

**BAGGERNUT, WATERSYSTEEMANALYSE &  
SLIBDIAGNOSE VOOR DE LEIJEN**

WETTERSKIP FRYSLAN

15 november 2012  
076432584:A - Definitief  
C01012.100066.0100





# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b> .....	<b>3</b>
1.1	het project baggernut .....	3
1.2	watersysteemanalyse.....	4
1.3	Slibdiagnose .....	5
1.4	Locatie De Leijen.....	5
1.5	Leeswijzer .....	6
<b>2</b>	<b>Beschrijving watersysteem</b> .....	<b>7</b>
2.1	Watersysteem.....	7
2.1.1	Friese Boezem.....	7
2.1.2	De Leijen .....	8
2.2	Waterkwaliteit.....	10
2.2.1	Doorzichtgerelateerde parameters .....	10
2.2.2	Chemische parameters.....	12
2.3	Waterbodemkwaliteit.....	13
2.4	Toestand (KRW) en KRW doelstelling.....	14
2.5	Functies De leijen.....	16
2.6	Maatregelen en werkzaamheden.....	17
<b>3</b>	<b>Analyse</b> .....	<b>19</b>
3.1	Waterbalans (zie bijlage 4).....	19
3.1.1	Gegevens.....	19
3.1.2	Aan- en afvoer Posten .....	19
3.1.3	Resultaten en discussie.....	19
3.2	Stoffenbalans (Zie ook bijlage 4).....	21
3.2.1	Aan- en Afvoer Posten .....	21
3.2.2	Gegevens.....	21
3.2.3	Resultaten en discussie.....	21
3.2.4	Interne en externe belasting (g/m <sup>2</sup> /dag).....	25
<b>4</b>	<b>Het screeningsmodel nutriënten</b> .....	<b>27</b>
4.1	introductie .....	27
4.2	Essentie van Het nutriëntenscreeningsmodel.....	27
4.3	Gebruik van het screeningsmodel in Baggernut .....	28
4.4	Invoer screeningsmodel De Leijen: stap 1&2.....	29
4.5	modelresultaten en vergelijking met metingen: stap 3&4.....	32
4.6	Bodemkarakteristieken: stap 5.....	37
4.7	Discussie .....	38
<b>5</b>	<b>Slibdiagnose</b> .....	<b>41</b>
5.1	Maatregelen.....	44
<b>6</b>	<b>Conclusies en aanbevelingen</b> .....	<b>45</b>
6.1	Conclusies.....	45

6.2	Aanbevelingen .....	46
<b>Bijlage 1</b>	<b>Inhoudsopgave handboek hydromorfologie .....</b>	<b>47</b>
<b>Bijlage 2</b>	<b>Voorbeeld factsheet KRW toestand .....</b>	<b>51</b>
<b>Bijlage 3</b>	<b>Ecologisch ondersteunende parameters .....</b>	<b>53</b>
<b>Bijlage 4</b>	<b>Methode balansen .....</b>	<b>55</b>
	Waterbalans .....	55
	Periode: interval en jaar .....	55
	Begrenzing.....	55
	Beoordeling van de betrouwbaarheid .....	56
	Eenheden 56	
	Neerslag en verdamping .....	56
	Kwel / wegzijging.....	57
	Infiltratie / Drainage.....	57
	Inlaat en Uitlaat vanuit aanliggend oppervlaktewater.....	57
	Berging 57	
	Sluiten van de balans .....	58
	Stoffenbalans .....	59
	Eenheden 59	
	Inlaat / uitLaat.....	59
	neerslag 60	
	Kwel / wegzijging:.....	61
	Landbouw en Natuur (Uitspoeling): .....	61
	Depositie 61	
	nalevering 61	
	Overig (vogels, blad, vissers, honden??) .....	61
	Interne en externe en kritische belasting.....	62
<b>Bijlage 5</b>	<b>Kentallen uitspoeling nutriënten .....</b>	<b>63</b>
<b>Bijlage 6</b>	<b>Ligging polderwaterkwaliteit-meetpunten .....</b>	<b>65</b>
<b>Bijlage 7</b>	<b>Literatuur .....</b>	<b>67</b>
<b>Colofon.....</b>		<b>69</b>

# 1 Inleiding

## 1.1 HET PROJECT BAGGERNUT

De belasting van het oppervlaktewater met nutriënten is één van de belangrijkste oorzaken voor het niet halen van de KRW-doelen in 2015. Ook interne eutrofiëring wordt als mogelijke oorzaak gezien; vanuit bodem en bagger (slib) kunnen grote hoeveelheden nutriënten vrijkomen. Deze interne eutrofiëring kan zo sterk zijn dat herstel van de ecologische waterkwaliteit met meer dan tien jaar wordt vertraagd of zelfs geheel verhinderd.

De grootte van de interne eutrofiëring moeilijk vaststellen. In de meeste wateren is nog niet bekend of er sprake is van ernstige interne eutrofiëring en welke processen deze veroorzaken. Bovendien is niet goed 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.

### *Doelstelling van het project BaggerNut*

Het project BaggerNut onderzoekt de rol van de waterbodem bij het niet halen van de KRW-doelen, zodat de waterbeheerders meer inzicht krijgen of het nut heeft om waterbodemmaatregelen te nemen.

BaggerNut heeft een tweeledige doelstelling:

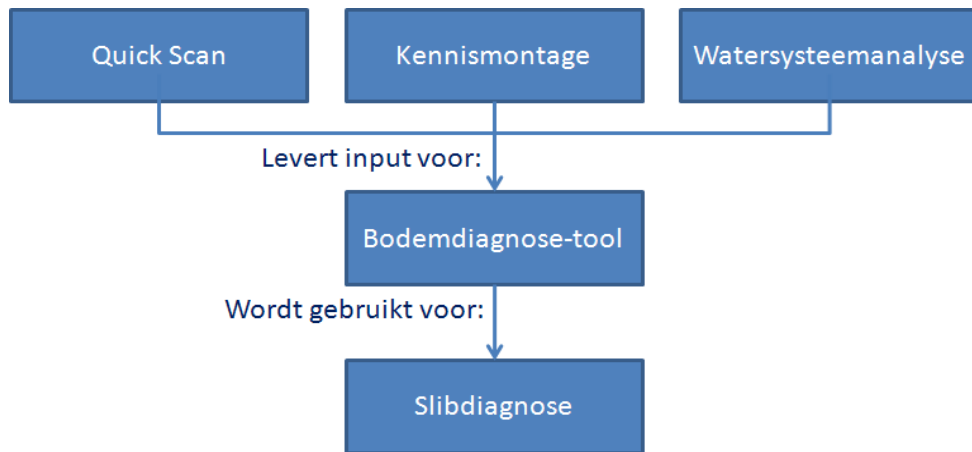
- Processen die samenhangen met interne mobilisatie van nutriënten en baggerproductie inzichtelijk maken en op een eenvoudige wijze kwantificeren
- Waterbeheerders handvatten aanreiken om een oordeel te geven over de effectiviteit van waterbodemmaatregelen (o.a. baggeren)

### *Onderdelen van BaggerNut*

Om bovengenoemde doelstelling te halen zijn er verschillende deelprojecten binnen BaggerNut, waarbij de onderdelen die in dit rapport aan bod komen dikgedrukt zijn:

1. Kennismontage;
2. **Vergaren basisdata (veldmetingen en overige locatiegegevens);**
3. Uitvoeren praktijkexperimenten en maatregelen (baggeren);
4. Bodemdiagnose op basis van
5. Quick Scan (incl. kennismontage);
6. **Watersysteemanalyse**
7. **Slibdiagnose (uitvoeren bodemdiagnose op locaties);**
8. Kennis delen(communicatie).

De Quick Scan, de kennismontage en de watersysteemanalyse leveren input voor het ontwikkelen van de bodemdiagnose-tool. Deze tool wordt vervolgens toegepast om een slibdiagnose uit te voeren op de verschillende locaties. Hierbij kan informatie uit de watersysteemanalyse als invoer dienen. Afbeelding 1 geeft de verschillende onderdelen weer.



Afbeelding 1 Overzicht en onderlinge relaties van de onderdelen van BaggerNut

Dit rapport is onderdeel van BaggerNut en beschrijft de watersysteemanalyse en slibdiagnose voor de Leijen.

## 1.2 WATERSYSTEEMANALYSE

De watersysteemanalyse (WSA) betreft een zeer beknopte beschrijving van het watersysteem waarin de stofstromen in het gehele watersysteem zo goed mogelijk worden gekwantificeerd op basis van bestaande gegevens. Ook wordt waar mogelijk een link gelegd met de ecologie. Dit levert kennis op over de relatie tussen systeem- en bodemeigenschappen en interne eutrofiering. Uit de WSA worden systeemparameters afgeleid welke als input dienen voor de bodemdiagnose-tool.

### *Doelstelling*

Het doel van de watersysteemanalyse 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.

De watersysteemanalyse betreft dus geen afgerond advies welke maatregelen een waterschap zou moeten nemen, omdat primair wordt ingezoomd op de waterbodem.

### *Watersysteemanalyses voor 10 waterschappen*

Voor het project zijn door 10 waterschappen locaties aangewezen waarvoor een watersysteemanalyse wordt uitgevoerd. Dit zijn locaties waarin de ecologische waterkwaliteit niet, of deels, voldoen aan de KRW doelstellingen. De verwachting is dat op de locaties een te hoge nutriëntenbelasting hieraan bijdraagt. De ingebrachte 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, Akerdijkse plassen	Delfland
<b>De Leijen, Alde Faenen, Slotermeer</b>	<b>Fryslan</b>
Kanalensysteem Westerwolde, kanalensysteem Veenkoloniën, Oldambtmeer, Zuidlaardermeer	Hunze en Aa's
Schutslooterwilde	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

Op deze locaties zijn meestal waterkwaliteitsgegevens beschikbaar van de locatie zelf en, in een aantal gevallen, ook van het aanvoerwater. Meestal zijn er ook gegevens beschikbaar van de ecologische toestand van de locatie. De oorzaak van hoge nutriëntenconcentraties is veelal niet goed bekend. Een mogelijke oorzaak zou interne eutrofiëring vanuit de bodem kunnen zijn. Met een watersysteemanalyse wordt inzichtelijk gemaakt welke bronnen significant bijdragen aan de gemeten nutriëntconcentraties.

### 1.3 SLIBDIAGNOSE

Binnen de slibdiagnose wordt de bodemdiagnose-tool toegepast voor een bepaalde locatie. Met behulp van de gegevens uit de WSA wordt de invoer voor de bodemdiagnose bepaald en wordt de ecologische toestand van het systeem bepaald. Vervolgens wordt aangegeven in hoeverre de waterbodem het niet halen van de KRW doelen veroorzaakt. Wanneer de waterbodem een significant effect heeft worden een of meerdere zinvolle waterbodem maatregelen aangegeven en worden de verwachte effecten hiervan doorgerekend.

### 1.4 LOCATIE DE LEIJEN

Wetterskip Fryslân is de beheerder van de Friese Boezem. Stoffenbalansen voor de Friese boezem laten zien dat nalevering uit de waterbodem een belangrijke restpost kan zijn, die mogelijk het halen van KRW-doelstellingen in de weg staat. Voor fosfaat is er een wisselend beeld: soms lijkt er sprake te zijn van accumulatie, soms van nalevering. Om het nut van aanvullende maatregelen ter verbetering van de waterkwaliteit te beoordelen wil het Wetterskip meer inzicht krijgen in de rol van de waterbodem. Daarom heeft Wetterskip Fryslân drie locaties ingebracht voor het project BaggerNut: Slotermeer, Alde Feanen en de Leijen. Van de Leijen, dat ver van de inlaat van IJsselmeerwater is gelegen, zijn eerder water- en stofbalansen gemaakt (in NOLIMP kader). In deze studie zijn opnieuw water- en stoffenbalansen opgesteld en is het screeningsmodel nutriënten van Deltares toegepast. Dit rapport presenteert de resultaten van de watersysteemanalyse voor de Leijen, inclusief de resultaten van het screeningsmodel en de slibdiagnose.

## 1.5 LEESWIJZER

De resultaten van deze watersysteemanalyse worden gebruikt voor het project BaggerNut. In hoofdstuk 2 wordt de huidige situatie van het watersysteem beschreven, zoals de ligging, functie en huidige (chemische en ecologische) toestand. De analyse wordt in hoofdstuk 3 uitgewerkt; allereerst worden methode en resultaten van de waterbalans (§3.2) beschreven. Daarna volgt de stoffenbalans (§3.3) met methode en resultaten. De water- en stoffenbalans zijn gebruikt voor het toepassen van het screeningsmodel. Uitkomsten hiervan staan in hoofdstuk 4. Hoofdstuk 5 geeft de slibdiagnose en in hoofdstuk 6 volgt de conclusie over de rol van de waterbodem binnen het watersysteem.



# 2 Beschrijving watersysteem

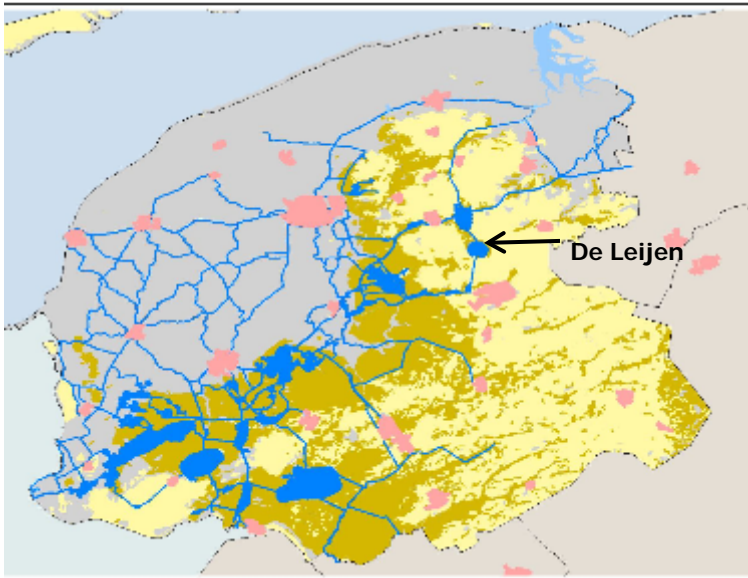
De Leijen ligt in het oosten van Friesland. Het maakt onderdeel uit van het watersysteem Friese Boezem. In dit hoofdstuk beschrijven we eerst het gehele watersysteem. Vervolgens kijken we meer specifiek naar De Leijen. In paragraaf 2.2 bespreken we daarna de huidige toestand in De Leijen en de KRW-doelstelling die voor De Leijen geldt.

## 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 (afbeelding 2). 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 uitgemaalend 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).



Afbeelding 2 Watersysteem de Friese Boezem en ligging van De Leijen.

### *Hoe komt er water in 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](http://www.wetterskipfryslan.nl)).

## 2.1.2 DE LEIJEN

De Leijen ligt ten noorden van Drachten. Het is een meer met een ronde vorm en twee watergangen die het in verbinding stellen met de rest van de Friese Boezem (afbeelding 3). Deze twee watergangen zitten aan de noord- en zuidkant van het meer. De Leijen is onderdeel van de Friese Boezem en maakt onderdeel uit van KRW-waterlichaam Friese Boezem-overige meren. Het land direct om het meer gelegen is voornamelijk natuurgebied en daar omheen bestaat het gebied uit landbouwgronden.

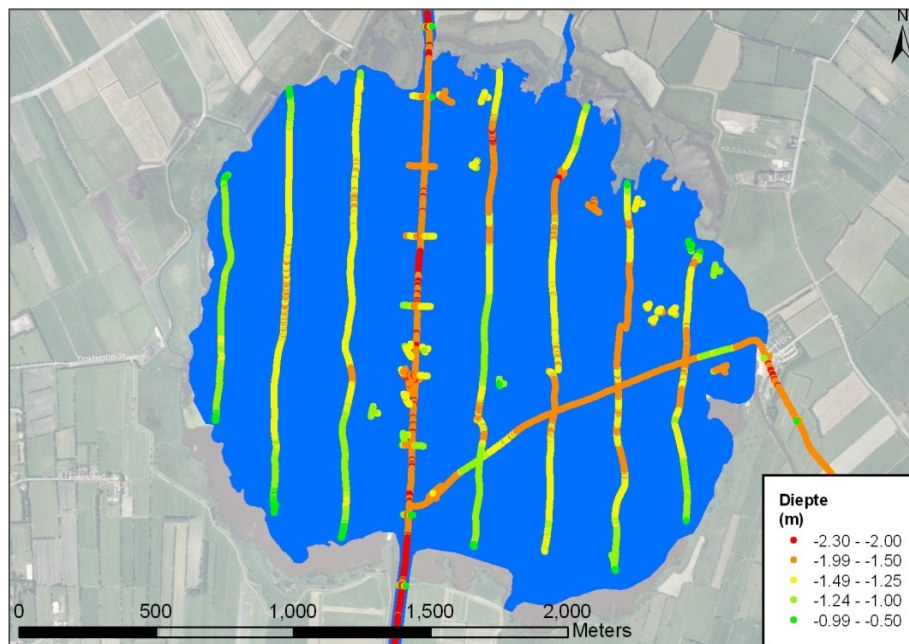


Afbeelding 3 De Leijen.

Het meer heeft een oppervlak van circa 300 ha. Het meer is ontstaan als gevolg van vervening. Tussen 1200 en 1700 is veen afgegraven tot boven het peil van het grondwater. Maar toen de behoefte aan turf groeide in de 18<sup>e</sup> eeuw is ook dieper gelegen veen afgegraven. Zo zijn petgaten ontstaan. Toen de aanpak grootschaliger werd, na 1750, is dit veranderd in één groot meer. Aan de noordkant van het meer is de Leijen verbonden met de boezem via de Lits. Aan de zuidzijde ligt het Opeinderkanaal waarmee de Leijen ook aan deze zijde aangesloten is op de boezem. De Leijen ligt op de overgang van het laagveengebied van midden Friesland en de hogere zandgronden in het oosten. De bodem van de Leijen bestaat uit zandige en moerige veengronden. Op circa 10 tot 40 m diepte is een nagenoeg ondoorlatende kleilaag aanwezig. De geohydrologische opbouw rond de Leijen ziet er als volgt uit (Mateman en Jansink, 2002):

- een deklaag boven het keileem (ca. 3 m dikke laag zand, moerig materiaal en/of veen);
- het eerste watervoerend pakket tussen keileem en potklei (ca. 5 tot 10 m dikke laag matig fijne zanden);
- het tweede watervoerend pakket beneden de potklei (ca. 100m dikke laag fluviaatiele afzettingen).

De waterdiepte van De Leijen is beperkt (afbeelding 4). De gemiddelde diepte is circa 1,5 meter. Hierdoor treedt er geen stratificatie op in het water. De Leijen is één groot wateroppervlak met een ronde vorm. De strijklengte bedraagt bijna 2000 meter. Recent zijn enkele eilanden aangelegd waardoor de strijklengte wordt beperkt.



Afbeelding 4 De Leijen, waterdiepte gebaseerd op metingen

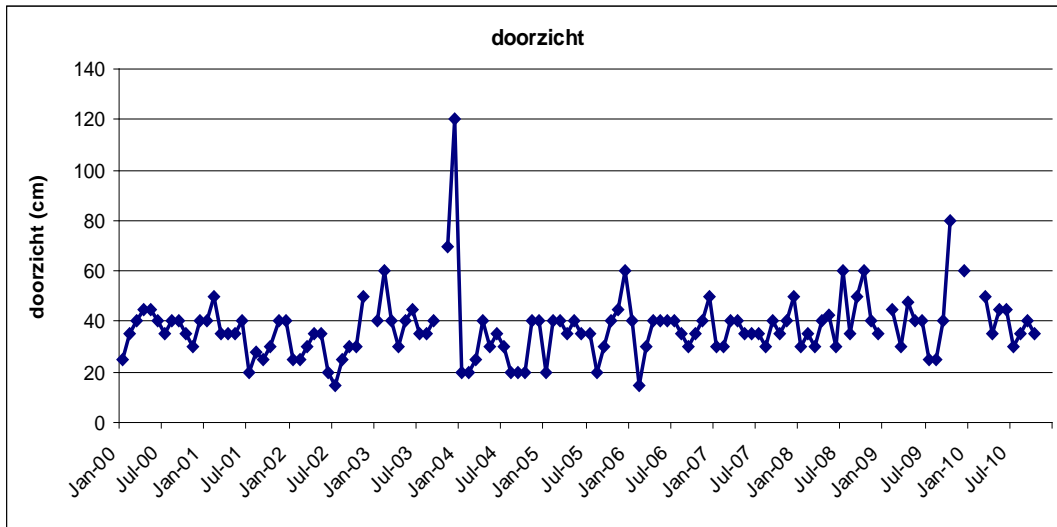
## 2.2 WATERKWALITEIT

Voor deze paragraaf is gebruik gemaakt van de monitoringdata van meetpunt 0045 (de Leijen, midden) tussen 2000 en 2010.

### 2.2.1 DOORZICHTGERELATEERDE PARAMETERS

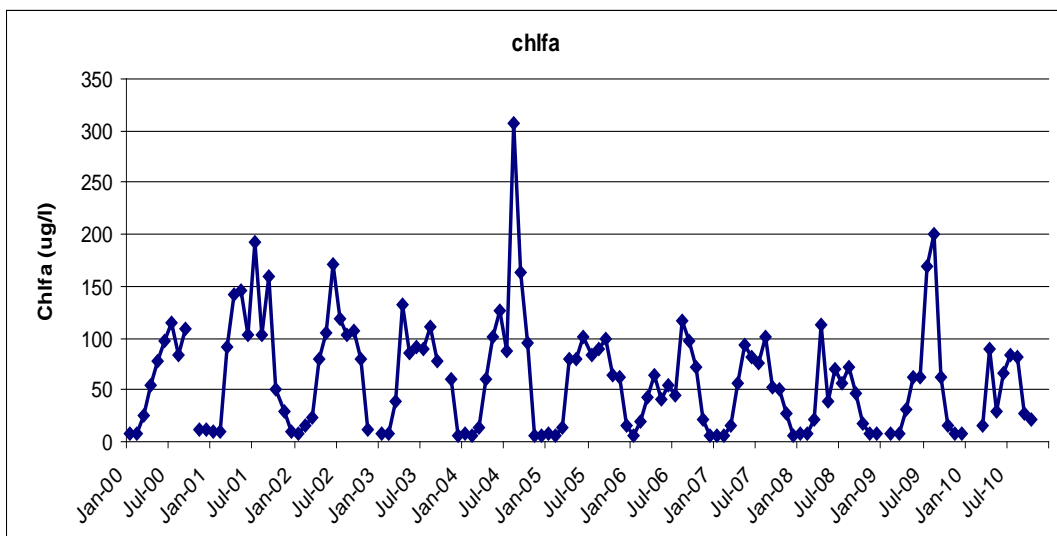
Voor de Bodemdiagnose is het belangrijk om zicht te krijgen op de oorzaak van een beperkt doorzicht. Het doorzicht in de Leijen is weergegeven in figuur 6.

