te herkennen. Dit geldt bijvoorbeeld voor de droge winter van 1995 en zomer van 2003, en de extreem natte zomer van 1998.

5.5.2 Resultaten fosforbelasting

De interpretatie van de resultaten en de normlijnen (toelaatbaar en excessief) worden in 5.5.3 toegelicht. De rol van de stort van grond eind jaren '80 is niet meegenomen in de balans.

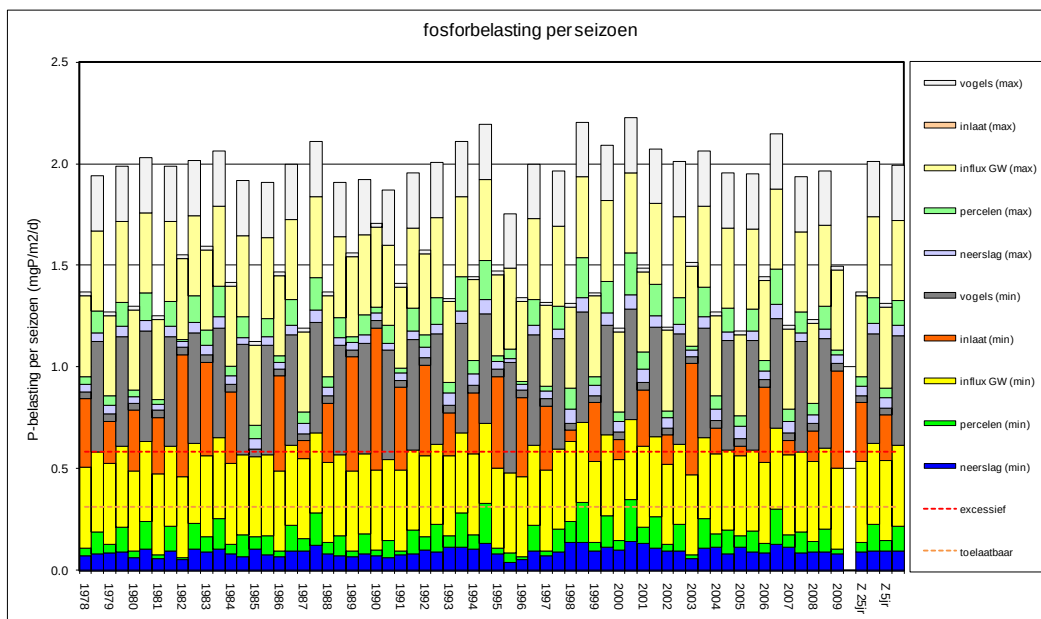


Figuur 5-20; Berekende fosforbelasting per jaar.

De belangrijkste fosforbronnen zijn, in afnemende belasting:

1. Influx grondwater (0,4 – 0,8 mgP/m²/d)
2. Vogels (0,3 – 0,4 mgP/m²/d)
3. Inlaatwater Bullewijk (0,15 mgP/m²/d)
4. Afstroming (0,1 – 0,2 mgP/m²/d)
5. Neerslag (0,1 mgP/m²/d)

Samen levert dit een gemiddelde berekende totale belasting op van 1,0 (minimaal) tot 1,7 (minimaal + increment) mgP/m²/d.



Figuur 5-21; Berekende fosforbelasting per seizoen.

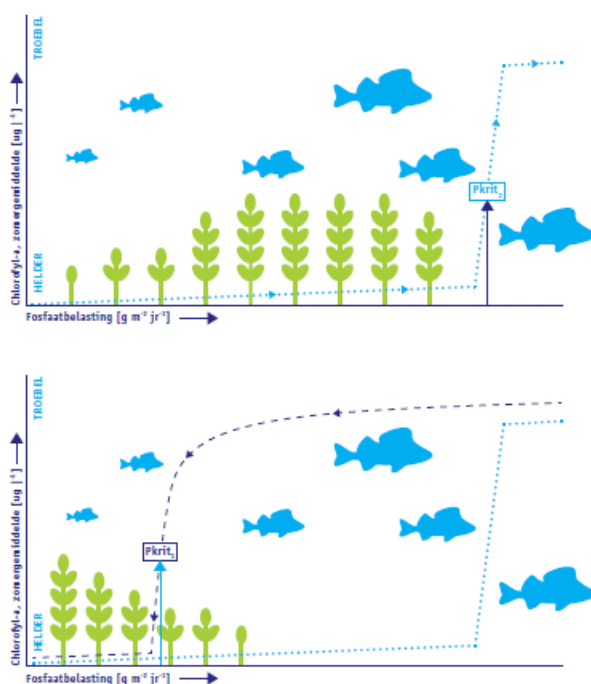
De belasting is in de winter een derde hoger dan in de zomer. Dit komt doordat de belasting van overwinterende vogels (mn. smienten) groter is dan de zomerse belasting door inlaatwater. De belasting door inlaatwater varieert sterk afhankelijk van de jaarlijkse meteorologie.

Zoals in 5.4.2 is aangegeven wordt de inlaatbehoefte waarschijnlijk onderschat in de berekening.

5.5.3 Interpretatie fosforbelasting

KRITISCHE BELASTINGEN IN PC-LAKE

Alternatieve stabiele toestanden zoals deze worden gemodelleerd met het model PC-lake. De lichtblauwe lijn geeft de omslag van helder naar troebel weer, de donkerblauwe lijn laat de weg 'terug' zien. De kritische belastingen voor de omslag vanuit de heldere toestand (P_{krit1}) en vanuit de troebele toestand (P_{krit2}) zijn eveneens in de figuur aangegeven. Naar: Janse, 2005.

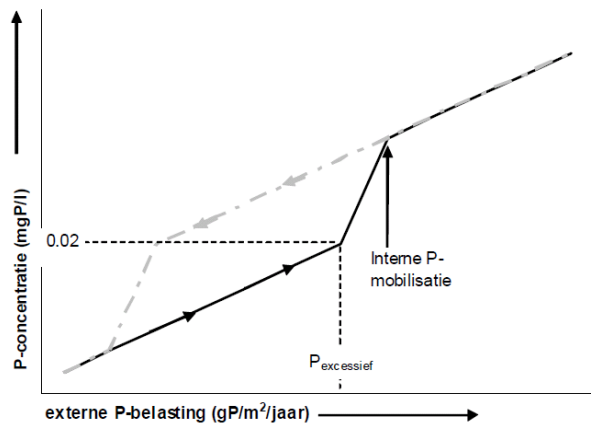


Figuur 5-22; Principe van kritische belastingen in ondiepe wateren (Stowa 2008)

Hoe is de belasting van de Ouderkerkerplas te interpreteren? De methode van kritische belasting zoals veel toegepast in ondiepe meren is in diepe plassen zoals de Ouderkerkerplas niet van toepassing. Zoals uitgelegd in 'van helder naar troebel... en weer terug' (Stowa 2008) gaat de kritische belasting in een ondiep systeem uit van de ecologische draagkracht van een ecosysteem. Die draagkracht wordt vooral bepaald door de onderwatervegetatie en visstand. Via die weg wordt het hele ecologisch functioneren aangesproken in een zichzelf versterkend principe. Uitgaande van een ondiep systeem dat qua belasting tussen de twee kritische grenzen ligt kan het volgende gebeuren. Bij een sterk verlaagde fosforbelasting zal eerst de primaire productie afnemen, en vervolgens werken de ecologische

terugkoppelingen zo dat het water helderder, soortenrijker, en stabiel wordt. Als bij hetzelfde uitgangspunt de fosforbelasting juist verhoogd wordt, zal eerst de primaire productie toenemen. Vervolgens werken de ecologische terugkoppelingen zo dat het water juist troebeler en soortenarmer wordt. Maar wel stabiel. Zo kunnen afhankelijk van de situatie twee verschillende stabiele situaties ontstaan.

Deze ecologische terugkoppelingen bestaan goeddeels niet in een diepe plas, omdat er geen relevant (voor submerse vegetatie) begroeibaar areaal aanwezig is. Er is veel minder invloed van een voedselweb. In een diepe plas wordt nutriëntenbelasting vooral omgezet in productie van (blauw)algen, met minder hysteresis tot gevolg. Wel kennen blauwalgen ook een mate van populatieopbouw en overwintering die de niet-lineairiteit en dus hysteresis bevordert. Zoals in 3.5 is beschreven kan de waterbodem fosfaat naleveren als gevolg van de bodemchemie. Dit is een tweede effect waardoor een vermindering van de externe fosfaatbelasting niet direct een positief effect hoeft te sorteren op de waterkwaliteit. Desondanks is het verschijnsel



Figuur 5-23; Theoretische weergave van hysteresis-effect van P-belasting op P-concentratie. Bij toenemende P-belasting (doorgetrokken zwart) wordt P-voorraad in de bodem gemobiliseerd, waardoor de concentraties toenemen. Bij afnemende belasting (gestippeld grijs) blijft deze extra belasting voor verhoogde concentraties zorgen (uit Stowa 2010).

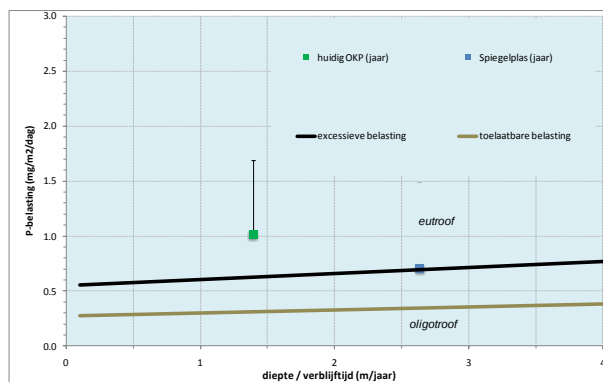
hysteresis voor diepe plassen veel kleiner en wezenlijk anders van aard dan voor ondiepe wateren (zie Figuur 5-23).

In 'Een heldere kijk op diepe plassen' (Stowa 2010) wordt voorgesteld de methode Vollenweider toe te passen om een toelaatbare en een excessieve belasting te berekenen. Om de toelaatbare belasting te bepalen nam Vollenweider een toelaatbare voorjaarsconcentratie van 0.01 mgP/l aan. Dit is de voorjaars P-concentratie waarboven de kans op algenbloei in de zomer sterk toeneemt. Dit leidde tot een model waarin ook de verblijftijd is meegenomen. Het model is als volgt:

$$Lt(P) = 100 + 10(z/Tw)$$

Waarin:

- $Lt(P)$ = toelaatbare P-belasting in gP/m²/jaar;
- z = gemiddelde diepte (m);
- Tw = verblijftijd (jaar). De verblijftijd is hier niet de werkelijke verblijftijd van een gemiddeld water deeltje in de plas, maar het quotiënt van het plasvolume (m³) met de gesommeerde inlaatflux (m³/j).



Figuur 5-24; Fosforbelasting van de Ouderkerkerplas en de Spiegelplas in relatie tot de toelaatbare en excessieve belasting volgens methode Vollenweider.

De excessieve belasting is gedefinieerd als de belasting waarbij het optreden van overlast veroorzakende algenbloei waarschijnlijk is. Deze is tweemaal de toelaatbare belasting: excessieve belasting = $200 + 20(z/Tw)$.

Voor de Ouderkerkerplas is de gemiddelde diepte 19 m, en de verblijftijd 14,2 jaar¹¹. In de Figuur 5-24 is de positie van de Ouderkerkerplas weergegeven ten

opzichte van toelaatbare en excessieve belasting. Op de x-as staat het quotiënt van de diepte en de verblijftijd. Als de verblijftijd afneemt neemt de toelaatbare en

¹¹ De verblijftijd is in dit rapport niet de werkelijke verblijftijd van een gemiddeld water deeltje in de plas, maar het quotiënt van het plasvolume (m³) met de gesommeerde inlaatflux (m³/j).

excessieve belasting toe, omdat algen minder tijd krijgen om tot bloei te komen. In de y-as de actuele belasting, in dit geval omgerekend naar $\text{mgP}/\text{m}^2/\text{d}$. Uit de figuur blijkt dat de actuele belasting in de Ouderkerkerplas ongeveer tweemaal te hoog is. De foutbalk is gebruikt om de berekende maximale belasting (increment op de minimale belasting) aan te geven.

Als vergelijking is in blauw de Spiegelplas toegevoegd. Deze plas heeft een doorzicht van 4 – 7 meter en een voorjaars-concentratie P van ongeveer 0,03 mgP/l . Deze valt op de grens van excessieve belasting. Volgens Vollenweider zou de voorjaarsconcentratie wat lager (0,02 mgP/l) moeten uitpakken kijkend naar de actuele belasting. Gezien de goede kwaliteit van de Spiegelplas is het opmerkelijk dat deze op de lijn van excessieve belasting ligt. Het is zo niet te zeggen of dit aan de normlijn of aan de marges van de systeemanalyse van de Spiegelplas ligt. Wel lijkt een voorjaarsconcentratie van 0,02 mgP/l als voorjaarsnorm laag.

5.5.4 Check: Retentie van fosfor

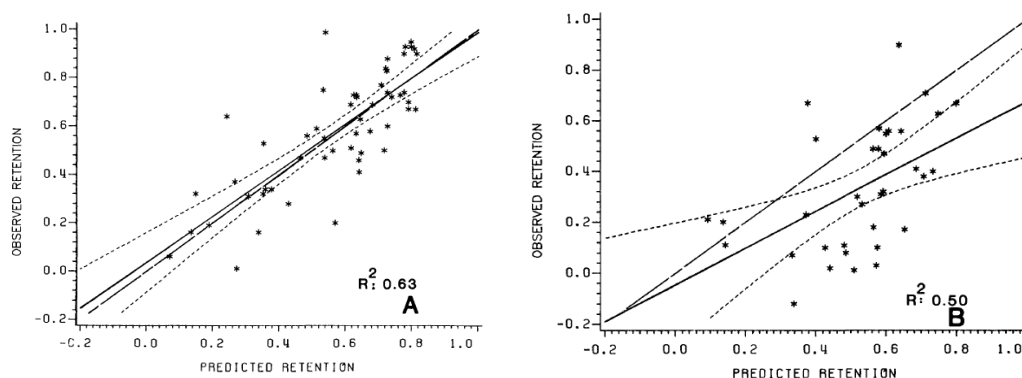
Zoals in 3.5 beschreven kan al naar gelang de chemische omstandigheden een diepe plas fosfor vasthouden als gevolg sedimentatie en chemische vastlegging in de waterbodem (positieve retentie). Onder andere omstandigheden kan dit (deels) weer vrijkomen, en na de winterse opmenging van de waterkolom beschikbaar komen voor met name algenbloei. Als de nalevering groter is dan de vastlegging is sprake van negatieve retentie. Er is in het kennisdocument diepe plassen (Stowa 2010) gebruik gemaakt van onderzoek door Nürnberg (Nürnberg 1984) om de retentie te kunnen voorspellen. In de Figuur 5-23 zijn de resultaten van de retentie onder verschillende omstandigheden (oxisch en anoxisch) weergegeven. De retentie is 'waargenomen' (observed) aan de hand van het verschil tussen de inkomende fosfaatvracht en de uitgaande fosfaatvracht ($R_{\text{obs}} = (P_{\text{in}} - P_{\text{uit}})/P_{\text{in}}$) belasting en staat op de y-as. De voorspelde (predicted) retentie op de x-as is uitgevoerd met een empirische relatie:

$$R_{\text{pred}} = 15/(18+z/T_w)$$

Waarin:

- R_{pred} = voorspelde retentie (-)
- z = gemiddelde diepte (m);
- T_w = verblijftijd (jaar).

Deze formule geldt voor een plas met een oxisch hypolimnion (Nürnberg 1984).



Figuur 5-25; voorspelde en waargenomen (observed) retentie van diepe meren met een oxisch hypolimnion (A), diepe meren met een anoxisch hypolimnion (B) (Nürnberg 1984).

De retenties zijn het hoogst in jaarrond zuurstofrijke plassen (A), en zijn meestal tussen 50% en 80%. Dat wil zeggen dat meer dan de helft van de inkomende belasting wordt vastgelegd in de waterbodem. In meren met een anoxisch hypolimnion (B) worden retenties tussen de 0% en 60% gevonden (y-as). De voorspelde retentie (x-as) in de figuur (B) is veel hoger (tussen 50% en 80%) omdat deze uitgaat van een oxisch hypolimnion. De lagere gevonden retenties zijn het resultaat van nalevering door de waterbodem die het sedimentatieproces deels teniet doen.

Voor de Ouderkerkerplas zijn R_{obs} en R_{pred} berekend. Hoewel er geen fosforbalans gemaakt is (alleen de inkomende posten van de waterbalans zijn gebruikt voor de fosforbelasting op dagbasis) kan de fosforretentie in de Ouderkerkerplas grofweg berekend worden. Voor P_{in} is de gemiddelde belasting op de plas van $1.1 \text{ mgP/m}^2/\text{d}$ gebruikt. Deze is omgerekend naar het aantal kilogrammen dat per jaar op de plas komt: $P_{\text{in}} = 269 \text{ kgP/j}$. Voor de uitgaande vracht is uitgegaan van de situatie in de afgelopen jaren en met de aanname dat alleen in het winterhalfjaar water wordt uitgelaten. De plasconcentraties zijn dan significant hoger dan in de zomer. Er is $0,18 \text{ mgP/l}$ gebruikt (zie Figuur 3-14). Per jaar wordt 307.000 m^3 uitgelaten. Hierin is ook de geringe watervraag vanuit omliggende percelen meegenomen. De concentratie van de uitflux van grondwater is in de anoxische periode (4 maanden) op $0,5 \text{ mgP/l}$ gezet, en de overige 8 maanden op $0,2 \text{ mgP/l}$ (zie 3.3). De grondwater uitflux bedraagt per jaar 105.000 m^3 . In totaal is de uitgaande vracht: $P_{\text{uit}} = 87 \text{ kgP/j}$. Dit staat gelijk aan $0.33 \text{ mgP/m}^2/\text{d}$. Dit maakt de waargenomen retentie $R_{\text{obs}} = 0,68$. Indien de maximale belasting van $1.8 \text{ mgP/m}^2/\text{d}$ wordt gebruikt geldt $R_{\text{obs}} = 0,81$. De voorspelde retentie op basis van een *oxische* plas is berekend met een gemiddelde diepte van 19 m en een verblijftijd van 14,2 jaar: $R_{\text{pred}} = 0,77$.

Het verschil tussen de waargenomen en de voorspelde retentie is vrij klein en ligt binnen de onzekerheidsmarges van de verschillende posten. Wel wordt (bij $1.1 \text{ mgP/m}^2/\text{d}$) een grotere retentie voorspeld dan wordt waargenomen, wat wijst op een naleverende rol van de waterbodem. Het zou kunnen dat de berekende belasting is overschat, want bij een wat lagere belasting volgt een lagere waargenomen retentie. Het kan ook zijn dat het volume waar de plas anoxisch wordt niet heel groot is en dus het effect beperkt. Volgens bovenstaand model heeft de waterbodem wel enig negatief effect op de waterkwaliteit, maar kan jaarrond niet een enorme fosfaatnalevering vanuit de waterbodem verwacht worden.

Uit de retentie kan ook de te verwachten jaargemiddelde fosforconcentratie berekend worden (Stowa 2010):

$$P_{\text{jaar}} = L_{\text{ext}} * (T_w / z) * (1 - R) * 365/1000$$

Waarin:

- P_{jaar} = jaargemiddelde fosforconcentratie (mgP/l)
- L_{ext} = externe belasting ($\text{mgP/m}^2/\text{d}$)
- T_w = verblijftijd (jaar)
- z = gemiddelde diepte (m);
- R = voorspelde (R_{pred}) of berekende (R_{obs}) retentie (-).

De term $L_{\text{ext}} * (T_w / z)$ is hetzelfde als de gewogen fosforconcentratie (mgP/l) berekend uit de inkomende vrachten (mg P) gedeeld door de inkomende debieten (m³). In werkelijkheid verdwijnt echter een deel van het inkomende P uit de waterfase en wordt vastgelegd in bodem, planten etc. Daarom moet de berekende concentratie nog worden verminderd met de fractie fosfor die in het systeem achterblijft (de retentie R). De retentie kan worden 'waargenomen' (zie hierboven) of voorspeld aan de hand van de empirische relatie van Nürnberg. Merk op dat als R_{pred} gebruikt wordt uitgegaan wordt van een oxisch epilimnion, maar als R_{obs} gebruikt wordt vervalt die voorwaarde.

Dit geeft voor de Ouderkerkerplas een gemiddelde fosforconcentratie per jaar van 0,06 (bij R_{pred}) of 0,08 (bij R_{obs}) mgP/l. Uit de metingen blijkt dat de gemiddelde gemeten concentraties van 0,05 mgP/l in de jaren '80 en zijn opgelopen naar 0,13 mgP/l in de laatste 5 jaar. Bij een retentie van 0,5 komt de P_{jaar} op 0,13 mgP/l.

Concluderend retentieberekeningen

Deze berekeningen zijn gezien de eenvoud niet doorslaggevend, maar wel richtinggevend. Ze ondersteunen het gegeven dat de plas begin jaren '80 op de bodem nooit zuurstofloosheid raakte, met een te verwachten hoge retentie van fosfor (orde grootte 0,77) en vrij lage plasconcentraties (gemeten 0,05 mgP/l). De eerste zuurstofloosheid nabij de bodem is waargenomen in 1986 (zie 3.3). De laatste 5 jaar is (door fosfaatnalevering uit de waterbodem) de netto retentie afgenomen, en zijn de fosforconcentraties toegenomen. De retentieberekeningen suggereren dat de belasting aan de hoge kant maar orde grootte goed berekend is. De voorspelde plasconcentratie die lager is dan de laatste jaren wordt aangetroffen aangetroffen wijst er ook op dat de werkelijke retentie lager is dan berekend (0,68). Dit komt overeen met een startende en toenemende fosfaatnalevering uit de waterbodem in de afgelopen decennia.

6 Flexibel peil en scenario's

In dit hoofdstuk worden de aspecten die van belang zijn voor het analyseren en afwegen van het invoeren van flexibel peilbeheer besproken.

De volgende aspecten zijn uitgewerkt:

- De te verwachten grondwaterstanden rondom de plas (6.1).
- Effecten van een peilverhoging op drooglegging en veiligheid (6.2).
- Effect van een peildaling op funderingen (6.3).
- Effecten van flexibel peil op vegetatie en vis (6.4)
- Effecten van flexibel peil op de fosforbelasting (6.5). Hier wordt ook een viertal scenario's gekwantificeerd en besproken.

Kanttekeningen

- Flexibel peil in optima forma betreft het stoppen van inlaat en uitlaat. Het is niet te voorspellen wat de plaspeilen doen als geen water meer wordt in- en uitgelaten. Zoals in 2.8 beschreven staat de plas in het eerste watervoerende pakket in verbinding met een goed doorlatende zandlaag. Door de grondwaterinteractie zal een volledig vrijgelaten plaspeil veel minder fluctueren dan uit de waterbalans van de plas blijkt. In de waterbalans is immers de interactie tussen plas en grondwater niet dynamisch gekoppeld maar als constant verondersteld. Extreem hoge en lage waterstanden in de plas zullen in werkelijkheid via het grondwater genivelleerd worden. Dit is niet gemodelleerd.
- Als het peil flexibel gemaakt wordt kan het minimale zomerpeil verlaagd en/of het maximale winterpeil verhoogd worden. In de uitwerking wordt ingegaan op afwijking van het gemiddelde streefpeil van NAP -4 m. Als marge voor de beoordeling van effecten van flexibel peil op drooglegging, veiligheid en funderingen en wordt 15 cm verhoging, of 15 en 30 cm verlaging aangehouden t.o.v. NAP - 4 m. In de scenario's waar effecten op de waterkwaliteit worden berekend wordt uitgegaan van een flexibel peil van NAP -3.9 m (winter) tot NAP -4,3 m (zomer), oftewel 40 cm. De huidige peilfluctuatie in de plas bedraagt 10 cm.

