

PCLAKE STUDIE PATERSWOLDSEMEER

Onderzoek naar de mogelijkheden voor bronnenreductie en
het vergroten van de veerkracht

Waterschap Noorderzijlvest

15 MEI 2020



Contactpersonen

BART-JAN VREMAN
Adviseur Waterkwaliteit &
Ecologie

M +31 611916702
E bartjan.vreman@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland

ARJAN SCHENKEL
Projectmanager

M +31 646021504
E arjan.schenke@arcadis.com

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 63
9400 AB Assen
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doelstelling	5
1.3	Leeswijzer	5
2	SITUATIEBESCHRIJVING	6
2.1	Ecologische toestand van het Paterswoldsemeer	6
2.1.1	De toestand	6
2.1.2	De water- en stoffenbalans	9
2.1.3	Bronnenreductie – scenario's	12
2.2	Waterplanten: het vergroten van de veerkracht	13
2.2.1	De rol van waterplanten	13
2.2.2	Vergroten veerkracht – scenario's	14
3	METHODIEK	16
3.1	Werking PCLake	16
3.2	Gebruikte onderzoeken	17
3.3	Parameters	17
3.4	Modelberekeningen	18
3.5	Validatie	19
4	ONDERZOEKSRESULTATEN	21
4.1	Veerkracht huidige situatie	21
4.2	Bronnenreductie huidige situatie	22
4.3	Veerkracht scenario's	23
4.3.1	Scenario 1 – 5 hectare	24
4.3.2	Scenario 2 – 25 hectare	25
4.3.3	Scenario 3 – het optimum	26
4.3.4	Effect maatregelen samengevat	27
4.4	Lange termijneffecten	28
4.4.1	Totaal-P en chlorofyl-a	29
4.4.2	Waterplanten	30

4.4.3	Klimaatverandering	31
5	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	33
	LITERATUUR	35
	BIJLAGEN	
	BIJLAGE A POSTEN WATER- EN STOFFENBALANS	36
	BIJLAGE B KLIMAATVERANDERING – INVLOED WEER EXTREMEN	38
	COLOFON	40

1 INLEIDING

Dit hoofdstuk beschrijft de aanleiding van het PCLake onderzoek voor het Paterswoldsemeer.

1.1 Aanleiding

Voor het Paterswoldsemeer is er een onderzoek uitgevoerd naar de fosfaaddynamiek en de rol van waterplanten hierop. Het Paterswoldsemeer kampt met blauwalgen problemen en om de KRW-doelen te halen, worden verschillende maatregelen onderzocht voor het effect op het watersysteem. Een deel van de maatregelen bestaat uit het terugbrengen van de fosfaatbelasting op het meer door middel van het aanbrengen van zuiveringen en het wijzigen van het aanvoerwater via de Drentsche Aa in plaats van het Noord-Willemskanaal. Het andere deel van de maatregelen bestaat uit het aanbrengen van vegetatie in en rondom het meer, bijvoorbeeld met een natuurvriendelijke oever of moeraszone (lees natuurvriendelijke zone). Het effect van de watervegetatie, maar ook de reductie van de bronnen zal in dit compacte rapport worden besproken. Er worden diverse scenario's doorgerekend met het PCLake model, een wetenschappelijk ecologisch model voor het voorspellen van een gezonde ecologische toestand van een meer of plas.

1.2 Doelstelling

Vegetatie in meren speelt een cruciale rol in het halen van de KRW-doelstellingen voor vis, macrofauna, fytoplankton en vegetatie zelf. Het hoofddoel van het onderzoek is dan ook om vast te stellen hoeveel moerasvegetatie (vanaf nu natuurvriendelijke zones) in en rondom het meer nodig is om de ecologische kwaliteit van het Paterswoldsemeer permanent te verbeteren.

Een aantal nevendoelen zijn o.a. het vaststellen van:

- Bepalen belangrijkste draaiknoppen voor bronnenreductie.
- De omslagpunten van troebel naar helder en helder naar troebel met PCLake in de huidige situatie.
- Het benodigde areaal vegetatie in hectares bij de huidige fosfaatbelasting om de veerkracht van het systeem te vergroten waarbij het systeem permanent helder wordt.
- Het optimum met minimaal benodigd areaal in combinatie met reductie van de fosfaatbronnen.
- De verwachte vegetatiebedekking bij de realisatie van extra areaal aan natuurvriendelijke zones.

Met betrekking tot het laatste (neven)doel. Vegetatie speelt niet alleen een belangrijke rol in de ecologische kwaliteit van het Paterswoldsemeer, maar ook de recreatiesector is geïnteresseerd in de ontwikkelingen in verband met doorvaarbaarheid, hinder bij zwemmen, etc. Voorliggend onderzoek gaat overigens niet in op de randvoorwaarden die zijn gesteld vanuit deze sector. Er vindt dus geen maatschappelijke afweging plaats tussen wat er voor de ecologie nodig is en wat aanvaardbaar is voor deze sector qua vegetatieontwikkeling.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 gaat in op de verschillende scenario's voor bronnenreductie en het vergroten van de veerkracht van het systeem. Aan de orde komen de belangrijkste draaiknoppen voor bronnenreductie en de uitdagingen als het gaat om het vergroten van het areaal natuurvriendelijke zones. Voor het berekenen van de verschillende scenario's voor het vergroten van de veerkracht wordt het wetenschappelijke PCLake model gebruikt. De werking van dit model (methodiek) wordt beschreven in hoofdstuk 3. Daarnaast wordt in voorliggende studie gebruikt gemaakt van diverse onderzoeken en modellen. Deze worden niet in detail beschreven, maar een kleine greep met beknopte beschrijving van de gebruikte bronnen is opgenomen in hoofdstuk 3.

In hoofdstuk 4 worden vervolgens alle resultaten op een rij gezet. Enerzijds welke vooruitgang in de ecologische toestand kan worden bereikt door bronnenreductie, anderzijds door het inzetten op meer natuurvriendelijke zones. Daarnaast is ook een optimum berekend waarin rekening is gehouden met beide mogelijkheden. Voorliggende rapportage wordt in hoofdstuk 5 afgesloten met de conclusies, met hierin ook enkele aanbevelingen voor vervolgonderzoek en verdere optimalisatie van het PCLake model.

2 SITUATIEBESCHRIJVING

Dit hoofdstuk beschrijft de ecologische situatie van het Paterswoldsemeer met hierin een aantal uitgewerkte scenario's met enerzijds de mogelijkheid om de P-belasting op het watersysteem te reduceren en anderzijds de veerkracht van het systeem te vergroten.

2.1 Ecologische toestand van het Paterswoldsemeer

Het verlagen van de P-belasting kan bereikt worden door de belangrijkste bronnen aan te pakken. In deze paragraaf wordt ingezoomd op de rol van nutriënten (m.n. fosfor) in het ecologisch functioneren van het Paterswoldsemeer. Eerst volgt een kort stukje theorie over de ecologische toestand van het meer en de nut en noodzaak voor het berekenen van omslagpunten voor troebel naar helder water en vice versa. Vervolgens wordt ingezoomd op de water- en stoffenbalans en als derde komt aan de orde aan welke knoppen gedraaid kunnen worden.

2.1.1 De toestand

In voorliggende beschrijving wordt met enige regelmaat verwezen naar de STOWA-rapporten "Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie" (STOWA, 2017a) en "Stappenplan Waterplantenoverlast" (STOWA, 2017b).

Belangrijke aanleiding om de ecologische knelpunten van het Paterswoldsemeer te onderzoeken, is dat het meer op dit moment niet voldoet aan de gestelde doelen vanuit de KRW, vooral de biologische kwaliteitselementen macrofauna, overige waterflora, vis en fytoplankton voldoen niet aan de gewenste ecologische toestand oftewel het GEP (bron: KRW factsheet). Voorwaarde vanuit de KRW is dat gestelde doelen uiterlijk in 2027 behaald moeten zijn.

Waterplanten spelen een belangrijke rol in het behoud en het herstel van een goede ecologische waterkwaliteit en daarmee ook op de overige drie kwaliteitselementen macrofauna, vis en fytoplankton. Dat fytoplankton niet voldoet kan duiden op ongewenst bloeien van blauwalgen in de zomer, dit beeld wordt bevestigd door het verminderde doorzicht. Wanneer er onvoldoende waterplanten aanwezig zijn, nemen andere organismen zoals blauwalgen de beschikbare nutriënten op, waardoor het water troebel blijft. Wanneer er onvoldoende waterplanten aanwezig zijn, hebben andere parameters zoals vis en macrofauna onvoldoende paai-, opgroei- en foerageergebied. Het systeem is homogeen en er zijn weinig bijzondere (lees gewenste) soorten te verwachten.

Biologie	GEP	Toestand			Doel- bereik 2027
		2009	2015	2019	
Macrofauna (EKR)	≥ 0,45	+			
Overige waterflora (EKR)	≥ 0,20	+	A		
Vis (EKR)	≥ 0,50	+	A		
Fytoplankton (EKR)	≥ 0,60	+			
Algemeen fysische chemie					
Fosfor totaal (zgm) (mg P/l)	≤ 0,09				
Stikstof totaal (zgm) (mg N/l)	≤ 1,30				
DIN (winterperiode) (mg N/l)	NVT	NVT	NVT	NVT	NVT
Zoutgehalte (zgm) (mg Cl/l)	≤ 200				
Temperatuur (max. waarde) (gr.C)	≤ 25,0				
Zuurgraad (zgm) (-)	7,5 - 8,5				
Zuurstofverzadiging(sgraad)(zgm) (%)	60 - 120				
Doorzicht (zgm) (m)	≥ 0,90		A		

Figuur 1: Overzicht ecologische toestand Paterswoldsemeer (KRW type M27) eind 2019

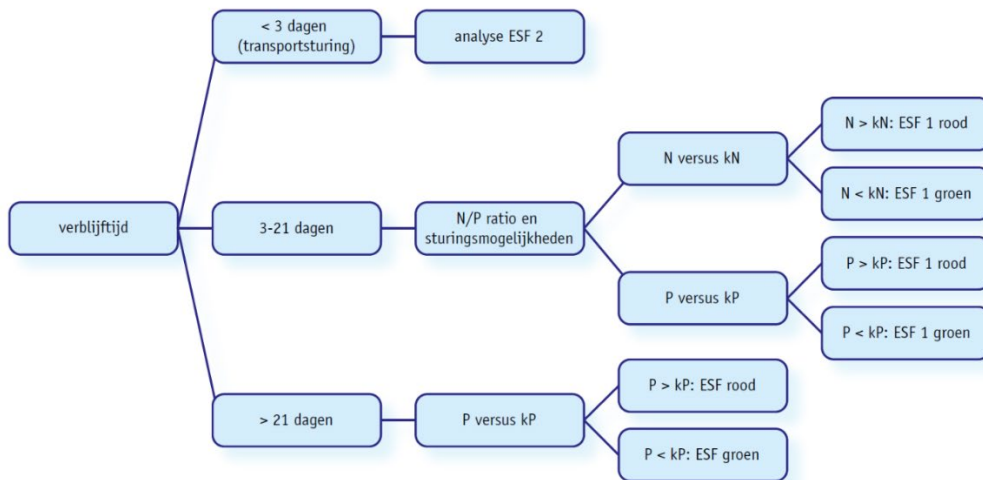
Op dit moment komen waterplanten niet of nauwelijks tot ontwikkeling en heeft het systeem in de zomer vaak te maken met blauwalgen. Daarom is een watersysteemanalyse uitgevoerd om de werking van het systeem in de vingers te krijgen (Arcadis, 2019). Uit deze watersysteemanalyse voor het Paterswoldsemeer volgt een vergelijkbaar beeld waaruit blijkt dat op dit moment de meeste ecologische sleutelfactoren (ESF) niet voldoen aan de gestelde doelen (Arcadis, 2019).

Uit de analyse komen de volgende bevindingen naar voren:

- **ESF1:** Ondanks dat de nutriëntenconcentraties vanuit de KRW op orde zijn, blijkt uit de systeemanalyse dat de productiviteit van het water te hoog is. Uit een eerste verkenning blijkt dat er nog te veel voedingsstoffen in het water zitten waardoor blauwalgen de concurrentiestrijd winnen van waterplanten. De nutriëntenconcentraties moeten dus nog verder omlaag dan dat de KRW voorschrijft. De huidige belasting ligt namelijk hoger dan de kritische belasting, meer hierover verderop in deze paragraaf. Nadat watervlooiën in het voorjaar het Paterswoldsemeer nog redelijk helder kunnen houden door foerage op bijvoorbeeld groenalgen, gaan ze dood wanneer alle groenalgen zijn opgegeten. Doordat waterplanten niet in staat zijn om van deze tijdelijke heldere toestand te profiteren en blauwalgen wel wordt het water in de zomer gedomineerd door blauwalgen.
- **ESF2:** Het lichtklimaat, met andere woorden de diepte tot waarop het licht doordringt tot aan de bodem, is onvoldoende. Het lichtklimaat wordt beperkt door 1) blauwalgenbloeien en 2) door de grote strijklengte van het meer waardoor turbulentie optreedt en slibdeeltjes in suspensie komen en gaan zweven in de waterkolom. Onderwaterplanten komen hierdoor niet of nauwelijks tot ontwikkeling.
- **ESF3:** Er ligt slib op de bodem en er bestaat kans op nalevering van fosfaat. Wanneer het water in de toekomst helderder wordt bestaat er kans op woekering van waterplanten.
- **ESF4:** Het habitat is niet op orde voor de verschillende biologische parameters doordat er te veel slib aanwezig is, de oevers onnatuurlijk zijn ingericht en er überhaupt weinig vegetatie aanwezig is. Daarnaast is het peilbeheer onnatuurlijk wat er voor zorgt dat waterplanten op de oevers (en moerassen) moeilijk tot ontwikkeling komen.
- **ESF5:** Er zijn in de toekomst geen belemmeringen voor vismigratie (er wordt een vispassage gerealiseerd bij de Meerschapsstuw) en ook zijn voldoende doelsoorten van macrofauna en waterplanten in de directe omgeving aanwezig om het Paterswoldsemeer te koloniseren.
- **ESF6:** Er zijn niet veel waterplanten aanwezig, maaien is niet of nauwelijks nodig. Wel zijn er relatief veel bodemwoelende vissen aanwezig, maar dit is minder dan 30 kg per hectare.
- **ESF7 en 8:** Organische belasting (run-off, overstorten, etc.) en toxiciteit spelen niet of nauwelijks een rol in de ecologische toestand van het Paterswoldsemeer.

Uit de watersysteemanalyse blijkt dat de productiviteit van het water oftewel de P-belasting te hoog is. Hierdoor is het water onder meer troebel door blauwalgenbloeien. Om het Paterswoldsemeer weer helder te krijgen, moet de productiviteit van het water omlaag. Om te onderzoeken hoe dit moet, wordt onderzoek gedaan naar drie onderdelen, te weten:

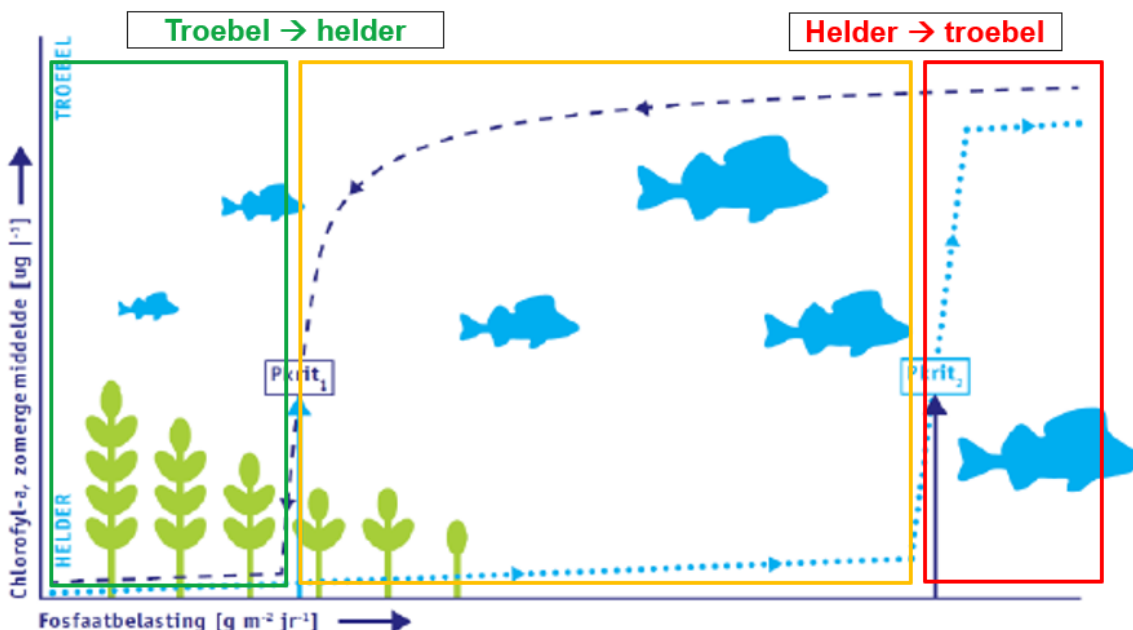
- De huidige verblijftijd van het water: is het systeem transport- of verblijftijd gestuurd. Is het water langer dan 21 dagen in het systeem dan is het watersysteem P-gelimiteerd en dient er onderzoek gedaan te worden naar de huidige P-belasting en de kritische P-belasting.
- De huidige P-belasting, uitgedrukt in mg P/m² per dag, is de belasting van alle fosforbronnen bij elkaar opgeteld. Is deze hoger dan de kritische P-belasting dan wordt het watersysteem door blauwalgen gedomineerd en is het systeem in de zomer troebel.
- De kritische P-belasting, oftewel de kP, is de belasting waarbij een waterlichaam in theorie nog helder blijft. De kritische belasting wordt berekend met behulp van het wetenschappelijke model PCLake voor meren of PCDitch voor kanalen en sloten. Voor een meer als het Paterswoldsemeer wordt PCLake gebruikt. PCLake geeft als uitkomst een tweetal kritische belastingen, dit zijn de belastingen die horen bij de overgang tussen 1) een helder naar een troebel systeem en 2) een troebel naar een helder systeem.



Figuur 2: Beslisschema voor ESF 1 "Productiviteit Water", waarin kN is de kritische N-belasting en kP is de kritische P-belasting. (STOWA, 2015)

Voor een visualisatie van deze omslagpunten zie Figuur 3. Wanneer een watersysteem zowel in de winter als in de zomer in een heldere toestand verkeerd wordt gekeken naar de kritische bovengrens (helder naar troebel). Het systeem kan in deze situatie een hogere fosfaatbelasting aan totdat het systeem in de zomer omslaat naar een troebele situatie. Wanneer het meer éénmaal in een troebele situatie verkeerd, dient de fosfaatbelasting tot een veel lagere belasting te worden teruggebracht om weer een heldere situatie te krijgen. Daarom wordt veelal de onderste kritische grens (van troebel naar helder) gehanteerd.