Het gemeten doorzicht laat over de jaren heen een lichte toename zien: van waarden tussen gemiddeld de 20 en 40 cm doorzicht in de jaren aan het begin van dit millennium tot waarden tussen de 30 en 40 cm in de meer recente jaren (Figuur 1). Gezien de spreiding zal dit echter geen significante trend zijn.



Figuur 1 Gemeten doorzicht (cm) in De Leijen over de periode 2000 tot en met 2010.

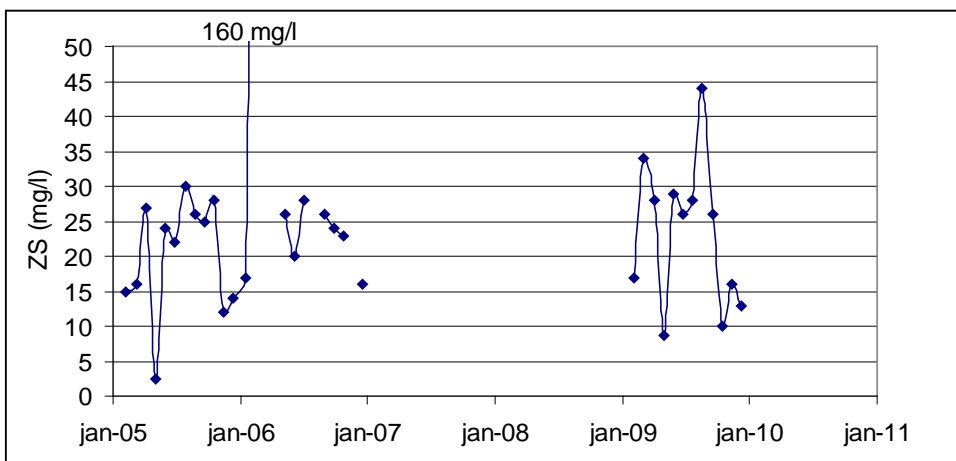
Ook in de chlorofyl-a concentraties lijkt er een afnemende trend zichtbaar (Figuur 2). In de eerste jaren van de meetreeks zitten zomermaxima tussen de 125 en 200 µg/l. In latere jaren zakt deze piek, met uitzondering van 2009, tot zomerwaarden rond 100 µg/l.



Figuur 2 Gemeten doorzicht (cm) in De Leijen over de periode 2000 tot en met 2010.

Zwevende stof is in De Leijen beperkt gemeten en daardoor is er geen trend waar te nemen. Wel lijken de zomerwaarden iets hoger te zijn dan de winterwaarden.

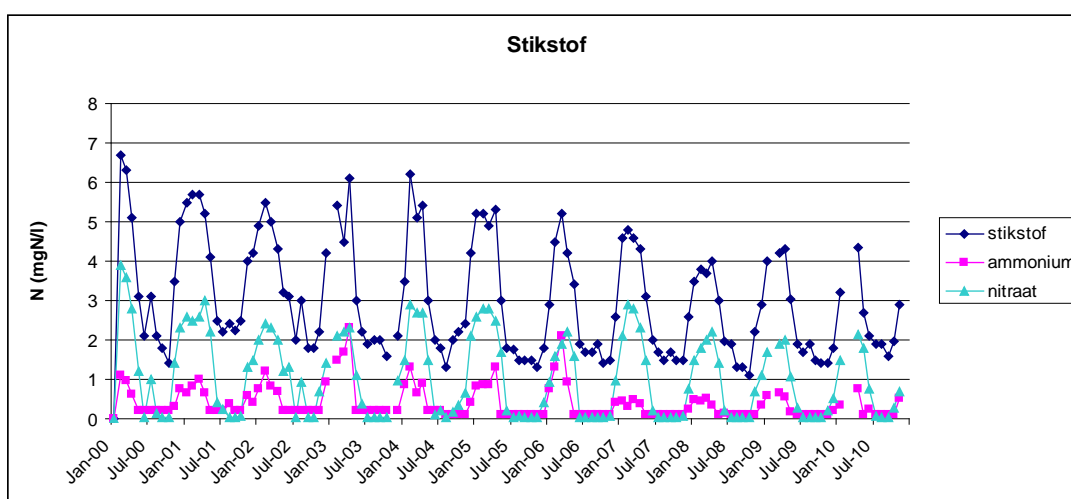
De piek in 2009 wordt waarschijnlijk veroorzaakt door de hoge chlorofylconcentraties, maar ook opwerveling speelt een rol in dit meer zoals de extreme waarde van 160 mg/l in februari 2006.



Figuur 3 Zwevend stof concentraties (mg/l) in De Leijen over de periode 2005 tot en met 2010. Bij de hoge waarde van 160 mg/l is gerapporteerd dat deze is gemeten bij harde wind (windkracht 5 a 6) en zichtbaar troebel water.

### 2.2.2 CHEMISCHE PARAMETERS

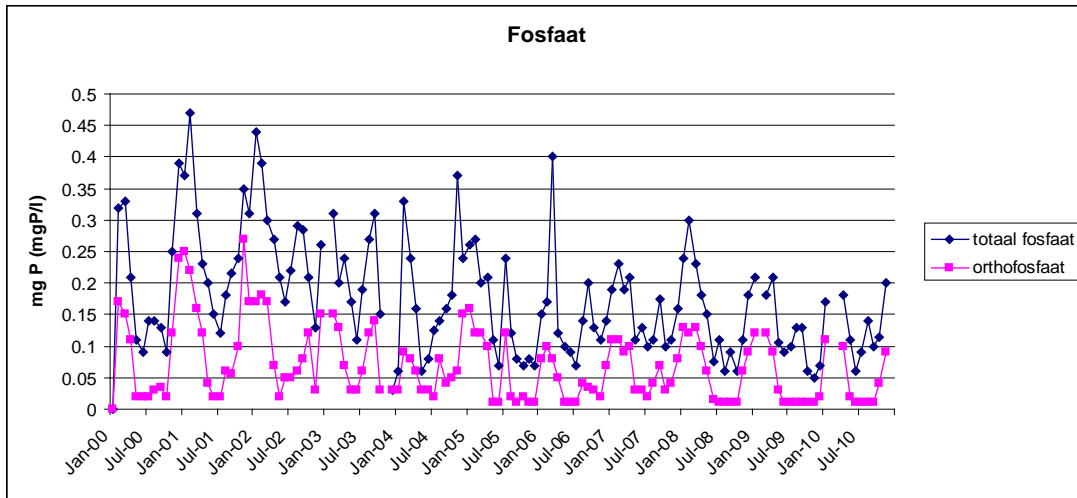
De waterkwaliteitsdata van De Leijen laten over een periode van elf jaar een afname in nutriëntconcentraties zien (Figuur 4 en Figuur 5). Oorzaken hiervan zullen onder andere te vinden zijn in de maatregelen die in deze periode in en rondom De Leijen genomen zijn (zie Tabel 6). Figuur 3 laat een afname in totaal stikstof zien van wintermaxima rond 6 mg N/l aan het begin van het millennium naar wintermaxima net boven 4 mg N/l in meer recente metingen. In de zomer is het verschil in afname kleiner: zomerminima liggen rond 2 mg N/l in het begin van deze eeuw en zijn gedaald tot ongeveer 1,5 mg N/l in meer recente jaren. Ook ammonium- en nitraatconcentraties nemen in de winterperiode, naarmate de tijd vordert, af. Voor de zomerconcentraties is dit minder evident, omdat gedurende de getoonde datareeks de concentraties op of onder detectieniveau zijn.



Figuur 4 Totaal stikstof-, ammonium- en nitraatconcentraties (mg N/l) in De Leijen over de periode 2000 tot en met 2010.

De wintermaxima van totaal fosfaatconcentraties nemen af van zo'n 0,45 mg P/l aan het begin van de tijdreeks tot ongeveer 0,2 mg P/l in de jaren 2008 tot en met 2010 (figuur 4). Ook ortho-fosfaatconcentraties laten een afname in wintermaxima zien: 0,25 mg P/l in 2001 en 2002 en zo'n 0,12 mg P/l in meer recente

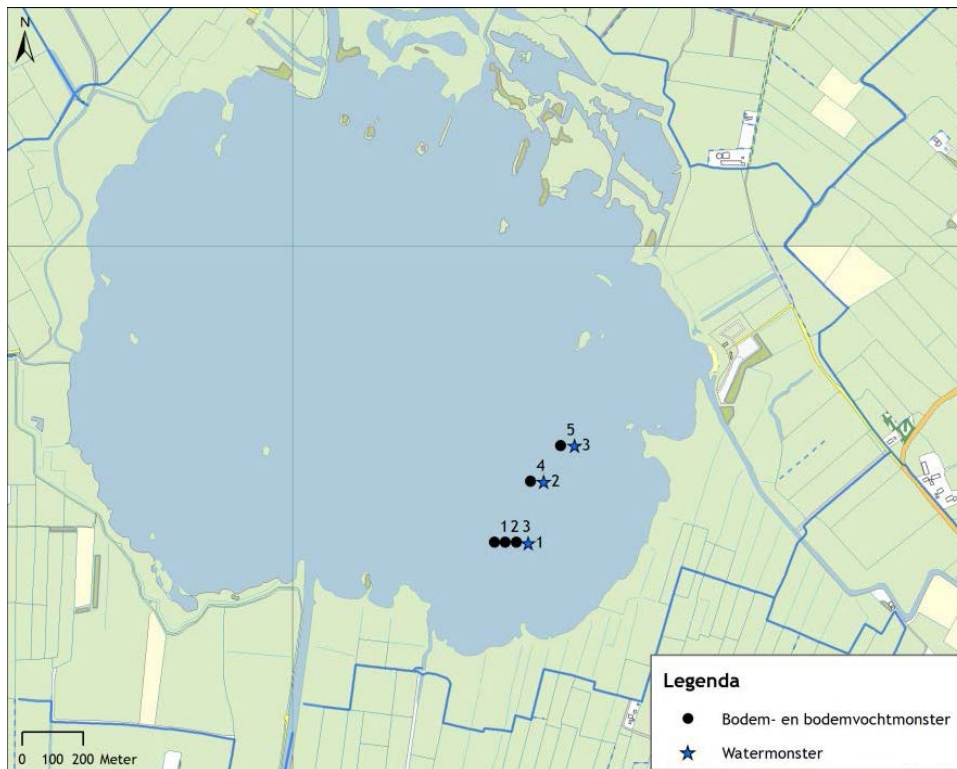
jaren. In de zomer valt op dat er tot en met 2007 nog ortho-fosfaat meetbaar is, maar dat in de daarop volgende jaren ortho-fosfaatconcentraties gedurende de hele zomer op of onder de detectielimiet zitten.



Figuur 5 Totaal fosfaat- en ortho-fosfaatconcentraties (mg P/l) in De Leijen over de periode 2000 tot en met 2010.

### 2.3 WATERBODEMKWALITEIT

De enige waterbodeminformatie die bekend is van de Leijen, is het werk in het kader van BaggerNut. Tabel 2 toont de basisinformatie van alle meetpunten. Alle meetpunten liggen in de zuid-oosthoek van het meer (afbeelding 5; Poelen et al., 2012).



Afbeelding 5 Monsterpunten in De Leijen (afkomstig uit Poelen en et al., 2012)

Tabel 2 Bodemtype en coördinaten van de meetpunten in de Leijen.

parameter--> Eenheid-->	bodemtype	Ligging X	ligging y
De Leijen 1	Zand	200698	574029
De Leijen 2	Zand	200698	574029
De Leijen 3	Zand	200698	574029
De Leijen 4	Zand	200781	574229
De Leijen 5	Zand	200879	574345

Tabel 3 geeft de C-, P-, Fe- en S-gehalten weer. Allereerst valt op dat de punten 1,2,3, gebruikt voor de naleveringsexperimenten, een lager organischestofgehalte hebben. Locaties 4 en 5 hebben een organischestofgehalte van ca. 5%, maar vooral de zwavelgehalten zijn in deze twee punten veel hoger. Dat leidt tot een ongunstige (Fe-S)/P-ratio (zie tabel 4), ofwel: het aanwezige ijzer zou grotendeels door zwavel gebonden kunnen zijn, waardoor geen P kan binden aan het aanwezige ijzer. Alle overige indicatoren wijzen erop dat de nalevering uit de bodem gering zal zijn: een zeer laag P-gehalte en een redelijk hoge Fe/P-ratio. Een eerste indicatie is dat de bodem een lage nalevering geeft. De enige onzekerheid wordt gevormd door de lage (Fe-S)/P-ratio op locaties 4 en 5. De variatie tussen de punten 1,2,3 en 4,5 roept wel de vraag op hoe representatief de meetpunten zijn voor het hele meer. De Quick scan zal nader invulling geven aan deze gehalten.

Tabel 3 Organische stof, ijzer, fosfor en zwavelgehalten en diverse ratio's.

meetpunt	Org.C %	Anorg.C %	P-totaal g/kg	Fe-totaal g/kg	S-totaal g/kg	Fe/P mol/mol	Fe-S/P mol/mol
De Leijen 1	1,26	1,61	0,09	1,91	0,89	11,2	2,0
De Leijen 2	1,63	1,69	0,09	2,04	0,88	12,0	3,0
De Leijen 3	1,49	1,60	0,10	2,09	1,00	11,2	1,9
De Leijen 4	3,02	1,57	0,20	5,39	4,95	15,3	-9,2
De Leijen 5	3,48	1,49	0,28	7,33	6,02	14,5	-6,3

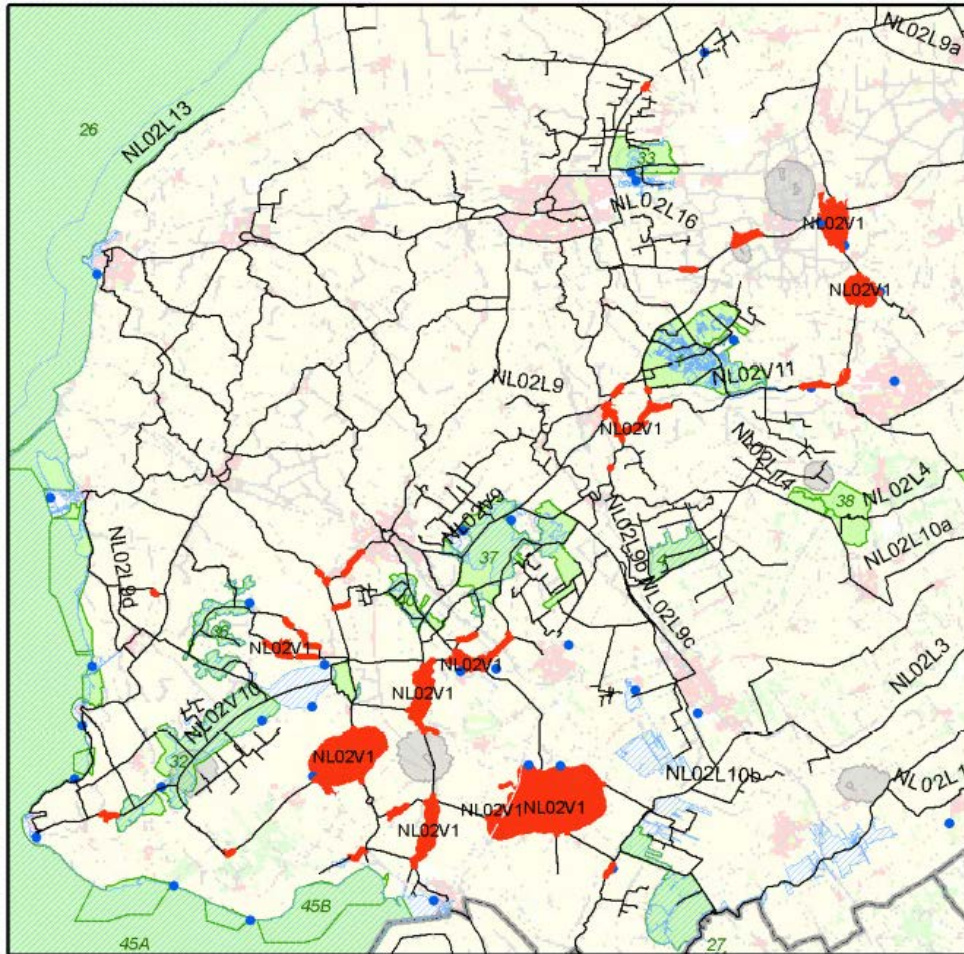
Tabel 4 Indicatoren voor nalevering op basis van totaalgehalten in de waterbodem.

Indicator	Criterium (bron)	Resultaat De Leijen
(Fe-P)/S-ratio	>1: matig (Jaarsma et al., 2008) >10: goed (Jaarsma et al., 2008)	Slecht (locaties 4,5) tot matig (locaties 1,2,3)
Fe/P-ratio (mol/mol)	> 10: goed (Geurts, 2010; Boers en Uunk, 1990)	Goed
P-totaal (g/kg)	<1,36: goed (Boers en Uunk, 1990)	Goed

## 2.4 TOESTAND (KRW) EN KRW DOELSTELLING

De Leijen maakt onderdeel uit van KRW-waterlichaam "Friese Boezem – overige meren". Dit waterlichaam is van type M14 – ondiepe gebufferde plassen. In Afbeelding 6 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.





Abbeelding 6 Overzichtskaart KRW-waterlichaam Friese Boezem – overige meren

### Legenda

 Geselecteerd waterlichaam	 Zwemwater
 Geselecteerd waterlichaam	 Provinciegrens
 Overige waterlichamen	 Natura2000 gebied
 Overige waterlichamen	 Grondwaterbeschermingsgebied

De beoordeling van de huidige toestand en de doelstelling vanuit de KRW zijn vastgelegd op het niveau van waterlichaam. Voor de Leijen zijn daarom geen specifieke getallen beschikbaar. In tabel x zijn de gegevens over de biologische en chemische toestand van het KRW-waterlichaam “Friese Boezem – overige meren” weergegeven.

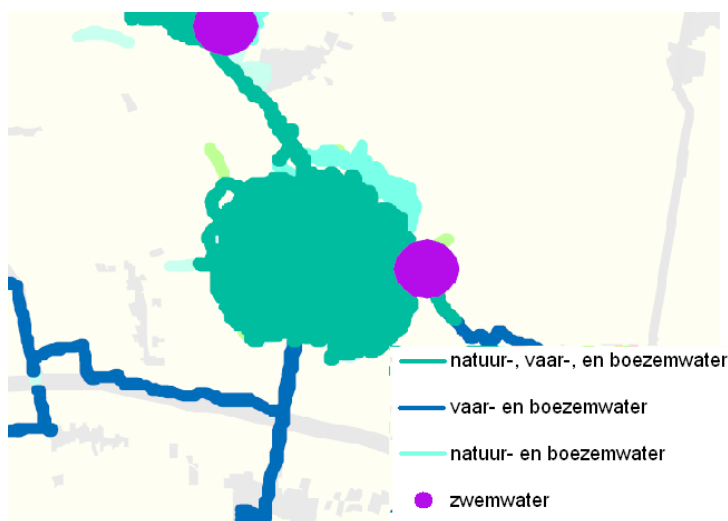
Maatlat	Huidigesituatie (2007-2010)	Verwachting 2015	GEP
Macrofauna (EKR)	0,32	0,40	0,5
Overigewaterflora (EKR)	0,15	0,35	0,4
Fytoplankton (EKR)	0,2	0,30	0,5
Vis (EKR)	0,15	0,25	0,3
Totaal fosfaat (zomergemiddelde) (mgP/l)	0,28		0,09
Totaal stikstof (zomergemiddelde) (mgN/l)	2,26		1,3
Chloride (zomergemiddelde) (mgCl/l)	56		200
Temperatuur (maximum) (°C)	14,8		<25
Doorzicht (zomergemiddelde) (m)	0,36		0,65
Zuurgraad (zomergemiddelde) (-)	8,2		5,5-8,5
Zuurstofverzadiging (zomergemiddelde) (%)	96		60-120

Tabel 5 Biologische en algemeen fysisch chemische toestand Friese Boezem – overige meren.



## 2.5 FUNCTIES DE LEIJEN

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



Afbeelding 7 Functiekaart de Leijen uit waterbeheerplan 2010-2015

## 2.6 MAATREGELEN EN WERKZAAMHEDEN

In het kader van het NOLIMP project “Herstel- en Inrichtingsmaatregelen in en om de Leijen” is in 2003 gestart met maatregelen in dit Friese boezemmeer. In Tabel 6 (op de volgende pagina) staat een overzicht van de maatregelen die de afgelopen jaren zijn uitgevoerd. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen maatregelen in de Leijen en maatregelen in het gebied om de Leijen.

Tabel 6 Overzicht van de maatregelen in en om de Leijen.

maatregelen om de Leijen	jaartal	maatregelen in de Leijen
riooloverstort Burmania sloot van 96% uitstoot naar 40%  aanleg zuiveringsmoeras in polder De Putten (winter)  30 maart 2005 opening fiets- en wandelroute start aanleg nieuwe jachthaven in Oostermeer ( Friese merenproject List Lauwersmeerroute) 1 juli riooloverstort de Tike gesaneerd (najaar) (1%) afronding afkoppeling regenwater van riool in Tyke (reductie emissie van RWZI naar oppvl. water 95%)  afronding afkoppeling regenwater van riool in Rottevalle (reductie emissie van RWZI naar oppvl. water 65%) riooloverstort Rotteval gesaneerd (najaar) (4%) RWZI Drachten BCFS-proces* met voorbezinking (nov)  plaatsing IBA's bij twee boerderijen	1997-2002	uitgangssituatie vastgelegd (diepte, waterbodem, SOBEK, stage onderzoeken
	2000-2010	
	2003	palenrij aan zuidoever (400 m) + aanleg enclosures (winter)
	2003/2004	
	2004	uitzetten potamogeton (los) en substraat voor driehoeksmossels (september)
	2004	uitzetten driehoeksmossels (november)
	2004/2005	1ste uitdunning visstand (winter) 35.000 kg Brasem weggevangen
	2005	
	2005	
	2005	uitzetten rekjes met potamogeton (juli)
	2005	op 13-11-2005 worden 300 spiegelkarpers in de Leijen uitgezet (door projectgroep herintoductie spiegelkarpers)
	2005/2006	2de uitdunning visstand (winter)
	2006	
	2006	
	2006/2007	vaargeulen uitgebaggerd*
	2006/2007	aanleg 11 eilandjes bij ingang Opeinder kanaal (3 met steiger)
2008	boerderij (Oostermeer) lozing op droge sloot. Geen emissie op oppervlaktewater, voldoet aan normen.	
2008	boerderij (Drachtstercompagnie) was een grote bende, ver boven de normen, Agrowadi was verstopt met mest!	
2008	Voorlichtingsavond gehouden met naderhand bedrijfsbezoeken bij een groep van 13 veehouders.	
2008	voorjaar enten driehoeksmosselen bij eilandjes (mei)	
*BCFS-proces = Biologische Chemische Fosfaat- en Stikstofverwijdering		*14-10-2005 er wordt druk gebaggerd op de Leijen: de vaargeulen, waarvan nieuwe eilandjes worden gemaakt. (krantenbericht, dus zal wel bij aanvang van dit werk zijn geweest).



