

**BAGGERNUT WATERSYSTEEMANALYSE
SLOTERMEER**

WETTERSKIP FRYSLÂN

13 juli 2012
076300524: B - Definitief
C01012.100066.0100



Inhoud

1	Inleiding	3
1.1	Baggernut.....	3
1.2	Watersysteemanalyse.....	4
1.3	Leeswijzer	5
2	Beschrijving watersysteem	7
2.1	Watersysteem	7
2.1.1	Friese Boezem.....	7
2.1.2	Slotermeer	9
2.2	Toestand (KRW) en KRW doelstelling.....	11
2.3	Functies Slotermeer	13
2.4	Maatregelen en werkzaamheden.....	13
3	Analyse	15
3.1	Waterbalans.....	15
3.1.1	Gegevens.....	15
3.1.2	Aan- en afvoerposten	15
3.1.3	Methode en uitgangspunten	15
3.1.4	Resultaten en discussie.....	18
3.2	Stoffenbalans	20
3.2.1	Gegevens.....	20
3.2.2	Aan- en afvoerposten	20
3.2.3	Methode en uitgangspunten	21
3.2.4	Resultaten en discussie.....	25
3.3	Interne en externe belasting	30
4	Slibdiagnose	33
5	Conclusie: effect waterbodem	37
5.1	Conclusies	37
5.2	Aanbevelingen:	38
Bijlage 1	Literatuur	41
Bijlage 2	Achtergronden methoden	43
Bijlage 3	Berekeningen kritische fosfaatbelasting met PClake	51
Bijlage 4	Slibdiagnose	53
Bijlage 4.1	Invoer	53
Bijlage 4.2	Resultaat	59
Colofon		65

1 Inleiding

1.1 BAGGERNUT

De belasting van het oppervlaktewater met nutriënten is één van de belangrijkste oorzaken voor het niet halen van de KRW-doelen in 2015. De maatregelen om de nutriëntenbelasting terug te dringen zijn veelal gericht op de beperking van de externe bronnen. Ook interne eutrofiëring wordt als oorzaak gezien; vanuit bodem en bagger (slib) kunnen grote hoeveelheden nutriënten vrijkomen. Deze interne eutrofiëring kan zo sterk zijn dat herstel van de natuurkwaliteit met meer dan tien jaar wordt vertraagd of zelfs geheel verhinderd.

We weten nog amper genoeg over de werking van interne eutrofiëring en het is moeilijk te meten. In de meeste wateren is nog niet bekend of er sprake is van ernstige interne eutrofiëring en welke processen deze veroorzaken. Bovendien is nog niet bekend welke maatregelen effectief zijn om het effect van interne eutrofiëring op te heffen of te neutraliseren.

Dit is aanleiding geweest voor het opzetten van het project BaggerNut. In het project BaggerNut wordt onderzocht wat de rol van de waterbodem is bij het niet halen van de KRW-doelen. Centraal hierbij staat de vraag van de waterbeheerder of het nut heeft om te baggeren om de nutriëntenbelasting te verlagen.

Doelstelling BaggerNut

BaggerNut heeft een tweeledige doelstelling:

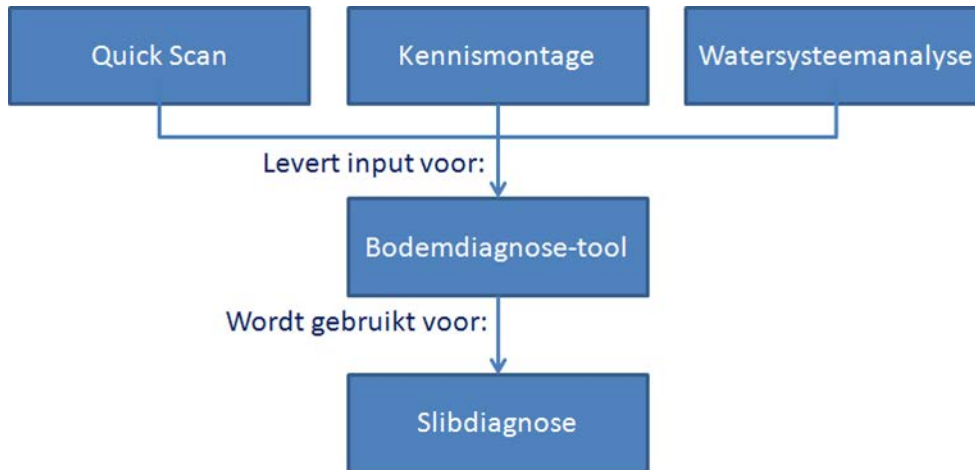
1. Processen die samenhangen met interne mobilisatie van nutriënten en baggerproductie inzichtelijk maken en op een eenvoudige wijze kwantificeren
2. Waterbeheerders handvaten aanreiken om een oordeel te geven over of en hoe effectief de waterbodem aan te pakken is (o.a. baggeren)

Onderdelen van BaggerNut

Om bovengenoemde doelstelling te halen zijn er vier deelprojecten binnen BaggerNut:

1. Communicatie;
2. Quick Scan (inclusief kennismontage);
3. Bodemdiagnose;
4. Watersysteemanalyse & Slibdiagnose.

De Quicksan en de watersysteemanalyse leveren input voor het ontwikkelen van de bodemdiagnose-tool. Deze tool wordt vervolgens toegepast om de slibdiagnose uit te voeren. Onderstaande figuur geeft de verschillende onderdelen weer.



Figuur 1 Samenhang van de verschillende deelprojecten binnen BaggerNut

1.2 WATERSYSTEEMANALYSE

De watersysteemanalyse richt zich op het beschrijven van het watersysteem en het kwantificeren van de stofstromen in het gehele watersysteem. Dit levert kennis op over de relatie tussen systeem- en bodemeigenschappen en interne eutrofiering. Hieruit worden systeemparameters afgeleid die als input dienen voor de bodemdiagnose-tool

Doelstelling

Het doel van de watersysteemanalyse en slibdiagnose is tweeledig:

1. Input leveren voor de (ontwikkeling van) de bodemdiagnose-tool;
2. Inzicht geven in het functioneren van het watersysteem en de rol van de waterbodem hierin.

Watersysteemanalyses voor 10 waterschappen

Voor het project zijn door 10 waterschappen locaties aangewezen waarvoor een watersysteemanalyse wordt uitgevoerd. Dit zijn locaties die niet, of deels, voldoen aan de KRW door een te hoge nutriëntenbelasting. Deze locaties zijn zeer verschillend, zowel in ligging, vorm, bodemtype als beheer en onderhoud.

Tabel 1 Locaties uitgekozen door de waterschappen voor de watersysteemanalyses. In geel de locatie die in dit rapport wordt onderzocht.

Locatie	Waterschap/ hoogheemraadschap
Hoefsven	Brabantse Delta
Haarvaten Westboezem, Vlaardingervaart, Slinksloot, Karitaat Molensloot, Ackerdijkse plassen	Delfland
De Leijen, Alde Feanen, Slotermeer	Fryslân
Kanalensysteem Westerwolde, kanalensysteem Veenkoloniën, Oldambtmeer, Zuidlaardermeer	Hunze en Aa's
Schutsloterwilde	Reest en Wieden
Klein Vogelenzang (onderdeel Reeuwijkse Plassen)	Rijnland
Twaalf vergelijkbare A-watgangen (sloten) in de Alblasserwaard	Rivierenland
Bleiswijkse Zoom	Schieland en Krimpenerwaard
De Keulevaart, Meijepolder en Zegveld, de Pleijt, Honswijk	Stichtse Rijnlanden
Terwoldse Wetering, Grote Wetering	Veluwe

Van deze locaties zijn wel waterkwaliteitsgegevens beschikbaar van de locatie en, in een aantal gevallen, ook van het aanvoerwater. Echter, de oorzaak van de hoge nutriëntenconcentraties is veelal niet goed bekend en wordt gezocht in interne eutrofiëring vanuit de bodem. Met een watersysteemanalyse wordt inzichtelijk wat de oorzaak van de hoge concentraties is.

Watersysteemanalyse voor Wetterskip Fryslân

Stoffenbalansen voor N en P van de Friese Boezem laten zien dat de nalevering vanuit de waterbodem op jaarbasis een belangrijke restpost kan zijn, die mogelijk het halen van de KRW-doelen in de weg staat. Voor N geldt dat er meer in komt dan er uitgaat (denitrificatie niet meegerekend). Voor P is het beeld wisselend: soms is er op jaarbasis sprake van accumulatie, soms van nalevering.

De situatie kan echter sterk verschillen tussen zomer- en winterhalfjaar (seizoenen) en tussen meren binnen de Friese Boezem (ligging). Om het nut van aanvullende maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit te beoordelen is meer inzicht in de rol van de waterbodem nodig. Binnen BaggerNut worden drie watersystemen onderzocht: Slotermeer, de Leijen, en de Alde Feanen. Deze drie watersystemen worden bemeaten in de Quick Scan en er wordt een watersysteemanalyse uitgevoerd.

Slibdiagnose

Op basis van kennisregels en de beschikbare informatie uit watersysteemanalyses en Quick Scan is een bodemdiagnose-tool ontwikkeld. In het onderdeel slibdiagnose wordt deze tool toegepast op het Slotermeer. Op basis van de kennis en uitkomsten van de verschillende onderdelen doen we een uitspraak of baggeren een zinvolle maatregel is en of er andere maatregelen zinvol zijn in dit systeem.

Screeningsmodel

Een aantal systemen binnen BaggerNut is aanvullend op de watersysteemanalyse en de slibdiagnose ook doorgerekend met het screeningsmodel. Dit is een eutrofiëringsmodel op basis van Delft3D-ECO, bedoeld om inzicht te verwerven in de bijdrage van de bodem aan de waterkwaliteit van het bovenstaande water. Voor Wetterskip Fryslân is dit alleen gedaan voor De Leijen en niet voor de Alde Feanen en het Slotermeer.

1.3 LEESWIJZER

Dit rapport bevat de resultaten van de watersysteemanalyse van het Slotermeer voor Wetterskip Fryslân. Hoofdstuk 2 geeft een beschrijving van het watersysteem. In hoofdstuk 3 volgt de analyse waarin de waterbalans en de stofbalans besproken worden. De bodemdiagnose-tool wordt in hoofdstuk 4 toegepast op het Slotermeer. Op basis van de kennis en uitkomsten van de verschillende onderdelen doen we een uitspraak of baggeren een zinvolle maatregel is. Dit beschrijven we in hoofdstuk 5.

2 Beschrijving watersysteem

Het Slotermeer ligt in het zuidwesten van Friesland. Het maakt onderdeel uit van het watersysteem Friese Boezem. In dit hoofdstuk beschrijven we eerst het gehele watersysteem. Vervolgens kijken we meer specifiek naar het Slotermeer. In paragrafen 2.2, 2.3 en 2.4 bespreken we eerst de huidige toestand in het Slotermeer en de KRW-doelstelling die voor het Slotermeer gelden. En daarna de functies die het watersysteem heeft en de recente en geplande maatregelen en werkzaamheden.

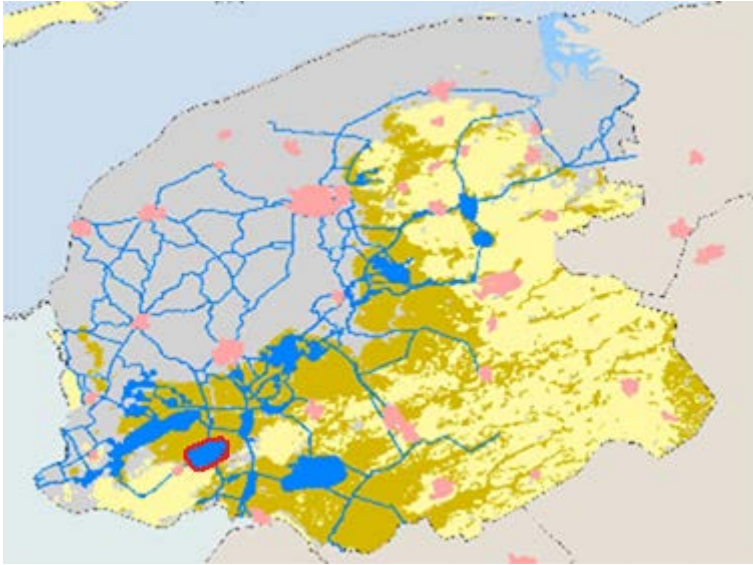
2.1 WATERSYSTEEM

2.1.1 FRIESE BOEZEM

De Friese boezem is het centrale netwerk van onderling verbonden vaarten, kanalen en meren met een totale wateroppervlakte van ruim 15.000 ha. Hiervan beslaan de meren tweederde deel. De oeverlengte bedraagt ongeveer 6000 km. Het gebied dat afwatert op de Friese boezem bedraagt ca. 302.220 ha en komt daarmee grotendeels overeen met het vaste land van de provincie. In het noorden liggen enkele afgescheiden gebieden (Dongerdielen, Ropta en Zwarte Haan), die rechtstreeks afwateren richting Lauwersmeer en Waddenzee. Die delen zijn, evenals grote delen van Groningen en Drenthe, voor hun wateraanvoer overigens wel afhankelijk van Fries boezemwater. Dat water wordt 's zomers aangevuld met IJsselmeerwater.

Om het streefpeil van -0.52 m NAP zo goed mogelijk te handhaven wordt bij watertekort IJsselmeerwater ingelaten, en bij een wateroverschot overtollig water onder vrij verval geloosd naar Lauwersmeer (bij Dokkumer Nieuwe Zijlen en Zoutkamp) en Waddenzee (bij Harlingen), en bij Lemmer en Stavoren zonodig uitgemalen naar het IJsselmeer. Met uitzondering van kortdurende perioden van overschrijdingen van het streefpeil lukt het goed het streefpeil te handhaven. De jaarlijkse hoeveelheid ingelaten IJsselmeerwater komt ongeveer overeen met 1 à 2 maal de inhoud van het boezemstelsel. De jaarlijkse af- en doorvoer van water is ongeveer een factor 5 groter (Maasdam & Claassen, 1998), immers inliggende poldergebieden (bijna 200.000 ha) en vrij afstromende hogere gebieden (ruim 64.000 ha) brengen 's winters hun overtollig water op de boezem.

(Bron: Claassen, 2008)



Figuur 2 De Friese Boezem met het Slotermeer rood omcirkeld.

Hoe komt er water op de Friese boezem?

De hoeveelheid water wordt beïnvloed door de neerslag (regen, sneeuw, hagel) en de verdamping. Als de neerslag groter is dan de verdamping, wordt gesproken over een neerslagoverschot. Dit is voornamelijk het geval in de herfst, de winter en in het voorjaar. Het teveel aan neerslag komt via drainage, oppervlakkige afstroming en kwel in poldersloten, beken en kanalen. Dit leidt tot een stijging van de waterstand in de poldersloten. Poldergemalen zullen vervolgens het te veel aan water uitslaan op de Friese boezem. Vanaf de hellende gebieden zal het teveel aan water over stuwen heen stromen. Ook dit water komt op de Friese boezem. Door de aanvoer van dit water zal de waterstand op de Friese boezem stijgen.

In geval van een neerslagtekort stroomt het water in omgekeerde richting uit de Friese boezem via inlaatwerken en opmalingen naar het landelijk gebied. Dit water dient voor het op peil houden van de watergangen in de polder en in het vrij afstromend gebied (compensatie verdamping en gebruik voor beregening). Hierdoor zal de waterstand op de Friese boezem dalen. Het tekort aan water wordt aangevuld vanuit het IJsselmeer door water in te laten. Doordat de waterstand op het IJsselmeer hoger is dan het streefpeil op de Friese boezem gebeurt de waterinlaat door middel van zwaartekracht. In extreem droge situaties is niet al het IJsselmeerwater vrij beschikbaar. Het IJsselmeerwater wordt dan door het Rijk verdeeld. Mogelijk dalen dan de waterstanden op de Friese boezem en in de overige sloten.

(bron: website www.wetterskipfryslan.nl)

Tabel 2 Enkele kentallen van de Friese Boezem

Wateroppervlak	15.000 ha
Oeverlengte	6.000 km
Afwaterend oppervlak op boezem	302.220 ha
Streefpeil	-0.52 m NAP
Jaarlijkse waterafvoer	900 tot 1500 miljoen m ³
Jaarlijkse waterinlaat	100 tot 450 miljoen m ³
Jaarlijkse afvoer via sluizen	70%
Jaarlijkse afvoer via gemalen	30%

2.1.2 SLOTERMEER

Het Slotermeer ligt in het zuidwesten van Friesland en maakt onderdeel uit van de Friese Boezem. Het Slotermeer staat via drie watergangen in verbinding met de rest van de Friese Boezem: Het Slotergat richting Sloten, de Ee richting Woudsend, en De Luts richting Balk. Het Slotermeer heeft een wateroppervlakte van 11,17 km². De waterstroming wordt beïnvloed door de in- en uitlaten nabij Lemmer.



Figuur 3 Het Slotermeer

Statische kenmerken van het systeem

Afwateringseenheden

Er zijn twee afwateringseenheden die direct op het Slotermeer afstromen. Deze afwateringseenheden bestaan uit meerdere peilgebieden.

1. De eerste afwateringseenheid bestaat uit PG802 en PG828 en heeft een afwaterend oppervlak van 45 ha (PG= peilgebieden van Wetterskip Fryslân).
2. De tweede afwateringseenheid bestaat uit PG791, PG793, PG809, PG813, PG825, PG832, PG839, PG843, PG844, en PG847. Deze peilgebieden hebben een gezamenlijk oppervlak van 304 ha.

Grondsoort

De bodem van het Slotermeer bestaat uit veen en zand. De precieze samenstelling van de bodem is onduidelijk; er zijn geen recente metingen bekend van de bodemsamenstelling van het gehele meer. Hierbij zetten we gegevens uit verschillende bronnen op een rijtje.

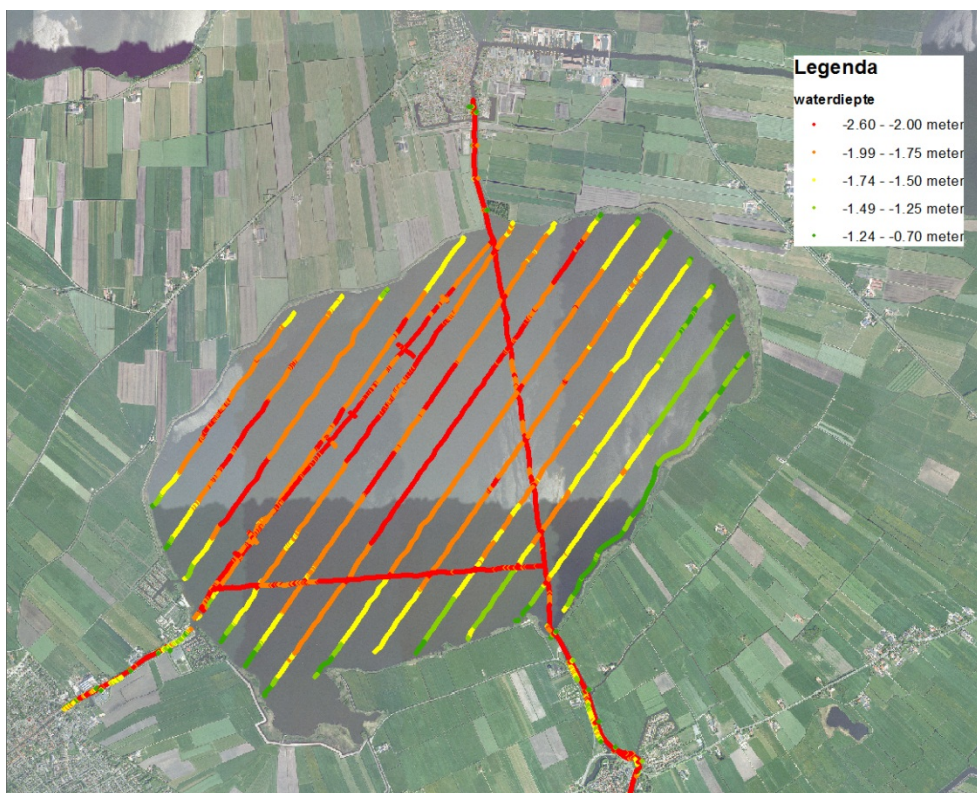
Een rapportage over eutrofiëring in het Slotermeer (Wegeman, 1976) vermeld enkele meetgegevens van de waterbodem. Hieruit blijkt dat de bodem van het meer in het zuidoosten zanderig is en in de richting noordwest steeds veenachtiger wordt.

Een veenkaart bij het waterbeheerplan 2010-2015 (Wetterskip Fryslân, 2009) geeft aan dat het gebied van het Slotermeer bestaat uit een veenpakket met een laag klei erop. De dikte van de kleilaag varieert van enkele centimeters tot 80 cm. Op deze kaart is in het Slotermeer geen zandgrond zichtbaar.