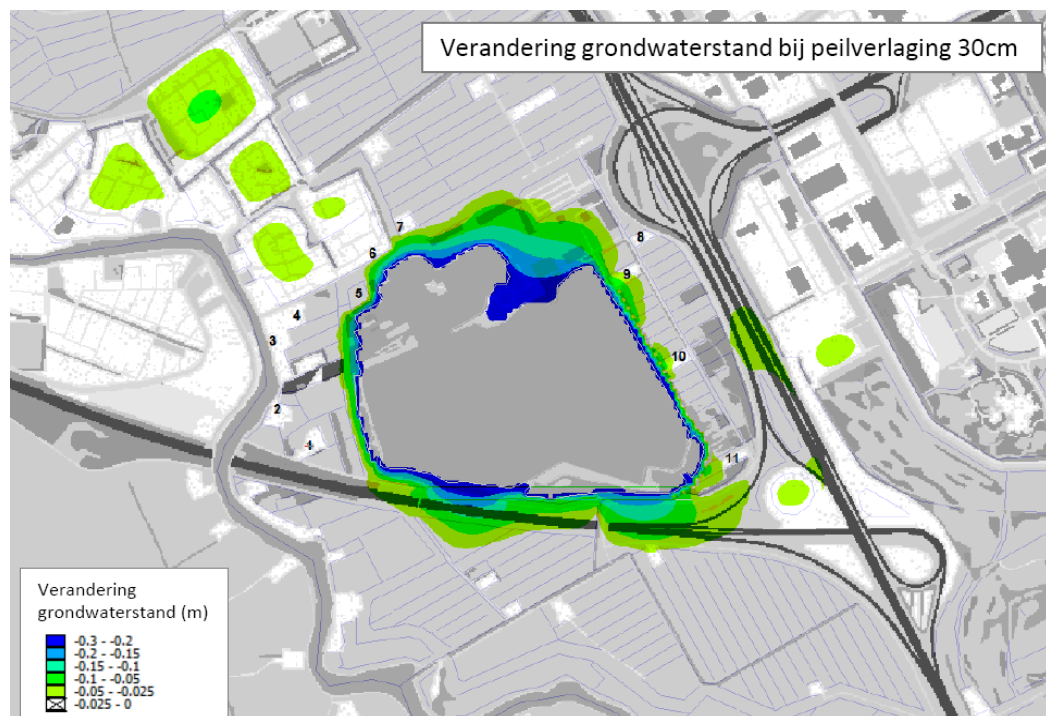
6.1 Grondwaterstanden

De te verwachten grondwaterstanden zijn gemodelleerd met een stationair model. Dat impliceert een *worst case*, waarin weergegeven wordt wat de GWS doet als de plas permanent naar een ander peil gebracht wordt. Voor meer informatie zie Acacia Water 2010. Figuur 6-1, Figuur 6-2, Figuur 6-3 geven resp. de berekende verandering van de grondwaterstand bij een peilverlaging van 30cm en 15cm en een peilverhoging van 15cm.



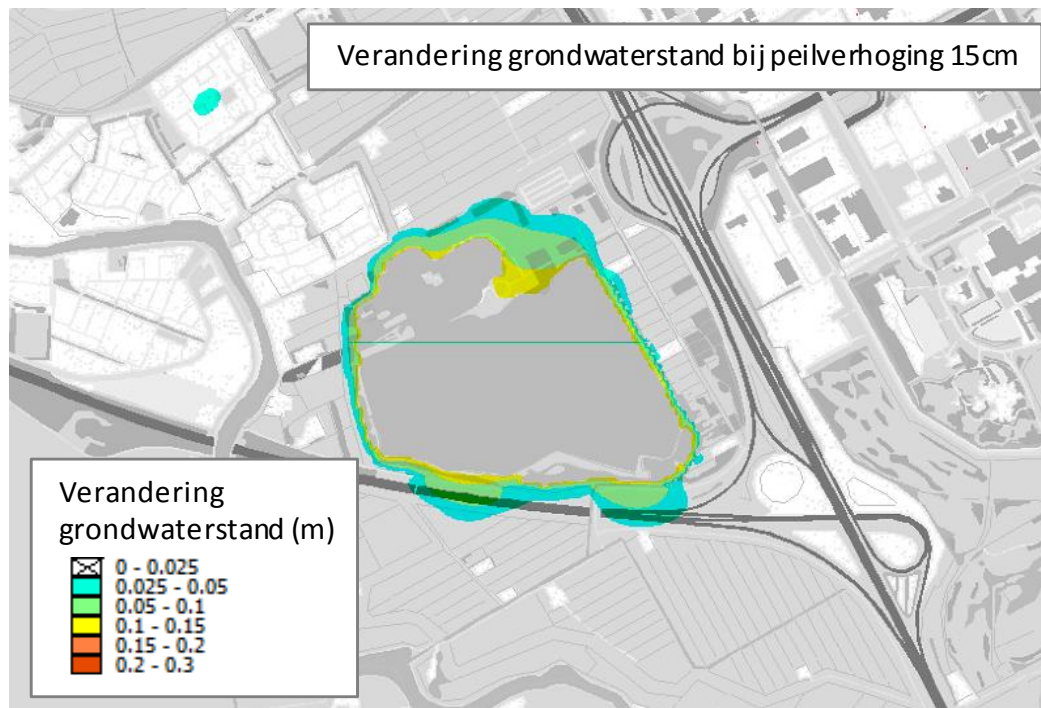
Figuur 6-1; Effect op GWS bij 15 cm peilverlaging

De effecten blijven beperkt tot een kleine zone rondom de plas. Het freatische grondwater in de deklaag vormt door de slechte doorlatendheid een enigszins gescheiden watersysteem van het diepere grondwater. Hieronder wordt daar verder op ingegaan. Rondom vrijwel de gehele plas zijn bovendien sloten aanwezig waar een vast polderpeil wordt gehandhaafd. Deze sloten compenseren de (geringe) effecten van de peilverandering in het diepere grondwater op het topsysteem. De uitstralingseffecten zijn daarom ook groter daar waar geen sloten langs de plas liggen.



Figuur 6-2; Effect op GWS bij 30 cm peilverlaging

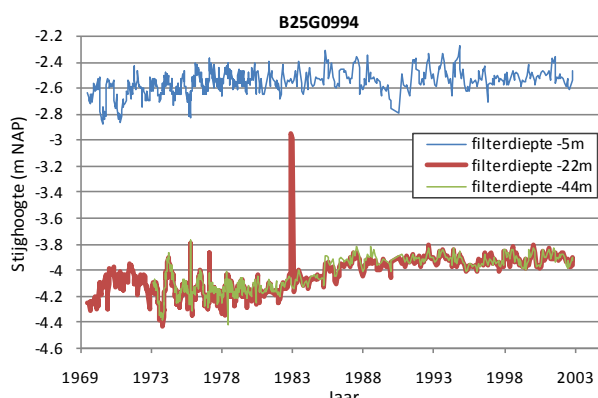
Bij een peilverlaging van 30 cm wordt de grootste grondwaterstandsverlaging bij bebouwing berekend in een nieuwbouwwijk op enige afstand van de plas. Hier zou de grondwaterstand ruim 5 cm kunnen zakken doordat er bij gebrek aan sloten een inbolling in het freatisch vlak wordt berekend. Rondom de plas nabij de percelen blijven de effecten, zowel van een verhoging als van een verlaging, beperkt tot enkele centimeters.



Figuur 6-3; Effect op GWS bij 15 cm peilverhoging.

Peilfluctuatie in relatie tot historische grondwaterstanden

Het historische verloop van grondwaterstanden en stijghoogtes in peilbuizen rondom de plas kunnen ook inzicht geven in het effect van peilveranderingen in de plas op de freatische stijghoogte. Er is één peilbuis geschikt voor deze analyse voor effecten van een peilverandering, namelijk B25G0994 (zie Figuur 6-4).



Figuur 6-4; Historisch verloop van de stijghoogte in peilbuis B25G0994 op ca. 50m afstand ten westen van de Ouderkerkerplas, gecorrigeerd voor chloride (Acacia 2010).

De filterdiepte op NAP -5 m zit in de deklaag, terwijl de andere twee filters in het eerste watervoerende pakket steken.

- De freatische stijghoogte ligt rond NAP - 2,5 m. In het diepe grondwater zijn de stijghoogtes 1,4 m of meer lager. Dat geeft aan dat de deklaag een hoge weerstand heeft.
- Het freatische peil is tot 1977 licht (10 cm) gestegen. In die periode daalde de stijghoogtes in

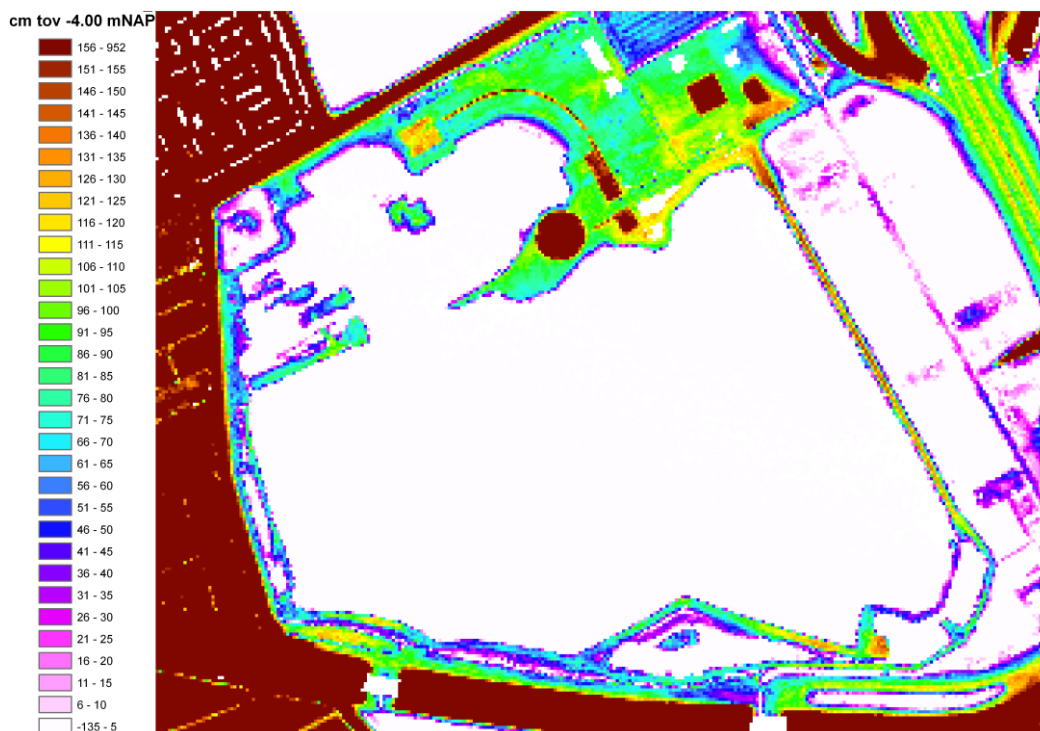
het watervoerend pakket.

- De standen in de diepe filters stijgen vanaf 1980 ook (met ongeveer 25 cm). Gezien de goede uitwisseling met de plas zal dit waarschijnlijk het gevolg zijn van een peilopzet in de plas. Deze stijging heeft geen invloed gehad op de freatische stijghoogtes.

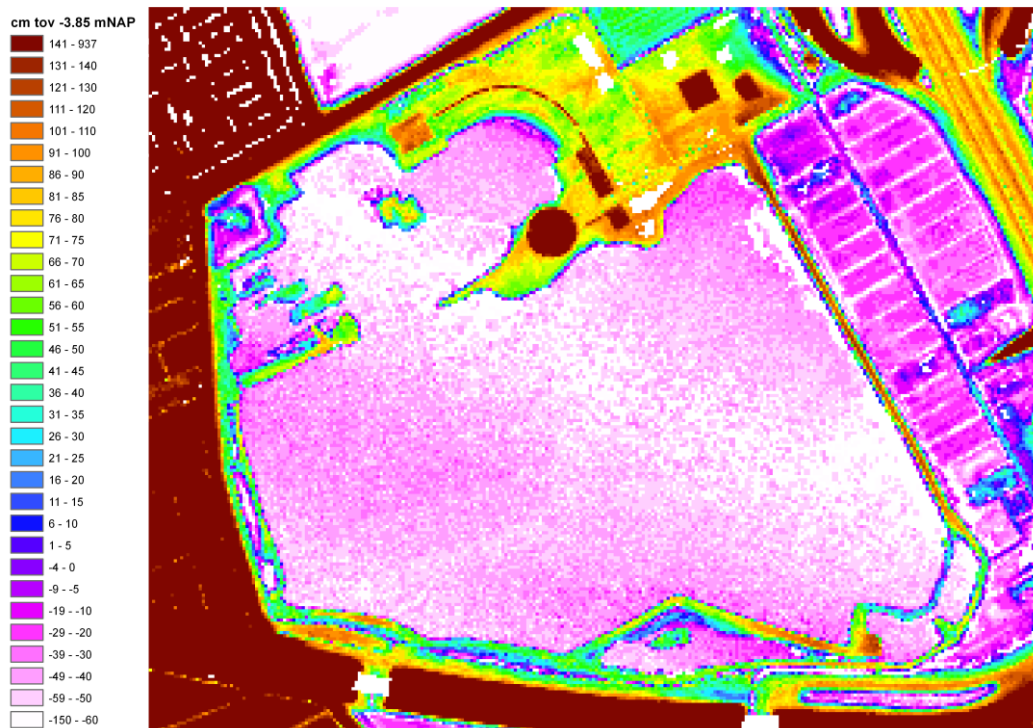
Bovenstaand ondersteunt de berekening waaruit blijkt dat de deklaag dermate slecht doorlatend is dat het plaspeil van de Ouderkerkerplas weinig invloed heeft op de freatische grondwaterstanden. Aan de oostzijde is de deklaag dunner, maar is betere ontwatering (sloten) aanwezig.

6.2 Veiligheid en drooglegging

De oeverhoogtes rondom de plas zijn weergegeven in Figuur 6-5. De laagste kruinhoogtes liggen in het noordwesten waardoor de dijkhoogte ten opzichte van plasniveau daar het laagst is (70 cm). Het perceel (nr. 5 in Figuur 6-2) ligt in een eigen peilvak met een ringsloot op NAP -4,4 m en NAP -4,7 m. Het ligt met een maaiveldhoogte van ongeveer NAP - 4 m dieper dan de omgeving. Langs de smalle dijk aan de oostzijde van de plas is het wat hoger (115 cm aan de zuidkant). Het peil in dat peilvak ligt op NAP -4,5 m, met drie woningen (9, 10 en 11 in Figuur 6-2). Het maaiveld ligt hier ongeveer op plaspeil NAP -4 m. In het zuidoostelijk gelegen kommetje (wel verbonden aan de plas), is de waterkering ook laag (70 cm). Bij een verhoogd plaspeil (Figuur 6-6) neemt het verschil tussen de dijkhoogte en het plaspeil af. De laagste drooglegging in het noordwesten en het zuidoosten wordt dan 55 cm. De oostelijke dijk die een (zuid-)westerstorm moet opvangen, heeft aan de zuidkant een kerende hoogte van ongeveer 1 meter.



Figuur 6-5; Hoogteligging OKP tov. gemiddeld plaspeil van NAP -4 m.



Figuur 6-6; Hoogteligging OKP tov. gemiddeld verhoogd plaspeil van NAP -3.85 m.

Het beoordelen van de stabiliteit van de waterkeringen is niet onderzocht. De veiligheid wordt niet alleen bepaald door de hoogte van de dijk. Ook o.a. de breedte, het materiaal en het onderwatertalud bepalen of een situatie veilig is. Locale peilverhoging door windopstuwing over de plas is laag omdat het een diepe plas betreft. De plas wordt bij een (zuid-)westerstorm richting de oostoever opgestuwd, maar het water kan zonder veel weerstand terugstromen vanwege de steile oevers en grote diepte. Dit blijkt ook uit de formule waaruit de peilopzet berekend wordt, de diepte staat daarin in de noemer (zie o.a. Nelen en Schuurmans 2008). De opstuwing bij een maatgevende windsnelheid van 24 cm/s bedraagt 1 centimeter. Maar de golfhoogtes nemen juist toe met de diepte. De significante golfhoogte H_{m0} bij een storm van 24 m/s is 64 cm. De golfoploop is zeer specifiek voor lokale omstandigheden en niet berekend. De waakhoogte moet 10 cm zijn. Deze veiligheidsaspecten moeten bij eventuele peilverhogen in kaart gebracht worden.

Het plaspeil geeft tov. het peilvak ten oosten van de plas groot peilverschil, en de berekende flux van ongeveer 0.4 mm/d kan alleen goed worden verwerkt bij een goede drainage en een slotenstelsel met afdoende capaciteit. GGOR-toetsing geeft aan dat de grondwaterstanden te hoog zijn voor optimale grasproductie. In de NBW-toetsing is er risico op inundatie. In de praktijk zijn echter geen problemen geconstateerd en het gebied wordt in de toetsing (watergebiedsplan Bijlmerring) niet als een knelpunt beschouwd. Indien het peil met 15 cm zal worden opgezet, zal dit de flux doen laten toenemen naar ongeveer 0,55 mm/d. Er is niet onderzocht in hoeverre dit vernattingsschade en/of de NBW-toetsing beïnvloedt. Op locatie nr. 5 is de deklaag dikker, locatie 5 voldoet aan de NBW-toetsing.

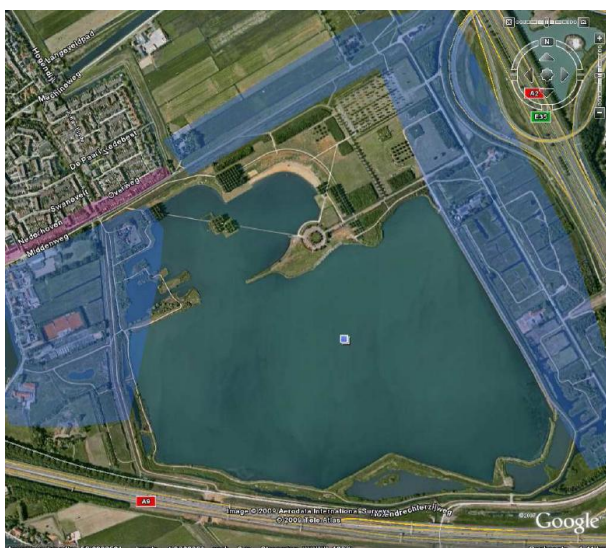
6.3 Funderingen

6.3.1 Aanpak

Zoals in 6.1 besproken zal flexibeler peilbeheer in de Ouderkerkerplas geringe invloed hebben op de freatische grondwaterstand. Verlaging van

Type fundering	Invloed verlaging grondwaterstand
"Staal"	Zakking van de fundering
Houten paal	Aantasten van de paal bij langdurige lage waterstand Zakking door negatieve kleeft
Betonpaal	Zakking door negatieve kleeft

Tabel 6-1; Verschillende typen fundering.



Figuur 6-7; Zones van funderingsonderzoek in lichtblauw en paars.

de grondwaterstand kan een negatief effect hebben op funderingen. Voor de bebouwing in de directe omgeving is uitgezocht welke type funderingen rondom de plas gebruikt zijn. Het type fundering is bepalend voor de invloed op en het risico voor de fundering. Peilverlaging vormt vooral een risico voor staalfunderingen en houten palen (Tabel 6-1).

Om zo veel mogelijk gegevens van de funderingen boven tafel te krijgen is een archiefonderzoek (vergunningaanvragen Ouder-Amstel) uitgevoerd. Bewoners of huiseigenaren zijn vaak goed op de hoogte van de

funderingssituatie van hun huizen. Daarom zijn ook alle huiseigenaren van panden binnen de gearceerde zones van Figuur 6-7 aangeschreven. Met een brief werden ze geïnformeerd over de mogelijkheid tot aanpassing het peilbesluit in de Ouderkerkerplas. In een bijgevoegd enquêteformulier kon het type fundering, de hoogte van de fundering en het bouwjaar van alle panden opgegeven worden.

6.3.2 Resultaten

De resultaten van het archiefonderzoek zijn verwerkt in een notitie (Royal Haskoning 2009) waarin alle gevonden stukken zijn opgenomen en verwerkt tot een overzicht van alle voorkomende typen funderingen. Aan de hand van (niet volledige) beschikbare gegevens over de inheidiepte, paallengte, maaiveldhoogte en slootpeil is getracht te herleiden hoe hoog de bovenkant van de palen ten opzichte van de NAP liggen. Deze gegevens zijn verwerkt in een tabel die is opgenomen in Bijlage 7. De gevonden types funderingen zijn louter paalfunderingen. Het materiaal is afhankelijk van het bouwjaar. Informatie over oude panden is in het archief nauwelijks aangetroffen aangezien hier geen bouwvergunningaanvragen op van toepassing zijn. Hierdoor zijn voornamelijk houten palen met betonnen opzetter of betonnen palen aangetroffen. In verband met de mogelijkheid tot paalrot is de hoogte van het houten deel van de paal ten opzichte van de grondwaterstand een belangrijke factor. Het herleiden van deze hoogte bleek lastig omdat de inheidiepte vaak ten opzicht van het vloerpeil of maaiveld gegeven is. De hoogte hiervan ten opzichte van NAP is vaak onbekend en is daarom meermaals met het Actueel Hoogtebestand Nederland herleid. Ook de lengte van eventuele betonnen opzetters is vaak onbekend

en kan variëren van ongeveer 1,5 tot 2,5 meter. Daarnaast kan door zogenaamd “koppensnellen” de hoogte van de kop per paal verschillen. (Stichting Platform Fundering Nederland 2006)

Van de 96 verzonden enquêtes zijn er 37 geretourneerd. De bewoners weten in de meeste gevallen het bouwjaar van hun woning en ook het type fundering wordt meestal vermeld. De hoogte van de bovenkant van de funderingen is echter slechts in enkele gevallen bekend.



Figuur 6-8; Type funderingen en hoogte van de bovenkant ervan t.o.v. slootpeil

De gegevens die voortgekomen zijn uit het archiefonderzoek en de bewonersenquête zijn samengevoegd in een GIS-bestand om een goed ruimtelijk beeld te krijgen van de funderingen rondom de Ouderkerkerplas (Figuur 6-8).

Er zijn voornamelijk houten palen met betonnen opzetter of betonnen palen aangetroffen.

Houten paalfunderingen die aanwezig zijn bij panden aan de Hogendijk 3 en Middenweg 5 vormen het grootste risico indien freatische grondwaterstanden sterk zouden mee veranderen met het plaspeil. Het ontbreken van gegevens van de boerderij aan de Middenweg 1 levert enige onzekerheid op, maar de locatie is verder van de plas.

Voor de bebouwing direct rond de plas zijn de berekende peilverlagingen weergegeven in Tabel 6-2.

Op locatienummer 9, waar houten funderingen zonder betonopzetter aanwezig zijn, wordt slechts een verlaging van 2,7 cm berekend. Een dergelijke verlaging zal geen probleem vormen. De te verwachten maximale verlaging van de grondwaterstand met 5 cm in de nieuwbouwwijk

Locatie nr.	van 30 cm (in cm)	van 15 cm (in cm)
1	-10	-0.5
2	-0.7	-0.3
3	-10	-0.59
4	-11	-0.54
5	-0.9	-0.4
6	-10	-0.5
7	-10	-0.5
8	-0.3	-0.1
9	-2.7	-14
10	-10	-0.5
11	-14	-0.7

Tabel 6-2; Effect van peilverlaging op grondwaterstanden op 11 locaties. Zie ook Figuur 6-1 en Figuur 6-2.

zal geen probleem opleveren voor nieuwbouwwoningen met betonnen palen.