# 3 Analyse

Op de balansen worden zoveel mogelijk brutoposten vermeld. De basisgegevens hadden vaak een veel hoger detailniveau (bijv. wateraan- en afvoer op dagbasis), maar worden normaal gesproken geaggregeerd tot kwartaalbasis. Aangezien de Leijen is doorgererekend met het nutriëntenscreeningsmodel zijn de water- en stoffenbalans op maandbasis opgesteld, omdat de fluctuatie door het jaar heen dan beter te bepalen is.

## 3.1 WATERBALANS (ZIE BIJLAGE 4)

### 3.1.1 GEGEVENS

Voor het jaar 2009 is er door ARCADIS een waterbalans voor De Leijen opgesteld met gebruikmaking van een Sobek 1D toepassing. Volgens het Wetterskip Fryslân geeft dit een goede benadering van het systeem. Daarbij moet wel worden opgemerkt dat er mogelijk 'heen- en weerstroming' optreedt, die niet in de SOBEK-toepassing wordt meegenomen. De externe water aan- en afvoer is daarom in werkelijkheid waarschijnlijk iets groter. Verder is er volgens de waterbalans geen kwel of wegzijging in het systeem. Echter, in literatuur is terug te vinden dat De Leijen een infiltratiegebied is naar het onderliggende watervoerend pakket (Mateman en Jansink, 2004) en dat er in De Leijen geen kwel meer optreedt (Janssen en Meijer, 1993).

### 3.1.2 AAN- EN AFVOER POSTEN

De Leijen maakt onderdeel uit van de Friese boezem en de aan- en afvoer van water vindt plaats via het Opeinderkanaal aan de zuidkant en de Lits aan de noordkant, respectievelijk. Verder wordt er water in- en uitgelaten van en naar de omliggende polders. Tenslotte is er ook aanvoer via neerslag en afvoer via verdamping.

### 3.1.3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

In Tabel 7 is de waterbalans weergegeven op jaarbasis (in mm en Mm<sup>3</sup>). De Leijen heeft een gemiddelde verblijftijd van 18 dagen met enige seizoensfluctuatie; in de winter is verblijftijd gemiddeld 12 dagen, terwijl de verblijftijd in de zomer 34 dagen is. Tevens is in tabel 7 het aandeel van de posten weergegeven. De inlaat van water is de grootste aanvoerpost terwijl het meeste water wordt afgevoerd via de uitlaat. Het is niet ondenkbaar dat met name in de zomer er ook afvoer plaatsvindt via infiltratie, maar voor de verdere berekeningen maakt het niet zoveel uit waar het water precies naar toe gaat. Vooral de hoeveelheden zijn van belang, want die bepalen de verblijftijd.

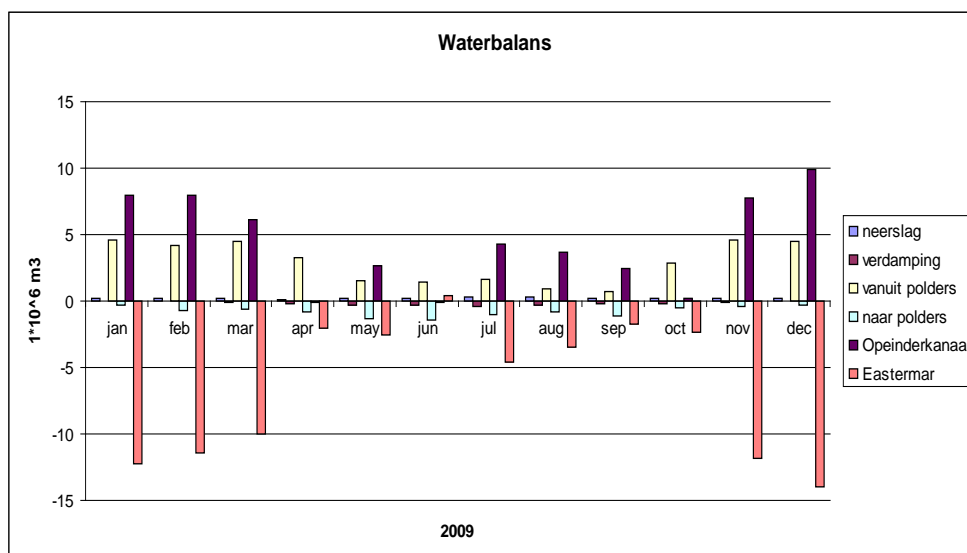
Tabel 7 Waterbalans De Leijen per jaar.

In / uit	Posten	mm/jaar	Mm <sup>3</sup> / jaar	Aandeel (%)	Betrouwbaarheid
In	Neerslag	862	2,55	3	B
In	Instroom	17.837	52,8	59	C
In	Inlaat (gemaal)	11.712	34,7	38	C
Uit	Verdamping	727	2,15	2	B
Uit	Uitstroom*	26.494	78,4	87	C
Uit	Uitlaat (gemaal)	3.191	9,4	11	C
In / Uit	Berging	0	0	0	
	Netto	0	0	0	

\*De uitstroom is de stelpost om de waterbalans kloppend te maken.

De betrouwbaarheid van de getallen in tabel 7 is ingeschat op basis van de methodiek van CORINAIR (zie bijlage 4), een methode die in de emissieregistratie wordt gebruikt. Voor neerslag en verdamping zijn de waarden gebaseerd op meerjarige gemiddelde waarden voor Nederland (dat leidt tot kwalificatie B (waarbij A de hoogste betrouwbaarheid en E de laagste betrouwbaarheid heeft). Er is geen gebruik gemaakt van lokale metingen. De overige stromen zijn gebaseerd op modelstudie hetgeen leidt tot kwalificatie C.

In Figuur 6 wordt de waterbalans op maandbasis weergegeven. Er is met name watertoevoer vanuit het Opeinderkanaal en de omliggende polders naar De Leijen en waterafvoer naar het noorden, via de Lits (Eastermar). In juni is echter de waterstroming omgekeerd: van noord naar zuid. De omkering van stroming is niet terug te zien in de waterkwaliteitsdata van 2009 (zie paragraaf 3.2).



Figuur 6 Waterbalans voor het jaar 2009 voor De Leijen.

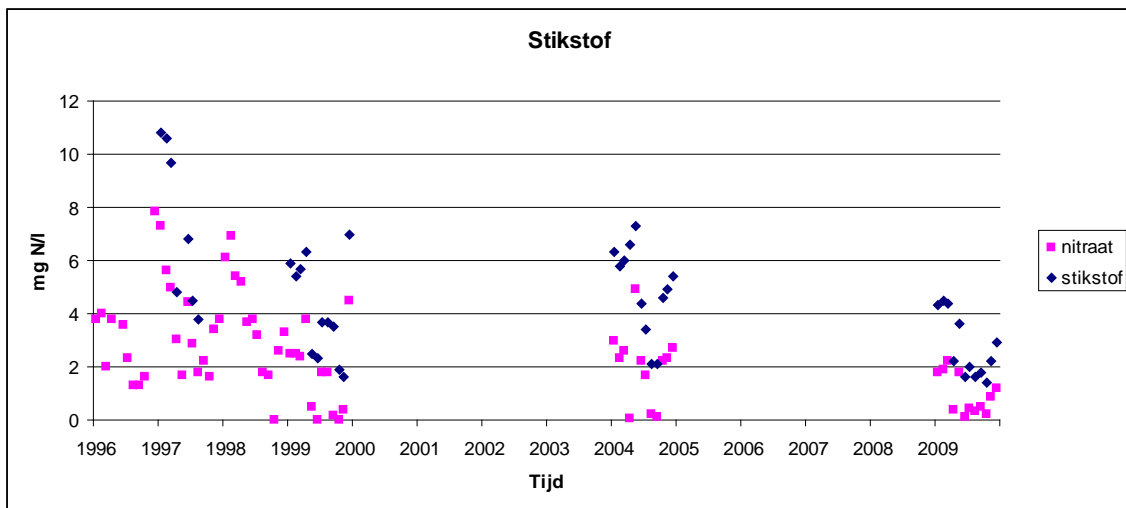
## 3.2 STOFFENBALANS (ZIE OOK BIJLAGE 4)

### 3.2.1 AAN- EN AFVOER POSTEN

Ook de aanvoer van stoffen wordt vooral bepaald door het Opeinderkanaal en inlaatwater uit de polders. De nutriënten worden afgevoerd via de Lits en bij droogte ook naar de polders. Er is een beperkte terugstroom in de zomer van de Lits naar de Leijen, waardoor de Lits ook zorgt voor enige aanvoer van nutriënten.

### 3.2.2 GEGEVENS

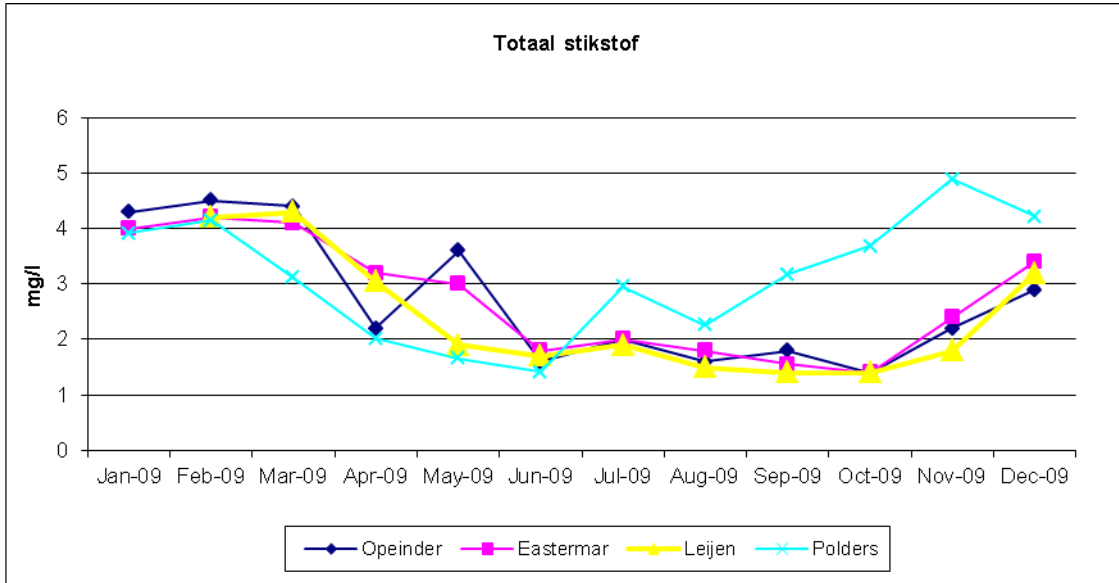
Voor het opstellen van de stoffenbalans wordt gebruik gemaakt van waterkwaliteitsdata van het Opeinderkanaal en de Lits van 2009 en voor de polders wordt waterkwaliteitsdata van 2011 en 2012 gebruikt. Voor het Opeinderkanaal zijn wel meer gegevens beschikbaar: er zijn meetgegevens voor de periode 1996 tot met 1999 en de jaren 2004 en 2009. De data laat zien dat er tussen deze jaren verschillen zitten in waterkwaliteit, zie bijvoorbeeld Figuur 7. Belangrijker is dat voor nitraat een trend zichtbaar lijkt te zijn. Om deze reden worden voor externe belastingen vanuit het Opeinderkanaal enkel meetwaarden uit 2009 gebruikt. Dit jaar is het meest representatief voor huidige condities. De afvoer van nutriënten vanuit de Leijen wordt gebaseerd op metingen uit 2009.



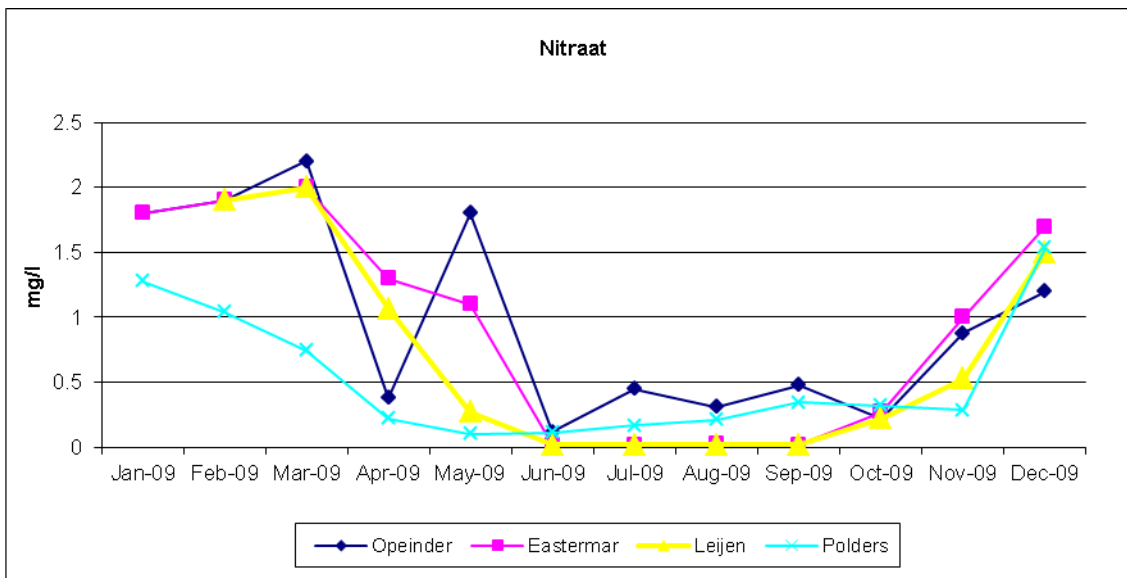
Figuur 7 Beschikbare stikstof- en nitraatdata (mg N/l) van het Opeinderkanaal.

### 3.2.3 RESULTATEN EN DISCUSSIE

De gemeten waterkwaliteitsparameters laten zien dat het Opeinderkanaal, De Leijen en het meetpunt in de Lits nabij Eastermar, redelijkerwijs hetzelfde beeld tonen (zie Figuur 8 tot en met Figuur 12). Verschillen zijn er tussen deze meetpunten voor ortho-P in zomer (Leijen lager dan de kanalen), chlorofyl-a (in het Opeinderkanaal nihil, de Leijen en Eastermar tonen een zomerpiek van 150-200 ug/l). De waterkwaliteit in de polders laat andere trends zien: de concentraties van totaal stikstof, totaal fosfaat en orthofosfaat zijn in de tweede helft van het jaar hoger dan van de andere drie meetpunten.

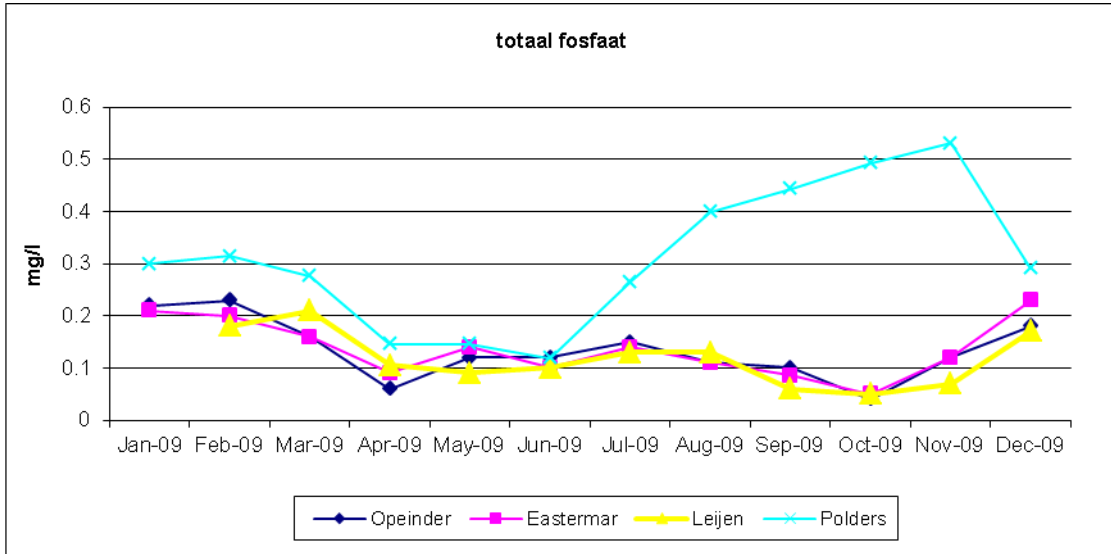


Figuur 8 Totaal stikstofconcentraties (mg N/l) in het Opeinderkanaal, in de Lits nabij Eastermar en in De Leijen voor het jaar 2009 en in de polders voor 2011 en 2012.

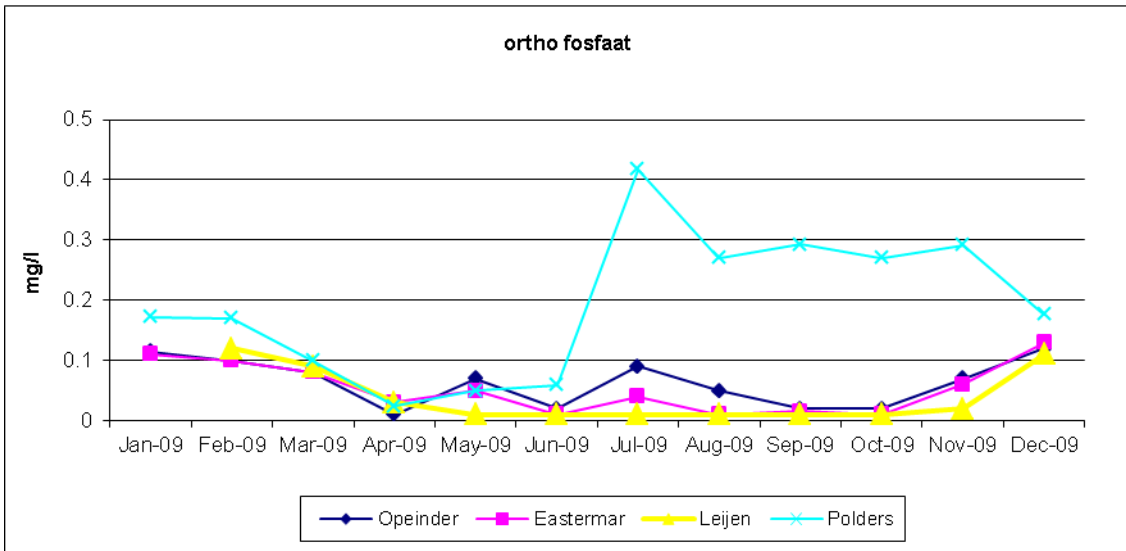


Figuur 9 Nitraatconcentraties (mg N/l) in het Opeinderkanaal, in de Lits nabij Eastermar en in De Leijen voor het jaar 2009 en in de polders voor 2011 en 2012.

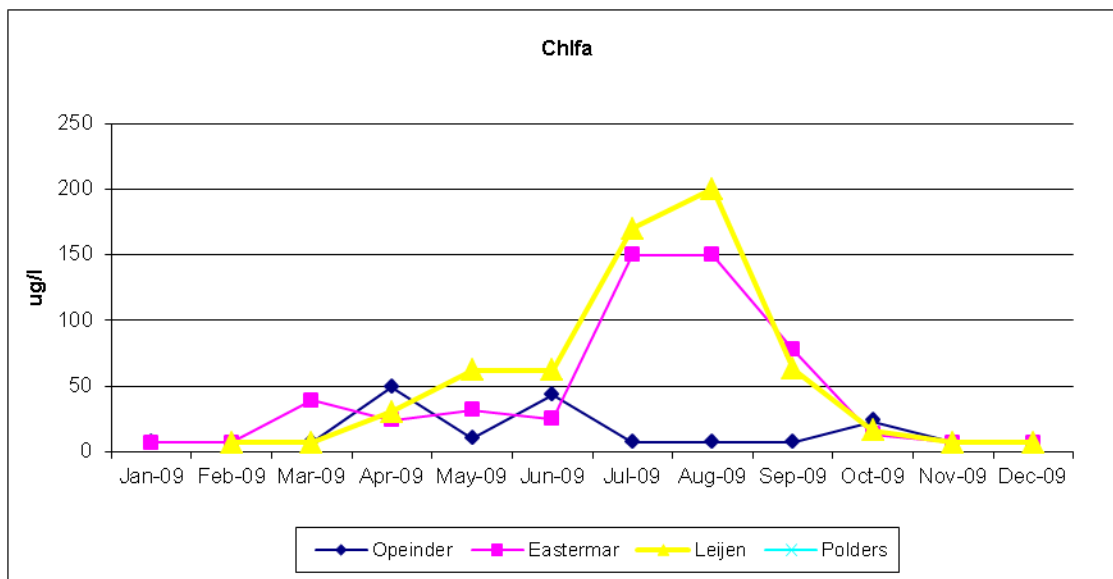




Figuur 10 Totaal fosfaatconcentraties (mg P/l) in het Opeinderkanaal, in de Lits nabij Eastermar en in De Leijen voor het jaar 2009 en in de polders voor 2011 en 2012.



Figuur 11 Ortho-fosfaatconcentraties (mg P/l) in het Opeinderkanaal, in de Lits nabij Eastermar en in De Leijen voor het jaar 2009 en in de polders voor 2011 en 2012.



Figuur 12 Chlorofyl-a concentraties ( $\mu\text{g/l}$ ) in het Opeinderkanaal, nabij Eastermar en in De Leijen voor het jaar 2009. Data voor de polders ontbreken voor het jaar 2009

Tabel 8 toont de stoffenbalans voor N en P op jaarbasis.

Tabel 8 De stikstof en fosfaatbalans voor De Leijen op jaarbasis.

In / uit	Posten	Vrachten ( $10^3$ kg/jaar)		Belasting (g/m <sup>2</sup> )		Aandeel bron van totaal (%)	
		Ntot	Ptot	Ntot	Ptot	Ntot	Ptot
In	Depositie	9,6	0,14	3,2	0,05	3	1
In	Instream	172,1	8,9	57,4	3,0	57	44
In	Inlaat uit polders	121,1	11,1	40,5	3,7	40	55
Uit*	Netto accumulatie in de waterbodem	37,3	4,1	12,1	1,4	12	21
Uit	Uitlaat	245,3	13,9	81,8	4,7	81	69
Uit	Uitlaat (gemaal)	21,4	2,1	7,1	0,7	7	10
	Netto	0	0	0	0	0	0

\* sluitpost

De instroom vanuit het Opeinderkanaal is de belangrijkste bron. Als alle bronnen en afvoeren bij elkaar opgeteld worden, worden er minder nutriënten afgevoerd dan aangevoerd. In de stoffenbalans wordt dit kloppend gemaakt door nalevering uit of opslag in de waterbodem te veronderstellen. Zowel voor stikstof als voor fosfor is het sediment van de Leijen een opslagcompartiment.