In juli 2010 zijn in het kader van dit project metingen gedaan door B-ware (Poulen, 2011). Op een drie van de drie locaties in het zuidwesten van het Slotermeer is 0-0,01% organische stof in de bodem gevonden en een vrij hoge dichtheid van 0,81 tot 1,46 gram per kilogram droge stof. Hoewel er niet specifiek naar de grondsoort is gekeken, doet dit vermoeden dat het hier om een zandige bodem gaat.

Diepte

In januari 2009 is de diepte van Slotermeer uitgebreid gemeten. In onderstaande afbeelding zijn de dieptes (circa 46.000 records) in de raaien weergegeven. De gemiddelde diepte volgens deze opname is 1,77 m.



Strijklengte

De strijklengte is de lengte van het wateroppervlak waarover zich een golf kan ontwikkelen en voortbewegen. Dit betekent dat het gaat om het open wateroppervlak wat in één lijn aanwezig is op de overheersende windrichting. Het Slotermeer is een meer zonder eilandjes en met nauwelijks inhammen aan de oevers. Het open wateroppervlak is daarmee groot. Het meer heeft een (water)oppervlak van 11,17 km². De grootste lengte open water wat we vinden in het meer is circa 4 kilometer. Dit is de (maximale) strijklengte.

Dynamische kenmerken van het systeem

Debiet

Het Slotermeer maakt onderdeel uit van de Friese Boezem. Er is geen duidelijke stroomrichting in het meer: er zijn drie locaties waar het water zowel in- als uit het Slotermeer kan stromen.

Verblijftijd

Met het SOBEK model van de Friese Boezem zijn berekeningen gedaan om de verblijftijd te bepalen. Voor de jaren 1999, 200, 2001 is dit gedaan. Hierbij is uitgegaan van een wateroppervlak van 1117 ha met een gemiddelde diepte van 1 meter. Hieruit zijn de volgende gemiddelde verblijftijden berekend:

- 34 dagen in 1999;
- 37 dagen in 2000;
- 36 dagen in 2001.

Gemiddeld komt dit neer op een verblijftijd van iets meer dan 1 maand.

In het rapport van Wegeman (1976) staat beschreven dat uit hydrologische berekeningen bleek dat de verblijftijd in het Slotermeer circa 3 maanden is. Het verschil tussen de twee inschattingen komt mogelijk doordat de verblijftijd op een andere manier is berekend, en mogelijk omdat de situatie in de tussenliggende 25 jaar is gewijzigd.

In paragraaf 3.1.4 wordt de verblijftijd berekend op basis van de waterbalans die opgesteld is en met de dieptegegevens uit 2009.

Stratificatie

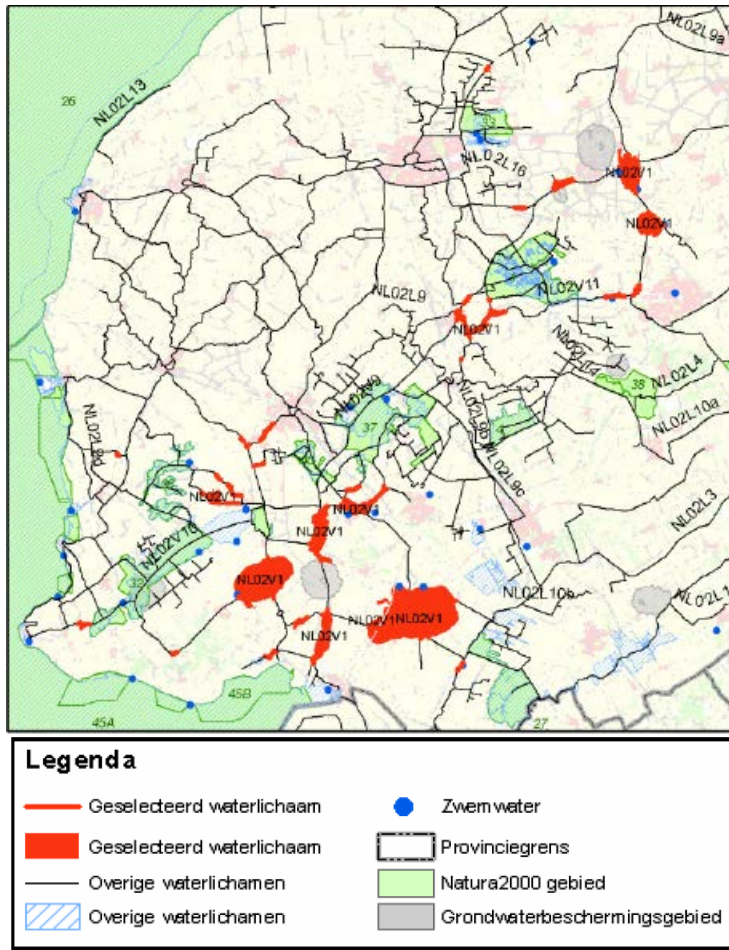
Het Slotermeer heeft een beperkte diepte. Hierdoor treedt er geen stratificatie op in het water.

Landgebruik

Het landgebruik rondom het Slotermeer is voornamelijk agrarisch. Enkele locaties zijn natuur. Binnen een cirkel van 2 km rondom het meer liggen drie plaatsen: Balk, Sloten en Woudsend. Sloten is één van de elf steden van de Elfstedentocht. Het ligt ten zuiden van het meer en heeft circa 705 inwoners. Balk is een centrum voor watersport en ligt aan de Luts ten westen van het meer. Het dorp telt circa 3750 inwoners. Ten noorden van het meer ligt Woudsend. Het heeft een beschermd dorpsgezicht en telt circa 1350 inwoners. Bij Sloten ligt een kleine RWZI (lozen op het Slotergat) met een capaciteit voor 16.500 i.e.

2.2 TOESTAND (KRW) EN KRW DOELSTELLING

Het Slotermeer maakt onderdeel uit van het KRW-waterlichaam "Friese Boezem – overige meren". Dit waterlichaam is van type M14 – ondiepe gebufferde plassen. In Figuur 4 is te zien welke meren in de Friese Boezem onderdeel uitmaken van het waterlichaam. Het waterlichaam ligt in stroomgebied Rijn-Noord en heeft de status sterk veranderd.



Figuur 4 Overzichtskartaal KRW-waterlichaam "Friese Boezem – overige meren"

De beoordeling van de huidige toestand en de doelstelling vanuit de KRW zijn vastgelegd op het niveau van waterlichaam. Voor het Slotermeer zijn daarom geen specifieke getallen beschikbaar. In Tabel 3 zijn de gegevens over de biologische en chemische toestand van het KRW-waterlichaam "Friese Boezem – overige meren" weergegeven.

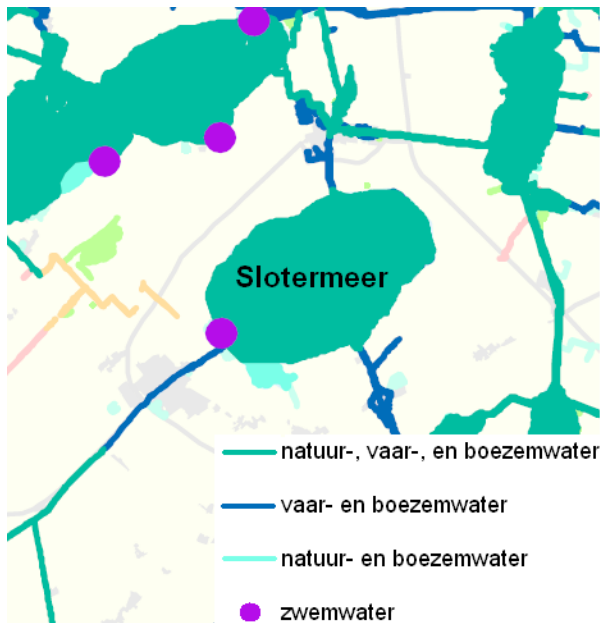
Maatlat	Huidige situatie (2008)	Verwachting 2015	GEP
Macrofauna (EKR)			0,5
Overige waterflora (EKR)			0,4
Fytoplankton (EKR)			0,5
Vis (EKR)			0,3
Totaal fosfaat (zomergemiddelde) (mgP/l)			0,09
Totaal stikstof (zomergemiddelde) (mgN/l)			1,3
Chloride (zomergemiddelde) (mgCl/l)			200
Temperatuur (maximum) (°C)			25
Doorzicht (zomergemiddelde) (m)			0,65
Zuurgraad (zomergemiddelde) (-)			5,5-8,5
Zuurstofverzadiging (zomergemiddelde) (%)			60-120

Tabel 3 Biologische en algemeen fysisch chemische toestand Slotermeer

	Slecht
	Ontoereikend
	Matig
	Goed
	Zeer goed

2.3 FUNCTIES SLOTERMEER

De functiekaart (Figuur 5) bij het waterbeheerplan 2010-2015 (Wetterskip Fryslân, 2009) laat zien dat er voor het Slotermeer drie functies worden onderscheiden: vaarwater, natuurwater, en boezemwater. In het overgrote deel van het Slotermeer zijn de drie functies gezamenlijk aangewezen. In de zuidwestpunt is een deel onderscheiden met de functies natuur- en boezemwater. Daarnaast ligt er bij Balk een specifieke locatie met de functie zwemwater.



Figuur 5 Detail weergave functiekaart Slotermeer uit waterbeheerplan 2010-2015

2.4 MAATREGELEN EN WERKZAAMHEDEN

Wat is er de afgelopen jaren aan maatregelen en werkzaamheden uitgevoerd die van invloed (kunnen) zijn op de huidige toestand van het meer?

Er zijn geen grootschalige maatregelen bekend die zijn uitgevoerd waardoor er recent grote wijzigingen hebben plaatsgevonden in de situatie in het Slotermeer. Een van de werkzaamheden die van invloed is op de toestand van het meer is het baggeren. Wetterskip Fryslân verzorgt baggerwerkzaamheden in de hoofdwatergangen in het beheergebied. Het Slotermeer valt hier niet onder. Baggeren gebeurt hier in het kader van vaarwegbeheer. De vaarwegbeheerder is de provincie. In het Slotermeer liggen drie vaarroutes.. Deze routes verbinden de drie inlaten van Balk, Sloten en Woudsend. Op het Slotermeer is vooral sprake van recreatievaart.

In het kader van het Friese Merenproject is er in de periode 2000-2008 in een groot deel van de provincie gefaseerd onderhoud gepleegd aan de vaarwegen door middel van baggeren. De vaarroutes in het Slotermeer zijn in deze periode ook gebaggerd. Het gaat hier echter alleen om de drie vaarroutes en niet om het gehele meer. Het grootste deel van het meer is dan ook omgemoeid gelaten en hier kan een grote sliblaag aanwezig zijn.

(bron: website www.friesemeren.nl)

3

Analyse

3.1 WATERBALANS

3.1.1 GEGEVENS

Voor het opstellen van de waterbalans is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- Waterkwantiteitsmodel van de Friese Boezem in SOBEK voor het jaar 2009;
- oppervlakten van afwateringseenheden die uitstromen op het Slotermeer;
- Debietreeks van de afwateringseenheden van de Friese Boezem. Dit bestaat uit een debietreeks met m³ water aanvoer per dag voor de gehele boezem;
- KNMI-gegevens station 267 Stavoren voor het jaar 2009: neerslag en verdamping
- Waterbeheerplan 2010-2015, Wetterskip Fryslan
- Bosatlas van Nederland Waterland
- Nieuwe dieptemetingen, Slotermeer_dieptemetingen2009.shp

3.1.2 AAN- EN AFVOERPOSTEN

Om de bronnen op de waterbalans te bepalen, zijn de volgende gegevens gebruikt bij het bepalen van de bronnen:

- Neerslag : KNMI-neerslaggegevens van station 267 Stavoren, voor het jaar 2009 (bron: KNMI);
- Verdamping : KNMI-gegevens referentiegewasverdamping van station 267 Stavoren, voor het jaar 2009 (bron: KNMI), en de correctiefactor voor Penman;
- Kwel: Waterbeheerplan 2010-2015 en Bosatlas van Nederland Waterland;
- Wegzijing : Waterbeheerplan 2010-2015 en Bosatlas van Nederland Waterland;
- Inlaat: SOBEKmodel waterkwantiteit Friese Boezem 2009, oppervlakten van afwateringseenheden die uitstromen op het Slotermeer, en debietreeks van de afwateringseenheden van de Friese Boezem;
- Uitlaat: SOBEK model waterkwantiteit Friese Boezem 2009 oppervlakten van afwateringseenheden die uitstromen op het Slotermeer, en debietreeks van de afwateringseenheden van de Friese Boezem.

3.1.3 METHODE EN UITGANGSPUNTEN

In voorgaande paragraaf zijn de gegevens benoemd die gebruikt zijn voor het kwantificeren van de bronnen op de waterbalans. Om te komen tot de waterbalans, zijn er verschillende bewerkingen uitgevoerd op de gegevens. Deze paragraaf beschrijft de gehanteerde uitgangspunten en de gebruikte methode voor het opstellen van de waterbalans.

Periode: interval en jaar

Bij de waterbalans is onderscheid gemaakt in kwartalen. Het gaat hierbij om jaarkwartalen, dus K1 = januari, februari, maart; K2=april, mei, juni; K3=juli, augustus, september; K4= oktober, november, december. Aan de basis voor de balansen staan dagwaarden voor neerslag en verdamping en de in- en uitlaten. Kwel en wegzijging is een jaargemiddelde. Op basis van de gegevens is een jaarbalans bepaald en zijn vier balansen per kwartaal gemaakt.

De waterbalans is opgesteld voor het jaar 2009. De gegevens van neerslag en verdamping en de in- en uitlaten zijn specifiek voor het jaar 2009. Kwel en wegzijging zijn gemiddelde waarden. Een gemiddeld weerjaar was niet beschikbaar. Het jaar 2009 is vervolgens gekozen omdat dit een recent jaar is.

Begrenzing

De waterbalans is opgesteld voor het wateroppervlak van het meer: 11,17 km².

Eenheden

De waterbalans is opgesteld in zowel mm als in m³ per jaar en kwartaal. Daarbij is ook per post op de balans aangegeven wat het aandeel van deze post is op de waterbalans. In eerste instantie is een volledige balans opgesteld in watervolumes in m³. Deze is vervolgens omgezet in een waterbalans in mm.

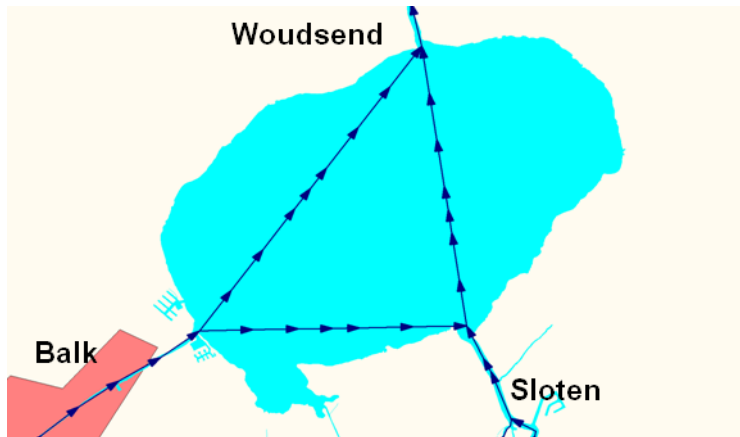
Aan- en afvoer posten

Bij het bepalen van de aan- en afvoerposten op de waterbalans is het SOBEM-model van de Friese Boezem als basis genomen. Het model bevat een schematische weergave van de waterstromen in de Friese Boezem. Er is ingezoomd op het Slotermeer en de aan- en afvoerende debieten zijn uit het model geëxporteerd om als basis te dienen voor de waterbalans. De opzet van de model is echter niet geschikt om, zonder bewerkingen, in te zoomen op 1 meer en om direct te gebruiken voor een waterbalans. Daarom hebben wij een aantal bewerkingen uitgevoerd.

In het model zijn alle aanvoerposten naar de boezem samengevoegd. Hierdoor is geen onderscheid te maken in verschillende bronnen op het watersysteem, zoals bijvoorbeeld neerslag, kwel/wegzijging, en water uit polders. Het water van deze bronnen is bij elkaar opgeteld en komt gezamenlijk op de Friese boezem. Dit gebeurt op een x-aantal locaties in de Friese Boezem. De locaties waar water in het model de Friese Boezem inkomt, hoeft niet overeen te komen met bijvoorbeeld een poldergemaal. De inputlocaties in het model zijn daarmee een vereenvoudiging van de werkelijkheid.

Voor het Slotermeer geldt dat er in het model uitsluitend water het Slotermeer in en uit gaat via de drie watergangen: richting Sloten, Balk en Woudsend (Figuur 6). Verder wordt het meer gezien als een gesloten bak.

Om tot een waterbalans van het Slotermeer te komen, is gebruik gemaakt van de gegevens van het model als basis. Vervolgens zijn er verrekningen geweest om neerslag, verdamping, aanvoer vanuit aanliggende polders, kwel en wegzijging als losse posten op de waterbalans mee te kunnen nemen. Hieronder wordt per post op de balans beschreven hoe deze is bepaald. Een uitgebreidere beschrijving van de methoden is te vinden in Bijlage 2.



Figuur 6 Modellschematisatie van het Slotermeer in SOBEK

Neerslag

De neerslaggegevens komen van KNMI-station 267 Stavoren. De gegevens zijn van het jaar 2009 en geven de gevallen neerslag in mm per 24 uur. Deze gegevens (in mm) zijn vermenigvuldigd met het wateroppervlak van het Slotermeer (11,17 km²). Hiermee is een reeks gemaakt met hoeveelheid neerslag per dag op het Slotermeer.

Verdamping

Voor het bepalen van de verdamping op het wateroppervlak van het Slotermeer is gebruik gemaakt van de verdampinggegevens van KNMI-station 267 Stavoren van het jaar 2009. Het KNMI heeft gegevens over de referentiegewasverdamping van Makkink. Dit is een referentieverdamping vanaf grasland onder ideale omstandigheden. De referentiegewasverdamping is met behulp van Penman omgezet naar verdamping vanaf open water. Deze gegevens (in mm) zijn vervolgens omgezet naar watervolumes in m³ door te vermenigvuldigen met het oppervlak van het Slotermeer.

Kwel/wegzijging

Kwel en wegzijging is bepaald aan de hand van twee bronnen.

1. Waterbeheerplan 2010-2015. In het Waterbeheerplan is een kaart opgenomen van het beheergebied van Wetterskip Fryslân met daarop weergegeven de kwel/wegzijging. Deze kaart is gebaseerd op het grondwatermodel Noord Nederland. Uit deze kaart in het Waterbeheerplan blijkt dat er bij het Slotermeer sprake is van zeer lichte kwel dan wel zeer lichte wegzijging.
2. Bosatlas van Nederland Waterland (2010). In deze Bosatlas is een kaart van Nederland opgenomen met daarop aangegeven de kwel en wegzijging die in Nederland plaatsvindt. Bij het Slotermeer is er sprake van een overgangsgebied met kwel en/of wegzijging van minder dan 0,1 mm/dag.

Beide bronnen geven aan dat er bij het Slotermeer nauwelijks tot geen kwel en wegzijging plaatsvindt. Het blijkt wel dat er nabij het Slotermeer gebieden zijn met sterkt kwel en ook gebieden met sterke wegzijging. Er is dus sprake van sterke lokale verschillen in de omgeving. De bronnen doen beide een algemene uitspraak over de mate van kwel en wegzijging. Mogelijk vindt er zowel kwel als wegzijging plaats door het jaar heen, maar is het netto effect vrijwel 0. Op basis van deze bronnen is kwel en wegzijging op 0 gezet. Dit is zeer waarschijnlijk in overeenstemming met de bruto kwel/wegzijging op de locatie, maar wijkt mogelijk af van het werkelijke verloop door tijd en ruimte.

Infiltratie/drainage

Er zijn geen gegevens bekend over infiltratie en drainage bij het Slotermeer. Deze posten zijn niet opgenomen op de balans.

Inlaat en uitlaat

Voor het Sloterveer zijn dit belangrijke bronnen. Op basis van het model komt al het water via de in- en uitlaten. Er zijn verschillende correcties op de gegevens uitgevoerd om bronnen gescheiden weer te kunnen geven. Dit is gedaan voor:

1. Polders/peilgebieden die op het Sloterveer afwateren;
2. Neerslag;
3. Verdamping;
4. Kwel/wegzijing.

In Bijlage 2 staat beschreven hoe deze correcties zijn gedaan.

Sluiten balans

Nadat alle posten op de balans ingevuld waren, is er een balans ontstaan die niet gesloten was. Er is geen duidelijke sluit post aanwijsbaar. Om de balans sluitend te maken is er een restpost toegevoegd aan de balans.

3.1.4 RESULTATEN EN DISCUSSIE

In de vorige paragraaf zijn de methoden en uitgangspunten besproken die gebruikt zijn bij het opstellen van de waterbalans. In onderstaande tabel is de waterbalans weergegeven. De belangrijkste posten op de balans zijn de in- en uitlaat bij Sloten en Woudsend. De dominante stroomrichting is noordwaarts: van Sloten naar Woudsend.