De bebouwing staat in andere peilvakken dan de plas. Houten funderingen worden en werden altijd minimaal 10 cm (maar meestal 20-30 cm) onder de laagst voorkomende grondwaterstand aangelegd (Stichting Platform Fundering Nederland 2006). Op het moment van bebouwing waren de grondwaterstanden lager dan momenteel het geval is, omdat het plaspeil in het verleden enkele decimeters lager is geweest (zie Figuur 5-2 en Figuur 6-4). Aangezien de berekening van de verlaging van de grondwaterstand op een stationair lage plaspeilsituatie is gebaseerd, geven de resultaten een *worst case* weer. Uit het bovenstaande mag geconcludeerd worden dat er geen risico te verwachten is voor de funderingen van bebouwing als gevolg van het verlagen van het peil in de Ouderkerkerplas.

6.4 Vegetatie en vis

6.4.1 Oevermorfologie en droogval

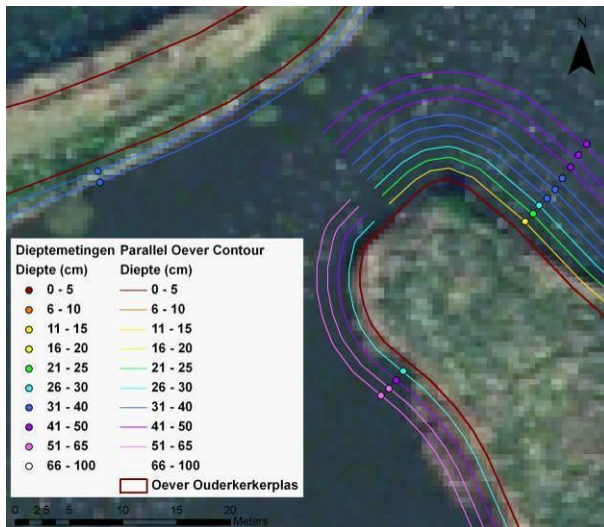
Aangezien de plas van oorsprong een zandwinput is, zijn de oevers van het centrale deel van de plas behoorlijk steil. Daarbij zijn de oevers vaak afgewerkt met stortsteen of houten damwanden. Dit maakt de oever niet erg geschikt voor een breed areaal oevervegetatie. Mede daarom zijn eind jaren tachtig extra randmeertjes aangelegd met ondiepe bodems en soms geleidelijke oevers. Voor veel oevervegetatie is een geleidelijke oever gunstig, zeker wanneer er daarbij peilfluctuatie optreedt. Hierdoor komen delen van de oevers tijdelijk droog te liggen waar de planten kunnen kiemen. De breedte van het droogvallend oeveroppervlak is afhankelijk van de peilfluctuatie en de oevermorfologie. Van het centrale diepe deel en de zwemzone zijn bathymetrische gegevens (diepteprofielen) aanwezig waardoor in combinatie met het oevertype de oevermorfologie goed herleid kan worden.



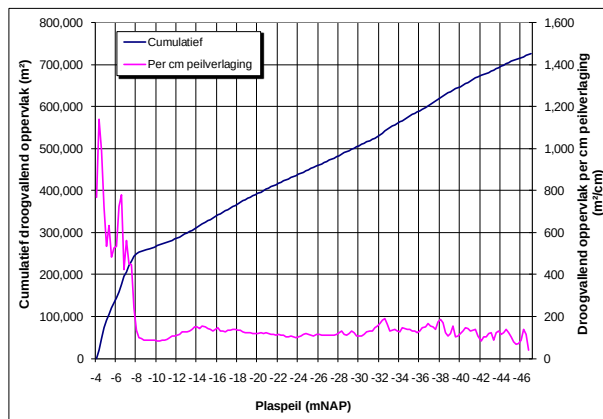
Figuur 6-9; Dieptemetingen in raaien dwars op de oever

Op 11 nov. 2009 zijn op 66 locaties diepteprofielen ingemeten dwars op de oever (Figuur 6-9). De locaties zijn in het veld geselecteerd op hun onderlinge verschillen en afstand. Vanaf de oever is met een waadpak en peilstok de diepte op iedere meter uit de oever ingemeten. Door slap veen of slib was het niet altijd mogelijk ver uit de oever te geraken. De punten zijn in ArcGIS gedigitaliseerd en gebruikt voor verdere analyse van de diepte van de randmeertjes. Om de

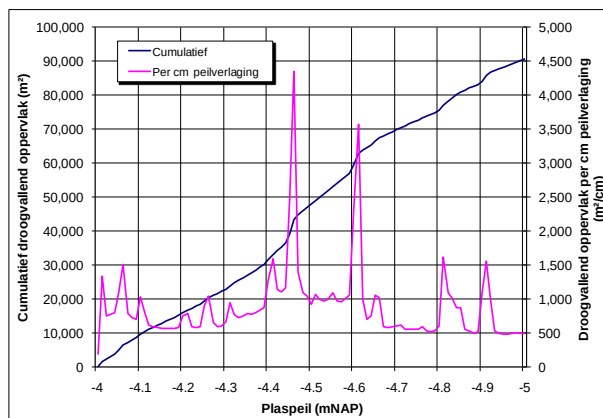
dieptemeting langs de oevers te extrapoleren is met de dieptepunten een contourlijn parallel aan de oeverlijn gemaakt (Figuur 6-10).



Figuur 6-10; Extrapolatie van oeverprofielen



Figuur 6-11; Droogvallend oppervlak bij leegloop plas



Figuur 6-12; Droogvallend oppervlak bij een meter peilverlaging t.o.v. NAP -4 m.

-4,45 en -4,60 m geven de diepte van randmeertjes aan die door een vlakke bodem binnen enkele centimeters peilverlaging ineens droogvallen.

Bij het huidig peilbeheer, waarbij 's zomers het peil 10 cm uitzakt tov. winterpeil, levert dit een maximale droogval van bijna 10000 m² op. De droogval wordt voornamelijk gerealiseerd in drassige verlandingszones.

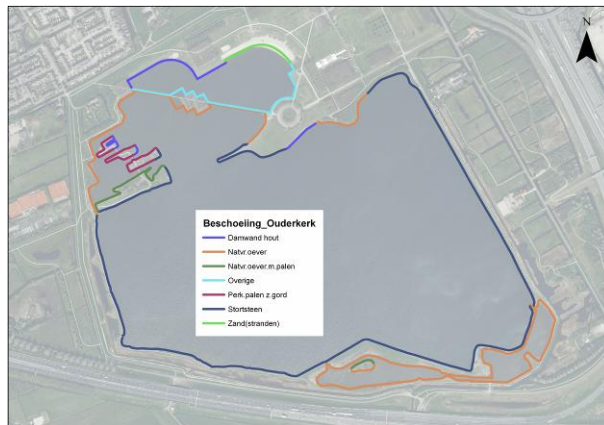
Vervolgens zijn de dieptemetingen geïnterpoleerd. Het resultaat van de dieptemetingen is een dieptemodel van al het open water dat in open verbinding staat met de Ouderkerkerplas.

Vervolgens is voor iedere centimeter dat het peil lager dan NAP -4.00 m komt het daarbij behorend droogvallend oppervlak berekend.

Figuur 6-11 toont het oppervlak dat droog komt te liggen bij verlaging van het peil totdat de plas geheel leeg is. De blauwe lijn geeft het totale drooggevallen oppervlak totdat deze gelijk is aan het oppervlak van de plas ($\pm 730.000 \text{ m}^2$). De knik in de lijn geeft een duidelijke overgang weer tussen de originele zandwininput en de later ontgraven randmeertjes en zwemzone met een maximale waterdiepte van 4 meter (NAP -8 m). Ter verduidelijking geeft de roze lijn het droogvallend oppervlak aan dat er per centimeter peilverlaging bijkomt.

Omdat de ondiepe zones veel minder steil aflopen, valt er bij de eerste centimeters peilverlaging veel meer oppervlak droog dan bij de steile wanden van de diepe zandwininput.

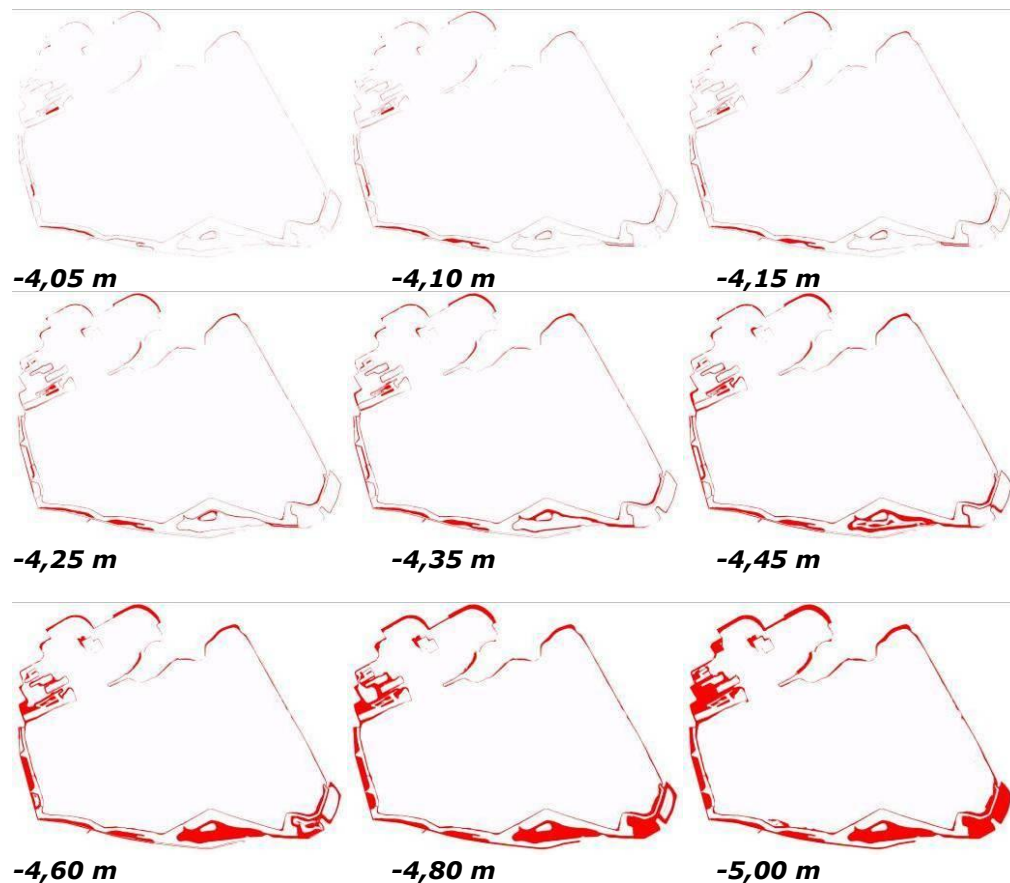
Figuur 6-12 toont het droogvallend oppervlak bij de eerste meter peildaling op een vergelijkbare wijze als Figuur 6-11. Hieruit valt af te leiden dat er gemiddeld zo'n 900 m² droogvalt per centimeter peilverlaging. De pieken rond NAP



Figuur 6-13; De verschillende soorten oeverbeschoeiing rondom de Ouderkerkerplas.

In Figuur 6-13 staat de oeverbeschoeiing rondom de plas weergegeven. Figuur 6-14 toont waar oppervlak droog komt te vallen bij verschillende peilverlagingen. Te zien is dat langs de steile oevers van de zandwinput weinig oppervlak droogvalt. Op de geleidelijke oevers van het zandstrand valt veel oppervlak droog. Het effect voor de oevervegetatie is hier echter beperkt gezien de zwemwaterfunctie. Vanaf NAP -

4.35 m vallen de eerste stukken van oever tot oever droog, meestal op plaatsen met veel slib.



Figuur 6-14; Droogvallend oppervlak bij verschillende peilen (tov. NAP)

6.4.2 Vegetatie

Het invoeren van flexibel peilbeheer heeft verschillende, meestal positieve, effecten op de ecologie. Zowel de oevervegetatie als de ondergedoken vegetatie (watervegetatie) hebben baat bij een flexibeler peil. Bij regelmatige droogval van de oeverzone kunnen helofyten zich gemakkelijker uitbreiden door zowel kieming van zaden als klonale kolonisatie (Riza 2002). Uit de analyse van de oeverprofielen en droogval is gebleken dat bij een peilverlaging tot NAP -4,3 m er 23000 m² aan

oeveroppervlak droogvalt ten opzichte van het NAP -4 m peil (Figuur 6-12). Dit oppervlak zou dan potentieel beschikbaar komen voor het areaal oevervegetatie en bevindt zich vrijwel geheel in de aangelegde (ecologische) ondiepe zones. Zonder de aanwezigheid van deze zones zou het effect van een peilverlaging op deze diepe plas vrijwel nihil zijn. Hoe groot de daadwerkelijke uitbreiding van de water- en oevervegetatie zal worden als gevolg van flexibel peil hangt ook af van de fosforbelasting op de plas, de periode van droogval en mogelijke tegenwerking door bijvoorbeeld ganzenvraat. Het hoge chloridegehalte maakt voor nogal wat (ondergedoken) waterplanten de groei onmogelijk, ook bij een aangepast peilbeheer. Soorten als schedefonteinkruid (is reeds aanwezig) of aarvederkruid kunnen hier goed tegen. Riet is de belangrijkste soort in de oevervegetatie en is goed bestand tegen chloride. Een groot voordeel ten opzichte van een vast peil is dat er minder organisch materiaal in de rietkraag zal ophopen, waardoor de vitaliteit toeneemt. Ook indien op bepaalde plekken ondiepe ecologische zones geheel zouden droogvallen zou dat positief effect hebben. De rietkraag zal zeker uitbreiden bij een flexibel peil, maar eutrofiering beperkt de vitaliteit van riet (Pelsma e.a. 2009).

Voor de ondergedoken waterplanten betekent een flexibel peil dat er 's zomers meer licht de waterbodem kan bereiken. Vooral in de ondiepe randzones zou dit kunnen zorgen voor een uitbreiding van het areaal ondergedoken vegetatie. Door het geringe doorzicht in de randmeertjes ontvangt de waterbodem onvoldoende licht voor een uitgebreid areaal waterplanten. Periodieke verlaging van het peil zorgt dan wellicht voor voldoende licht voor natuurlijke uitbreiding van de aanwezige vegetatie. In de ondiepe zones van de grote plas zorgt een flexibel peil voor een verschuiving van de eufotische zone naar diepere delen. Hierdoor zullen nieuwe delen, zoals het diepere deel van de recreatiezone misschien voldoende licht ontvangen om waterplanten te kunnen herbergen. De plas is te brak voor een soortenrijke onderwatervegetatie, wel kunnen specifieke brakwatertolerante soorten in areaal toenemen (smalbladig fonteinkruid) of verschijnen (aarvederkruid).

Kortom flexibel peil kan goed uitwerken op de vegetatie, met name de rietvegetatie, maar soortenrijk zal het niet worden. Daarvoor zou de plas een hoger doorzicht en lagere chloridegehalten moeten hebben.

6.4.3 Vis

Flexibel peil zal op de visstand geen direct effect hebben. Wel valt te verwachten dat als de oever- en ondergedoken vegetatie zich uitbreidt, dit een positief effect zal hebben op de visstand. Kleinere en jonge vissen kunnen zich hier goed verschuilen tegen roofvissen. Plantenminnende vissoorten zoals snoek, ruisvoorn en zeelt zullen profiteren van een groter areaal aan waterriet.

6.5 Fosforbelasting (inc. scenario's)

6.5.1 Bodemchemie

Welk effect een flexibel peil zal hebben op de bodemchemie in de ondiepe zones rond de Ouderkerkerplas is moeilijk te voorspellen. Het droogvallen en weer overstromen van de oevers is mede bepalend voor het zuurstofgehalte, de redoxpotentiaal, de zuurgraad, de temperatuur en het vochtgehalte van de bovenste bodemlaag. Al deze factoren hebben invloed op de nutriëntuitwisseling tussen bodem en water (Riza 2000). Omdat flexibel peil leidt tot het droogvallen van delen van de waterbodem, mag extra binding van fosfor aan die bodem worden verwacht. De bodem wordt als

het ware *gereset* en kan weer een poosje fosfor bufferen. Ook neemt de denitrificatie tijdelijk sterk toe. Praktijkervaringen in laagveenplassen zoals het Naardermeer hebben echter ook geleerd dat langdurige peilverlaging gepaard kan gaan met sterke eutrofiëring (Riza 2002). Doordat delen van de oeverbodem ontwateren en aeroob zullen worden, zal de decompositie en mineralisatie van veen toenemen, wat kan leiden tot verhoogde concentraties fosfaat en ammonium in de bodem (Lamers 2006). Veel hangt af van de hoeveelheid en het type veen in de ondiepe bodems en oevers rond de Ouderkerkerplas, waarvan momenteel weinig bekend is. Doordat het watervolume van de diepe Ouderkerkerplas verhoudingsgewijs vele malen groter is dan in ondiepe laagveenplassen, valt echter te verwachten dat een eventueel vrijkomen van nutriënten uit oeverzones een minimaal effect zal hebben op de nutriëntenhuishouding in de plas, zeker als de periode van laag peil relatief kort is. In 2010 zal een aantal onderzoeken starten (o.a. in het Naardermeer) om te kijken of een droogval van minder dan 2 maanden een netto gunstig of ongunstig effect heeft op de ecologie en de nutriëntenbeschikbaarheid. Het verdient aanbeveling om totdat deze resultaten bekend zijn, niet over te gaan tot een langere droogval dan 6 weken bij een verlaging van 30 cm. In de scenario's worden eventuele effecten op de nutriëntenbalans niet meegenomen. Naar verwachting is het effect gering op het volume van de put.

6.5.2 Balans en scenario's

Er is een aantal belastingverlagende maatregelen doorgerekend, waaronder flexibel peil. Door flexibel peil in voeren zal minder water uit de Bullewijk worden ingelaten. Omdat de verwachting is dat weinig ruimte voor peilverhoging is wordt in de scenario's onder flexibel peil verstaan een winterpeil van NAP -3.90 en een zomerpeil van NAP -4.30 m. Het actuele peilbeheer is NAP -3.95 m in de winter en NAP -4.05 in de zomer. Het huidige peilbeheer is 10 cm flexibel, in het flexpeils scenario is het 40 cm flexibel.

	scenario	toelichting
0	Huidig	Het huidige peilbeheer: 10 cm marge in het peilbeheer. Er wordt dan gemiddeld 136.000 m ³ per zomer ingelaten.
1	Flexpeil 40 cm	Flexibel peilbeheer: 40 cm marge in het peilbeheer. Er wordt dan gemiddeld 33.000 m ³ per zomer ingelaten (inlaatreductie van 75%).
2	Inlaat P = 0.05 mgP/l	Inlaat gedefosfateerd. De gemiddelde fosforbelasting door inlaatwater loopt van jaargemiddeld 0,15 mgP/m ² /d terug naar 0,03 mgP/m ² /d.
3	P-influx GW = 0	Grootte van de influx grondwater blijft als huidig scenario, maar zonder de bijkomende fosforbelasting. Bijvoorbeeld door zuurstofdoserings of een andere fosforbindende maatregel.
4	Flexpeil + P-influx GW = 0	Combinatie van 1 en 3.

Tabel 6-3; Overzicht scenario's

Opmerkingen bij de scenario's:

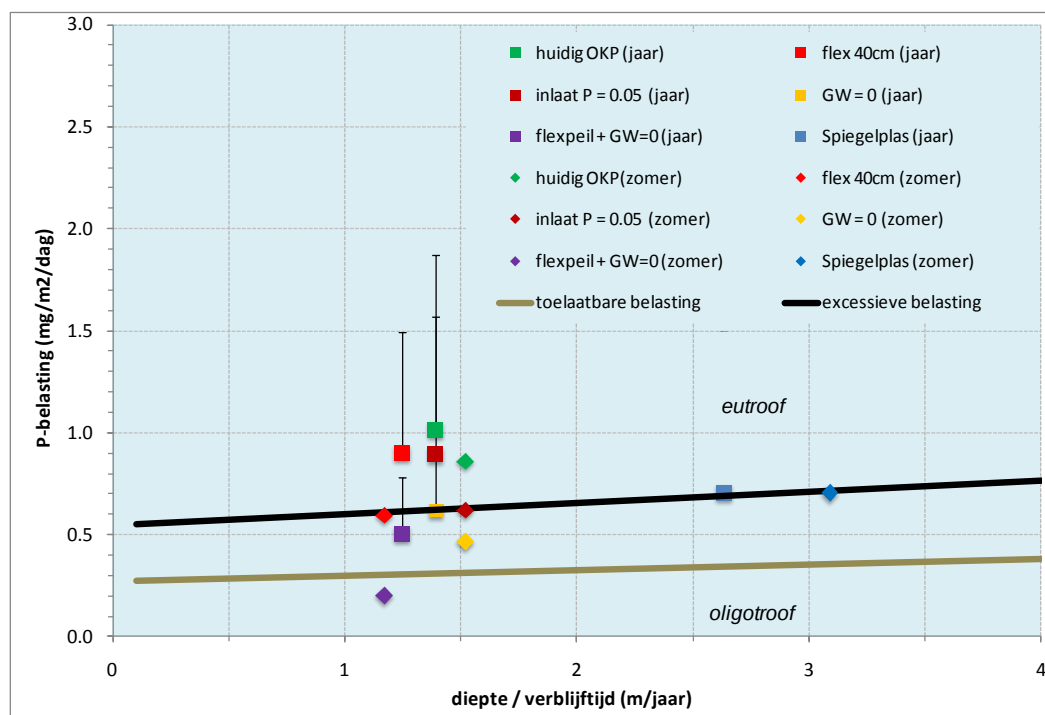
- Belangrijk is dat stratificatie in de zomer ervoor zorgt dat de dan actuele belasting van grondwater en waterbodembodem nauwelijks in het epilimnion terecht komt. Het blijft grotendeels onder de spronglaag en heeft daarom geen direct effect op algengroei. Het zorgt wel voor hogere voorjaarconcentraties na de winter. Het

spreadsheetmodel houdt hier geen rekening mee. Omdat de belasting van grondwater relevant is zal de werkelijke belasting in de zomer *lager* zijn dan in de Figuur 6-15 weergegeven.

- Aangezien is vastgesteld dat de algengroei in de zomer periodiek door de actuele belasting gestuurd wordt, zie 3.6, is het van belang om vooral ook de zomersituatie te beoordelen om juist dan de belasting omlaag te krijgen. De ruitjes in de figuur geven de situatie in de zomer weer. In de zomer is aangenomen dat de plas net zo diep is als het epilimnion dik (8 m).
- De te verwachten belasting van de in de put gestorte grond is niet gekwantificeerd.
- Er is van uitgegaan dat het aantal watervogels niet beïnvloedbaar is.
- Er is uitgegaan van de berekende minimale belasting zonder increment.

Resultaten scenario's, zie Figuur 6-15:

0. In het huidige scenario (groen) is de minimale berekende belasting ongeveer tweemaal hoger dan theoretische excessieve belasting. In de zomer is de belasting iets lager en de diepte/verblijftijd-ratio iets groter.
1. Flexibel peil (rood) vermindert de belasting op jaarbasis met 11%. De diepte/verblijftijd-ratio neemt af, waardoor de toelaatbare en excessieve belasting marginaal lager liggen. Aangezien de inlaat alleen in de zomersituatie plaats vindt is in de zomer het effect van flexibel peilbeheer veel groter (31% vermindering) dan jaarrond, zoals uit Figuur 6-15 blijkt¹².