Volgens de waterbalans (Tabel 7) is de invloed van de polders op de waterkwaliteit van De Leijen aanzienlijk: over het jaar heen is zo'n 40% van de watertoevoer in de Leijen afkomstig uit de polders. Op grond hiervan kan verondersteld worden dat in de waterkwaliteitsdata van De Leijen in vergelijking met de waterkwaliteitsdata van het Opeinderkanaal en de polders invloed van beide waterbronnen terug te vinden is. Dit is niet zichtbaar in de waterkwaliteitsgrafieken (Figuur 8 tot en met Figuur 12). Een verklaring kan zijn dat de waterkwaliteitsdata van de polders van een ander jaar zijn dan de overige waterkwaliteitsdata.

### 3.2.4 INTERNE EN EXTERNE BELASTING (G/M2/DAG)

In 3.2.3 zijn de totale belastingen weergegeven. In deze paragraaf worden de totale externe en interne belasting gepresenteerd in g/m<sup>2</sup>/jaar, evenals de kritische belasting die het systeem kan verdragen.

De totale externe belasting is: 6,7 g P/m<sup>2</sup>/jaar of 18,4 mg P/m<sup>2</sup>/dag

De **netto** interne belasting is: -1,4 g P/m<sup>2</sup>/jaar of -3,8 mg P/m<sup>2</sup>/dag (geschat als restpost; het negatieve getal betekent dat er netto accumulatie plaatsvindt in de bodem).

Om een beeld te krijgen hoe groot de externe belasting is, kan deze vergeleken worden met de kritische belasting. De kritische belasting is bepaald door de eigenschappen van het watersysteem. PC Lake metamodel (Witteveen+Bos, 2010) is een vereenvoudigde versie van de PC Lake, waarin de belangrijkste parameters moeten worden ingevoerd. Dat levert naast de onzekerheid van PC Lake zelf een extra onzekerheid op van ca. 20%. Bovendien voldoet dit meer niet volledig aan de randvoorwaarden van het metamodel. Het model is namelijk gericht P-gelimiteerde meren die doorgaans een hoge (totaal) N/P-ratio hebben (34). Voor de Leijen geldt een N/P-ratio van 12. Verder ligt ook de verblijftijd van de Leijen buiten de geschikte range (idealiter is de minimale verblijftijd 21 dagen). Tabel 9 toont de invoer (rood) en de daaruit berekende verblijftijd (oranje, omdat de verblijftijd te kort is voor het PC lake metamodel).

Tabel 9 Invoer De Leijen voor het PC Lake metamodel.

	INVOER	range	opm.
diepte (m)	1,5	0.5-4m	
aandeel moeras (m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	0	0-2	
strijklengte (m)	1800	~300-4000m	
debiet in (mm/d)	83	4-200 mm/d	
achtergrondextinctie (-)	0,5	0.25-2	standaard = 0.5
sedimenttype	6	klei =1, veen = 5, zand = 6	
<i>vaste uitgangspunten</i>			
	N/P-ratio = 34 De Leijen: 12		
	peilfluctuatie = 0		

**check verblijftijd**  
18,0722892 dagen

Op basis van bovenstaande invoer is de kritische belasting die er voor zorgt dat een heldere plas troebel wordt 7,7 mg P/m<sup>2</sup>/dag. Voor de omgekeerde route (van troebel naar helder) mag de belasting niet hoger zijn dan 2,7 mg P/m<sup>2</sup>/dag. De werkelijke externe belasting van de Leijen (18,4 mg P/m<sup>2</sup>/dag) ligt ruim boven de kritische belasting, maar de korte verblijftijd van het water in De Leijen maakt de onzekerheid van deze uitspraak groot.



# 4 Het screeningsmodel nutriënten

## 4.1 INTRODUCTIE

Hoofdstuk 3 kent een gelijke opbouw voor alle watersysteemanalyses binnen BaggerNut. Aangezien de Leijen is doorgerekend met het screeningsmodel, is dit hoofdstuk toegevoegd. Het screeningsmodel maakt gebruik van de waterbalans en externe belastingen uit hoofdstuk 3, maar gaat vervolgens de interne processen berekenen, waardoor de interne belasting geen sluitpost is, maar een berekende waarde op basis van alle processen die in het screeningsmodel zitten.

## 4.2 ESSENTIE VAN HET NUTRIENTENSCREENINGSMODEL

Het screeningsmodel 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. Het model is toepasbaar op volledig gemengde systemen waarin stratificatie nauwelijks of geen rol speelt, en waarin het zomergemiddelde chlorofylgehalte boven 50µg/L ligt. Bij een lager zomergerhalte gaan processen die niet expliciet in het model zitten een dominante rol spelen (zie onder), en is de voorspelling van de algensoortensamenstelling minder betrouwbaar.

Voorts zal de verblijftijd van het water in het te modelleren waterlichaam bij voorkeur 90% van de tijd groter zijn dan een maand, niet omdat het model kortere verblijftijden niet adequaat kan berekenen, maar omdat bij kortere verblijftijden bodem-wateruitwisseling een minder belangrijke rol gaan spelen dan het horizontale transport van stoffen, zodat de invloed van de bodem op de waterkwaliteit gering is. Daarom ligt het niet voor hand om het screeningsmodel te gebruiken voor stromende wateren zoals rivieren, beken en de meeste kanalen.

Het screeningsmodel is een complex kolommodel, waarbij ook bio-geochemie en algendynamiek worden meegenomen, maar het is met behulp van voor Nederlandse condities gemiddelde forcering zo ingericht dat er maar beperkte locatiespecifieke invoer nodig is. De door de gebruiker te leveren invoer wordt met behulp van een preprocessor geïntegreerd in de modelinvoer. De locatiespecifieke invoergegevens betreffen:

- de geometrie (beschreven in hoofdstuk 2),
- de waterinstroming (beschreven in hoofdstuk 3),
- de nutriëntenbelasting (beschreven in hoofdstuk 3),
- het type bodem (klei/zand/veen → veen)
- de initiële gehalten van organisch koolstof en totaal fosfor in de waterbodem, en
- representatieve initialisatie gegevens voor chlorofyl-a, nitraat, totaal stikstof, totaal fosfor en slib in de waterkolom.

- Aanwezigheid van stikstoffixerende algen

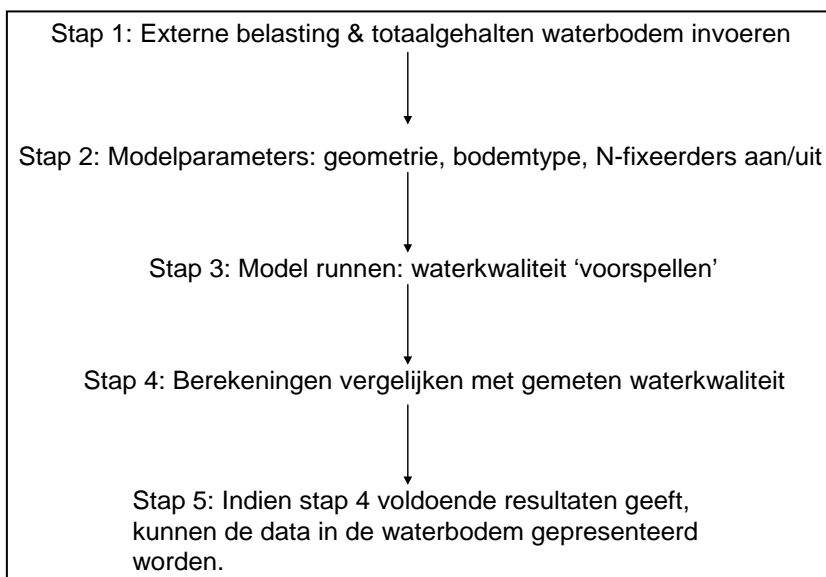
De resterende benodigde invoergegevens liggen dus al in het screeningsmodel vast, zoals: een deel van de belastingen (onder andere zuurstof en sulfaat concentraties), representatieve gemiddelde forcering met betrekking tot meteorologie, de procescoëfficiënten (zie bijlage 3) en de bodemsamenstelling (op basis van keuze klei, veen, zand).

De gebruiker dient zich te realiseren, dat het model en de invoer vereenvoudigingen van de werkelijkheid zijn, en dat de simulatieresultaten van het model meer een gemiddeld dan een specifiek jaar betreffen. Daarom zal het model vaak het tijdstip en de grootte van gemeten pieken in een specifiek jaar niet volledig reproduceren. Echter, seizoensmatige trends en zomergemiddelden die zich in het watersysteem voordoen zouden wel moeten worden gereproduceerd. Bij die conditie maakt het screeningsmodel de waterkwaliteitsprocessen inzichtelijk en kan het voldoende betrouwbare bodem-wateruitwisselingsfluxen met betrekking tot nutriënten leveren.

In het screeningsmodel, juist omdat het een versimpeling van de werkelijkheid is met de focus op eutrofe en mesotrofe waterlichamen, zijn een aantal processen niet in het model opgenomen. Processen die niet meegenomen zijn, zijn onder andere resuspensie, graas en de groei en sterfte van waterplanten omdat in dit type waterlichamen deze processen meestal van ondergeschikt belang zijn voor de massabalansen van de nutriënten. Een beschrijving van het screeningsmodel is opgenomen in bijlage 3 (Smits en Van Beek, 2009).

### 4.3 GEBRUIK VAN HET SCREENINGSMODEL IN BAGGERNUT

In BaggerNut worden met het screeningmodel de stappen doorlopen zoals weergegeven in Figuur 13.



Figuur 13 Stappen voor het gebruik van het screeningsmodel in BaggerNut.

Voor het draaien van het model zijn maandgemiddelde externe belastingen van N, NO<sub>3</sub> en P en gehalten van organisch stof en P in de waterbodembodem nodig (stap 1 in Figuur 13) evenals de algemene systeemkenmerken zoals afmetingen van het waterlichaam, bodemtype, etc. Voor de initialisatie van het screeningsmodel wordt een langjarig maandgemiddelde van een aantal waterkwaliteitsparameters voor de eerste maand van de simulatieperiode gebruikt (stap 2). Vervolgens wordt de waterkwaliteit (onder andere P-totaal, N-totaal, PO<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, chlorofyl-a) berekend voor een aantal opeenvolgende jaren (stap 3).

Deze berekeningen worden vergeleken met de metingen (stap 4). Dit is een zeer essentiële stap; als het model de metingen niet goed reproduceert, is de berekende bijdrage van de bodem niet betrouwbaar. Er moet dan opnieuw gerekend worden tot het model de waarnemingen voldoende beschrijft. Als dat lukt, kan de bijdrage van de bodem aan de oppervlakte waterkwaliteit als output worden geleverd.

#### 4.4 INVOER SCREENINGSMODEL DE LEIJEN: STAP 1&2

##### *Waterbalans*

Zoals eerder besproken is er voor De Leijen voor het jaar 2009 door Arcadis een waterbalans opgesteld met gebruikmaking van een Sobek 1D toepassing (zie §3.1). Tabel 10 toont de aan het screeningsmodel opgelegde maandgemiddelde debieten.

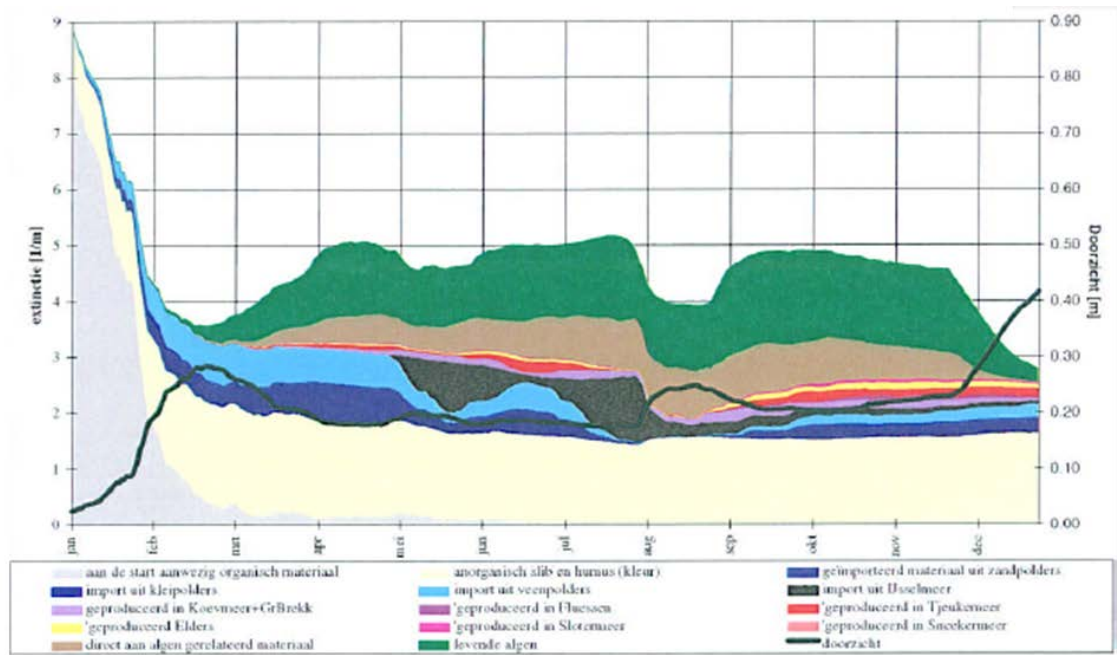
Tabel 10 Aan het screeningsmodel opgelegd inkomend debiet (licht grijze kolom) en de deelstromen waaruit dit debiet is opgebouwd.

	Totaal inkomend debiet	Opeinderkanaal	Polders	Eastermar
	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
<b>Januari</b>	4.71	2.99	1.72	0.00
<b>Februari</b>	5.01	3.28	1.72	0.00
<b>Maart</b>	3.97	2.29	1.68	0.00
<b>April</b>	1.24	0.00	1.24	0.00
<b>Mei</b>	1.57	1.01	0.56	0.00
<b>Juni</b>	0.63	0.00	0.56	0.07
<b>Juli</b>	2.22	1.59	0.62	0.00
<b>Augustus</b>	1.73	1.38	0.35	0.00
<b>September</b>	1.20	0.94	0.26	0.00
<b>Oktober</b>	1.14	0.07	1.08	0.00
<b>November</b>	4.76	2.98	1.78	0.00
<b>December</b>	5.36	3.70	1.66	0.00

##### *Interne waterkwaliteit*

Omdat De Leijen een veenplas is<sup>1</sup>, wordt het doorzicht ervan voor een groot deel ook bepaald door de natuurlijke achtergrondextinctie die door de aanwezigheid van veendeeltjes en opgeloste humus- en fulvinezuren (bruinkleuring) hoger is dan in niet-veenplassen. Figuur 14 toont de achtergrondextinctie voor een meer in de Friese Boezem. De achtergrondextinctie in deze figuur is opgebouwd uit achtergrondextinctie en extinctie door anorganisch slib en bedraagt ongeveer 1,8 m<sup>-1</sup>. Om deze reden is de vaste achtergrondextinctie van het screeningsmodel van op 1,5 /m gezet (Ouboter en Vos, 1998).

<sup>1</sup> De bodem van de Leijen bestaat uit zandige en moerige veengronden. De bodemmonsters geven allen aan dat het gaat om een zandige bodem, mogelijk omdat ze allen in de zuidoosthoek zijn genomen, maar het water zal zeker beïnvloed worden door de veengebieden om en in de Leijen.



Figuur 14 Karakteristiek tijdsverloop van de opbouw van de extinctie in een Fries boezemmeer (overgenomen uit Ouboter en Vos, 1998).

In het screeningsmodel wordt de anorganisch zwevend stofconcentratie geforceerd: metingen ervan in De Leijen worden aan het model opgedrukt. In de waterkwaliteitsdata van De Leijen zijn alleen totaal zwevend stofconcentraties beschikbaar, waardoor er aannames gedaan moeten worden over het aandeel anorganisch zwevend stof in totaal zwevend stof. Een vuistregel hiervoor is:

$$\text{Anorg. zs} = \text{Tot. zs} - 2.5 * (0.001 * [\text{chl}a] * C:\text{chlfaalgen} * 2.5) \quad (1)$$

Er is maar beperkt (niet altijd maandelijks) totaal zwevend stof gemeten in De Leijen. Om tot een maandbeeld te komen, zijn de totaal zwevend stofconcentraties per maand van de periode 2005, 2006, 2008 en 2009 gemiddeld. In Tabel 11 worden de gemeten totaal zwevend stofconcentraties en de berekende anorganisch zwevend stofconcentraties getoond. De anorganisch zwevend stofconcentraties worden opgelegd aan het model.



Tabel 11 Gemeten totaal zwevend slibconcentraties en aan het screeningsmodel opgelegde berekende anorganisch slibconcentraties

	Totaal zwevend slib	Anorganisch zwevend slib
	mg/l	mg/l
<b>Januari</b>	17.0	15.9
<b>Februari</b>	16.0	13.6
<b>Maart</b>	19.25	14.2
<b>April</b>	22.65	8.7
<b>Mei</b>	20.25	5.7
<b>Juni</b>	20.8	3.3
<b>Juli</b>	29.5	5.7
<b>Augustus</b>	31.25	1.0
<b>September</b>	22.8	2.0
<b>Oktober</b>	23.0	10.8
<b>November</b>	14.0	6.8
<b>December</b>	14.3	12.6

### *Waterbodem*

De waterbodem is in het screeningsmodel al voor een groot deel vastgelegd. De gebruiker dient wel totaal organisch koolstof- en totaal fosfaatgehalte van de bodem op te geven en een bodemmodule (veen, slib of zand) te kiezen. De sedimentmetingen van Beware (2011) tonen eerder zandige grond dan een veengrond: porositeit van bijna 0.4 en een organisch stofpercentage van 4% drooggewicht. Op grond hiervan wordt het screeningsmodel met de zandbodemmodule gedraaid.

De omrekening van droge stofpercentage naar totaal organisch koolstof (TOC) is gedaan aan de hand van de formule (Smits en Van Beek, 2009):

$$\text{TOC} = (\% \text{OS}/100) * 10^{6/2.5} \quad (2)$$

Deze berekening resulteert in een TOC van 16 g C/kg sediment. De metingen van totaal fosfaatgehalte in de bodem bedragen 154 mg P/kg sediment.

### *Externe belastingen*

De combinatie van de waterbalans (Tabel 10) en de gemeten concentraties van totaal stikstof, nitraat en totaal fosfaat voor het jaar 2009 (Opeinderkananaal en De Lits) of de jaren 2011 en 2012 (de polder) resulteert Tabel 12. Dit zijn de externe belastingen op De Leijen zoals opgelegd aan het screeningsmodel.

Tabel 12 Uit de waterbalans en gemeten concentraties resulterende externe belastingen op De Leijen.

	Totaal stikstof 1*10 <sup>3</sup> kg/maand	Nitraat 1*10 <sup>3</sup> kg/maand	Totaal fosfaat 1*10 <sup>3</sup> kg/maand
Januari	54	22	3.4
Februari	55	25	3.3
Maart	41	17	2.3
April	5	0	0.6
Mei	12	5	0.6
Juni	2	0	0.2
Juli	17	2	1.1
Augustus	7	1	0.7
September	6	2	0.5
Oktober	12	2	1.4
November	45	9	3.5
December	48	19	2.9
<b>totaal</b>	<b>304</b>	<b>104</b>	<b>20.5</b>

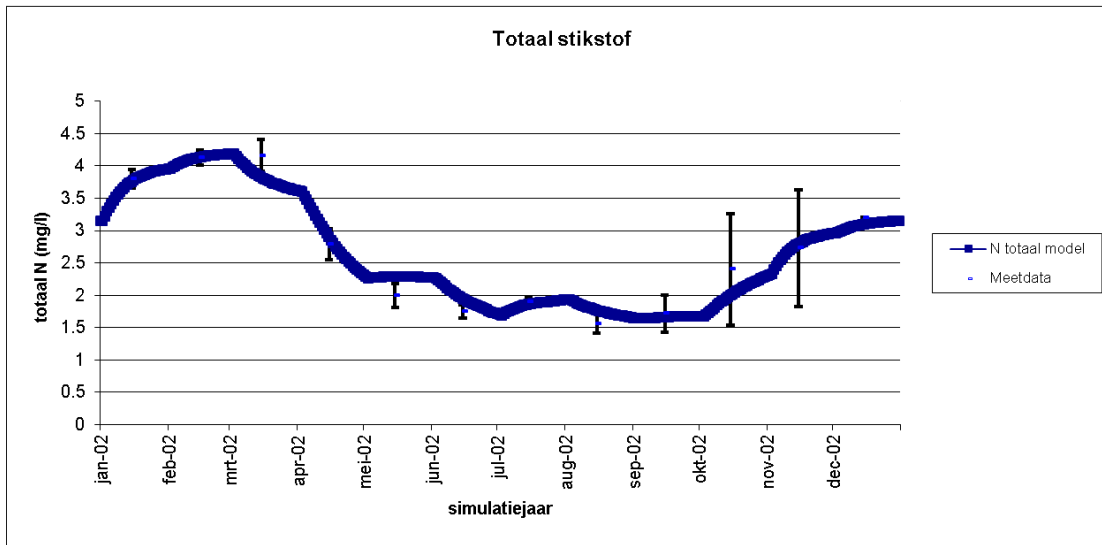
#### 4.5 MODELRESULTATEN EN VERGELIJKING MET METINGEN: STAP 3&4

Het model simuleert 6 jaar, waarbij voor elk jaar dezelfde, voor Nederland gemiddelde meteorologische forcering wordt gebruikt. De eerste twee jaar zijn nodig als initialisatieperiode van de invoergegevens en het derde jaar (2002, fictief) wordt als maatgevend gezien. De overige drie simulatiejaren geven inzicht in de mate van stabiliteit in het systeem: is het systeem in evenwicht of zit het in een overgangsfase. De modelresultaten worden vergeleken met maandgemiddelde meetdata voor de desbetreffende parameter van De Leijen voor de periode 2009 tot en met 2012. Deze periode is gekozen omdat:

- de simulatie zo representatief mogelijk moet zijn voor de huidige waterkwaliteit, en omdat deze duidelijk afwijkt van de waterkwaliteit van voor 2008; en
- voor het Opeinderkanaal alleen metingen van 2009 beschikbaar zijn voor de belastingen.