Opvallend is dat de restpost erg groot is. Het komt neer op een verschil van 60 cm op de waterspiegel van het meer. Dit verschil was grotendeels al aanwezig in de gegevens uit Sobek voor het beschrijven van de in- en uitlaten. Na afronding van de water- en stoffenbalans werd door Wetterskip Fryslân ontdekt dat er nog aanvullende gegevens over in- en uitlaten vanuit polders uit Sobek gehaald konden worden die dit gat voor een groot deel verklaren. Het was niet meer mogelijk om die gegevens nog mee te nemen in de balansen, maar ze zijn wel verwerkt in de balans voor de slibdiagnose in hoofdstuk 4. Als gevolg van de grote positieve restpost verwachten we ook een positieve restpost op de stofbalans.

In / uit	Posten	mm/jaar	m ³ / jaar	Aandeel (%)	Betrouwbaarheid
In	Inlaat Woudsend	2354	26,3*10 ⁶	24	C
In	Inlaat Sloten	5539	61,9*10 ⁶	57	C
In	Inlaat Balk	338	3,8*10 ⁶	3	C
In	Inlaat polders	109	1,2*10 ⁶	1	E
In	Neerslag	862	9,6*10 ⁶	9	B
In	kwel	0	0	0	E
Uit	Uitlaat Woudsend	5484	61,3*10 ⁶	56	C
Uit	Uitlaat Sloten	3327	37,2*10 ⁶	33,4	
Uit	Uitlaat Balk	261	2,9*10 ⁶	3	C
Uit	Uitlaat polders	7	0,1*10 ⁶	0	E
Uit	Verdamping	727	8,1 *10 ⁶	7	B
Uit	Wegzijing	0	0	0	E
In	Restpost	603	6,7*10 ⁶	6	-

Tabel 4 Globale waterbalans Sloterveer (jaar 2009)

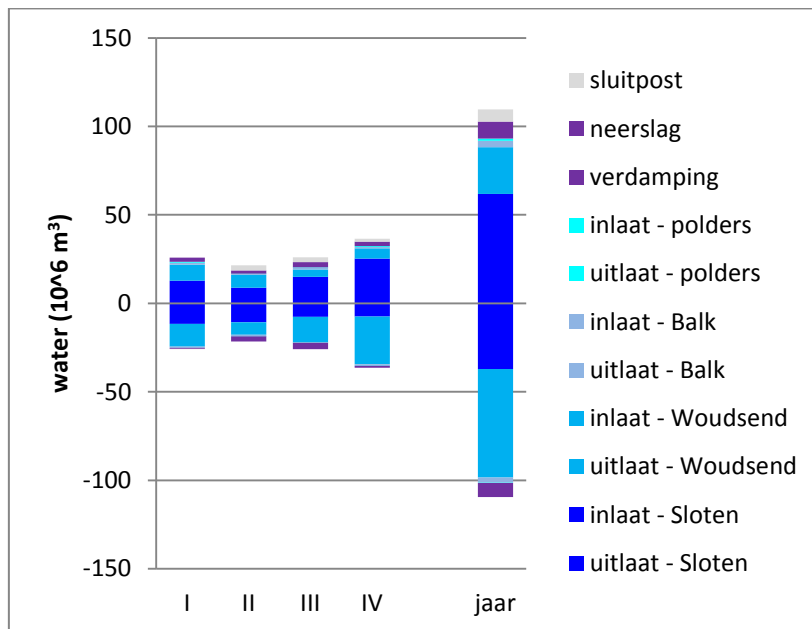
In de rechter kolom in Tabel 4 is de betrouwbaarheid aangegeven met een lettercodering. Bij de classificatie van de kwaliteit van de informatie is aangesloten bij de werkwijze die in de publicatiereeks Emissieregistratie wordt aangehouden [Van de Most, 1998]. Deze werkwijze is gebaseerd op de methodiek van CORINAIR (CORe emission Inventories AIR). Hierbij worden de volgende kwaliteitsclassificaties aangehouden:

- A: een getal gebaseerd op een groot aantal metingen aan representatieve locaties;
- B: een getal gebaseerd op een aantal metingen aan een deel van de voor de sector representatieve locaties;
- C: een getal gebaseerd op een beperkt aantal metingen, aangevuld met schattingen op basis van de technische kennis van het proces;
- D: een getal gebaseerd op een gering aantal metingen, aangevuld met schattingen op basis van aannames;
- E: een getal gebaseerd op een technische berekening op basis van een aantal aannames.

Waterbalans per kwartaal

Om meer inzicht te krijgen in de waterbalans en het verloop door het jaar heen, is een uitsplitsing gemaakt per kwartaal. Dit is onder andere van belang omdat wij de waterbalans gebruiken voor het opstellen van een fosfaatbalans. Dan zijn de herkomst en de kwaliteit van het water van belang en die kunnen erg verschillen per kwartaal. We zijn vooral geïnteresseerd in de factoren die de algengroei in het zomerhalfjaar beïnvloeden.

Door het jaar heen verandert de hoofdstroming in het meer. In Figuur 7 zien we dat in kwartalen I en II is er weinig sprake van doorstroming. De in- en uitlaat op alle punten heft elkaar ongeveer op. In kwartalen III en IV is de inlaat bij Sloten groter en dat water stroomt richting Woudsend.

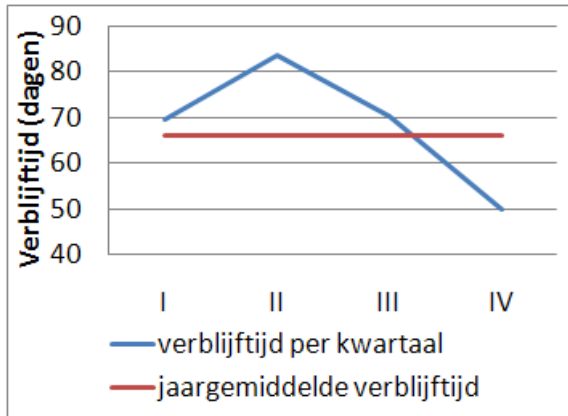


Figuur 7 Waterbalans Slotermeer in m³

Verblijftijd

In paragraaf 2.1.2 is beschreven dat er eerder verschillende berekeningen zijn gedaan van de verblijftijd en dat deze berekeningen verschillende uitkomsten geven. Op basis van de waterbalans die nu opgesteld is, kunnen we de (gemiddelde) verblijftijd afleiden. Op jaarbasis komt er 109,5 miljoen m³ water het Slotermeer in. Het totale volume van het Slotermeer is, bij een oppervlak van 1117 ha en een gemiddelde

diepte van 1,77 meter , $16,8 \cdot 10^6$ m³. Het jaardebiet wat het Slotermeer in komt is $109,5 \cdot 10^6$ m³. De verblijftijd komt hiermee op 0,18 jaar, oftewel 66 dagen. Deze verblijftijd van circa 2 maanden ligt tussen de eerder in hoofdstuk 2 benoemde verblijftijden (ruim 1 maand en circa 3 maanden) in. De verblijftijd varieert door het jaar heen. Hij is het grootst in kwartaal II en het kleinst in kwartaal IV (Figuur 8).



Figuur 8 Verblijftijd op basis van de waterbalans

3.2 STOFFENBALANS

3.2.1 GEGEVENS

Voor het opstellen van de stoffenbalans is gebruik gemaakt van de volgende gegevens:

- Waterkwaliteitsgegevens (meetwaarden) van het waterschap;
- Emissieregistratie;
- Stolk, AP, 2001, Landelijk meetnet regenwatersamenstelling, meetresultaten 2000, RIVM rapport 723101 057/2001;
- Waterbeheerplan 2010-2015, Wetterskip Fryslân;
- Waterkwaliteitsgegevens uit SOBEKmodel voor het berekenen van de waterkwaliteit in de Friese Boezem 2008;
- Metingen waterbodem B-ware 2010 ihkv project Baggernut in Slotermeer;
- Waterbirds v1.1, NIOO-KNAW.

3.2.2 AAN- EN AFVOERPOSTEN

Om de bronnen op de waterbalans te bepalen, zijn de volgende gegevens gebruikt bij het bepalen van de bronnen:

- Inlaat: voor het bepalen van de kwaliteit van het inlaatwater zijn voor de verschillende locaties de volgende gegevens gebruikt:
 - Inlaat Woudsend – waterkwaliteitsgegevens 2009 van meetpunt 87, Wetterskip Fryslân. Maandelijkse metingen van Ptotaal.
 - Inlaat Sloten – waterkwaliteitsgegevens uit modellering waterkwaliteit Friese Boezem 2008.
 - Inlaat Balk – waterkwaliteitsgegevens 2009 van meetpunt 579, Wetterskip Fryslân. Maandelijkse metingen van Ptotaal.
 - Inlaat polders – waterkwaliteitsgegevens 2008 van meetpunt 67 en 92, Wetterskip Fryslân. Maandelijkse metingen van Ptotaal
 - Waterbeheerplan 2010-2015,

- Uitlaat: voor het bepalen van de kwaliteit van het uitlaatwater is gebruik gemaakt van waterkwaliteitsgegevens 2009 van meetpunt 105 in het midden van het Slotermeer, Wetterskip Fryslan. Maandelijks metingen van Ptotaal.
- Neerslag: Fosfaatvrucht in neerslag is bepaald met behulp van RIVM rapport.
- Kwel, wegzijging: kwel en wegzijging is 0 op de waterbalans. Er is geen kwaliteit bepaald.
- Nalevering vanuit waterbodem: metingen waterbodem B-ware, naleveringsexperimenten B-ware.
- Recreatievaart en binnenvaart: kentallen uit Emissieregistratie, afwateringseenheden zoals gebruikt bij de Emissieregistratie.
- Vogels: de aantallen vogels komen uit de vogeltelling. De belasting die ze veroorzaken zijn berekend met Waterbirds v1.1.

3.2.3 METHODE EN UITGANGSPUNTEN

In voorgaande paragraaf zijn de gegevens benoemd die gebruikt zijn voor het kwantificeren van de bronnen op de stofbalans. Om te komen tot de waterbalans, zijn er verschillende bewerkingen uitgevoerd op de gegevens. Deze paragraaf beschrijft de gehanteerde uitgangspunten en de gebruikte methode voor het opstellen van de stofbalans.

Eenheden

Voor de balans zijn alle gegevens omgerekend naar kilogrammen P. Hiervan is een jaarbalans gemaakt met een uitsplitsing in vier kwartalen. Nadat de balans opgesteld is in kilogrammen P is deze ook omgerekend naar gram per vierkante meter om te zien hoe groot de belasting vanuit de verschillende bronnen is. Hierbij is vervolgens onderscheid gemaakt tussen interne en externe belasting. Dit laatste staat beschreven in paragraaf 3.3.

Inlaat & uitlaat

Het inlaatwater komt bij het Slotermeer uit 4 posten:

1. Polderwater: polders die direct op het meer afwateren;
2. Inlaat Balk: de watergang naar Balk;
3. Inlaat Sloten: de watergang naar Sloten;
4. Inlaat Woudsend: de watergang naar Woudsend.

Daarnaast is er sprake van uitlaat van water. Dit vindt plaats via de drie inlaten en naar de polders.

Voor het bepalen van de fosfaatlast op de locaties is zoveel mogelijk gebruik gemaakt van meetgegevens. Hierbij waren een drietal meetlocaties van belang (Figuur 9). Locatie 0087 is gebruikt voor de inlaat Balk en locatie 0579 voor inlaat Woudsend. Locatie 0105 is gebruikt voor de concentraties van water dat het Slotermeer verlaat. Voor de fosfaatconcentraties van het polderwater is gebruik gemaakt van algemene kentallen die het waterschap hanteert wanneer het gaat om de polderwaterkwaliteit. Een uitgebreidere beschrijving hiervan is te vinden in Bijlage 2. Hierin beschrijven we welke meetgegevens zijn gebruikt en hoe dit is gebeurd.

Zuidelijk van inlaat Sloten ligt een RWZI. Deze is opgenomen in het model en valt in de balans onder de post Inlaat Sloten.



Figuur 9 Meetlocaties die gebruikt zijn bij het opstellen van de stofbalans: 0087= inlaat Woudsend, 0579= inlaat Balk, 0105= uitlaat

Neerslag

Regenwater heeft een hele lage concentratie fosfaat. Voor de stofbalans hanteren we de concentratie van 0,01 mgP/l, gebaseerd op meetresultaten van het landelijk meetnet regenwatersamenstelling (v/d Swaluw et al, 2010). Deze zeer lage concentratie zorgt ervoor dat de invloed van neerslag op de stofbalans zeer klein is.

Kwel/wegzijing

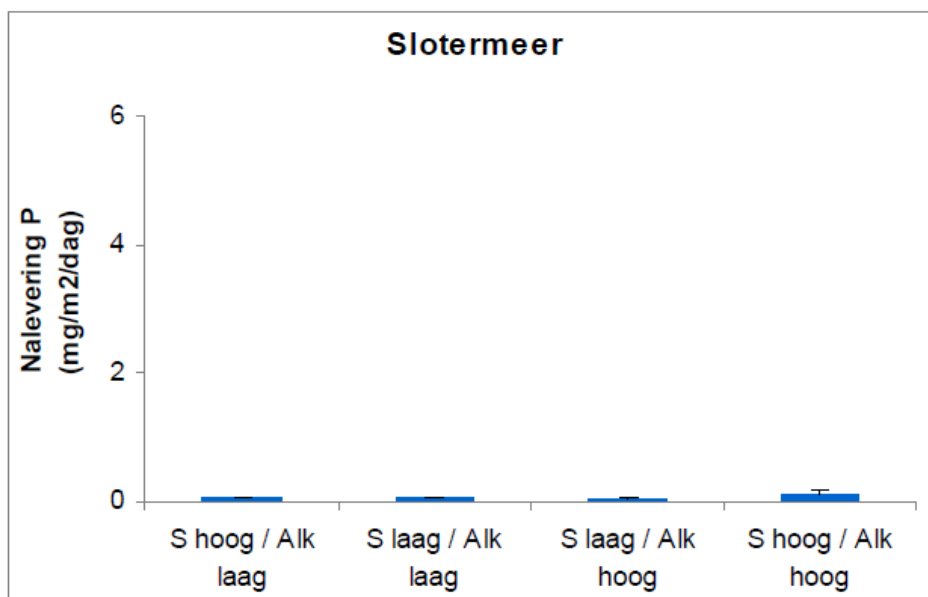
Bij het opstellen van de waterbalans is gebleken dat er geen (bruto) kwel of wegzijing plaatsvindt. De bruto posten door het jaar heen zijn niet bekend. Voor de waterbalans is er gekozen om de post op 0 te stellen. Deze post is dan ook niet van belang voor de stofbalans, omdat de aan- en afvoer gelijk is aan 0.

Nalevering uit de waterbodem

De nalevering van fosfaat uit de waterbodem is bepaald aan de hand van naleveringsexperimenten binnen het project Baggernut, uitgevoerd door de Radboud Universiteit Nijmegen (Bware). Voor de naleveringsexperimenten hebben ze op drie locaties bodemmonsters genomen (zie Figuur 10) en hier zijn naleveringsexperimenten mee gedaan. De conclusie is dat de mobilisatie van fosfaat uit de bodem zeer laag is in het Slotermeer. Op basis van de uitkomsten van deze experimenten blijkt de nalevering verwaarloosbaar te zijn. In Figuur 11 is te zien dat de nalevering circa 0,1 mgP/m²/dag bedraagt.



Figuur 10 Bware locaties Slotermeer (bron: B-ware, 2011)



Figuur 11 Nalevering van fosfaat uit de waterbodem van het Slotermeer (bron: B-ware, 2011)

Recreatievaart en binnenvaart

De recreatievaart en binnenvaart lozen afvalwater op het oppervlaktewater. Het gaat hier om lozingen van huishoudelijk afvalwater. De hoeveelheid fosfaat wat vanuit deze lozingen op het oppervlaktewater komt is bepaald met behulp van gegevens uit de Emissieregistratie (zie kader). De Emissieregistratie bevat ook factsheets over verschillende bronnen die in de Emissieregistratie opgenomen zijn. Een van deze bronnen is 'Huishoudelijk afvalwater scheepvaart'.

EMISSIEREGISTRATIE

De Emissieregistratie beslaat het gehele proces van dataverzameling, databewerking, het registreren en rapporteren van emissiegegevens in Nederland. In de emissieregistratie worden de emissies naar bodem, water en lucht van circa 350 beleidsrelevante stoffen en stofgroepen vastgesteld. De emissiegegevens worden per emissiebron en per locatie opgeslagen in de centrale database van de Emissieregistratie. Dit omvat gegevens van individueel geregistreerde puntbronnen (op basis van o.a. Milieujaarverslagen) en diffuse bronnen (emissies berekend door taakgroepen). (bron: website Emissieregistratie)

De database van de Emissieregistratie met emissies naar oppervlaktewater geeft de emissies per bron per afwateringseenheid. De lozingen van huishoudelijk afvalwater van de scheepvaart is onderverdeeld in 2 categorieën:

1. Lozingen huishoudelijk afvalwater binnenvaart;
2. Lozingen huishoudelijk afvalwater recreatievaart.

Het Slotermeer maakt onderdeel uit van afwateringseenheid GAF 1016: 'boezem van het zuidelijke merengebied'.

Het totale oppervlakte van deze afwateringseenheid is 116 km² en het Slotermeer is 11,17 km². We zijn er van uit gegaan dat de lozingen redelijk gelijk verdeeld zijn over het gehele gebied. Daarom is de aanname gedaan dat 10% van de totale vracht op de afwateringseenheid op het Slotermeer terecht komt.

De meest recente gegevens die via de EmissieRegistratie beschikbaar zijn, zijn van het jaar 2008. Aangenomen is dat in 2009 de getallen niet duidelijk zullen afwijken. De getallen van 2008 zijn opgenomen in de balans. De totale belasting op het Slotermeer vanuit de scheepvaart is 126,8 kg.

Bron	Vracht (kg/jaar)
Binnenvaart	2,66
Recreatievaart	124,1

Tabel 5 Fosfaatvracht vanuit de scheepvaart

Vogels

Vogels zijn een bron van nutriënten. Zij dragen bij via hun ontlasting en er is een bijdrage van eieren, veren en kadavers. In de meeste gevallen is de ontlasting de belangrijkste belasting van de vogels (e.g. Witteveen en Bos, 1980, bijlage 2).

Er zijn geen vogeltellingen bekend voor het Slotermeer. Het is daarmee niet duidelijk hoeveel vogels er aanwezig zijn gedurende het jaar en om welke soorten het gaat. Om een idee te krijgen van de mogelijke impact van vogels op de fosfaatbalans is een berekening gedaan om een indicatie te krijgen van de mogelijke belasting. Hiervoor is gebruik gemaakt van een tool die ontwikkeld is bij het NIOO. Deze tool berekent de nutriëntenaanvoer van vogels naar zoetwatersystemen. Deze tool, genaamd 'waterbirds' maakt een schatting op basis van het aantal vogels van verschillende soorten, hun verblijftijd in het gebied, hun voedselbehoefte en de tijd van het jaar waarin ze in het gebied zijn. De tool bevat twee verschillende modellen die de nutriëntentoevoer via vogels schat: 1 gebaseerd op voedselinname en één gebaseerd op de nutriënten in de uitwerpselen.

Vogelsoort		Scenario 1 ¹	Scenario 2 ¹	Scenario 3 ¹	Scenario 4 ¹
Brandgans	Max ²	13350	4450	2225	26700
Kleine rietgans	Max ²	15130	5043	2522	30260
Kolgans	Max ²	2360	787	393	4720
Meerkoet	Gem ²	1044	348	174	2088
Smient	Gem ²	1808	603	301	3616
Kg P per jaar		338	112	61	676

Tabel 6 Aanwezige vogels op het Slotermeer; vier scenario's

Om berekeningen met de tool uit te kunnen voeren zijn er een aantal scenario's opgesteld die een inschatting geven van de mogelijk aanwezige vogels in het Slotermeer. Er zijn geen vogeltellingen bekend, maar door verschillende scenario's met de tool door te rekenen, ontstaat er een gevoel voor de mogelijke invloed van vogels op de totale fosfaatbalans van het Slotermeer. De vogelsoorten zijn de meest voorkomende soorten in Natura 2000 gebied 'Oudegaasterbrekken, Fluessen en omgeving'. Het zijn allen winter- en trekvogels. Hierbij is uitgegaan van een verblijftijd van 75 dagen in het gebied. De vier scenario's leveren een P-belasting op variërend van 61 tot 676 kg P per jaar.

Waternet heeft samen met NIOO en Witteveen+Bos gekeken naar de invloed van vogels op landelijk schaal. Zij stellen dat op landelijke schaal de gemiddelde P belasting van vogels op meren en rivieren 0,063 mgP/m²/dag is (Rip en Schep, 2010). Voor het Slotermeer komt dat neer op 257 kg per jaar.