Meer informatie over de huidige P-belasting is uitgewerkt in paragraaf 2.1.2 "de P-balans". In de eerste verkenning zoals beschreven is onder ESF1 uit de systeemanalyse is gebruik gemaakt van het metamodel van PCLake. In voorliggende studie is met het **uitgebreide PCLake** model gewerkt. Meer informatie over het berekenen van de kritische P-belasting en de werking van het uitgebreide PCLake model is opgenomen in hoofdstuk 3. De resultaten van de studie staan beschreven in hoofdstuk 4 (paragraaf 4.3 en 4.4).



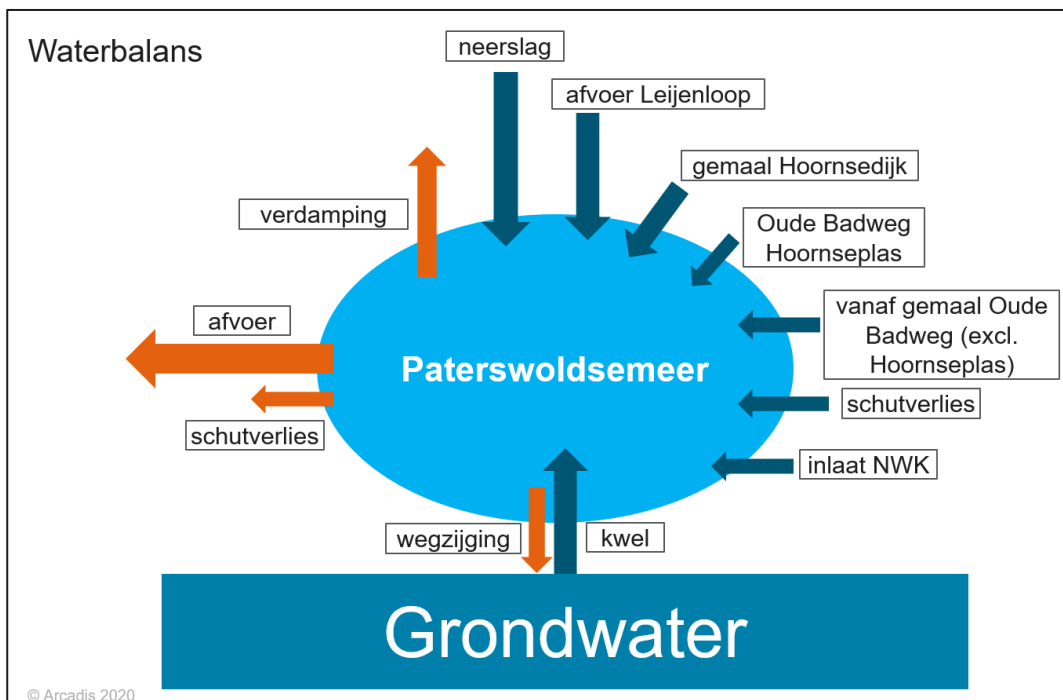
Figuur 3: Omslagpunten van troebel naar helder en weer terug (STOWA, 2017a)

2.1.2 De water- en stoffenbalans

In een eerder stadium is vanuit het KRW-project Paterswoldsemeer een waterbalans opgesteld. Deze waterbalans is noodzakelijk om een fosfaatbalans te kunnen opstellen. Wanneer de kwantiteit inzichtelijk is, kan via het koppelen van concentraties immers een stoffenbalans worden verkregen. Uitgangspunt daarbij is wel dat de concentraties voldoende betrouwbaar zijn.

Opstellen waterbalans

Van het Paterswoldsemeer is een waterbalans opgesteld. In Figuur 4 zijn de verschillende posten schematisch weergegeven. Uitgangspunt is dat de waterbalans sluitend moet zijn.



Figuur 4: Schematische weergave van de waterbalans. NWK = Noord-Willemskanaal

Een uitgebreide beschrijving over het tot stand komen van de waterbalans is opgenomen in de watersysteemanalyse van het Paterswoldsemeer (Arcadis, 2019). In bijlage A (Tabel 6) is samenvattend beschreven hoe de verschillende balanstermen zijn bepaald. Uitgangspunt daarvoor is de modelperiode die beschikbaar is in het grondwatermodel AMIGO en oppervlaktewatermodel SOBEK. De bijdrage van alle balanstermen is op dagbasis bepaald voor de periode 1 januari 2014 t/m 31 december 2017.

Naast de modeluitkomsten voor deze periode, is een aantal termen ook bepaald met behulp van de gemeten neerslag en verdamping over deze periode. Deze tijdreeks is vervolgens geaggregeerd tot gemiddelde maandhoeveelheden en een gemiddelde jaarbalans.

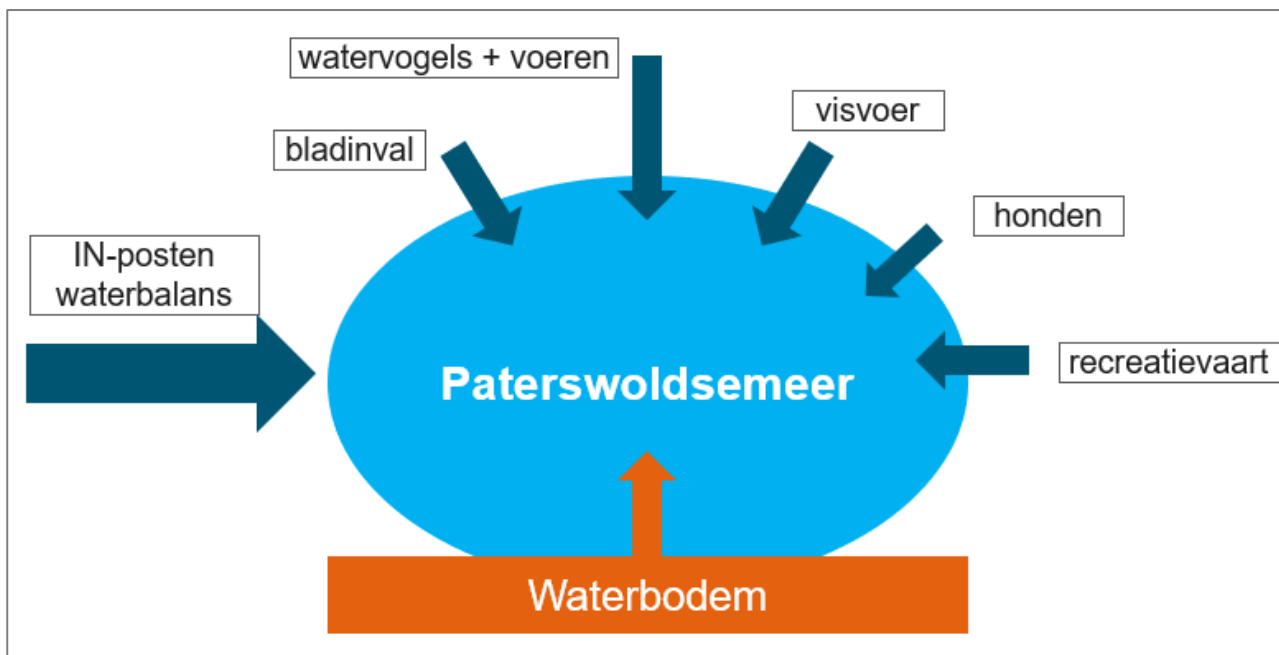
De gemiddelde maandhoeveelheden over de berekende periode zijn vergeleken met metingen in deze periode. Op basis van deze vergelijking is vastgesteld dat de verschillende waterbalanstermen plausibel zijn. Daarnaast zijn met het grond- en oppervlaktewatermodel een aantal in- en uitposten teruggerekend, onder andere voor de Leijenloop en de Meerschapsstuw.

Opstellen fosforbalans

De fosforbalans is (deels) gebaseerd op de waterbalans. De beschikbare periode uit de waterbalans is dus bepalend voor de fosfaatvrachten. De bijdrage van deze balanstermen is op dagbasis bepaald voor de periode 1 januari 2014 tot en met 31 december 2017. Voor de validatie is gekeken naar de meetgegevens van 2015 en 2016. Dit zijn de jaren waarvan de meest (betrouwbare) meetgegevens beschikbaar zijn.

Op basis van metingen in het watersysteem is bekeken wat een representatieve P-concentratie is. Daarbij is voor iedere maand de meest representatieve concentratie gekozen om de P-balans vervolgens ook naar gemiddelde maandhoeveelheden en een gemiddelde jaarlijkse vracht te kunnen vertalen.

Naast de waterbalansafhankelijke termen (inlaat, uitlaat, kwel e.d.) zijn er ook posten die niet aan de waterbalans gerelateerd zijn. Dit zijn de diffuse bronnen van het fosfor, zoals visvoer, watervogels, bladinvall, hondenpoep en afspoeling van de oevers. Ook treden er een aantal interne processen op, zoals via de vispopulatie en de rol van de onderwaterbodem (nalevering-vastlegging). Een visualisatie van de verschillende posten (lees bronnen) is opgenomen in Figuur 5. In bijlage A (Tabel 6) zijn alle balansposten opgenomen en uitgewerkt.



Figuur 5: De fosforbalans voor het Paterswoldsemeer met alle IN-posten uit de waterbalans, externe belastingen en de invloed van de waterbodem

De huidige P-belasting

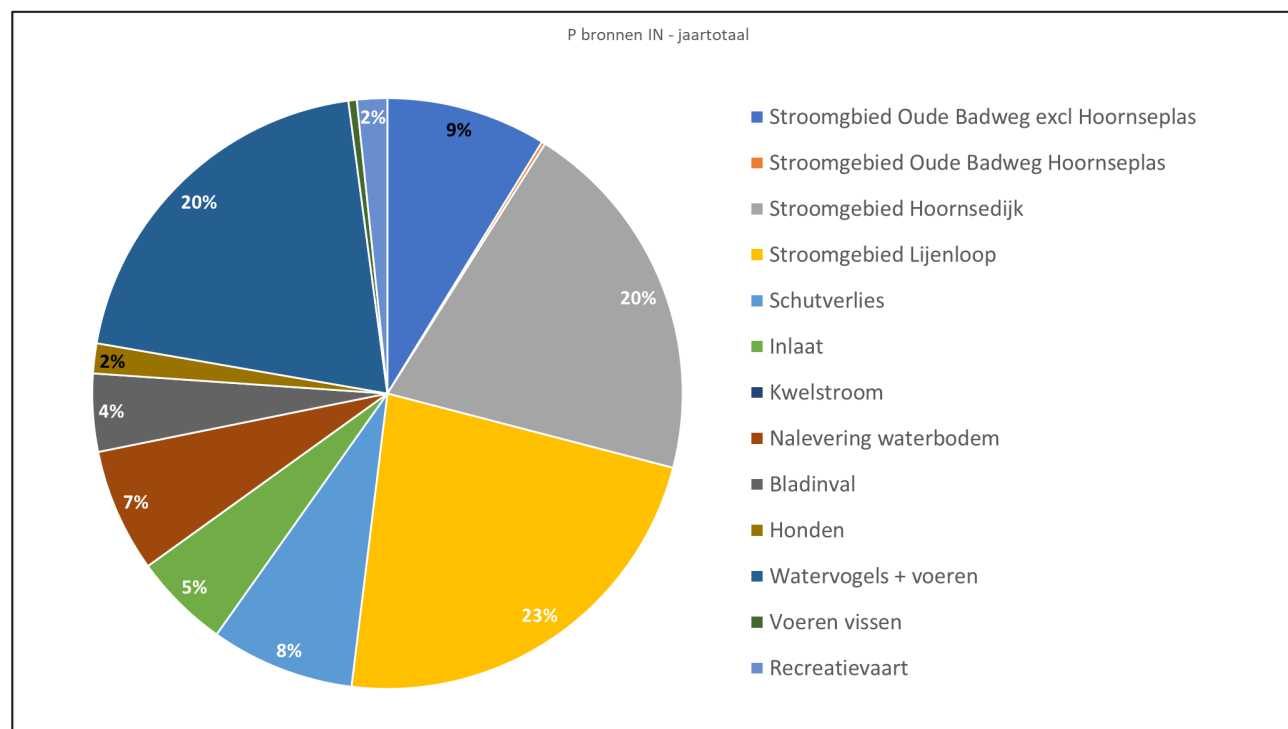
De posten in de fosforbalans zijn vertaald naar een P-belasting. De gemiddelde P-belasting over de periode 2014-2017 bedraagt **0,74 mg P/m² per dag**. De belangrijkste P-bronnen zijn de stroomgebieden Hoornsedijk en Leijenloop, ook het voeren van watervogels en de watervogels zelf leveren een flinke bijdrage. Tezamen zijn deze drie bronnen goed voor ruim 60% van de totale P-belasting. Een uitgebreide beschrijving van de P-belastingen zijn opgenomen in de watersysteemanalyse (Arcadis, 2019).

Enkele belangrijke opmerkingen bij Tabel 1 en Figuur 6:

- De berekende P-belasting kan voor iedere post per maand variëren. Het gaat hier nadrukkelijk om een gemiddelde over een aantal jaren.
- Hoewel de waterbodem een interne belasting is, is deze wel meegenomen in de P-balans. In bepaalde situaties kan de waterbodem een belangrijke rol spelen in het omslaan van een helder naar troebel systeem.
- Onder zuurstofloze omstandigheden kan nalevering vanuit de waterbodem oplopen tot 0,64 mg P/m² per dag. Omdat is aangetoond in de watersysteemanalyse dat er vrijwel altijd voldoende zuurstof in combinatie met ijzer aanwezig is (de ijzer/fosfaatratio >4), is de bijdrage vanuit de waterbodem beperkt (0,05 mg p/m² dag). Daarnaast treedt nalevering alleen in de zomerperiode op.
- Hetzelfde geldt voor de kwel. Er is fosfaatrijke kwel aanwezig, tegelijkertijd is deze kwel ook ijzerrijk. Bij voldoende zuurstof is geen sprake van een grote P-belasting.

Tabel 1: P-Belasting Paterswoldsemeer 2014-2017

P-bronnen	mg P/m ² per dag	Percentage (%)
Neerslag	0	0%
Stroomgebied Oude Badweg excl. Hoornseplas	0.06	9%
Stroomgebied Oude Badweg Hoornseplas	0.001	0%
Stroomgebied Hoornsedijk	0.15	20%
Stroomgebied Leijenloop	0.17	23%
Schutverlies	0.06	8%
Inlaat	0.04	5%
Kwelstroom	0	0%
Nalevering waterbodern	0.05	7%
Bladinal	0.03	4%
Honden	0.01	2%
Watervogels + voeren	0.15	20%
Voeren vissen	0.003	0%
Recreatievaart	0.01	2%
IBA (Individuele behandeling afvalwater)	0	0%
Totale P-belasting	0.74	



Figuur 6: Aandeel van de bronnen uitgedrukt in % (gemiddeld over 2014-2017)

2.1.3 Bronnenreductie – scenario's

Uit de watersysteemanalyse (Arcadis, 2019) is met het metamodel van PCLake vastgesteld dat de huidige P-belasting hoger ligt dan de kritische P-belasting. Vooruitlopend op voorliggende studie, waarin het uitgebreide model is toegepast om de kritische belasting nog nauwkeuriger te berekenen, staan maatregelen gepland om de belasting op het Paterswoldsemeer te verminderen. In drie scenario's is uitgewerkt wat de reductie van de verschillende aanvoerroutes betekent voor de P-belasting op het Paterswoldsemeer. In Figuur 7 is een schematische weergave van de belangrijkste aanvoerroutes met een hoge P-belasting opgenomen. Uitzondering hierop is de route via de Drentsche Aa want dit water is van veel betere kwaliteit dan het Noord-Willemskanaal (2 à 3 keer lagere P-concentraties).

Voor de reductiemogelijkheden van de P-belasting, het inzetten van een ijzerzandpassage, wordt op dit moment door het waterschap in samenwerking met Arcadis aanvullend onderzoek verricht (Arcadis, 2019c). De toegepaste methode, de werking van de passage en uitvoering van deze maatregelen worden in voorliggende rapportage niet besproken, maar als uitgangspunt meegenomen in de verschillende scenario's.

Het vervangen van de inlaat vanuit het NWK door Drentsche Aa water is een veel voorgestelde maatregel vanuit het gebiedsproces. Hoewel de bron klein lijkt te zijn, is deze maatregel wel meegenomen als scenario. In paragraaf 4.2 zal blijken of deze P-reducerende maatregel geen, een klein beetje of veel effect heeft op de totale P-belasting. Het vervangen van het water uit het Noord-Willemskanaal door water uit het Drentsche Aa is als scenario 3 toegevoegd.

Hieronder is een opsomming van de verschillende reductiescenario's en de bij behorende lagere belasting gegeven:

- Huidig situatie: 0,74 mg P/m² per dag.
- Scenario 1: 75% reductie op de inlaat P (fosfor) via Gemaal Hoornsedijk door aanleg ijzerzandpassage.
- Scenario 2: 75% reductie op de inlaat P (fosfor) via Gemaal Hoornsedijk door aanleg ijzerzandpassage plus 50% reductie op de inlaat P (fosfor) via Leijenloop (constructie vergelijkbaar als Gemaal Hoornsedijk).
- Scenario 3: De doorgevoerde reducties van scenario 2 plus het inlaatwater van het Noord-Willemskanaal (NWK) vervangen door Drentsche Aa water.

Tabel 2: Omschrijving van de bron reducerende maatregelen en het berekende effect op de P-belasting. De maatregelen hebben geen effect op de waterbalans

Scenario	Omschrijving	P-belasting vóór maatregelen (mg P/m ² dag)	P-belasting ná maatregelen (mg P/m ² dag)
Huidig	Huidige belasting zoals berekend is in paragraaf 2.1	0.74	n.v.t.
1	75% reductie op de inlaat P (fosfor) via Gemaal Hoornsedijk door aanleg ijzerzandpassage	0.74	0.63
2	Belasting reductie van scenario 1 (75% reductie Gemaal Hoornsedijk) plus 50% reductie op de inlaat P (fosfor) via Leijenloop (constructie vergelijkbaar als scenario 1)	0.63	0.54
3	De doorgevoerde reducties van scenario 1 en 2 plus het inlaatwater van het Noord-Willemskanaal (NWK) vervangen door Drentsche Aa water	0.54	0.52



Figuur 7: Belangrijkste routes met een hoge P-belasting, zie ook Tabel 1 en Figuur 6. Uitzondering hierop is de Drentse Aa, deze route is opgenomen als mogelijke scenario (lees oplossingsrichting) om in te toekomst via de Drentse Aa, in plaats van het Noord-Willemskanaal, water het Paterswoldsemeer in te laten.

2.2 Waterplanten: het vergroten van de veerkracht

Natuurlijke zones, oftewel natuurvriendelijke oevers en moerassen, zorgen voor een goede waterkwaliteit en bevorderen de verscheidenheid aan leven, de biodiversiteit. Daarnaast vervullen deze zones met waterplanten een sleutelrol in het moderne waterkwaliteitsbeheer. De terugkeer van ondergedoken waterplanten is voor veel wateren de eerste stap naar herstel van de waterkwaliteit en de ecologische kwaliteit in bredere zin. Waterplanten zijn onmisbaar voor het biologisch evenwicht in het water.