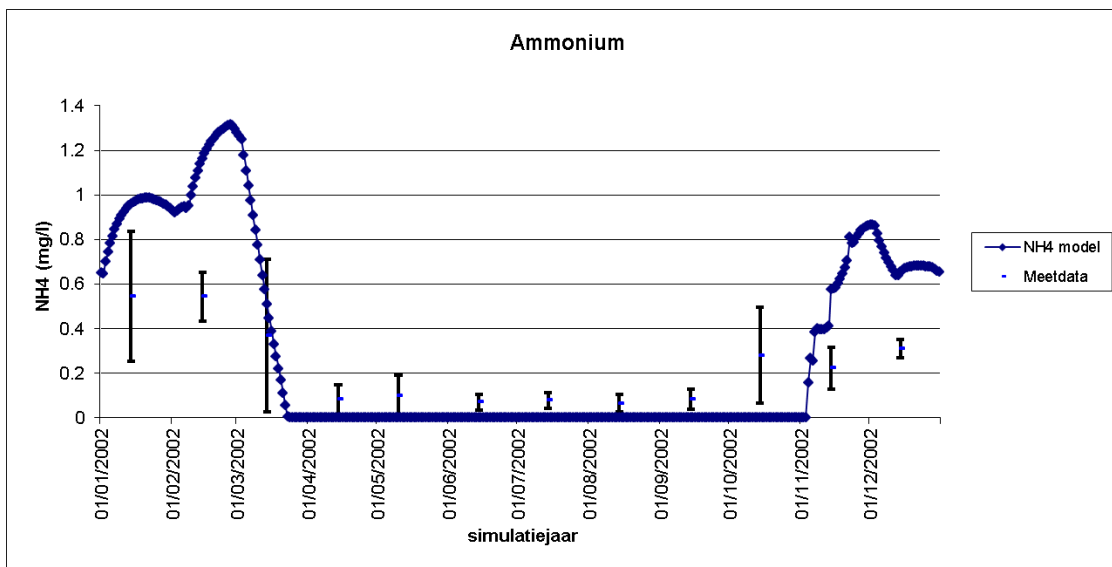
Rondom de gemiddelde meetwaarde is plus en min de standaarddeviatie weergegeven.

De gesimuleerde totaal stikstofconcentraties volgen de trend en de concentratie van gemeten totaal stikstofconcentraties goed (Figuur 15).



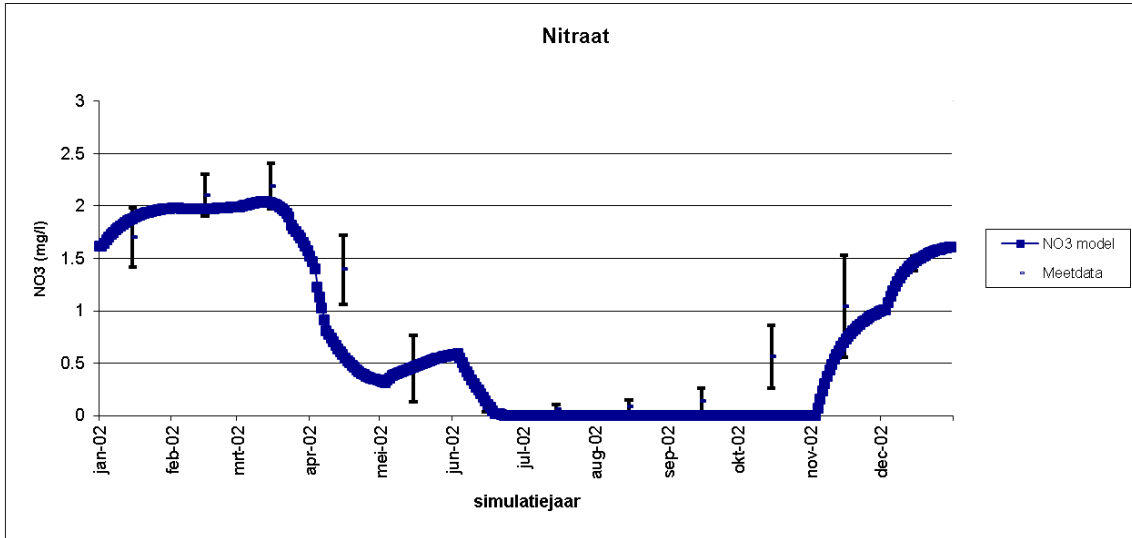
Figuur 15 Gesimuleerd en gemeten totaal stikstofconcentraties (mgN/L) in De Leijen, representatief voor de periode 2008-2010.

De door het model gesimuleerde trend in ammonium komt overeen met de meetdata. Echter, gesimuleerde ammoniumconcentraties zijn in de wintermaanden hoger dan de meetdata, maar te laag in oktober. In de overige maanden van het jaar laten zowel de metingen als de modelresultaten uitputting van ammonium zien (Figuur 16).



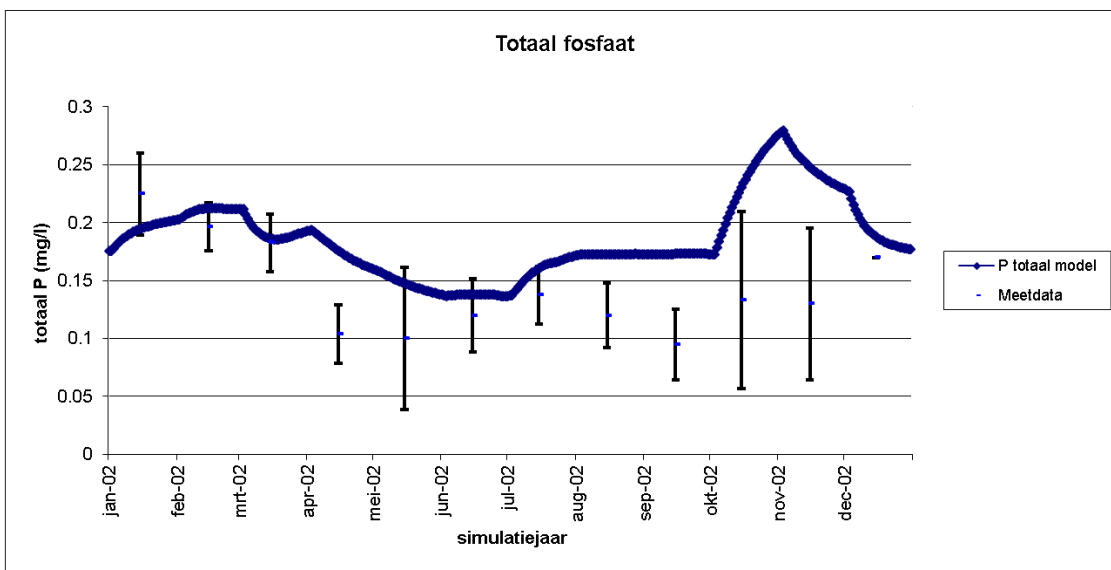
Figuur 16 Gesimuleerd en gemeten ammoniumconcentraties (mgN/L) in De Leijen, representatief voor de periode 2008-2010.

Gesimuleerde nitraatconcentraties en trend komen goed overeen met de meetdata. Echter, in oktober zijn de gesimuleerde concentraties lager dan gemeten, daarna komt de gemodelleerde concentratie overeen met meetdata (Figuur 17).



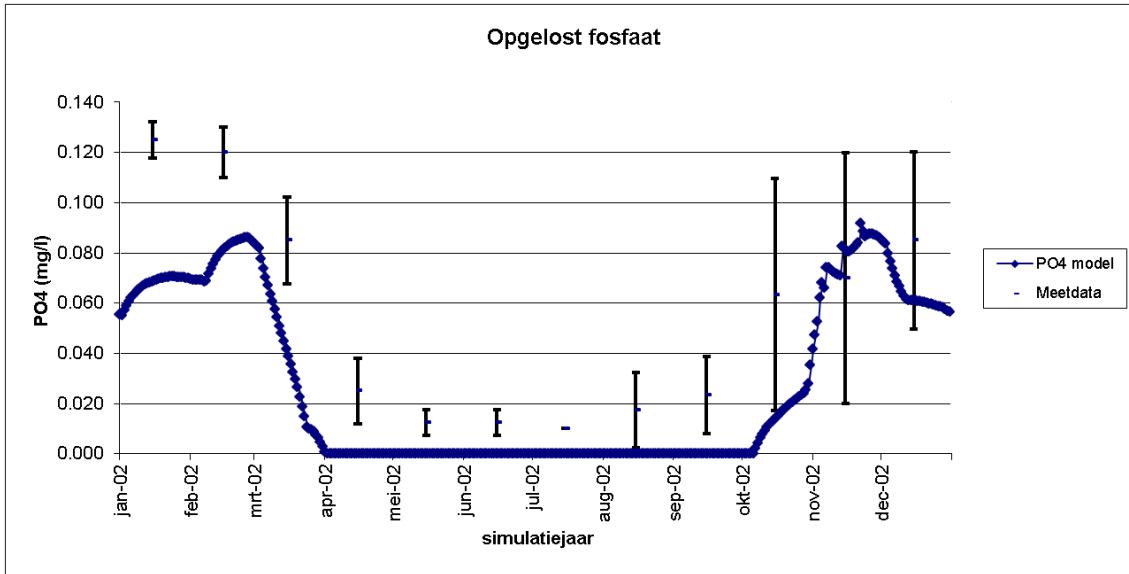
Figuur 17 Gesimuleerd en gemeten nitraatconcentraties (mgN/L) in De Leijen, representatief voor de periode 2008-2010.

De modelresultaten voor totaal fosfaatconcentraties zijn over het algemeen te hoog en blijft met nam de trend van afnemende totaal fosfaatconcentraties in april in augustus achterwege. Stijging in concentraties van totaal fosfaat wordt wel goed gemodelleerd (Figuur 18).



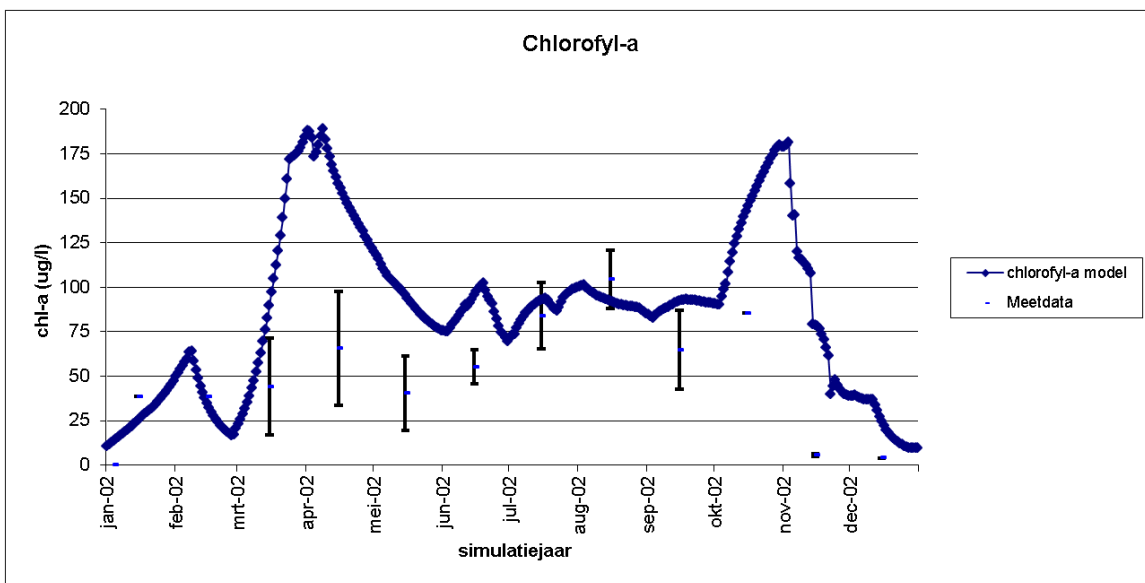
Figuur 18 Gesimuleerd en gemeten totaal fosfaatconcentraties (mgP/L) in De Leijen, representatief voor de periode 2008-2010.

Figuur 19 laat zien dat wanneer opgelost fosfaatconcentraties boven detectiegrens worden gemeten, het model deze concentraties te laag voorspelt. De uitputting van opgelost fosfaatconcentraties wordt door het model wat eerder in het jaar en tot later in het jaar gesimuleerd dan dat de meetdata laat zien.



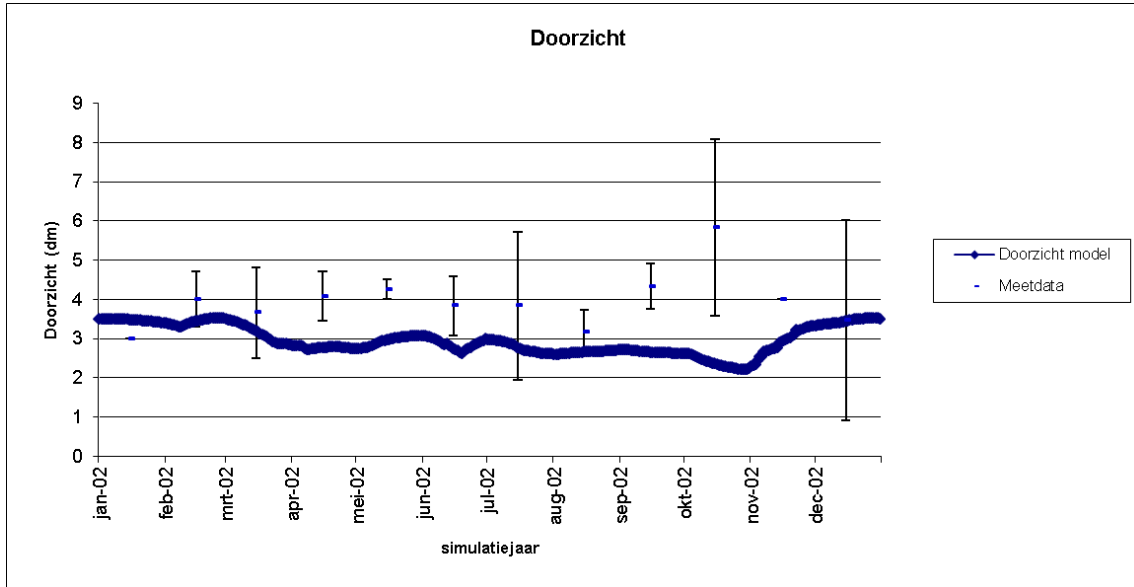
Figuur 19 Gesimuleerd en gemeten opgelost fosfaat concentraties (mgP/L) in De Leijen, representatief voor de periode 2008-2010.

Chlorofylconcentraties worden in het voorjaar en het najaar overvoorspeld. In het voorjaar komt het waarschijnlijk doordat in het screeningsmodel geen gras wordt meegenomen. In het najaar zal met name de verkeerde limitatie van algen een rol spelen: totaal fosfaat wordt te hoog voorspeld, waardoor er uiteindelijk, bij hoge chlorofylconcentraties, stikstoflimitatie optreedt (Figuur 20).



Figuur 20 Gesimuleerd en gemeten chlorofylconcentraties (µg/L) in De Leijen, representatief voor de periode 2008-2010.

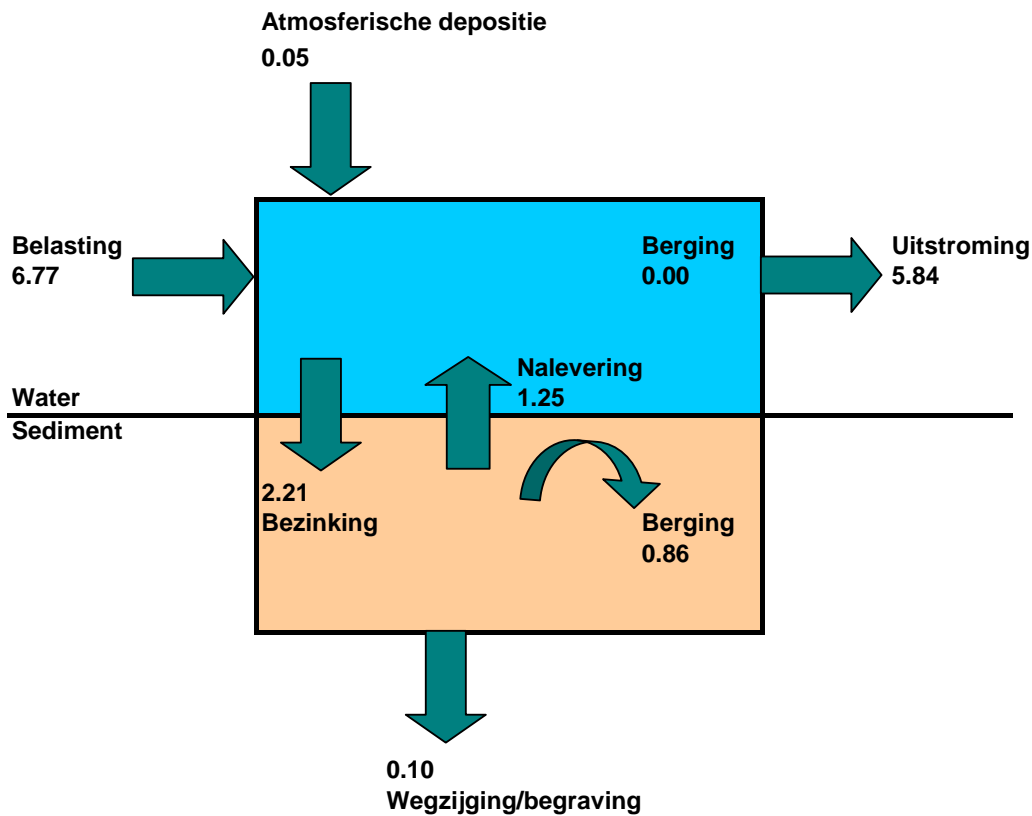
Het doorzicht wordt door het model over het algemeen wat lager gesimuleerd dan de meetdata. Dit is met name het geval rond mei en oktober, wanneer er een overschatting is van chlorofylconcentraties (Figuur 21).



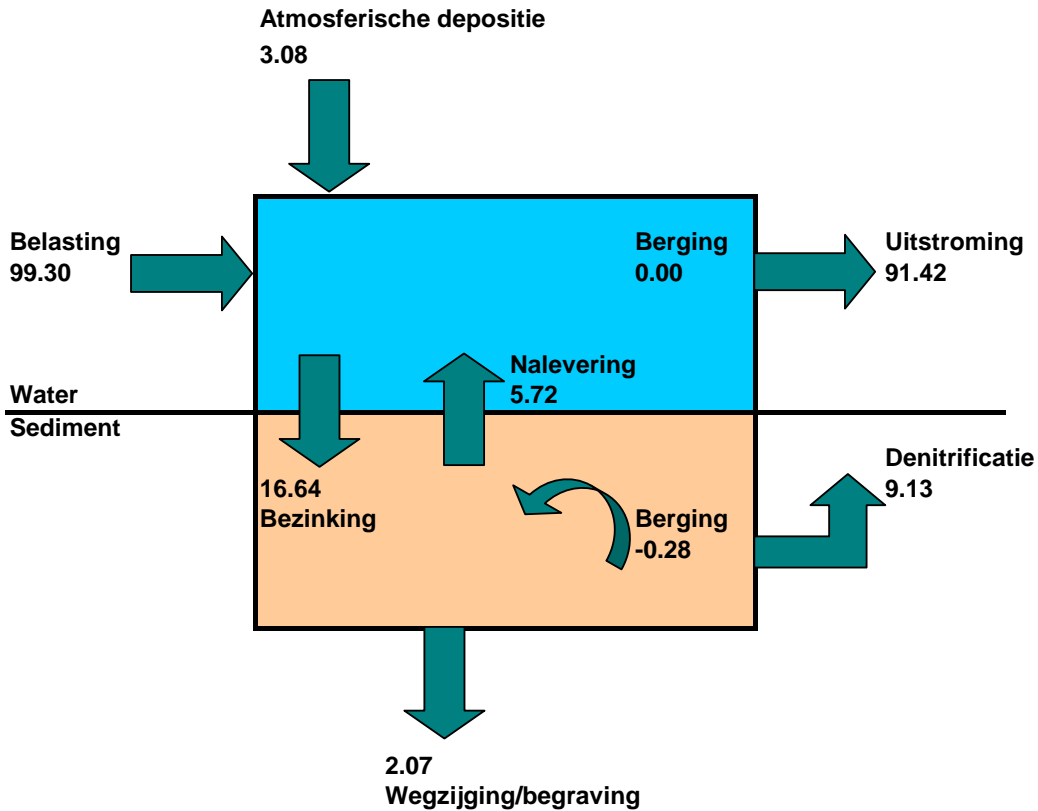
Figuur 21 Gesimuleerd en gemeten doorzicht (dm) in De Leijen, representatief voor de periode 2008-2010

### Stofbalansen

Figuur 22 en Figuur 23 laten respectievelijk de jaarbalansen van totaal fosfaat en totaal stikstof zien. Er is sprake van netto accumulatie (berging) van fosfaat in het sediment. Tevens is te zien dat de netto berging een resultante is van bezinking en nalevering. Voor stikstof treedt er afbraak op mede door denitrificatie.



Figuur 22 Massabalans voor totaal fosfaat voor een jaar in gP/m<sup>2</sup>/jaar.

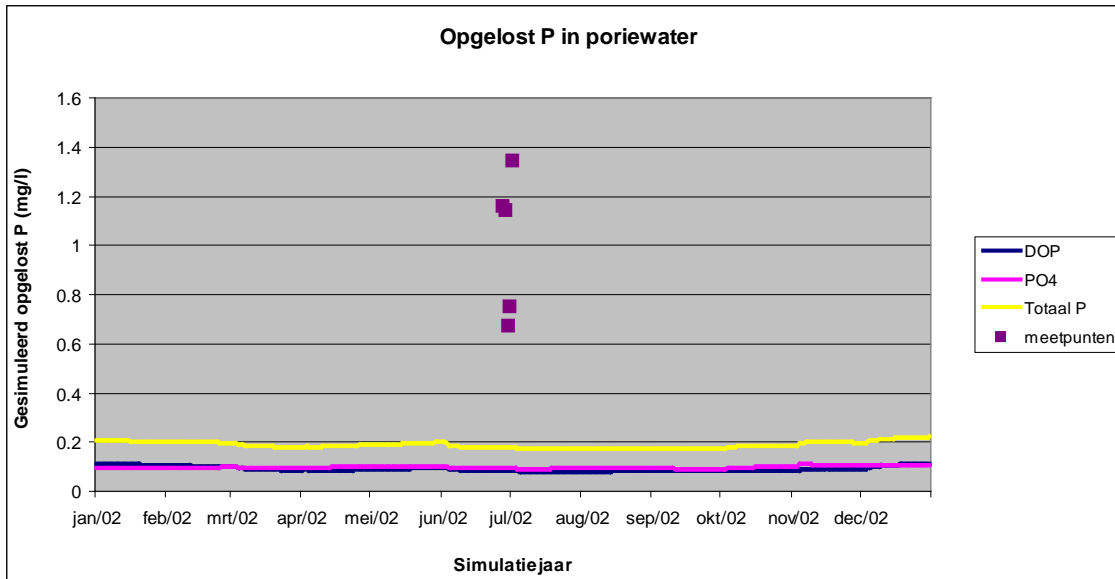


Figuur 23 Massabalans voor totaal stikstof voor een jaar in gP/m<sup>2</sup>/jaar.

#### 4.6 BODEMKARAKTERISTIEKEN: STAP 5

Figuur 24 toont de gewogen gemiddelde concentratie in het bodemvocht in de bovenste 8 lagen (4 cm) zoals berekend door het screeningsmodel (lijnen). De meetpunten (totaal P in poriewater) zouden op de gele lijn moeten liggen. De berekening onderschat de meetwaarden sterk. Logischerwijze zou dat moeten leiden tot een onderschatting van de flux uit de bodem. Het zou ook kunnen dat het screeningsmodel systematisch te lage poriewaterconcentraties en te hoge transportsnelheden berekend, maar dat de resultaten van de twee, de P flux van bodem naar water, wel ongeveer goed wordt voorspeld.