De verschillende methoden om de fosfaatbelasting van vogels in te schatten geven een bandbreedte van een fosfaatbelasting van 61 tot 676 kg P per jaar. Voor het Slotermeer gaan we uit van een gemiddelde situatie en hanteren we een belasting van 300 kg P per jaar.

3.2.4 RESULTATEN EN DISCUSSIE

In de vorige paragraaf zijn de methoden en uitgangspunten besproken die gebruikt zijn bij het opstellen van de stofbalans. In deze paragraaf bespreken we eerst de resultaten. Vervolgens gaan we in op de onzekerheden op de balans en de invloed hiervan. Tenslotte bespreken wij in de discussie wat de stofbalans ons vertelt over het watersysteem van het Slotermeer.

¹ Scenario 1 = aantal in N2000 gebied in 2004/2005.

Scenario 2 = aantal N2000/3 (want ongeveer 3 x zo groot als Slotermeer)

Scenario 3 = scenario 2 / 2 (als scenario weinig invloed)

Scenario 4 = scenario 1 * 2 (als scenario veel invloed)

² Max= is maximum aantal individuen

Gem = gemiddeld aantal individuen

Resultaten

In onderstaande tabel is de balans weergegeven. De belangrijkste posten op de balans zijn de in- en uitlaat bij Sloten en Woudsend. Verder valt het op dat er meer fosfaat het systeem in komt dan er uit gaat. Dit resulteert in een grote restpost.

Het opstellen van de stofbalans in het kader van Baggernut draait om de invloed van de waterbodem. Op basis van de experimenten kan geconcludeerd worden dat deze is in het Slotermeer zeer beperkt is. Het aandeel van de nalevering uit de waterbodem bedraagt slechts zo'n 3% van de totale fosfaatbelasting van het Slotermeer.

In / uit	Posten	Vrachten (kg/jaar)	Belasting (g/m ²)	Aandeel bron (%)	Betrouw- baarheid
		Ptot	Ptot	Ptot	
In	Inlaat Woudsend	3868	0,35	30,7	C
In	Inlaat Sloten	7448	0,67	59,2	D
In	Inlaat Balk	292	0,03	2,3	C
In	Uitmalen door polders	137	0,01	1,1	D
In	Neerslag	0,5	0,00	0,0	C
In	kwel	0	0,00	0,0	E ³
In	Nalevering	408	0,04	3,2	B
In	Overig				
	a. recreatievaart	124	0,01	1,0	C
	b. binnenvaart	2,7	0,00	0,0	C
	c. vogels	300	0,03	2,4	D
Uit	Uitlaat Woudsend	3878	0,35	54,5	C
Uit	Uitlaat Sloten	3052	0,27	42,9	C
Uit	Uitlaat Balk	176	0,02	2,5	C
Uit	Uitlaat naar polders	7	0,00	0,1	C
Uit	Verdamping	0	0,00	0,0	A
Uit	Wegzijing	0	0,00	0,0	E ³
Uit	Restpost	4760	0,49	43,5	-

Tabel 7 Stofbalans Slotermeer

In de rechter kolom in Tabel 7 is de betrouwbaarheid aangegeven met een lettercodering. Bij de classificatie van de kwaliteit van de informatie is aangesloten bij de werkwijze die in de publicatierreeks Emissieregistratie wordt aangehouden [Van de Most, 1998]. Deze werkwijze is gebaseerd op de methodiek van CORINAIR (CORe emission Inventories AIR). Hierbij worden de volgende kwaliteitsclassificaties aangehouden:

- A: een getal gebaseerd op een groot aantal metingen aan representatieve locaties;
- B: een getal gebaseerd op een aantal metingen aan een deel van de voor de sector representatieve locaties;

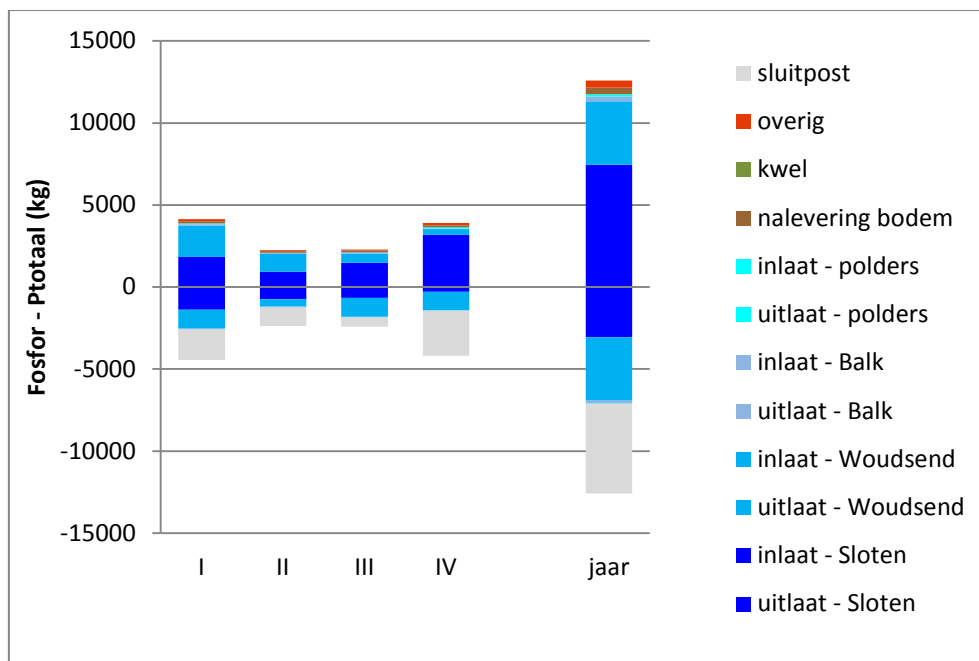
³ De posten kwel en wegzijing zijn bij de waterbalans op 0 gesteld, omdat er geen netto kwel/wegzijing is. Er kan door het jaar heen wel kwel en wegzijing optreden. Hier zijn echter geen gegevens over bekend, en kwel en wegzijing worden op 0 gesteld. Hiermee zijn deze posten op de fosfaatbalans ook 0. De onzekerheid zit in dit geval volledig in de waterbalans. De betrouwbaarheid hiervan is zeer laag. Voor de beoordeling van de betrouwbaarheid van deze posten op de fosfaatbalans is dezelfde beoordeling aangehouden als welke is toegekend op de waterbalans.

- C: een getal gebaseerd op een beperkt aantal metingen, aangevuld met schattingen op basis van de technische kennis van het proces;
- D: een getal gebaseerd op een gering aantal metingen, aangevuld met schattingen op basis van aannames;
- E: een getal gebaseerd op een technische berekening op basis van een aantal aannames.

Voor fosfaat in het Slotermeer zijn aan twee belangrijke posten van belang: transport en processen. Transport zorgt voor aan- en afvoer van fosfaat en heeft daarmee invloed op de fosfaatconcentratie. Processen als sedimentatie en nalevering uit de bodem hebben ook invloed op de fosfaatconcentratie in het meer. Met de fosfaatbalans zijn vooral de in- en uitlaat van fosfaat (transport) in beeld gebracht.

Daarnaast is de nalevering gekwantificeerd op basis van meetgegevens. Sedimentatie is mogelijk een (deel van) de sluitpost.

In Figuur 12 zien we dat de in- en uitlaten bij Sloten en Woudsend een grote rol spelen. Dit beeld is gelijk aan de waterbalans. Hieruit komt dan ook het beeld naar voren dat de aan- en afvoer van fosfaat via de in- en uitlaat van water een grote rol speelt in het Slotermeer. De nalevering van fosfaat uit de bodem is op basis van de meetgegevens van weinig invloed. De sluitpost is een grote post op de balans. Dit is een uitpost op de balans; er komt dus meer fosfaat het systeem in dan er uit gaat. De sluitpost is bij de P-balans relatief gezien veel groter dan de sluitpost bij de waterbalans.



Figuur 12 Fosfaatbalans van het Slotermeer

Onzekerheden

Voor het opstellen van de stofbalans is gebruik gemaakt van verschillende type gegevens. Elk met zijn eigen onzekerheden. Er is gebruik gemaakt van een restpost om de balans te dichtten. Deze post bestaat uit verschillende posten onder te verdelen in:

- Fouten in invoergegevens die je wel meeneemt in de balans:
 - Fouten die propageren vanuit de waterbalans;
 - Fouten vanuit de aangenomen kentallen voor vogels en scheepvaart;
 - Fouten in de gemodelleerde concentraties (bijvoorbeeld water vanuit Sloten);

- Meetfouten.
- Fouten in de invoergegevens die je niet meeneemt:
 - Diverse processen treden op zoals sedimentatie, opwerveling, binding aan bodemdeeltjes;
 - Posten die niet meegenomen zijn in de balans.

Om de stofbalans goed te kunnen lezen en interpreteren is het van belang te weten hoe groot de onzekerheden zijn en bij welke posten de grootste gevoeligheid ligt.

Elke post op de stofbalans heeft een bepaalde mate van onzekerheid. Het kan verschillen of er sprake is van een grote of een kleine onzekerheid. Er is een aantal bronnen dat weinig tot geen invloed heeft op de totale balans en waarvan de onzekerheden weinig impact hebben. Dit geldt bijvoorbeeld voor de bronnen vogels en scheepvaart. De bepaalde vrachten van uit deze bronnen zijn onzeker, maar ook klein.

Hierdoor is de onzekerheid op deze posten niet van groot belang. Wanneer de vrachten 2 of 4 keer zo groot zouden zijn dan wat nu aangenomen wordt, dan verandert dit de fosfaatbalans nauwelijks. En het is niet waarschijnlijk dat de bijdrage van deze bronnen 10 keer zo groot is dan aangenomen en daarmee wel van belang is. Hieronder bespreken we de onzekerheden die de meeste impact hebben op de balans: inlaat en uitlaat bij Sloten en Woudsend. Meer informatie over de onzekerheden van de verschillende bronnen is te vinden in Bijlage 2.

De bronnen waarbij de onzekerheid van belang is, zijn de in- en uitlaatposten bij Sloten en Woudsend. Voor het bepalen van de fosfaatvrachten die via de in- en uitlaten, is gebruik gemaakt van de waterbalans in combinatie met concentraties in het water. De concentraties fosfaat in de verschillende waterstromen zijn op verschillende manieren bepaald. Hierbij zijn een aantal bronnen voor onzekerheid. De belangrijkste zijn (in willekeurige volgorde):

1. Meetlocatie niet op instroompunt

Om de concentratie van de inlaat te bepalen is voor de inlaat bij Woudsend gebruik gemaakt van meetgegevens. Hierbij is gekeken welk meetpunt bij of in de buurt van het inlaatpunt ligt. Het meetpunt dat gebruikt is ligt in de watergang die uitstroomt in het Slotermeer, maar ligt niet exact bij het inlaatpunt. Hierdoor kan er verschil zitten tussen gemeten waarden en daadwerkelijke instroom.

2. Metingen niet continue

Voor het bepalen van de concentraties van de inlaat bij Woudsend is gebruik gemaakt van meetgegevens met een meetfrequentie eens per maand. De gemeten waarden op 1 dag in de maand zijn steeds gebruikt voor de gehele maand. Dit brengt een onzekerheid en onnauwkeurigheid met zich mee. Hoeveel de ingeschatte en werkelijke concentraties verschillen is onduidelijk. Fosfaat is een nutriënt met een duidelijk seizoenspatroon en de concentraties kunnen in tijd en ruimte flink verschillen.

3. Concentraties uit Sobekmodel

Voor het bepalen van de vrachten die bij Sloten het Slotermeer inkomen, is gebruik gemaakt van het waterkwaliteitsmodel van de Friese Boezem in Sobek. Dit model is opgezet voor het jaar 2008. We hebben gebruik gemaakt van het model, omdat er geen meetreeks beschikbaar is nabij het inlaatpunt. Een belangrijke kanttekening is echter dat het model gebruikt is om een globaal beeld te krijgen en het de processen in het water en de waterbodem niet meeneemt. Voor het model zijn gemeten en berekende concentraties voor een serie locaties naast elkaar gezet. Voor de locaties in de hoek bij Sloten (meetpunt 105, 120 en 121) geldt dat de gemiddelde meetwaarden lager zijn dan de gemiddelde berekende concentraties. De metingen zijn 25 tot 50 % lager dan de berekende concentraties uit het model.

4. Heen en weer water

Uit de waterbalans blijkt dat in kwartalen I en II er op alle in- en uitlaten ongeveer even veel water het meer inkomt als uitgaat (§3.2.4). Mogelijk speelt dit werkelijk en heeft dit water invloed op de concentraties en processen in het Slotermeer. Het is ook mogelijk dat het water niet echt doorstroomt

maar heen en weer stroomt. Dit “heen en weer water” zou dan buiten de balans gelaten moeten worden in de berekening van de verblijftijd, want deze wordt dan korter dan in werkelijkheid. Verder kan het ook fouten opleveren in de P-balans, zeker wanneer de inlaatconcentraties niet goed ingeschat zijn zoals bij de inlaat vanuit Sloten. Idealiter wordt de waterbalans dus gecorrigeerd voor dit heen en weer stromen.

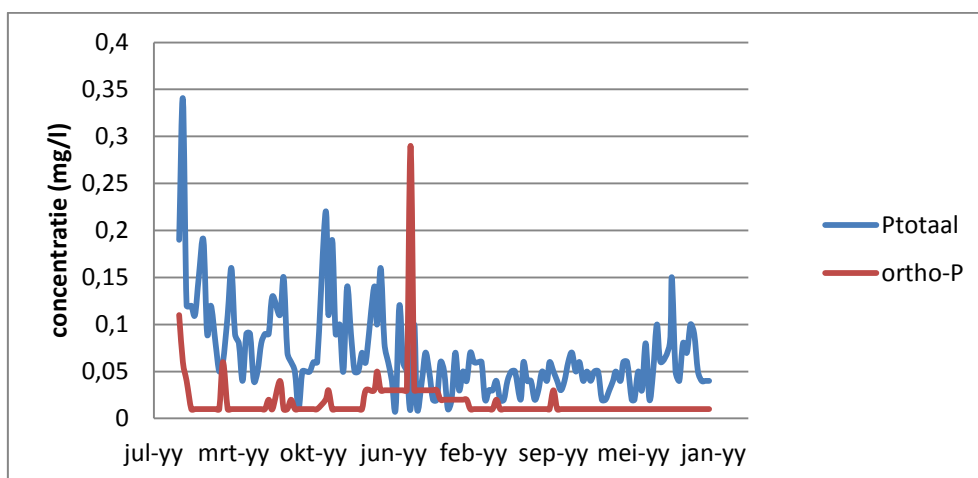
Wat betekent dit?

Onzekerheid zit in meer of mindere mate op alle bronnen. De impact die deze onzekerheid heeft op de fosfaatbalans wordt bepaald door de mate van onzekerheid en de grootte van de post op de fosfaatbalans. De bronnen inlaat Woudsend en inlaat Sloten zijn veruit de belangrijkste in- en uitposten op de balans. De onzekerheid op deze posten heeft dan ook veel impact op de balans. De onzekerheid op de post van inlaat Sloten is het grootst; deze berust niet op metingen maar op gemodelleerde waarden waarbij het bekend is dat het model in de meeste gevallen de gemiddelde jaarconcentratie overschat. In Bijlage 2 een rekenvoorbeeld dat een beeld geeft van wat dit kan betekenen.

Discussie

Op de balans zien we een grotere vracht fosfaat binnen komen dan dat er het systeem verlaat. Het overschot aan aanvoer is het grootst in het winterhalf jaar. Wat gebeurt er met dit fosfaat? Om meer inzicht hierin te krijgen, is gekeken naar de meetgegevens van het inlaatwater en het water in het Slotermeer. Voor de stofbalans is alleen gekeken naar de gegevens over Ptotaal, maar er zijn vele verschillende parameters gemeten. Hieronder beschrijven we de gedachten en hypothese over de fosfaathuishouding. We wijzen erop dat het geen gefundeerde conclusies zijn die stevig onderbouwd zijn door metingen en berekeningen. Het gaat hier om mogelijke verklaringen van wat we zien op basis van de stofbalans en de meetgegevens.

In het inlaatwater zien we in de metingen dat fosfaat een hele lage fractie ortho-fosfaat heeft (zie Figuur 13). Het overgrote deel van het inkomende fosfaat is waarschijnlijk particulier en komt met het zwevende stof het Slotermeer binnen. In het meer is de stroomsnelheid lager dan in de inlaatroutes, en als er zwevende stof met fosfaat het Slotermeer instroomt, kan dat in het Slotermeer bezinken. Dit gebeurt niet als een homogene laag over het meer, maar op de plekken die weinig invloed van waterbeweging en windeffect hebben.



Figuur 13 Gemeten concentraties Ptotaal en ortho-P in het Slotermeer; meetpunt 105

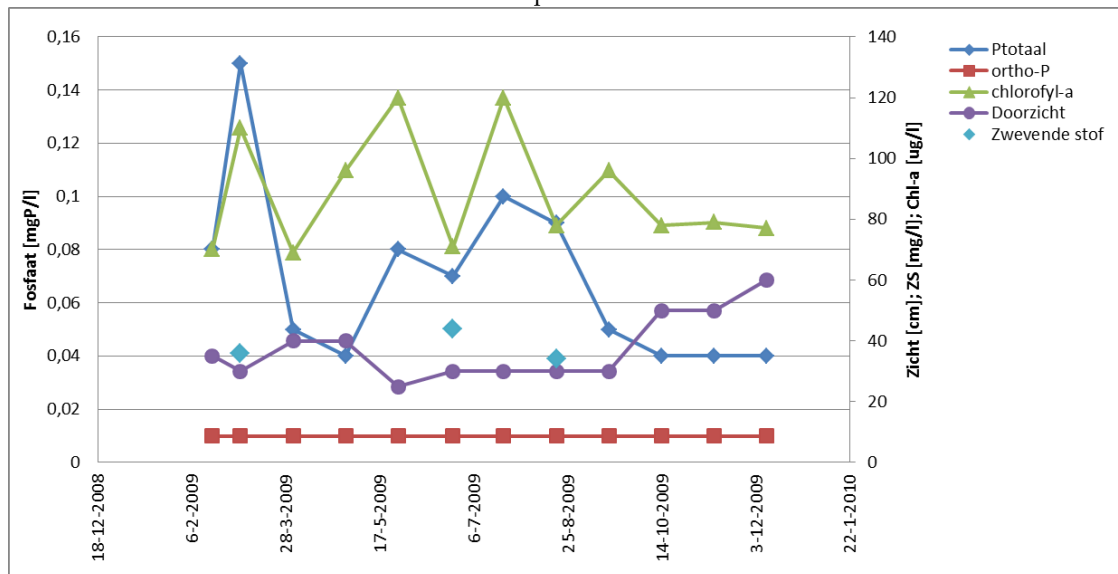
Wat zou dit kunnen betekenen?

Als het P is gebonden aan zwevend stof en bezinkt in het Slotermeer, vormt dit een laag slib op de bodem van het meer. In de zomer is het verschil in de balans kleiner. Dit kan betekenen dat er in de zomer ook P bezinkt, maar ook dat er mogelijk P in het water terugkomt doordat algen het P uit de bodem kunnen halen. Als dit inderdaad het geval is, zullen we in de metingen moeten zien dat pieken in Ptotaal gepaard gaan met pieken in chlorofyl-a. Dit is inderdaad wat waargenomen wordt (Figuur 14). Wat ligt hieraan ten grondslag?

Dit is de gedachtegang:

Met Ptotaal meten we alle P in het water, ook het P wat in de algen zit. Met ortho-P is alleen het anorganische P wat als voeding voor de algen kan dienen. Een deel van het Ptotaal wat aan zwevend stof is gebonden en dan bezinkt, is biologisch beschikbaar en kan vrijkomen uit de bodem. Dan kunnen de algen dit opnemen als voedingsstof. Het orthoP in het water is laag, ook in de zomer, omdat algen alle ortho-P meteen "opeten". Het ortho-P kan wel aangevuld worden, en algen kunnen wel groeien omdat het P uit de bodem vrij kan komen.

In het Slotermeer is een vrij hoge zwevend stof gehalte in het water. Door een hoog gehalte zwevend stof, is er een remming op de algenbloei. De deeltjes in het water zorgen namelijk voor beperkt doorzicht en daarmee voor slechte omstandigheden voor de algen. Hierdoor zijn in het Slotermeer mogelijk niet de voedingsstoffen beperkend voor de algen maar wordt (bij veel zwevend stof en toenemende aantallen algen) het doorzicht en daarmee het beschikbare licht beperkend.



Figuur 14 Meetgegevens Slotermeer (gegevens voor 2009 van meetpunt 0105).

3.3 INTERNE EN EXTERNE BELASTING

Met het opstellen van de fosfaatbalans is in beeld gebracht hoe groot de fosfaatbelasting van het watersysteem is. Voor een watersysteem is het heel bepalend waar het fosfaat vandaan komt. Hierbij wordt de volgende onderverdeling gemaakt:

- Interne belasting: de belasting vanuit de waterbodem;
- Externe belasting: de belasting die van buiten het systeem komt. Dit is bijvoorbeeld de belasting vanuit wateraanvoer, lozingen, en vogels.