Figuur 6-15; Fosforbelasting versus toelaatbare en excessieve belasting van de huidige situatie, verschillende scenario's, en de Spiegelplas. In 5.5.3 wordt de opzet van de figuur toegelicht. De verticale zwarte lijnen geven de incrementen op de minimale belasting weer.

¹² Het is de verwachting dat de plas *netto* in de zomer water verliest naar de omgeving, en in de winter water krijgt. Dat zit niet in het model, en heeft tot gevolg dat de inlaatbehoefte (en dus de belasting) in de zomer groter is dan berekend (zie 5.4.2). Indien bij de uitvoering van een flexibeler peil dicht bij de regionale grondwaterstanden gebleven kan worden, zal de zomerse lek naar het grondwater afnemen. Dit maakt de winst van flexibel peil iets groter dan berekend.

2. Als de inlaat gedefosfateerd wordt (bruin), is in de zomer dezelfde verlaging van de fosforbelasting te realiseren als bij flexibel peilbeheer.
3. Als de influx van grondwater gepaard kan gaan met een nulbelasting (oranje) van fosfor dan neemt de belasting met 39% af. In de zomersituatie komt dit scenario (uitgaande van de minimale belasting zonder increment) op de grens van excessieve belasting. Dit scenario is vooral gunstig voor de voorjaarssituatie, maar heeft weinig invloed op de belasting in de zomer.
4. Indien flexibel peil gecombineerd wordt met een nul-belasting vanuit grondwater (paars) wordt de belasting gehalveerd. In de zomer neemt dan de belasting zelfs met 77% af tot onder de toelaatbare belasting.

6.6 Discussie flexibel peil en scenario's

Flexibel peil heeft relevante invloed op de belasting omdat het een maatregel is die juist op het groeiseizoen van algen ingrijpt. In combinatie met maatregelen die de voorjaarsconcentraties verlagen kan het de groei van de algenbiomassa remmen. Om de voorjaarsconcentraties te verlagen moet de invloed van het grondwater en de naleverende waterbodem geminimaliseerd worden. Bij de huidige (toenemende) voorjaarsconcentraties zijn de meetbare effecten van flexibel peil beduidend beperkter.

Indien flexibel peilbeheer wordt ingevoerd moet rekening gehouden worden met de interactie met het grondwater in het eerste watervoerende pakket. Als het plaspeil in de zomer sneller daalt dan de stijghoogtes in de omgeving, kan dat het extra aantrekken van fosfor-rijk grondwater tot gevolg hebben. Dat hoeft echter niet zo te zijn, omdat de grondwaterstanden in de omgeving in de zomer ook dalen. Kwantificering hiervan is met de beschikbare data niet mogelijk, en het zal elke zomer anders zijn. Idealiter zou het peilbeheer zo moeten zijn dat het peil net boven de grondwaterstanden in de omgeving wordt gehouden. De uitflux naar de omringende peilvakken (oostzijde) wordt dan minimaal, waardoor de influx van grondwater ook minder wordt. Niet alleen wordt de inlaat dan geminimaliseerd, maar ook de uitwisseling met grondwater. Volgens bovenstaande redenering is het goed om de dynamiek van de stijghoogtes in de omgeving leidend te laten zijn voor het optimale beheer van een flexibeler peil: grondwatergestuurd peilbeheer. In 2.3 is beschreven dat de amplitude van de grondwaterpeilen in het eerste watervoerende pakket verder van de plas ruim twee maal zo groot is als dichtbij de plas. Het kan zijn dat 40 cm flexibel peil toch een verhoogde influx van grondwater genereert. Aan de andere kant is het zo dat hoe flexibeler het peil, des te groter de reductie van inlaatwater. En juist de belasting door inlaatwater in de zomer is mede bepalend voor de actuele nutriëntensituatie in de eufotische zone¹³, terwijl de grondwaterinflux in het groeiseizoen in het hypolimnion blijft en dus geen directe invloed op algenbloei heeft. Indien flexibel peilbeheer wordt uitgevoerd moet ook rekening worden gehouden met de actuele nutriëntensituatie in de plas. Over het algemeen wordt de plas vanaf juli/augustus fosfaatgelimiteerd. Dat is ook de periode met de grootste kans op bloeien van blauwalgen. Flexibel peil werkt dus optimaal als al eerder, bijvoorbeeld vanaf juni de inlaat geminimaliseerd wordt. Dit in verband met de fosforbuffer van

¹³ De eufotische zone is de zone waar voldoende licht voor fotosynthese aanwezig is en algen kunnen groeien.

blauwalgen (zie 3.6.1). Te vroeg het peil laten uitzakken heeft als nadeel dat de kans bestaat dat hoogzomer het peil niet verder verlaagd mag worden, zodat er toch weer veel water ingelaten moet worden. Defosfateren van inlaatwater heeft een vergelijkbaar effect als flexibel peilbeheer maar vergt energie- en chemicaliënverbruik. Naast flexibel peilbeheer, maar zeker in diepe plassen waar flexibel peilbeheer niet mogelijk is, zou als maatregel overwogen moeten worden om het inlaatwater niet hoog in de plas, maar via een buis direct naar het hypolimnion in te laten. Dit kan in plassen waar in de zomer het inlaatwater een relevante bron is zeer effectief de actuele zomerbelasting minimaliseren. In het geval de Ouderkerkerplas zal het interfereren met de koelwaterwinning door Nuon (zie 3.6.3).

De overige ecologische effecten van flexibel peil zijn positief indien goed uitgevoerd. Zowel de visgemeenschap als vegetatie als macrofauna zullen lokaal evenwichtiger en vitaler worden. Wel is het areaal waar deze effecten plaatsvinden beperkt, en dus is geen direct effect op de algehele waterkwaliteit van de plas te verwachten. Er zijn geen risico's voor aantasting van funderingen, maar m.n. aan de oostzijde van de plas moet de veiligheid (waakhoogte, stabiliteit) nader onderzocht worden indien peilstijgingen deel uit zouden maken van flexibel peilbeheer.

7 Conclusies Systeemanalyse en onderzoek Flexibel Peil

In dit hoofdstuk worden de oorzaken van de huidige waterkwaliteit in de Ouderkerkerplas en de verschillende deelaspecten van het onderzoek samengevat. In de Aanbevelingen (H8) wordt onder andere ingegaan op maatregelen en uitvoeringsaspecten. Effecten van of op de koelwateronttrekking en -lozing en de zuurstoftoediening door Nuon die vanaf de zomer 2010 plaats vindt worden alleen aangestipt maar niet uitgewerkt.

7.1 Geohydrologie

De deklaag rondom de plas is dik en slecht doorlatend waardoor de freatische polderpeilen rondom de plas geen dominante invloed hebben op de regionale grondwaterstroming in het eerste watervoerende pakket (wvp) die in verbinding staat met de plas. De regionale grondwaterstroming (oost – west) in het eerste wvp heeft ook weinig invloed op de plas omdat het opkwelt in de diep gelegen Nieuwe Bullewijk en Bijlmer. De lokale grondwaterstroming vindt vooral plaats tussen de slecht doorlatende deklaag (3 – 8,5 m dik) en het gestuwde pakket (vanaf ongeveer NAP - 15 - 35 m). De plas heeft op die dieptes horizontaal een goede uitwisseling met het regionale grondwatersysteem. Direct aan de oostzijde van de plas is de deklaag vrij dun. In combinatie met een lokaal peilverschil tussen plas en peilvak levert dat voor de plas een uitflux op (orde grootte 0,4 mm/d) die vanuit het zuiden en waarschijnlijk ook westen en noorden gecompenseerd wordt door instromend grondwater. Dit is de veronderstelde jaargemiddelde situatie, waarbij de plas in evenwicht is met het omringende grondwater. De regionale grondwaterstanden variëren sterker dan het strak beheerde plaspeil. Dat zal in de winter een toestroom van grondwater opleveren, en in de zomer een drainage richting grondwater.

7.2 Chemie en fytoplankton

Om in een diepe plas op korte en lange termijn blauwalgbloeien te voorkomen moet (1) de fosforgehaltes in het voorjaar laag zijn, en (2) de actuele fosforbelasting in het groeiseizoen laag zijn. De Ouderkerkerplas voldoet aan geen van beide criteria. Fytoplankton scoort 'ontoereikend' op de KRW-maatlat. De fosfor- en chlorofyl-a-gehalten en de pH zijn hoog en nemen toe, en sulfaatgehalten zijn hoog. Dit zijn signalen dat de plas verslechtert en dat blauwalgen meer kansen krijgen. De beschikbare hoeveelheid ammonium en nitraat is in de winter niet erg hoog, en raakt in het voorjaar snel uitgeput doordat het door biomassa wordt opgenomen. Het is echter niet zo dat het gebrek aan stikstof een sterk remmende werking op de groei van algen kan zetten. De biomassa hoogzomer wordt onder andere gedomineerd door de blauwalgen *Pseudoanabaena*, *Anabaena*, en *Aphanizomenon*. Deze geslachten kunnen atmosferisch stikstof opnemen (stikstoffixatie) bij het ontbreken van nitraat en ammonium. Stikstoffixatie is energetisch ongunstig voor groei en zal daardoor (een niet gekwantificeerd) negatief effect hebben op de maximaal haalbare biomassa aan blauwalgen. Daarnaast zijn *Planktothrix* en in mindere mate *Microcystis* in de plas aanwezig die geen stikstof kunnen fixeren en dus van de actuele stikstofbelasting afhankelijk zijn. (ortho)Fosfaat- en (totaal)fosforconcentraties zijn in de winter en het

voorjaar hoog. Midden in de zomer wordt fosfaat zo laag dat de mate van blauwalgenbloei gestuurd wordt door de actuele fosfaatbelasting op het epilimnion. Alle fosfaat die daar de plas in komt wordt per direct opgesoupeerd door blauwalgen. Totaal fosfor en chlorofyl-a nemen daarom toe terwijl fosfaat zeer laag blijft. De stratificatie zorgt ervoor dat belasting in het hypolimnion door grondwater en de nalevering van de waterbodem geen invloed heeft op de bloei in het in het groeiseizoen.

Historisch gezien is de belasting op de plas waarschijnlijk altijd te hoog geweest door met name grondwater, vogels, en inlaatwater (zie 7.4). De sedimenterende algenbiomassa en de influx van zuurstofloos grondwater leiden al in 1986 tot de eerste echte zuurstofloosheid bij de bodem, die in de jaren daarna toeneemt. De retentie van fosfor als direct gevolg van sedimentatie wordt steeds verder teniet gedaan door nalevering uit de zuurstofloze waterbodem. Hierdoor neemt de (interne) belasting toe en bevindt de plas zich in een negatieve spiraal, die versterkt is door de grondstort in 1987/1988.

De hypothese is dat bij een initieel te hoge en vanaf 1986 oplopende belasting de lentezuivering (door diatomeeën en groenalgen die fosfaat opnemen en sedimenteren) de plas lange tijd van grote blauwalgenbloeien heeft gevrijwaard. Chlorofyl-a blijft ook in de jaren '90 op een acceptabel laag niveau. Vanaf 2004 of enkele jaren eerder lukt het tijdens de lentezuivering niet meer de fosfaatvoorraad in de lente op te souperen. Steeds later in de zomer raakt het fosfaat op. Dit uit zich in toenemende biomassa van blauwalgen.

7.3 Vegetatie en vis

De plas voldoet niet aan een goede ecologische toestand volgens de KRW systematiek. De watervegetatie is arm aan soorten en nauwelijks ontwikkeld. De oevervegetatie is als gevolg van de aanleg van de ecologische zones iets minder slecht ontwikkeld, maar niet soortenrijk en de rietkragen zijn smal. De macrofauna is door het ontbreken van een ondergedoken watervegetatie soortenarm. Vis scoort goed. Dit komt doordat er twee visgemeenschappen op de plas verblijven, eentje op het open diepe water en eentje in de ondiepe zones, waardoor er relatief veel plantenminnende vis aanwezig is en er veel soorten zijn. Bovendien is de totale visbiomassa laag. Er is geen urgent knelpunt vismigratie in/aan de Ouderkerkerplas.

7.4 Balans en belasting

Om de grootte van de fosforbronnen te bepalen is een langjarige waterbalans op dagbasis verfijnd en gecalibreerd op chloride. Met de balans is de fosforbelasting berekend. Alle posten (fluxen en concentraties) zijn afgeleid aan de hand van metingen en berekeningen. De balansposten blijven binnen de gemeten en berekende grenswaarden. Hieronder worden de belangrijkste posten beschreven.

Grondwater

De interactie met het grondwater levert een belangrijke belasting op de Ouderkerkerplas aangezien de fosforconcentraties in het grondwater hoog zijn. De chlorideconcentratie van de influx is als calibratieparameter gebruikt.

Waterbodem en afstroming

Eind jaren tachtig zijn de ecologische oeverzone en het recreatiegebied aangelegd. Hierbij is een deel van de te top van de historische deklaag (veen + klei) in de plas gestort. Er zijn sterke aanwijzingen dat dit samen met de opkomende zuurstofloosheid en hoge sulfaatgehalten tot toenemende interne eutrofiering heeft geleid. Deze nalevering vanuit het sediment is niet gekwantificeerd en niet in de modellering van de belasting meegenomen. Bij de aanleg van het recreatiegebied is een ander deel van de deklaag opgemengd met zand en gebruikt als ophoogmateriaal rondom de plas. Het ontwerp van dit gedraineerde recreatiegebied streeft naar zo min mogelijk afwateren naar de plas.

Vogels

Er overwinteren veel vogels op de plas die een grote fosforbelasting veroorzaken. Het merendeel van deze belasting komt van smienten. Ook de belasting van de grauwe gans is substantieel in de winterse fosforbelasting.

De belangrijkste fosforbronnen zijn, in afnemende belasting:

1. Influx grondwater (0,4 – 0,8 mgP/m²/d)
2. Vogels (0,3 – 0,4 mgP/m²/d)
3. Inlaatwater Bullewijk (0,15 mgP/m²/d)
4. Afstroming (0,1 – 0,2 mgP/m²/d)
5. Neerslag (0,1 mgP/m²/d)

Samen levert dit een gemiddelde berekende totale belasting op van 1,0 (minimaal) tot 1,7 (maximaal) mgP/m²/d. Retentieberekeningen ondersteunen de laagste waarde van deze range.

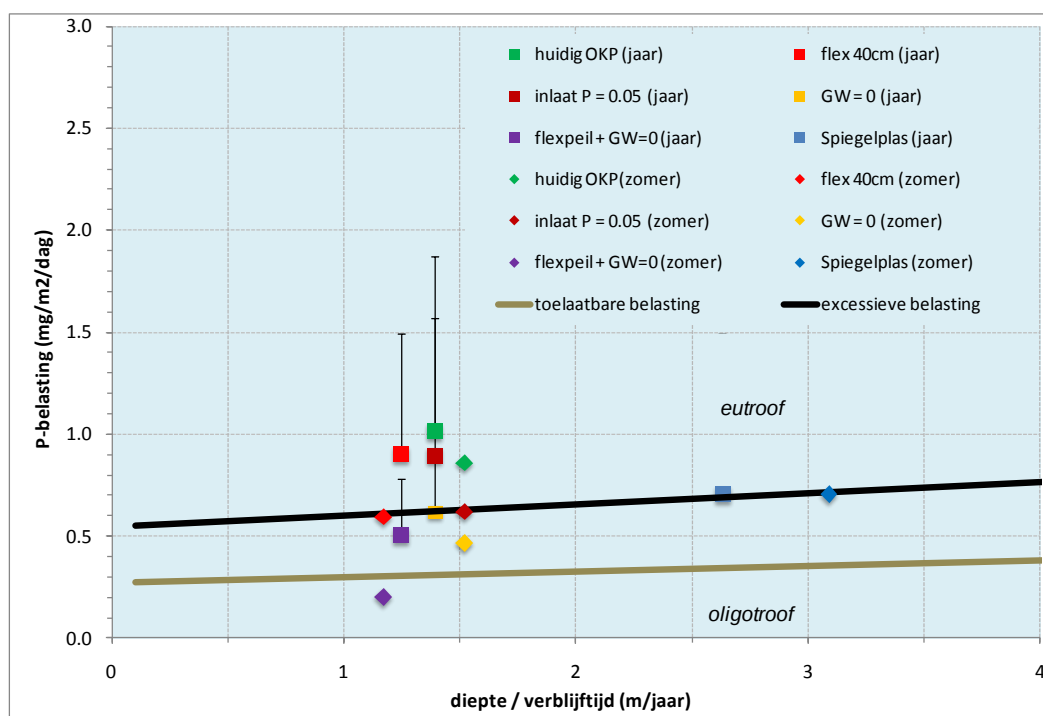
7.5 Scenario's

Er is een aantal belastingverlagende maatregelen doorgerekend, waaronder flexibel peil. In de scenario's wordt onder flexibel peil een fluctuatie van 40 cm verstaan ten opzichte van de huidige 10 cm. Er is uitgegaan van de berekende minimale belasting zonder increment.

	scenario	toelichting
0	Huidig	Het huidige peilbeheer: 10 cm marge in het peilbeheer. Er wordt dan gemiddeld 136.000 m ³ per zomer ingelaten.
1	Flexpeil 40 cm	Flexibel peilbeheer: 40 cm marge in het peilbeheer. Er wordt dan gemiddeld 33.000 m ³ per zomer ingelaten (inlaatreductie van 75%).
2	Inlaat P = 0.05 mgP/l	Inlaat gedefosfateerd. De gemiddelde fosforbelasting door inlaatwater loopt van jaargemiddeld 0,15 mgP/m ² /d terug naar 0,03 mgP/m ² /d.
3	P-influx GW = 0	Grootte van de influx grondwater blijft als huidig scenario, maar zonder de bijkomende fosforbelasting. Bijvoorbeeld door zuurstofdosing of een andere fosforbindende maatregel.
4	Flexpeil + P-influx GW = 0	Combinatie van 1 en 3.

Tabel 7-1; Overzicht scenario's

Resultaten scenario's



Figuur 7-1; Fosforbelasting versus toelaatbare en excessieve belasting van de huidige situatie, verschillende scenario's, en de Spiegelplas. In 5.5.3 wordt de opzet van de figuur en de termen toelaatbaar en excessief toegelicht. De verticale zwarte lijnen geven de marge (incrementen) op de minimale belasting weer.

0. In het huidige scenario (groen) is de minimale berekende belasting ongeveer tweemaal hoger dan theoretische excessieve belasting. In de zomer is de belasting iets lager en de diepte/verblijftijd-ratio iets groter.
1. Flexibel peil (rood) vermindert de belasting op jaarbasis met 11%. Aangezien de inlaat alleen in de zomersituatie plaats vindt is in de zomer het effect van flexibel peilbeheer veel groter (31% vermindering).
2. Indien de inlaat gedefosfateerd wordt (bruin), is in de zomer dezelfde verlaging van de fosforbelasting te realiseren als bij flexibel peilbeheer.
3. Indien de influx van grondwater gepaard kan gaan met een nulbelasting (oranje) van fosfor dan neemt de belasting met 39% af. In de zomersituatie komt dit scenario (uitgaande van de minimale belasting) op de grens van excessieve belasting. Dit scenario is vooral gunstig voor de voorjaarssituatie, maar heeft weinig invloed op de belasting in de zomer.
4. Indien flexibel peil gecombineerd wordt met een nul-belasting vanuit grondwater (paars), wordt de belasting gehalveerd. In de zomer neemt dan de belasting zelfs met 77% af tot onder de toelaatbare belasting.

7.6 Flexibel peil

Flexibel peilbeheer is wenselijk en mogelijk in de Ouderkerkerplas, en bovendien duurzaam en goedkoop. Hieronder zijn de te verwachten effecten beschreven die in dit rapport onderzocht zijn.

Belasting

1. Flexibel peil zal de inlaatbehoefte verminderen en er daardoor voor zorgen dat de zomerse fosfor-, stikstof- en sulfaatbelastingen op de plas lager worden.
2. Een periodiek lager plaspeil resulteert in een lagere uitflux naar het oostelijk gelegen peilvak. Dit reduceert de inlaatbehoefte.
3. Indien helemaal geen water wordt ingelaten gaat in de zomer de verdamping vanuit de plas sneller dan de stijghoogtedaling in het eerste watervoerende pakket. Dit zal tot grondwataervulling leiden. Volledig flexibel peil zal zo naar verwachting ook een vergroting van de influx door nutriëntrijk grondwater met zich meebrengen. Dit kan met goed peilbeheer voorkomen of geminimaliseerd worden (zie 8.1).
4. De droogvallende bodem is op beperkte schaal in staat fosfor te binden en stikstof te doen verdwijnen door denitrificatie. De mineralisatie van veen blijft beperkt indien de droogval niet te lang duurt.

Ecologie

5. De afname van de fosforbelasting zou de groei van algen kunnen remmen, omdat de blauwalgengroei in de zomer door de actuele fosforbelasting gestuurd wordt. Het zal ook tot verschuivingen binnen de algenpopulaties kunnen leiden. De wijziging in belasting door flexibel peil alleen is echter niet van dien aard dat een sterke afname of populatieverschuiving verwacht wordt. Het zal wel de huidige verslechtering van de plas kunnen afremmen die het gevolg is van sterk stijgende voorjaarsconcentraties aan nutriënten. De voorjaarsconcentraties worden bepaald door de influx van grondwater en de chemie van de waterbodem. *Flexibel peil zal bij lage voorjaarsconcentraties een groter (en naar verwachting relevant) effect sorteren dan bij de huidige (toenemende) voorjaarsconcentraties.*
6. Door het peil in de zomer te laten uitzakken, zullen delen van de waterbodem periodiek droogvallen. Dit zal lokaal de ontwikkeling en het areaal van oevervegetatie, in het bijzonder riet, bevorderen. Hierdoor neemt de score op de KRW-maatlat toe. De ondergedoken vegetatie zal ook profiteren van flexibel peil omdat het doorzicht enigszins zal toenemen door de verminderde fosforbelasting in de zomer. Jonge vis en plantenminnende vissoorten zoals snoek, ruisvoorn en zeelt zullen profiteren van een groter areaal aan waterriet.
7. Door het grotere areaal vegetatie zal ook de macrofauna in biomassa en diversiteit toenemen, wat op zijn beurt weer gunstig is voor limnofiele vissen.

Funderingen

8. Er zijn geen problemen met funderingen te verwachten, gezien de berekende geringe invloed van de peilfluctuaties in de plas op de freatische grondwaterstanden. Bovendien is het peil van de plas (en het oorspronkelijke veengebied) tussen 1974 en 1984 waarschijnlijk 30 centimeter lager geweest dan nu.