Verder is te zien dat de poriewaterconcentratie licht varieert door het jaar heen met de laagste concentraties in de zomer. Toch lijkt het er op dat een poriewatermeting in de 5cm-bovenlaag, zoals B-Ware dat in dit project heeft gedaan, in de Leijen weinig seizoensgevoelig is.



Figuur 24 Gemeten en gesimuleerd totaal opgelost P, gesimuleerd opgelost organisch-P en gesimuleerd opgelost fosfaat (mgP/l).

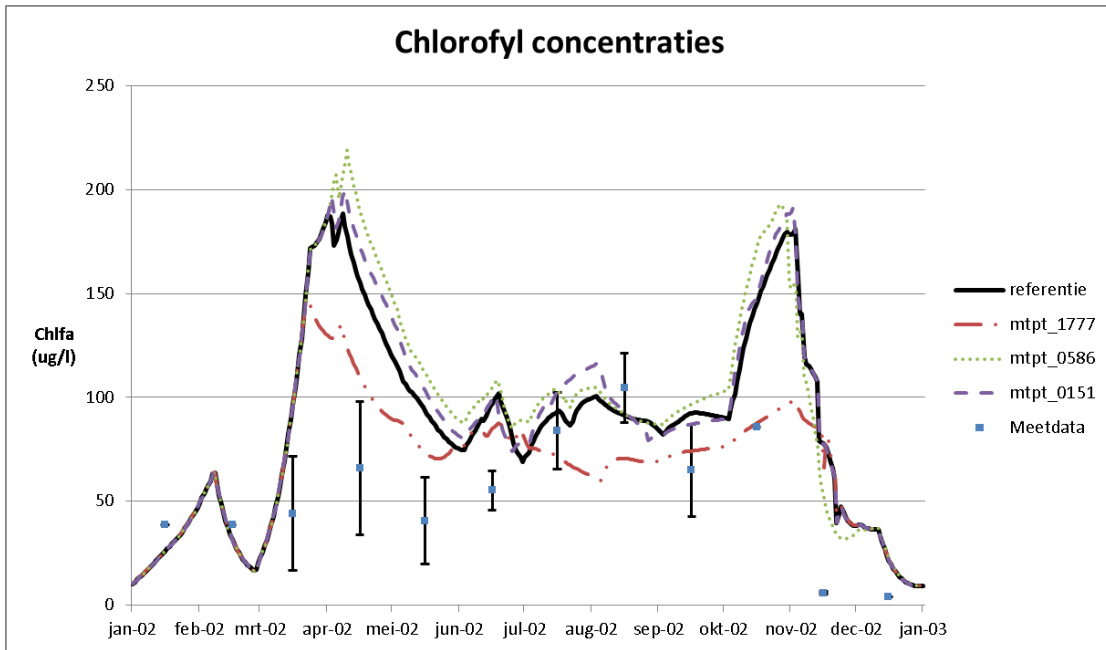
#### 4.7 DISCUSSIE

Hoewel het model in het najaar een te hoog P en chlorofyl en dus een te laag doorzicht berekent, zijn we tevreden over de mate waarin de waterkwaliteit wordt voorspeld. Zeker als in acht genomen wordt, dat het om een eenvoudig model waarin geen grazers en planten zijn opgenomen, waarin alle procesparameters vast staan en waarin een gemiddeld weerjaar is verondersteld. In deze zaken kunnen de afwijkingen ook grotendeels worden verklaard.

Waterplanten nemen nutriënten op. Aangezien uit de literatuur blijkt dat er in De Leijen enkele grote velden met drijfbladplanten en riet- en ruigte-oeveren voorkomen (Bijkerk et al., 2004) kan het zijn dat er in het voorjaar minder opgeloste nutriënten beschikbaar zijn voor algengroei dan in het model wordt verondersteld.

In het najaar lijkt vooral de te hoog gesimuleerde totaal fosfaat concentratie de oorzaak te zijn. Deze piek kan voortkomen uit de opgelegde belastingen van de polderwaterkwaliteit. Wanneer verondersteld wordt dat niet alle drie de meetpunten waarvan de belasting vanuit de polders wordt afgeleid even belangrijk zijn, maar dat een meetpunt leidend is, kunnen de chlorofylconcentraties veranderen (zie figuur 25, in bijlage 6 is de ligging van deze locaties meegenomen). Wanneer meetpunt 1777 als representatief wordt gezien voor de polderwaterkwaliteit, dan worden de chlorofylconcentraties in het najaar wel goed gesimuleerd.





Figuur 25: modeluitvoer voor vier simulaties: zwart de referentie situatie, rood polderwaterkwaliteit van meetpunt 1777, groen polderwaterkwaliteit van meetpunt 0586, paars polderwaterkwaliteit van meetpunt 0151.

Het model simuleert over het algemeen de dynamiek en de concentraties van totaal stikstof en de N-fracties, en opgelost fosfaat. De te hoge totaal fosfaatconcentraties kunnen ertoe leiden dat er in het model te veel accumulatie in de bodem optreedt.



# 5 Slibdiagnose

De gegevens van De Leijen zijn ingevoerd in de Bodemdiagnosetool versie 1\_23. De ingevulde Bodemdiagnose wordt meegestuurd met dit rapport. Het werkblad invoer is volledig ingevuld. Voor een aantal invoerparameters zijn keuzes gemaakt:

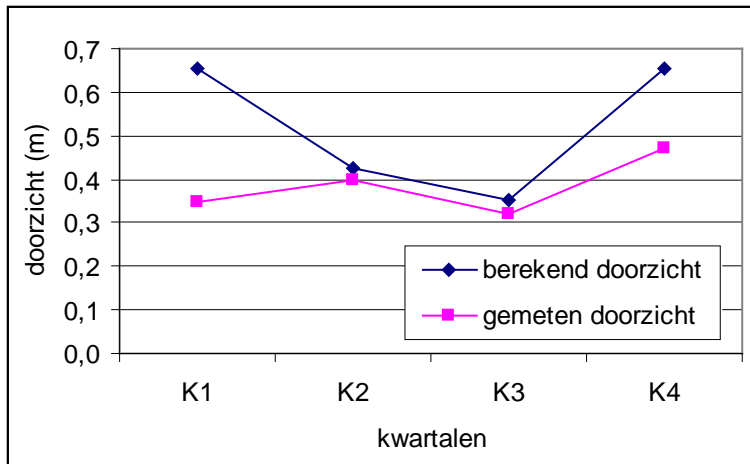
- Voor bodem en poriewatermonsters is een gemiddelde genomen van de 5 monsters, ook al liggen de meetpunten 1,2,3 dicht bij elkaar.
- De bodem is gekarakteriseerd als zandig en stevig. Dit is gedaan op basis van de bevindingen van B-Ware (Poelen et al., 2012).
- Het onderscheid tussen de organische en anorganische fractie in zwevende stof is gebaseerd op de verdeling zoals deze in een aantal andere meren is gevonden.

Nadat alle gegevens waren ingevoerd is de uitslag van de eerste diagnose gecheckt. Op basis van de Fe/P-ratio, het zomergemiddelde doorzicht en chlorofyl wordt een eerste indicatie gegeven of het uitvoeren van de bodemdiagnose zinvol is. De nalevering wordt geclassificeerd als mogelijk relevant, het doorzicht wordt geclassificeerd als troebel en chlorofyl als hoog. Dit leidt tot de conclusie dat het zinvol is om de Bodemdiagnose zowel voor nutriënten (er is een algenprobleem) als zwevende stof (er is een doorzichtprobleem). Tabel 13 toont het resultaat van de eerste diagnose.

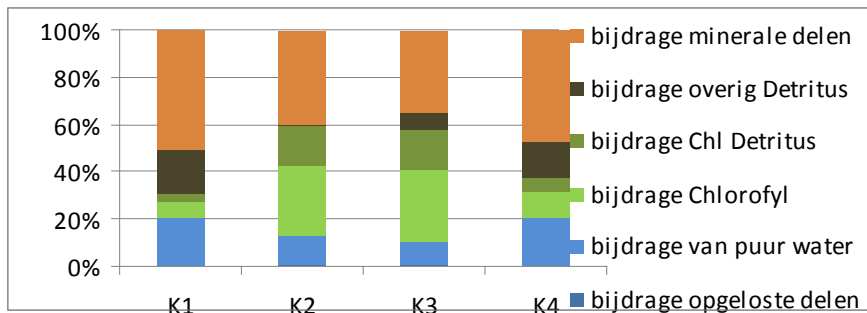
Nalevering	Doorzicht	Chlorofyl	Oordeel
mogelijk relevant	troebel	hoog	BD voor nutriënten en zwevend stof

Tabel 13 Resultaat van de eerste diagnose.

De meest eenvoudige vervolgstap is een analyse van het doorzicht. Werkblad ' 2, 3-Zwev stof en doorzicht' maakt op basis van de invoer en op basis van rekenregels onderscheid tussen de verschillende fracties. Met de regressievergelijking, waarin de verschillende componenten zijn opgenomen (water, DOC, chlorofyl, detritus en minerale delen), wordt het doorzicht berekend. Figuur 26 toont het berekende en gemeten doorzicht. In de zomer zijn de berekeningen nagenoeg gelijk aan de metingen. In de winter is het te verwachten dat het doorzicht beter is omdat er weinig chlorofyl is. Ook vissen zijn in de winter minder actief. De berekeningen geven inderdaad een hoger doorzicht, maar de metingen tonen dat niet, hoewel de chlorofylconcentraties en totaal zwevende stof wel duidelijk lager zijn in de winter. De bijdrage van de berekende componenten aan de lichtuitdoving is weergegeven in Figuur 27. In de winter zijn vooral de minerale delen (50%) van belang. In de zomer levert ook de organische fractie een flinke bijdrage.



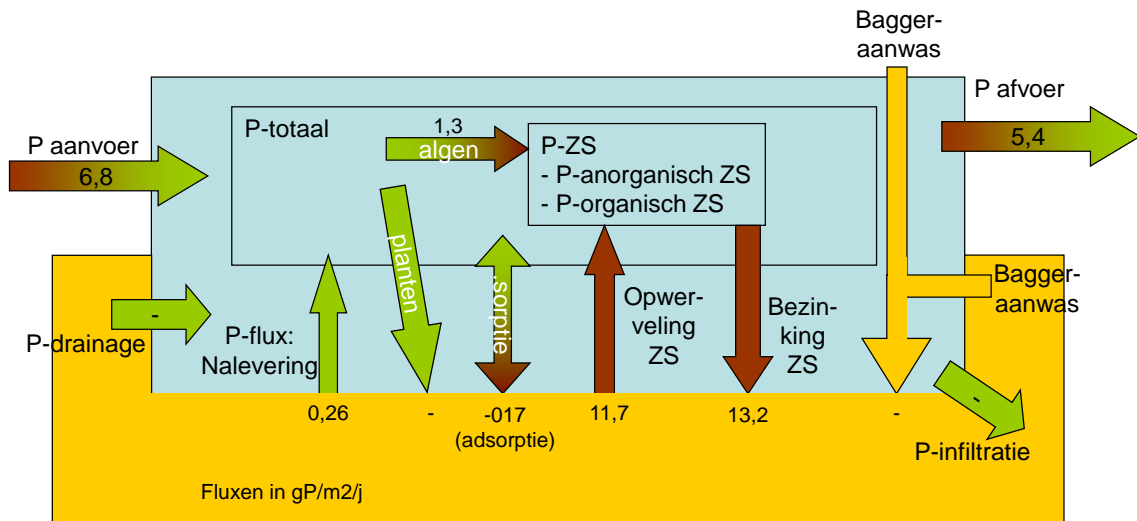
Figuur 26 Het gemeten doorzicht in De Leijen versus het berekende doorzicht.



Figuur 27 Het gemeten doorzicht in De Leijen versus het berekende doorzicht.

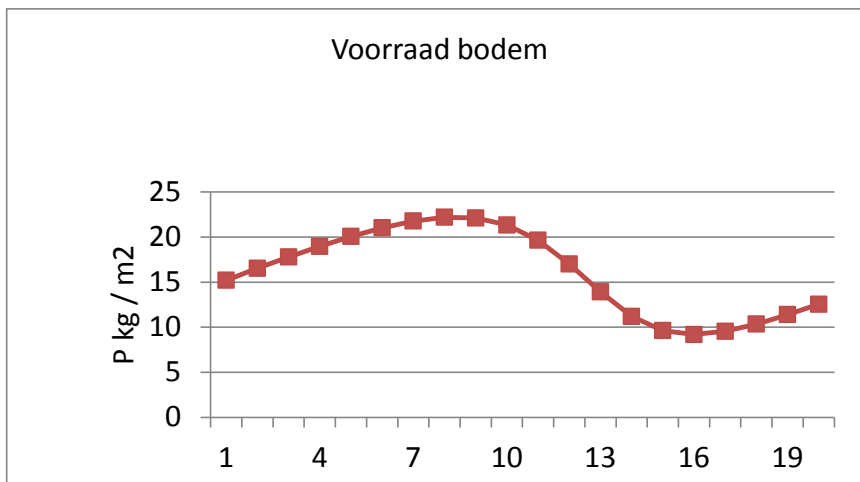
Vervolgens zijn de resultaten van de balansberekening voor de huidige situatie bekeken. Voor de balans wordt gebruik gemaakt van de poriewatergegevens. De berekende flux op basis van de Fe/P-ratio, die gebruikt is voor de 1<sup>e</sup> diagnose, is hoger (1,6 g/m<sup>2</sup>/jaar) dan de flux op basis van poriewater (0,26 g/m<sup>2</sup>/jaar).

In Figuur 28 zijn alle externe en interne fluxen voor de huidige situatie weergegeven. De externe P-belasting van 4,11 g/m<sup>2</sup>/jaar en een interne flux van 0,26 g/m<sup>2</sup>/jaar geven aan dat de interne bron geen relevante factor is. Figuur 28 is vergelijkbaar met Figuur 23. Het valt op dat de slibdiagnose een forse netto afvoer berekent, die niet goed kan worden verklaard. Het screeningsmodel onderschat de uitstroming waardoor wel enige accumulatie optreedt. Verder voorspelt het screeningmodel een hogere P-nalevering, omdat niet alleen diffusie, maar ook dispersie en bioturbatie als processen zijn opgenomen. In het screeningsmodel wordt geen opwerveling verondersteld, maar alleen bezinking van detritus. Daardoor is de bezinking erg laag en opwerveling 0.



Figuur 28 De door de bodemdiagnose berekende fluxen voor de huidige situatie in De Leijen.

De netto-nalevering blijkt zodanig te zijn dat netto accumulatie in de bodem plaatsvindt. Figuur 27 laat zien dat dit vooral bezinking van zwevende stof betreft (netto 1,5 g P/jaar). De nalevering en adsorptie aan de bodem zijn relatief gezien een kleine post. De bodemdiagnose geeft aan dat er na ca. 10 jaar een omslag van accumulatie naar uitputting optreedt en na 15 jaar weer accumulatie. Het is niet helemaal duidelijk waarom dit gebeurt.



Figuur 29 De autonome ontwikkeling voor de P-concentratie in de bodem

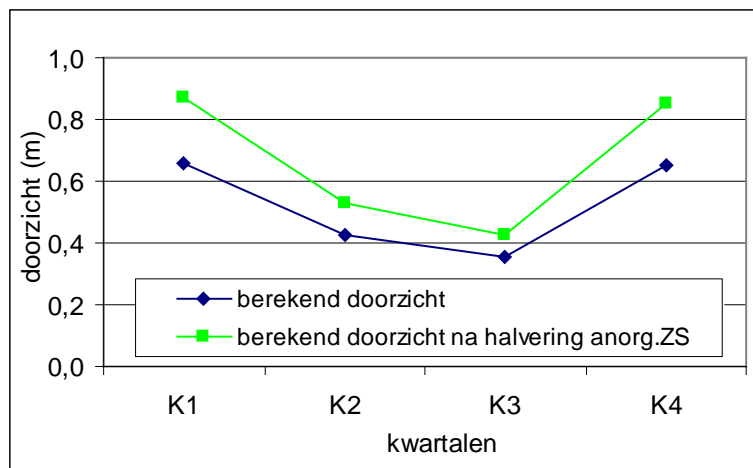
De bodemdiagnose doet ook een uitspraak over de kans dat de waterbodem een sterke bijdrage levert aan verlaging of zelfs uitputting van de zuurstofconcentratie in het oppervlaktewater. Op basis van de kenmerken van de Leijen wordt niet verwacht dat de waterbodem een relevante factor is die kan zorgen voor zuurstofarme of zuurstofloze omstandigheden. Tabel 14 toont de relevante kenmerken en het oordeel.

Type	Diepte	Stroming	Bodem	Opwoeling door scheepvaart	Oordeel zuurstof
plassen	ondiep (<3m)	langzaam (< 0,5 m/s)	zandige 'normale' bodems	ja	laag/geen risico

Tabel 14 Resultaat van het werkblad zuurstof.

## 5.1 MAATREGELEN

Voor de nutriënten zal een maatregel aan de waterbodem niet zo veel helpen, omdat de externe belasting veel te dominant is. Ten aanzien van de waterbodem lijkt vooral winst te boeken door het tegengaan van vertroebeling. Daarom zijn de concentraties anorganische zwevende stof gehalveerd. Dat levert een doorzichtverhoging op van ca. 15 cm (Figuur 30). In de zomer is het rendement beperkt door de concentratie chlorofyl die het doorzicht sterk beïnvloedt.



Figuur 30 Doorzicht berekend voor de huidige situatie en na uitvoering van de maatregel.

# 6 Conclusies en aanbevelingen

## 6.1 CONCLUSIES

Het doel van de watersysteemanalyse is tweeledig:

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

De Leijen een rond meer ten noorden van Drachten met twee watergangen die het in verbinding stellen met de rest van de Friese Boezem. Deze twee watergangen zitten aan de noord- en zuidkant van het meer. De KRW-maatlatten scoren allemaal laag. De nutriëntenconcentraties liggen te hoog, al is er wel een dalende trend zichtbaar in de monitoringdata.

De waterbodem van De Leijen bevat lage P-gehalten, gemiddeld 0,15 g/kg hetgeen veel lager is dan de 1,36 g/kg die als criterium wordt gehanteerd. Daarnaast bevat de bodem bevat een redelijk hoge Fe/P-ratio. De enige onzekerheid wordt gevormd door de lage (Fe-S)/P-ratio op twee van de vijf locaties. Dat kan betekenen dat het aanwezige ijzer is vastgelegd in sulfiden, waardoor het geen fosfaat kan binden. Naast het feit dat de bodem weinig P bevat zorgt de relatief snelle doorstroming van de Leijen ervoor dat de externe belasting dominant is ten opzichte van de interne belasting.

De bijdrage van de bodem is in dit rapport op verschillende manieren benaderd. Allereerst als sluitpost ten opzichte van de externe aan- en afvoeren. Per jaar is er een netto accumulatie van 1,4 g/m<sup>2</sup> in de bodem. Omdat de bodemdiagnose de aan en afvoer als harde randvoorwaarden definieert, is ook in de bodemdiagnose de netto accumulatie 1,4 g/m<sup>2</sup>. In de bodemdiagnose is echter te zien dat het vooral bezinking van zwevend stof betreft. Deels bezinkt zwevend stof dat van elders wordt aangevoerd, maar ook detritus vorming draagt bij aan de accumulatie. De nalevering en dispersie/sorptie zijn beide kleine fluxen (<0,3 g/m<sup>2</sup>). Ook het screeningmodel berekent een netto accumulatie (figuur 22), maar niet zo veel als in de bodemdiagnose. Omdat het screeningsmodel 0,5 g/m<sup>2</sup> meer afvoer berekent (door overschatting van de P-concentratie; zie figuur 18), accumuleert er minder in de bodem. Het screeningmodel berekent wel een aanzienlijk hogere bruto nalevering, namelijk: 1,25 g/m<sup>2</sup>, veel hoger dan de 0,26 g/m<sup>2</sup> uit de diffusiemetingen.

De berekeningen van de kritische belasting met het PC Lake meta-model moeten uiterst voorzichtig geïnterpreteerd worden. Dit heeft sterk te maken met de korte verblijftijd, waardoor een grote hoeveelheid instromend water leidt tot een grote hoeveelheid P-aanvoer. De berekening van de kritische belasting is primair bedoeld voor meren met lange verblijftijden. Als dan toch een berekening wordt gemaakt, is het resultaat dat de Leijen vanwege de korte verblijftijd een behoorlijke belasting kan verdragen. Om het meer

echter vanuit een troebele toestand helder te krijgen zou de externe belasting met een factor 7 teruggebracht moeten worden.

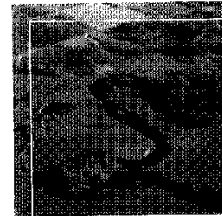
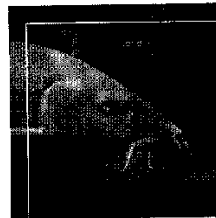
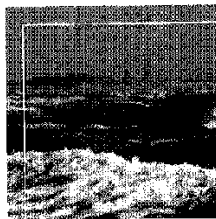
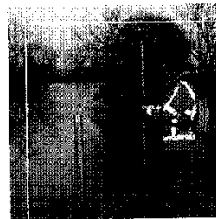
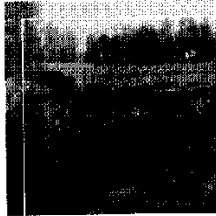
## 6.2 AANBEVELINGEN

De bodemgegevens zijn allen afkomstig uit de zuidoosthoek van het meer en het is onbekend of andere delen van het meer andere gehalten in de bodem hebben. Het is echter niet te verwachten dat in de (wellicht veniger) delen gehalten worden gevonden die de conclusies substantieel veranderen. Dat betekent andere maatregelen nodig zijn dan het aanpakken van de nalevering uit de waterbodem.