Interne belasting

De nalevering van fosfaat uit de waterbodem is bepaald aan de hand van naleveringsexperimenten binnen het project BaggerNut, uitgevoerd door de Radboud Universiteit Nijmegen. De conclusie is dat de mobilisatie van fosfaat uit de bodem zeer laag is in het Slotermeer. Op basis van de uitkomsten van deze experimenten blijkt de nalevering verwaarloosbaar te zijn: circa 0,1 mgP/m²/dag.

De berekende interne belasting is 0,04 gP/m²/jaar over het gehele jaar

Externe belasting

De externe belasting is de belasting die van buiten het systeem komt. Dit betekent alle bronnen op de fosfaatbalans behalve nalevering. In Tabel 7 is te zien dat vooral de inlaat belangrijk is. De inlaat bij Sloten heeft de hoogste belasting: 0,67 gP/m²/jaar. De (totale) externe belasting is vele malen groter dan de interne belasting.

De berekende externe belasting is 1,09 gP/m²/jaar over het gehele jaar obv water- en stofbalans

Kritische belasting

De belasting van een watersysteem is een van de belangrijkste factoren die bepaald hoe de toestand van een meer is; helder en plantenrijk of troebel en algenrijk. Bij een lage belasting is een systeem helder en plantrijk. Maar wanneer is de belasting laag genoeg om dit te bereiken? De belasting waarbij het watersysteem omslaat van de ene naar de nader toestand noemen we de kritische belasting. Er is sprake van een hysteresis effect. Dit betekent dat het systeem twee omslagpunten heeft; er is een lagere belasting nodig om het systeem om te laten slaan van troebel naar helder als andersom.

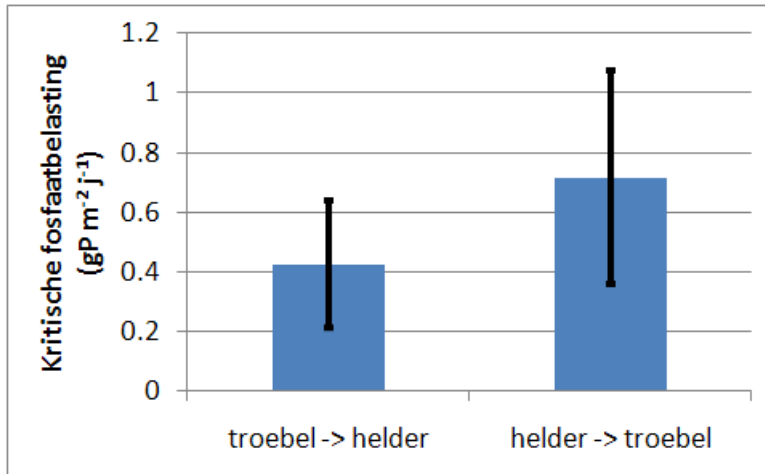
Het model PClake kan het gedrag van meren simuleren en daarmee ook de omslag van het systeem tussen helder en troebel in beeld brengen. Op basis van kennis en ervaringen met het model is een relatie gelegd tussen enkele parameters en de kritische belastingen van meren. Daaruit is het metamodel PClake ontstaan. Hiermee kan een inschatting gemaakt worden van de kritische belastingen op basis van enkele systeemeigenschappen. Dit metamodel is gebruikt om een inschatting te maken van de kritische belastingen van het Slotermeer.

Het metamodel PClake berekent de kritische belasting op basis van systeemeigenschappen. Wanneer we voor het Slotermeer uitgaan van een veenbodem en het ontbreken van een moeraszone, berekenen we de volgende kritische belastingen:

Kritische fosfaatbelasting (helder -> troebel): 0,715 gP/m²/jaar

Kritische belasting (troebel -> helder): 0,425 gP/m²/jaar

Voor de berekeningen is gebruik gemaakt van het metamodel van PClake zoals deze te vinden is op de website van PBL. Hier wordt ook genoemd dat men uitgaat van een onzekerheid van +/- 50% in de uitkomsten.



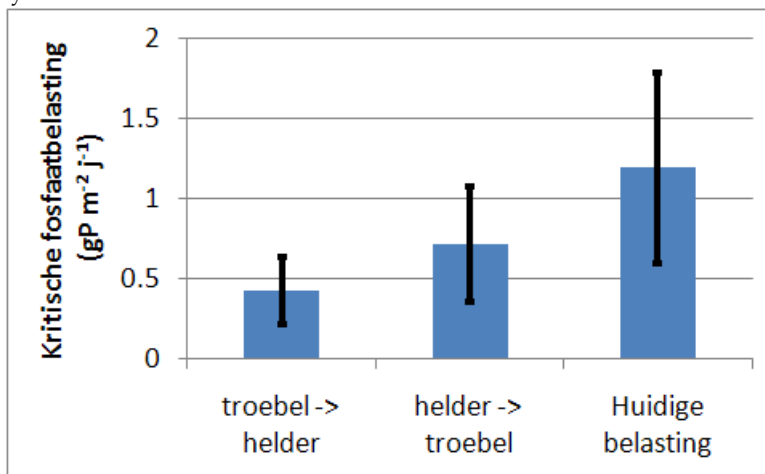
Figuur 15 Kritische fosfaatbelastingen voor het Slotermeer, met +/- 50% onzekerheid

Het metamodel rekent met verschillende systeemeigenschappen als input. Omdat niet al deze eigenschappen met zekerheid zijn vastgesteld voor het Slotermeer, zijn er verschillende modelruns gedaan. Meer hierover is te vinden in Bijlage 3

Actuele belasting vs. Kritische belasting

De actuele belasting bestaat uit de interne en de externe belasting en bedraagt 1,19 gP/m²/jaar. Actuele belasting (volgens PClake) is alleen de externe belasting, dus 1,09 Dit ligt duidelijk boven de kritische belasting en geeft aan dat het systeem zich in een troebele toestand bevindt. Gezien de KRW-beoordelingen van de huidige situatie (Tabel 3) klopt het dat er geen mooie heldere ecologische toestand is.

Zoals reeds aangegeven hebben de berekende kritische belastingen een onzekerheidsmarge. Dit geldt ook voor de berekende actuele belasting. Op basis van de onzekerheden die we geconstateerd hebben, nemen we aan dat de actuele belasting, net als de kritische belasting, een onzekerheid heeft van +/- 50%. Wanneer we deze gegevens tegen elkaar uitzetten, zien we dat de actuele belasting waarschijnlijk boven de kritische belasting ligt. Aangezien het Slotermeer zich op dit moment nog niet in een helder en plantenrijke situatie bevindt, moeten we kijken naar de kritische belasting voor het omslagpunt van troebel naar helder. De onzekerheidsmarges voor deze kritische belasting en de actuele belasting hebben een hele kleine overlap (Figuur 16). Maar de kans is zeer groot dat de actuele belasting te hoog is voor een omslag naar een helder systeem.



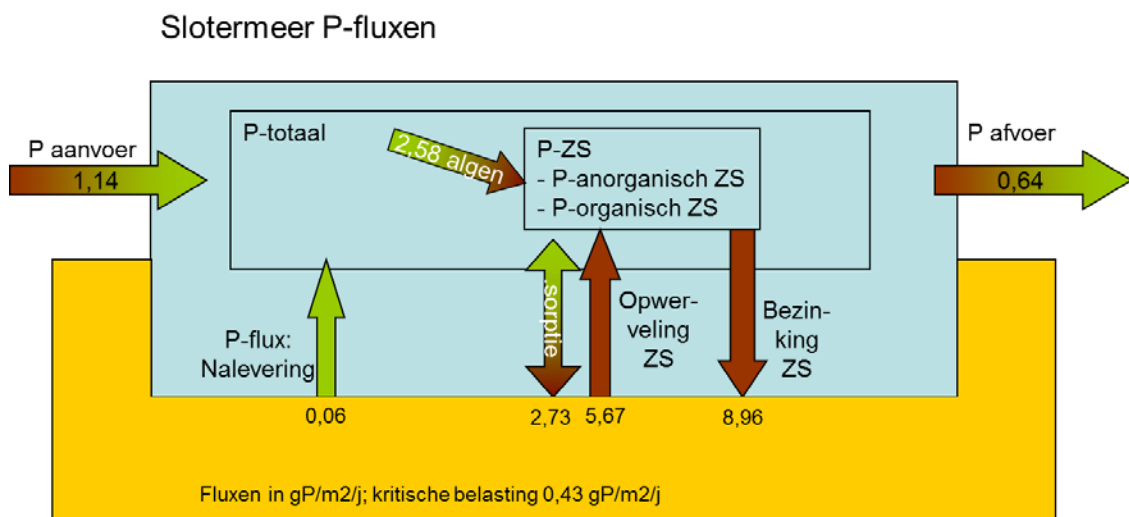
Figuur 16 Actuele en kritische fosfaatbelasting van het Slotermeer

4

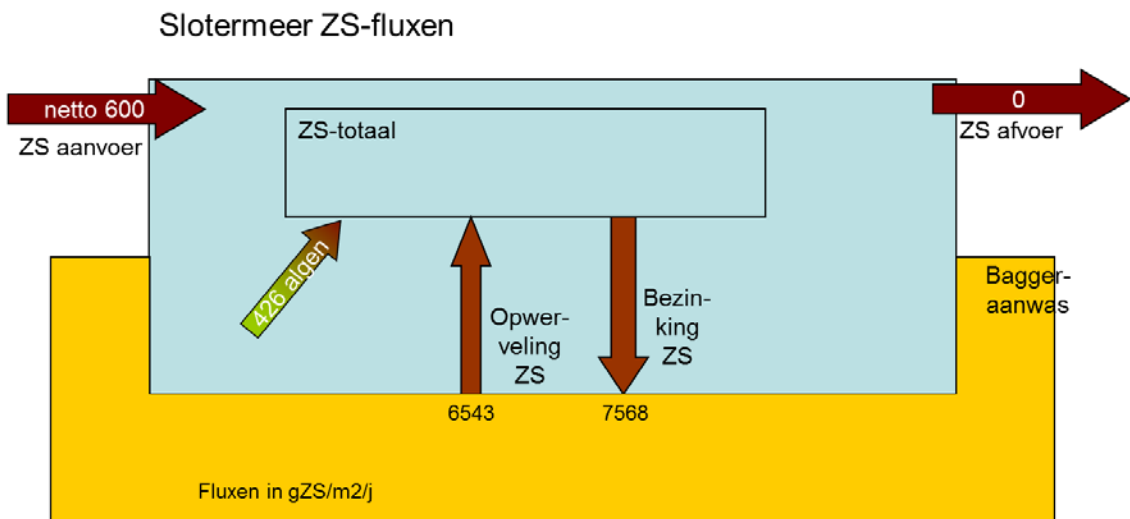
Slibdiagnose

Om voor de slibdiagnose een sluitende waterbalans te creëren is een kleine aanpassing gedaan in de balansen zoals beschreven in de vorige hoofdstukken. Verwacht wordt dat de waterbalans niet helemaal sluitend is omdat de in- en uitstroom vanuit de polders niet correct is. Daarom is de sluitpost van de waterbalans onder die term ondergebracht. In de P-balans is dit ook verwerkt door aan de sluitpost van de waterbalans de concentraties toe te kennen die bij het opstellen van de P-balans gebruikt zijn als concentratie voor de in- en uitstroom vanuit de polders. Het resultaat van deze actie is te zien in Bijlage 4. In deze bijlage zijn de invoerparameters en de complete resultaatsheet van de bodemdiagnose opgenomen. Meer informatie over de bodemdiagnose tool is te vinden in en Osté en Van de Weerd (2012 I en II).

Uitvoering van de bodemdiagnose voor het Slotermeer levert het P-flux plaatje dat te zien is in Figuur 17. Opvallend is dat opwerveling en sedimentatie de grootste fluxen zijn en dat netto sedimentatie optreedt. Algen groei zorgt voor aanvoer van P naar het zwevend stof en daarnaast zijn aanvoer naar en afvoer vanuit het systeem ook relevante bronnen voor fosfor in het meer. De nalevering is erg laag en is voor dit meer dan ook geen relevante fosforbron. De term sorptie representeert een uitwisselingsflux van opgelost P tussen water en waterbodem welke naar verwachting ontstaat bij opwerveling (vandaar de positie naast opwerveling). Een dergelijke uitwisseling zal naar verwachting ad/desorptie tot gevolg hebben.



Figuur 17 P-fluxen Slotermeer in gP/m²/j.



Figuur 18 ZS-fluxen Slotermeer in gZS/m²/j.

Figuur 18 laat de zwevend stof fluxen zien. Opwerveling en sedimentatie zijn de belangrijkste fluxen. Omdat geen zwevend stof balans opgesteld is, is alleen de netto aanvoer weergegeven. Als gevolg van deze netto berekening is er vanzelfsprekend geen afvoer.

In Figuur 19 en Figuur 20 zijn de fluxen in een grafiek per kwartaal weergegeven. In Figuur 17 zien we dat de naleveringsflux verwaarloosbaar (niet zichtbaar) is ten opzichte van de andere fluxen. De sorptie term is groter in de zomer, wat gerelateerd is aan de algengroei en detritusproductie door algen. Verschillen in P flux als gevolg van bezinking en opwerveling tussen de verschillende kwartalen zijn gerelateerd aan verschillen in het P-gehalte van het zwevend stof (ZS) en verschillen in het ZS fluxen zelf (Figuur 18).

Figuur 21 laat de bijdrage van de verschillende componenten aan de lichtuitdoving zien. In het Slotermeer is de bijdrage van algen en chlorofyl beperkt tot circa 40% van de lichtuitdoving. De bijdrage van het overige zwevend stof is circa 50%. Een vermindering van het chlorofylgehalte heeft in dit traject van het doorzicht maar beperkte invloed op het doorzicht. Het berekende doorzicht verandert van 0,26 naar 0,35 m wanneer er geen chlorofyl in het systeem aanwezig is.

Maatregelen die de bodemdiagnose aangeeft als effectief in dit systeem zijn:

- Opwerveling beperkende maatregelen;
- Externe belasting omlaag.

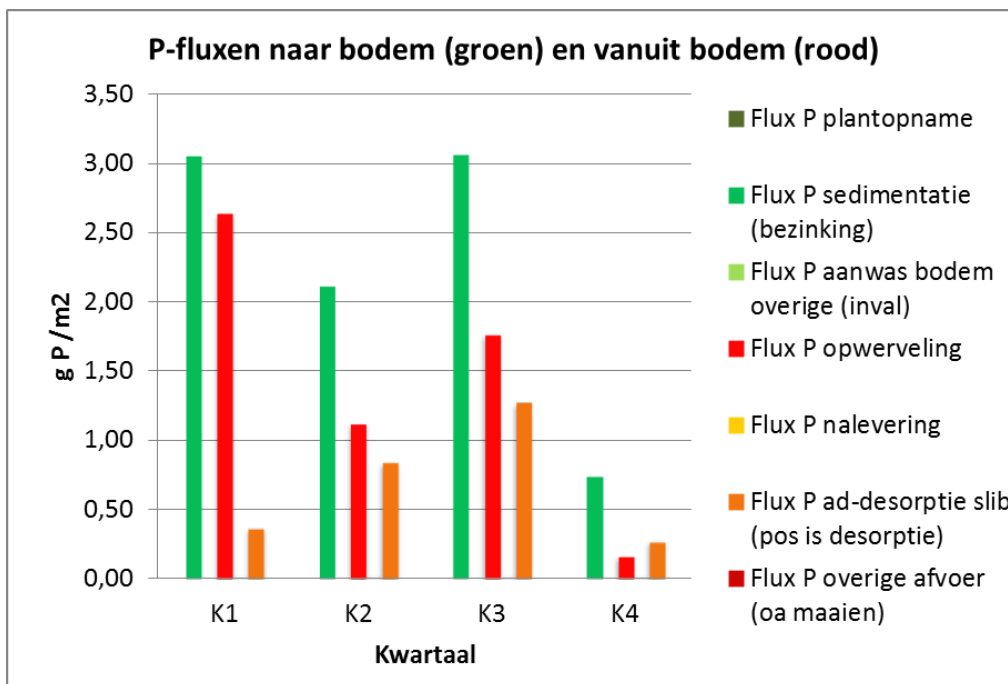
Het beperken van de externe belasting (zowel fosfor als zwevend stof) lijkt inderdaad een erg effectieve maatregel. Hiervoor zullen echter maatregelen in het hele boezemsysteem nodig zijn. Als gerichte maatregel in het Slotermeer zou het beperken van opwerveling een mogelijkheid zijn. Mogelijke maatregelen zijn dan bijvoorbeeld het wegvangen van vis. In de bodemdiagnosetool kan dit doorgerekend worden door de zwevend stof concentraties en de P concentratie zwevend stof terug te brengen. Een afname van 25% staat ongeveer gelijk aan het wegvangen van de benthivore vis in het systeem (188,6 kg vis/ha vermenigvuldigd met 0,062 levert een afname van 11,7 mgZS/l). Een afname van 10 mg ZS/l levert een verandering van het berekende doorzicht op van 0,26 naar 0,31 m.

Baggeren komt niet als maatregel uit de slibdiagnose naar voren. De oorzaak hiervan is dat bij het voorstel voor maatregelen alleen gekeken wordt naar de nalevering (als gevolg van diffusie). Deze is laag, terwijl de berekende bodemuitwisseling die optreedt als gevolg van desorptie hoger uitvalt. Hierdoor wordt het effect van de waterbodem onderschat. Wellicht is baggeren dus zinvoller dan hier geschetst.

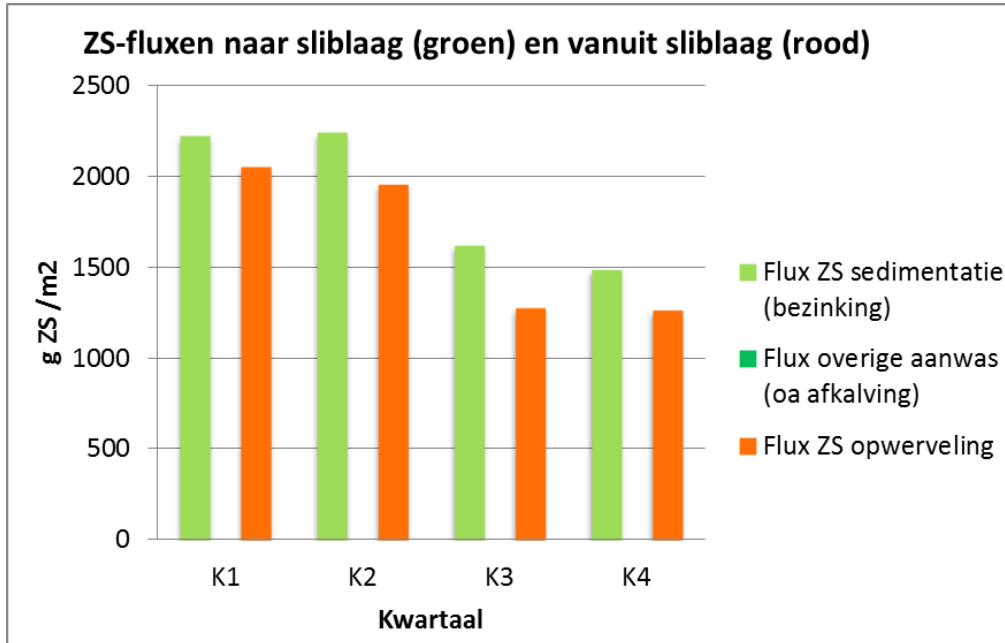
Een mogelijke reden waarom de bijdrage van de bodem aan het water, en dus het effect van baggeren, onderschat wordt, is dat de gemeten bodemgehaltenes en de gemeten nalevering niet representatief zijn voor het gehele meer. De monsters zijn genomen in de zuidwest hoek van het meer (zie Figuur 10) waar de bodem zandig lijkt te zijn.

Op basis van het P-gehaltenes in zwevend stof zou je verwachten dat baggeren wel nuttig kan zijn. Het gemeten P gehalte in de bodem is heel laag (0,05 gP/kg ds) terwijl in zwevend stof een concentratie van 1,18 gP/kg/ds wordt berekend. Dat zou betekenen dat op plekken waar slib wordt afgezet hogere P-concentraties gevonden worden. Dit zouden bijvoorbeeld wind-luwe plekken kunnen zijn of alleen het bovenste laagje (1-2 cm) van het slib (gemiddeld over 10 cm kan het bodemgehalte dan nog steeds laag uitvallen).