In deze paragraaf wordt dieper ingezoomd op de relevantie van de natuurvriendelijke zones in relatie tot 1) de verbetering van de ecologische waterkwaliteit en 2) het vergroten van de veerkracht van het watersysteem. Delen van onderstaande teksten zijn overgenomen uit het Waterplantenonderzoek van Bureau Waardenburg (Bureau Waardenburg, 2019).

2.2.1 De rol van waterplanten

Groevormen waterplanten

Waterplanten zijn er in drie groevormen.

1. Ondergedoken waterplanten blijven met hun stengels en bladeren onder water, maar kunnen wel tot aan het wateroppervlak doorgroeien. Van sommige soorten komen alleen de bloeiwijzen boven het wateroppervlak uit. Voorbeelden zijn smalle waterpest, gedoorn dhoornblad en de meeste fonteinkruiden.
2. Drijvende waterplanten vormen bladeren die op het wateroppervlak drijven, zoals gele plomp, witte waterlelie en kikkerbeet. Alleen hun bloemen steken boven het water uit. Kroos drijft ook op het water, maar wortelt niet in de bodem, zoals gele plomp en witte waterlelie wel doen.
3. Emergente waterplanten zijn planten die wortelen onder water, maar waarvan de stengels en bladeren boven het wateroppervlak uitgroeien. Deze planten groeien dicht langs de oever. Voorbeelden zijn riet, lisdodde en mattenbies.

Waterplanten en biodiversiteit

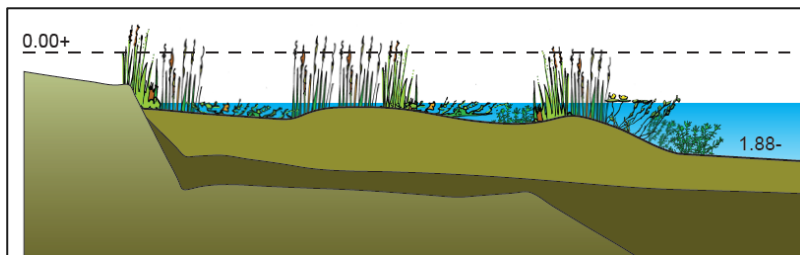
Het vergroten van het areaal waterplanten heeft een positief effect op de biodiversiteit en daarmee ook op het voorkomen van soorten die gewenst zijn vanuit de Kaderrichtlijn Water (STOWA maatlatten, 2018). Waterplanten bieden namelijk leefruimte aan allerlei soorten dieren waardoor de soortenrijkdom binnen waterplantbegroeiingen hoger is dan in het open water. Slakken en tal van andere, kleine ongewervelde dieren, voeden zich met de algen die op de waterplanten groeien, met de ingevangen slibdeeltjes en soms met de planten zelf. En ze gebruiken de planten om hun eieren op af te zetten. Op hun beurt worden deze dieren gegeten door platwormen, bloedzuigers, waterkevers en andere insecten en vis.

Waterplantvegetaties zijn belangrijk als paaiplaats en kraamkamer voor vis. Ze bieden jonge vis bescherming tegen roofvis en tegelijkertijd een rijk gedekte tafel met allerlei diertjes die als voedsel kunnen dienen. Sommige vissen, zoals bittervoorn, ruisvoorn, kroeskarper en zeelt, geven de voorkeur aan water met waterplanten. En jonge snoek is sterk afhankelijk van water- en oeverplanten om voorspoedig op te kunnen groeien. Er zijn maar weinig vissen die zich alleen met waterplanten voeden. De ruisvoorn doet dit. Blankvoorn, bittervoorn, kroeskarper en zeelt doen dit alleen in aanvulling op hun dieet van kleine, ongewervelde dieren.

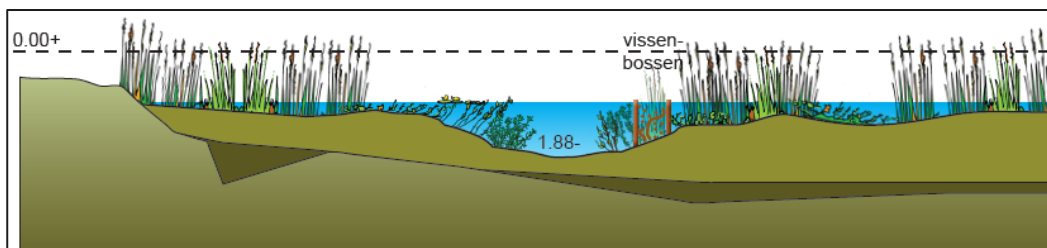
Vergroten veerkracht

Naast een hogere biodiversiteit houden ondergedoken waterplanten het water ook vooral helder. Ze nemen voedingsstoffen op, zodat deze in de zomer niet meer beschikbaar zijn voor algen. Daarmee verminderen ze de kans op bloeien van blauwalgen. En waterplanten houden het slib vast, zodat dit niet of minder opgewerveld wordt.

Een toename van de hoeveelheid waterplanten leidt dus ook tot een toename van de hoeveelheid voedingsstoffen die wordt opgenomen door de waterplanten. Hiermee wordt de nutriëntretentie vergroot, en daarmee vergroot de veerkracht van het watersysteem. De kritische belasting (van troebel naar helder) zoals beschreven is in paragraaf 2.1.1 gaat hierdoor omhoog. De gehele grafiek met omslagpunten verschuift als het ware naar rechts. Dit betekent dat het watersysteem een hogere belasting aan kan en het systeem in een eerder stadium kan omslaan naar een helderdere toestand. Wanneer de huidige fosforbelasting niet voldoende omlaag kan worden gebracht, is het zaak om zowel in het Paterswoldsemeer zelf (Figuur 8) als in aangrenzende natuurlijke zones (Figuur 9) voldoende areaal met ondergedoken waterplanten te hebben. Hiervoor worden in de volgende paragraaf 2.2.2 een aantal scenario's voorgesteld.



Figuur 8: Voorbeeld natuurvriendelijke zone in het Paterswoldsemeer



Figuur 9: Voorbeeld natuurlijke zone (moeras) direct aangrenzend aan het Paterswoldsemeer

2.2.2 Vergroten veerkracht – scenario's

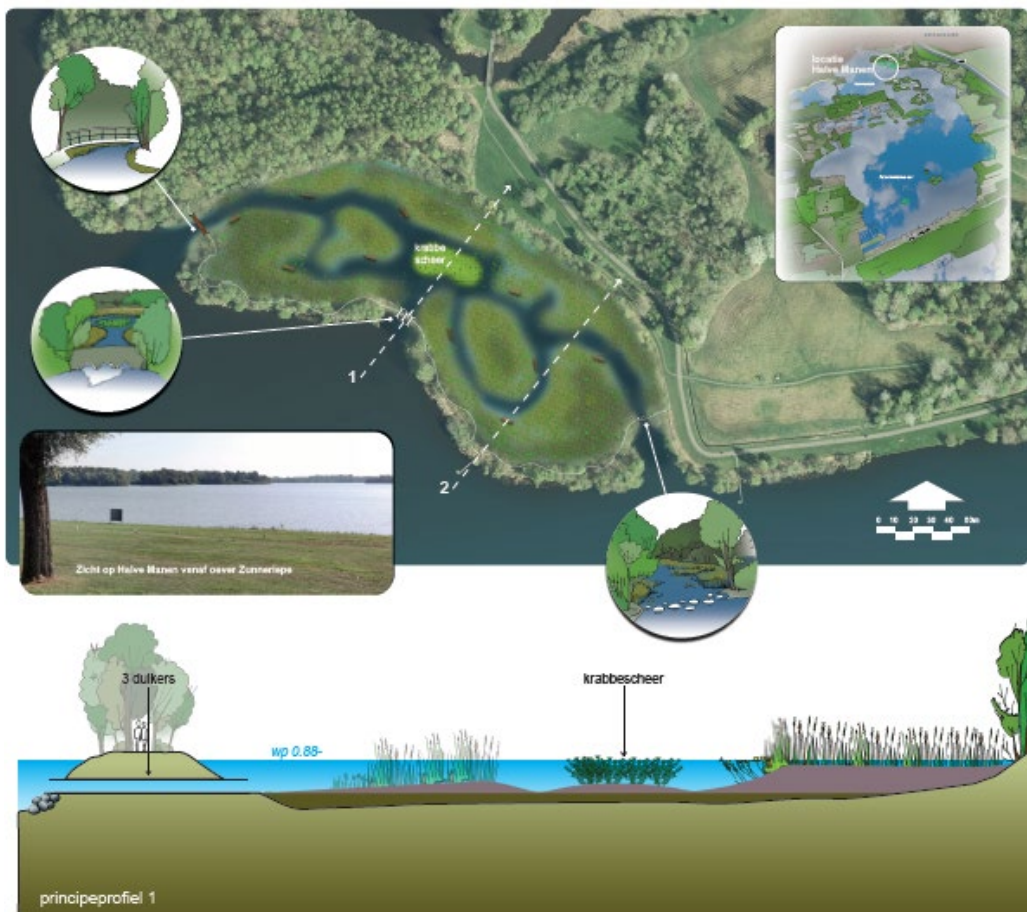
Een voorgestelde KRW-maatregel uit de eerste generatie Stroomgebiedsbeheerplannen (SGBP-1) is om 25 hectare natuurlijke zones met waterplanten in en rondom het Paterswoldsemeer te creëren. Op dit moment is 2 hectare aanwezig en wordt er onderzoek gedaan waar nog eens 3 hectare relatief 'eenvoudig' kan worden aangelegd. Het waterschap Noorderzijlvest is voornemens om deze 3 hectare nog in de tweede planperiode (SGBP-2) te realiseren.

Het Paterswoldsemeer is circa 270 hectare groot. Voor aanvang van de KRW in 2009 is bepaald om circa 10% van het areaal aan te houden (op basis van expert judgement) voor de realisatie van de natuurlijke zones. Dit komt uit op 25 hectare. Destijds zijn beperkt maatregelen voorgesteld die gericht zijn op de reductie van de belastingen. Inmiddels is een goede water- en stoffenbalans beschikbaar en zijn er verschillende mogelijkheden om ook de belastingen aan te pakken (zie paragraaf 2.1.3).

In voorgaande paragrafen is duidelijk geworden dat het belangrijk is om de P-belasting onder de kritische P-belasting te krijgen. Aan de andere kant is het ook van belang om de veerkracht van het systeem te vergroten en te kijken of de kritische P-belasting verhoogd kan worden door de aanleg van meer natuurlijke zones. Het waterschap wil daarom voor de derde planperiode (SGBP-3) onderzoeken hoeveel hectares natuurlijke zones nodig zijn om de kritische P-belasting (voor troebel naar helder) ruim boven de 1) huidige of 2) de gereduceerde P-belasting te krijgen. Daarom is een aantal scenario's bedacht om te onderzoeken waar het optimum ligt.

- Huidige situatie: De huidige situatie met 2 hectare aan natuurlijke vriendelijke zone in het Paterswoldsemeer.
- Scenario 1: 5 hectare aan natuurlijke vriendelijke zone in het Paterswoldsemeer. Gebaseerd op de huidige situatie plus de geplande toevoeging (3 ha) opgave van natuurlijke vriendelijke zone.
- Scenario 2: 25 hectare aan natuurlijke vriendelijke zone in het Paterswoldsemeer. Gebaseerd op de SGBP maatregel voor het Paterswoldsemeer.
- Scenario 3: De berekening van het optimale oppervlakte aan natuurlijke vriendelijke zone in het Paterswoldsemeer op basis van de gereduceerde belasting.

Op het moment van schrijven is nog niet bekend waar de benodigde hectares komen te liggen. Een kansrijke locatie voor een deel van de benodigde hectares is het voormalige baggerdepot de Halve Manen. Deze locatie is circa 1,5 à 2 hectare groot. Een bijbehorende kansrijke vegetatie is krabbenscheer, want de diepte van de locatie is maximaal 1 meter en varieert gemiddeld tussen de 40 en 60 cm.



Figuur 10: Voorbeeldlocatie Halve Manen voor de inrichting van natuurlijke zones

3 METHODIEK

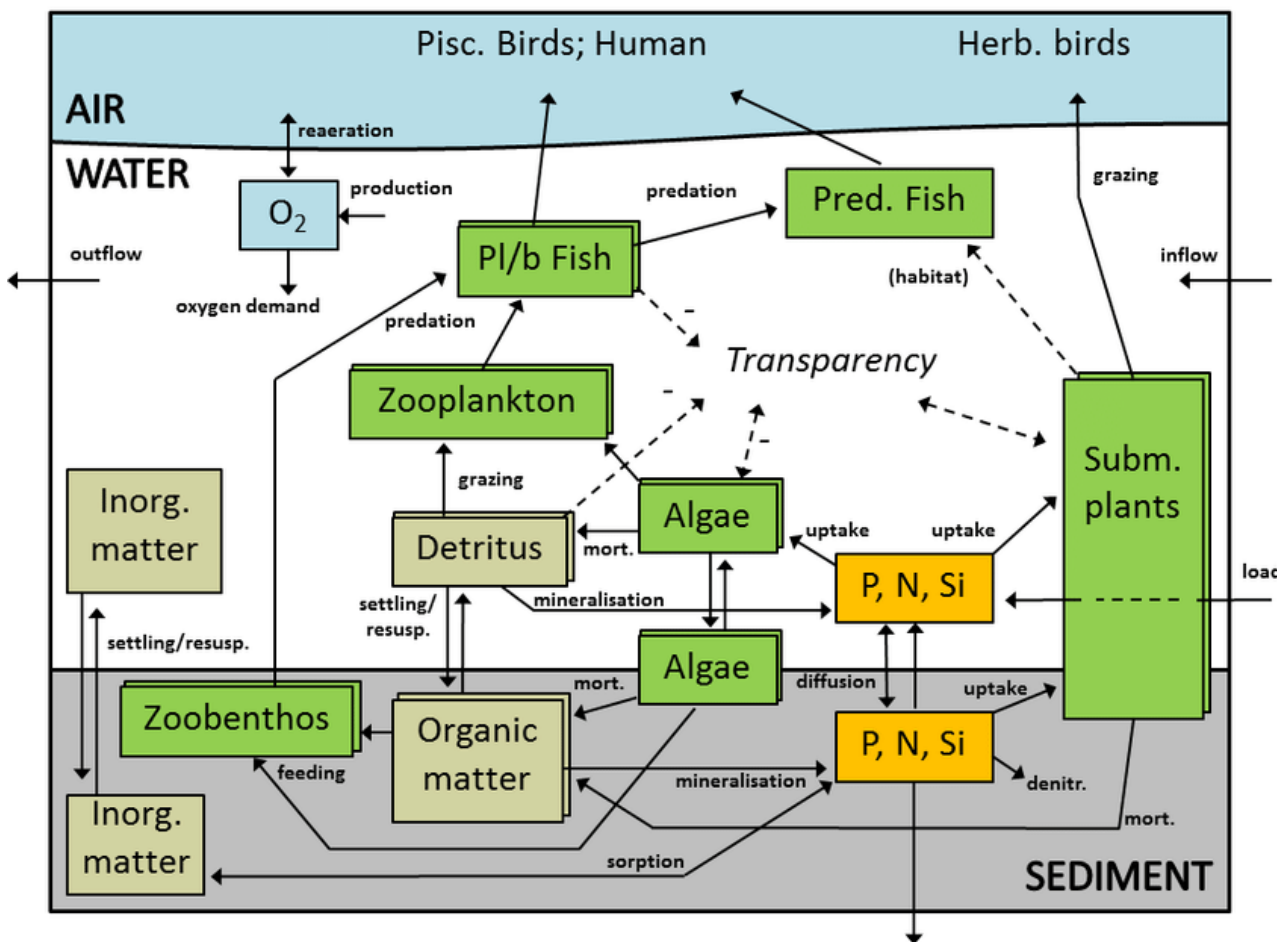
Voor het uitwerken van de verschillende scenario's in de paragrafen 2.1.3 en 2.2.2 wordt gewerkt met het PCLake model. De werking van dit model, de gebruikte onderzoeken en gegevens en de validatie van de gegevens worden allemaal in dit hoofdstuk beschreven.

3.1 Werking PCLake

Deze studie naar het effect van de vegetatie maakt gebruik van het PCLake model. Dit model is gebaseerd op de verschillende processen die zich afspelen in een meer waardoor verschillende kwaliteitsindicatoren berekend kunnen worden. Het model PCLake geeft de mogelijkheid om een ondiep meer te simuleren. Door de fysische en de dimensionele parameters aan te passen kan het model worden afgestemd op de omstandigheden in het Paterswoldsemeer. Een bekende toepassing van het model is het bepalen van 'kritische nutriëntenbelasting', een van de nevendoelen van deze studie.

In Figuur 11 is de structuur van het model opgenomen (Janse, 2005). Hierin zijn alle processen weergegeven waarop het model is gebaseerd. Naast deze parameters zijn er verschillende modules om het model uit te breiden. Voor deze studie is gebruik gemaakt van de moerasmodule. Moeras in deze module is een aan het meer grenzend gebied verbonden door middel van een openwaterverbinding. Aanvullende eigenschappen van het gebied zijn dat het ondiep water is en bestaat uit een emergente vegetatie. Door deze 3 eigenschappen is de module in staat een natuurvriendelijke zone goed te simuleren.

Verder is het belangrijk om te weten dat het model een foutmarge van 20% heeft. Deze foutmarge wordt veroorzaakt doordat het model een gesimplificeerde versie is van de werkelijkheid en lokale omstandigheden veel invloed op het watersysteem hebben.



Figuur 11: Gemoderniseerde schematisch overzicht van de processen in het PCLake model afkomstig uit Janse, 2005 (Kruiper, 2016)

3.2 Gebruikte onderzoeken

Voor de input van gegevens in het PCLake model zijn diverse onderzoeken gebruikt. Hieronder een kleine greep uit deze onderzoeken:

- Watersysteemanalyses KRW Waterlichamen Noorderzijlvest (Arcadis, 2019), zie ook beschrijving paragraaf 2.1.1. Gegevens en resultaten over onder andere de visstand, het areaal moeras, de diepte en strijklengte zijn gebruikt in het model.
- Water- en stoffenbalans Paterswoldsemeer (Arcadis, 2019), zie ook beschrijving paragraaf 2.1.2. Informatie over de belasting, maar ook concentraties uit deze studie zijn gebruikt in het model.
- Waterplanten Onderzoek Paterswoldsemeer (Bureau Waardenburg, 2019): zie ook paragraaf 2.2.1. De uitkomsten uit het PCLake model zijn vergeleken met de bevindingen in deze rapportage over de verwachte bedekking met waterplanten en het voorspelde doorzicht.
- Lichtextinctie model: Dit model is ontwikkeld door Buitenveld (2010 & 2015) en online beschikbaar gesteld via: <http://www.onderwaterlicht.nl/nl/uitzicht.html>. Informatie over doorzichtbeperkende factoren (chlorofyl-a, humuszuren, etc.) is verwerkt in het model.
- Waterbodem – samenstelling (Medusa, 2017). Hoewel het Paterswoldsemeer bekend staat als veenplas (getuige ook het KRW-type M27) bestaat een groot deel van de bodem uit zand. Hoewel deze lokale verschillen niet in het model passen, is wel zo veel mogelijk rekening gehouden met de eigenschappen en chemische samenstelling van de onderwaterbodem.
- Waterbodem – productiviteit en verwachte nalevering (B-Ware, 2019). Onderzoekcentrum B-Ware heeft onderzoek gedaan naar de kwaliteit van de sliblaag en de onderliggende vaste waterbodem in het Paterswoldsemeer. Daarnaast is inzichtelijk gemaakt of de waterbodem een grote bijdrage kan leveren aan de nutriëntenrijkdom van het oppervlaktewater.

