

Watersysteem- en bronanalyse knelpunten stedelijk water

deelrapport Lovendaalsingel te Grave



**Watersysteem- en bronanalyse
knelpunten stedelijk water****deelrapport Lovendaalsingel te
Grave**

referentie	projectcode	status
HT449-1/14-002.651	HT449-1	definitief 02
projectleider	projectdirecteur	datum
drs.ing. A. Balla	ing. Th. G.J. Wijtes	6 februari 2014

autorisatie	naam	paraaf
goedgekeurd	drs.ing. A. Balla	

INHOUDSOPGAVE	blz.
1. INLEIDING	1
1.1. Aanleiding	1
1.2. Doel	1
1.3. Leeswijzer	2
2. METHODIEK ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN	3
2.1. Algemeen	3
2.2. Productiviteit water	4
2.2.1. Water- en stoffenbalans	4
2.2.2. Verblijftijd	6
2.2.3. Nutriëntenbelasting vs. kritische belasting	6
2.3. Lichtklimaat	6
2.4. Productiviteit bodem	7
3. FUNCTIONEREN WATERSYSTEEM LOVENDAALSINGEL	9
3.1. Algemeen	9
3.2. Hydrologische uitgangspunten	9
3.2.1. In- en uitlaatpunten	9
3.2.2. Grondwatersysteem	10
3.2.3. Oppervlaktewaterstand	12
4. WATER- EN STOFFENBALANS	13
4.1. Waterbalans	13
4.1.1. Kwel en infiltratie	13
4.1.2. Berekende waterstanden	14
4.1.3. Verblijftijd	14
4.2. P-belasting vs. kritische belasting	14
4.2.1. Belastingbronnen	15
4.2.2. Externe P-belasting vs. kritische belasting	15
4.3. Kanttekeningen	17
5. WATERKWALITEIT EN ECOLOGIE	19
5.1. Nutriënten	19
5.1.1. Nutriëntenconcentraties	19
5.1.2. N:P-ratio	21
5.2. Lichtklimaat	21
5.2.1. Doorzicht	21
5.2.2. Algengroei	22
5.3. Waterbodem	22
5.4. Zuurstof	23
5.5. Ecologie	24
5.5.1. Vegetatie	24
5.5.2. Vis	24
5.5.3. Watervogels	24
6. SYNTHESE OP BASIS VAN ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN	27
6.1. Opbouw synthese	27
6.2. Uitwerking synthese	27
6.2.1. Sleutelfactor 1	27
6.2.2. Sleutelfactor 2	27
6.2.3. Sleutelfactor 3	27

7. AANBEVELINGEN VOOR MAATREGELEN EN VERVOLGONDERZOEK	29
7.1. Mogelijke maatregelen	29
7.2. Afweging maatregelen	29
7.3. Advies maatregelenpakket	31
7.4. Discussie en onzekerheden	33
8. REFERENTIES	37
laatste bladzijde	38
BIJLAGEN	aantal blz.
I Gehanteerde verdampingsfactoren	1
II Neerslag en verdamping meetstation Volkel	1

1. INLEIDING

1.1. Aanleiding

Waterschap Aa en Maas heeft zich voorgenomen samen met de gemeenten voor vijf waterpartijen in het stedelijk gebied maatregelen te treffen voor het verbeteren van de waterkwaliteit. Hierbij is de gemeente trekker. Het waterschap heeft hierbij een adviserende rol. Het betreft de volgende waterpartijen:

1. Lovendaalsingel te Grave;
2. Slievenvijver te Someren;
3. Peellandvijver te Deurne;
4. 't Ven te Veghel;
5. De Wiel te Geffen.

In deze waterpartijen is sprake van negatieve beleving of ernstige waterkwaliteitsproblemen zoals blauwalgen, botulisme en/of vis- en vogelsterfte. Het waterschap streeft naar een helder en stabiel watersysteem met een bijbehorende evenwichtige samenstelling van waterflora en -fauna. Overmatige aanwezigheid van (blauw)algen dient hiervoor voorkomen te worden.

Om dit te bereiken wordt rekening gehouden met herinrichting van de waterpartijen. Vanaf 2012 wordt de planvoorbereiding getroffen voor de herinrichting van de waterpartijen. De bedoeling is vanaf 2013 te starten met de uitvoering. De planning is daarbij voor de verschillende waterpartijen verschillend.

Aan Witteveen+Bos is gevraagd om een watersysteemanalyse uit te voeren voor deze vijf waterpartijen. De watersysteemanalyse moet meer inzicht verschaffen in het hydrologisch en ecologisch functioneren van de waterpartijen. Aan de hand van de watersysteemanalyse wordt bepaald welke factoren bepalend zijn voor het functioneren van de waterpartijen. Op basis daarvan geven we een advies over wat het waterschap Aa en Maas samen met de gemeenten kan doen om een helder en stabiel watersysteem te creëren.

Ecologische Sleutelfactoren

In de aanpak staat een diagnose van de watersystemen volgens Ecologische Sleutelfactoren centraal. Hierbij wordt bepaald of in een watersysteem voldaan wordt aan essentiële voorwaarden voor herstel van ondergedoken waterplanten. Er is aandacht voor de productiviteit van het water (vormen algen/kroos een knelpunt), het lichtklimaat (vormen andere deeltjes in het water een knelpunt) en de productiviteit van de bodem (vormt de bodem een knelpunt) wordt besproken. Bij elke voorwaarde of Ecologische Sleutelfactor passen typen maatregelen, die ervoor zorgen dat een knelpunt wordt weggenomen. In hoofdstuk 2 wordt een beschrijving gegeven van de diagnose volgens Ecologische Sleutelfactoren.

1.2. Doel

Doel van het project is, op basis van een watersysteemanalyse van de vijf waterpartijen, maatregelen voor te stellen waarmee we de juiste randvoorwaarden verzorgen voor het verkrijgen van heldere en plantenrijke waterpartijen. Hierbij wordt gericht op het vaststellen van kansrijke maatregelen. Maatregelen zijn daarbij kansrijk indien ze voldoende effectief en duurzaam zijn.

1.3. Leeswijzer

Voor elke waterpartij wordt een deelrapport opgesteld. Hierbij wordt een uitwerking gegeven van de watersysteemanalyse voor de waterpartij:

- in hoofdstuk 2 wordt de methodiek volgens ecologische sleutelfactoren beschreven;
- in hoofdstuk 3 zijn de hydrologische uitgangspunten van de locatie besproken, zoals de in- en uitposten, grond- en oppervlaktewaterstanden en de aanwezigheid van kwel en/of wegzijging;
- in hoofdstuk 4 is de uitwerking van de water- en stoffenbalans weergegeven, inclusief verblijftijden en nutriëntenbelastingen ten opzichte van kritische belastingen;
- in hoofdstuk 5 is het fysisch-chemisch en ecologisch functioneren van het systeem uiteengezet, inclusief het lichtklimaat, de nutriëntenconcentraties, de zuurstofhuishouding, de waterbodem en de ecologie;
- in hoofdstuk 6 is een synthese opgesteld op basis van de Ecologische Sleutelfactoren. Bepaald wordt of de drie Ecologische Sleutelfactoren wel of niet voldoen;
- tot slot worden in hoofdstuk 7 op grond van de uitkomsten van de systeemanalyse passende maatregelen en aanbevelingen voor vervolgonderzoek voorgesteld.