8 Aanbevelingen

8.1 Uitvoering flexibel peil

Zoals in 7.6 geschetst, heeft het instellen van een natuurlijker peilverloop vooral voordelen. Bij de uitvoering moet met een aantal zaken rekening worden gehouden:

1. Uitvoeren van grondwatergestuurd peilbeheer. Het plaspeil dient idealiter boven de stijghoogtes in het omringende watervoerende pakket te blijven. Dit minimaliseert de aanvoer van nutriëntrijk grondwater en vereist maatwerk in het beheer. Deze stijghoogtes zijn meteorologie-afhankelijk en dus elk jaar anders. Door op een aantal locaties (on-line, gekoppeld aan CAW) op een strategisch gekozen afstand van de plas de stijghoogtes te meten, kan het plaspeil zo ingesteld worden dat het net boven de grondwaterstanden blijft. Omdat de grondwaterstanden een (semi-)natuurlijke variatie hebben – hoog in de winter, laag in de zomer – krijgt de plas zo ook een (semi-)natuurlijk peilverloop. Door ook plaspeilen en in- en uitlaat te monitoren (voorkeur on-line) kan het optimale grondwatergestuurd peilbeheer gerealiseerd worden.
2. Uit peilbuizen op enige afstand van de plas blijkt een peilregime op te treden van 12-24 cm. Een flexibel plaspeil van 40 cm (+10 cm tot -30 cm t.o.v. streefpeil NAP -4.0 m) is als uitgangspunt genomen voor de kwantificering van de effecten van flexibel peil. Het is voor het minimaliseren van de nutriëntbelasting voordelig om het peil in de winter zo hoog mogelijk op te laten komen ten opzichte van het evenwichtspeil. De praktijk moet uitwijzen welk verloop haalbaar en verstandig is om uit te voeren. Indien bij een geringe peilfluctuatie al grondwater wordt aangetrokken, moet rekening worden gehouden met het kiezen tussen twee kwaden: (1) veel flexibel peil met een toename van de grondwaterinflux (verhoging van voorjaarsconcentraties), of (2) minder flexibel peil en meer inlaatwater toelaten (directe invloed actuele groei blauwalgen).
3. Het is van belang om vanaf midden juni t/m augustus nog de marge te hebben om het plaspeil te kunnen laten zakken. Fosfaat is dan limiterend voor algengroei, het grondwater zit opgesloten in het hypolimnion, en de invloed van inlaatwater is in die periode relatief groot. Het beperken van inlaatwater in de zomer zal meer effect sorteren dan in het voorjaar, omdat er dan nog geen fosfaatlimitatie is.
4. Bij het verhogen van het plaspeil in de winter is onzeker of de dijken blijven voldoen aan de veiligheidseisen (stabiliteit en waakhoogte). Er moet onderzocht worden of peilopzet wat betreft de waakhoogte en stabiliteit van de dijklichamen mogelijk is.
5. In het watergebiedsplan Bijlmerring is getoetst op GGOR en NBW. Er zijn daarbij geen relevante knelpunten gesignaleerd. Indien flexibel peil ingezet gaat worden, moet bepaald worden of er opnieuw moet worden getoetst.
6. Om veenoxidatie te voorkomen wordt voorsnog aanbevolen de plas maximaal zes weken op het minimale peil te laten.

8.2 Overige maatregelen

1. Alternatieve of flankerende maatregel kan zijn om het inlaatwater met een inlaatbuis direct naar het hypolimnion te leiden. Dit minimaliseert het effect van de belasting door het inlaten van water, en zou in veel diepe plassen een goede

maatregel kunnen zijn. In het geval van de Ouderkerkerplas zal dit interfereren met de koelwaterwinning en -lozing.

2. Het grondwater en de chemie in de waterbodem zijn een grote bron van fosfor. Om deze bron(nen) te minimaliseren kan een aantal maatregelen toegepast worden, zoals phoslock, ijzersuppletie, afgraven, en/of afdekken. Indien een succesvolle maatregel wordt uitgevoerd, wordt de plas als het ware gereset naar de uitgangssituatie direct na de aanleg. De verschillende opties zijn in dit rapport niet onderzocht, hiervoor wordt verwezen naar het onderzoek naar de effecten van de koudewinning waarin een nieuwe techniek wordt toegepast om de waterbodem fosfaat te laten binden (zuurstoftoediening). Het elimineren van de belasting vanuit de waterbodem en grondwater wordt zeer effectief geacht in combinatie met flexibel peilbeheer.
3. Door een zandlaag op te brengen in het ondiepe deel bij de recreatiezone, in het verlengde van de zandlaag aan het zandstrand, kan worden voorkomen dat daar nalevering vanuit het sediment plaats vindt. Voordat deze maatregel uitgevoerd wordt, dient de waterbodem op fosfaatsnalevering geanalyseerd te worden.
4. De uitspoeling vanuit het recreatiegebied kan geminimaliseerd worden indien de drains frequent onderhouden worden (bv. tweejaarlijks).
5. Defosfateren van inlaatwater ligt niet voor de hand aangezien flexibel peilbeheer op een duurzame wijze hetzelfde of meer effect sorteert. Het is niet effectief in combinatie met flexibel peil doordat de ingelaten hoeveelheid water dan sterk afneemt.
6. Pas bij renovatie van gemalen (gemaal Nieuw Bullewijk en de kleinere poldergemalen) dienen deze visvriendelijk te worden uitgevoerd, vooral om de passage van eventuele schieraal naar de Bullewijk mogelijk te maken.

8.3 Nabranders

1. Belangrijke term in de balans is de verdamping. Deze is belangrijk om de inlaat, die nodig is om de plas op peil te houden, te berekenen. Van het water dat de plas uitgaat kan meer dan de helft op het conto van de post verdamping worden geschreven. Verdamping is berekend met de methode van Priestley - Taylor, omdat de veelal gebruikte methode Makkink niet geschikt is voor (dieper) open water en niet geschikt is buiten de zomerperiode. Er is in deze studie veel aandacht besteed aan de verschillende methoden. De calibratieresultaten hebben mede de keuze bepaald voor de gebruikte verdamping. De invloed op de balans is dermate groot dat de beste verdampingsberekening voor groot, open water verder uitgewerkt en gestandaardiseerd moeten worden, zodat dit geen calibratieparameter hoeft te zijn. Zeker binnen Waternet, maar beter nog landelijk.
2. Aanvullend op analyse van de waterbodem kan een concentratietoename in de nazomer van fosfaat in het hypolimnion omgerekend worden in een belasting ($\text{mgP/m}^2/\text{d}$). Afhankelijk van de invloed van grondwater kan dit een beeld geven van de nalevering door de waterbodem. Naast sedimentatie van organisch materiaal en een eventuele grondwaterinflux is de chemische activiteit van de waterbodem een mogelijk bepalende fosforbron in de gestratificeerde periode. Zeker in de situatie waarin de grondwaterinflux klein of afwezig is kan dit met een minimale meetinspanning veel informatie opleveren. Bij gebrek aan gegevens is

dat in dit rapport niet gedaan. Voor het in 2010-2011 lopende onderzoek in de Sloterplas is een meetnet ingericht om deze analyse te kunnen doen.

3. Voor diepe plassen is zou het eenjarig extra monitoren van sediment en het hypolimnion bijvoorbeeld conform bovenstaande al veel meer informatie kunnen geven dan reguliere meetnetten in het epilimnion. Namelijk een beter beeld of een plas die nu nog goed lijkt, toch al een risico met zich meedraagt op blauwalgbloeien in de komende jaren. Meten in hypolimnion en sediment heeft in een diepe plas een voorspellende meerwaarde.
4. Het watersysteem moet zeker in gestratificeerde diepe plassen met een dubbele focus geanalyseerd worden. Zowel de totale belasting (bepaalt de voorjaarsconcentraties fosfor) als de zomerbelasting (sturen op actuele fosforlimitatie) is van belang om een goed maatregelenpakket samen te stellen. Water- en stoffenbalansen die geschikt zijn voor het doorrekenen van stratificatie (compartimentering) kunnen hier meer gekwantificeerd systeeminzicht in geven.
5. Naast chemische nalevering is de invloed van grondwater van evident belang voor de waterkwaliteit. Zandwinplassen zijn gegraven voor zandwinning en staan van oorsprong per definitie in 'open' contact met een goed doorlatend watervoerend pakket. In dat grondwater is in west Nederland de kans op hoge chloride- en fosforgehaltes groot. Geohydrologie moet een onderdeel vormen van elke systeemanalyse van een diepe plas.
6. De invloed van de koelwaterlozing op verdamping heeft als neveneffect dat de inlaatbehoefte zal veranderen. De inlaatbehoefte kan vergroten of verkleinen, afhankelijk van locatie, diepte, methode, en temperatuur. Het is goed om hier aandacht aan te besteden in de analyse van effecten van een koelwaterwinning/-lozing.

9 Literatuur

Acacia Water / VU 2008, *Aanvullend veldonderzoek Groot Mijdrecht Noord, achtergrondrapport van de Verkenning water Groot Mijdrecht Noord*, Jouke Velstra e.a, 25/9/2008

Acacia Water 2010, *Inzichten omtrent grondwater in relatie tot de Ouderkerkerplas*, Jouke Velstra, mei 2010

Allen 1998, *Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements - FAO irrigation and drainage paper 56*, R.G. Allen et al, FAO 1998

Altenburg & Wynema 2007, *Waterplanten en oeervegetatie in de plassen van het gebied van Amstel- Gooi- en Vechtstreek*, juni 2007, E. Nat, W. Bijkerk, J. Ouwehand. A&W-rapport 904

vd Berg & Pot 2007, *Achtergronddocument referenties en maatlatten fytoplankton ten behoeve van de Kaderrichtlijn Water*, Berg, M.S. van den & Pot, R. (red.) 2007

De Bruin & Keijman, *The Priestely-Taylor model applied to a large, shallow lake in the Netherlands*, Journal of applied meteorology, vol. 18, 1979, H.A.R. de Bruin & J.Q. Keijman

Buishand & Velds, *Klimaat van Nederland 1, Neerslag en Verdamping*, KNMI 1980, T.A. Buishand & C.A. Velds

B-Ware 2009, *Samenvatting van lezing van Fons Smolders, De Biogeochemie van door drijfplanten gedomineerde aquatische systemen: bedreigingen en kansen*

B-ware 2010, *Oxidatie van het hypolimnion als defosfateringssysteem in de Ouderkerkerplas: Monitoring, nulmeting 2009*, Rapportnummer: 2010.30, F. Smolders en J van Diggelen, 2010

Cultuurtechnische Vereniging 1988, *Cultuurtechnisch Vademecum, werkgroep herziening Cultuurtechnisch vademecum*, ISBN 90-9002366-6.

Digitaal archief Kees Hogenes, Amsterdam-IV.jpg

Fugro 2010, *Rapport betreffende grondonderzoek rondom de Ouderkerkerplas te Ouderkerk a/d Amstel*, J.P. Nelemans, FUGRO Ingenieursbureau b.v., 29 januari 2010.

Future Water 2006, *Berekening openwaterverdamping*, juni 2006, A. van Loon, P. Droogers

Future Water 2009, *Penman-Monteith referentieverdamping: Inventarisatie beschikbaarheid en mogelijkheden tot regionalisatie*, FutureWater rapport 86, sept 2009, J.M. Schuurmans, P. Droogers

Grontmij 1987, *Bestek Groengebied Amstelland deelplan Ouderkerkerplas (uitbreiding plas)*, Bestek no. 1, O.N. 55041-01, Alkmaar 13/2/1987

Grontmij 1987/2, *Bestek Groengebied Amstelland deelplan Ouderkerkerplas (oever bestaande plas)*, Bestek no. 2, O.N. 55041-02, Alkmaar 13/2/1987

Hahn 2007, *Quantification of Allochthonous nutrient input into wetlands by herbivorous waterbirds* Hahn, Steffen, S. Bauer & M. Klaassen, 2007, Centre of Limnology, Netherlands

Lamers 2006, *Onderzoek ten behoeve van het herstel en beheer van Nederlandse laagveenwateren*. Eindrapportage 2003-2006. Rapport DK nr. 2006/057-O, Lamers L.P.M. (red.) Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Directie Kennis, Ede.

Lucassen e.a. 2008, *Oorzaken en oplossing interne eutrofiering in spaarbekken De Braakman*, Lucassen E. H. Casteleijns, A. Wagenvoort & A. Smolders, H2O.11-2008.

Nagpal 1981. Ambient Water Quality Guidelines for Chloride. Overview. Nagpal, N.K., 1981, Ministry of water, Air and Land Protection, Canada.

Nelen en Schuurmans 2008, *Zeespiegelstijging dramatisch voor Noord-Hollandse boezem*, H2O (18), 2008, p. 10-12, Eric van Dijk

Nelen en Schuurmans 2009, *Zwemwaterproblematiek Ouderkerkerplas*, 21 april 2009, Olivier Hoes

Nürnberg 1984, *The prediction of internal phosphorus load in lakes with anoxic hypolimnia*, Limnol. Oceanogr., 29(1), 1984, 111-124, Gertrud K. Nürnberg

Olsthoorn 2009, *Beschrijving bakjesmodel Waternet voor Matlab implementatie*, Theo Olsthoorn, sept. 2009

Paulissen e.a. 2007, *Grondwater in perspectief, een overzicht van hydrochemische watertypen in Nederland*, M.P.C.P. Paulissen, R.C. Nijboer, P.F.M. Verdonschot, WUR 2007, Alterra rapport 1447.

Pires 2007, *Cyanobacteriën in Terra Nova, Literatuuronderzoek naar oorzaken van en maatregelen tegen de opkomst en dominantie van cyanobacteriën*, M. Dionisio Pires, NIOO 2007.

Pelsma e.a. 2009, *Principe ontwerpen Natuurvriendelijke Oevers*. T.A.H.M., E. Weenink & G. Hoogland, 2009. Intern rapport Waternet.

Provincie Noord-Holland 2006, *Referentiewaarden voor Aquatische Systemen in Noord-Holland*, 2006

Redeke 1932, *Abriss der regionalen Limnologie der Niederlanden*. Publ. nr. 1 der Hydrobiol. Club, Redeke, H.C. 1932, Amsterdam

Redeke 1975, Hydrobiologie van Nederland. Backuys en Meesters, Redeke, H.C. 1975 Amsterdam

RIVM 2008, Arseen in Nederlands grondwater, oorzaak van verhoogde arseenconcentraties, Briefrapport 607300009/2008, J.Spijker, RIVM 2008

Riza 2000, *Peilbeheer en nutriënten. Literatuurstudie naar de effecten van peildynamiek op de nutriëntenhuishouding van watersystemen*. RIZA rapport 2000.012. Wienk, L.D., Verhoeven, J.T.A., Coops, H. en Portielje, R.

Riza 2002, *Ecologische effecten van peilbeheer: een kennisoverzicht*. RIZA-rapport 2002.040, Coops, H. (red.) 2002

Royal Haskonig 2009, *Notitie Archiefonderzoek Ouderkerkerplas*. Janson, R. & Herbschleb, J., 4 dec. 2009

RWS 1972, *Rijksweg 6, Arbitragecommissie toezending rapport RVD*, Memo 18 juli 1972 aan Waterschap Bijlmer (Memo_RID_hydrol gevolgen zandput.pdf en Locaties_peilbuizen.pdf, memo_RID_boring C.pdf)

Stichting Platform Fundering Nederland 2006, *Betonoplangers*. Wensen, A. van, 2006

Stowa 2007, *Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water*, Stowa-rapport 2007-32

Stowa 2008, *Van helder naar troebel... en weer terug*, Nico Jaarsma, Marcel Klinge (Stowa-rapport 2008/04)

Stowa 2009, *Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer, definitiestudie*, Stowa-rapport 2009-11

Stowa 2010, *Een heldere kijk op diepe plassen; Kennisdocument diepe meren en plassen: ecologische systeemanalyse, diagnose en maatregelen*, Arnold Osté, Nico Jaarsma, Frank van Oosterhout, Stowa-rapport 2010-38, concept 29 april 2010

Vereniging voor Landinrichting / Elsevier 2000, *Cultuurtechnisch Vademecum, handboek voor inrichting en beheer van land, water en milieu*, Elsevier bedrijfsinformatie bv en de, 2000, ISBN 90-5439-089-1

Waternet 2007, *Watersysteembeschrijving Ouderkerkerplas*, Maart 2007, Rob Ververs, Maarten Ouboter, Eric Weenink, (Rapport Waterbalans Ouderkerkerplas def.doc, 26/04/2007)

Waternet 2008, *KRW-detailuitwerking voor het waterlichaam Ouderkerkerplas*, April 2008, Rob Ververs, Eva de Bruin (DetailuitwerkingOuderkerkerplas.doc/pdf, 28/07/2008)

Waternet 2008/2, *Aan de slag met vismigratie in het beheergebied van Amstel, Gooi en Vecht – uitvoeringsgerichte beleidsnota – 2008*

Waternet 2009, *Factsheet KRW per waterlichaam, NL11_3_3*, Situatie op 18/09/2009

Wolters-Noordhoff 1992, *Grote Historische Provincie Atlas 1:25000, Noord Holland 1849-1859*

[illegible]

Bijlage 3; resultaten grondwateranalyses peilbuizen

Metingen d.d. 30/11/2009

Locaties: zie Figuur 2-1

Peilbuis		J6006 - 4M	J6006-20 M	J7009-26 M	G0925-12 M	G0925-26 M	J7010-15 M	Ouderkerker
zuurgraad (pH)		6.4	7.5	7.5	7.6	8.3	6.7	plas
geleidbaarheid	mS/m	211.0	336.0	391.0	241.0	190.1	219.0 *	
meettemperatuur EC	°C	16.0	15.9	19.1	16.1	16.2	16.0	
aluminium (Al)	µg/l	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	
arseen (As)	µg/l	6	850	170	18	< 2	490	
barium (Ba)	µg/l	86	500	180	110	64	230	
ijzer (Fe)	µg/l	1200	4500	3400	640	83	11000	
calcium (Ca)	mg/l	150	48	82	190	110	70	
kalium (K)	mg/l	11	47	25	24	22	30	
magnesium (Mg)	mg/l	48	98	55	90	74	57	
natrium (Na)	mg/l	160	430	550	200	160	470	
opgelost fosfaat als P	mg P/l	0.06	0.17	0.27	0.11	2.0	0.84	
nitraat als N	mg N/l	0.13	< 0.05	16	6.2	0.72	0.14	
nitriet als N	mg N/l	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01	
totaal stikstof als N	mg N/l	5.1	11	2.1	7.5	15	10	
totaal fosfaat als P	mg P/l	1.4	2.0	0.86	0.44	2.4	3.0	
bicarbonaat	mg/l	350	800	280	540	600	480	
chloride	mg/l	440	750	1000	220	200	500	
sulfaat	mg/l	160	3.9	92	580	180	2.6	
veldmetingen								
gws tov NAP	m	-4.41	-3.9	-4.12	-3.96	-4.03	-4.15	-
zuurgraad_veld (pH)	-	6.16	6.87	6.6	6.7	6.85	6.5	6.76
geleidbaarheid_veld	mS/m	214	345	412	240	196.3	345	293

*) wijkt sterk af van geleidbaarheid_veld

1976

	januari		februari		maart		april		mei		juni		juli		augustus		september		oktober		november		december	
Diepte	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l	T	O2 mg/l
0																								
1m																					10.1	10.6		
5m																					10.1	11		
10m																					10.1	10.4		
15m																					10	10.7		
17,5m																					7.9	6.8		
20m																					7.5	6.2		
25m																					7.4	6		
30m																					7	5		
32,5m																					7.1	4.5		
35m																					7.1	4.6		
40m																					7.2	2.5		

[illegible]

1978

Diepte	april	april	april	mei	mei	mei	juni	juni	juni	juli	juli	juli	aug	aug	aug	sept	sept	sept	okt	okt	okt	nov	nov	nov	nov	nov	dec	dec	dec
	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %		
1	6.5	11.2	91				16	14.3	144				18	9.8	103														
2	6.3	11.3	91				15.5	14.2	142				18	9.8	103														
3	6.1	11.3	91				15.2	13.8	137				18	9.6	101														
4	6	11.2	90				15.2	13.7	136				18	9.6	101														
5	6	11.1	89				15.2	13.8	137				17	8.8	90														
6	6	11	88				15.1	13.6	134				17	8.4	86														
7	6	11	88				13	12.2	115				16.5	8	81														
8	6	10.9	87				11.8	11.8	109				16	6.4	64														
9	6	10.9	87				9.8	12.2	107				14	4.5	43														
10	6	10.8	86				8	12.7	107				11	4.8	43														
11							7.5	13.1	109				10	5.3	47														
12							7	13.6	112				8.5	6	51														
13							6.5	13.8	112				7	6.5	53														
14							6.5	13.8	112				6.5	6.7	54														
15	6	10.6	85				6.5	13.8	112				6.5	7	57														
16													6	7.2	58														
17													6	7.3	58														
18													6	7.3	58														
19													6	7.3	58														
20	5.5	10.5	83										6	7.4	59														
21																													
22																													
23																													
24																													
25							6	13.6	109				6	7.4	59														
26																													
27																													
28																													
29																													
30	5.5	10.2	81				6	13	104				6	6.6	53														
31																													
32																													
33																													
34																													
35	5.5	10	79				6	12.5	100				6	6.3	50														
36																													
37																													
38																													
39																													
40																													
41																													
42																													
43																													
44																													
45																													

1980

Diepte	mei	mei	mei	juni	juni	juni	juli	juli	juli	aug	aug	aug	sept	sept	sept	okt	okt	okt
	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T °C	O ₂ mg/l	O ₂ %
1	13	12	114	17	10.6	110	15.5	9.8	99	18	8.9	95	16	12	122	11	10	91
2	13	12	114	17	10.6	110	15.5	9.8	99	18	8.9	95	16	13.2	135	11	10	91
3	12.5	12	113	16	10.4	106	15.5	9.8	99	18	8.9	95	16	15	153	11	10	91
4	12	11.8	110	14	11	107	15.5	9.8	99	18	8.8	94	16	16.2	165	11	10	91
5	12	11.8	110	13.5	10.8	104	15.5	9.8	99	18	8.8	94	16	16.4	167	11	10	91
6	11.5	11.8	108	13	10	95	15.5	9.7	98	18	8.8	94	16	16.2	165	10.5	10	90
7	11.5	11.6	106	13	9.6	91	15.5	9.7	98	17.5	8	84	15.5	15	152	10.5	10	90
8	11	11.4	104	12	9.3	88	15.5	9.7	98	15	6.7	67	15	14.5	145	10.5	10	90
9	10	11.2	100	10.5	9.3	84	15	9.4	94	14.5	6.7	66	15	14.2	142	10.5	10	90
10	10	11.2	100	10	9.6	98	14	8.6	83	14	6.7	65	15	13.8	138	10.5	10	90
11							11	7.6	69	13.5	6.7	64	15	13.6	136	10.5	10	90
12	9.5	11.2	98	9	9.9	86	9.5	8.1	71	12	5.9	55	14.5	13.2	129	10.5	10	90
13							9	8.1	70	10	6.2	55	13	11.8	112	10.5	10	90
14	8.5	11	100	8	10	85	9	8.1	70	9	6.5	57	10	9.6	86	10.5	10	90
15							8.5	8.2	70	8.5	7	60	8.5	10.4	89	10.5	10	90
16	7.5	11	92	7.5	10.2	85	8	8.3	70	8	7.3	62	8	10.9	92	10.5	9.9	89
17							8	8.4	71	8	7.3	62	7.7	11.2	93	10.5	9.9	89
18	7	11	91	7	10.2	84	7.5	8.6	72	7.5	7.5	63	7.5	11.2	93	10.5	9.9	89
19							7.5	8.6	72	7	7.7	64	7	11.4	94	10.5	9.8	88
20	7	11	91	7	10.2	84	7	8.7	72	7	7.9	65	7	11.5	95	9.5	9	79
21							7	8.6	71	7	7.9	65	7	11.5	95	7	6.3	52
22				6.5	10	81	7	8.6	71	7	7.9	65	6.5	11.5	93	7	6.4	53
23							6.5	8.6	70	6.5	7.8	63	6.5	11.6	94	6.5	6.2	50
24							6	8.5	69	6	7.6	61	6	11.6	94	6.5	6	49
25	6	10.8	87	5.8	10	81	6	8.5	69	6	7.4	60	6	11.6	94	6	5.8	47
26							6	8.4	68	6	7.3	59	6	11	89	6	5.8	47
27							5.5	8.3	66	6	7.2	58	6	10.7	86	6	5.8	47
28							5.5	8	63	6	7.1	57	6	10.2	82	6	5.9	48
29							5.5	7.9	63	5.5	6.9	55	6	10	81	6	5.2	42
30	5	10.6	83	5	9.7	76	5.5	7.8	62	5.5	6.8	54	5.5	9.8	78	6	4.8	39
31							5.5	7.8	62	5.5	6.7	53	5.5	9.5	75	6	4.8	39
32							5.5	7.7	61	5.5	6.6	52	5.5	9.2	73	6	4.6	37
33							5.5	7.7	61	5.5	6.5	52	5.5	8.8	70	6	4.5	36
34										5.5	6.4	51				6		
35	5	10.4	82	5	9.4	74										6		
36	5	10.1	80	5	9.1	72										6		
41				5	9	71										6		
42	5	10	79													6		