3.3 Parameters

Het model is opgebouwd uit vele parameters en constanten. Hoe meer parameters in het model specifiek worden gemaakt voor het Paterswoldsemeer, des te beter het model zal presteren en zal aansluiten op de situatie van het Paterswoldsemeer. In voorliggende studie zijn geen 'extra' nieuwe onderzoeken uitgevoerd en is gebruik gemaakt van reeds beschikbare gegevens.

Een aantal parameters binnen PCLake is van groot belang voor het Paterswoldsemeer. Deze parameters worden hieronder besproken, aanvullend is voor een deel van die parameters vermeld welke informatie is gebruikt. Dit alles leidt tot een aantal parameters die specifiek voor het Paterswoldsemeer zijn aangenomen ten opzichte van het basismodel in PCLake (zie Tabel 3).

- De dimensies van het meer, zoals diepte en strijklengte, zijn de basis van de aanpassingen in het model en hebben invloed op het licht-ecosysteem en de opwerveling van bodemmateriaal.
- De moerasmodule van het model is gebruikt in deze studie. De moerasmodule speelt een belangrijke rol in dit systeem, omdat het voldoet aan de definitie van een natuurlijkvriendelijke zone en in deze studie gekeken wordt naar het effect van deze zones. De moerasmodule heeft losstaande vegetatie van de vegetatie in het meer zelf. Wel neemt de vegetatie in het moeras P en N op, waarmee het de veerkracht van het meer kan beïnvloeden.
- Doorstroming van een meer speelt ook een grote rol in de algen-dynamiek. De doorstroming van het Paterswoldsemeer is laag, maar verschilt door het jaar heen. Vandaar is er hiervoor gekozen om te werken met de maandgemiddelden die zijn berekend in de waterbalans over de jaren 2014 t/m 2017. De maandgemiddelden worden jaarlijks herhaald in de tijdsduur dat het model loopt.
- Voor de fysisch chemische waarde is gekozen om te werken met een vaste waarde met uitzondering van de totale fosfaatconcentratie. Het systeem wordt beschouwd als P-gelimiteerd, waardoor dit een drijvende factor is. Daarom is er voor gekozen om te werken met de gemiddelde maandconcentraties, jaarlijks herhaald, berekend in de water- en stoffenbalans over de jaren 2014 t/m 2017 opgesteld door Arcadis in opdracht van het waterschap Noorderzijlvest. Hierbij is rekening gehouden met de verschillende bronnen die invloed hebben op het systeem.
- Het Paterswoldsemeer heeft een onderliggende bodem (onder het slib) dat bestaat uit klei (15%), veen (30%) en zand (55%). Omdat de zandbodem dominant is, is gekozen om het model te simuleren met een zandbodem. De waardes zijn gebaseerd op algemene waardes voor een zandbodem uit wetenschappelijk onderzoek (Janse, 2005). De overige parameters zijn gelijk gehouden aan de gemiddelde waardes van een troebel-watersysteem van een ondiep meer.

Tabel 3: Aangepaste parameters PCLake. De gegevens zijn gebaseerd op de opgestelde waterbalans (Arcadis, 2019), het WSA-rapport (Arcadis, 2019), het bodemonderzoek (BIOWARE, 2019) en de PhD thesis van Jan Janse (2005).

Klasse	Parameter	Waarde	Eenheid
Randvoorwaarde			
Dimensies	Waterdiepte	2.1	m
	Strijklengte	1500	m
	Extinctie	0.25	m-1
Moeras	Moerasoppervlakte	2	ha
	Ratio t.o.v. wateroppervlakte	0.0074	-
Waterbalans	Verdamping	Maandgemiddelde, jaarlijks herhaald	mm/day
	Bodemerosie	0	g/m ² /d
Fysisch chemisch	P-belasting	Maandgemiddelde, jaarlijks herhaald	gP/m ³ /d
	Instromend debiet	Maandgemiddelde, jaarlijks herhaald	mm/day
Bodem	Drooggewicht bodem	0.5	g/g
Bodem Type (Zand)	Organische fractie	0.08	g/g
	Lutum fractie	0.03	-
	Aluminium	0.003	gAl/gDW
	IJzer	0.003	gFe/gDW
Startcondities			
Vis	Drooggewicht volwassen vis	5.34	gDW/m ²
	Drooggewicht jonge vis	1.335	gDW/m ²
	Drooggewicht volwassen vis in N	0.332	gN/m ³
	Drooggewicht jonge vis in N	0.541	gN/m ²
	Drooggewicht volwassen vis in P	0.134	gP/m ²
	Drooggewicht jonge vis in P	0.111	gP/m ²
	Drooggewicht rovende vis	0.029	gDW/m ²
Fysisch chemisch	Zuurstofconcentratie	9.75	mg/l
	NH ₄	0.22	gN/m ³
	NO ₃	0.140	gN/m ³
	PO ₄	0.01	gP/m ³

3.4 Modelberekeningen

Vanwege de verschillende doelen van deze studie zijn er drie verschillende soorten modelberekeningen uitgevoerd; 1) modelrun voor initiële startconcentraties, 2) burificatie analyse (lees het berekenen van omslagpunten) en 3) een tijdsmodelrun.

De modelrun voor de initiële startconcentraties dient ervoor om de uitgangssituatie van het meer gegeven de randvoorwaarden goed passend te krijgen. Hiervoor is het model gedraaid met ingevoerde parameters voor een tijdsplan van 100 jaar, voor zowel een situatie waarin het meer zeker in een heldere (P belasting = 0.05 mgP/m² per dag) toestand verkeerd als situatie waarin het meer zeker in een troebele situatie (P belasting = 5 mgP/m² per dag) verkeert. Deze berekening zorgt ervoor dat de initiële waarden in het model dicht bij de realiteit liggen van het Paterswoldsemeer, waardoor het model passender wordt. De uitkomsten van deze berekeningen dienen als basis voor verdere berekeningen en scenario-analyses.

De burificatie analyse is een analyse om de kritische belastingen te berekenen. Deze analyse is gebruikt om de verschillende scenario's rond het oppervlakte natuurvriendelijke zones door te rekenen. Tijdens deze analyse gebruikt het model een range van P-belastingen van hoog naar laag (en vice versa) om te berekenen hoe het systeem hierop reageert. Vanuit hier kan de kritische belasting worden bepaald. Bij deze analyse wordt een rekentijd van 30 jaar gebruikt om het model tot een evenwichtssituatie te laten komen. Het laatste jaar wordt gebruikt om de kritische belasting te bepalen.

Als laatste zijn berekeningen met het model uitgevoerd waarbij gekeken is naar de ontwikkeling van het ecosysteem door de tijd (temporele dynamiek). Deze berekeningen dienen in deze studie als een effectanalyse, waarbij gekeken is naar een tweetal aspecten: 1) bepalen wanneer het effect van de mogelijke maatregelen zal intreden en 2) veerkrachtberekeningen door middel van een gesimuleerde duw tegen het systeem.

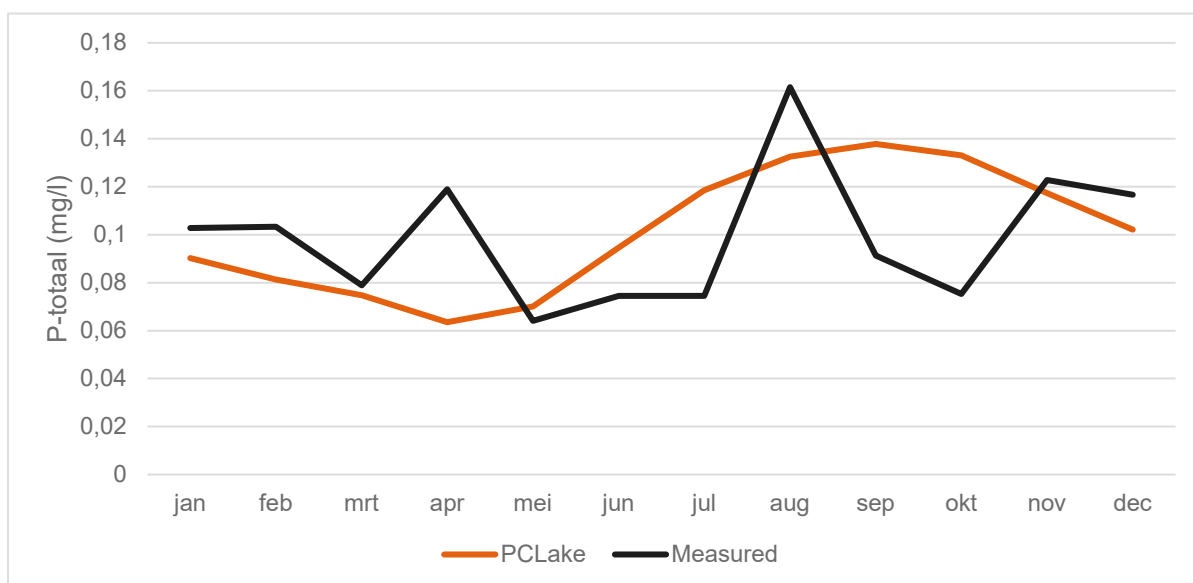
Voor het eerste aspect is gebruik gemaakt van de scenario's rond de P-reductie en de scenario's rond het oppervlakte natuurvriendelijke zones. Hiervoor is een berekening van 50 jaar uitgevoerd met een bepaald oppervlak natuurvriendelijke zones. Vervolgens wordt halverwege de berekening de P-belasting gereduceerd. In de resultaten van de berekening wordt dan duidelijk wanneer en wat voor veranderingen er plaatsvinden in de fosforconcentratie in het water, chlorofyl-a dynamiek en vegetatiebedekking in het meer.

Voor het tweede aspect is opnieuw gebruik gemaakt van de verschillende scenario's, maar dan onder invloed van extreme omstandigheden. Deze omstandigheden zijn een combinatie van weinig watertoevoer, veel verdamping, een hogere watertemperatuur en een zeer hoge P-belasting om zo de veerkracht van het systeem te bekijken bij klimaatverandering. Hiervoor is opnieuw een berekening uitgevoerd van 50 jaar, waar halverwege 1 extreem jaar wordt opgedrukt. Er is gekozen om alleen te werken met de gereduceerde P-belasting, omdat met de huidige P-belasting het systeem zich al in zo'n toestand (troebel) bevindt dat een extreem jaar de situatie niet in een andere toestand kan brengen.

3.5 Validatie

Om te controleren of het PCLake model een goede simulatie is van het Paterswoldsemeer is het belangrijk om een validatie van het model uit te voeren. Een validatie van een model kan uitgevoerd worden door de gesimuleerde waarden van het model te vergelijken met gemeten waarden in het veld. Deze validatie heeft plaatsgevonden na de initiële modelberekeningen.

Voor het Paterswoldsemeer is gekozen om de validatie uit te voeren aan de hand van de fosfaatconcentraties in het water, aangezien het systeem P-gelimiteerd is. De waarden zijn getoetst met de t-Test: Paired Two Sample for Means. Er is voor deze t-test gekozen omdat er wordt getoetst of het maandgemiddelde van de gemeten en de gesimuleerde waarde gelijk aan elkaar zijn (nulhypothese). Uit de t-test is een P-waarde gekomen van 0.79, met een alfa van 0.05. De P-waarde is groter dan de alfa wat betekent dat de nulhypothese (de waarden uit het veld en het model zijn aan elkaar gelijk) niet verworpen kan worden. Geconcludeerd kan worden dat er geen significante verschillen gevonden zijn tussen de gemeten en de gesimuleerde waarden van PCLake.



Figuur 12: Jaaroverzicht met maandgemiddelde van de totale P-concentratie van de gemeten veldwaarde en gemodelleerde waarde van het PCLake model.

Voor een helder beeld zijn de gesimuleerde waarden en de gemeten waarden te zien in Figuur 12. De gemeten waarden hebben een aantal scherpe pieken over de seizoenen, met de hoogste piek in de zomer. De gesimuleerde waarden missen de scherpe pieken, maar volgen de algemene trend van de gemeten waarden. Over het jaar heen is er gemiddeld sprake van een verschil van 2.6% van het PCLake ten opzichte van de gemeten waarden, waarbij PCLake een hogere concentratie modelleert.

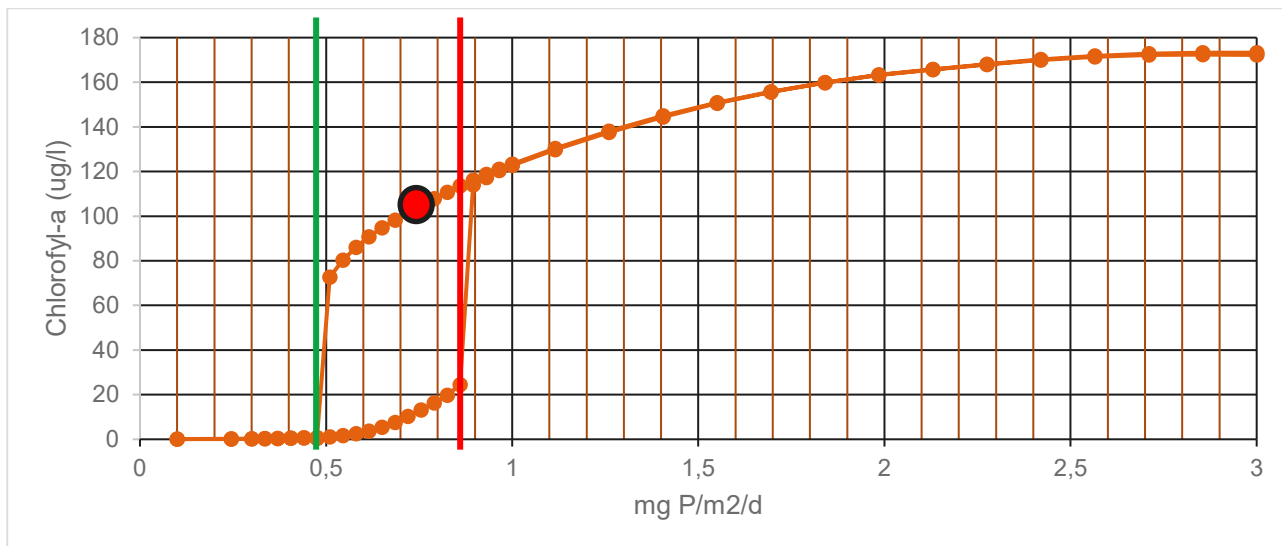
4 ONDERZOEKSRESULTATEN

Dit hoofdstuk beschrijft de onderzoeksresultaten van 1) het effect van de bronnenreductie op de huidige (kritische) omslagpunten en 2) het effect van meer natuurlijke zones op het verhogen van de kritische omslagpunten. Er is vervolgens een scenario doorgerekend waarbij gezocht is naar een optimum tussen enerzijds het verlagen van de P-belasting en anderzijds het vergroten van het areaal natuurlijke zones. Verder is er gekeken naar te verwachten vegetatiebedekkingen en het effect van klimaatverandering op de veerkracht van het watersysteem.

4.1 Veerkracht huidige situatie

In paragraaf 3.3 zijn de invoerparameters besproken die zijn aangepast in het uitgebreide PCLake model. Allereerst zijn voor de huidige situatie de omslagpunten van troebel naar helder en van helder naar troebel berekend.

In de huidige situatie heeft het Paterswoldsemeer 2 hectare aan natuurvriendelijke zones, wat als input in het model is omgerekend naar een ratio ten opzichte van het oppervlak open water van 0.0074. In Figuur 13 zijn de kritische belastingen te zien van de omslagpunten die horen bij deze situatie. Het omslagpunt van helder naar een troebel in dit systeem ligt rond de 0.86 (± 0.18 afwijking) mg P/m² per dag en het omslag van troebel naar helder ligt rond de 0.48 ($\pm 0,10$ afwijking) mg P/m² per dag. De huidige belasting op het systeem, zoals berekend is in paragraaf 2.1 is 0.74 mg P/m² per dag (rode bolletje). De huidige belasting, met het huidige areaal natuurlijke zones in de vorm van aansluitende natuurlijke zones, ligt precies tussen de omslagpunten van troebel naar helder (groene lijn = de belangrijkste kritische P-belasting) en van helder naar troebel (rode lijn). Dit betekent dat het systeem zowel helder als troebel kan zijn, afhankelijk van de begintoestand. Door het systeem een klap te geven, is het mogelijk om het (tijdelijk) helder te maken. Een klassiek voorbeeld hiervan is Actief Biologische Beheer (ABB), waarbij een aanpak van de visstand het systeem laat omslaan. Echter, de voorwaarde voor het helder blijven van het systeem is dat de kritische grens van helder naar troebel (0.86 mgP/m²/dag) nooit wordt overschreden. Gezien hoe dicht het systeem qua actuele belasting bij deze grens ligt, is dit moeilijk realiseerbaar. Het systeem is dus, zelfs als het met deze belasting in een heldere toestand zou komen door een interne maatregel, weinig toekomstbestendig en robuust.

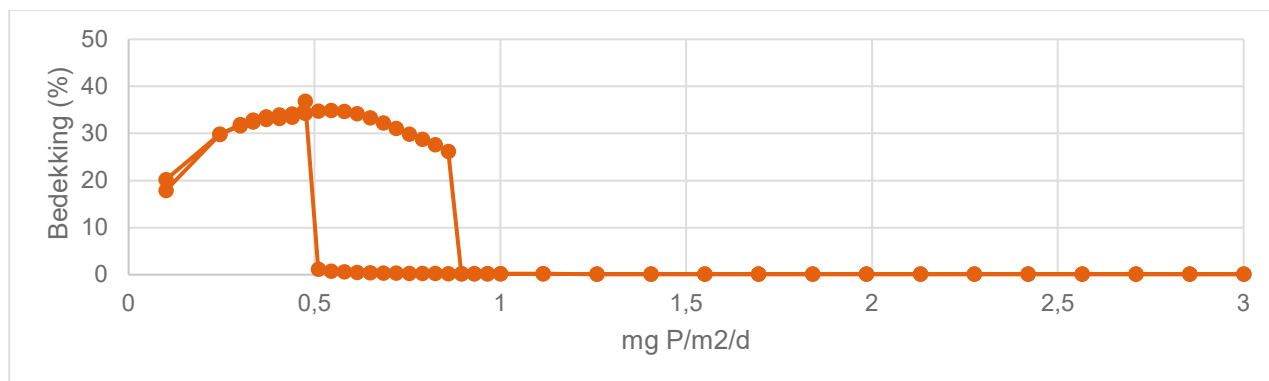


Figuur 13: Weergave van de kritische P-belastingen ten opzichte van chlorofyl-a concentraties in het huidige scenario met 2 ha natuurvriendelijke zone. Groene lijn geeft het omslagpunt aan van troebel naar helder (= kritische P-belasting voor het meer in de huidige toestand), de rode lijn geeft het omslagpunt aan van helder naar troebel (= kritische P-belasting voor het meer na herstel tot een heldere toestand) en het rode bolletje geeft de actuele P-belasting aan (mg P/m² per dag).