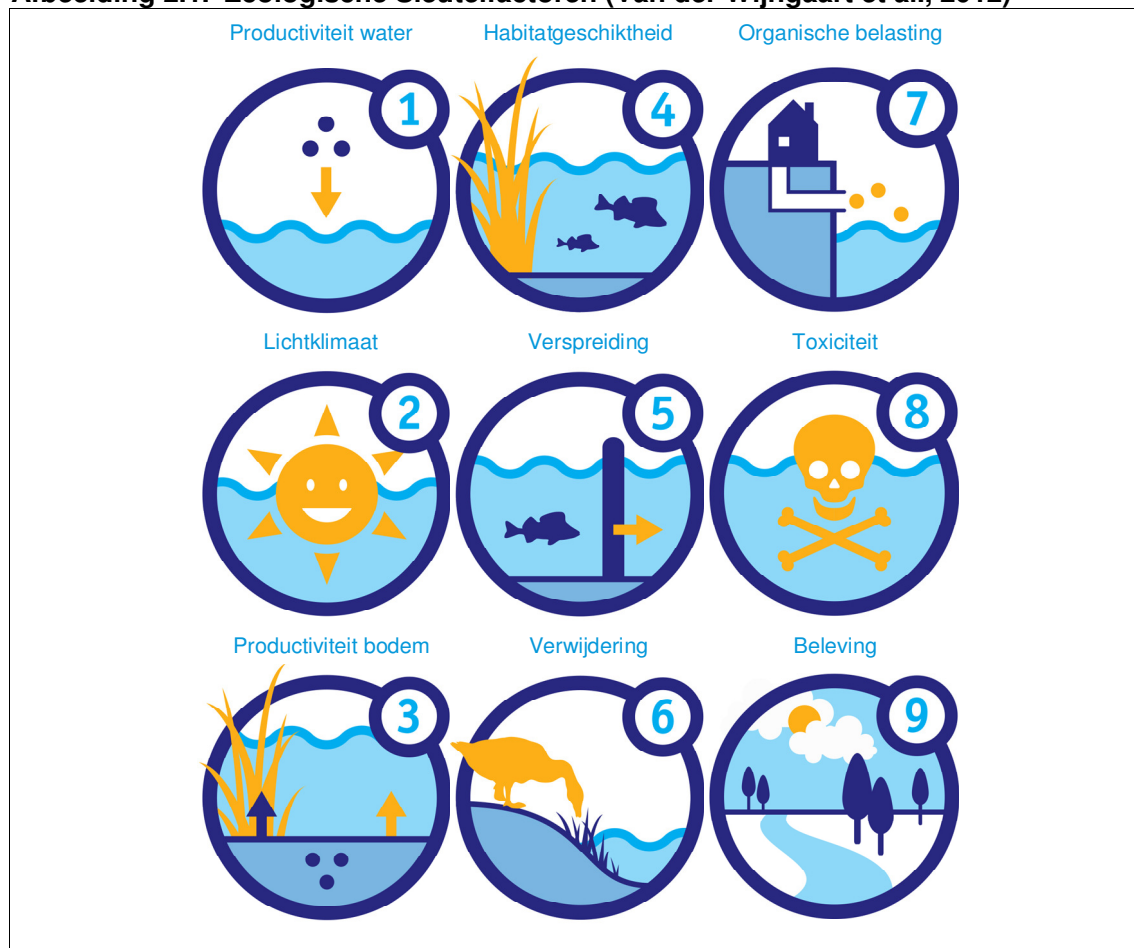
In deze rapportage is de watersysteemanalyse beschreven voor waterpartij de Lovendaalsingel te Grave.

2. METHODIEK ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN

2.1. Algemeen

Witteveen+Bos gaat uit van een benadering volgens Ecologische Sleutelfactoren (afbeelding 2.1). Hiermee wordt alle aanwezige kennis en informatie op een overzichtelijke en relevante wijze gestructureerd. Met de Ecologische Sleutelfactoren wordt zoveel mogelijk uitgegaan van het actuele begrip van het functioneren van watersystemen. De methodiek gaat uit van de sturende factoren (relatie met maatregelen), een zekere hiërarchie in voorwaarden, ordening van kennis en zo veel mogelijk een concrete koppeling met gegevens. In dit rapport focussen we op de eerste drie Sleutelfactoren, te weten de productiviteit water, het lichtklimaat en de productiviteit van de waterbodem. Hierbij staat het herstel van ondergedoken waterplanten centraal. Veel soortgroepen (zoals vissen en macrofauna) zijn namelijk afhankelijk van waterplanten. Waterplanten concurreren daarnaast met algen om voedingsstoffen.

Afbeelding 2.1. Ecologische Sleutelfactoren (Van der Wijngaart et al., 2012)



Voor een evenwichtig herstel van ondergedoken waterplanten gaan we uit van drie voorwaarden:

1. ten eerste is het belangrijk dat algen en/of kroos niet domineren. Zij houden licht weg van de waterbodem. Dit lukt alleen als de externe nutriëntenbelasting voldoende laag is (paragraaf 2.2);

2. ten tweede mogen er ook geen andere belemmeringen zijn voor het lichtklimaat. Beschaduwning kan een probleem vormen, maar ook de aanwezigheid van bodemwoelende vis (paragraaf 2.3);
3. ten derde moet de samenstelling van de waterbodem geschikt zijn. De waterbodem mag niet te veel nutriënten naleveren of toxisch zijn (dit gaat vaak samen: paragraaf 2.4).

In onderstaande paragrafen 2.2-2.4 worden de achtergronden en uitwerking van de eerste drie Ecologische Sleutelfactoren besproken, waaronder de water- en stoffenbalans, de verblijftijd en de kritische belasting.

2.2. Productiviteit water

De nutriëntenbelasting (stikstof en fosfor) is bepalend voor de productiviteit van watersystemen. Er is onderscheid gemaakt in interne nutriëntenbelasting (via de waterbodem) en externe nutriëntenbelasting (via waterstromen). Deze sleutelfactor is gericht op de externe nutriëntenbelasting. De externe nutriëntenbelasting bepaalt de productiviteit van de waterkolom en dus de eventuele groei van algen. De interne nutriëntenbelasting, gerelateerd aan de productiviteit van de waterbodem, komt aan de orde in Sleutelfactor 3 (paragraaf 2.4.4). Voor de productiviteit van het water is, naast de externe nutriëntenbelasting, ook de verblijftijd belangrijk. Als de verblijftijd van het watersysteem kort is, worden algen en nutriënten relatief snel afgevoerd. Hierdoor is het productieproces van algen bij korte verblijftijden minder belangrijk (paragraaf 2.2.2). Als er sprake is van lange verblijftijden, wordt het productieproces van algen belangrijker. Nutriënten worden minder snel afgevoerd en blijven langer beschikbaar voor de groei van algen. De groei van algen is afhankelijk van kritische nutriëntenbelasting van het systeem (paragraaf 2.2.3). De kritische nutriëntenbelasting van een watersysteem is afhankelijk van de systeemkenmerken (waterdiepte, omvang et cetera). Bij een nutriëntenbelasting boven de kritische belasting zullen algen naar alle waarschijnlijkheid domineren.

2.2.1. Water- en stoffenbalans

We bepalen de nutriëntenbelasting met behulp van een waterbalans en maken daarbij onderscheid in de belangrijkste bronnen. Om de functionaliteit van de balans (in Excel) te begrijpen, wordt hieronder een uitleg gegeven over de opbouw van de balans.

Opzet van het bakjesmodel.

De waterbalans simuleert het lokaal watersysteem. De interactie met het regionaal watersysteem wordt meegenomen met de posten kwel en wegzijging. De waterbalans bestaat uit twee bakjes (afbeelding 2.2):

- balans open water;
- balans percelen¹.

Het uitgangspunt is de balans voor het open water. In afbeelding 2.2 is een voorbeeld weergegeven van een natte periode. Het betreft hierbij een systeem zonder inlaatpunt maar met een uitlaatpunt (zoals de Lovendaalsingel). In het rood is aangegeven welke onderdelen van de waterbalans bepalend zijn voor de chlorideconcentratie en de externe nutriëntenbelasting.

¹ Met het bakje percelen wordt een waterbalans voor het grondwater in de percelen doorgerekend.

Bakje 'percelen'

Het watertekort- en overschot in de **percelen** wordt bepaald in het bakje 'percelen', op basis van:

1. kwel en wegzijging;
2. neerslag en verdamping;
3. ontwatering¹ naar bakje 'open water' en intrek² vanuit bakje 'open water'.

Als het peil in het bakje 'percelen' boven het waterpeil in het bakje 'open water' uitkomt, dan is er sprake van ontwatering waarbij er water vanuit het bakje 'percelen' (door de bodem) wordt afgevoerd naar het bakje 'open water'. Door ontwatering worden nutriënten met het grondwater naar het oppervlaktewater getransporteerd. Dit wordt uitspoeling van nutriënten genoemd. Als het peil in het bakje 'percelen' onder het waterpeil in het bakje 'open water' uitkomt, dan is er sprake van intrek waarbij er water (via de natte oeverzone) van het bakje 'open water' afvoert naar het bakje 'percelen'. Het bakje 'percelen' simuleert dus het grondwater in de waterpartij gelegen groenzone en daarmee de wateraanvoer en -afvoer vanuit de naastgelegen groenzone naar het bakje 'open water'.