1982

Diepte m	april	april	april	april	april	april	juni	juni	juni	juli	juli	juli	juli	juli	juli	august	august	august	sept	sept	sept	okt	okt	okt	dec		
	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	ToC	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %
0				8	16.0	135	21.9	10.3	116	17	11	113	19	9.7	104	17	9.7	100	17	9.5	98			7	12.4	102	
1	7	13.5	111	8	16.0	135	21	10.6	118	17	11	113	19	9.7	104	16.5	9.7	99	17	9.5	98	12	12	111			
2	6.5	13.5	109	8	16.0	135	19.5	11.4	123	17	11	113	19	9.7	104	16.5	9.7	99	17	9.5	98	12	11.7	108			
3	6.5	13.5	109	8	16.0	135	18	11.4	120	17	11	113	19	9.7	104	16.5	9.7	99	17	9.5	98	12	11.4	105			
4	6	13.5	108	8	15.8	133	17	11	113	17	10.8	111	19	9.7	104	16.5	9.7	99	17	9.5	98	12	11.3	104			
5	6	13.4	107	8	15.4	130	15	10.5	104	17	10.8	111	19	9.7	104	16.5	9.7	99	17	9.5	98	12	11.1	103	7	11.8	97
6	5.5	13.3	105	8	15.4	130	12.5	10	93	17	10.8	111	19	9.7	104	16.5	9.7	99	17	9.5	98	12	11	102			
7	5.5	13.2	104	8	15.2	128	10	9.8	87	17	10.4	107	18.5	9.7	103	16.5	9.6	98	16.5	9.3	95	12	10.9	101			
8	5	13.2	103	8	14.8	125	9	9.9	85	15	9.2	91	13	6.8	64	16.5	9.6	98	16.5	9.2	94	12	10.8	100			
9	5	13.2	103	8	14.5	122	9	9.9	85	9	8.6	74	10	7.5	66	16	9.2	93	16	8.8	89	12	10.8	100			
10	5	13.7	107	8	14.4	121	8.5	10	85	8	9.1	77	8.5	8.2	70	12	6.5	60	13	6.9	65	12	10.8	100	7	11.6	95
11	5	13.1	102	7.5	13.5	112				8	9.4	79	8	8.5	72	8	7.2	61	11	6.3	57	12	10.6	98			
12	5	13.1	102	7	13.2	108				8	9.6	81	8	8.6	72	8	7.6	64	9	6.4	55	12	10.6	98			
13	5	13.0	101	6	12.8	102				7.5	9.5	79	8	8.6	72	7.5	8.2	68	8	6.7	56	12	10.4	96			
14	5	13.0	101	6	12.8	102				7.5	9.5	79	8	8.6	72	7.5	8.2	68	8	7.2	61	8	7.4	62			
15	5	13.0	101	6	12.6	101	8.5	10.8	92	7.5	9.5	79	7.5	8.7	72	7.5	8.1	67	7.5	6.8	57	7.5	7	58	7	11.4	94
16	4.5	13.0	100	6	12.5	100				7.5	9.6	80	7.5	8.8	73	7.5	8.7	72	7.5	6.8	57	7	7	57			
17	4.5	13.0	100	5.5	12.5	99				7.5	9.7	81	7.5	9.6	80	7.5	9.1	76	7	7.2	59	7	7.3	60			
18	4.5	13.0	100	5.5	12.5	99				7	9.8	80	7.5	9.6	80	7	8	66	7	7.2	59	7	7.9	65			
19	4.5	13.0	100	5	12.5	97				7	9.8	80	7	9.5	78	7	8.2	67	7	7.2	59	7	7.6	62			
20	4.5	13.0	100	5	12.5	97	8	10.6	89	7	9.8	80	7	9.5	78	7	8.3	68	7	7.2	59	7	7.4	61	7	11.4	94
21										7	9.2	76	7	9.4	77	7	8.1	66	7	7.2	59	7	7.3	60			
22										7	9.1	75	7	9.2	76	6.5	8.1	66	7	7.2	59	6.5	7.2	58			
23										6.5	9.2	75	7	8.9	73	6.5	8.2	66	6.5	7.3	59	6.5	7.1	58			
24										6.5	9.3	75	6.5	8.7	71	6.5	8.1	66	6	7.3	58	6	7.8	62			
25	4	12.9	98	5	12.3	96	6.5	10.5	85	6	9.1	73	6	8.7	70	6	8	64	6	6.6	53	6	6.9	55	7	11.2	92
26										6	8.9	71	6	8.7	70	6	8	64	6	6.5	52	6	6.5	52			
27										6	8.9	71	6	8.4	67	6	7.8	62	6	6.4	51	6	6.2	50			
28										6	8.9	71	6	8.2	66	6	7.5	60	6	6.3	50	6	6.2	50			
29										6	8.8	70	6	8	64	6	7.2	58	6	6	48	6	5.7	46			
30	4	12.8	97	5	12.0	94	6.5	10.4	84	5.5	8.7	69	6	8	64	6	7	56	6	5.8	46	6	5.5	44	7	11.2	92
31										5.5	8.5	67	6	7.8	62	6	6.6	53	6	5.6	45	6	5.1	41			
32										5.5	8.4	66	6	7.6	61	6	6.4	51	6	5.1	41	6	4.9	39			
33										5.5	8.1	64	6	7.4	59	6	6.1	49	6	4.9	39	6	4.5	36			
34										5.5	8	63	5.5	7.2	57	6	5.9	47	6	4.6	37	6	3.9	31			
35	4	12.7	96	5	12.0	94	6	10.1	81	5.5	7.8	62	5.5	7	55	6	5.8	46	6	4.1	33	6	3.4	27	7	10.8	89
36										5.5	7.6	60	5.5	6.8	54	5.5	5.6	44	6	3.8	30	6	3.2	26			
37	4	12.7	96	5	12.0	94				5.5	7.5	59	5.5	6.5	51	5.5	5.4	43	6	3.4	27	6	2.7	22			
38										5.5	7.2	57	5.5	6	47	5.5	4.3	34	6	3	24	6	2.3	18	8	1.8	15
39										5.5	6.8	54	5.5	5.5	43												
40										5.5	6	47	5.5	4.1	32												

1984

Diepte	feb	feb	feb	mrt	mrt	mrt	april	april	april	mei	mei	mei	juni	juni	juni	juli	juli	juli	aug	aug	aug	sept	sept	sept	okt	okt	okt	dec	dec	dec
	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %
0	2	12	86	3	12.8	94	8.5	15.8	135	10.5	13.2	118	16	9.9	100	17	8.8	90	20	9.3	101	15	9.2	91	10.5	8.7	78	7.5	11.2	93
1							8.5	15.8	135	9	13	112	16	10	101	17	8.8	90	20	9.3	101	15	9.2	91				7.5	11.4	95
2							8	15.8	133	9	13	112	16	9.9	100	17	8.8	90	20	9.1	99	15	9.2	91						
3							7.5	15.4	128	8.5	12.4	106	16	9.9	100	17	8.8	90	19.5	9.1	98	15	9.2	91						
4							7	15	123	8.5	12.3	105	16	9.9	100	17	8.8	90	19	9	96	15	9.2	91						
5	2	12	86	3	12.8	94	6	14.6	117	8.5	12.3	105	16	9.9	100	17	8.8	90	18.5	9	95	15	9.2	91	10.5	8.7	78	7	11.4	94
6							5.5	14	111	8.5	12.4	106	16	9.9	100	17	8.8	90	18	8.6	90	15	9.2	91						
7							5	13.4	104	8	12.4	104	16	9.9	100	17	8.8	90	17	8.4	86	15	9.2	91						
8							5	13.4	104	8	12.2	103	15.5	9.4	94	15	8.2	81	16	7.8	79	15	9.2	91						
9							4.5	13.2	102	8	12.1	102	13	8	76	14	7.9	76	13	7.1	67	15	9.2	91						
10	2	12.4	89	3	12.8	94	4.5	13.2	102	8	12	101	11	7.9	71	12.5	7.2	67	11.5	6.7	61	15	9.2	91	10.5	8.7	78	7	11.5	94
11							4	13.2	100	8	12	101	9.6	7.9	69	10.5	7.2	64	10	7.6	67	14	9.4	91						
12							3.5	13.2	99	7.5	11.9	99	8.5	8.1	69	9	7.2	62	9	7.5	65	9	10.2	88						
13							3.5	13.2	99	7	11.9	98	7.5	8.2	68	8.5	7.3	62	8	8.6	72	8	9.6	81						
14							3.5	13.2	99	6.5	11.7	95	7.5	8.6	71	7.5	7.6	63	7	8.4	69	7	9.7	80						
15	2	12.4	89	3	13.1	97	3.5	13.2	99	4	11.7	89	7	8.7	71	7	7.9	65	6	8.9	71	7	9.7	80	10.5	8	71	7	11.6	95
16							3.5	13.2	99	4	12	91	6.5	9.2	75	6.5	8.3	67	6	9.1	73	7	10	82	8.6	7	60			
17							3.5	13.2	99				6	9.4	75	6	8.6	69	6	9.1	73	7	10	82	8.6	7.5	7.3	61		
18							3.5	13.2	99				6	9.6	77	6	8.8	70	6	9.2	74	6	10.8	86	5.5	7.3	58			
19							3.5	13.2	99				5.5	9.8	77	5.5	8.9	70	5.5	9.2	73	5.5	10.8	85	5	7.5	58			
20	2	12.4	89	3	13.1	97	3.5	13.2	99	4	12.2	93	5.5	10.8	85	5.9	9	72	5.5	9.2	73	5.5	11	87	5	7.5	58	7	11.6	95
21							3.5	13.2	99				5.5	10.8	85	5	9.1	71	5	9.3	73	5	10.8	84						
22							3.5	13.2	99				5.5	10.8	85	5	9.1	71	5	9.3	73	5	10.8	84						
23							3.5	13.2	99				5.5	10.6	84	5	9.1	71	5	9.3	73	5	10.8	84						
24							3.5	13.2	99				5.5	10.6	84	5	9	70	5	9.3	73	5	10.8	84						
25	2	12.4	89	3	13.1	97	3.5	13.2	99	3.5	12.2	91	5	10	78	5	9	70	5	9.3	73	5	10.6	83	4.5	7.1	55	7	11.6	95
26							3.5	13.2	99				5	10	78	5	8.9	69	5	9.1	71	5	10.6	83						
27							3.5	13.2	99				5	9.9	77	5	8.9	69	5	8.9	69	5	10.4	81						
28							3.5	13.2	99				5	9.8	76	5	8.7	68	5	8.8	69	5	10.4	81						
29							3.5	13.2	99				5	9.5	74	5	8.6	67	5	8.7	68	5	10.4	81						
30	2	12.4	89	3	13.1	97	3.5	13.2	99	3.5	12	90	5	9.4	73	5	8.3	65	5	8.5	66	5	10.2	80	4.5	6.7	52	7	11.6	95
31							3.5	13.2	99				5	9.2	72	5	8.3	65	5	8.2	64	5	9.5	74				6	5.5	44
32							3.5	13.2	99				5	9.1	71	5	8.1	63	5	8.1	63	5	9.5	74				5.5	5	39
33							3.5	13.2	99				5	8.7	68	5	8.1	63	5	8	62	5	9.2	72				5	4.6	36
34							3.5	13.2	99				5	8.6	67	5	7.9	62	5	7.9	62	5	9.1	71				5	4.4	34
35	2	12.4	89	3	13.1	97	3.5	13.2	99	3.5	11.8	88	5	8.5	66	5	7.9	62	5	7.8	61	5	8.8	69	4.5	5.7	44	5	4.2	33
36													5	8.5	66	5	7.7	60				5	8.8	69				5	4	31
37													5	8.4	65	5	7.6	59				5	8.8	69				5	3	26
38													5	8.3	65	5	7.3	57				4.5	8.7	67				5	3	23
39													5	8.1	63	5	6.7	52				4.5	8.4	65				5	2.9	23
40	2	12.4	89	3	13.1	97	3.5	13.2	99	3.5	11.8	88	5	8.1	63	5	6.5	51	5	7.8	61	4.5	8.3	64	4.5	4.7	36	5	2.9	23

Diepte	april	april	april	april	april	mei	mei	mei	juni	juni	juni	juli	juli	juli	aug	aug	aug	sept	sept	sept	sept	sept	sept	okt	okt	okt	nov	nov	nov	dec	dec	dec
	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %		
0						15	11.6	114				20	9.5	104				15	11	108	14	10.1	98	12	9.1	84				7	10.6	87
1	3.5	13.2	99	5.5	12.4	98						19	9.5	102				15	10.8	107												
2																		15	15													
3																		15	10.6	105	14	9.8	95									
4				5	12.5	97	15	11.1	109									15	10.4	103												
5																		15														
6												19	8.9	95				15														
7							14	11	106			18	6.2	65				15	10.2	101	13.5	9.6	92									
8							14	10.4	100			14	6.6	64				15														
9							12	9.6	89																					7	10.6	87
10							10	9.4	83												13.5	9.2	88	12	9	83						
11							8	10.2	86									15	10.2	101												
12												10	6.4	57				15	9.6	95	13.5	8.9	85	12	8.9	82						
13												8	7	59				10	6.5	57	12.5	8.2	77									
14							6	11	88									8	7.4	62	8.5	6.6	56	12	8.8	81						
15												6	8.6	69				6			6.5	6.8	55	11	8.7	79				7	10.4	85
16																		6	8	64				9	7.3	63						
17												6	9.3	74							5.5	7.4	58	7	6.4	53						
18												5	9.6	75							5.5	7.6	60	6	6.5	52						
19																		5	8.6	67				6	6.6	53						
20							5	11.3	88									5												7	10.4	85
21																		5	9.5	74				6								

Age	Feb	Feb	Feb	Mar	Mar	Apr	Apr	Apr	Apr	May	May	Jun	Jun	Jul	Jul	Aug	Aug	Aug	Sept	Sept	Sept	Sept	Oct	Oct	Nov	Nov	Nov	Dec	Dec	Dec		
1	Feb	Feb	Feb	Mar	Mar	Apr	Apr	Apr	Apr	May	May	Jun	Jun	Jul	Jul	Aug	Aug	Aug	Sept	Sept	Sept	Sept	Oct	Oct	Nov	Nov	Nov	Dec	Dec	Dec		
2	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
3	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
4	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
5	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
6	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
7	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
8	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
9	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
10	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
11	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
12	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
13	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
14	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
15	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116	16	14	141	19	9.4	100	13	8.6	81	10	9.4	83	8	6.8	57	5	8.3	65
16	14.4	10.3	13.2	13.2	95	12	14.6	135	13	13.2	125	19	10.8	116																		

Diepte	mrt	mrt	mrt	mei	mei	juni	juni	juni	juni	juni	juni	juli	juli	juli	aug	aug	sept	sept	sept	okt	okt	okt	nov	nov	nov	dec	dec	dec	
	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %		
0	5	9.3	73			15	7.7	76	17	9.8	101	18	9.2	96															
1	5	9.3	73			15	7.7	76	17	9.8	101	18	9.2	96	10	8.7	77	17	9.7	100	13	9.9	94	9	9.9	85			
2	5	9.4	73			15	7.7	76	17	9.8	101	18	9.2	96				16	9.7	98	13	9.9	94	9	9.9	85			
3	5	9.4	73			15	7.7	76	17	9.8	101	18	9.2	96				16	9.2	93	13	9.9	94	9	9.9	85			
4	5	9.5	74			15	7.7	76	17	9.8	101	18	9.1	95				15	9.2	91	13	9.9	94	9	9.9	85			
5	5	9.6	75			15	7.7	76	17	9.8	101	18	9.1	95				15	9	89	13	9.9	94	9	9.9	85	5	10.6	83
6	5	9.5	74			15	7.6	75	17	9.7	100	18	9.1	95				15	9	89	13	9.9	94	9	9.9	85			
7	5	9.6	75			15	7.6	75	17	9.6	99	18	9.1	95				15	8.8	87	12	9.8	91	9	9.8	85			
8	5	9.7	76			14	7.6	73	16	9.4	95	18	9.1	95				15	8.8	87	12	9.8	91	9	9.8	85			
9	5	9.8	76			11	8.1	73	16	8.6	87	17	8.9	91				15	8.5	84	12	9.7	90	9	9.8	85			
10	5	9.8	76			9	7.7	66	12	7.2	67	16	7.9	80				15	8.5	84	12	9.6	89	9	9.8	85	5	10.6	83
11	5	9.8	76			8	7.8	66	10	7.2	64	12	6.5	60				15	8.3	82	12	9.5	88	9	9.8	85			
12	5	9.8	76			8	7.8	66	9	7.8	67	10	6.9	61				14	8	77	12	9.4	87	9	9.8	85			
13	5	9.9	77			8	8.6	72	8	8.1	68	8	7.3	61				10	6.8	60	12	9.3	86	9	9.7	84			
14	5	9.9	77			7	8	66	8	8.6	72	8	7.4	62				9	6.8	59	12	9.2	85	9	9.8	85			
15	5	10.1	79			7	8.1	66	7	8.9	73	8	7.6	64				8	7	59	10	8.1	72	9	9.8	85	5	10.6	83
16	5	10.1	79			6	8.1	65	7	9.5	78	7	7.8	64				8	7.2	61	7	6.7	55	9	9.8	85			
17	5	10.1	79			6	8.2	66	7	9.3	76	7	8	66				8	7.4	62	5	6.7	52	9	9.6	83			
18	5	10.1	79			6	8.2	66	7	9.4	77	7	8.1	66				8	7.5	63	5	6.8	53	9	9.6	83			
19																													

[illegible]

Dpt	feb	feb	feb	mar	mar	mar	april	april	april	may	may	may	jun	jun	jun	jun	jun	aug	aug	sept	sept	sept	oct	oct	oct	nov	nov	dec	dec	dec				
m	°C	°C	%	°C	°C	%	°C	°C	%	°C	°C	%	°C	°C	%	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	%					
0	5		8.4	65	8	13.5	114	10	14.1	125	16	11.15	112	19	10.70	114	18	9.55	100	18	8.01	84	14	9	87	14	14.21	137	10	13.1	116	8	8.90	75
1								10	14.2	125	16	11.15	112	19	10.58	113	18	9.55	100	18	7.98	84	14	8.96	87	14	14.20	137	10	12.8	113	8	8.90	75
2								10	14.2	125	16	11.14	112	19	10.53	113	18	9.6	101	18	7.96	83	14	8.95	86	14	14.11	136	10	12.9	114	8	8.93	75
3								10	14.3	126	16	11.13	112	18	10.51	110	18	9.64	101	18	7.96	83	14	8.9	86	14	14.11	136	10	12.7	112	8	8.90	76
4								10	14.3	126	16	11.13	112	17	9.41	97	18	9.57	100	18	7.95	83	14	8.76	85	14	14.11	136	10	12.6	111	8	9.10	77
5	5	8.5	66	7	12.5	103		10	14.3	126	16	11.13	112	16	9.50	96	18	9.57	100	18	7.96	83	14	8.84	83	13	14.13	134	10	12.5	110	8	9.17	77
6								10	14.3	126	16	11.12	112	16	9.94	100	18	9.14	96	18	7.95	83	14	8.58	83	13	14.04	133	10	12.6	111	8	9.24	78
7								10	14.2	125	11	8.45	76	13	5.59	53	16	8.53	86	18	7.94	83	14	8.58	83	13	13.91	131	10	12.5	110	8	9.27	78
8								10	13.8	122	11	8.51	77	12	5.03	46	16	8.5	86	18	7.92	83	14	8.55	83	13	13.31	126	10	12.4	109	8	9.36	79
9								10	13.8	122	11	7.98	72	10	5.09	45	16	8.39	84	18	7.92	83	14	8.54	82	13	13.31	126	10	12.4	109	8	9.40	79
10	5	8.6	67	7	12.5	103		9	13.7	118	10	7.98	70	9	5.18	46	16	8.13	82	15	4.65	46	14	8.5	82	13	13.20	125	10	12.4	109	8	9.47	80
11								9	13.7	118	10	7.75	68	10	5.23	46	15	7.63	75	13	3.01	28	14	8.51	82	13	13.33	124	10	12.4	109	8	9.54	80
12								9	13.6	117	10	7.66	68	10	4.96	44	11	3.62	33	12	2.42	22	14	8.43	81	13	13.07	124	10	12.3	109	8	9.58	81
13								9	13.6	117	10	8.20	73	9	4.99	43	10	3.66	32	10	2.4	21	13	8.35	79	13	12.98	123	10	12.3	109	8	9.61	81
14								9	13.3	115	9	8.29	71	9	5.03	43	9	4.21	36	10	2.73	24												

Dpt	feb T°C	feb O ₂ mg/l	feb O ₂ %	mar T°C	mar O ₂ mg/l	mar O ₂ %	apr T°C	apr O ₂ mg/l	apr O ₂ %	may T°C	may O ₂ mg/l	may O ₂ %	juni T°C	juni O ₂ mg/l	juni O ₂ %	juni T°C	juni O ₂ mg/l	juni O ₂ %	juli T°C	juli O ₂ mg/l	juli O ₂ %	aug T°C	aug O ₂ mg/l	aug O ₂ %	sept T°C	sept O ₂ mg/l	sept O ₂ %	okt T°C	okt O ₂ mg/l	okt O ₂ %	nov T°C	nov O ₂ mg/l	nov O ₂ %
0				5	11.1	87	9	12.6	109				12	4.7	43	15	4.5	44	21	9	100	20	8.6	94	18	8.2	86	12	11.4	105	8	9.4	79
1				5	11.1	87	9	12.6	110				12	4.8	44	15	4.3	42	21	9	100	20	8.6	94	18	8.2	86	12	11.7	108	8	9.4	79
2				5	11.2	87	9	12.9	111				12	4.8	44	15	4.4	43	21	9	100	20	8.7	95	18	8.2	86	12	11.3	104	8	9.4	79
3				5	11.2	87	9	12.9	111				12	4.8	44	15	4.4	43	21	9	100	20	8.7	95	18	8.2	86	12	11.2	104	8	9.5	80
4				5	11.1	87	9	12.7	110				12	4.9	45	15	4.4	43	21	9	100	20	8.7	95	18	8.2	86	12	10.9	101	8	9.5	80
5				5	11.4	89	8	12.4	104				12	4.9	45	15	4.4	43	21	9	100	20	8.7	95	18	8.4	88	12	10.6	99	8	9.5	80
6				5	11.4	89	8	12.3	104				12	5.1	47	15	4.4	43	20	8.4	92	20	8.6	94	18	8.3	87	12	10.7	98	8	9.5	80
7				5	11.3	88	8	12.4	104				12	5.1	47	14	4.4	42	18	7.3	77	20	8.5	93	18	8.1	85	12	10.9	101	8	9.5	80
8				5	11.3	88	8	12.4	104				12	5.3	49	13	4.7	44	16	7.1	71	19	7.6	81	18	8.1	85	12	11.0	102	8	9.4	79
9				5	11.2	87	8	12.4	104				10	5.5	49	12	4.7	43	15	7	69	16	6.2	62	17	7.2	74	12	10.8	101	8	9.2	77
10				5	11.2	87	8	12.6	106				10	5.9	52	12	4.7	43	14	7.1	69	15	5.4	53	16	4.2	42	12	10.9	100	8	9.3	78
11				5	11.2	87	8	12.7	107				9	6.0	52	12	4.8	44	13	7.1	67	14	5.4	52	13	4.4	42	12	10.8	100	8	9.3	78
12				5	11.1	87	8	12.8	108				9	6.0	52	12	4.7	43	12	7.1	66	13	5.7	54	12	4.7	43	12	10.5	97	8	9.4	79
13				5	11.1	87	8	12.8	108				8	6.2	52	12	4.7	43	11	7.1	64	12	5.7	53	11	4.7	42	12	10.3	95	8	9.4	79
14				5	10.9	85	8	12.8	108				8	6.3	53	11	4.8	43	10	7.1	63	11	6	54	10	4.9	43	12	9.8	91	8	9.5	80
15				5	10.9	85	8	12.7	107				8	6.3	53	9																	