Een belangrijk nevendoeel van dit onderzoek is om vast te stellen welke vegetatiebedekking is te verwachten wanneer de huidige belasting onder de kritische P-belasting (groene lijn) uitkomt. Vegetatie speelt niet alleen een belangrijke rol in de ecologische kwaliteit van het Paterswoldsemeer, maar ook de recreatiesector is geïnteresseerd in de ontwikkelingen in verband met doorvaarbaarheid, hinder bij zwemmen, etc. De dynamiek van de vegetatiebedekking is weergegeven in Figuur 14. De berekende omslagpunten zoals

berekend voor helder naar troebel en vice versa zijn ook zichtbaar voor de vegetatie. In een heldere evenwichtstoestand in het meer kan een vegetatiebedekking van rond de 35% worden bereikt. Dit betekent dat het meer niet dicht groeit, dit komt omdat er nog andere lichtbeperkende factoren, zoals zwevend stof deeltjes (door opwervend slib) en humuszuren in het systeem aanwezig zijn.

De verwachting is dat vooral aan de oevers waterplanten tot ontwikkeling komen. Dit is ook een bevinding uit het waterplantenonderzoek van Bureau Waardenburg (Bureau Waardenburg, 2019).



Figuur 14: Weergave van de kritische P-belastingen ten opzichte van vegetatiebedekking in de huidige situatie met 2 ha natuurvriendelijke zones.

4.2 Bronnenreductie huidige situatie

In paragraaf 2.1.3 zijn de verschillende scenario's besproken waarvoor de omslagpunten berekend moeten worden. In Tabel 4 zijn deze scenario's opgenomen waarin inzichtelijk is gemaakt hoeveel P-reductie er mogelijk is wanneer verschillende maatregelen worden uitgevoerd.

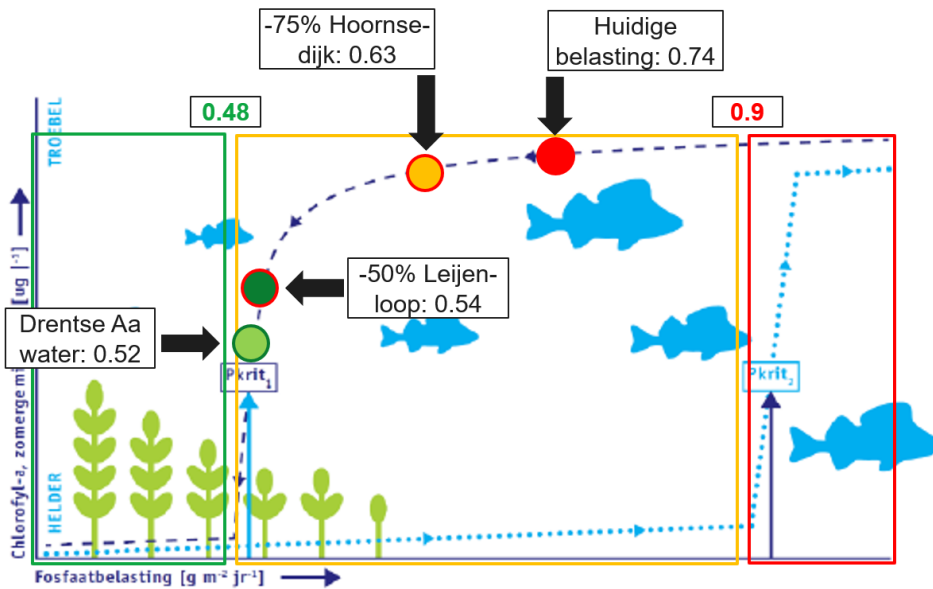
Tabel 4: Omschrijving van de bron reducerende maatregelen en het berekende effect op de P-belasting. De maatregelen hebben geen effect op de waterbalans.

Scenario	Omschrijving	P-belasting vóór maatregelen (mg P/m ² dag)	P-belasting ná maatregelen (mg P/m ² dag)
Huidig	Huidige belasting zoals berekend is in paragraaf 2.1	0.74	n.v.t.
1	75% reductie op de inlaat P (fosfor) via Gemaal Hoornsedijk door aanleg ijzerzandpassage	0.74	0.63
2	Belasting reductie van scenario 1 (75% reductie Gemaal Hoornsedijk) plus 50% reductie op de inlaat P (fosfor) via Leijenloop (constructie vergelijkbaar als scenario 1)	0.63	0.54
3	De doorgevoerde reducties van scenario 1 en 2 plus het inlaatwater van het Noord-Willemskanaal (NWK) vervangen door Drentsche Aa water	0.54	0.52

Een visualisatie van de gereduceerde belastingen is opgenomen in Figuur 15. Zoals in deze figuur te is zien, hebben de bron reducerende maatregelen in scenario 1 (aanpak stroomgebied Hoornsedijk) en scenario 2 (aanpak stroomgebied Hoornsedijk + Leijenloop) een groot effect op de reductie van de P-belasting. Uit de scenarioberekeningen blijkt dat wanneer alle bron reducerende maatregelen worden uitgevoerd de nieuwe P-belasting van 0.52 mg P/m² per dag niet onder de kritische P-belasting van 0.48 mg P/m² per dag uitkomt. Rekening houdend met een bandbreedte (foutmarge) van 20% zijn er aanvullende maatregelen nodig om 1) de kritische belastingen omhoog te krijgen of 2) om de andere bronnen ook nog aan te pakken

Het vervangen van het inlaatwater uit het Noord-Willemskanaal door Drentsche Aa water heeft slechts een beperkte invloed. Hoewel het inlaatwater van het Noord-Willemskanaal van slechtere kwaliteit is, nutriëntenconcentraties liggen een factor 1 à 2 hoger ten opzichte van Drentsche Aa water, is het relatieve aandeel van de bron op de totale P-belasting klein. Uit de waterbalans blijkt dat uitsluitend in de zomerperiode tijdens drogere perioden water wordt ingelaten.

Luchtfoto's (zie Figuur 16) uit het verleden laten zien dat dit inlaatwater lokaal wel een trigger kan zijn voor de stimulatie van blauwalgenbloeiën terwijl de rest van het Paterswoldsemeer geen problemen heeft met blauwalgen.



Figuur 15: Getoond wordt het effect van bronnenreductie op de totale P-belasting in relatie tot de kritische omslagpunten. Relevant is uitsluitend het omslagpunt van troebel naar helder (0.48 mg P/m² per dag) omdat het Paterswoldsemeer zich in de zomer in een troebele situatie verkeert.



Figuur 16: Luchtfoto inlaat via Noord-Willemskanaal waarop duidelijk is te zien dat via deze inlaat (met een hoge externe P-belasting) blauwalgen lokaal tot ontwikkeling komen (Bron: Waterschap Noorderzijlvest).

4.3 Veerkracht scenario's

Naast berekeningen van de omslagpunten in de huidige situatie, zijn er ook berekeningen uitgevoerd waarbij het areaal natuurvriendelijke zones wordt vergroot. Een beknopt overzicht van de resultaten kan gevonden worden in Tabel 5. De scenario's zullen verder worden uitgelicht in deze paragraaf.

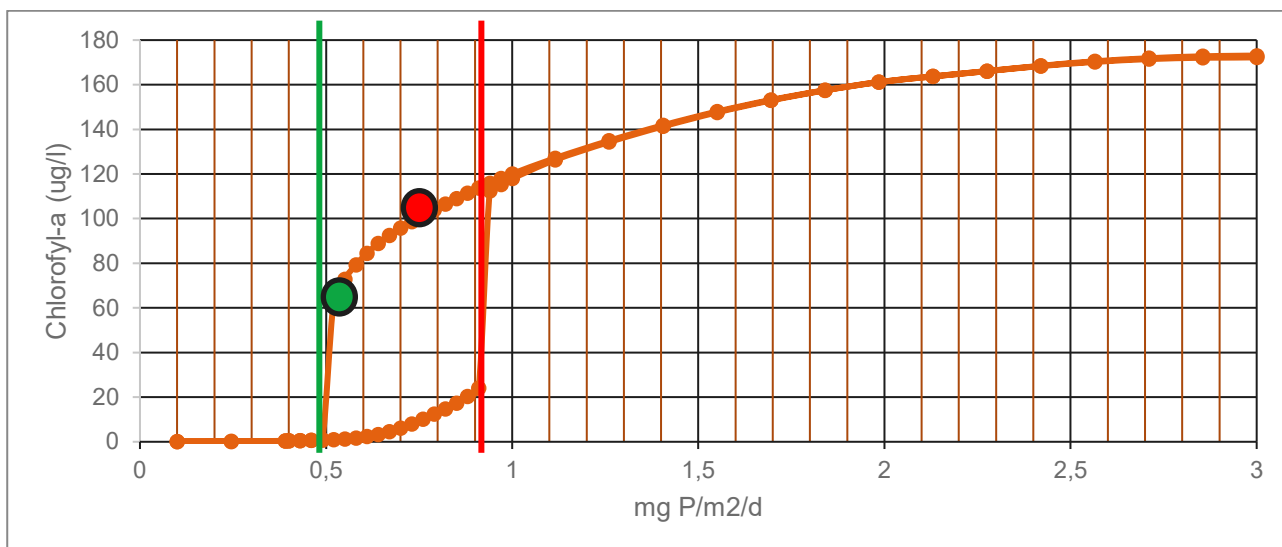
Het is relevant om in gedachten te houden dat in scenario 3 het optimale areaal natuurvriendelijke zones is berekend met de berekende gereduceerde P-belasting uit voorgaande paragraaf 4.2. De streefwaarde van het omslagpunt van troebel naar helder is vastgesteld op 0.62 mg P/m²/d. Deze waarde is gebaseerd op de maximale gereduceerde belasting uit de bronnenreductie rekening houdend met een modelonzekerheid van circa 20% ($\pm 20\%$ van 0.52 = 0.62 mg P/m² per dag).

Tabel 5: Overzicht van de kritische P-belastingen uit de scenario berekeningen met PCLake.

Scenario	Moerasoppervlakte	Helder naar troebel	Troebel naar helder	Eenheid
Huidig	2 ha	0.86	0.48	mg P/m ² /d
1	5 ha	0.91	0.49	mg P/m ² /d
2	25 ha	1.25	0.70	mg P/m ² /d
3	Optimaal	-	Streven: 0.62	mg P/m ² /d

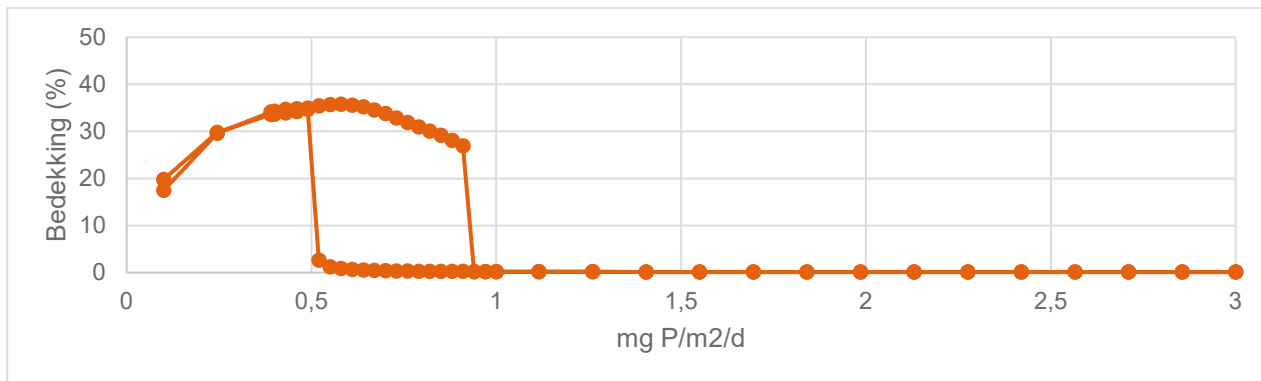
4.3.1 Scenario 1 – 5 hectare

In het eerste scenario is ervan uitgegaan dat er in en rondom het Paterswoldsemeer circa 5 hectare natuurvriendelijke zones aanwezig is. Deze input is in het model omgerekend naar een ratio ten opzichte van het openwateroppervlakte wat uitkomt op 0.0185. In Figuur 17 zijn de kritische belasting te zien van het watersysteem. Het omslagpunt van een helder naar een troebel systeem (rode lijn) ligt rond de 0.91 (± 0.18) mg P/m² per dag en het omslag van een troebel naar helder systeem (rode lijn) ligt rond de 0.49 (± 0.10) mg P/m² per dag. De huidige (rode bolletje) en gereduceerde P-belasting (groene bolletje) op het systeem liggen tussen beide omslagpunten van het systeem. Daarnaast is de verschuiving van de omslagpunten minimaal en ligt de gereduceerde belasting binnen de foutmarge van 20%. Het toevoegen van 3 extra hectare bovenop de reeds 2 hectare bestaand areaal natuurvriendelijke zones heeft niet of nauwelijks effect op de omslagpunten.



Figuur 17: Weergave van de kritische P-belastingen ten opzichte van chlorofyl-a concentraties met 5 ha natuurlijke zones. Groene lijn geeft het omslagpunt aan van troebel naar helder (= kritische P-belasting voor het meer in de huidige toestand), de rode lijn geeft het omslagpunt aan van helder naar troebel (= kritische P-belasting voor het meer na herstel tot een heldere toestand) en het rode bolletje geeft de actuele P-belasting aan en het groene bolletje de gereduceerde belasting (mg P/m² per dag).

In een heldere evenwichtstoestand in het meer kan een vegetatiebedekking van rond de 36% bereikt worden (Figuur 18). Dit is nagenoeg dezelfde bedekking die gevonden is in de huidige situatie met 2 hectare natuurvriendelijke zones in het Paterswoldsemeer.

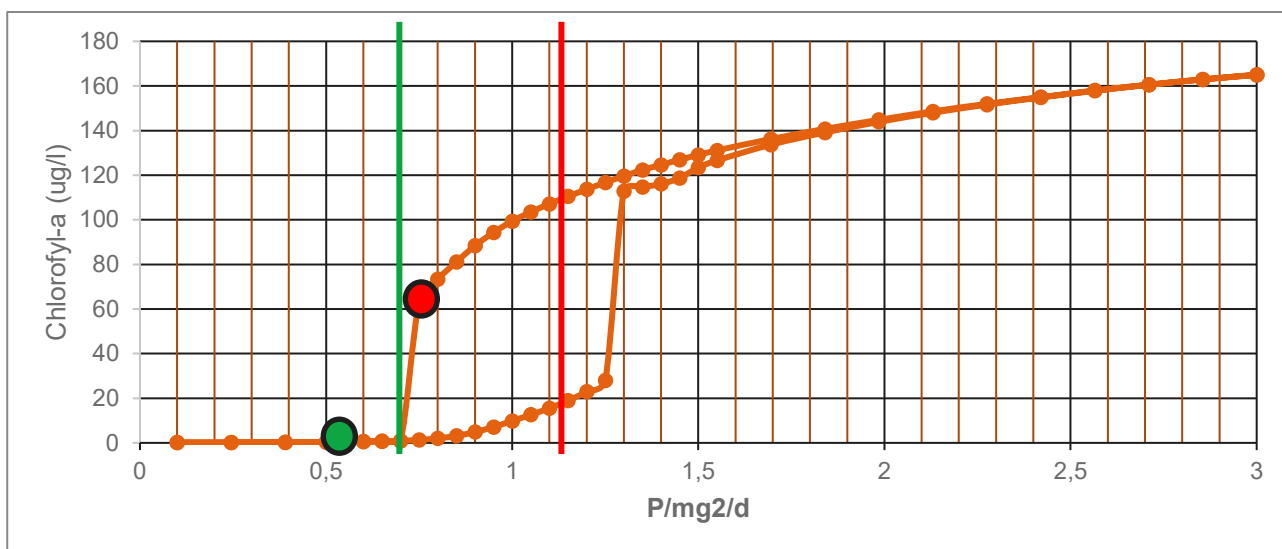


Figuur 18: Weergave van de kritische P-belastingen ten opzichte van vegetatiebedekking in de situatie met 5 ha natuurvriendelijke zones.

4.3.2 Scenario 2 – 25 hectare

In het tweede scenario heeft het Paterswoldsemeer 25 hectare aan natuurvriendelijke zones, wat voor input in het model is omgerekend naar een ratio ten opzichte van het openwateroppervlakte van 0.0923. Dit bedraagt bijna 10% van het wateroppervlakte van het Paterswoldsemeer. In Figuur 19 zijn de omslagpunten gevisualiseerd bij 25 hectare natuurvriendelijke zones in of rondom het meer. Het omslagpunt voor een helder naar een troebel systeem (rode lijn) ligt rond de 1.25 (± 0.25) mg P/m² per dag en het omslagpunt voor troebel naar helder (groene lijn) ligt rond de 0.70 (± 0.14) mg P/m² per dag.

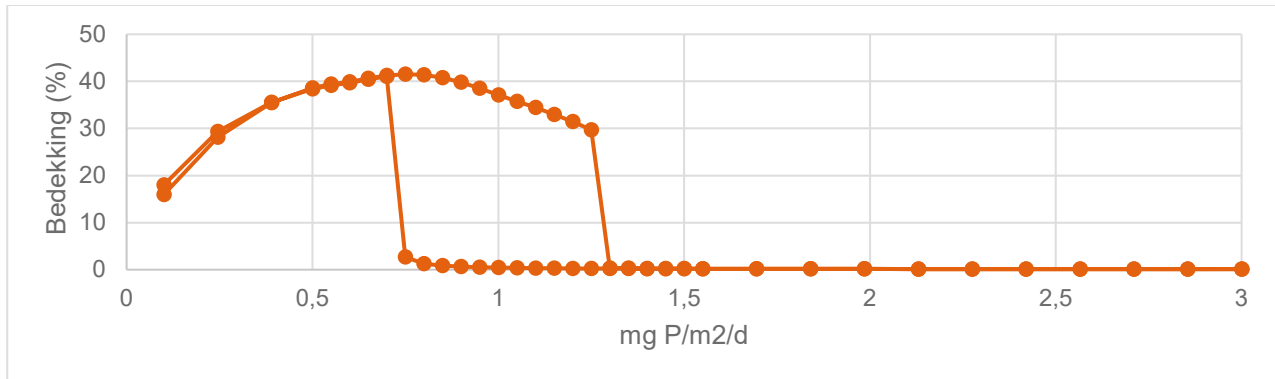
De huidige P-belasting ligt nog steeds (iets) boven het omslagpunt van troebel naar helder. De gereduceerde belasting (groene bolletje) ligt ruim onder het omslagpunt van troebel naar helder, ook als rekening wordt gehouden met 20% foutmarge ($0.7 - 0.14 = 0.56$ mg P/m² per dag). Met de berekende gereduceerde belasting zal het systeem in een helder evenwicht komen.