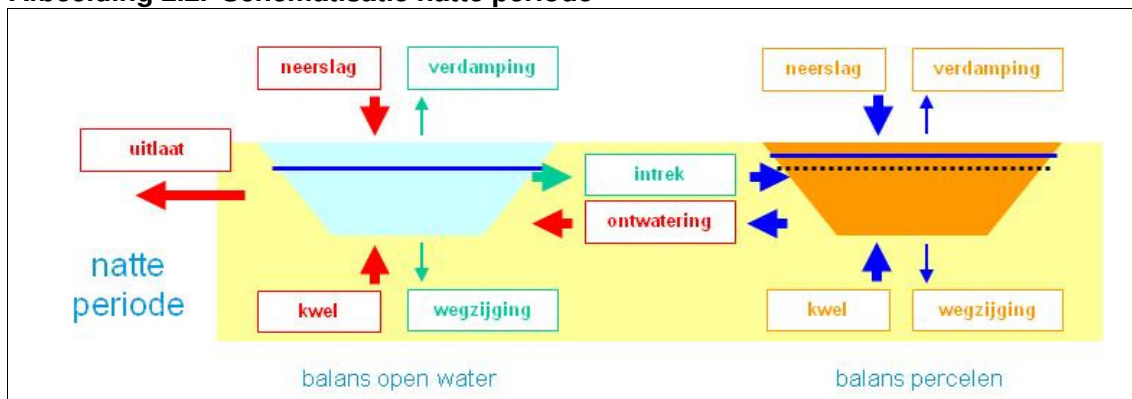
Bakje 'open water'

Het watertekort- en overschot in het **watersysteem** wordt bepaald in het bakje 'open water' op basis van:

1. kwel en wegzijging;
2. neerslag en verdamping;
3. ontwatering vanuit het bakje 'open water' en intrek naar het bakje 'percelen'.

In gebieden waar het waterpeil gereguleerd wordt (door bijvoorbeeld bemaling in poldergebieden), wordt er water afgevoerd zodra het peil in het bakje 'open water' boven het streefpeil plus marge uitkomt. Er wordt water aangevoerd als het peil in het bakje 'open water' onder het streefpeil plus marge uitkomt. Op locatie Lovendaalsingel is geen waterinlaat, waardoor de waterstand kan dalen. Er is wel een uitstroomvoorziening aanwezig.

Afbeelding 2.2. Schematisatie natte periode



De blauwe lijnen in het bakje geven de waterpeilen aan. De zwarte stippellijn in 'balans percelen' geeft het waterpeil in 'balans open water' weer.

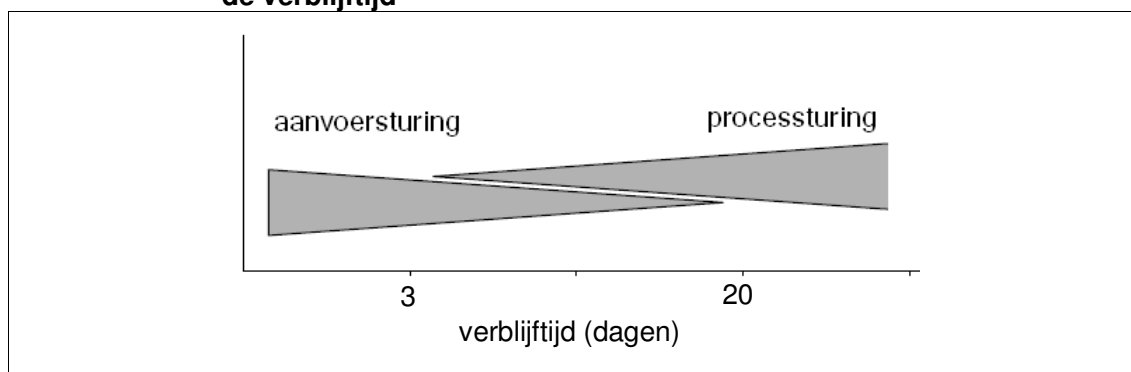
¹ Met ontwatering wordt bedoeld de afvoer van water uit percelen door de grond (en eventueel via drains).

² In hydrologische studies wordt vaak de term inzijging aangehouden. Daarmee wordt dan de neerwaartse (grondwater)stroming bedoeld. De term intrek wordt aangehouden omdat het hier een zijdelingse stroming betreft vanuit het oppervlaktewater naar het grondwater.

2.2.2. Verblijftijd

De verblijftijd wordt berekend aan de hand van het watervolume en het gemiddelde inkomende debiet (som van neerslag, ontwatering, kwel, et cetera, in mm). Indien de verblijftijd in een watersysteem korter is dan drie weken, is sprake van een systeem waarbij algen- en/of kroosgroei in het watersysteem zelf beperkt zal zijn. Algen en/of kroos vormen in dergelijke systemen vaak geen knelpunt voor het lichtklimaat. Andere factoren zoals zwevend stof en processen zoals roestvorming door ijzeroxidatie kunnen nog wel een beperking vormen voor het doorzicht. Als de verblijftijd langer is dan drie weken dan wordt gesproken van een procesgestuurd systeem (afbeelding 2.3). Dat wil zeggen dat fysisch-chemische en ecologische processen in het gebied bepalend zijn voor de waterkwaliteit. Met andere woorden: een systeem met een langere verblijftijd is gevoeliger voor kwaliteitsproblemen als gevolg van hoge nutriëntenbelastingen.

Afbeelding 2.3. Het optreden van aanvoersturing of processturing is afhankelijk van de verblijftijd^{*)}



* Afbeelding gebaseerd op figuur 6 uit Baranyi et al. 2002, Freshwater Biology.

2.2.3. Nutriëntenbelasting vs. kritische belasting

Aan de hand van de water- en stoffenbalans, wordt de berekende externe nutriëntenbelasting afgezet tegen de berekende kritische belasting. Dit is de belasting die nodig is voor herstel van een stabiel en helder watersysteem. De interne belasting van de waterbodem wordt niet direct meegenomen bij de vergelijking tussen de nutriëntenbelasting en de kritische belasting. De externe belasting bepaalt (op termijn) mede de oplading van de bodem en hiermee de interne belasting. Omdat fosfor vaak limiterend is voor algengroei, is de vergelijking tussen externe belasting en kritische belasting uitgewerkt voor fosfor. Vervolgens wordt bepaald of en op welke wijze de externe nutriëntenbelasting teruggebracht kan worden tot onder de kritische belasting. Dit kan door een verlaging van de nutriëntenbelasting (bronmaatregel), maar ook door aanpassing in de inrichting waarmee de kritische belasting wordt verhoogd (systeemmaatregel). Ten slotte wordt bepaald of andere factoren (waterbodem, bodemwoelende vis) herstel van waterplanten niet in de weg staan. Daarbij wordt namelijk van uitgegaan dat de externe belasting mede de oplading van de bodem en hiermee de (op termijn) de interne belasting (nalevering vanuit de bodem) bepaald.

2.3. Lichtklimaat

Voor de uitwerking van de Sleutelfactor 'lichtklimaat' wordt het doorzicht van het watersysteem besproken in relatie tot de diepte. Voor de groei van ondergedoken waterplanten op de waterbodem is namelijk een doorzicht: diepte-ratio vereist van 0,6 (Jaarsma et al., 2008).

Omdat het doorzicht mede wordt bepaald door algen en zwevend stof, zijn aanvullende troebelheidsmetingen niet nodig. Voor het lichtklimaat wordt wel besproken in hoeverre algen en/of zwevend stof verantwoordelijk zijn voor het doorzicht in het systeem