## Bijlage 1

# Inhoudsopgave handboek hydromorfologie



## Handboek hydromorfologie


Monitoring en afleiding  
hydromorfologische parameters  
Kaderrichtlijn Water

5 november 2007

Auteurs: dr. O. van Dam  
ing. A.J. Osté MSc.  
drs. B. de Groot  
drs. ing. M.A.M. van Dorst

ISBN nummer: ISBN 9789036914512  
RWS Waterdienst rapportnummer: WD 2007.006  
RWS Data-ICT-Dienst rapp.nr: DID-2007-GPM-027



onderdeel van  RPS Groep

# Inhoudsopgave

<b>Voorwoord</b> .....	<b>7</b>
<b>Samenvatting</b> .....	<b>9</b>
<b>Summary</b> .....	<b>10</b>
<b>1 Inleiding</b> .....	<b>11</b>
1.1 Aanleiding .....	13
1.2 Het handboek .....	14
1.3 Beknopte projectaanpak .....	15
1.4 Leeswijzer .....	18
1.5 Disclaimer.....	19
<b>2 Hydromorfologie, biologie en de KRW</b> .....	<b>21</b>
2.1 Definitie .....	23
2.2 Hydromorfologie en KRW.....	24
2.3 Relatie hydromorfologische en biologische parameters .....	26
2.4 Hydromorfologische toestand.....	27
<b>3 Rivieren, beken en getijderivieren</b> .....	<b>29</b>
3.1 Passeerbaarheid barrières voor sediment.....	32
3.2 Passeerbaarheid barrières voor vissen .....	34
3.3 Bereikbaarheid voor vissen .....	36
3.4 Waterstanden.....	38
3.5 Afvoer.....	42
3.6 Stroomsnelheid .....	44
3.7 Mate van vrije afstroming .....	46
3.8 Mate van natuurlijk afvoerpatroon (hydrodynamiek) .....	48
3.9 Getijdenkarakteristiek: Kentering.....	50
3.10 Getijdenkarakteristiek: Getijslag.....	52
3.11 Getijdenkarakteristiek: Verhoudingsgetal horizontaal getij.....	54
3.12 Grondwaterstand .....	56
3.13 Rivierloop .....	58
3.14 Dwarsprofiel en mate van natuurlijkheid .....	60
3.15 Aanwezigheid van kunstmatige bedding .....	62
3.16 Mate van natuurlijkheid substraatsamenstelling bedding .....	64
3.17 Erosie/sedimentatie structuren .....	66
3.18 Aanwezigheid oeververdediging .....	68
3.19 Landgebruik oever.....	70
3.20 Landgebruik in uiterwaard/beekdal .....	72
3.21 Mate van natuurlijke inundatie .....	74
3.22 Mogelijkheid tot natuurlijke meandering.....	76
<b>4 Meren, sloten en kanalen</b> .....	<b>79</b>
4.1 Kwel of wegzijging.....	82
4.2 Neerslag .....	84
4.3 Verdamping .....	86

4.4	Aanvoer .....	88
4.5	Afvoer .....	90
4.6	Waterstand .....	92
4.7	Waterdiepteverdeling .....	94
4.8	Bodemsamenstelling .....	98
4.9	Oeververdediging .....	102
4.10	Helling oeverprofiel .....	106
<b>5</b>	<b>Kust- en overgangswateren .....</b>	<b>109</b>
5.1	Getijslag .....	112
5.2	Debiet zoet water .....	116
5.3	Verhoudingsgetal horizontaal getij .....	118
5.4	Golfklimaatklasse .....	120
5.5	Overheersende stroomrichting en stroomsnelheid .....	122
5.6	Hypsometrische curve of diepteverdeling .....	124
5.7	Soort bodem (natuurlijk, kunstmatig) .....	126
5.8	Samenstelling substraat .....	128
5.9	Soort intertijdegebied (platen, slikken, kwelders) .....	130
5.10	Droogvalduur .....	132
5.11	Soort oever .....	134
5.12	Kust- en oeververdediging .....	136
5.13	Landgebruik getijdenzone .....	138
<b>6</b>	<b>Samenvatting aandachtspunten .....</b>	<b>141</b>
6.1	Inleiding .....	143
6.2	Aandachtspunten monitoring en brondata .....	143
6.3	Aandachtspunten afleiding en organisatie .....	147
6.4	Nawoord .....	150
	<b>Literatuur .....</b>	<b>151</b>
	<b>Bijlage I: Relatie hydromorfologie – biologie .....</b>	<b>157</b>
	<b>Bijlage II: Referentiemaatlatten .....</b>	<b>159</b>
	<b>Bijlage III: Classificatietabellen .....</b>	<b>161</b>
	<b>Bijlage IV: Uitleg verhoudingsgetal horizontaal getij .....</b>	<b>164</b>
	<b>Bijlage V: Uitleg droogvalduur .....</b>	<b>165</b>
	<b>Bijlage VI: Uitleg hypsometrische curve .....</b>	<b>166</b>
	<b>Bijlage VII: Voorbeelden expertformulieren .....</b>	<b>168</b>
	<b>Bijlage VIII: Geodatabase hydromorfologie .....</b>	<b>171</b>
	<b>Bijlage IX: Metadata .....</b>	<b>175</b>
	<b>Bijlage X: Definities .....</b>	<b>177</b>



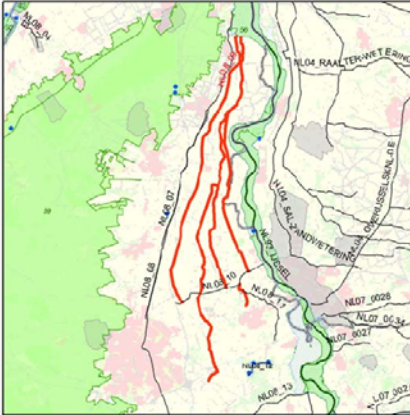
# Bijlage 2

# Voorbeeld factsheet KRW toestand

Factsheet KRW per oppervlaktewaterlichaam

NL08\_09

Basisgegevens	
<b>Naam</b>	Weteringen
<b>Code</b>	NL08_09
<b>Status</b>	Kunstmatig
<b>Type</b>	M3 - Gebufferde (regionale) kanalen
<b>Stroomgebied</b>	Rijn-Midden
<b>Waterbeheergebied</b>	Waterschap Veluwe
<b>Provincie</b>	Gelderland
<b>Gemeente</b>	Apeldoorn, Epe, Heerde, Olst-Wijhe, Voorst



Legenda	
<span style="color: red;">—</span> Geselecteerd waterlichaam	<span style="color: blue;">●</span> Zwemwater
<span style="border: 1px solid red; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Geselecteerd waterlichaam	<span style="border: 1px solid blue; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Provinciegrens
<span style="border: 1px solid black; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Overige waterlichamen	<span style="background-color: #90EE90; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Natura2000 gebied
<span style="background-color: #ADD8E6; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Overige waterlichamen	<span style="background-color: #A9A9A9; display: inline-block; width: 10px; height: 10px;"></span> Grondwaterbeschermingsgebied

### Karakterschets van het waterlichaam

Het waterlichaam Weteringen ligt in de noordelijke IJsselvallei. De weteringen voeren regenwater en kwelwater af uit dit gebied en uit enkele wijken van Apeldoorn. De stroomsnelheid in de weteringen is gering. Via twee gemalen wordt het water afgevoerd naar de IJssel. In droge perioden wordt water ingelaten vanuit de IJssel.

### Onderbouwing van de status "Kunstmatig"

Dit waterlichaam heeft de status kunstmatig omdat het door mensen gegraven is.

### Biologische en algemeen fysisch chemische toestand

De maatlaten zijn gebaseerd op doeltypen M3 (Gebufferde (regionale) kanalen)

Maatlat	Huidige situatie	Verwachting 2015	GEP	Toelichting
Macrofauna (EKR)	0,67	0,60	0,60	G2
Overige waterflora (EKR)	0,37	0,50	0,60	G2
Fytoplankton (EKR)	0,84	0,60	0,60	G2
Vis (EKR)	0,87	0,60	0,60	G2
Totaal fosfaat (zomergemiddelde) (mg P/l)	0,11	0,15	0,15	G2
Totaal stikstof (zomergemiddelde) (mg N/l)	1,68	2,8	2,8	G2
Chloride (zomergemiddelde) (mg Cl/l)	32,6	300	300	G2
Temperatuur (maximum waarde) (°C)	23,4	25	25	G2
Doorzicht (zomergemiddelde) (Meter)	0,89	0,89	0,9	G1
Zuurgraad (zomergemiddelde) (-)	7,88	5,5-8,5	5,5-8,5	G2
Zuurstofverzadiging (zomergemiddelde) (%)	91,7	40-120	40-120	G2

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

In de kolom toelichting zijn codes opgenomen voor de hanteerde methodiek. Voor de betekenis van deze codes wordt verwezen naar de toelichting op de factsheets.

Situatie op 04/11/2009

**Maatregelenoverzicht 2010-2015**

De volgende maatregelen zijn voorzien in het waterlichaam in de periode 2010-2015:

Omschrijving	Omvang	Eenheid	Initiatiefnemer
Natuurvriendelijk onderhoud	6,9	km	Waterschap
Natuurvriendelijke inrichting	6,9	km	Waterschap
Baggeren	102400	m3	Waterschap
Stuw passeerbaar maken	11	stuks	Waterschap

**Onderbouwing van fasering**

Een deel van de doelen zal pas na 2015 worden gehaald omdat niet alle maatregelen voor 2015 worden uitgevoerd en het effect van de uitgevoerde maatregelen niet altijd al in 2015 wordt bereikt.

De volgende maatregelen zullen na 2015 worden uitgevoerd:

Omschrijving	Omvang	Eenheid	Initiatiefnemer
Natuurvriendelijk onderhoud	19,6	km	Waterschap
Verwijderen gecreosoteerde oeverbeschoeiing	0,3	km	Waterschap
Natuurvriendelijke inrichting	12,7	km	Waterschap
Baggeren	42700	m3	Waterschap
Stuw passeerbaar maken	5	stuks	Waterschap

De motiveringsgrond voor het gefaseerd uitvoeren van het maatregelenpakket en het pas later bereiken van de gestelde doelen is hieronder weergegeven:

-onevenredig kostbaar in verband met te hoge lasten

Voor een nadere motivering van de fasering wordt verwezen naar de toelichting op de factsheets. Daarbij zijn voor dit waterlichaam de volgende codes van toepassing: F8.

**Toelichting en literatuurverwijzing**

Gebiedsnota Veluwe 2007; KRW Nota (8 februari 2008)

**Chemische toestand en overige relevante stoffen**

In onderstaande tabel wordt aangegeven welke stoffen bij het beoordelen van de huidige toestand momenteel de norm overschrijden. In het Besluit Kwaliteitseisen en Monitoring Water zijn de normen voor de betreffende stoffen vastgelegd. Stoffen die voldoen aan de norm of waarvoor geen oordeel gevormd kan worden zijn niet opgenomen in deze tabel.

Stofgroep	Normoverschrijding in huidige situatie
Overige relevante verontreinigende stoffen	koper
Overige relevante verontreinigende stoffen	zink

Verwacht wordt dat stoffen die nu niet voldoen aan de norm, ook in 2015 de norm zullen overschrijden. Voor deze stoffen is sprake van fasering. In de inleiding op de factsheets wordt dit nader toegelicht.

*Het waterschap stelt alleen de eigen maatregelen vast als onderdeel van dit plan. De overige onderdelen zijn ter informatie overgenomen uit andere plannen. Voor de status, ecologische doelen en fasering wordt verwezen naar het Provinciale plan; voor maatregelen door derden naar de plannen van deze partijen; voor de overige onderdelen naar het Stroomgebiedbeheerplan.*

# Bijlage 3

# Ecologisch ondersteunende parameters

Tabel 1. Werknormen voor de algemene fysisch-chemische kwaliteitselementen, behorend bij de Goede Ecologische Toestand (GET), voor natuurlijke watertypen. Gedifferentieerd voor rivieren (R-typen), meren (M-typen), overgangs- en kustwateren (O- en K-typen).

	Totaal fosfaat <sup>1</sup> bovengrens, mgP/l	Totaal stikstof <sup>2</sup> bovengrens, mgN/l	Tempe- ratuur maximale dagwaarde <sup>3</sup> , °C	Zuurgraad / pH range, zomerhalfjaar gemiddelde, -	Doorzicht ondergrens, zomerhalfjaar gemiddelde, m	Chloride bovengrens of range (M30), zomerhalfjaar gemiddelde, mg Cl/l	Zuurstof range of ondergrens (O&K), zomerhalfjaar gemiddelde, verzadigings- percentage %
R5: Langzaam stromende middenloop/benedenloop op zand	0,14	4,0	25	5,5 - 8,5	-	150	70 - 120
R6: Langzaam stromend riviertje op zand/klei	0,14	4,0	25	5,5 - 8,5	-	150	70 - 120
R7: Langzaam stromende rivier/veengemaal op zand/klei	0,14	4,0	-	6,0 - 8,5	-	150	70 - 120
R8: Zoet getijdenwater (aflopers rivier) op zand/klei	0,14	4,0	-	6,0 - 8,5	-	300	70 - 120
R10: Langzaam stromende middenloop op kalkhoudende bodem	0,14	4,0	25	6,5 - 8,5	-	150	70 - 120
R12: Langzaam stromende middenloop/benedenloop op veebodem	0,14	4,0	25	4,5 - 6,5	-	150	70 - 120
R14: Snelstromende middenloop/benedenloop op zand	0,14	4,0	25	5,5 - 8,5	-	150	80 - 120
R15: Snelstromend riviertje op kiezelhoudende bodem	0,14	4,0	25	5,5 - 8,5	-	150	80 - 120
R16: Snelstromende rivier/veengemaal op zandbodem of grind	0,14	4,0	21,5	6,0 - 8,5	-	150	80 - 120
R18: Snelstromende middenloop/benedenloop op kalkhoudende bodem	0,14	4,0	25	6,5 - 8,5	-	150	80 - 120
M5: Ondiepe lijevormig water, open verbinding met rivier/ geïnduceerd	0,06-0,10 <sup>2</sup>	1,3-1,5 <sup>2</sup>	25	6,5 - 8,5	0,9	200	60-120
M14: Ondiepe gebufferde plassen	0,08	1,5	25	5,5 - 8,5	0,9	200	60 - 120
M20: Matig grote diepe gebufferde meren	0,03	1,0	25	6,5 - 8,5	1,7	200	60 - 120
M21: Grote diepe gebufferde meren	0,03-0,04 <sup>2</sup>	0,9-1,0 <sup>2</sup>	25	6,5 - 8,5	1,7	200	60 - 120
M23: Grote ondiepe kalkrijke plassen	0,06-0,10 <sup>2</sup>	1,3-1,5 <sup>2</sup>	25	6,5 - 8,5	0,9	200	60 - 120
M27: Matig grote ondiepe laagveenplassen	0,06	1,3	25	5,5 - 7,5	0,9	200	60 - 120
M30: Zwak brakke wateren	0,11	1,8	25	6,0 - 9,0	0,9	300 - 3000	60 - 120
M31: Kleine brakke tot zoute wateren	0,11	1,8	25	7,5 - 9,0	0,9	3000	60 - 120
M32: Grote brakke tot zoute meren	0,11 <sup>3</sup>	1,8 <sup>3</sup>	25	6,5 - 9,0	0,9	10.000	60 - 120
O2: Estuarium met matig getijverschil	0,07 <sup>4</sup>	0,49 <sup>4</sup>	25	-	0,7	-	60
K1: Polyhalien kustwater	0,07 <sup>4</sup>	0,49 <sup>4</sup>	25	-	0,3	-	60
K2: Mesohal polyhalien kustwater	0,07 <sup>4</sup>	0,49 <sup>4</sup>	25	-	0,7	-	60
K3: Euhalien kustwater	0,07 <sup>4</sup>	0,49 <sup>4</sup>	25	-	0,2	-	60

<sup>1</sup>Voor nutriënten in meren en rivieren betreft het een zomer-gemiddelde (apr t/m sep), voor overgangs- en kustwateren een winterperiode (dec t/m feb). Het nutriënt dat in principe groeilimiterend is voor het watertype, is onderstreept.

<sup>2</sup>Dit is een range voor de ondergrens van GET (de grens goed - matig), omdat dit door clustering van andere vergelijkbare typen is verkregen.

<sup>3</sup>Voor dit type is geen aparte norm afgeleid voor nutriënten. Deze waarden kunnen wel als basis dienen voor afleiding GET.

<sup>4</sup>Deze waarden gelden bij een saliniteit van 30‰. Bij een andere saliniteit geldt: N-norm = 2,8 - 0,077\*saliniteit. De P-norm is afgeleid van de N-norm met een N:P verhouding van 8,2. Verder zijn de waarden niet van toepassing op het totaal gehalte, maar op de opgelost: anorganische fractie.





# Bijlage 4

## Methode balansen

### WATERBALANS

#### PERIODE: INTERVAL EN JAAR

- Er wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van bestaande gegevens mits er geen grote veranderingen in het systeem zijn opgetreden. Dit betreft metingen, reeds opgestelde waterbalansen, reeds uitgevoerde modelberekeningen in bijvoorbeeld SOBEK (Fryslan) of Delft3D (Rijnland)
  - Het analyseren van het watersysteem kan op verschillende manieren. De meest geschikte methode is afhankelijk van de:
    - locatie specifieke kenmerken
    - vragen vanuit het waterschap
    - beschikbare informatie van het systeem.
- Waterbalansen worden in eerste instantie opgesteld op basis van kwartalen. Dit sluit aan bij de KRW-verkenner en bij de aanpak in uitspoelingsmodellen zoals Nutricalc, IwanH. Achtergrond hiervan is onder andere dat uitspoelingsvrachten sterk variëren per kwartaal. De keuze voor kwartalen is geen harde keuze. Indien gegevens te beperkt zijn wordt aangeraden om minimaal onderscheid te maken tussen winterhalfjaar (okt-mrt) en zomerhalfjaar (apr-sept). Dit sluit aan bij KRW.
- Voor de locaties die met het nutriëntenscreeningmodel worden doorgerekend, wordt de water- en stoffenbalans op maandbasis vastgesteld, omdat de fluctuatie door het jaar heen dan beter te bepalen is. Indien maandbasis niet mogelijk is i.c.m. het screeningmodel zal dit in het rapport voor de betreffende locatie worden gemotiveerd.
- Afhankelijk van de beschikbaarheid van gegevens wordt een waterbalans gemaakt voor (in voorkeursvolgorde):
  - Gemiddeld. Als alle posten bekend zijn voor een groot aantal jaren kunnen gemiddelden per post berekend worden, waarna vervolgens de hele balans opgesteld worden.
  - Indien niet alle posten bekend zijn of de set gegevens maar voor een beperkt aantal jaren beschikbaar is wordt per jaar een balans opgesteld, vervolgens kan deze balans voor meerdere jaren opgesteld worden.
  - Specifiek jaar
  - Samenraapsel van jaren en gemiddelden
- Op de balansen worden brutoposten vermeld. De basis gegevens mogen een veel hoger detailniveau (bijv. wateraan- en afvoer op dagbasis) hebben dan het niveau waarop de balansen worden bepaald. Dit is afhankelijk van de beschikbaarheid van gegevens.

#### BEGRENZING

Als begrenzing wordt in principe de rand van het waterlichaam gekozen.

Met name voor poldersystemen en kanaalsystemen die wateraan- en afvoer regelen naar een achterliggend gebied zal de keuze van de begrenzing goed overwogen moeten worden. In een dergelijk systeem zal in het winterhalfjaar de waterafvoer belangrijker zijn dan in het zomerhalfjaar. Soms kunnen de stromingsrichtingen zelfs omkeren. Het is lastig om een dergelijk waterlichaam los te beschouwen van

de sloten of kanalen waarnaar/waarvan het water afvoert. Vaak zijn de inlaten en de uitlaten onbekend. Wanneer inlaten en uitlaten onbekend zijn kan overwogen worden om de waterbalans op een ander schaalniveau op te stellen. Bijvoorbeeld voor alle waterlopen in een bepaalde afwateringseenheid. Voordeel hiervan kan zijn dat op deze schaal de aan- en afvoerposten beter ingeschat kunnen worden en het hele systeem beter begrepen wordt. Ook kan er op deze manier beter onderscheid gemaakt worden tussen gebiedseigen en gebiedsvreemd water. Nadeel van een dergelijke aanpak is dat de situatie in het waterlichaam zelf minder goed bekend is. Een voorbeeld van een dergelijke aanpak is toegepast in de WSA van rivierenland. Door middel van kaartbeelden van water- en waterbodemkwaliteit is hier toch inzicht gegeven in de waterkwaliteit en waterbodemkwaliteit op een kleiner schaalniveau. De keuze van de begrenzing moet optimaal gekozen worden voor zowel de water- als stoffenbalans.

## BEOORDELING VAN DE BETROUWBAARHEID

Bij de classificatie van de kwaliteit van de informatie wordt zoveel mogelijk aangesloten bij de werkwijze die in de publicatiereeks Emissieregistratie wordt aangehouden [Van de Most, 1998]. Deze werkwijze is gebaseerd op de methodiek van CORINAIR (CORemissionInventories 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.

## EENHEDEN

De waterbalans wordt zowel in mm als in m<sup>3</sup> per tijdseenheid (afhankelijk hoe de balans wordt opgesteld) weergegeven. Bij voorkeur wordt ook aangegeven welk % de post bijdraagt aan de aan- of afvoer van water.

## NEERSLAG EN VERDAMPING

Afhankelijk van de temporele resolutie van de balans is het mogelijk o.b.v. van onderstaande methoden neerslag en verdamping voor een specifiek jaar te berekenen of een gemiddelde te berekenen voor een langere periode

- Neerslag en verdamping uit een bestaand model van het balans gebied gebruiken.
- Neerslag en referentiegewasverdamping bepalen o.b.v. dichtstbijzijnde KNMI stations.
- Voor gemiddelde jaren op een gemiddelde locatie in Nederland zijn neerslag en verdampingsgetallen in mm/jaar berekend (tabel 1). Indien neerslag en verdamping niet een heel belangrijk aandeel hebben in de totale balans kan gebruik gemaakt worden van deze.
- De referentiegewas verdamping moet vervolgens omgezet worden naar openwater verdamping. Hiervoor zijn verschillende methoden mogelijk:
  - Als verdamping een belangrijk post is (vooral bij meren) kan gebruikt gemaakt worden van De Bruijn en Keijman ([http://www.stowa.nl/Uploads/publicaties/Rapport%202009-11\\_LR.pdf](http://www.stowa.nl/Uploads/publicaties/Rapport%202009-11_LR.pdf) 5).
  - verdamping cf open waterverdamping Penman-Monteith (zie Droogers, 2009).
  - In het geval van een relatief klein aandeel van verdamping op de totale balans kan de makkink factor voor openwaterverdamping gebruikt worden (cultuurtechnisch vademecum: factor 1.25)

naam	neerslag	verdamping*
eenheid	mm/maand	mm/maand
jan	71	15
feb	73	9
mrt	63	23
apr	41	55
mei	65	92
jun	56	106
jul	100	123
aug	89	116
sep	73	83
okt	77	54
nov	82	34
dec	72	15

**Tabel 1:** Gemiddelden neerslag en verdamping in NL

#### KWEL / WEGZIJGING

- Bepalen o.b.v. van bestaande kaarten / modellen van de locatie
- Wateratlas van een provincie
- Op basis van het NHI, het betreffende waterschap moet deze gegevens dan wel beschikbaar hebben
- Schatting van het waterschap
- Als restpost mits de overige posten en het waterpeil goed bekend zijn.

#### INFILTRATIE / DRAINAGE

- Bepalen o.b.v. van bestaande modellen van de locatie
- Op basis van het NHI, het betreffende waterschap moet deze gegevens dan wel beschikbaar hebben (niet heel betrouwbaar)
- Schatting van het waterschap
- Als restpost mits de overige posten en het waterpeil goed bekend zijn.