Figuur 19: Weergave van de kritische P-belastingen ten opzichte van chlorofyl-a concentraties met 25 ha natuurvriendelijke zones. Groene lijn geeft het omslagpunt aan van troebel naar helder (= kritische P-belasting voor het meer in de huidige toestand), de rode lijn geeft het omslagpunt aan van helder naar troebel (= kritische P-belasting voor het meer na herstel tot een heldere toestand) en het rode bolletje geeft de actuele P-belasting aan en het groene bolletje de gereduceerde belasting (mg P/m² per dag).

Bij een heldere evenwichtstoestand in het meer kan een vegetatiebedekking van rond de 42% bereikt worden, zie Figuur 20. Dit is nagenoeg dezelfde bedekking die is gevonden in de huidige situatie en bij 5 hectare. Dit heeft te maken met andere lichtbeperkende factoren die niet worden aangepakt, zoals opwervende slibdeeltjes en humuszuren. Het verschil tussen een vegetatiebedekking van 42% bij een belasting van 0.7 mg P/m² per dag en een bedekking van rond de 20% bij een belasting van 0.1 mg P/m² per

dag kan verklaard worden door het verschil in soorten waterplanten. Bij een hogere belasting is de soortensamenstelling minder en er groeien meer algemenere soorten die ook dichter op elkaar groeien. Langs de ondiepere randen kunnen delen begroeid raken met deze waterplanten (waterpest, hoornblad, aarvederkruid, fonteinkruiden, etc.). Naarmate het systeem een lagere P-belasting krijgt (en dus ook de invloed van de waterbodem afneemt) richting een belasting van 0.1 mg P/m²/dag zal een vegetatie ontstaan die meer divers en minder dicht op elkaar is gegroeid.

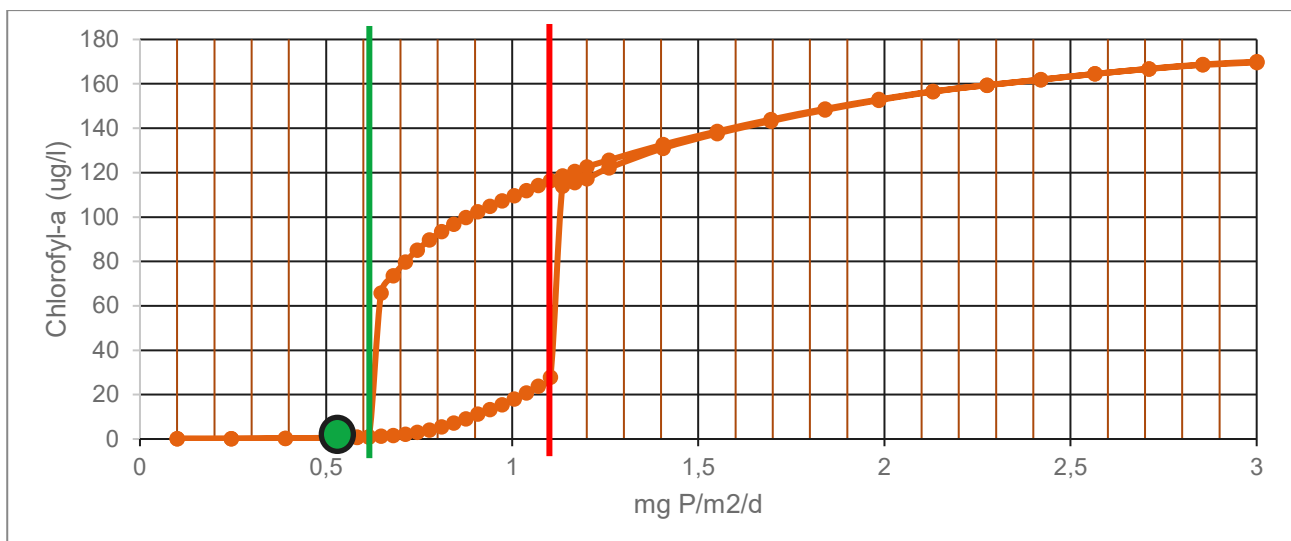


Figuur 20: Weergave van de kritische P-belastingen ten opzichte van vegetatiebedekking in de situatie met 25 ha natuurvriendelijke zones.

4.3.3 Scenario 3 – het optimum

Als ervan uitgegaan wordt dat alle P-reducerende maatregelen genomen worden om de P-belasting terug te brengen dan komt de totale belasting uit op 0.52 mg P/m² per dag. Als er rekening wordt gehouden met een foutmarge (\pm 20%) in de modeluitkomsten van het PCLake model dan komt er een omslagpunt (van troebel naar helder) uit van 0.62 mg P/m² per dag. Dit houdt in dat er een optimum in het areaal natuurvriendelijke zones gevonden moet worden waarbij een omslagpunt op of beneden de 0.62 mg P/m² per dag ligt.

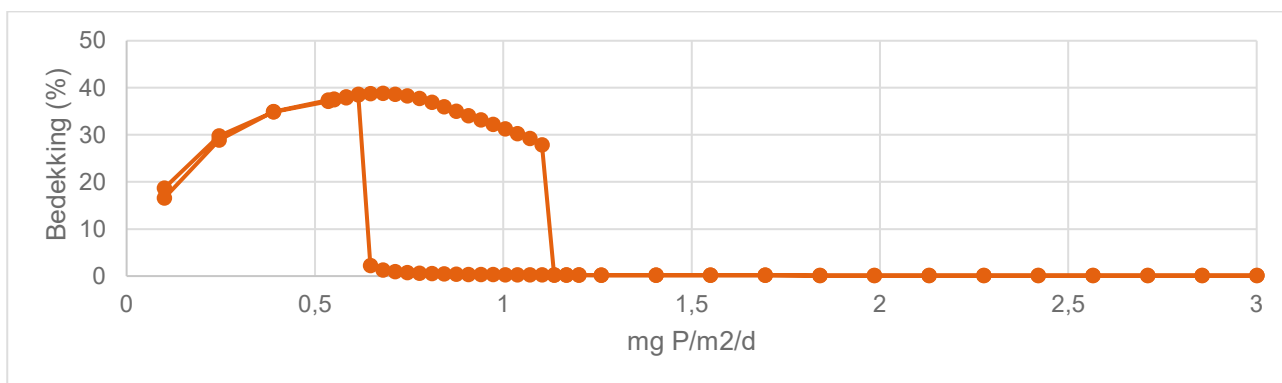
Na verschillende iteraties is voor het optimale scenario voor het Paterswoldsemeer een oppervlakte van 15 hectare natuurvriendelijke zones berekend. De ratio natuurvriendelijke zones ten opzichte van het openwateroppervlakte komt uit op 0.0554. Het omslagpunt van een helder naar een troebel systeem (rode lijn) ligt rond de 1.1 mg P/m² per dag en het omslagpunt van een troebel naar helder systeem ligt rond de 0.62 mg P/m² per dag (Figuur 21). De gereduceerde P-belasting (groene bolletje) ligt ruim (>20%) buiten het omslagpunt van troebel naar helder. In dit scenario, bij 15 hectare en een gereduceerde belasting van 0.52 mg P/m² per dag, kan gesproken dat het systeem voldoende veerkracht heeft om in een heldere toestand te komen en te blijven.



Figuur 21: Weergave van de kritische P-belastingen ten opzichte van chlorofyl-a concentraties met 25 ha natuurvriendelijke zones. Groene lijn geeft het omslagpunt aan van troebel naar helder (= kritische P-belasting voor het

meer in de huidige toestand), de **rode lijn** geeft het omslagpunt aan van helder naar troebel (= kritische P-belasting voor het meer na herstel tot een heldere toestand) en het rode bolletje geeft de actuele P-belasting aan en het groene bolletje de gereduceerde belasting (mg P/m² per dag).

Bij een heldere evenwichtstoestand in het meer kan een vegetatiebedekking van de rond de 39% bereikt worden, zie Figuur 22. Dit is nagenoeg dezelfde bedekking die is gevonden in de huidige situatie en bij 5 en 25 hectare. Waarom de bedekking niet veel afwijkt ten op zichte van de andere scenario's komt door onder andere lichtbeperkende factoren, zie paragraaf 4.3.2.



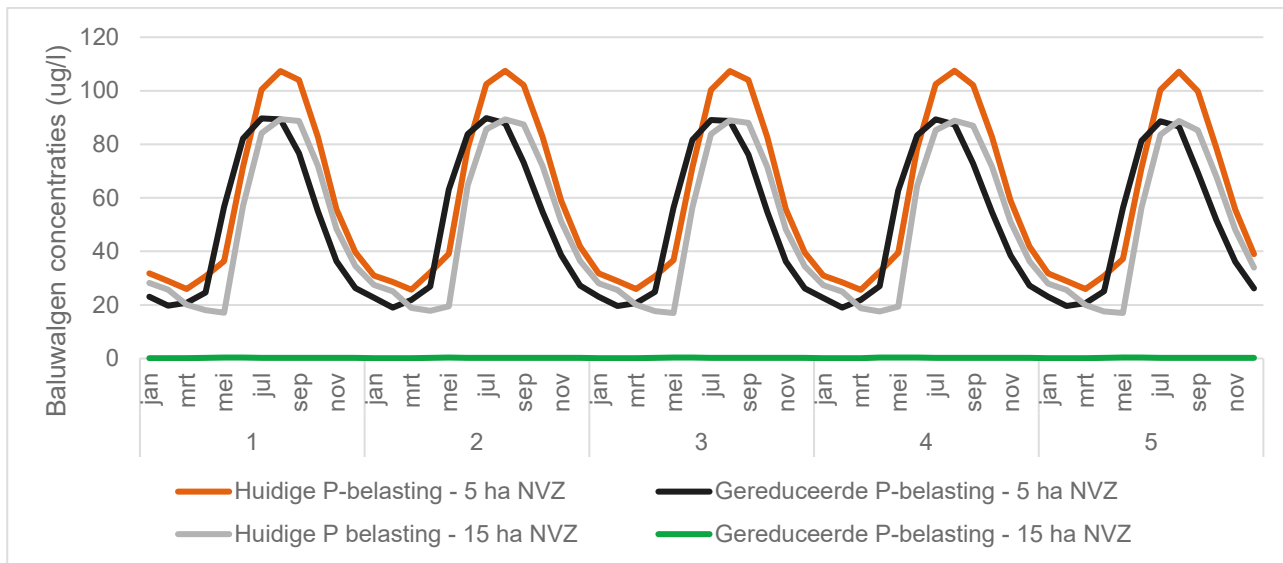
Figuur 22: Weergave van de kritische P-belastingen ten opzichte van vegetatiebedekking met 15 ha natuurvriendelijke zones.

4.3.4 Effect maatregelen samengevat

In voorgaande paragrafen zijn de effecten van bronmaatregelen in verschillende scenario's uitgewerkt. In Figuur 23 is een samenvatting opgenomen van de effecten van deze maatregelen op de blauwalgen chlorofyl-a dynamiek. In dit figuur zijn de huidige situatie met 2 hectare en scenario 2 met 25 hectare niet opgenomen. Hiervoor zijn wel de benodigde berekeningen uitgevoerd. Uit een analyse van de resultaten blijkt dat er weinig verschil zit in de uitkomsten tussen 2 en 5 hectare en 25 hectare vertoont een vergelijkbaar beeld met 15 hectare. Deze uitkomsten zijn derhalve niet opgenomen in deze paragraaf.

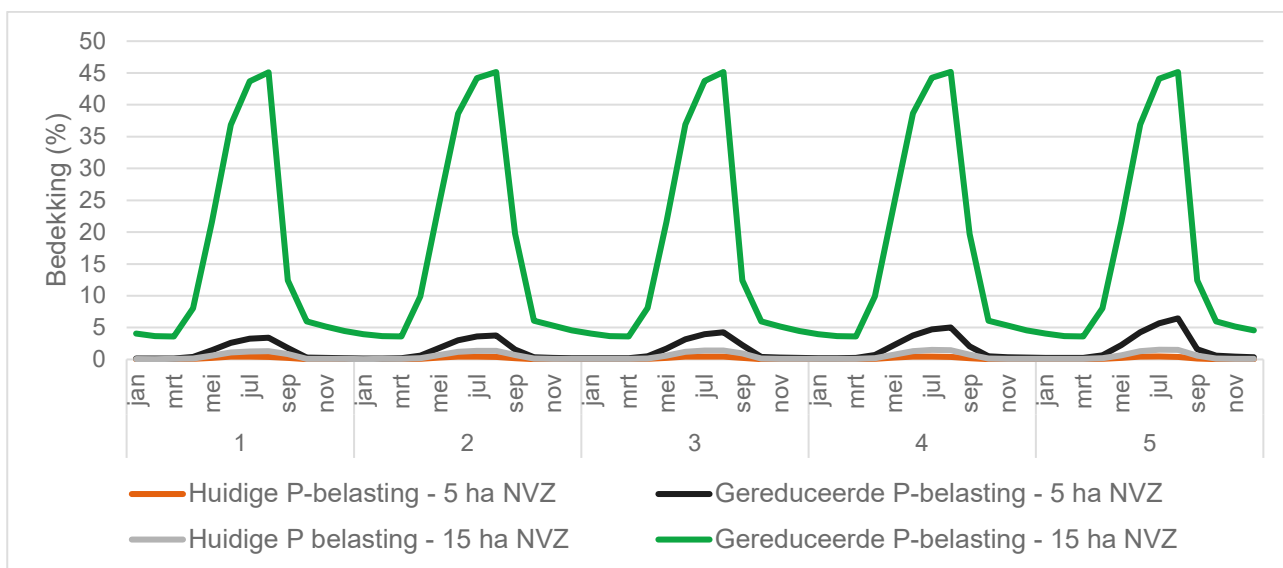
Wanneer de huidige P-belasting (0.74 mg P/m² dag) niet wordt aangepakt, is te zien dat in de zomerperiode de blauwalgen chlorofyl-a concentraties tot ver boven de 75 µg/l uitkomen, zowel bij 5 als 15 hectare natuurvriendelijke zones. De concentratie ligt ver boven de wenselijke blauwalgennorm (=12.5 µg/l) voor recreatief gebruik van water, zoals voor zwemwater¹ (Rijkswaterstaat, 2012). Pas bij 15 hectare natuurvriendelijke zones en een gereduceerde P-belasting van 0.52 mg P/m² per dag is de chlorofyl-a concentratie dermate laag dat de kans op bloeien van blauwalgen gering is.

¹ Volgens het blauwalgenprotocol krijgt een zwemwaterlocatie met een chlorofyl-a concentratie (aandeel blauwalgen) boven 75 µg/l een negatief zwemadvies.



Figuur 23: Het effect van verschillende maatregelen op de blauwalgen chlorofyl-a concentratie in het Paterswoldsemeer

De vegetatiedynamiek is weergegeven in Figuur 24. Voor de vegetatiebedekking zien we een tegenovergesteld beeld van de chlorofyl-a concentraties. Daarmee is te zien dat de vegetatie alleen in het scenario met een gereduceerde P-belasting en 15 hectare natuurvriendelijke zones goed tot ontwikkeling komt. Dit geeft aan dat het systeem in deze situatie is veranderd van een (blauw)algen gedomineerd systeem in een meer evenwichtige situatie met meer waterplanten. In paragraaf 4.4 is verder toegelicht op welke termijn het Paterswoldsemeer, op basis van voorgestelde maatregelen, kan veranderen in een situatie met meer waterplanten.



Figuur 24: Overzicht van het effect van verschillende maatregelen op de vegetatiebedekking in het Paterswoldsemeer

4.4 Lange termijneffecten

Een belangrijke vraag is wat de lange termijneffecten zijn op de ecologische toestand van het Paterswoldsemeer (o.a. totaal-P concentratie, chlorofyl-a concentratie, waterplanten, etc.) wanneer de P-belasting wordt teruggebracht en het benodigde areaal natuurvriendelijke zones wordt aangelegd. Ook is onderzocht hoelang het duurt voordat het systeem in een nieuwe stabielere evenwichtssituatie belandt.

Om antwoord te krijgen op deze vragen zijn diverse modelruns gedaan met zowel 5 als 15 hectare natuurvriendelijke zones, al dan niet in combinatie met de huidige en of gereduceerde P-belasting. Het model simuleert in alle gevallen een run van 50 jaar.

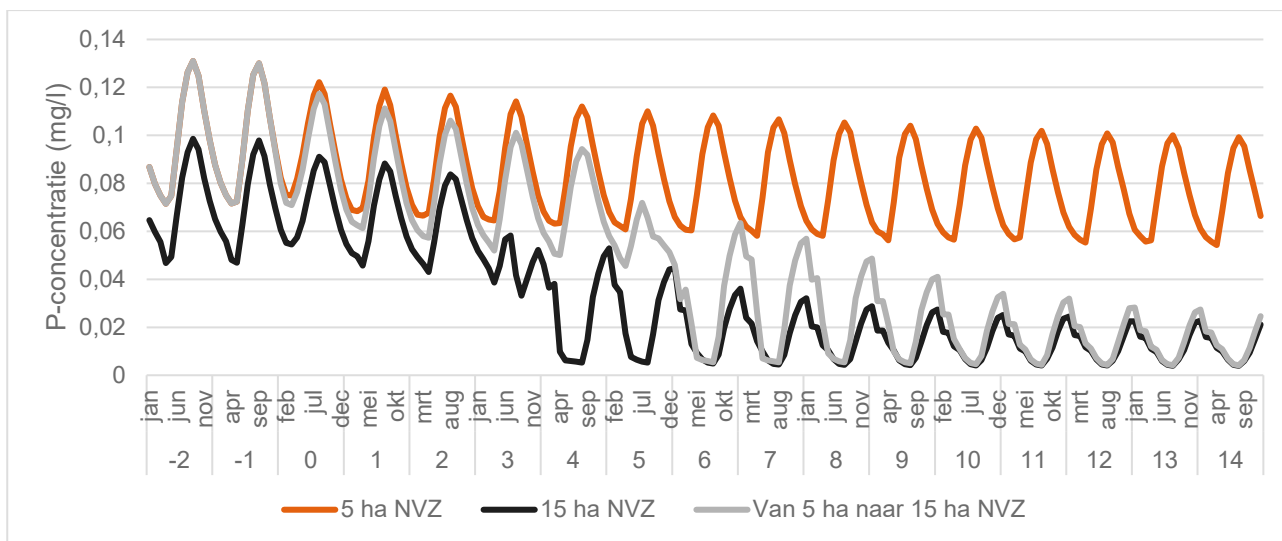
4.4.1 Totaal-P en chlorofyl-a

Met het model is bij 5 en 15 hectare natuurvriendelijke zones onderzocht wat er gebeurt met de totaal-P en chlorofyl-a concentraties wanneer na verloop van tijd de belasting van 0.74 mg P/m² per dag wordt gereduceerd tot 0.52 mg P/m² per dag. De resultaten van deze runs zijn getoond in Figuur 25 en Figuur 26. Hierbij draait het model eerst met de huidige belasting (0.74 mg P/m²/d) totdat er sprake is van een evenwicht (de laatste 2 “min-jaren” zijn opgenomen in de figuren). Vanaf jaarnummer “0”, wordt de maandelijkse P-belasting aangepast naar de gereduceerde belasting (0.52 mg P/m²/d) en ontstaat er na verloop van tijd een nieuw evenwicht.