2.4. Productiviteit bodem

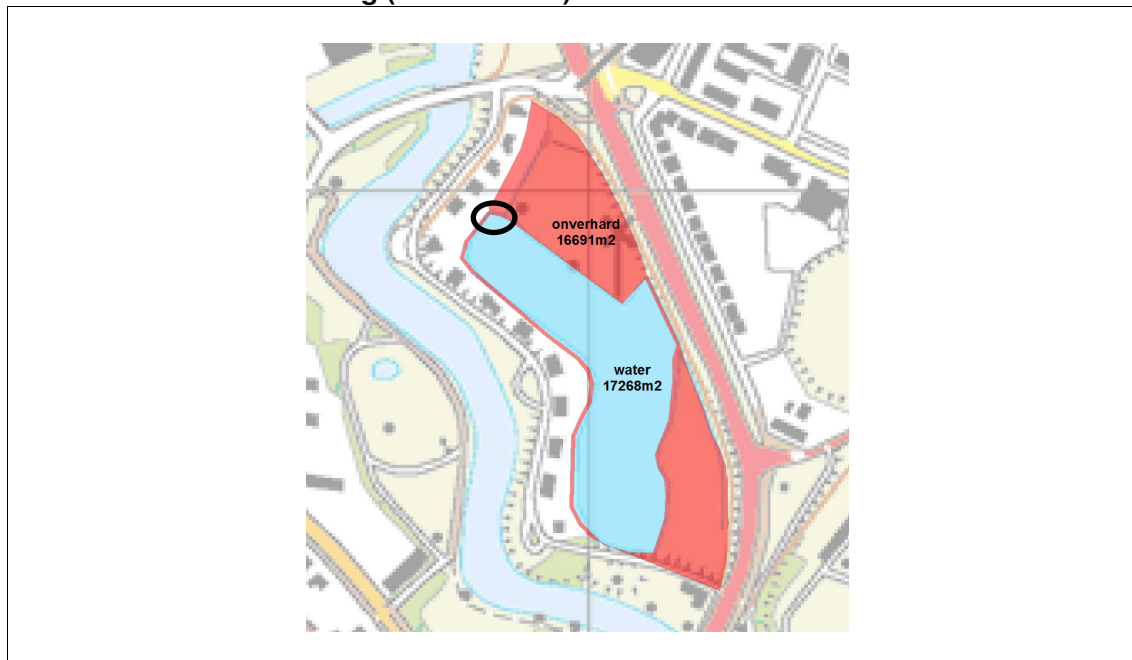
De productiviteit van de waterbodem wordt geschat door middel van een quickscan (zie paragraaf 5.3). In deze quickscan dienen de parameters P-totaal, Fe en S in de bodem (droog- of versgewicht), het bodemvocht of als fractie Olsen-P ingevuld te worden. De quickscan berekent vervolgens hoeveel de verwachte nalevering van P uit de bodem kan bedragen. Er is een sterke relatie tussen productiviteit van de bodem en toxiciteit van de bodem. Een hoogproductieve bodem zal in de meeste gevallen namelijk ook verhoogde concentratie van onder andere sulfide bevatten. Daarom wordt bij het onderdeel productiviteit van de bodem ook de toxiciteit van de bodem meegenomen.

3. FUNCTIONEREN WATERSYSTEEM LOVENDAALSINGEL

3.1. Algemeen

De Lovendaalsingel in Grave is een singel parallel aan de rivier Graafsche Raam. De singel maakte vroeger deel uit van de oude slotgracht. De ligging van de singel is te zien in afbeelding 3.1. Sinds een aantal jaar treden er in de Lovendaalsingel periodiek blauwalgenbloeien op. In 2011 is er sprake geweest van vissterfte. Om overlast bij blauwalgenbloeien te verminderen, wordt er zodra er sprake is van een blauwalgenbloeï een sproei-installatie aangebracht om de waterkolom te mengen. De oppervlakte van de Lovendaalsingel en de bijbehorende afvoerende oever bedragen beiden ongeveer 1,7 ha. Het afvoerend oppervlak van het hemelwaterrioolstelsel dat afvoert op de Lovendaalsingel bedraagt 0,55 ha (mededeling gemeente). De maximale diepte van de singel is ongeveer 1,7 m, met een gemiddelde geschatte diepte van 1,3 m. In de singel is sprake van een relatief dikke sliblaag (25 tot 50 cm).

Afbeelding 3.1. Locatie Lovendaalsingel in Grave met de locatie van de uitstroomvoorziening (zwarte cirkel)



3.2. Hydrologische uitgangspunten

Om de hydrologie van het systeem beter te begrijpen, is in Excel een waterbalans opgesteld op dagbasis (hoofdstuk 4). Voor de waterbalans is gebruik gemaakt van een standaardbalans, die wordt gevoed met systeemkenmerken, zoals dimensies van het oppervlaktewater en (onverhard) afwaterend gebied, neerslag en verdamping (uit meteorieksen) en (een indicatie van) de mate van kwel en/of wegzijging (paragraaf 2.2). In paragrafen 3.2.1-3.2.4 zijn de uitgangspunten voor de waterbalans bepaald.

3.2.1. In- en uitlaatpunten

De Lovendaalsingel is een geïsoleerde waterpartij. Er zijn geen waterinlaten op het systeem aangesloten. Er ligt wel een uitstroomvoorziening aan de noordzijde (afbeelding 3.1).

Bij te hoge waterstanden, wordt overtollig water via deze uitstroomvoorziening afgevoerd. Het is niet bekend hoe vaak er water over de uitstroomvoorziening wordt afgevoerd. De Lovendaalsingel wordt gevoed door water uit het hemelwaterriool.

3.2.2. Grondwatersysteem

Zoals eerder genoemd, ligt de Lovendaalsingel parallel aan de rivier Graafsche Raam. Ook ligt de singel in de omgeving van de Maas (afbeelding 3.2). De Lovendaalsingel is hier rood gemarkeerd.

Afbeelding 3.2. Lovendaalsingel met Graafsche Raam en Maas (maps.google.com)



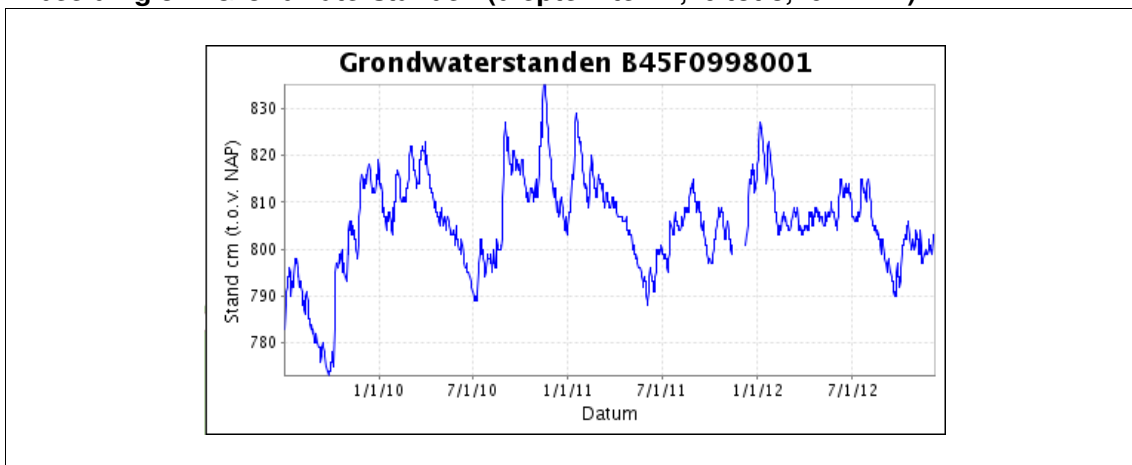
Op ongeveer 25 m ten oosten van de Lovendaalsingel is een peilbuis aanwezig. Deze is maatgevend voor de grondwaterstand ter plaatse van de singel (afbeelding 3.3). De locatie van de peilbuis is hierin weergegeven met een blauwe driehoek.