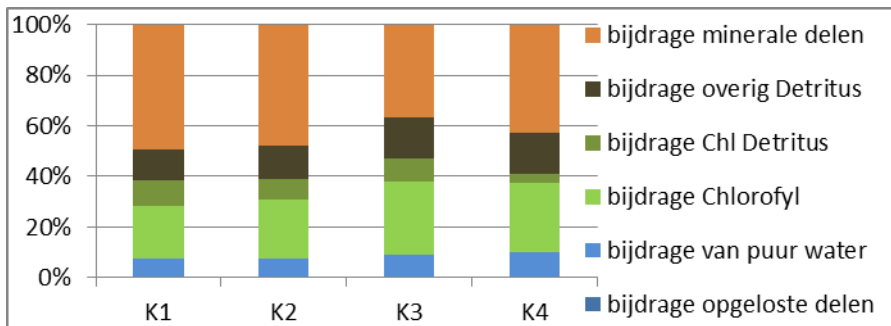
Mogelijk wordt in het systeem al een groot deel van het "P-rijke" slib afgevoerd. Sedimentatie vindt over het algemeen vooral plaats op de plekken die het minste onder invloed staan van de wind. Vaak zijn dat de diepste plekken in het meer. Voor het Slotermeer zijn dat de vaargeulen en die worden al periodiek gebaggerd om ze op diepte te houden. De afvoer van slib en fosfaat via baggeren is nu niet meegenomen in de analyse. Wellicht levert dat een ander beeld.



Figuur 19 P-fluxen naar en vanuit de bodem.



Figuur 20 Zwevenstof fluxen naar en vanuit de sliblaag.



Figuur 21 Bijdrage van verschillende componenten aan de lichtuitdoving.

5

Conclusie: effect waterbodem

5.1 CONCLUSIES

Het uitvoeren van de watersysteemanalyse en de slibdiagnose heeft twee doelen:

1. Inzicht geven in het functioneren van het watersysteem en de rol van de waterbodem hierin.
2. Input leveren voor de (ontwikkeling van) de bodemdiagnose-tool;

Conclusies gebaseerd hieronder zijn gebaseerd op modelresultaten uit 2008 en waterkwaliteitsdata uit 1999 en 2009.

Op de waterbalans zijn twee posten erg belangrijk en dat zijn de in- en uitlaten bij Sloten en Woudsend. 56% van de inlaat komt via Sloten en 24% via Woudsend terwijl 33% van het water via Sloten het meer weer verlaat en 56% via Woudsend. Dit verschil wordt vooral veroorzaakt in het derde en vierde kwartaal. Dan is de inlaat via Sloten drie keer zo groot als de inlaat via Woudsend en voor de uitlaat andersom. In het begin van het jaar is dat veel gelijk verdeeld. Er is een vrij grote sluitpost op de waterbalans die waarschijnlijk toe te schrijven is aan het niet betrekken van een aantal polderinlaten. Hierdoor verdwijnt er 6% meer water uit het Sloterveer dan er in komt. De verblijftijd in het meer is 66 dagen. Op de fosfaatbalans zijn de belangrijke posten gelijk aan de waterbalans en de verdeling over het jaar is vergelijkbaar. Opvallend is de grote sluitpost. Er komt 43% meer P het meer in dan er uit gaat, deze is in de slibdiagnose nader bekeken. Uit de balans komt een externe belasting voor het Sloterveer van 1,09 gP/m²/j. Dit ligt boven de kritische belasting van 0,43 gP/m²/j zoals berekend met het metamodel van PClake. De metingen van interne belasting geven een zeer lage waarde van 0,04 gP/m²/j. Deze waarde ligt ver onder de kritische belasting. Kanttekening is wel dat de bodem in het meer niet homogeen is en deze waarde bepaald is op basis van één locatie.

De P concentratie in het Sloterveer is in de zomer gemiddeld 0,07 mg/l en de chlorofyl concentraties zijn in het hele jaar hoog. Gemiddeld 79 µg/l in de winter en 92 µg/l in de zomer. Het doorzicht ligt rond de 35 cm. Fosfor is vooral aanwezig gebonden aan zwevend stof, want de orthofosfaat concentratie is laag (zomergemiddelde 0,01 mgP/l). Uit de slibdiagnose blijkt dat vooral de externe belasting bepalend is voor de P huishouding in het Sloterveer. De bijdrage van nalevering door diffusie vanuit de waterbodem is beperkt. Maar in de slibdiagnose wordt berekend dat vanuit de waterbodem meer fosfor aangevoerd wordt dan alleen via de nalevering door diffusie. Door beroering zullen niet alleen bodemdeeltjes in de waterfase terecht komen, maar kan er ook extra bodem/water uitwisseling plaatsvinden, bijvoorbeeld via vrijkomen van bodemvocht of ad/desorptie. De flux kan hierdoor hoger zijn dan de diffusie flux gemeten in de naleveringsexperimenten.

Door opwerveling en bezinking zijn er grote uitwisselingsfluxen van zwevend stof tussen bodem en water. Er wordt beroering van de waterbodem verwacht als gevolg van vis, recreatie en wind. De algengroei wordt gelimiteerd door de aanwezigheid van overig zwevend stof in het systeem wat het doorzicht beperkt waardoor de omstandigheden voor algenbloei minder optimaal zijn. Toch kan algengroei in de zomer zorgen voor een toename van de totaal P concentratie. De benodigde hoeveelheid fosfor voor algengroei komt uit nalevering vanuit de bodem via diffusie en desorptie.

Er vindt ophoping van fosfaat plaats in het Slotermeer als gevolg van netto bezinking van zwevend stof. Doordat het bezinkende zwevend stof een hogere concentratie P heeft dan de waterbodem, heeft dit een toename van de concentratie in de waterbodem tot gevolg.

Het zal lastig zijn om maatregelen te nemen om tot een helder systeem te komen. Het Slotermeer is een groot ondiep meer (4 km strijklengte), dus de wind heeft veel effect. Beroering door recreatie zorgt daarnaast ook voor opwerveling. Verder is er nog uitwisseling met de met de rest van het boezemsysteem. Een groot deel van de P belasting en het zwevend stof wordt van buiten het meer aangevoerd. Maatregelen in het meer hebben dan weinig effect.

De meest kansrijke maatregel is dan ook het verminderen van de externe belasting. Dit veroorzaakt afname van de algengroei en de bodem wordt minder opgeladen waardoor nalevering en desorptie ook afnemen. Opwerveling beperkende maatregelen als wegvangen van vissen en plantengroei stimuleren kunnen het zwevend stof gehalte verminderen. Het effect is mogelijk beperkt doordat de invloed van de boezem belangrijk blijft via de externe aanvoer van zwevend stof en vis. Het zijn wel maatregelen die goed passen in het verminderen van de zwevend stof concentraties in de boezem in het algemeen. Baggeren kan als maatregel zinvoller zijn dan geschetst doordat in de bodemdiagnosetool de desorptieterm niet meegenomen wordt bij het bepalen van maatregelen. In wezen wordt in het Slotermeer al gebaggerd. Door het op diepte houden van de vaargeul wordt het slib dat mogelijk het hoogste P-gehalte heeft al afgevoerd.

5.2 AANBEVELINGEN:

- Stoffenbalansen verbeteren vooral door meer meten bij inlaat Sloten.
- De waterbalans corrigeren voor grote waterverplaatsing die niet voor doorstroming zorgt ("heen en weer water" zie punt 4 op blz 28).
- De niet meegenomen polders (in- en uitlaten) meenemen op de waterbalans.
- Zwevend stof speelt een belangrijke rol in het Slotermeer. Daarom zou het goed zijn om meer inzicht verkrijgen in de zwevend stof dynamiek en de samenstelling van het zwevend stof door het meten van de verschillende zwevend stof fracties in alle inlaten en in het meer.
- Meer gegevens verzamelen over de waterbodem zodat een beter beeld van het hele meer verkregen wordt en de bodemdiagnose-tool gedetailleerder ingevuld kan worden. Dit is ook nuttig bij het berekenen van het effect van baggeren. Nu liggen de locaties waar bodemmetingen gedaan zijn in zandige bodem. Een meting in venige bodem zal waarschijnlijk andere waarden en andere effecten opleveren.
- Het inzicht in de processen vergroten die de interactie met de bodem bepalen. Vooral de samenhang tussen nalevering en ad/desorptie.
- De verwachting is dat sedimentatie vooral optreedt in de diepere delen van het meer die minder invloed van windeffecten ondervinden. Dit zijn vooral de vaargeulen. Deze worden periodiek op diepte gehouden. Deze afvoer van bagger zou ingeschat moeten worden en meegenomen in de analyse om een compleet beeld te krijgen.

- Wat betreft maatregelen blijven focussen op ingrepen die zorgen voor vermindering van de concentratie in de boezem in het algemeen.
- Verfijning van de bodemdiagnose. Door de invoer locatie specifiek te maken met betrekking tot de waterbodem (dichtheid van de bodem, gemiddelde waarden van het hele meer), de baggeraanwas- en afvoer, en bezinksnelheden. Verder zou meer inzicht in de samenstelling en dynamiek van zwevend stof in het systeem meer inzicht geven.

Bijlage 1 Literatuur

Droogers, P., 2009. Verbetering bepaling open waterverdamping voor het strategisch waterbeheer. Stowa-rapport 2009-11.

Gies TJA., P Coenen, A. Bleeker, OF. Schoumans & IGAM. Noij (2002). Milieuanalyse Reconstructiegebied Gelderland en Utrecht Oost, deel 1: Gelderse Vallei en Utrecht-Oost. Wageningen, Alterra, Reseach Instituut voor de Groene Ruimte, Alterra-Rapport 535.1.120 blz. 34 fig.;17 tab.; 36 ref.

Griffioen, J. (2006) Extent of immobilisation of phosphate during aeration of nutrient-rich, anoxic groundwater. *Journal of Hydrology* 320: 359–369.

HydroLogic, 2002. Variabel peilbeheer Friese boezem; afwegingsinstrumentarium. Amersfoort.

Loeb, R. & Verdonshot, P.F.M., 2008. Complexiteit van nutriëntenlimitaties in oppervlaktewateren. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 128. 69 blz.; 10 fig.; 1 tab.; 154 ref.

Maasdam, R. & T.H.L. Claassen, 1998. Trends in water quality and algal growth in shallow Frisian lakes, The Netherlands. *Wat. Sci. Tech.* 37 (3): 177-184.

Most, P.F.J. van der, van Loon, M.M.J., Aulbers, J.A.W. en van Daelen, H.J.A.M., 1998. Methoden voor de bepaling van emissies naar lucht en water. Publicatiereeks Emissieregistratie, nr. 44

Osté, L & Van de Weerd, R, 2012 I. Kennisregels in de Bodemdiagnose BaggerNut.

Osté, L & Van de Weerd, R, 2012 II. Waterbodemmaatregelen tegen eutrofiëring.

Poelen, M.D.M.; Berg, L.J.L van den; Heerdt, G.N.J. ter; Bakkum, R; Smolders, A.J.P. Jaarsma, N.G. ; Brederveld R.J. & Lamers, L.P.M., 2011. WaterBODEMbeheer in Nederland: Maatregelen Baggeren en Nutriënten (BAGGERNUT) – Metingen Interne Nutriëntenmobilisatie en Decompositie (MIND-BAGGERNUT) Tussenrapportage 2012.

Swaluw, E. van der, Asman, W.A.H. en Hoogerbrugge 2010. The Dutch National Precipitation Chemistry Monitoring Network over the period 1992-2004. RIVM Report 680704009/2010.

Wetterskip Fryslan, 2009, Status, toestand, waterkwaliteitsdoelen en maatregelen KRW-waterlichamen.

Wegeman, E.A., 1976, Enige beschouwingen omtrent het eutrofiëringsonderzoek in Friesland, in het bijzonder toegepast op het Slotermeer.

Witteveen & Bos, 1980, Waterbeheerplan Naardermeer, bijlage 2

Rip en Schep, 2010, Spelen watervogels een rol in de fosfaat belasting van meren? Lezing door Winnie Rip en Sebastiaan Schep gebaseerd op werk van Steffen Hahn en Marcel Klaassen (2008)

Bijlage 2 Achtergronden methoden

In deze bijlage staat een aanvullende toelichting bij hoofdstuk 3. In hoofdstuk 3 staan de water- en stoffenbalans beschreven. Deze bijlage geeft meer achtergronden bij:

1. Gehanteerde methode waterbalans;
2. Gehanteerde methode stoffenbalans;
3. Onzekerheden op de balansen.

1. *Methode Waterbalans*

In hoofdstuk 3 staat een beschrijving van de gehanteerde methoden voor het opstellen van de waterbalans. Hierbij is de specificatie van de bewerkingen van de in- en uitlaten achterwege gebleven. Deze beschrijven we hier.

Voor het Slotermeer zijn de in- en uitlaten de belangrijke bronnen. Op basis van het model komt al het water via de in- en uitlaten. Er zijn verschillende correcties op de gegevens uitgevoerd om bronnen gescheiden weer te kunnen geven. Dit is gedaan voor:

5. Polders/peilgebieden die op het Slotermeer afwateren;
6. Neerslag;
7. Verdamping;
8. Kwel/wegzijging.

1. Polders/peilgebieden. In het SOBEK-model is er geen polderwater wat direct op het Slotermeer uitkomt. Dit zit verdisconteerd in de in- en uitlaatpunten van het model. In werkelijkheid zijn er twee afwateringseenheden (cluster van peilgebieden) die rechtstreeks afstromen op het Slotermeer: pg802 en pg809 met oppervlakten van respectievelijk 45 en 304 ha. Deze polders zijn losgehaald uit de waterbalans uit SOBEK en als losse post op de waterbalans gezet. De grootte van de post is bepaald op basis van het oppervlak van de afwateringseenheden en de gemiddelde afstroming naar de Friese Boezem zoals opgenomen in het SOBEKmodel.

Het totale oppervlakte van de Boezem is 280.746 ha. De totale toevoer van polders naar de boezem is bepaald met het SOBEKmodel. Deze toevoerreeks (debieten per dag) voor de gehele boezem is vertaald naar de afwateringseenheden op basis van de oppervlakten; dus $45/208746$ en $304/208746$ deel van de totale toevoer.

De toevoer van deze polders zit in het SOBEKmodel op de in- en uitlaten. Nu de polders als losse post op de balans meegenomen worden, moeten ze op de in- en uitlaten in mindering gebracht worden. Op basis van de ligging van de afwateringseenheden is gekozen om pg802 in mindering te brengen op de in- en uitlaat bij Balk. Afwateringseenheid pg809 is in gelijke mate in mindering gebracht op de drie in- en uitlaten.

2. Neerslag. Van KNMI-station Stavoren zijn de 24uurs neerslaggegevens van 2009 gebruikt. De totale toevoer van neerslag is bepaald met behulp van de neerslagreeks en het oppervlakte van het Slotermeer. De post neerslag wordt toegevoegd aan de waterbalans. Om te zorgen dat de balans kloppend blijft, moet deze post gecorrigeerd worden op de in- en uitlaten, omdat hier eerst de neerslagsom bij inbegrepen zat. De neerslag is in mindering gebracht op de drie inlaten van water naar het Slotermeer: Balk, Woudsend en Sloten. Dit is procentueel gedaan, dwz als bij Sloten 50% van de totale inlaat is, dan is 50% van de neerslag bij Sloten in mindering gebracht, en als Balk 10% van de inlaat heeft, dan is daar 10% van de neerslag in mindering gebracht. Dit is per dag bepaald en verrekend.

3. Verdamping. Van KNMI-station Stavoren is de referentiegewasverdamping gebruikt. Dit is de hoeveelheid water die verdampt uit een grasland die goed voorzien is van water en nutriënten. Deze waarde is per dag berekend door het KNMI met de formule van Makkink. Om de verdamping vanaf open water te behalen is gebruik gemaakt van de omrekenfactor naar Penman open waterverdamping. De totale verdamping is vervolgens bepaald door te vermenigvuldigen met het oppervlakte van het Slotermeer. De post verdamping is toegevoegd aan de waterbalans, en de in- en uitlaten zijn hiervoor gecorrigeerd. De verdamping is in mindering gebracht op de uitlaten bij Balk, Woudsend en Sloten volgens dezelfde methode als de correctie voor neerslag.

4. Kwel/wegzijging. De kwel en wegzijging is gelijk gezet aan 0. Hiervoor hoeven de in- en uitlaten niet gecorrigeerd te worden.

2. *Methode Stoffenbalans*

In hoofdstuk 3 staat een beschrijving van de gehanteerde methoden voor het opstellen van de stofbalans. Hierbij is de specificatie van de bewerkingen van de in- en uitlaten achterwege gebleven. Deze beschrijven we hier.

Inlaatwater

Het inlaatwater komt bij het Slotermeer uit 4 posten:

1. Polderwater: polders die direct op het meer afwateren;
2. Inlaat Balk: de watergang naar Balk;
3. Inlaat Sloten: de watergang naar Sloten;
4. Inlaat Woudsend: de watergang naar Woudsend.

1. *Polderwater*

De kwaliteit van het polderwater wordt niet ter plekke gemeten. Voor het bepalen van de kwaliteit is gebruik gemaakt van een methode die reeds voor een ander project (SOBEK-modellering van de waterkwaliteit in de Friese Boezem) toegepast is. Dit betekent dat alle polders in het beheergebied van het waterschap verdeeld zijn in vier groepen. Per groep is de kwaliteit van het water bepaald aan de hand van metingen van polderwater op enkele locaties binnen dit gebied. De onderverdeling in groepen is gebaseerd op het bodemtype in het gebied. Er zijn de volgende vier groepen: veenpolders, zandpolders, kleipolders-noord en kleipolders-zuid. Voor het eerdere project is het Slotermeer ingedeeld in het gebied van de veenpolders.

2. *Inlaat Woudsend*

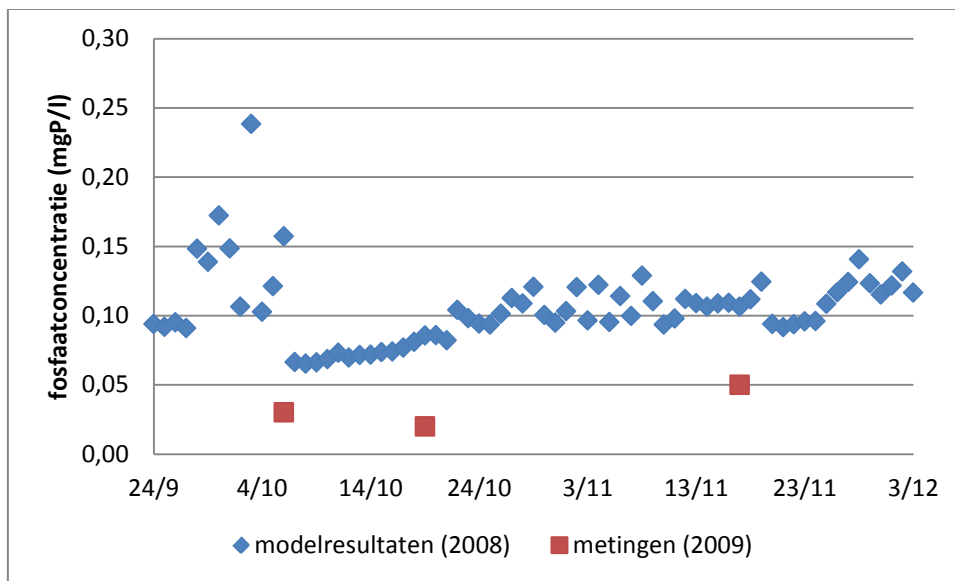
De kwaliteit van het inlaatwater bij inlaat Woudsend is bepaald met behulp van de meetgegevens van meetpunt 87 'Ee, Woudsend' (x,y-coördinaat 171340, 550710).

De waterbalans is opgesteld voor het jaar 2009. De meetgegevens konden hier niet bij aansluiten, omdat er in het jaar 2009 geen metingen zijn gedaan op dit punt. De metingen die beschikbaar zijn komen uit het jaar 1999. Er zijn maandelijkse metingen van Ptotaal. Een meting die op een dag in de maand is genomen, is gebruikt als concentratie voor de gehele maand. Voor elke maand is 1 meting beschikbaar, met uitzondering van de maand december. Echter, in de maand november zijn 2 metingen gedaan (op 3 en op 29 november). De eerste meting is gebruikt voor november en de tweede voor december.

3. *Inlaat Sloten*

Bij de inlaat Sloten zijn geen meetgegevens bekend; er ligt hier geen meetpunt van het waterschap. Om toch een inschatting te hebben van de waterkwaliteit, is gebruik gemaakt van de gegevens uit het SOBEKmodel van de Friese Boezem voor de waterkwaliteit.

Dit model geeft Pconcentraties in de gehele Friese Boezem. Echter, het model rekt met conservatief transport en is onder andere daardoor geen exacte weergave van de werkelijkheid. Er is voor gekozen om deze gegevens te gebruiken voor het opstellen van de balans, omdat er geen meetgegevens zijn, en de modelresultaten daarmee de beste benadering geven. Er zijn modelresultaten voor het jaar 1999 en voor het jaar 2008. Deze laatste zijn gebruikt voor de balans. Ter vergelijking zijn gegevens van meetpunt 1695 ernaast gelegd. Meetpunt 1695 ligt in het Slotergat; de watergang tussen Sloten en het Slotermeer. Hier is in 2009 tweemaal in oktober en eenmaal in november gemeten. Deze gegevens zijn te beperkt om de balans op te baseren, maar zijn gebruikt als referentiemateriaal. Het blijkt dat de berekende fosfaatconcentraties structureel hoger liggen dan de drie metingen in 2009. Doordat er maar drie metingen gedaan zijn, is het moeilijk om hiervoor de berekeningen voor het gehele jaar te corrigeren. Voor de balans zijn dan ook de gegevens uit het model gebruikt. In de discussie in paragraaf 3.2.4 komen we hierop terug.