Totaal-P concentratie

In Figuur 25 is het verloop van de totaal P-concentratie te zien over de jaren. Door een groter areaal aan natuurvriendelijke zones is de verwachting dat de totaal-P concentraties bij een P-belasting van 0.74 mg P/m² per dag al lager zullen zijn.

Voor de 5 hectare run is te zien dat de P-concentratie daalt vanaf het moment dat de P-belasting wordt teruggeschroefd naar 0.52 mg P/m² per dag en dat na circa 11 à 13 jaar een nieuwe stabiele situatie wordt bereikt. De concentraties liggen circa 30% lager dan voor de reductiemaatregelen. Bij de 15 hectare run is te zien dat na 5 jaar de P-concentratie in het meer al meer dan gehalveerd is. Na 10 à 12 jaar liggen de P-concentraties bijna 80% lager. In het laatste scenario is op jaarnummer “0” naast de gereduceerde P-belasting ook het oppervlakte natuurvriendelijke zone veranderd van 5 hectare naar 15 hectare. Hierbij is te zien dat de daling intreedt nadat de P-belasting reductie intreedt. Na 5 jaar is er een nieuwe stabiele situatie. Het verloop van de daling in de P-concentratie is langzamer dan gelijk 15 hectare natuurvriendelijke, maar bereikt na een langere termijn dezelfde 80% reductie.

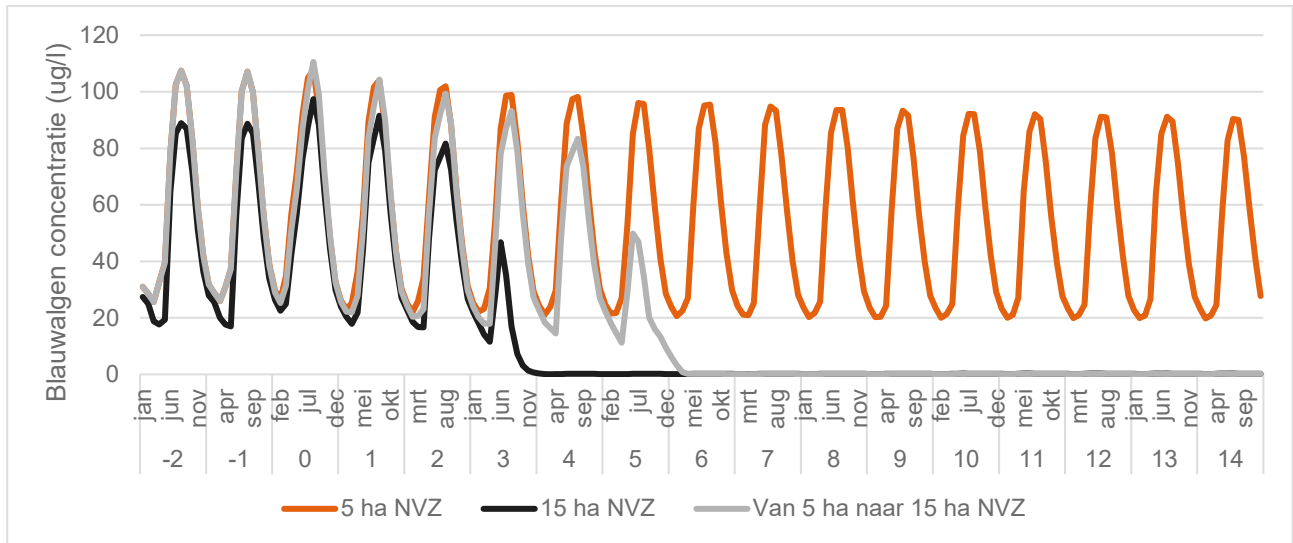


Figuur 25: Effect van de gereduceerde P-belasting op de totale P-concentratie met verschillende oppervlaktes natuurvriendelijke zones.

Chlorofyl-a concentraties

Voor de chlorofyl-a concentraties is dezelfde trend te zien als voor de voorspelde P-concentratie in het meer (Figuur 26). Met de gereduceerde P-belasting daalt de chlorofyl-a concentratie bij 5 hectare natuurvriendelijke zones van maximaal 110 µg/l naar 90 µg/l. Bij de 15 hectare natuurvriendelijk zones daalt de concentratie van maximaal 90 µg/l naar beneden de 1 µg/l als evenwichtssituatie.

In het derde jaar van de gereduceerde belasting zijn de chlorofyl-a concentraties dermate laag dat kan worden aangenomen dat de (blauw)algen bijna geheel zijn verdwenen. Als bij jaarnummer “0” de 15 hectare NVZ wordt gerealiseerd, is na 6 jaar gereduceerde P-belasting te zien dat de (blauw)algen concentratie bijna geheel is verdwenen. Vanaf dat moment kan de voorzichtige conclusie worden getrokken dat het meer 1) na reductie van de P-belasting in combinatie met 2) de realisatie van de natuurvriendelijke zones na circa 6 jaar omslaat van een troebele naar een meer heldere evenwichtssituatie. Waterplanten kunnen dan tot ontwikkeling komen, zie paragraaf 4.4.2.



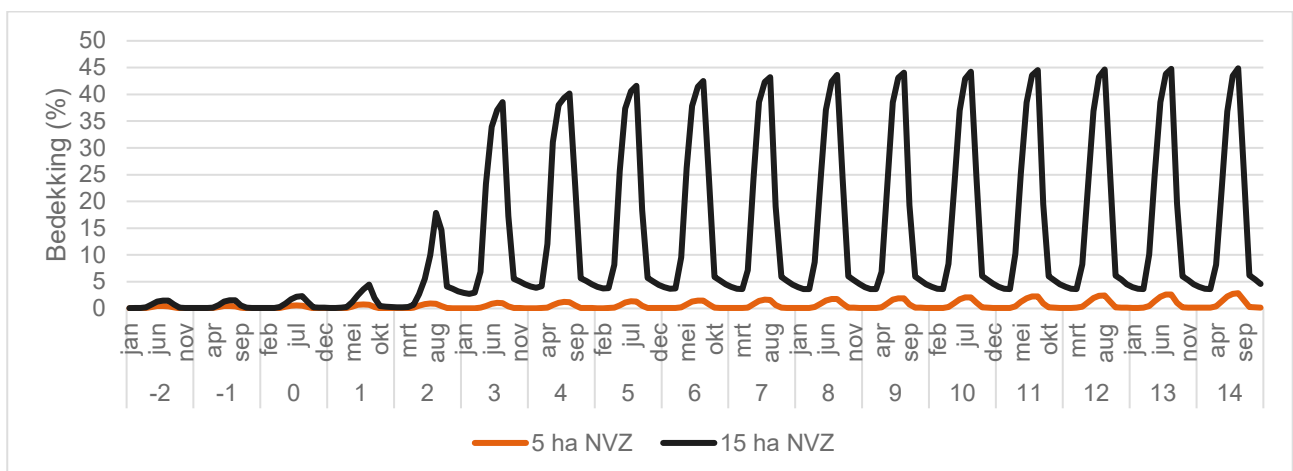
Figuur 26: Effect van de gereduceerde P-belasting op de blauwalgen chlorofyl-a concentratie met verschillende oppervlaktes natuurvriendelijke zones.

4.4.2 Waterplanten

De vegetatie speelt een belangrijke rol in het helder worden van het water. Als de algenconcentratie in het water daalt, geeft dit door het verbeterde lichtklimaat ruimte aan waterplanten om te groeien. Soms kan extra maaien (en afvoeren) helpen om een overmatige vegetatiebedekking te voorkomen. Voor onderstaande figuren en beschrijving gelden dezelfde uitgangspunten als besproken in de eerste alinea van paragraaf 4.4.1.

Vegetatiebedekking

In Figuur 27 is te zien dat de vegetatieontwikkeling bij 5 hectare natuurvriendelijke zones niet op gang komt, ook niet na de reductie van de P-belasting vanaf jaar "0". Dit komt overeen met het beeld uit paragraaf 4.3.1. waaruit blijkt dat het systeem troebel blijft door dominantie van (blauw)algen, dit is ook te zien in Figuur 26. In de modelrun met 15 hectare natuurvriendelijke zones in combinatie met de reductie van de P-belasting is te zien dat na 4 jaren de vegetatiebedekking significant is toegenomen tot 40%. Dit komt door het verbeterde lichtklimaat met een afname van de chlorofyl-a concentraties. Vanaf het 5^e jaar stijgt de vegetatiebedekking nog enkele procenten tot een percentage van 45% waarna het systeem in een stabiele evenwichtstoestand beland.

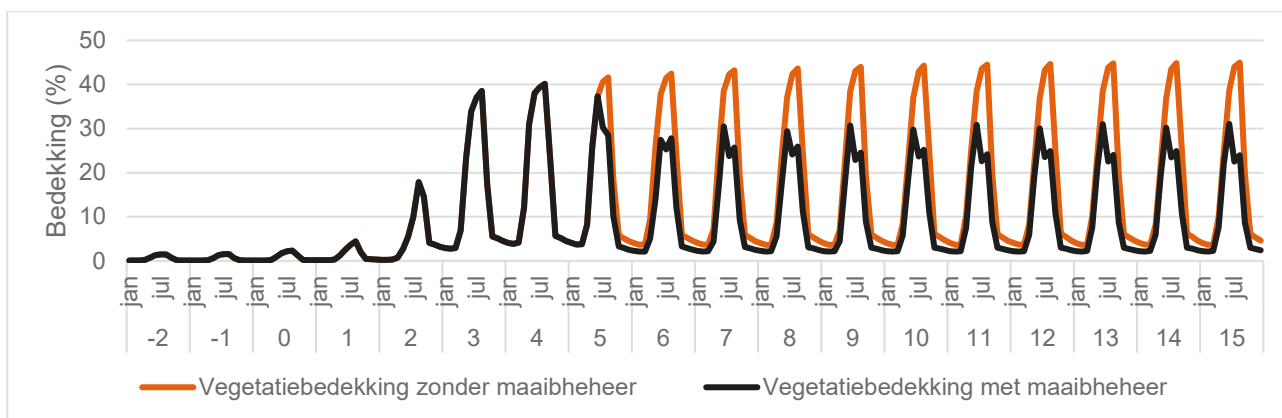


Figuur 27: Effect van de gereduceerde P-belasting op de vegetatiebedekking met verschillende oppervlaktes natuurvriendelijke zones.

Maaibeheer

Uit Figuur 27 blijkt dat de bedekking met waterplanten flink kan toenemen. Dit kan hinderlijk zijn voor de recreatiesector. Een mogelijke maatregel is om (een deel) van de vegetatie te gaan maaien. In het PCLake model is een module aanwezig waarin het maaibeleid kan worden ingevoerd. Voor het Paterswoldsemeer is een eerste vingeroefening uitgevoerd voor het scenario met 15 hectare natuurvriendelijke zones en een P-belasting van 0.52 mg P/m²/dag.

Het maaibeleid is als volgt ingevoerd: er wordt tweemaal gemaaid, éénmaal halverwege juli en éénmaal eind augustus. De intensiteit van het maaibeleid is ingesteld op 40% maaien van de aanwezige waterplanten. Er wordt pas gemaaid als er een stabiele bedekking met waterplanten aanwezig is (jaar 5). In Figuur 28 is het effect weergegeven van het ingevoerde maaibeleid. Door te gaan maaien zal de vegetatiebedekking vermoedelijk gaan dalen van 45% naar 30% van het totale areaal aan wateroppervlakte in het Paterswoldsemeer.



Figuur 28: Effect van maaibeleid op de vegetatiebedekking met 15 ha natuurvriendelijke zones en een gereduceerde belasting van 0.52 mg P/m² per dag.

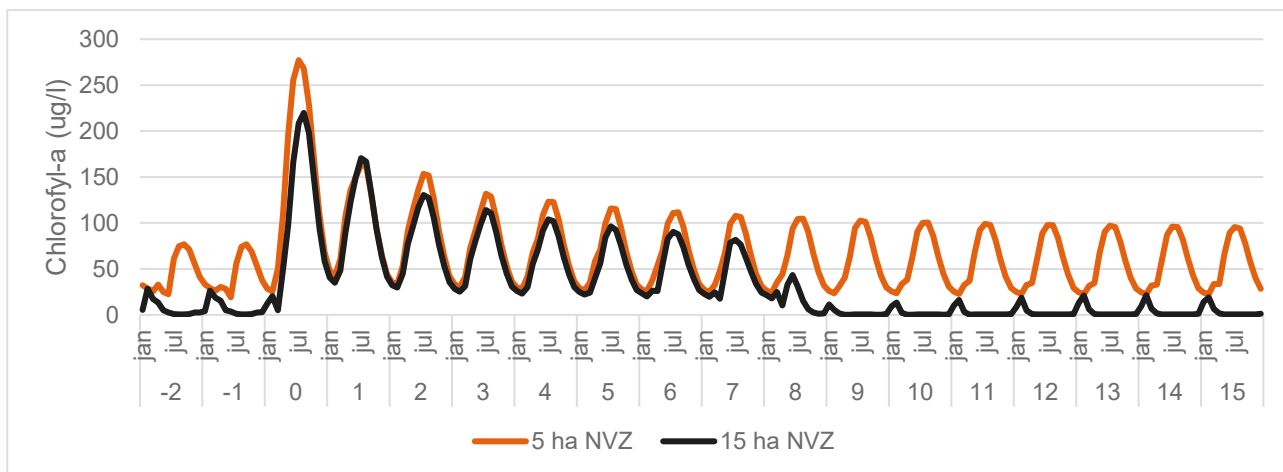
4.4.3 Klimaatverandering

Als de veerkracht van het Paterswoldsemeer wordt vergroot, dan is het systeem beter bestand tegen klimaatverandering. Opnieuw zijn een tweetal runs uitgevoerd met de gereduceerde P-belasting, éénmaal voor een areaal met 5 hectare natuurvriendelijke zone en éénmaal voor 15 hectare. Deze modelruns zijn opnieuw een eerste vingeroefening om te kijken of het systeem een 'extreme' klap kan opvangen.

Welke aanpassingen zijn doorgevoerd? Halverwege de modelrun, nadat sprake is van een stabiele evenwichtssituatie, is er een extreem droog jaar (periode april-september) in combinatie met een hoge P-belasting doorgevoerd. De watertemperatuur is flink omhoog geschroefd, de P-belasting neemt fors toe, het debiet neemt af evenals de verdamping. In Bijlage B zijn deze waarden voor een extreem jaar in tabelvorm nader uitgewerkt. Ook is het normale jaar opgenomen in deze bijlage zodat de wijzigingen goed inzichtelijk zijn.

Chlorofyl-a concentraties - (blauw)algen

Na het jaar met extreme omstandigheden (jaar "0" in Figuur 29) loopt het model door onder normale omstandigheden om vast te stellen hoelang het duurt voordat het systeem terugkomt in een evenwichtssituatie. In het extreme jaar is te zien dat de chlorofyl-a concentratie omhoog schiet. Na het extreme jaar dalen de concentraties langzaam. Voor de 15 hectare run volgt na 8 jaar ineens de omslag naar de heldere beginsituatie. De 5 hectare run herstelt niet, na het extreme jaar liggen de maximum chlorofyl-a concentraties 15 jaar nadien nog een factor 1,25 hoger dan voor het extreme jaar. Dit is te zien aan de chlorofyl-a concentratie die in de zomermaanden niet afzakt naar 80 µg/l, maar blijft schommelen rond de 100 µg/l.



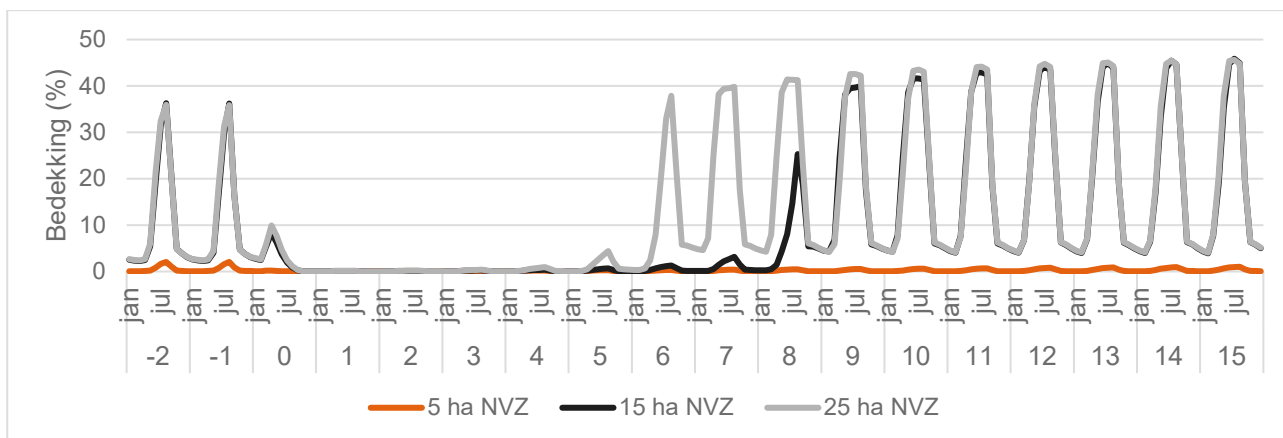
Figuur 29: Effect op chlorofyl-a concentratie van een extreem jaar op het watersysteem van het Paterswoldsemeer met 5 ha natuurvriendelijke zones en 15 ha natuurvriendelijke zones.

Vegetatiebedekking

Voor de vegetatiebedekking kan geconcludeerd worden dat deze bijna geheel verdwijnt in het jaar met extreme omstandigheden (Figuur 30). In de simulatierun van 15 hectare natuurvriendelijke zones begint de vegetatie zich na 8 jaar weer te herstellen. Er kan zelfs worden gesproken over een toename in de vegetatiebedekking na het herstel van het systeem ten opzichte van de situatie voor het extreme jaar. Dit kan meerdere redenen hebben. Een van de redenen kan zijn dat zich in de voorgaande 8 jaar een extra (voedselrijke) sliblaag heeft opgebouwd waardoor wortelende waterplanten meer voedingsstoffen beschikbaar hebben om explosief te gaan groeien. Voor de run met 5 hectare natuurvriendelijke zones blijft de lijn voor vegetatiebedekking vlak en laag, het systeem blijft (blauw)algen gedomineerd en er komen geen waterplanten tot ontwikkeling.