Afbeelding 3.3. Locatie peilbuis Lovendaalsingel zoals weergegeven in DINO-loket



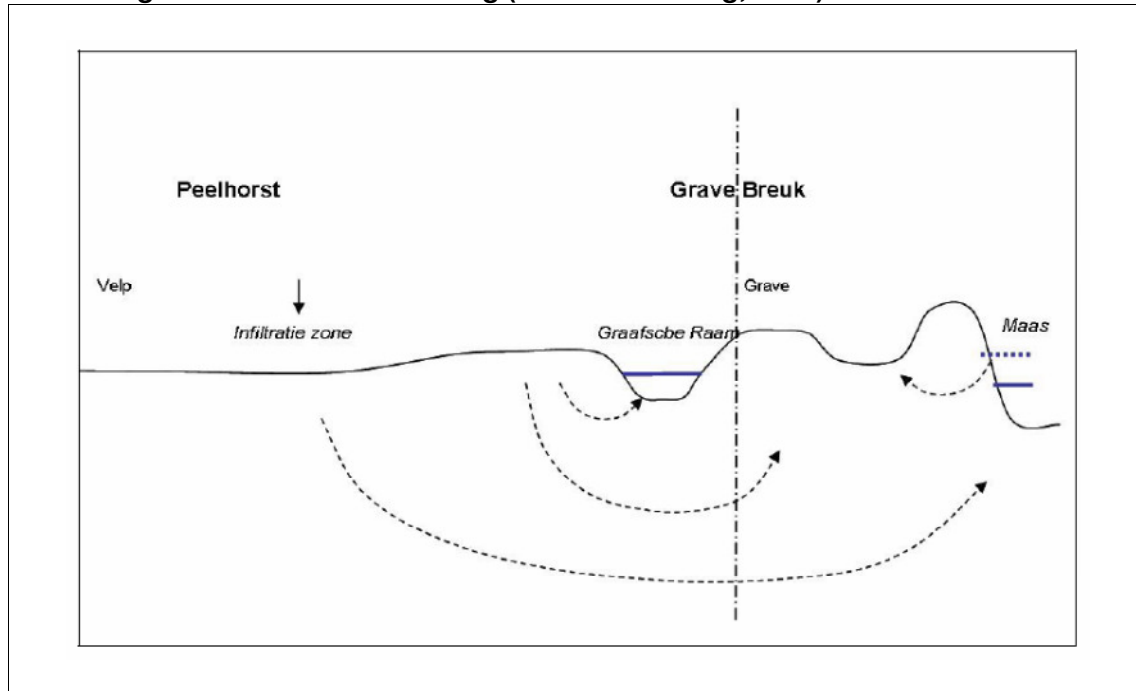
De waterstanden, die in de peilbuis zijn gemeten, zijn weergegeven in afbeelding 3.4. In de grafiek is te zien dat de grondwaterstand varieert tussen NAP +7,75 m en NAP +8,35 m. Dat komt neer op een variatie in de grondwaterstand van ongeveer 60 cm. De grondwaterstand wordt beïnvloed door de waterstand in de Maas.

Afbeelding 3.4. Grondwaterstanden (diepte filter: 2,10 tot 3,10 m-mv)



In het waterplan Grave (Haskoning, 2009) is aangegeven, dat er direct langs de Maas sprake is van kwelgebied (rivierkwel en kwel afkomstig van de Peelhorst). Afbeelding 3.5 uit het waterplan Grave geeft de grondwaterstroming weer.

Afbeelding 3.5. Grondwaterstroming (bron: Haskoning, 2009)



Op de bodemkaart is het grondsoort in het stedelijk gebied niet aangegeven. Boringen in de omgeving van de singel geven ook geen uitsluitsel. Het waterschap heeft het volgende aangegeven. De locatie ligt in het dal van de Raam, waarmee er wat verspoelde leem kan voorkomen. Grave ligt op een Pleistocene riviervlakte, waarmee verwacht wordt dat er sprake is van zand en grind. De gemeente heeft aangegeven niet te beschikken over bodeminformatie, maar dat naar verwachting sprake is van klei of zand. Bij de berekeningen van de kritische belasting wordt uitgegaan van zand. Daarbij wordt een controleberekening uitgevoerd voor inzicht in de situatie bij klei.

3.2.3. Oppervlaktewaterstand

De volgende gegevens zijn door de gemeente aangeleverd. De vijver aan de Looventaalsingel staat direct in verbinding met de Raam. In deze verbinding zit een uitstroomwerk met een drempelhoogte van NAP +7,48 m. Indien de waterstand in de Raam hoger als deze drempelwaarde komt te staan, dan wordt de verbinding afgesloten (met een nog te repareren spindelafsluiter). De waterstand in de vijver aan de Looventaalsingel kan maximaal op NAP +8,10 m komen te staan. In normale omstandigheden zal deze schommelen tussen de NAP +7,00 m en NAP +7,48 m. Bij de waterbalansberekening is uitgegaan van waterafvoer bij een waterstand van NAP +7,48 m.

4. WATER- EN STOFFENBALANS

4.1. Waterbalans

De waterbalans wordt uitgevoerd voor een langjarige periode (1993 tot en met 2012). In de waterbalans zijn de neerslag- en verdampingshoeveelheden ingevoerd van meetstation Volkel (zie bijlage II). Hiermee zijn de aangehouden neerslag- en verdampingsgetallen representatief voor Oost-Brabant. Doel van de waterbalans is het verkrijgen van inzicht in verblijftijden en de wateraan- en afvoerhoeveelheden.

4.1.1. Kwel en infiltratie

Om inzicht te krijgen in de kwelbijdrage heeft het waterschap de chlorideconcentratie in de Lovendaalsingel gemeten (eenmalige meting). Op 10 december 2012 is een chlorideconcentratie gemeten van 59 mg/l (Aqun, 2012).

Met behulp van een chloridebalans is de kwelaanvoer bepaald. Uitgangspunten daarbij zijn:

- een concentratie chloride in neerslag van 2,2 mg/l (langjarig gemiddelde Wageningen 1992-2004). Deze concentratie is ook aangehouden voor de kwaliteit van het afstromend hemelwater;
- een chlorideconcentratie in het grondwater van 60 mg/l (Van Vliet et al., 2010)¹;
- chloride verdampt niet, waardoor er indikking plaatsvindt.

In tabel 4.1 worden de resultaten van de water- en chloridebalans samengevat. Bij een kwelhoeveelheid van 4,0 mm/dag (1460 mm/jr) wordt een chlorideconcentratie van gemiddeld circa 52 mg/l berekend. In de balans fluctueert de concentratie in de tijd, mede doordat de verdamping zorgt voor indikking (in de tienjarige reeks tussen circa 40 en 60 mg/l chloride). Voor het bereiken van een concentratie van gemiddeld circa 59 mg/l chloride, is theoretisch met de chloridebalans een grote kwelhoeveelheid van meer dan 10 mm/dag nodig. Omdat dit een zeer grote hoeveelheid kwel is, is dit niet aangehouden. In de waterbalans is 4,0 mm/dag kwel aangehouden.

¹ De aangehouden chlorideconcentratie is een algemene kengetal. Vanwege rivierkwel zal de chlorideconcentratie van het grondwater beïnvloed worden door Maaswater. De chlorideconcentratie van de Maas ligt gemiddeld rond 40 tot 50 mg-Cl/l (bij Eijsden en Keizersveer) [bron: Jaarrapport 2010 Maas, RIWA]. Voor de volledigheid is in DINO-loket nagegaan of er grondwaterkwaliteitsmetingen in Grave aanwezig zijn. Daarbij zijn alleen metingen van de grondwaterkwaliteit van voor 1920 gevonden. In het diepe grondwater zijn daarbij concentratie van circa 20 mg-Cl/l gemeten. De gemeten chlorideconcentratie van de Lovendaalsingel en de aangehouden kengetal voor grondwater liggen hoger dan deze waarde.

Tabel 4.1. Resultaten water¹- en chloridebalans (bakje open water)⁴

onderdeel	jaargemiddelde aanvoer mm/jaar	concentratie chloride mg/l
ontwateringswater percelen 5) (afvoer vanuit 'bakje' percelen naar 'bakje' open water)	+235	60
kwel	+1.460	60
directe neerslag 2)	+759	2,2
regenwaterriool 6)	+242	2,2
berekende concentratie bakje open water 3)		circa 52

- 1 In de waterbalans zijn verdampingsfactoren op maandbasis verwerkt op basis van het rapport Van Penman naar Makink, een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen, KNMI/CHO, rapporten en nota's, no.19, 1988 (zie bijlage I). Het waterschap heeft aangegeven, dat de verdamping hiermee mogelijk licht overschat wordt en dat er thans samen met andere waterschappen hier onderzoek naar uitgevoerd wordt.
- 2 Op basis van neerslag bij meetstation Volkel (1993-2012).
- 3 In de stoffenbalans wordt er rekening mee gehouden, dat er sprake is van indikking van stoffen in het bakje water en bakje percelen. Met indikking wordt bedoeld, dat de stofconcentratie toeneemt bij verdamping omdat de watervolume afneemt.
- 4 Afvoerposten worden niet benoemd en zijn jaargemiddeld berekend op: 688 mm/jr verdamping open water, 125 mm/jaar intrek en 1.883 mm/jaar afvoer via uitlaat.
- 5 Berekende waarde op basis van de waterbalans bakje percelen.
- 6 De neerslagintensiteit is 759 mm/jaar. Ten opzichte van het wateroppervlak is de afvoer vanuit het regenwaterriool 242 mm/jaar.

4.1.2. Berekende waterstanden

De berekende oppervlaktewaterstanden fluctueren tussen circa NAP +7,37 m en NAP +7,48 m. Hierbij is uitgegaan van waterafvoer via de uitlaat bij een waterstand van NAP +7,48 m.