1992

Dpt	jan	jan	jan	feb	feb	feb	mrt	mrt	mrt	april	april	april	mei	mei	mei	juni	juni	juni	juli	juli	juli	aug	aug	aug	sept	sept	sept	sept	okt	okt	okt	nov	nov	nov	dec	dec	dec
		O,mg/l	O ₂ %	T°C	T°C	O,mg/l	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	
0	5	11.7	91	4	11.3	86	6	13.9	111				16	8.9	90	18	8.9	93	19	9.3	99	19	9.2	98	15	11	108	12	9.7	90				7	10.8	89	
1							6	12.9	103				16	8.9	90	18	8.9	93	19	9.3	99	19	9.3	99	15	12.2	120	12	11.2	104				7	10.9	89	
2							6	12.7	102				16	8.8	89	18	8.9	93	19	8.9	95	19	9.2	98	15	14.9	147	12	15.9	147				7	10.9	89	
3							6	12.2	98				16	8.9	90	18	8.9	93	19	8.8	94	19	9.2	98	15	15.3	151	12	13.6	126				7	12.1	99	
4							6	12.2	98				15	8.7	86	18	8.8	92	19	8.8	94	19	9.1	97	15	15.4	152	12	14.7	136				7	12.2	100	
5	5	11.7	91	4	11.5	87	6	12.7	102				13	8.7	82	18	8.8	92	19	8.7	93	19	9.1	97	15	15.4	152	12	14.2	131				7	14.1	116	
6							6	13.4	107				12	8.6	79	18	8.6	90	19	8.6	92	19	9.1	97	15	15.5	153	12	14.5	134				7	14.3	117	
7							6	13.4	107				11	8.4	76	18	8.7	91	19	8.6	92	19	8.9	95	15	15.1	149	12	15.1	140				7	14.2	117	
8							6	14	112				11	8.1	73	14	6.4	62	18	8	84	18	8.5	89	15	15.2	150	12	15.9	147				7	14.2	117	
9							6	14	112				11	8.0	72	12	6.4	59	14	5.4	52	15	4.6	45	15	15	149	12	15.9	147				7	14.2	117	
10	5	11.8	92	4	11.7	89	6	14.3	114				10	7.7	68	11	6.7	61	12	5.7	53	12	4.7	43	15	14.8	146	12	15.9	147				7	14.3	117	
11							6	14.3	114				10	7.7	68	11	6.6	60	11	5.7	52	11	5.1	46	15	14.8	146	12	15.7	145				7	14.3	117	
12							6	14.3	114				10	7.8	69	10	6.9	61	10	6.2	55	10	5.3	47	15	14.6	144	12	15.6	144				7	14.3	117	
13							6	14.5	116				9	7.8	67	10	6.9	61	10	6.2	55	9	5.4	47	13	13	123	12	15.6	144				7	13.9	114	
14							5	14.5	113				9	8.0	69	10	6.7	59	9	6.8	59	9	6	52	10	13.9	123	12	16.0	148				7	14.0	115	
15	5	11.7	91	4	11.5	87	5	14.4	112				8	8.5	72	9	6.7	58	9	7.2	62	8	6.1	51	9	13	112	12	16.2	150				7	14.0	115	
16							5	14.3	111				8	8.6	72	9	7.2	62	9	7.5	65	8	6.4	54	9	13.7	118	11	15.1	136				7	13.9	114	
17							5	14.3	111				7	8.5	70	8	7.2	61	8	7.8	66	8	6.6	56	8	14.3	120	9	15.0	129				7	13.9	114	
18							5	14.1	110				7	8.4	69	8	7.7	65	8	8	67	8	6.6	56	8	14.5	122	8	14.5	122				7	13.8	113	
19							5	13.9	108				7	8.3	68	7	7.8	64	8	8.1	68	7	6.5	53	8	14.8	125	8	14.9	125				7	13.8	113	
20	5	11.6	90	4	11.5	87	5	13.9	108				7	8.3	68	7	8.0	66	7	8.1	66	7	6.4	53	8	14.8	125	8	14.9	125				7	13.8	113	
21							5	13.7	107				7	8.1	66	7	8.0	66	7	7.9	65	7	6.2	51	7	14.8	122	8	13.3	112				7	13.9	114	
22							5	13.7	107				7	7.9	65	7	8.1	66	7	7.9	65	7	6	49	7	15.4	126	8	13.6	114				7	13.8	113	
23							5	13.5	105				7	7.8	64	7	8.1	66	7	8.2	67	7	5.7	47	7	15.5	127	8	13.3	112				7	13.7	112	
24							5	13.5	105				7	7.7	63	7	1.9	16	7	7.9	65	7	5.5	45	7	15.5	127	8	13.4	113				7	13.6	112	
25	5	11.5	90	4	11.5	87	5	13.4	104				7	7.5	62	7	7.9	65	7	7.7	63	7	5.4	44	7	15.6	128	8	13.2	111				7	13.7	112	
26							5	13.5	105				7	7.2	59	7	7.6	62	7	7.6	62	7	5.2	43				8	13.2	111				7	13.4	110	
27							5	13.5	105				7	7.2	59	7	7.4	61	7	7.3	60	7	4.9	40				8	12.3	104				7	13.2	108	
28							5	13.3	104				7	7.1	58	7	7.1	58	7	7	57	7	4.7	39				8	12.2	103				7	13.2	108	
29							5	13.3	104				7	7.0	57	7	7.2	59	7	6.8	56	7	4.7	39				8	12.2	103				7	13.3	109	
30	5	11.6	90	4	11.4	87	5	13.2	103				7	6.6	54	7	6.9	57	7	6.4	53	7	4.8	39	7	14.4	118	7	11.6	95				7	13.3	109	
31							5	13.1	102				6	6.8	54	7	6.7	55	7	6.2	51							7	10.7	98				7	13.1	108	
32							5	13.1	102				6	6.2	50	7	6.6	54	7	6.2	51							7	10.5	96				7	13.0	107	
33							5	12.7	99				6	6.5	52	7	6.5	53	7	5.9	48							7	10.7	98				7	12.5	103	
34							5	12.7	99				6	6.5	52	7	6.4	53	7	5.7	47							7	10.9	99				7	12.4	102	
35	5	11.6	90	4	11.4	87	5	12.4	97				6	6.5	52	7	6.3	52	7	5.4	44	7	4.3	35	7	13.3	109	7	10.2	84				7	12.1	99	
36							5	12.3	96				6	6.5	52	7	6.0	49	7	5.2	43							7	10.2	84				7	10.2	84	
37							5	12.3	96				6	6.4	51	7	5.6	46	7	5.1	42							7	9.3	76				7	6.8	56	
38							5	12.3	96				6	6.3	50	7	5.5	45	7	4.9	40							7	9.4	77				7	3.5	29	
39							5	12.7	99				6	6.1	49	7	4.9	40	7	4.7	39							7	9.5	78				7	3.4	28	
40				4	11.3	86	6	9.6	75				6	5.6	45	7	4.5	37	7	4.5	37							7	9.6	79				7	3.3	27	

1993

Dpt	jan	jan	jan	feb	feb	feb	feb	feb	feb	mrt	mrt	mrt	april	april	april	mei	mei	mei	juni	juni	juni	juni	juni	juni	aug	aug	aug	aug	aug	aug	sept	sept	sept	sept	okt	okt	dec	dec	dec
m	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %	T°C	O,mg/l	O ₂ %
0				4	8.1	61	4	10	76				9	7	60				15	11.0	115	16	12	121	18	10	105	17	7.8	80	16	9.5	96	10	12.0	106			
1				4	8	61	4	20	152				9	14.2	122				15		>200	16		>200	18		>200	18		107	17	83	16	100	10	107			
2				4	11.8	90	4	20	152				8	14.1	119				15		>200	16		>200	18		108	17	84	16	97	10	104						
3				4	11.6	88	4	20	152				8	13.6	114				15		>200	16		>200	18		109	17	82	16	97	10	105						
4				4	10.6	80	4	20	152				8	13.6	114				15		>200	16		>200	18		108	17	84	16	96	10	101						
5				4	10.4	79	4	20	152				8	13.2	111				15		>200	16		>200	18		106	17	83	16	89	10	104						
6				4	10.3	78	4	20	152				8	13.4	113				15		>200	16		>200	18		99	17	85	16	89	10	105						
7				4	10.3	78	4	20	152				8	12.5	105				14		>200	16		>200	18		97	17	83	16	88	10	106						
8				4	10.2	77	4	20	152				8	12.8	108				14		>200	15		171	18	96	17	88	16	86	10	107							
9				4	9.5	72	4	20	152				7	12.8	105				14		>200	12		157	18	94	17	79	15	86	10	105							
10				4	9	68	4	20	152				7	13	107				10		200	177	10	17.3	153	17	7.8	80	16	6.1	61	15	8	79	11.5	102			
11							4	20	152				7	12.8	105				8		180	8		151	14	50	13	40	15	79	10	101							
12							4	20	152				6	12.7	102				7		178	7		151	9	48	9	41	14	68	10	102							
13							4	20	152				6	12.6	101				6		178	6		148	8	57	8	45	11	47	10	102							
14							4	20	152				6	12.6	101				6		174	6		147	7	59	7	47	9	45	10	101							
15							4	20	152				6	12.3	98				6		172	6		147	7	64	7	50	8	47	10	102							
16							4	20	152				6	12.3	98				6		177	5		147	7	65	7	51	7	59	10	103							
17							4	20	152				5	11.9	93				5		169	5		147	7	66	6	53	7	55	10	105							
18							4	20	152				5	11.9	93				5		169	5		148	6	68	6	53	7	54	8	95							
19							4	20	152				5	11.8	92				5		174	5		147	6	68	6	51	7	55	7	76							
20							4	20	152				5	11.7	91				5		20.0	174	5	18.7	146	6	8.4	67	6	6.2	50	6	6.4	52	6	6.4	53		
21							4	20	152				5	11.7	91				5		174	5		148	6	67	6	60	6	50	6	50	6	50					
22							4	20	152				5	11.6	90				5		173	5		150	6	67	6	52	6	52	6	54	6	54					
23							4	20	152				5	11.5	90				5		164	5		148	6	64	6	47	6	50	6	54							
24							4	20	152				5	11.5	90				5		171	5		148	6	64	6	45	6	51	6	54							
25							4	20	152				5	11.3	88				5		172	5		146	6	60	6	42	6	50	6	53							
26							4	20	152				5	11.3	88				5		174	5		143	6	59	6	39	6	49	6	50							
27							4	20	152				5	11.2	87				5		162	5		140	6	47	6	37	6	44	6	45							
28							4	20	152				5	11	86				5		160	5		136	6	44	6	35	6	39	6	40							
29							4	20	152				5	10.9	85				5		130	5		132	6	42	6	31	6	34	6	38							
30							4	20	152				5	10.9	85				5		18.3	145	5	16.4	127	6	5.1	41	6	3.7	30	6	4.2	34	6	31			
31							4	20	152				5	10.8	84				5		142	5		125	6	39	6	29	6	19	6	33	6	30					
32							4	20	152				5	10.8	84				5		140	5		116	6	40	6	25	6	30	6	28							
33							4	20	152				5	10.7	83				5		146	5		116	6	37	6	23	6	28	6	26							
34							4	20	152				5	10.7	83				5		144	5		114	6	36	6	23	6	26	6	25							
35							4	20	152				5	10.6	83				5		139	5		112	6	34	6	21	6	23	6	25							
36							4	20	152				5	10.5	82				5		136	5		112	6	32	6	21	6	22	6	24							
37							4	20	152				5	10.4	81				5		123	5		110	6	29	6	20	6	19	6	17	6	24					
38							4	18	135				5	10.3	80				5		127	5		109	6	27	6	19	6	16	6	15	6	24					
39							4	16	123				5	10.3	80				5		115	5		108	6	4	6	18	6	15	6	23							
40							4	15	116				5	10.3	80				5		14.6	114	5	13.4	106	6	0.1	1	6	2.2	18	6	1.7	14	6	4.3	24		
41							4	15	110				5	10.2	80				5		109	5		104		6		15	6	13									
42							4	14	109				5	10.1	79				5		105	5		71		6		16	6	13									
43							4	14	106				5	9.3	73				5		100	5		70		6		15	6	13									
44							4	13.7	104				5	4.7	37				5		99	5		68															
45							4	13.4	102														5	68															

1994

Dpt	jan T°C	jan O ₂ mg/l	jan O ₂ %	mrt T°C	mrt O ₂ mg/l	mrt O ₂ %	mei T°C	mei O ₂ mg/l	mei O ₂ %	juni T°C	juni O ₂ mg/l	juni O ₂ %	aug T°C	aug O ₂ mg/l	aug O ₂ %	aug T°C	aug O ₂ mg/l	aug O ₂ %	sept T°C	sept O ₂ mg/l	sept O ₂ %	okt T°C	okt O ₂ mg/l	okt O ₂ %	nov T°C	nov O ₂ mg/l	nov O ₂ %	nov T°C	nov O ₂ mg/l	nov O ₂ %	dec T°C	dec O ₂ mg/l	dec O ₂ %
0	4.6	10.5	81	4	12.6	96							25	8.3	99	19	9.1	97				12	10.7	99	11	10	92	10	10.6	94			
1	4.6		83	4		92							25	8.2	98	18		94				12		100	11	106	10		93				
2	4.6		84	4		96							25	8.5	101	18		94				12		101	11	122	10		92				
3	4.6		86	4		97							24	8.4	98	18		92				12		102	11	97	10		92				
4	4.6		88	4		98							24	8.4	98	18		94				12		102	11	99	10		92				
5	4.6		89	4		98							23	5.1	59	18		91				12		104	11	101	10		92				
6	4.6		89	4		98							20	3.5	38	18		94				12		105	11	101	10		92				
7	4.6		90	4		99							18	3.9	41	18		89				12		106	11	113	10		92				
8	4.6		91	4		100							16	4.7	47	18		88				12		107	11	112	10		92				
9	4.6		93	4		101							15	5.2	51	18		81				12		107	11	107	10		92				
10	4.6	12	93	4	13.3	101							14	5.7	55	14	4.2	41				12	11.5	106	10	11	99	10	10.8	95			
11	4.6		94	4		102							13	6.2	59	12		48				12		110	10	101	10		96				
12	4.6		94	4		101							11	7	63	11		54				12		110	10	105	10		96				
13	4.6		94	4		102							10	7.8	69	10		58				12		111	10	95	10		100				
14	4.6		94	4		102							9	8.2	71	9		62				12		110	10	98	10		99				
15	4.6		94	4		102							9	8.5	73	8		63				12		111	10	78	10		100				
16	4.6		96	4		102							8	8.8	74	8		66				12		110	10	95	10		103				
17	4.6		96	4		102							8	9	76	8		68				12		106	10	86	10		105				
18	4.6		96	4		102							8	9.5	80	8		67				8		57	10	95	10		102				
19	4.6		97	4		102							8	9.7	82	8		67				7		54	10	88	10		107				
20	4.6	12.5	98	4	13.9	105							8	9.7	82	8	7.9	66				7	6.1	50	10	10	87	10	12.7	112			
21	4.6		98	4		107							8	9.8	82	8		65				7		51	9	58	10		115				
22	4.6		98	4		102							8	11	93	8		64				7		52	8	47	10		107				
23	4.6		98	4		103							8	10.1	85	8		63				7		53	8	43	10		107				
24	4.6		98	4		103							8	9.8	82	8		59				7		52	7	41	10		107				
25	4.6		99	4		103							8	9.3	78	8		57				7		52	7	37	8		40				
26	4.6		99	4		103							8	8.7	73	8		56				7		49	7	29	7		33				
27	4.6		99	4		103							8	8	67	8		55				7		47	7	27	7		22				
28	4.6		99	4		103							8	7.6	64	8		52				7		43	7	26	7		17				
29	4.6		100	4		103							8	7.2	61	8		41				7		37	7	24	7		14				
30	4.6	12.9	100	4	14.3	109							8	7.6	64	8	4.3	36				7	4.1	34	7	21	7	14	11				
31	4.6		98	4		103							8	6	50	8		30				7		33	7	19	7		9				
32	4.6		99	4		103							8	5.9	50	8		32				7		28	7	18	7		8				
33	4.6		100	4		103							8	5.5	46	8		35				7		24	7	16	7		5				
34	4.6		100	4		103							8	5.2	44	8		22				7		18	7	13	7		3				
35	4.6		100	4		107							8	4.8	40	8		20				7		17	7	10	7		2				
36	4.6		100	4		100							8	4.4	37	8		19				7		16	7	6	7		2				
37	4.6		100	4		97							8	4.1	35	8		19				7		14	7	4	7		2				
38	4.6		100	4		95							8	3.6	30	8		16				7		17	7	1	7		2				
39	4.6		100	4		93							8	3.1	26	8		15				7		14	7	0	7		2				
40	4.6	12.9	100	4	10.9	83							8	2.9	24	8	1.6	13				7	0.7	6			7	0.2	2				
41																																	
42																																	
43																																	
44																																	
45																																	

1995

Dpt	jan	jan	jan	mrt	mrt	mrt	mei	mei	mei	juni	juni	juni	juli	juli	juli	juli	juli	aug	aug	aug	sept	sept	sept	okt	okt	okt	nov	nov	nov	dec	dec	dec	
m	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	T°C	O ₂ mg/l	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %		
0													17	9.2	95	22	8.4	95	22	9.9	112			15	11.6	112	11	8	78				
1													17		98	22		96	22		113			15		111	11		78				
2													17		100	22		95	22		114			15		113	11		78				
3													17		98	22		95	22		109			15		113	11		78				
4													17		97	22		96	22		111			15		113	11		78				
5													17		97	22		96	22		98			15		112	11		78				
6													17		94	21		75	21		90			15		110	11		78				
7													17		92	17		62	20		76			15		108	11		78				
8													17		85	16		62	15		45			14		107	11		78				
9													17		85	14		60	13		54			14		106	11		78				
10													15	6.4	63	13	6.4	60	12	6.8	63			14	10.6	106	11	9	78				
11													12		45	12		63	11		62			14		104	11		78				
12													11		43	11		66	10		69			14		103	11		78				
13													10		47	11		70	10		75			11		55	11		78				
14													9		52	10		72	9		77			10		53	10		71				
15													9		54	9		72	8		79			9		53	10		66				
16													8		53	9		67	8		77			9		53	9		46				
17													8		52	9		67	8		75			8		53	8		37				
18													8		50	9		65	7		71			8		47	7		33				
19													8		50	9		63	7		66			7		45	7		31				
20													7	5.1	42	9	6.8	59	7	7.8	64			7	5.1	45	7	3	28				
21													7		41	8		56	7		64			7		42	7		24				
22													7		39	8		51	7		57			7		36	7		21				
23													7		37	8		46	7		50			7		30	7		18				
24													7		34	8		43	7		47			7		25	7		15				
25													7		26	8		39	7		41			7		22	7		13				
26													7		23	8		37	7		36			7		18	7		11				
27													7		22	8		36	7		32			7		13	7		9				
28													7		20	8		34	7		31			7		10	7		7				
29													7		19	8		32	7		29			7		7	7		5				
30													7	1.7	14	8	3.5	28	7	3.4	28			7	0.7	6	7	0	4				
31													7		13	8		29	7		26			7		4	7		3				
32													7		12	8		26	7		23			7		3	6		2				
33													7		11	8		25	7		19			7		3	6		2				
34													7		10	8		22	7		15			7		3	6		2				
35													7		8	8		22	7		18			7		3	6		2				
36													7		6	8		20	7		9			7		3	6		1				
37													7		4	8		18	7		10			7		3	6		2				
38													7		3	8		18	7		9			7		3	6		2				
39													7		2	8		17	7		8			7		3	6		2				
40													7	0.2	2	8	1.9	16	7	0.9	7			7	0.4	3	6	0	2				
41													8					17	7		7												
42													8					17	7		7												
43													8					17	7		7												
44																																	
45																																	

1996

Dpt	jan	jan	jan	mrt	mrt	mrt	mei	mei	mei	juni	juni	juni	juli	juli	juli	aug	aug	aug	sept	sept	sept	okt	okt	okt	nov	nov	nov	dec	dec	dec	
m	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	
0													20	10.2	111	21	9.6	107													
1													20		115	21		112													
2													20		115	21		112													
3													19		117	21		113													
4													18		107	21		108													
5													18		96	19		85													
6													17		91	19		70													
7													16		92	17		55													
8													16		92	16		39													
9													15		84	15		37													
10													13	6.9	65	13	3.6	34													
11													11		61	11		34													
12													9		61	9		37													
13													8		63	8		44													
14													7		68	7		50													
15													6		70	6		56													
16													6		73	6		58													
17													5		74	5		62													
18													5		73	5		64													
19													5		72	5		65													
20													5	8.7	68	5	8.5	66													
21													5		66	4		65													
22													4		64			64													
23													4		63			63													
24													4		62			63													
25													4		61			63													
26													4		61			60													
27													4		59			55													
28													4		57			63													
29													4		54			49													
30													4	6.4	49	4	4.6	33													
31													4		49			31													
32													4		41			30													
33													4		37			29													
34													4		34			26													
35													4		32			26													
36													4		30			22													
37													4		27			22													
38													4		27																
39													4		29																
40													4	3.5	28																
41																															
42																															
43																															
44																															
45																															

1997

Dpt	jan	jan	jan	feb	feb	feb	mrt	mrt	mrt	april	april	april	mei	mei	mei	juni	juni	juni	jul	jul	jul	aug	aug	aug	sept	sept	sept	okt	okt	okt	dec	dec	dec
m	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %	T°C	O ₂ mg/l	O ₂ %
0																						23	12.4	143				15	10.3	102			
1																						23		152				15		98			
2																						23		157				15		98			
3																						22		153				15		98			
4																						21		128				15		98			
5																						21		112				15		98			
6																						21		97				15		97			
7																						20		82				15		97			
8																						17		30				15		97			
9																						13		41				15		97			
10																						12	5.3	48				15	9.2	91			
11																						11		54				12		27			
12																						10		58				11		30			
13																						10		61				10		37			
14																						9		63				10		38			
15																						9		63				9		40			
16																						8		63				8		41			
17																						8		64				8		41			
18																						8		64				8		38			
19																						8		60				8		39			
20																						8	7	59				8	4.1	35			
21																						7		53				7		35			
22																						7		51				7		33			
23																						7		47				7		29			
24																						7		47				7		24			
25																						7		39				7		21			
26																						7		36				7		20			
27																						7		34				7		17			
28																						7		30				7		12			
29																						7		28				7		14			
30																						7	3.5	29				7	1.1	9			
31																						7		28				7		9			
32																						7		27				7		6			
33																						7		25				7		7			
34																						7		23				7		5			
35																						7		21				7		5			
36																						7		18				7		3			
37																						7		16				7		2			
38																						7		15				7		2			
39																						7		15				7		2			
40																						7	1.8	15				7	0.1	1			
41																						7		15									
42																																	
43																																	
44																																	
45																																	

Bijlage 5; Berekening capaciteit in- en uitlaat

Inlaat van Bullewijk	Inlaat naar OKP	Uitlaat							
0.561	0.545	0.656339	μ =weerstandcoefficient (-)	$Q = \mu \cdot A \sqrt{2 \cdot g \cdot z}$					
0.031	0.071	0.096	A=natte oppervlak						
9.8	9.8	9.8	g=zwaartekrachtversnelling (m/s ²)						
2.2	1.4	0.5	z=opstuwings/hogteverschil (m)						
				$\mu = \frac{1}{\sqrt{\xi_i} + \xi_w + \xi_u + n \cdot \xi_b}$					
1	1	1	ξ_i =intreeweerstand						
1.02	1.21	0.32	ξ_w =wrijvingsweerstand						
1	1	1	ξ_u =uitreeweerstand						
0.15	0.15	0	ξ_b =bochtenweerstand						
19.6	40	13	L=lengte duiker (m)						
61.3	65.6	67.3	C=coefficient van De Chezy	$\xi_w = \frac{2 \cdot g \cdot L}{C^2 \cdot R}$					
0.1	0.15	0.175	R=straal						
90	90	90	Km=ruwheidsfactor Manning						
0.116	0.202	0.198	Q=debiet (m ³ /s)						
10008	17441	17080	(m ³ /dag)	$C = k_M \cdot R^{1/6}$					
727177	727177	727177	Oppervlak OKP m ²						
1.4	2.4	2.3	peilverschil door hele dag open (cm/dag)						

Bijlage 6; Berekening verdamping

Er zijn wereldwijd veel rekenmodellen ontwikkeld om verdamping te berekenen. In dit onderzoek is een beperkte selectie gemaakt van methoden die in Nederland gebruikt worden voor het berekenen van verdamping. Er is literatuuronderzoek gedaan, er zijn deskundigen geraadpleegd¹⁴, en er is een spreadsheet en Matlab-code¹⁵ ontwikkeld waarmee meerdere methoden langjarig berekend zijn. Verdamping is een grote post in de waterbalans, en de onzekerheidsmarge is daarom belangrijk. Het is lastig om rekenmodellen te calibreren aan de werkelijk opgetreden verdamping omdat weinig representatieve en directe verdampingsgegevens, of berekende verdamping via een gesloten waterbalans, van (diepe) meren voorhanden zijn. Het is daarom enigszins arbitrair welke methode voor welk watersysteem het beste is. Bovendien geldt dat voor de berekening van verdamping van open water ook de meteorologische parameters boven open water gemeten zouden moeten zijn. Dit is bij de langjarige reeksen niet het geval, en dat maakt de parametrisatie van veel methoden lastig. Een inhoudelijk goed onderbouwde methode heeft in de praktijk daarom als nadeel dat goede invoergegevens missen. De verdampingsmethodiek is in deze studie calibratieparameter gebruikt in de water- en chloridebalans. In 5.5 staat het effect van de verschillende methoden op de waterbalans beschreven, en welke methode uiteindelijk voor de balans gebruikt is. In het spreadsheet Meteo Schiphol 1951-nu & Verdamping 11okt2010.xlsx staan de berekeningen.