Met 25 hectare natuurvriendelijke zones begint de vegetatie na 6 jaar te herstellen, dit is slechts twee jaar eerder dan bij 15 hectare. Zowel bij 15 als bij 25 hectare is te zien dat de vegetatiebedekking ten opzichte van voor het extreme jaar is toegenomen. Mogelijk heeft dit te maken met oplading van de waterbodem met nutriënten als gevolg van afgestorven organismen zoals blauwalgen.

Op basis van uitgevoerde analyse kan geconcludeerd worden dat het Paterswoldsemeer met 15 hectare natuurvriendelijke zones en een gereduceerde P-belasting voldoende veerkracht heeft om een extreem zomerhalfjaar op te vangen. Het Paterswoldsemeer is in staat om zichzelf na verloop van tijd te herstellen van extreme omstandigheden en terug te keren naar een helder systeem met waterplanten.



Figuur 30: Effect op de vegetatiebedekking van een extreem jaar op het watersysteem van het Paterswoldsemeer met 5, 15 en 25 hectare natuurvriendelijke zones.

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Dit hoofdstuk bestaat uit twee delen, te weten de belangrijkste conclusies uit voorliggende PCLake studie en aanbevelingen voor eventuele vervolgstappen.

Conclusies

- De ecologische toestand van het Paterswoldsemeer is niet op orde. De vier biologische parameters fytoplankton (indicatie voor blauwalgen), macrofauna, overige waterflora (lees waterplanten) en vis voldoen niet aan de normen vanuit de Kaderrichtlijn Water.
- Het Paterswoldsemeer wordt in de zomer gedomineerd door blauwalgenbloeien. Dit komt omdat de nutriëntenbelasting in combinatie met een lange verblijftijd van het water te hoog is. Vooral de P-belasting vormt een knelpunt. De huidige P-belasting is berekend op 0.74 mg P/m² per dag.
- Er zijn te weinig (ondergedoken) waterplanten aanwezig. Waterplanten spelen een belangrijke rol in de waterkwaliteit, daarnaast biedt het een geschikt habitat voor vis en macrofauna. De kwaliteit van deze biologische parameters lift automatisch mee wanneer er meer waterplanten (gaan) groeien.
- Naast reductie van de P-belasting is het vergroten van de veerkracht door de aanleg van meer natuurvriendelijke zones kansrijk. Dit zijn twee belangrijke knoppen waar aan gedraaid kan worden. Voor deze twee draaiknoppen zijn scenario's ontwikkeld:
 - De P-belasting kan gereduceerd worden door drie bronnen aan te pakken. In volgorde van belangrijkheid zijn dit het stroomgebied Hoornsedijk met 75%, de Leijenloop met 50% (beide door middel van een ijzerzandpassage) en het vervangen van de waterinlaat via het Noord-Willemskanaal door Drentsche Aa water. De P-belasting wordt door deze maatregelen verlaagd tot 0.52 mg P/m² per dag.
 - Met veerkracht wordt verstaan welke nutriëntenbelasting, in dit geval de P-belasting, het systeem aan kan. Een belangrijke parameter hierin is het areaal aangrenzend moeras, lees natuurvriendelijke zones in en rondom het meer. Op dit moment is circa 2 hectare natuurvriendelijke zone aanwezig. De oorspronkelijk opgave vanuit de Kaderrichtlijn Water is 25 hectare.
- Naast het vergroten van de veerkracht zijn ook P-reducerende maatregelen mogelijk gebleken. Met PCLake is berekend hoeveel areaal natuurvriendelijke zones nodig zijn als alle P-reducerende maatregelen worden uitgevoerd. Voor het berekenen van de kritische belastingen, oftewel bij welke belastingen slaat het systeem om van helder naar troebel of van troebel naar helder, is gebruik gemaakt van het PCLake model. Bij het berekenen van de omslagpunten moet met een foutmarge van circa 20% rekening worden gehouden. In de huidige situatie ligt de P-belasting (0.74 mg P/m² per dag) in combinatie met de aanwezige 2 hectare natuurvriendelijke zones veel hoger dan het omslagpunt van troebel naar helder (0.48 mg P/m² per dag). Ook bij 25 hectare is met de huidige P-belasting niet met zekerheid te stellen dat het systeem omslaat van een troebele naar heldere situatie (omslagpunt ligt op 0.7 mg P/m² per dag).
- Extra natuurvriendelijke zones in combinatie met P-reducerende maatregelen zijn daarentegen wel kansrijk. Want bij een gereduceerde P-belasting van 0.74 tot 0.52 mg P/m² per dag blijkt de gereduceerde belasting ruim onder het omslagpunt van 0.7 mg P/m² per dag te liggen.
- Omdat 25 hectare enerzijds vanuit technisch oogpunt niet haalbaar blijkt (te weinig ruimte in het gebied) en anderzijds misschien ook niet nodig is, omdat de gereduceerde belasting ruim onder het omslagpunt ligt, is vastgesteld dat minder hectares natuurvriendelijke zones nodig zijn.
- Bij een gereduceerde P-belasting van 0.52 mg P/m² per dag en rekening houdend met een foutmarge van het model van circa 20% is het benodigde omslagpunt vastgesteld op 0.62 mg P/m² per dag. Uit diverse iteraties met het PCLake model is berekend dat dit omslagpunt wordt bereikt bij een areaal natuurvriendelijke zones van circa 15 hectare.
- Wanneer 15 hectare natuurlijke zones worden gerealiseerd in combinatie met de P-reducerende maatregelen dan blijkt dat:
 - Het Paterswoldsemeer na uitvoering van de maatregelen na circa 3 à 4 jaar langzaam helder wordt.
 - De chlorofyl-a concentratie een factor 3 à 4 lager worden dan in de huidige situatie tot maximaal 20 µg/l.
 - De totaal-P concentraties vertonen een vergelijkbaar beeld en nemen een factor 2 à 3 af tot maximaal 0.03 mg P/l.
 - De vegetatiebedekking na 4 jaar kan toenemen tot circa 40% van het areaal wateroppervlak.
 - Optimaal maai-beheer lijkt effectief te zijn tegen een hoge vegetatiebedekking zonder dat het systeem weer omslaat naar een troebele situatie.

- De veerkracht toe neemt en het Paterswoldsemeer is bestendiger tegen extremere weersomstandigheden. Na een jaar met tijdelijk slechtere ecologische omstandigheden (bv. een droog jaar) verbeterd de situatie weer na enkele jaren en wordt het meer langzaam weer helder.

Aanbevelingen

- De stoffenbalans is gebaseerd op de laatste stand van zaken van eind 2019. Toch is er een aantal bronnen met een P-belasting die nader onderzocht moeten worden. Het gaat om:
 - Het aandeel watervogels, uit diverse overleggen is naar voren gekomen nog eens kritisch te kijken naar het aantal vogels, soort vogels (en daarmee de belasting van P in de uitwerpselen), periode dat deze vogels op of rondom het Paterswoldsemeer aanwezig zijn. Ook is het aan te bevelen om het aandeel vogels en het aandeel voeren van vogels uit elkaar te halen in de balans, voor eventuele verdere maatregelen.
 - Nalevering van de waterbodem. Door B-Ware is onderzoek verricht naar de productiviteit van de bodem. De productiviteit van de bodem is omgerekend naar de potentiële nalevering. Door B-Ware wordt geadviseerd om naleveringproeven uit te voeren onder verschillende omstandigheden (zuurstofloze, -arme en -rijke omstandigheden) en voor een betrouwbaar beeld ook op representatief gekozen locaties in het Paterswoldsemeer.
- In de huidige PCLake modellering is een keuze gemaakt voor veel vaste invoerwaarden, bijvoorbeeld voor de debieten en ook de P-belasting. Voor deze en nog vele andere parameters zijn deze waarden als constante ingevuld. Daarnaast kunnen voor veel van deze parameters ook de waarden in kleinere tijdstapjes, bv. per maand of dag, worden ingevoerd om nog meer grip te krijgen op de dynamiek van het Paterswoldsemeer.
- Van sommige parameters is geen informatie bekend, deze waarden zijn overgenomen uit het “standaard” PCLake model. In paragraaf 3.3 zijn de parameters opgenomen waarvoor de waarden wel zijn aangepast. Het verdient de aanbeveling om kritisch te kijken welke parameters in de toekomst specifiek gemaakt kunnen worden voor het Paterswoldsemeer. Zo wordt de betrouwbaarheid van het modelresultaat vergroot.
- Voor het effect van maaien op de watervegetatie en de helderheid van het water is een eerste vingeroefening uitgevoerd. Er is geen berekening uitgevoerd om vast te stellen hoeveel vegetatie maximaal gemaaid mag worden totdat het systeem omslaat naar een troebele situatie.
- Voor het effect van klimaatverandering is eenmalig een extreme zomer gesimuleerd. Ondanks dat sommige waarden onrealistisch afwijken van de werkelijk situatie (o.a. watertemperatuur +10 graden, dubbele verdamping en factor 10 hogere P-belasting) lijkt het Paterswoldsemeer zich na een aantal jaren te herstellen. Een interessante vervolgvraag is om een extreem nat en droog jaar uit het verleden te simuleren of de KNMI Klimaatscenario's toe te passen.
- Er kan nog meer bronreductie plaatsvinden als er een technische maatregel (bv. ijzerzandpassage) wordt gerealiseerd om het schut- en inlaatwater van het Noord-Willemskanaal te zuiveren en of minimaal in het meer te laten stromen. Het advies is om dit nog nader te onderzoeken.

LITERATUUR

Arcadis, 2019a. Watersysteemanalyses KRW waterlichamen Noorderzijlvest.

Arcadis, 2019b. KRW-project Paterswoldsemeer, onderdeel van het project is het opstellen van een water- en stoffenbalans.

Arcadis, 2019c. Toepassing IJzerzandpassage Hoornsedijk.

B-Ware, 2019. Waterbodemonderzoek Paterswoldsemeer. Rapportnummer: RP-18.221.19.22.

Buitenveld, H., 1995. A Model for calculation of diffuse light attenuation and Secchi depth. *Aquatic Ecology* 29 (1) 55-65 (1995).

Bureau Waardenburg, 2019. Advies waterplanten Paterswoldsemeer.

Janse, J. H. (2005). Model studies on the eutrophication of shallow lakes and ditches. Wageningen Universiteit.

Janse, J.H., Scheffer, M., Lijklema, L., Van Liere, L., Sloot, J.S. & Mooij, W.M. (2010). Estimating the critical phosphorus loading of shallow lakes with the ecosystem model PCLake: Sensitivity, calibration and uncertainty. *Ecol. Mod.* 221: 654-665.

Kuiper, J. J. (2016). Making eco logic and models work: an integrative approach to lake ecosystem modelling. Stockholm University.

Kuiper, J.J., Verhofstad, M.J.J.M., Louwers, E.L.M., Bakker, E.S., Brederveld, R.J. van Gerven, L.P.A., Janssen, A.B.G., de Klein, J.J.M., Mooij, W.M. 2017. Mowing submerged macrophytes in shallow lakes with alternative stable states: Battling the good guys? *Environmental Management* 59: 619–634.

Medusa, 2017. Paterswoldsemeer: Fysisch en chemisch waterbodemonderzoek.

Rijkswaterstaat, 2012. Blauwalgenprotocol.

STOWA, 2017a. Ecologische sleutelfactoren voor het herstel van onderwatervegetatie.

STOWA, 2017b. Stappenplan waterplantenoverlast.

STOWA, 2018. Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn water 2021-2027. Stowa rapport 2018-49.

BIJLAGE A POSTEN WATER- EN STOFFENBALANS

Tabel 6: Relevante posten voor de waterbalans en de daarbij gebruikte gegevens

Posten waterbalans	Bron
In	
Neerslag Open Water	KNMI weerstation Eelde
Afvoer vanaf gemaal Oude Badweg	Debietbepaling o.b.v. draaiuren gemaal
Afvoer vanaf gemaal Hoornsedijk	Debietbepaling o.b.v. draaiuren gemaal
Overige afvoer landelijk gebied (Leijenloop)	Percentage van de gemeten afvoer bij de Eelderwolderpolderstuw o.b.v. oppervlak (11%)
Schutverlies van kanaal naar PWM	Aanname o.b.v. aantal geschutte bootjes per maand
Kwel o.b.v. 1 cm/d doorlatendheid meerbodem	Bepaald uit grondwatermodel met aangenomen doorlatendheid van 1cm/d van de sliblaag
Inlaat	Bepaald o.b.v. gegevens gebiedsbeheerder van aantal uren wanneer de inlaat open stond en gemeten peilen
Uit	
Verdamping Open Water	KNMI weerstation Eelde
Afvoer uit PWM	Percentage van de gemeten afvoer bij de Eelderwolderpolderstuw o.b.v. oppervlak. (52%)
Schutverlies uit PWM	Aanname o.b.v. aantal geschutte bootjes per maand
Wegzijing (1cm/d meerbodem)	Bepaald uit grondwatermodel met aangenomen doorlatendheid van 1cm/d van de sliblaag

Tabel 7: Relevante posten voor de P-stofbalans en de daarbij gebruikte gegevens

Posten stofbalans	Bron
In	
Neerslag	NVT. Geen P in neerslag
Stroomgebied Oude Badweg excl. Hoornseplas	Vracht o.b.v. debiet en gemiddelde concentratie meetpunt 6402* (het meetpunt in de Leijenloop, het meest gelijke stroomgebied)
Stroomgebied Oude Badweg Hoornseplas	Vracht o.b.v. debiet en gemiddelde concentratie meetpunt 5007* (Hoornseplas heeft alleen afvoer in november en december)
Stroomgebied Hoornsedijk	Vracht o.b.v. debiet en gemiddelde concentratie meetpunt 5009*
Stroomgebied Leijenloop	Vracht o.b.v. debiet en gemiddelde concentratie meetpunt 6402*

Posten stofbalans	Bron
Schutverlies	Vracht o.b.v. debiet en gemiddelde concentratie meetpunt WNS2354 (Noord-Willemskanaal)
Inlaat	Vracht o.b.v. debiet en gemiddelde concentratie meetpunt WNS2354 (Noord-Willemskanaal)
Kwelstroom	Vracht o.b.v. debiet en gemiddelde concentratie meetpunt, als range; <ul style="list-style-type: none"> - Minimale concentratie = 0. - Maximale concentratie = gemiddelde meetpunt B12B0175 (0.51 mg P/l) (Overige grondwatermetingen in de buurt liggen hiertussen met bijv. mpd003gm met 0.08 mg P/l)
Nalevering waterbodem	o.b.v. metingen b-ware als range met minimale en maximale nalevering
Bladinval	o.b.v. met luchtfoto 2018 bepaalde lengte begroeide oever en kental (Witteveen&Bos, 2006)
Honden	Inschatting aantal honden in overleg met meerschop i.c.m. kengetallen Rioned 2009 ('Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn relevante emissies?')
Watervogels + voeren	o.b.v. watervogelbestand SOVON en kentallen voor belasting watervogels (Waterbird, 2018)
Voeren vissen	Aantal vissers o.b.v. inschatting organisatie karpervissers Paterswoldsemeer met kental visvoerbelasting (Wijmans, P.A.D.M., 2012: Visserijkundig onderzoek Gracht Groenlo)
Recreatievaart	Aantal bootjes o.b.v. telling bij de schutsluizen i.c.m. kentallen voor de emissies (DELTAARES & TNO, 2016)
IBA	Navraag bij waterschap laat zien dat er geen IBA's aanwezig zijn.
Uit	
Verdamping Open Water	NVT, geen P in verdamping
Afvoer uit PWM	Vracht o.b.v. debiet en gemiddelde concentratie meetpunt 5527 (Paterswoldsemeer)
Schutverlies uit PWM	Vracht o.b.v. debiet en gemiddelde concentratie meetpunt 5527 (Paterswoldsemeer)
Wegzijing (1cm/d meerbodem)	Vracht o.b.v. debiet en gemiddelde concentratie meetpunt 5527 (Paterswoldsemeer)

*voor alle gemiddelde concentratiebepaling van de zijtakken rondom het meer is alleen van 2015 en 2016 uitgegaan, omdat voor deze jaren van alle punten data beschikbaar was, en andere losse jaren onverklaarbare afwijkingen hadden.

BIJLAGE B KLIMAATVERANDERING – INVLOED WEER EXTREMEN

Tabel 8: Jaarlijkse herhaalde parameters per maand voor normale en extreme omstandigheden. De oranje gekleurde waarden zijn aangepast voor de extreme zomerwaarden ten opzichte van de normale omstandigheden

Maand	Extreme Belasting	Watertemperatuur	Debiet	Verdamping
	<i>Normaal</i>	<i>Normaal</i>	<i>Normaal</i>	<i>Normaal</i>
jan	0.000725427	3.54	6.523496432	0.264516129
feb	0.000642713	3.09	5.779149254	0.566964286
mrt	0.000455738	5.13	4.374594992	1.222580645
apr	0.000700052	10.97	3.541702679	1.959166667
mei	0.000759221	15.33	4.031512751	2.751612903
jun	0.000726269	18.02	3.852922529	3.039166667
jul	0.000856054	20.16	5.874728596	3.188709677
aug	0.000681311	19.71	4.171517174	2.675
sep	0.000729127	16.51	3.597175402	1.8125
okt	0.000431981	11.14	5.777685066	0.818548387
nov	0.000604538	8.92	5.138466998	0.376666667
dec	0.000671464	4.41	5.846813069	0.205645161

Maand	Extreme Belasting	Watertemperatuur	Debiet	Verdamping
	<i>Extreem</i>	<i>Extreem</i>	<i>Extreem</i>	<i>Extreem</i>
jan	0.000725427	3.54	6.523496432	0.264516129
feb	0.000642713	3.09	5.779149254	0.566964286
mrt	0.000455738	5.13	4.374594992	1.222580645
apr	0.007	15	2.656277009	2.448958333
mei	0.008	25	3.023634563	3.023634563
jun	0.008	27	2.889691897	2.889691897
jul	0.008	28	4.406046447	3.985887097

Maand	Extreme Belasting	Watertemperatuur	Debiet	Verdamping
aug	0.008	28	3.128637881	3.128637881
sep	0.007	27	2.697881551	2.265625
okt	0.000431981	21	5.777685066	0.818548387
nov	0.000604538	8.92	5.138466998	0.376666667
dec	0.000671464	4.41	5.846813069	0.205645161

COLOFON

PCLAKE STUDIE PATERSWOLDSEMEER
ONDERZOEK NAAR DE MOGELIJKHEDEN VOOR BRONNENREDUCTIE EN HET VERGROTEN VAN DE
VEERKRACHT

KLANT

Waterschap Noorderzijlvest

AUTEUR

Bart-Jan Vreman
Vera de Boer
Daphne Buijert

PROJECTNUMMER

C03081.000299

ONZE REFERENTIE

D10009365:39

DATUM

15 mei 2020

STATUS

Definitief

GECONTROLEERD DOOR

Sven Teurlincx (NIOO / AKWa)
Specialist

VRIJGEGEVEN DOOR

Arjan Schenkel
Projectmanager

Arcadis Nederland B.V.

Postbus 264
6800 AG Arnhem
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com