4.1.3. Verblijftijd

Met de waterbalans wordt een verblijftijd berekend van gemiddeld ongeveer 178 dagen (de verblijftijd wordt berekend door de wateraanvoerdebit te delen met de watervolume). De oorzaak van de lange verblijftijd is de geïsoleerde ligging van het waterlichaam. Er wordt immers geen water ingelaten. Door de hoge verblijftijd is het systeem procesgestuurd. Dat wil zeggen dat fysisch-chemische en ecologische processen in het gebied bepalend zijn voor de waterkwaliteit. Dit ligt ook in de lijn der verwachting voor een geïsoleerde plas.

4.2. P-belasting versus kritische belasting

Onderstaand worden eerst de verschillende externe belastingbronnen van P bepaald. Vervolgens wordt de kritische belasting uitgezet tegen de externe belasting op de Lovendaalsingel. De kritische belasting is bepaald aan de hand van de diepte, het debiet en het type bodem.

4.2.1. Belastingbronnen

Kengetallen

Op basis van de hydrologische uitgangspunten kan geconcludeerd worden dat de P-belasting op de Lovendaalsingel deels afkomstig is van neerslag, ling¹,afstroming² en hemelwaterriool. Voor het kwantificeren van de bijdrage van deze bronnen aan de externe P-belasting zijn kengetallen voor de concentratie gebruikt, welke zijn weergegeven in tabel 4.2.

Tabel 4.2. Kengetallen P

post stoffenbalans	hydrologische term	P- concentratie (mg/l)	referentie P-concentratie
neerslag	directe neerslag	0,01	RIVM meetreeksen
uitspoeling	ontwatering	0,30	Van de Weerd & Torenbeek (2007)*
kwel	kwel	0,75	Van Vliet et al. (2010)
hemelwaterriool	hemelwaterriool	0,42	STOWA (2007)

* De waarde voor uitspoeling is indicatief. Gebiedsspecifieke getallen ontbreken.

Berekeningen

Er vindt ook externe belasting plaats via bladval, uitwerpselen van eenden en sportvisserij-gebruik (Van Zuilichem, 2011). Onderstaand worden kort de uitgangspunten van de berekeningen voor P-belasting weergegeven:

- het uitgangspunt is dat elke meter begroeide oever (bomen en struiken) van een stadswater voor een vracht zorgt van 8,22 mg P/dag (Witteveen+Bos, 2006). Deze belasting staat los van de afspoeling in het systeem. De lengte van de begroeide oever van de Lovendaalsingel wordt geschat op 350 meter;
- de P-belasting door eenden is bepaald op 0,15-0,17 kg P/eend/jaar (STOWA, 2002; Arcadis & Hoogheemraadschap Krimpenerwaard, 2006). In de belasting voor de Lovendaalsingel is uitgegaan van vijf eenden en een belasting van 0,16 kg P/eend/jaar. Deze kengetallen worden landelijk veelvuldig in waterkwaliteitsonderzoeken gebruikt;
- voor de berekening van de belasting door sportvisgebruik zijn de volgende randvoorwaarden meegenomen:
 - voergift per visser van 0,5 kg (Van Emmerik & Peters, 2009);
 - 110 visbezoeken per jaar. Bij gebrek aan sportvisserijgegevens voor de Lovendaalsingel is het aantal visbezoeken geschat aan de hand van de oeverlengte. Van Emmerik & Peters (2009) gaan er vanuit, dat er gedurende de helft van het jaar (183 dagen) dagelijks een sportvisser per kilometer bevisbare oever vist. Voor de Lovendaalsingel uitgegaan het dubbele aantal visbezoekers (inschatting). De Lovendaalsingel heeft een oeverlengte van ongeveer 0,7 km, waarvan ongeveer 0,3 km toegankelijk is voor sportvissers;
 - 80 % van de vissers voert (aannahme gebaseerd op het type visvijver: karper en witvis);
 - er wordt uitgegaan van een P-gehalte in lokvoer van 0,3 % (Van Emmerik & J.S. Peters, 2009).

4.2.2. Externe P-belasting versus kritische belasting

De berekende huidige externe P-belasting bedraagt ongeveer 3,8 mg/m²/d. De belasting is berekend aan de hand van een langjarige gemiddelde belasting (2000-2011). De grootste belastingbron is kwel (3,0 mg/m²/d). Het hemelwaterriool is verantwoordelijk voor een

¹ Met uitspoeling wordt het proces bedoeld van afvoer van stoffen via ontwatering (grondwater).

² Met afstroming wordt het oppervlakte-transport van nutriënten vanaf (on)verharde substraten bedoeld.

belasting van ongeveer 0,3 mg/m²/dag. De belasting door bladval bedraagt 0,17 mg/m²/dag. Eenden en sportvisserijgebruik resulteren in een belasting van respectievelijk 0,13 en 0,02 mg/m²/dag. De belasting door uitspoeling en neerslag bedraagt respectievelijk 0,19 en 0,02 mg/m²/d (afbeelding 4.1).

Waterbirds

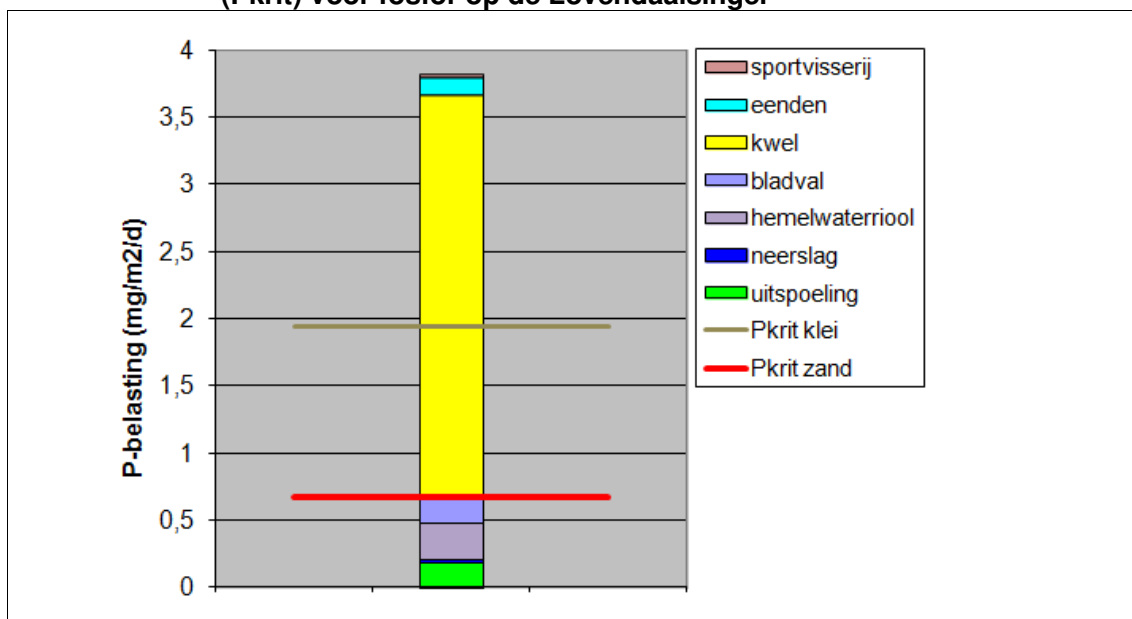
Ter controle is een berekening van de belasting door watervogels met het programma Waterbirds uitgevoerd. Deze berekening laat zien, dat de belasting door vijf eenden op de Slievenvijver ongeveer 0,01 mgP/m²/d bedraagt. Dit betreft de gemiddelde belasting per dag, berekend op basis van een heel jaar. De belasting berekend met Waterbirds ligt een factor 12 lager dan de belasting berekend met de aangehouden kengetallen (die onder andere in diverse rapporten gebruikt zijn waaronder in het rapport Oppervlaktewaterkwaliteit: wat zijn relevante emissies?, Haskoning en Arcadis 2009, in opdracht van Rioned). Het is mogelijk dat de belasting overschat wordt met de aangehouden kengetallen uit het Haskoning/Arcadis rapport. Mogelijk onderschat het programma Waterbirds de belasting door watervogels. De indruk bestaat dat het programma Waterbirds niet specifiek gericht is op stedelijke waterpartijen en zich richt op alle zoetwatersystemen (vooral meren), waarbij er rekening mee gehouden wordt dat veel plantenetende watervogels hun voedsel op het land zoeken, in weilanden en hooilanden, maar 's avonds terugkeren naar de meren. Mogelijk is de belasting door watervogels bij stedelijke waterpartijen groter, omdat er sprake is van het voeren door bewoners met onder andere brood. Daarnaast dient er rekening mee gehouden te worden dat de belasting door de watervogels in de stoffenbalans mogelijk overschat wordt. Vooralsnog blijft onduidelijk waar het verschil door veroorzaakt wordt.