Afbeelding 1 Vergelijking van modelresultaten en berekeningen van de fosfaatconcentratie voor inlaat Sloten

4. Inlaat Balk

De kwaliteit van het inlaatwater bij inlaat Balk is bepaald met behulp van de meetgegevens van meetpunt 579 'Balk, Stadskern (x,y-coördinaat 167861, 545541).

De waterbalans is opgesteld voor het jaar 2009. De meetgegevens van 2009 zijn gebruikt om de fosfaatvrachten van de post Inlaat Balk te bepalen. Er zijn maandelijkse metingen van Ptotaal. Een meting die op een dag in de maand is genomen, is gebruikt als concentratie voor de gehele maand. Voor elke maand is 1 meting beschikbaar, met uitzondering van de maand maart waar 2 metingen zijn. Deze twee metingen zijn gemiddeld, en deze gemiddelde waarde is gebruikt voor de maand maart.



Afbeelding 2 Locatie van de drie meetpunten

Uitlaat

Het uitlaatwater komt vanuit het Slotermeer, en heeft de concentratie van het water in het Slotermeer. Wetterskip Fryslân heeft een meetpunt in het midden van het meer. Gegevens van dit meetpunt zijn gebruikt voor het bepalen van de post uitlaatwater op de stofbalans.

De waterbalans is opgesteld voor het jaar 2009. De meetgegevens zijn hierbij aangesloten; de meetgegevens van 2009 zijn gebruikt. Er zijn maandelijkse metingen van Ptotaal. Een meting die op een dag in de maand is genomen, is gebruikt als concentratie voor de gehele maand. Wanneer er meerdere metingen in een maand vallen, dan is de gemiddelde waarde genomen voor deze maand. Voor het Slotermeer was er geen meting beschikbaar voor de maand januari. Daarom is de meetwaarde van februari ook voor de maand januari gebruikt. Onderstaande Tabel 8 illustreert het omzetten van metingen naar de basisgetallen voor de stofbalans. Het gaat om metingen van meetpunt 105 'Slotermeer, midden' (x,y-coördinaat 171600, 547660).

METINGEN		BALANS	
Datum	Meetwaarde (mg/l)	Maand	Concentratie (mg/l)
17/02/2009	0.08	januari	0.08
04/03/2009	0.15	februari	0.08
01/04/2009	0.05	maart	0.15
29/04/2009	0.04	april	0.045
27/05/2009	0.08	mei	0.08
25/06/2009	0.07	juni	0.07
22/07/2009	0.1	juli	0.1
19/08/2009	0.09	augustus	0.09
16/09/2009	0.05	september	0.05
14/10/2009	0.04	oktober	0.04
11/11/2009	0.04	november	0.04
09/12/2009	0.04	december	0.04

Tabel 8 Vertaling van metingen naar waarden als basis voor stofbalans

3. Onzekerheden

Voor het opstellen van de stofbalans is gebruik gemaakt van verschillende type gegevens. Elk met zijn eigen onzekerheden. Er is gebruik gemaakt van een restpost om de balans te dichtten. Deze post bestaat uit verschillende posten onder te verdelen in:

- Fouten in invoergegevens die je wel meeneemt in de balans:
 - Fouten die propageren vanuit de waterbalans;
 - Fouten vanuit de aangenomen kentallen voor vogels en scheepvaart;
 - Fouten in de gemodelleerde concentraties;
 - Meetfouten.
- Fouten in de invoergegevens die je niet meeneemt:
 - Diverse processen treden op zoals sedimentatie, opwerveling, binding aan bodemdeeltjes;
 - Posten die niet meegenomen zijn in de balans.

Om de stofbalans goed te kunnen lezen en interpreteren is het van belang te weten hoe groot de onzekerheden zijn en bij welke posten de grootste gevoeligheid ligt.

Nalevering

De nalevering is bepaald met behulp van naleveringsexperimenten. Voor deze experimenten zijn bodemonsters van 3 locaties uit het Slotermeer gebruikt. Deze 3 locaties liggen allen in de zuidwestkant van het meer. Dit is de hoek met een zandbodem. Elders is het meer is een veen, dan wel kleibodem aanwezig. Het verschil in samenstelling van de bodem kan van (grote) invloed zijn op de nalevering.

In het waterbeheerplan is een kaart opgenomen die aangeeft dat het Slotermeer bestaat uit veen, en klei op veen. Dit om aan te geven dat het nog aar zeer de vraag is hoeveel voorspellende waarde de experimenten hebben voor de gemiddelde situatie in het Slotermeer. Meer inzicht in de bodemsamenstelling kan helpen bij het beter en verder in beeld krijgen van de rol van de waterbodem in het Slotermeer.

Hoeveel invloed kan dit hebben als de nalevering (veel) groter blijkt te zijn? De fosfaatnalevering uit de bodem is nu zeer laag; het is ingeschat op 0,1 mg/m²/dag. Wanneer dit het dubbele zou zijn, is dit nauwelijks terug te zien op de fosfaatbalans en daarmee heeft het weinig invloed op de totale belasting van het systeem. Echter, het is ook mogelijk dat de nalevering een factor 10 hoger is. Een nalevering van 1 mg/m²/dag is ook nog relatief laag.

Binnen het project BaggerNut zijn naleveringsfluxen tot 60 mg/m²/dag gemeten. Wanneer blijkt dat voor het gehele Sloterveer genomen de gemiddelde flux beduidend hoger ligt dan nu aangenomen wordt op basis van de experimenten, dan kan het beeld geheel omslaan.

Inlaat & uitlaat

Voor het bepalen van de fosfaatvrachten die via de in- en uitlaten het meer in- en uitgaan, is gebruik gemaakt van de waterbalans in combinatie met concentraties in het water. De concentraties fosfaat in de verschillende waterstromen zijn op verschillende manieren bepaald. Hierbij zijn een aantal bronnen voor onzekerheid. De belangrijkste zijn (in willekeurige volgorde):

4. Meetlocatie niet op instroompunt

Om de concentratie van de inlaat te bepalen is voor de inlaten bij Balk en Woudsend gebruik gemaakt van meetgegevens. Hierbij is gekeken welk meetpunt bij of in de buurt van het inlaatpunt ligt. De meetpunten die gebruikt zijn liggen in de watergang die uitstroomt in het Sloterveer, maar liggen niet exact bij het inlaatpunt. Hierdoor kan er verschil zitten tussen gemeten waarden en daadwerkelijke instroom. Vooral omdat het watersysteem volledig gestuurd is en de stroming twee kanten op kan zijn. De metingen voor het polderwater zijn niet bij het Sloterveer genomen. Deze metingen komen van een polder elders en zijn overgenomen voor de polders die afwateren op het Sloterveer. Hierover meer onder punt 5 'onduidelijkheid over bodem'.

5. Metingen niet continue

Voor het bepalen van de concentraties van de inlaten bij Woudsend en Balk en het polderwater is gebruik gemaakt van meetgegevens met een meetfrequentie eens per maand. De gemeten waarden op 1 dag in de maand zijn steeds gebruikt voor de gehele maand. Dit brengt een onzekerheid en onnauwkeurigheid met zich mee. Hoeveel de ingeschatte en werkelijke concentraties verschillen is onduidelijk. Fosfaat is een nutriënt met een duidelijk seizoenspatroon en de concentraties kunnen in tijd en ruimte flink verschillen.

6. Metingen niet actueel

Voor het bepalen van de vrachten die bij Balk het Sloterveer inkomen zijn meetgegevens uit 1999 gebruikt. Voor het meetpunt bij Balk zijn geen recentere gegevens beschikbaar. In de tussentijdende 10 jaar kan er veel veranderd zijn. De algemene trend is dat de waterkwaliteit verbeterd. Voor de gehele Friese boezem, waar het Sloterveer onderdeel van uitmaakt is de zomergemiddelde fosfaatconcentraties gedaald van 0,21 mgP/l in 1999 naar 0,12 mgP/l in 2009. Dit is op basis van gegevens aangeleverd door Wetterskip Fryslân in het kader van een project over waterkwaliteitsmodellering. Het is dan ook niet onwaarschijnlijk dat de vrachten voor de inlaat bij Balk overschat zijn.

7. Concentraties uit Sobekmodel

Voor het bepalen van de vrachten die bij sloten het Sloterveer inkomen, is gebruik gemaakt van het waterkwaliteitsmodel van de Friese Boezem in Sobek. Dit model is opgezet voor het jaar 2008. We hebben gebruik gemaakt van het model, omdat er geen meetreeks beschikbaar is nabij het inlaatpunt. Een belangrijke kanttekening is echter dat het model gebruikt is om een globaal beeld te krijgen en het de processen in het water en de waterbodem niet meeneemt. Voor het model zijn gemeten en berekende concentraties voor een serie locaties naast elkaar gezet. Voor de locaties in de hoek bij Sloten (meetpunt 105, 120 en 121) geldt dat de gemiddelde meetwaarden hoger zijn dan de gemiddelde berekende concentraties. De metingen zijn 25 tot 50 % lager dan de berekende concentraties uit het model.

8. Onduidelijkheid over bodem

Voor het bepalen van de vrachten fosfaat die uit de aanliggende polders naar het Sloterveer stroomt, is gebruik gemaakt van metingen uit polders elders. Hierbij is Friesland op basis van bodemtype onderverdeeld in drie gebieden (klei, veen en zand). De waterkwaliteit in polders met hetzelfde bodemtype wordt hierbij verondersteld overal gelijk te zijn. Voor de bijdrage van de polders aan de fosfaatbalans is het daarmee van belang welk bodemtype de polders bij het Sloterveer hebben. Hiervoor is gekozen voor veenpolders. Echter, wanneer we de bodemkaart bekijken ligt er ook zand en klei in de omgeving. Het is dan ook de vraag of de aanname van veenpolders correct is. De kwaliteit van de veenpolders is bepaald aan de hand van meetgegevens van twee van de veenpolders. Het gemiddelde van deze twee polders wordt gezien als 'de' kwaliteit van de veenpolders.

Door deze twee aannames is er grote kans dat de aangenomen waterkwaliteit in de polders niet overeen komt met de kwaliteit van de polders bij het Sloterveer. Het is daarbij vooral de vraag: hoe groot kan de afwijking zijn? De bijdrage van de polders op de waterbalans is beperkt. Een verdubbeling of halvering van de vrachten uit de polders heeft daarmee nagenoeg geen invloed op de totale fosfaatbalans.

Overige bronnen

De overige bronnen op de fosfaatbalans bestaan uit vogels en scheepvaart (zowel recreatievaart als binnenvaart). De bepaalde vrachten van uit deze bronnen zijn onzeker, maar ook klein. Hierdoor is de onzekerheid op deze posten niet van groot belang. Wanneer de vrachten 2 of 4 keer zo groot zouden zijn dan wat nu aangenomen wordt, dan verandert dit de fosfaatbalans nauwelijks. En het is niet waarschijnlijk dat de bijdrage van deze bronnen 10 keer zo groot is dan aangenomen en daarmee wel van belang is.

Wat betekent dit?

Onzeker zit in meer of mindere mate op alle bronnen. De impact die deze onzekerheid heeft op de fosfaatbalans wordt bepaald door de mate van onzekerheid en de grootte van de post op de fosfaatbalans. De bronnen inlaat Woudsend en inlaat sloten zijn veruit de belangrijkste in- en uitposten op de balans. De onzekerheid op deze posten heeft dan ook veel impact op de balans. De onzekerheid op de post van inlaat Sloten is het grootst; deze berust niet op metingen maar op gemodelleerde waarden waarbij het bekend is dat het model in de meeste gevallen de gemiddelde jaarconcentratie overschat. Onderstaand rekenvoorbeeld geeft een beeld van wat dit kan betekenen.

REKENVOORBEELD ONZEKERHEID FOSFAATBALANS

De inlaten bij Woudsend en Sloten hebben grote invloed op de totale fosfaatbalans. Deze posten, en dan met name de inlaat bij Sloten, hebben een grote mate van onzekerheid. Voor de inlaat bij Sloten geldt dat het aannemelijk is dat de werkelijke vrachten lager zijn. Wat betekent het als deze inlaat veel minder fosfaat het meer inbrengt?

Stel: de inlaat van Sloten is 2/3 van de nu ingeschatte vracht. Dan ontstaat er een nieuwe balans (Tabel 9)

	Huidige balans	Rekenvoorbeeld onzekerheid
Totaal in	12581 kg P	10098 kg P
Totaal uit	-7113 kg P	-7113 kg P
Sluitpost	-5467 kg P	-2985 kg P
Sluitpost in %	43,5 %	29,6 %

Tabel 9 Rekenvoorbeeld onzekerheid op de fosfaatbalans.

Voor het rekenvoorbeeld zijn we uitgegaan van een afwijking van 33% in de vrachten bij Sloten. Gezien de onzekerheden zien we dit als een realistische mogelijkheid. Deze aanpassing heeft een duidelijke invloed op het eindplaatje: de sluitpost een sterk verminderd. Het beeld dat er meer fosfaat het systeem inkomt dan er uitgaat geldt ook in dit rekenvoorbeeld.

Kortom, we zien dat de onzekerheden op de belangrijkste posten van de balans een duidelijke invloed hebben op de balans. Of dit het eindbeeld ook geheel om zal gooien is echter nog maar de vraag.

Bijlage 3

Berekeningen kritische fosfaatbelasting met PClake

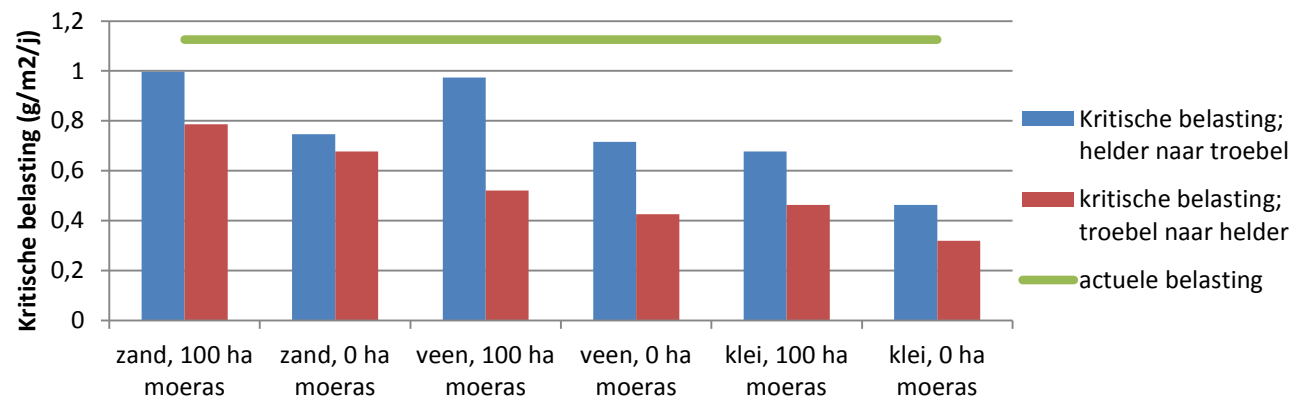
Het model PClake kan het gedrag van meren simuleren en daarmee ook de omslag van het systeem tussen helder en troebel in beeld brengen. Op basis van kennis en ervaringen met het model is een relatie gelegd tussen enkele parameters en de kritische belastingen van meren. Daaruit is het metamodel PClake ontstaan. Hiermee kan een inschatting gemaakt worden van de kritische belastingen op basis van enkele systeemeigenschappen. Dit metamodel is gebruikt om een inschatting te maken van de kritische belastingen van het Slotermeer.

Het metamodel rekent met verschillende systeemeigenschappen als input. Omdat niet al deze eigenschappen met zekerheid zijn vastgesteld voor het Slotermeer, zijn er verschillende modelruns gedaan. Op de volgende pagina staan de uitsomten van deze modelruns.

Hier zien we dat het al dan niet aanwezig zijn van een moeraszone in het meer een duidelijke invloed heeft op de kritische belastingen. Bij een moeras van 100 ha (nog geen 10% van het totale oppervlak van het meer) gaat de kritische belasting met circa 25% omhoog. Een hogere kritische belasting betekent dat het watersysteem bestand is tegen een grotere input van fosfaat. En daarmee worden de kansen op een helder en plantenrijk meer vergroot.

		run1	run2	run3	run4	run5	run6
actuele belasting	$\text{g m}^{-2} \text{ j}^{-1}$	1.126	1.126	1.126	1.126	1.126	1.126
verblijftijd	dagen	66	66	66	66	66	66
waterdiepte	m	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77	1.77
oppervlakte moeras	ha	100	0	100	0	100	0
oppervlakte meer (excl. Moeras)	ha	1017	1117	1017	1117	1017	1117
strijklengte	m	3189	3189	3189	3189	3189	3189
bodem	-	zand	zand	veen	veen	klei	klei
fractie opgelost P	-	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25
verblijftijd winter	dagen	60	60	60	60	60	60
verblijftijd wzomer	dagen	77	77	77	77	77	77
visserijdruk	g/g	0	0	0	0	0	0
Kritische belastingen	$\text{g m}^{-2} \text{ j}^{-1}$	0.997	0.746	0.974	0.715	0.677	0.463
		0.786	0.677	0.52	0.425	0.463	0.319

Tabel 10 Kritische belastingen; verschillende scenario's binnen het metamodel PClake



Bijlage 4 Slibdiagnose

Bijlage 4.1 Invoer

		Huidige situatie							
1. Algemeen									
Naam systeem		Slotermeer							
Fosfaatbalans		ja							
Nitraatbalans		nee							
KRW type		M14	tbv berekenen EKR						
Water systeem type		meer	tbv type watersysteem analyse						
Specificatie		plassen	tbv bepalen risico zuurstofloosheid						
Kwartaal		K1	K2	K3	K4				
Oppervlakte watersysteem (opp. water)	m2	11170000	11170000	11170000	11170000				
Dominante leggerdiepte	m	1,87							
gemiddelde waterdiepte	m	1,77							
KRW norm P (tbv nalevering)	mg/l	0,09	Indien je hier niks invoert wordt uitgegaan van een default norm (0.15 mg/l MTR)						
Norm doorzicht	m	0,65							
kritische belasting	g P/m2/j	0,43							

2. Bodem									
P-sed	g P /kg ds	0,047							
Fe-sed	g Fe /kg ds	1,26							
Of: P-sed / Fe-sed									
P-sed onder de sliblaag	g P /kg ds								
Kwartaal		K1	K2	K3	K4				
Bodemvocht	mg P / l	0,1	0,1	0,1	0,1				
Methode nalevering		Bodemvocht							
Dikte sliblaag	m	0,1							
organische externe belasting									
Type		zandige 'normale' bodems	tbv bepalen risico zuurstofloosheid						
stevigheid waterbodem		slap	tbv balans en maatregelen						
stevigheid waterbodem onder sliblaag		stevig	tbv balans en maatregelen						
Matrix		zand	tbv balans en maatregelen						
Matrix waterbodem onder sliblaag		zand	tbv balans en maatregelen						
3. Balansposten naamgeving									
Inposten		posten invullen	suggestie						
inpost 1	IN1:	1 Woudsend	Inlaat						
inpost 2	IN2:	2 Sloten	Inlaat						
inpost 3	IN3:	3 Balk	Inlaat						
inpost 4	IN4:	4 Polders	Inlaat						
inpost 5	IN5:	Neerslag	Neerslag						

inpost 6	IN6:	Overig							
uitposten		posten invullen	suggestie						
uitpost1	UIT1:	1 Woudsend	Inlaat						
uitpost2	UIT2:	2 Sloten	Inlaat						
uitpost3	UIT3:	3 Balk	Inlaat						
uitpost4	UIT4:	4 Polders	Inlaat						
uitpost5	UIT5:								
uitpost6	UIT6:	Verdamping	Verdamping						
4. Balansposten		K1	K2	K3	K4				
In- en uitvoer concentratie of vracht		vracht							
Posten waterbalans		debiet (m3/kwartaal)				P-vracht (kg/kwartaal)			
		K1	K2	K3	K4	K1	K2	K3	K4
IN1: 1 Woudsend		8.992.074	7.212.726	4.292.698	5.801.517	1.902	1.088	533	346
IN2: 2 Sloten		12.839.238	8.855.999	14.942.134	25.234.800	1.828	943	1.495	3.183
IN3: 3 Balk		1.089.430	730.360	1.164.575	786.205	103	53	96	41
IN4: 4 Polders		544.528	2.894.265	2.632.421	2.030.854	54	178	178	273
IN5: Neerslag		2.312.626	1.809.596	2.922.441	2.585.118	0	0	0	0
IN6: Overig		0	0	0	0	151	63	63	151
UIT1: 1 Woudsend		12.950.608	7.027.034	14.286.552	26.992.438	1.160	448	1.170	1.100
UIT2: 2 Sloten		11.554.734	10.668.678	7.576.328	7.365.830	1.373	731	650	298
UIT3: 3 Balk		605.581	937.720	443.359	924.235	51	61	32	33
UIT4: 4 Polders		142.607	33.291	42.675	5.983	14	2	4	1
UIT5:									
UIT6: Verdamping		524.366	2.836.223	3.605.356	1.150.007	0	0	0	0
restterm / sluitfout (pos = meer in dan uit) (check)	controle	0	0	0	0	1.439	1.083	509	2.562