Verdamping wordt berekend uit een aantal meteorologische parameters. De basis van de berekening is vaak een energiebalans. Normaliter wordt sinds 1987 in Nederland met de referentieverdamping van Makkink gewerkt. De referentie gewasverdamping is als volgt gedefinieerd: *De verdamping van een uitgebreid uniform, van buiten droog grasoppervlak met een hoogte van 8-15 cm dat voldoende van water is voorzien (uit http://www.idsw.nl/standaarden/woordenboek/aquo-lex_-_begrippen/).* Via de referentieverdamping kan met een decade-afhankelijke compensatiefactor (gewasfactor) de potentiële verdamping per gewas bepaald worden. Open water wordt in deze methode als gewas gezien.

$$\lambda \cdot \rho \cdot ET_{ref} = 0,65 \cdot \frac{s}{s + \gamma} \cdot K^{\downarrow}$$

Waarin:

- λ : verdampingswarmte van water (J kg^{-1})
- ρ : soortelijk gewicht van water (1000 kg m^{-3})
- ET_{ref} : referentie verdamping (m d^{-1})
- γ : psychrometerconstante (op zeeniveau $\sim 0.066 \text{ kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)
- s : helling van de dampspanningscurve ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$)
- $K^{\downarrow}$: dagsom globale straling ($\text{J m}^{-2} \text{ d}^{-1}$)

Vergelijking 9-1; Makkink referentieverdamping (Future Water 2009).

¹⁴ Peter Droogers, (Future Water), Rudmer Jilderda (KNMI), Wim Bastiaanssen (Water Watch)

¹⁵ Spreadsheet o.b.v. Future Water, Matlab door Ruben Caljé, TUD

Bij de standaard methode van Makkink wordt de Bodemwarmteflux (G) verwaarloosd. De bodemwarmteflux is de stralingsenergie die gebruikt wordt om de temperatuur van de bodem (hier: water) te doen stijgen, en dus niet gebruikt wordt voor verdampen van water. Dit is in het voorjaar het geval. In het najaar is het andersom: de verdamping uit de waterkolom houdt aan omdat het water een grote energievoorraad heeft. Dwz. dat de 'berging' van instraling die opgeslagen wordt in de 'bodem' (in dit geval oppervlaktewater) niet wordt meegenomen in de methode Makkink. Daarnaast wordt bij de methode Makkink aangenomen dat de nettostraling (Q_{net}) ongeveer de helft is van de globale straling (K). Deze aannamen zijn alleen gerechtvaardigd op het land en in de zomer, en dat maakt methode Makkink voor jaarrond open water berekeningen ongeschikt. Stowa heeft een onderzoek laten uitvoeren onder de titel *Verbetering bepaling actuele verdamping voor het strategisch waterbeheer, definitiestudie* (zie Stowa 2009). Daarin wordt gesteld dat de methode Penman Montieth wereldwijd de standaard is voor het bepalen van de referentieverdamping. Toepasbaarheid hiervan voor open water is onduidelijk in de literatuur. Penman Montieth is een referentieverdamping, gebaseerd op het berekenen van verdamping door een standaard gewas¹⁶. Er is niet beschreven in hoeverre Penman Montieth geschikt is voor open water en zo ja wat de gewasfactor voor open water zou moeten zijn.

$$ET_{ref} = \frac{0,408 \cdot s \cdot (Q_{net} - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T} \cdot u_2 \cdot [e_s - e_a]}{s + \gamma(1 + 0,34 \cdot u_2)}$$

waarin:

ET_{ref}	referentie verdamping ($m \cdot d^{-1}$)
s	helling van de dampspanningscurve ($kPa \cdot ^\circ C^{-1}$)
Q_{net}	netto straling ($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)
G	bodemwarmtestroom ($MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$)
γ	psychrometerconstante (op zeeniveau $\sim 0,066 \cdot kPa \cdot ^\circ C^{-1}$)
T	temperatuur op 2 m hoogte ($^\circ C$)
u_2	daggemiddelde windsnelheid op 2 m hoogte ($m \cdot s^{-1}$)
e_s	verzadigingsdampdruk (kPa)
e_a	actuele dampdruk (kPa)
$e_s - e_a$	verzadigde dampspanningstekort (kPa)

Vergelijking 9-2; Penman Montieth referentieverdamping (Future Water 2009)

Voor open water wordt de methode van de Bruin & Keijman aanbevolen (Future Water 2006 en Stowa 2009). Deze methode is empirischer dan Penman Montieth of Makkink, maar nog steeds gebaseerd op de energiebalans. De methode is een modificatie van de methode van Priestley-Taylor, gecalibreerd op het voormalige (ondiepe) Flevomeer (De Bruin & Keijman 1979).

¹⁶ Betreft een ander standaardgewas dan bij Makkink: Hoogte van 12 cm, oppervlakteweerstand van $70 \cdot sm^{-1}$, albedo 0.23 (Allen 1998)

$$\lambda E = \alpha' \frac{s}{s + \gamma} (R_n - G) + \beta$$

met

- E - verdampingsflux (kg m⁻² s⁻¹)
- λ - verdampingswarmte van water (2.45·10⁶ J kg⁻¹)
- α' - constante - 1.1
- R_n - nettostraling (W m⁻²)
- s - afgeleide van e_w bij luchttemperatuur T (Pa K⁻¹), dus $s = \frac{de_w}{dT}$
- γ - psychrometerconstante (Pa K⁻¹)
- G - bodemwarmteflux (W m⁻²)
- β - 10 W m⁻²

$$G = \rho_w c_w h \frac{\partial T_{\text{water}}}{\partial t}$$

met

- G - bodemwarmteflux (W m⁻²)
- ρ_w - dichtheid van water (~ 1000 kg m⁻³)
- c_w - soortelijke warmte van water (~ 4200 J kg⁻¹ K⁻¹)
- h - waterdiepte
- T_{water}/t - verandering van de watertemperatuur (K) met de tijd (s)

Vergelijking 9-3; De Bruin & Keijman open water verdamping (Stowa 2009)

$$\lambda E = \alpha \frac{s}{s + \gamma} (Q^* - G)$$

- α = Priestley-Taylorconstante = 1,26
(Feddes et al., 2003)

Vergelijking 9-4; Priestley Taylor open water verdamping (Future Water 2006). Q* is dezelfde term als R_n in Vergelijking 9-3

Vanaf 1933 tot 1987 werd door KNMI gebruik gemaakt van de Penmanformule. Deze is gebaseerd op verdamping van een vrij, groot, homogeen open water (Elsevier 2000).

$$\lambda E = \frac{s(Q^* - G) + \frac{\rho c_p}{r_a} [e_w(T) - e]}{s + \gamma} \quad ($$

waarin:

- Q* = nettostraling (W m⁻²)
- G = bodemwarmtestroom (W m⁻²)
- ρ = dichtheid van lucht (kg m⁻³)
- c_p = soortelijke warmte van lucht bij constante druk (J kg⁻¹ K⁻¹)
- r_a = aërodynamische weerstand van de luchtlaag tussen de grond en 2 m voor warmte (s m⁻¹)
- e_w = verzadigingsdampdruk t.o.v. (onderkoeld) water bij temperatuur T (Pa)
- T = temperatuur in Kelvin (K)
- e = partiele dampdruk van water (Pa)
- s = afgeleide van e_w bij luchttemperatuur T (Pa K⁻¹), dus $s = \frac{de_w}{dT}$
- γ = psychrometerconstante (Pa K⁻¹)

Vergelijking 9-5; Penman verdamping (Future Water 2006)

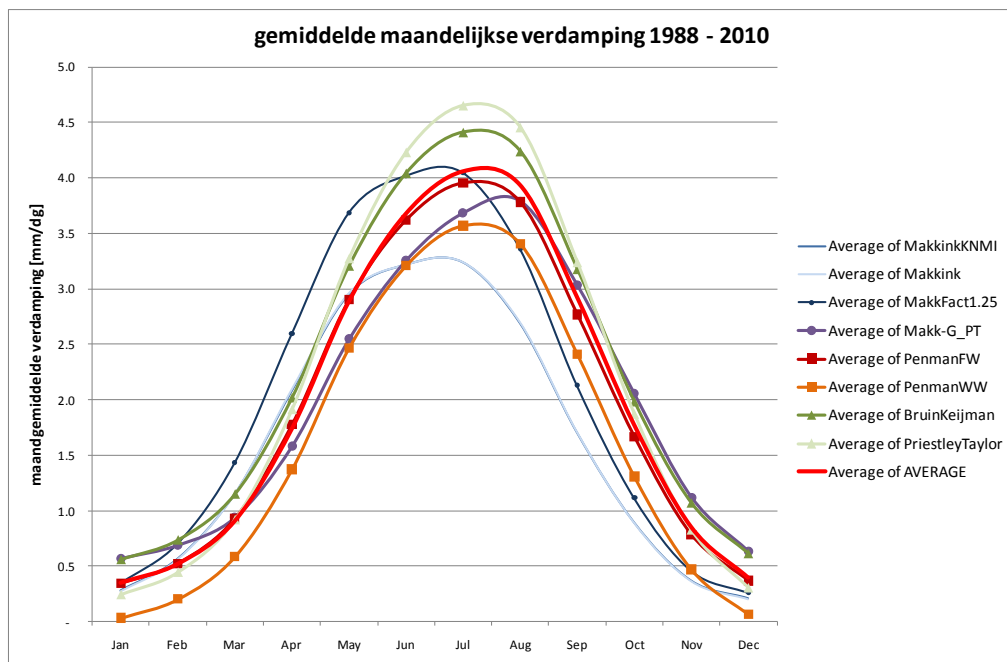
Voor niet ondiep open water is het noodzakelijk de warmteopslagterm te gebruiken. In de meeste methoden wordt dit meegenomen, voor Makkink is op aanraden van het KNMI de warmteopslagterm toegevoegd aan de standaardformule van Makkink. De bodemwarmteflux (G) wordt in dit geval berekend met oa. een product van de diepte (h) van de plas met een ΔT_{water} . De ΔT_{water} is de verandering van de oppervlaktewatertemperatuur. De ΔT_{water} moet voor de Ouderkerkerplas worden bepaald op basis van een beperkte meetset. De meetfrequentie is over het algemeen maandelijks, en er missen 5 van de 22 meetjaren. In die gevallen zijn maandgemiddelden van overige jaren gebruikt. De Ouderkerkerplas is gemiddeld 19m diep, waardoor de potentiële bodemwarmteflux hoog is. De grote diepte in combinatie met onnauwkeurigheden in het bepalen van ΔT_{water} zijn mede debet aan de negatieve verdamping die kan optreden. In sommige gevallen kan de term ($Q^* - G$) ofwel ($R_n - G$) negatief worden met negatieve verdamping tot gevolg (zie Figuur 9-2). Dit is het geval bij een combinatie van weinig globale instraling (waaruit de netto-instraling wordt berekend) met een grote bodemwarmteflux. Vanaf diepte (h) groter dan ongeveer 6 m heeft dit significant effect op de balansen. Voor de Ouderkerkerplas is een diepte van 6 m gebruikt voor de berekeningen. Dat is ongeveer de afstand van de waterlijn tot de bovenkant van de spronglaag.

In de spreadsheet waarin verdamping uitgerekend wordt is de diepte een functie van de tijd. Hiermee kan de aanwezigheid van een spronglaag, die de warmtecapaciteit van de plas zou kunnen beïnvloeden, te simuleren. Vanwege bovenstaande artefacten en bij gebrek aan literatuur waarin de berekening van de bodemwarmteflux (G) is getest op diepere systemen is dit niet gebruikt.

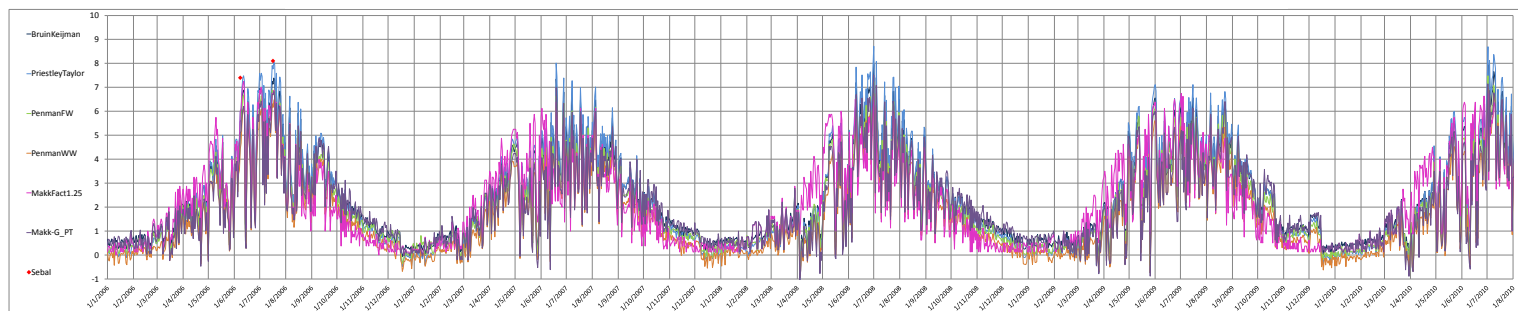
In de Figuur 9-1 en Tabel 9-1 staan de met verschillende methoden berekende verdamping weergegeven over 22 jaar gemiddeld. In Figuur 9-2 staat een reeks van de laatste jaren op dagbasis.

	Average of MakkinkKNMI	Average of Makkink	Average of MakkFact1.25	Average of Makk-G PT	Average of PenmanFW	Average of PenmanWW	Average of BruinKeijman	Average of PriestleyTaylor	Average of AVERAGE
1ste kwart	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6	0.3	0.8	0.5	0.6
2de kwart	2.7	2.8	3.4	2.5	2.8	2.3	3.1	3.1	2.8
3de kwart	2.5	2.6	3.2	3.5	3.5	3.1	3.9	4.1	3.6
4de kwart	0.5	0.5	0.6	1.3	0.9	0.6	1.2	1.0	1.0
	1.6	1.6	2.0	2.0	2.0	1.6	2.3	2.2	2.0
mm/jr	588	590	735	727	713	581	828	802	730

Tabel 9-1; Kwartaalgemiddelde verdamping voor de 6 verschillende berekeningsmethoden (plus Makkink direct van KNMI dataset) voor verdamping



Figuur 9-1; De gemiddelde maandelijkse verdamping over 22 jaar met verschillende berekeningsmethoden. MakkinkKNMI is de referentie verdamping direct verkregen van KNMI. Makkink betreft berekende referentieverdamping uit meteorologische parameters. MakkFac1.25 is de de potentiële verdamping via een constante gewasfactor van 125. Makk-G-PT is de Makkinkverdamping gecorrigeerd voor bodemwarmteflux. PenmanFW is de berekende Penman open water verdamping geparametriseerd volgens de rapportages van Future Water. PenmanWW is de berekende Penman open water verdamping geparametriseerd volgens advies van WaterWatch. BruinKeijman betreft de open water verdamping van De Bruin en Keijman. PriestleyTaylor betreft de open water verdamping volgens Priestley - Taylor.



Figuur 9-2; Verdamping volgens zes verschillende methoden, inc. twee berekeningen gebaseerd op radarbeelden van de Ouderkerkerplas (2006 Sebal, verkregen van Joost Heijkers HDSR). In het voorjaar wordt de verdamping af en toe negatief. Diepte (h) is 6m.

De invloed van het meenemen van de bodemwarmteflux blijkt uit de verschuiving van maximale verdamping richting het najaar. De bodemwarmteflux zorgt er voor dat in het voorjaar minder verdampt. Er wordt warmte opgeslagen in de waterkolom. In het najaar werkt het andersom: de opgeslagen energie in de waterkolom zorgt voor verdamping. Als grotere dieptes (h) worden gebruikt (niet in de figuren) schuift de verdamping verder naar achter in het jaar, maar de totale jaarlijkse verdamping (oppervlak onder de curve) verandert nauwelijks. De open water verdamping van Priestley-Taylor en de Bruin en Keijman geven net als de Sebal berekeningen meer verdamping dan de overige modellen.

Bijlage 7; Resultaten archiefonderzoek funderingen

Adres	Type paal-fundering	Doorsnede paal [mm]	Inheidiepte [m]	Paal-lengte [m]	Bovenkant paal ¹	Bouw-jaar	Opmerkingen
Holendrechteweg 22	Hout + betonnen opzet	Ø140	Mv -13m	12 (opzet 1,5)	NAP -3,20m	1980	Zie toelichting hoogtes
Holendrechteweg 23-30, 41-44	Hout					1956	maatvoering van de palen onbekend
Holendrechteweg 31	Hout*	Ø155	NAP -10,5m	8,0	NAP -2,5m	1984	* aanname vanwege ronde ipv vierkante paal
Holendrechteweg 32			MV -8,5m				Geen gegevens bekend.
Holendrechteweg 33	Hout + betonnen opzet	Ø140	MV -8,75m		NAP -4,92m	1987	Zie toelichting hoogtes
Holendrechteweg 33a	Beton	□180	MV -11,5m	11,5	NAP -2,10m	1989	
Holendrechteweg 33c/b							Geen gegevens bekend.
Holendrechteweg 36	Hout*	Ø130	Niet bekend	Niet bekend		1937	* aanname vanwege bouwjaar en ronde ipv vierkante paal
Holendrechteweg 1	Beton	□180	Peil -10,5m	9,5	NAP -1,9m	1989	* peil= kruin v/d weg
Hoogendijk 3	Hout + betonnen opzet	Ø140	Peil -12,32m	10 (opzet 1,5)	NAP -5,22m	1991	* Zie toelichting hoogtes
Korte Dwarsweg 14	Beton	□220	NAP -11,50m	7,5	NAP -4,0m	2001	MV = NAP -4,35m
Middenweg 1							Geen gegevens bekend.
Middenweg 1a	Hout + betonnen opzet	Ø130, Ø140, Ø150		van 9 tot 10	NAP -2,05m	1985	Houten palen zijn van "terras" aanbouw, bij aanname dat tuinniveau = maaiveld niveau
Middenweg 2	Beton	□220	NAP -14,30m	13,5	NAP -0,8m	2002	MV = -0,15 NAP
Middenweg 3	Hout + betonnen opzet		NAP -10m*		NAP -6,1m	1952	* geschat Mv= NAP -3,80m
Middenweg 5	Beton	□180	Mv - 7,0m	6,5	MV -0,5m	1997	stalen paal binnen het gebouw, gws = mv -0,87m
	Stalen buispalen	Ø230		7			
Middenweg 7	Beton	□220	NAP -12m	8,5	NAP -4,77m	2004	slootpeil = NAP -4,42m afhakhoogte NAP -4,77m
Overweg 141-151 oneven	Beton	□180, 220, 250	NAP -12 tot NAP -15m	van 12,5 tot 16	NAP +0,2m	1984	gws = NAP -2m zie bijlage
Overweg 153-207 oneven	Beton	□180, 250	NAP -13 tot NAP -15,5m	van 11,75 tot 14,25	NAP -1,7m	1984	peil = NAP -1m Opmerking Houten palen betreft onbekende aanbouw bij hoekpanden.
	Hout * + betonnen opzet	Ø140	NAP -10m	7,4	NAP -2,8m		

Ø: ronde paal

□: vierkante paal

¹ In het geval van een houten paal met opzetter is dit het hoogste niveau van de "kale" paal.

(Royal Haskoning, dec. 2009)

De peilopzet wordt als volgt berekend (o.a. Nelen en Schuurmans 2008):

$$S = \frac{\alpha \cdot v_w^2 \cdot l \cdot \cos \varphi}{h}$$

De gebruikte variabelen

- De windsnelheid U_{10} (uurgemiddelde op 10 meter hoogte, in m/s)
- De strijklengte x (in meters)
- De significante golfhoogte H_{m0} (m)
- De piekperiode T_p (s)
- De waterdiepte d (m)
- De gravitatieversnelling g (9.8 m/s^2)

Voorspelling significante golfhoogte op diep water

$$H_{m0} = 4\sqrt{5.2 \times 10^{-7}} \frac{U_{i0}^2}{g} \left(\frac{gx}{U_{i0}^2} \right)^{0.47}$$

Voorspelling piekperiode op diep water

$$T_p = \frac{2\pi}{13.7} \frac{U_{10}}{g} \left(\frac{gx}{U_{10}^2} \right)^{0.27}$$

[illegible]