Met het model PCDitch is bepaald dat de kritische P-belasting voor dit systeem 0,67 mg/m²/dag bedraagt (afbeelding 4.1). Afbeelding 4.1 laat zien dat de geschatte huidige externe P-belasting ver boven de kritische belasting ligt. De belasting op de Lovendaalsingel is de limiterende factor voor het verkrijgen van een helder, plantenrijk watersysteem.

Tabel 4.3. Input en berekende kritische belasting met PCDitch (waterpartij met zandbodem)

input	waarde	eenheid
waterdiepte (gemiddeld)	1,3	meter
debiet (totaal in posten)	7,4	mm/d
kritische P-belasting	0,67	mg/m ² /d

Afbeelding 4.1. Gemiddelde externe belasting (2000-2011) en kritische belasting (Pkrit) voor fosfor op de Lovendaalsingel



De kritische belasting is berekend, waarbij de bodemtype zand is aangehouden. De Lovendaalsingel zit op een overgang van kleibodem naar zand. Indien de bodemtype klei bij de berekening aangehouden wordt, dan is de kritische belasting 1,94 mg/m²/dag. De berekende externe belasting ligt ook boven dit niveau (afbeelding 4.1).

4.3. Kanttekeningen

De volgende opmerkingen worden geplaatst ten aanzien van de aangehouden methodiek:

- kwel is op basis van de analyse een belangrijke bron. De kwelvracht is afhankelijk van omvang kwel (debiet) en de kwaliteit van het kwelwater. De omvang kwel is berekend op basis van een algemene waarde voor de chlorideconcentratie in grondwater; er is namelijk uitgegaan van een chlorideconcentratie in het grondwater van 60 mg/l (Van Vliet, 2010) voor het bepalen van de kwelbijdrage. De werkelijke chlorideconcentratie van het grondwater zal hiervan afwijken. Voor de kwel is 4 mm/dag aangehouden. Theoretisch is voor het bereiken van een concentratie in het oppervlaktewater van 59 mg/l een kwelhoeveelheid van >10 mm/dag nodig. De omvang van de kwelhoeveelheid is dus een onzekere factor. Bovendien is voor de vrachtberekening van fosfaat een algemene waarde voor de fosfaatconcentratie aangehouden. Hiermee zijn zowel de omvang als de kwaliteit van het kwel onzekere factoren. De aangegeven kwelbelasting dient dus alleen beschouwd te worden als een indicatieve waarde. Verder dient er rekening mee gehouden te worden, dat de kwelhoeveelheid ook bepalend is voor het debiet en hiermee voor de kritische belasting (de kritische belasting neemt toe als het debiet toeneemt);
- fluctuaties in kwel zijn niet meegenomen. Het verloop van het waterpeil gedurende het jaar wordt hierdoor niet goed meegenomen. Omdat de waterbalans richt op het verkrijgen van inzicht in de gemiddelde verblijftijden en de omvang van de aanvoerposten ten behoeve van de jaarlijkse nutriëntenvrachten, is dit geen beperking voor de nadere analyse van de water- en stoffenbalans;
- de belasting op de Slievenvijver is onder andere bepaald door middel van kengetallen. Hierdoor blijven onzekerheden in de bepaling van de belastingen bestaan. De fosfaat-

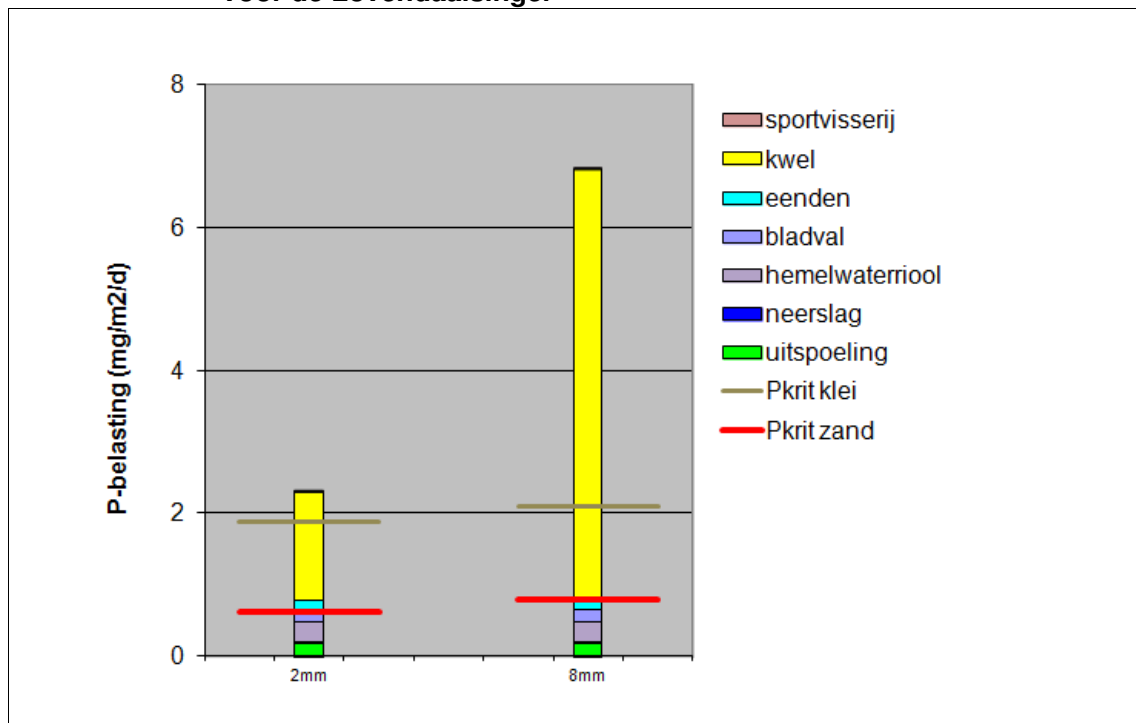
belasting door eenden wordt mogelijk overschat, aangezien de berekende fosfaatbelasting met het programma Waterbirds lager ligt.

Om een indruk te krijgen van de doorwerking van de onzekerheden in de kwelvracht, zijn in de onderstaande afbeelding de belasting en kritische belasting (voor zowel zand als klei) aanvullend weergegeven bij de volgende scenario's:

- maximaal kwelscenario met een vracht aan kwel twee keer zo groot (de invoer is aangepast: 8 mm kwel);
- minimaal kwelscenario met een vracht aan kwel twee keer zo klein (de invoer is aangepast: 2 mm kwel).

Door de kwelvracht te veranderen, verandert ook het totale debiet (in mm) van de Lovendaalsingel. Veranderingen in het debiet hebben ook veranderingen in de kritische belasting tot gevolg. Hoe hoger het debiet, hoe hoger de kritische belasting.

Afbeelding 4.2. Minimaal (links; 2 mm) en maximaal (rechts, 8 mm) kwelscenario voor de Lovendaalsingel



5. WATERKWALITEIT EN ECOLOGIE

Voor een beoordeling van de waterkwaliteit is een analyse gemaakt van de aanwezige nutriënten. Hiervoor is gekeken naar de nutriëntenconcentraties en de verhouding tussen de concentratie stikstof en fosfor (N:P-ratio). Vervolgens is het lichtklimaat in de Lovendaalsingel beschouwd. Belangrijk is of het lichtklimaat voldoet, of algen en/of kroos een probleem vormen voor het lichtklimaat en of andere factoren van belang zijn. Vervolgens is de productiviteit van de bodem onderzocht. Daarna is de zuurstofconcentratie geanalyseerd. Ten slotte is een korte beschrijving gegeven van de ecologie in de Lovendaalsingel. De gegevens, die in onderstaande paragrafen besproken worden, zijn afkomstig van het waterschap Aa en Maas.