5. Watersamenstelling (bij voorkeur kwartaalgegevens invullen)		JAAR GEM	K1	K2	K3	K4			
Doorzicht (indien bekend)	m		0,30	0,35	0,32	0,39			
Chlorofyl	µg/l		79,29	92,57	91,00	79,55			
Anorganische zwevende deeltjes	mg/l								
Detritus	mg/l								
Concentratie zwevende stof	mg/l		49,36	49,20	35,25	32,33			
Concentratie P totaal	mg/l		0,09	0,06	0,08	0,04			
Concentratie P zwevend stof	mg/l		0,07	0,05	0,07	0,02			
Ortho P	mg/l		0,02	0,01	0,01	0,02			
Concentratie N totaal	mg/l		5,64	3,36	2,23	4,28			
Concentratie sulfaat in systeem	mg/l								
6. Kenmerken systeem			Welke parameters invullen? Nb het is mogelijk breuken in te voeren (bijv onderhoud = 1.2)						
BZV	mg O ₂ /l	5,9	nee	zomergemiddelde					
Chloride	mg Cl/l	88,7	nee	zomergemiddelde					
Peildynamiek		2	ja	1=tegennatuurlijk 2=stabiël 3=natuurlijk					
Connectiviteit			nee	1=geïsoleerd 2=periodiek geïsoleerd 3=open verbinding					
Meandering			nee	1=recht+normprofiel 2=gestrekt+natuurlijker dwarsprofiel 3=zwak slingerend 4 =slingerend 5=vrij meanderend					
Beschaduwing			nee	1=onbeschaduwd zonder ruigte op oevers 2=gedeeltelijk beschaduwd of ruigte op oever 3=grotendeels of geheel beschaduwd					
Verstuwing			nee	1=sterk gestuwd zonder vistrappen 2=gestuwd met vistrappen 3=ongestuwd					
Oeverinrichting		2,5	ja	1=beschoeid 2=steil 3=flauw/moerassig (NVO)					
Scheepvaart		1,5	nee	1=intensief bevaren 2 = niet of nauwelijks bevaren					
Onderhoud		1	nee	1=intensief 2=extensief					
Aanwezigheid benthivore vis	kg/ha	188,6	--> zie ook						

			maatregeleninvoer -->						
Aantal schepen beroepsvaart	schepen/d								
Percentage van water wat wordt beïnvloed door beroepsvaart	fractie	0,1							
Aantal schepen recreatievaart	schepen/d								
Percentage van water wat wordt beïnvloed door recreatievaart	fractie	0,8							
Netto plant opname P obv kritische belasting of defaultwaarde)	g P/m2 /jaar								
Afvoer P (dmv maaien, schonen)	g P/m2/jaar								
baggeraanwas (agv afkalving, erosie, bladval of veenafbraak)	g ds /m2/jaar								
P gehalte baggeraanwas(obv bladval, veen afbraak, erosie oevers)	g/kg ds	0,00							
7. Huidige situatie									
		KRW sheet	Meetdata	GEP					
Macrofauna	EKR	0,44		0,5					
Macrofyten	EKR	0,187		0,999					
Vis	EKR	0,23		0,3					
Fytoplankton	EKR	0,3		0,5					
Totaal fosfaat (zomergemiddelde)	mg/l	0,1		0,09					
Totaal stikstof (zomergemiddelde)	mg/l	2		1,3					
Doorzicht (zomergemiddelde)	m	0,4		0,65					

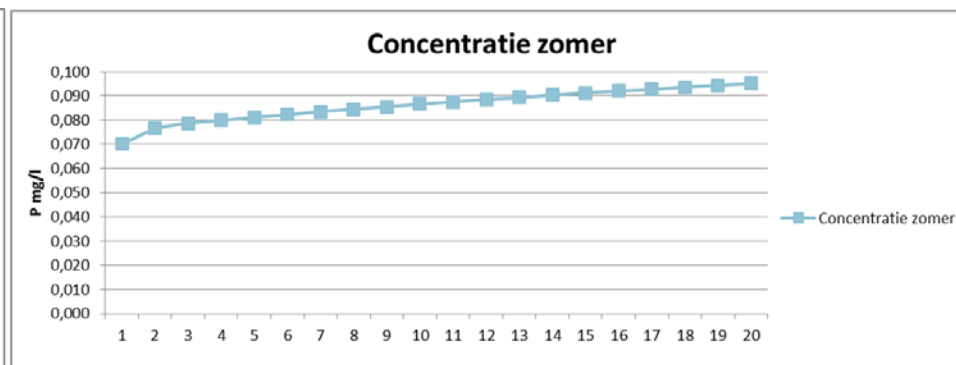
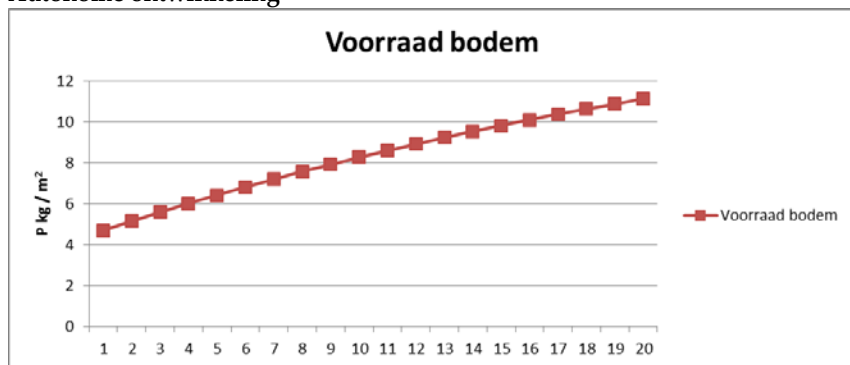
Bijlage 4.2 Resultaat

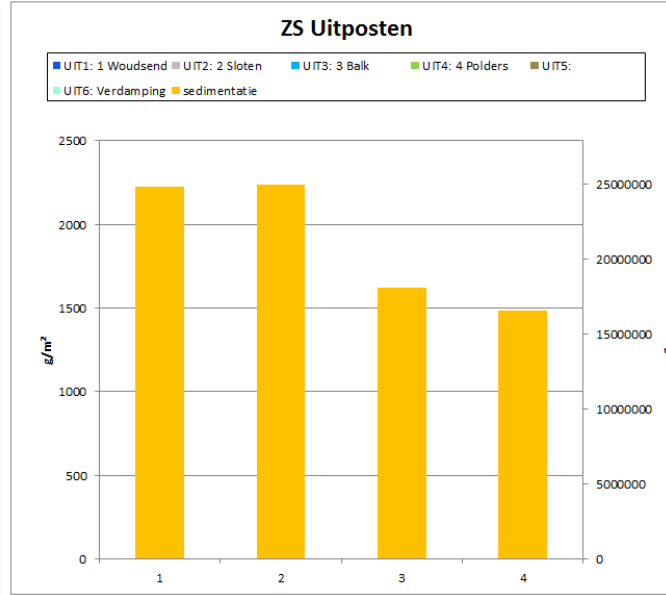
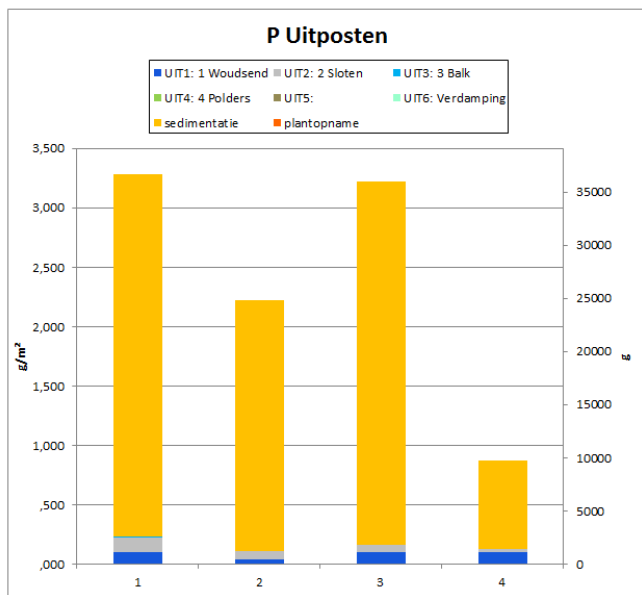
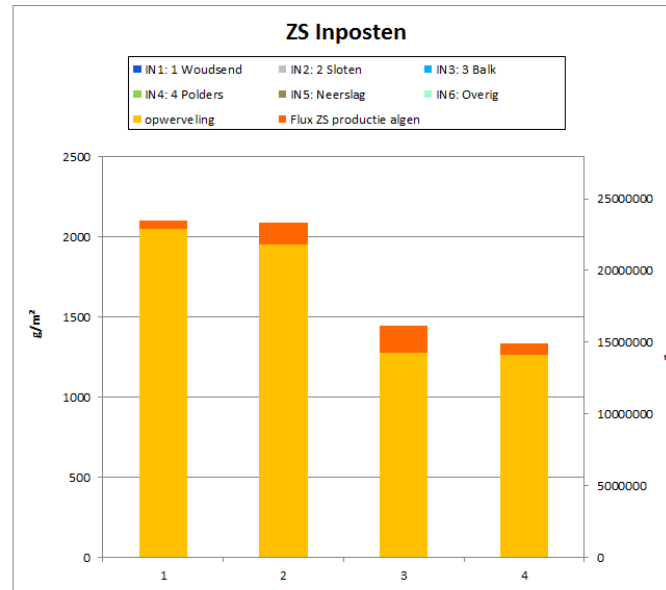
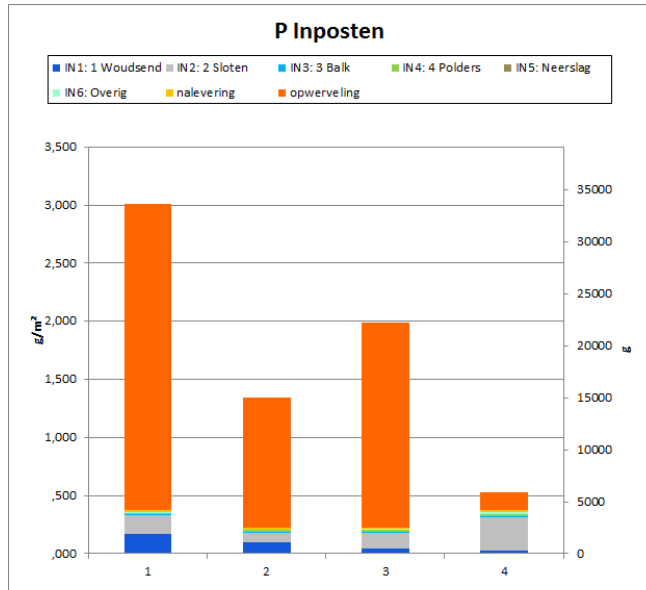
1e oordeel					
Slotermeer	Diagnose				
Potentie nalevering?	verwaarloosbaar				
doorzicht?	troebel				
Chlorofyl	hoog				
1e oordeel	Geen BD: waterbodem is niet de oorzaak eutrofiering				
Interne en externe P belasting	jaargemiddeld/totaal	K1	K2	K3	K4
Interne belasting (% van totale belasting)	4,9	3,9	6,6	6,6	4,0
Externe belasting (% van totale belasting)	95,1	96,1	93,4	93,4	96,0
Interne belasting (absoluut in g P/m ²)	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01
Externe belasting (absoluut in g P/m ²)	1,1	0,4	0,2	0,2	0,4
Kritische belasting (absoluut in g P/m ²)	0,43				
Verblijftijd (dagen)	65,80	69,03	83,67	70,08	49,92
Maatregelen					
Maatregel	Zinvol?				
Contact nutriënten waterbodem en oppervlaktewater afsnijden	nee				
Externe belasting omlaag	ja				
Vergroten P-bindingscapaciteit	nee				
Bron weghalen (baggeren)	nee				
Opwerveling beperkende maatregelen	ja				
Beijzering	PM				
Reductie sulfaat / bicarbonaat	nee				

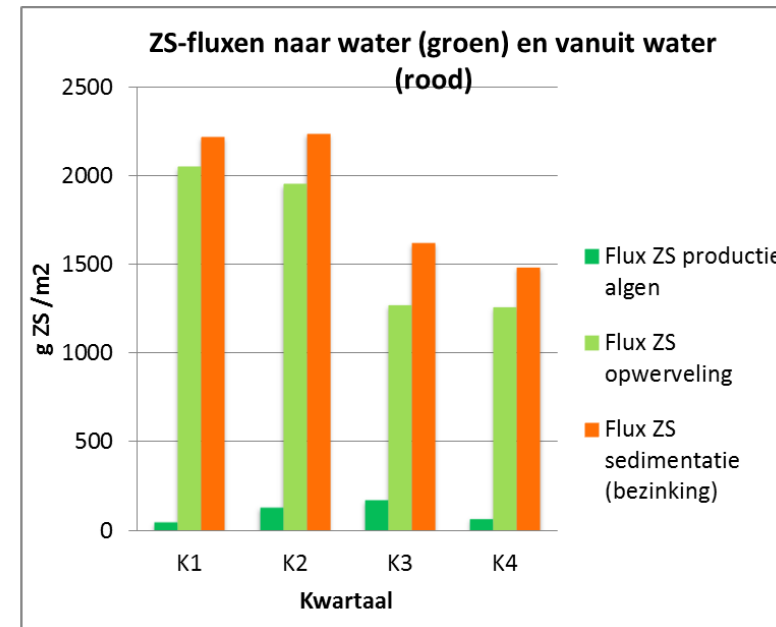
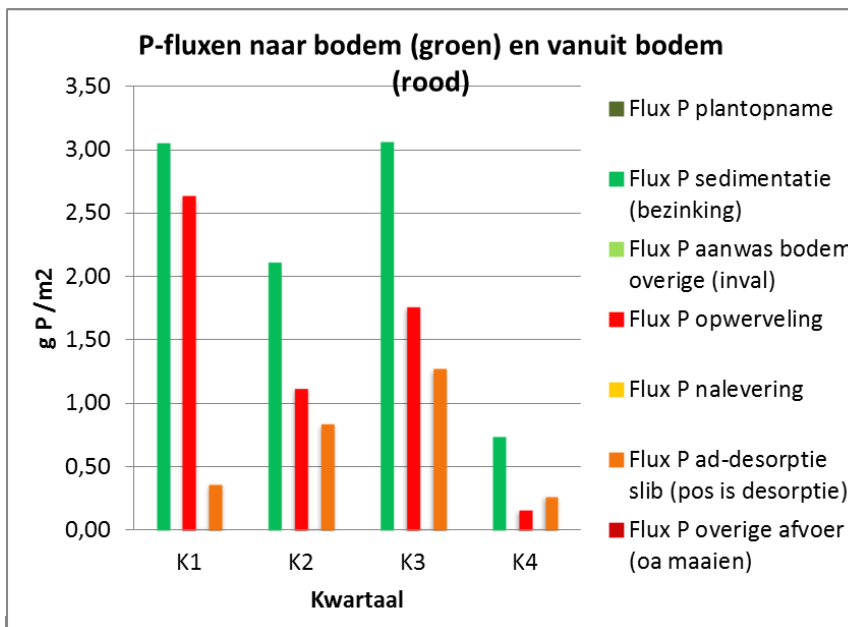
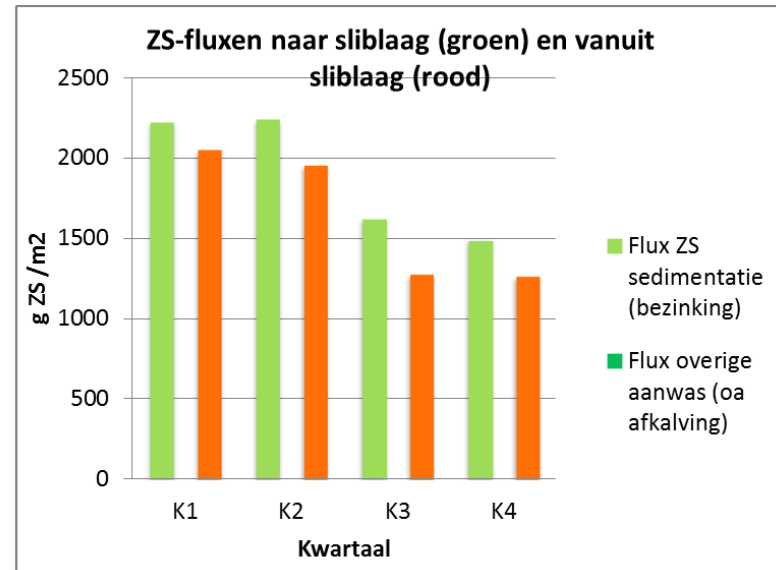
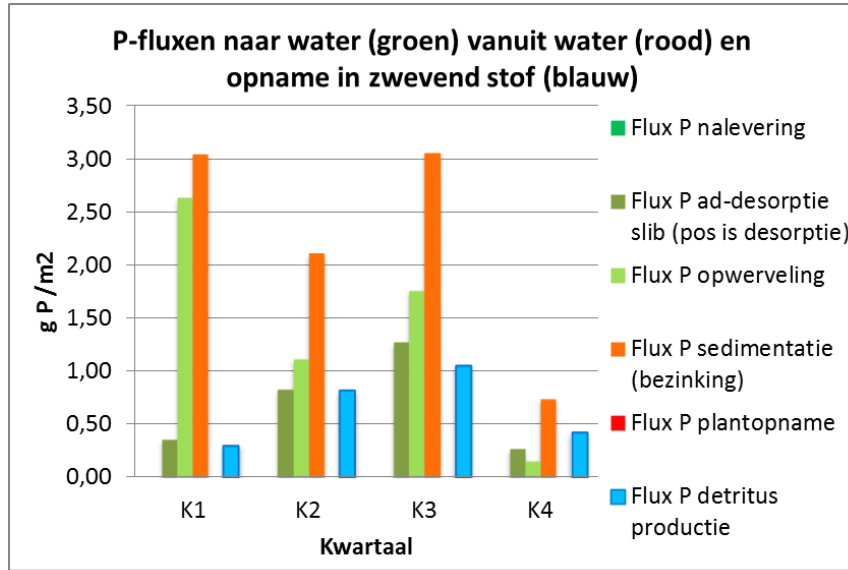
Check concentraties		K1	K2	K3	K4
Berekend	P (mg/l)	0,09	0,06	0,08	0,04
Gemeten	P (mg/l)	0,09	0,06	0,08	0,04
Berekend	N (mg/l)	#DEEL/0!	#DEEL/0!	#DEEL/0!	#DEEL/0!
Gemeten	N (mg/l)	5,64	3,36	2,23	4,28
Berekend	Zwevend stof (mg/l)	49,36	49,20	35,25	32,33
Gemeten	Zwevend stof (mg/l)	49,36	49,2	35,25	32,33

Resultaten						
Maatlat	Huidige situatie KRW-sheet gemeten	Data gemeten	Bodemdiagnose berekend	Autonome ontwikkeling		GEP
				na 2 jaar	na 10 jaar	
Macrofauna	0,44		0,72	0,72		0,5
Macrophyten	0,187		0,48	0,41		0,999
Vis	0,23		0,42	0,42		0,3
Fytoplankton	0,3		0,49	0,49		0,5
Totaal fosfaat (zomergemiddelde) mg/l	0,1		0,07	0,08	0,14	0,09
Totaal stikstof (zomergemiddelde) mg/l	2		2,00	2,00	2,00	1,3
Doorzicht (zomergemiddeld) m	0,4		0,26	0,26	0,26	0,65
Risicozuurstofloosheid door slib	-	-	laag/geen risico			

Autonome ontwikkeling







Colofon

BAGGERNUT

Watersysteemanalyse Sloterveer

OPDRACHTGEVER:

Wetterskipt Fryslân

STATUS:

Vrijgegeven

AUTEUR:

M. Bloemerts
E. Tietema
H. van de Weerd

GECONTROLEERD DOOR:

H. van de Weerd

VRIJGEGEVEN DOOR:

S. Boland

13 juli 2012
076300524: B

ARCADIS NEDERLAND BV
Beaulieustraat 22
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Tel 026 3778 911
Fax 026 3515 235
www.arcadis.nl
Handelsregister 9036504

©ARCADIS. Alle rechten voorbehouden. Behoudens uitzonderingen door de wet gesteld, mag zonder schriftelijke toestemming van de rechthebbenden niets uit dit document worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, digitale reproductie of anderszins.