#### INLAAT EN UITLAAT VANUIT AANLIGGEND OPPERVLAKTEWATER

- Meetgegevens (debieten x draaiuren x capaciteit) van kunstwerken
- Een inschatting door het waterschap
- Respost indien de overige posten goed bekend zijn

#### BERGING

Berging

Indien het peilbeheer van het watersysteem goed wordt gemonitord in dezelfde frequentie als de overige waterbalansposten.

## SLUITEN VAN DE BALANS

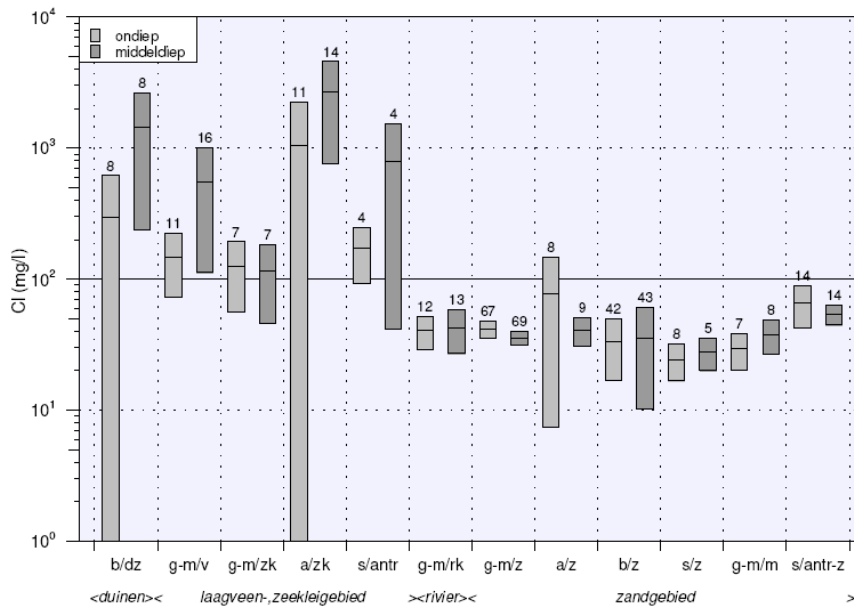
Het zal vaak voorkomen dat de waterbalans wordt geschat op basis van meerdere onzekere posten. Met behulp van chlorideconcentraties kan de waterbalans gecheckt worden. Het is dan wel nodig om de concentraties in de aanvoerstromen te kennen. Regenwater bevat 3 mg Cl/L. Voor grondwater kan (indien er geen metingen zijn) aangenomen worden dat de chlorideconcentratie 40 mg Cl/L bevat in zandgebieden, 150 mg/L in rivierkleigebieden en 250 mg/L in zeeklei/veengebieden (zie ook figuur 1).

Het karakter van geïsoleerde systemen (vennen, plassen) die voornamelijk door grond- en regenwater gevoed kan worden bepaald met zogenaamde EGV-IR-diagrammen (zie figuur 2). De plek van het oppervlaktewater in het diagram kan worden bepaald door de ionenratio (IR) te berekenen volgens:

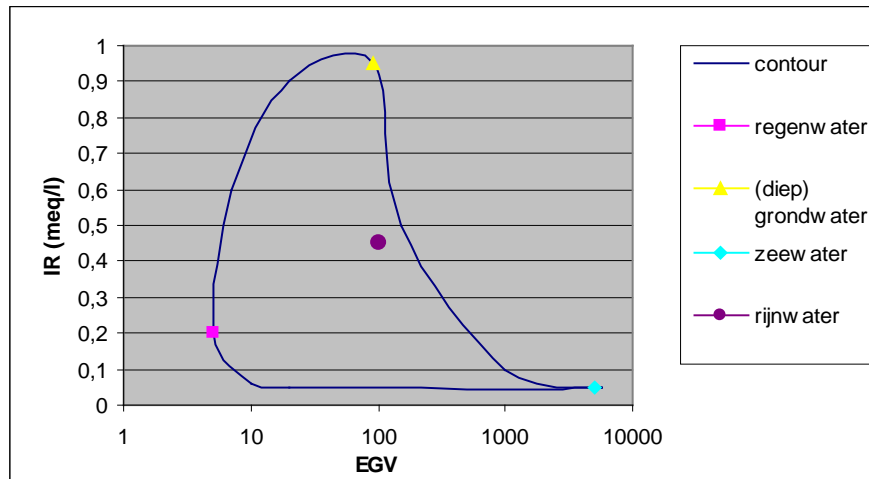
$IR \text{ (meq/L)} = \frac{[\frac{1}{2}Ca^{2+}]}{([\frac{1}{2}Ca^{2+}] + [Cl])}$  (met Ca en Cl in mmol/L) ofwel:

$IR \text{ (meq/L)} = \frac{40 \times [\frac{1}{2}Ca^{2+}]}{40 \times [\frac{1}{2}Ca^{2+}] + 35 \times [Cl]}$  (met Ca en Cl in mg/L)

De EGV wordt meestal regulier gemeten.



Figuur 1: ron:RIVM-rapport 680721005)



Figuur 2: EVG-IR diagram

## STOFFENBALANS

Op basis van de waterbalans wordt de stoffenbalans opgesteld. Het is daarbij van belang of de problemen gerelateerd zijn aan totaal P of aan opgelost P. Voor totale concentratie P in oppervlaktewater (zo is de KRW-norm gedefinieerd) is de rol van zwevend stof vaak van groot belang. Het transport van P naar de boezem of benedenstrooms water wordt vaak gedomineerd door het transport van zwevend stof (opgewervelde waterbodem) en niet door flux van opgelost P uit de waterbodem

Baggernut is vooral gericht op P, omdat N-rijke waterbodem zich in het algemeen snel 'aanpast' aan de externe belasting. Voor het functioneren van het ecosysteem is N echter wel van groot belang. Een reductie van P-belasting kan zijn effect volledig missen als het systeem (mede) gelimiteerd wordt door stikstof, koolstof of silicium. Uit data van de Nederlandse meren blijkt dat de N:P-ratio sterk verandert tijdens de seizoenen, doordat stikstofconcentraties in de winter hoog, en in de zomer lager zijn. De verhoudingen liggen over het algemeen boven de 30 en zijn dus indicatief voor P-limitatie, behalve in Noord-Holland, waar ze gemiddeld tussen de 10 en de 20 schommelen. Loeb en Verdonschot (2008). Een ratio van 30 indiceert P-limitatie, maar dat hoeft zeker niet voor alle organismen het geval te zijn. N meenemen behalve als het een te grote extra inspanning is.

De methode voor de stoffenbalans hangt samen met de gekozen methode voor de waterbalans (zie boven).

## EENHEDEN

De stoffenbalans wordt zowel in kg P en N als in g/m<sup>2</sup> per tijdseenheid (afhankelijk hoe de balans wordt opgesteld) weergegeven. Bij voorkeur wordt ook aangegevens welk % de post bijdraagt aan de aan- of afvoer van stoffen.

## INLAAT / UITLAAT

1) inlaat via gemalen:

Inlaat via gemalen is een duidelijk gedefinieerde waterstroom met een duidelijke richting (al kan dat verschillen tussen per seizoen):

- De belasting wordt gebaseerd op de totale concentratie in het inkomende of uitgaande water. De concentratie N-tot is gebaseerd op de som van N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub> en N-organisch. N Kjeldahl bestaat uit NH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub> en Norganisch. De concentratie P-tot is gebaseerd op PO<sub>4</sub>, P-mineralen in zwevend stof en organisch P..
- Voor inlaatwater is het nodig dat gegevens van hH3et ingelaten water nabij het gemaal beschikbaar zijn; voor uitgaand water wordt de kwaliteit van de Baggernut-locatie zelf genomen. Er wordt een gemiddelde kwaliteit (per kwartaal/maand) genomen over maximaal de laatste 10 jaar, tenzij er een duidelijke trend is. Dan wordt gemiddeld over recente jaren die een (redelijk) stabiel beeld geven.
- Soms is er geen kwaliteit bij het inlaatpunt bekend maar wel een beeld van de waterkwaliteit in bijvoorbeeld een bepaalde polder. Zeker als er weinig locatiespecifieke gegevens zijn, kan algemene kwaliteit betrouwbaarder zijn. Voor de WSA in Fryslan is voor inlaatwater uit polders gekozen om gebruik te maken van de algemene waterkwaliteit in deze polders.
- De belasting wordt verkregen door:

$$Belasting_x = \frac{Q_{water,x} \times C_{stof,x}}{oppervlak}$$

Waarin:

- P = de belasting via bron x (g/m<sup>2</sup>/kwartaal)  
 Q = debiet via bron x (m<sup>3</sup>/kwartaal)  
 C = totale concentratie  
 Oppervlak = het oppervlak van het water (m<sup>2</sup>)

## 2) inlaat via vrije in- en uitstroom

Vrije in en uitstroom van water is niet altijd makkelijk te kwantificeren, vooral in systemen met een redelijke verblijftijd, waar sprake is van 'heen en weer' stromen ten gevolge van bijvoorbeeld wind. Bovendien kunnen (cumulatief) grote volumes uitstromen en weer instromen, hetgeen een theoretisch korte verblijftijd geeft in het betreffende deel van het systeem (bijv. Kleinvogelenzang in Reeuwijkseplassen). Uitgangspunt is echter dat dezelfde aanpak wordt gebruikt als voor gemalen.

- De belasting wordt gebaseerd op de totale concentratie in het inkomende of uitgaande water. De concentratie N-tot is gebaseerd op de som van N-NH<sub>4</sub>, N-NO<sub>3</sub>, N-NO<sub>2</sub> en N-organisch. De concentratie P-tot is gebaseerd op PO<sub>4</sub>, P-mineralen in zwevend stof en organisch P..
- Voor inlaatwater is het nodig dat gegevens van het instromende water beschikbaar zijn; voor uitgaand water wordt de kwaliteit van de Baggernut-locatie zelf genomen. Er wordt een gemiddelde kwaliteit (per kwartaal/maand) genomen over maximaal de laatste 10 jaar, tenzij er een duidelijke trend is. Dan wordt gemiddeld over een aantal jaren dat (redelijk) stabiel is.
- De belasting wordt verkregen door de concentratie in het inlaatwater te vermenigvuldigen met het watervolume.

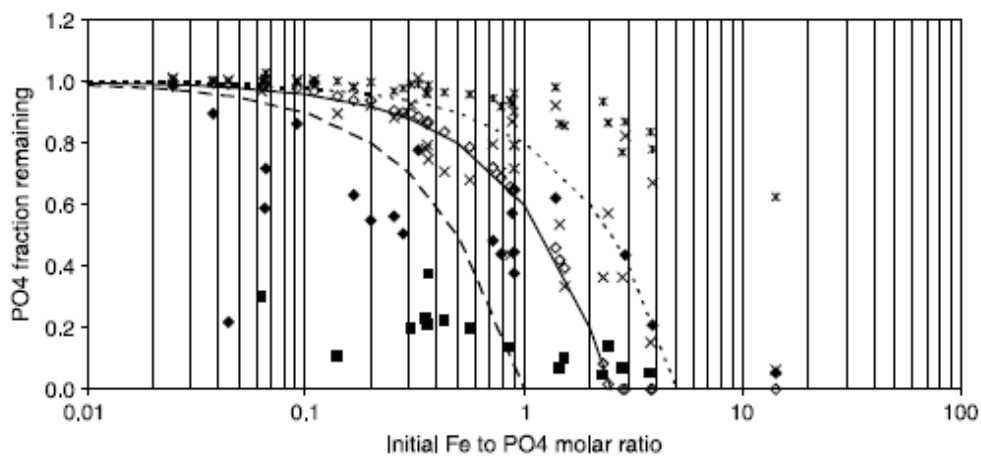
## NEERSLAG

Er kan worden gerekend met de volgende concentraties N en P in neerslag: 0,0024 mg N /l en 0,000057 mg P/l. (Stolk, 2001). Deze kan met behulp van de berekende hoeveelheid neerslag omgerekend worden naar een belasting in g/m<sup>2</sup>.

### KWEL / WEGZIJGING:

Indien concentraties in het grondwater bekend zijn, is het aan te raden deze te gebruiken. Indien de waterbeheerder geen grondwatergegevens kan verstrekken kan in DINO gezocht worden naar representatieve peilbuizen met kwaliteitsgegevens in de buurt.

Indien mogelijk dienen zowel Fe als P-concentraties gebruikt te worden. Onderzoek bij het oxideren van anaeroob grondwater geven aan dat Fe(II) wordt omgezet in Fe(III)-oxiden en dat het P daaraan bindt. Figuur 3 geeft dat kwantitatief weer. Er kan een inschatting worden gemaakt hoeveel van het P in grondwater in oplossing blijft (remaining PO<sub>4</sub>-fraction).



Figuur 3:

### LANDBOUW EN NATUUR (UITSPOELING):

Voor het berekenen van de uitspoeling is er gebruikgemaakt van kentallen specifiek voor bodemtypen klei, zand en veen in combinatie met landgebruik (zie bijlage 6). De uitspoeling kan gekoppeld worden aan het areaal van de diverse combinaties. Deze uitspoeling kan toegekend worden aan het drainagewater. Afhankelijk van de gekozen begrenzing van het watersysteem is drainage en de bijbehorende uitspoeling vanuit landbouw en natuur een groter of kleiner onderdeel van de stoffenbalans. Uitspoeling vanuit landbouw en natuur kan ook verwerkt zitten in de term inlaat (zie boven).

### DEPOSITIE

### NALEVERING

### OVERIG (VOGELS, BLAD, VISSERS, HONDEN??)

## INTERNE EN EXTERNE EN KRITISCHE BELASTING

Een grote uitdaging van dit project is dat de interne belasting goed wordt gekwantificeerd. Behalve met naleveringsexperimenten kan dat ook op basis van watersysteemkennis. In de watersysteemanalyse worden verschillende methoden gebruikt. Van complex naar eenvoudige zijn dat:

- het nutriëntenscreeningmodel
- PCLAKE
- Adhv nalevering vanuit adsorptiesites (schudexperimenten)
- Op basis van meetdata: totaalgehalten, beschikbaarheidsmetingen van P, Fe en Al, in oxalaat-extract en adsorptieconstanten (hier raakt de wsa aan de Quick Scan, hoewel de wsa beperkt blijft tot eenvoudige extracties)
- Theoretische relaties vanuit de literatuur
- Evenwichtsbenadering (Vollenweider, 1976; Schippers et al, 2006)
- Empirische relaties (o.a. \ Boers & van der Molen (1992, 1993, 1994), De Deckere et al, (1994).
- restpost op de water- en stoffenbalans (zie 3)

Aan het einde van onderdeel 3 is zowel de interne als de externe belasting duidelijk. Het aanpakken van de waterbodem is alleen effectief als de interne belasting relatief groot is ten opzichte van de externe belasting. Met andere woorden: de externe belasting is gereduceerd, maar de interne belasting is nog steeds hoog.

De externe belasting is in de meeste systemen de bepalende factor. Het is dus van groot belang om te weten hoeveel nutriënten het systeem inkomen via: natte en droge depositie, instromend oppervlaktewater, af- en uitspoeling van de bodem, puntlozingen, etc. De basis voor het grootste deel van de nutriëntenstromen wordt gevormd door de waterstromen. Het is voor goede beoordeling van groot belang om de waterbalans op orde te hebben en de daaraan gekoppelde stofstromen.

De externe belasting wordt berekend op basis van bestaande informatie van de waterbeheerder. In de reeds verspreide spreadsheet wordt alle informatie gevraagd die de externe belasting bepaalt. Idealiter wordt de spreadsheet volledig ingevuld geretourneerd.



# Bijlage 5

## Kentallen uitspoeling nutriënten

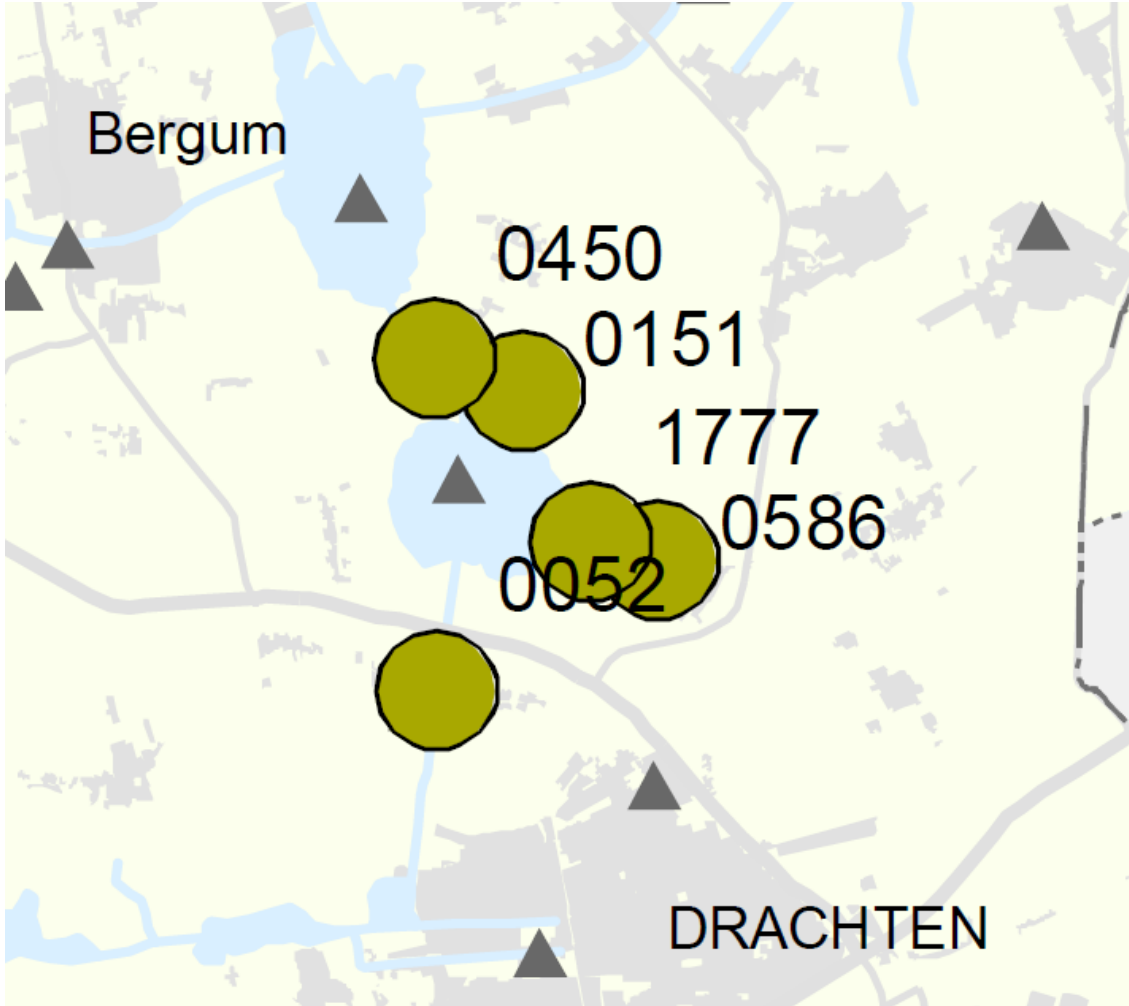
Bron: waterschap rivierenland

Landgebruik	Bodem	N (kg/ ha/jaar)	P (kg/ ha/jaar)
grasland	klei	25	1
mais	klei	50	1
aardappelen	klei	50	1
tarwe/graaan	klei	30	0,5
akkerbouw overig	klei	40	0,9
fruitteelt	klei	25	0,5
kale grond	klei	5	0,1
bos	klei	5	0,1
natuur	klei	5	0,1
grasland	zand	40	1.2
mais	zand	100	1.7
aardappelen	zand	80	1.5
tarwe/graaan	zand	50	0,8
akkerbouw overig	zand	60	1
fruitteelt	zand	50	0,5
kale grond	zand	4	0,1
bos	zand	3	0,1
natuur	zand	3	0,1
grasland	veen	34	2.5
mais	veen	44	2.7
aardappelen	veen	44	2.7
tarwe/graaan	veen	44	2.7
akkerbouw overig	veen	44	2.7
fruitteelt	veen	44	2.7
kale grond	veen	15	1.5
bos	veen	15	1.5
natuur	veen	15	1.5



## Bijlage 6

## Ligging polderwaterkwaliteitsmeetpunten



Afkomstig van Wetterskip Fryslan



## Bijlage 7 Literatuur

Bijkerk, W., W. Altenburg & T. Claassen (2004): Water- en oeverplanten in de Leijen: inventarisatie van macrofyten in 2003. Rapport 436. Altenburg & Wymenga, Veenwouden.

De la Haye, M., H. van Dam, E. van de Pouw Kraan en D. Tempelman (2010): "De ecologische toestand van de Leijen; De resultaten van 10 jaar maatregelen en monitoring", Grontmij rapport 295932-01.

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.

Grontmij (1997): "Specifiek ecologisch beheersprogramma de Leijen (uitwerking van plan Friese boezemmeren)", Grontmij rapport. 03 02931.

Hoogheemraadschap van Rijnland, 2006. Systeemanalyse Reeuwijkse Plassen. Rapport.

Janssen, F.B. en J.E. Meijer (1993): "Ecohydrologisch onderzoek rond Burgumermar en de Leijen", Landinrichtingsdienst Friesland, Afdeling Ontwikkeling en Evaluatie, Leeuwarden, aantal pagina's onbekend.

Loeb, R. & Verdonschot, 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.

Mateman en Jansink (2002): Uitvoeringsplan de Leijen fase IV. Tauw bv. Regio Noord, Assen.

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

Ouboter, M. R. L en R.J. Vos (1998): "Screening doorzicht Friese Boezem; leidt verdere emissiereductie tot meer doorzicht?", WL | delft hydraulics rapport T2275.

Stolk AP. (2001). Landelijk meetnet regenwatersamenstelling, meetresultaten 2000. RIVM rapport 723101 057/2001.

Smits, J. en J. van Beek (2009): "Ontwikkeling screeningsmodel eutrofiëring; fase 1: formulering en kalibratie", Deltares rapport 1200235-008-ZWS-0001.

Smolders, A, E. Brouwer, L. Lamers, 2004. Waterberging in Broekvelden/Vettenbroek (Reeuwijkse Plassen). Rapport B-Ware, Nijmegen.



# Colofon

## BAGGERNUT, WATERSYSTEEMANALYSE & SLIBDIAGNOSE VOOR DE LEIJEN

### **OPDRACHTGEVER:**

Wetterskip Fryslan

### **STATUS:**

Definitief

### **AUTEUR:**

L. Osté (Deltares)  
V. Harezlak (Deltares)  
M. Bloemerts

### **GECONTROLEERD DOOR:**

L. Osté (Deltares)

### **VRIJGEGEVEN DOOR:**

Sophie Boland

15 november 2012  
076432584076432584:A

ARCADIS EUROPE BV  
Nieuwe Stationsstraat 10  
Postbus 33  
6800 LE Arnhem  
Tel +31 26 3778 337  
Fax +31 26 4427 900  
[www.arcadis-global.com](http://www.arcadis-global.com)  
Handelsregister 09071363

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