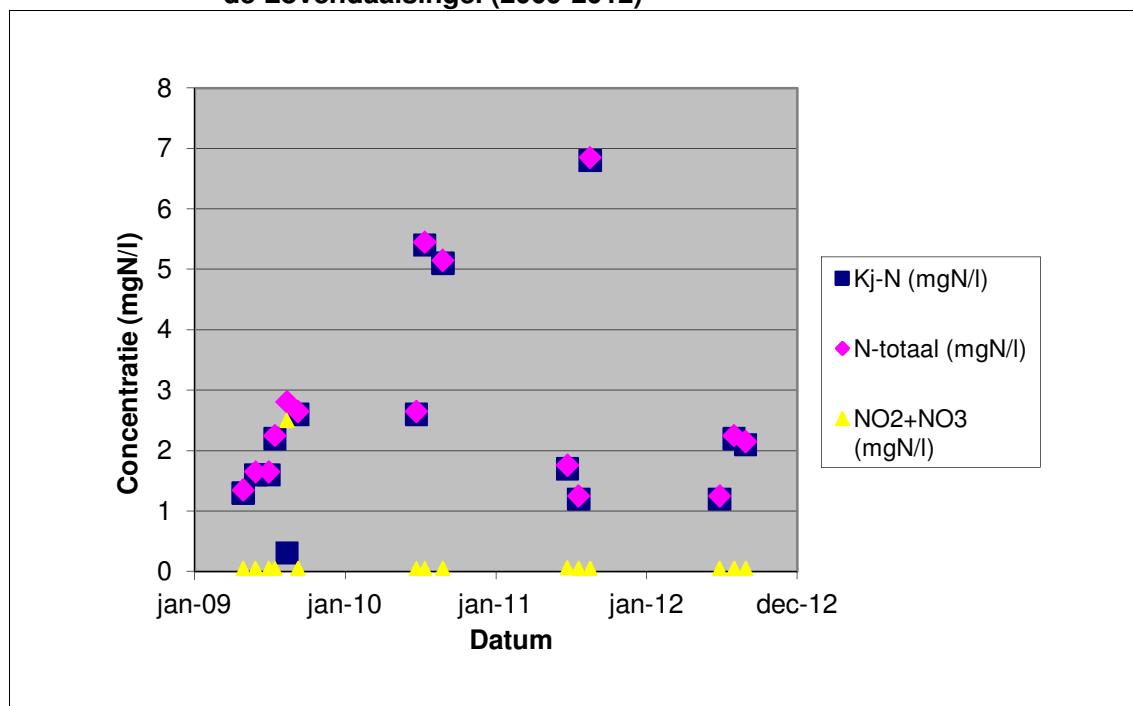
5.1. Nutriënten

In afbeelding 5.1 tot en met 5.3 zijn grafieken opgenomen met de verschillende concentraties N-totaal (afbeelding 5.1) Kjeldahl-N (afbeelding 5.2) en P-totaal en P-ortho (afbeelding 5.3). De concentraties van deze nutriënten zijn steeds in de zomer gemeten. In 2009 zijn zes metingen uitgevoerd. In 2010 tot en met 2012 zijn steeds drie metingen uitgevoerd. De concentratie P-ortho is alleen geanalyseerd in 2011 en 2012. In afbeelding 5.4 is de N:P-ratio weergegeven.

5.1.1. Nutriëntenconcentraties

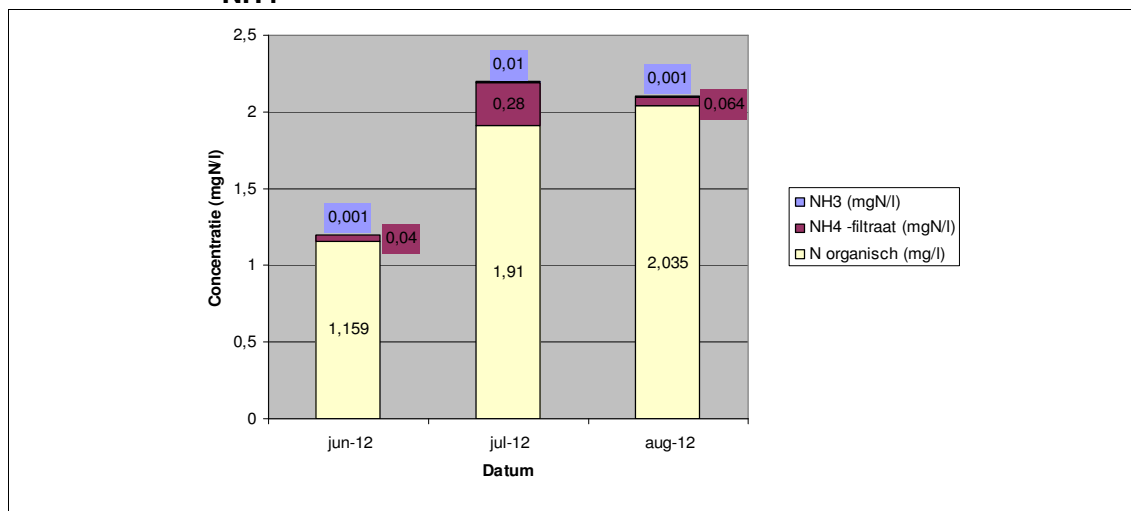
De concentratie N-totaal varieert van 1-7 mg/l. De meeste waarden liggen rond de MTR-norm van 2,2 mg/l (afbeelding 5.1). N-totaal bestaat uit Kjeldahl-N, NO₂ en NO₃. NO₃ kan door algen benut worden voor groei. De NO₂+NO₃ concentraties zijn bijna alle metingen erg laag (0,05 mgN/l). Dat wil zeggen dat het stikstof vrijwel alleen aanwezig is in de vorm van Kjeldahl-N.

Afbeelding 5.1. Concentraties N-totaal, Kjeldahl-N en NO₂+NO₃ in de waterfase van de Lovendaalsingel (2009-2012)



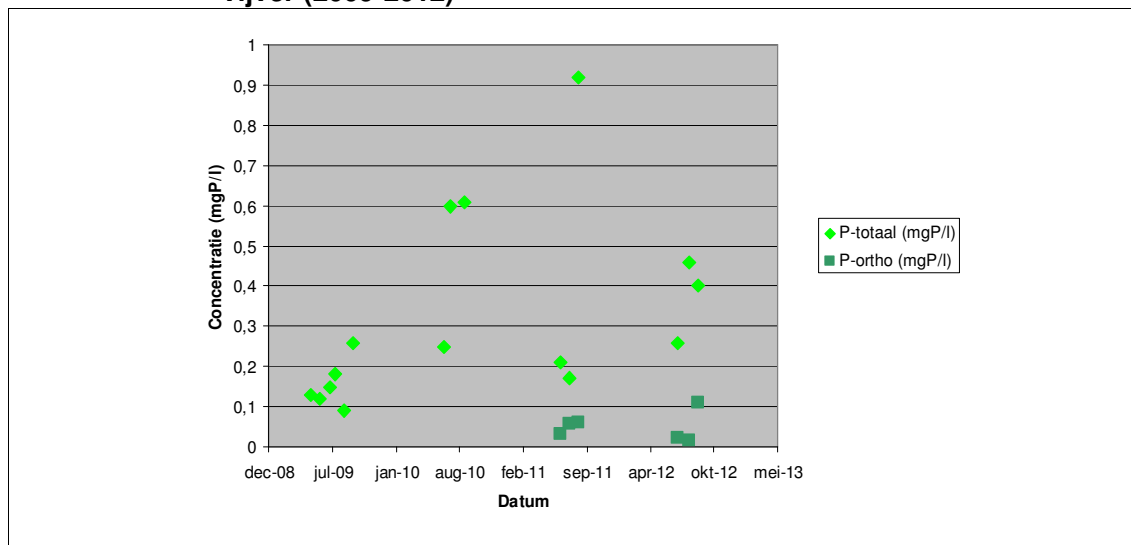
Kjeldahl-N is opgebouwd uit NH₃, NH₄ en organisch gebonden N. De hoeveelheid organisch gebonden N kan worden berekend door de NH₃ en NH₄ concentraties te verminderen met de concentraties Kjeldahl-N. In afbeelding 5.2 is te zien dat een zeer groot deel van het Kjeldahl-N in de Lovendaalsingel in 2012 organisch gebonden N betreft. Naar alle waarschijnlijkheid is het organisch gebonden N aanwezig in de (drijf)laag van algen in de Lovendaalsingel.

Afbeelding 5.2. Kjeldahl -N in 2012, opgebouwd uit organisch gebonden N, NH₃ en NH₄



De concentraties P-totaal en P-ortho zijn weergegeven in afbeelding 5.3. De concentraties P-totaal variëren tussen 0,05 en 0,95 en lopen daarmee sterk uiteen. De concentraties P-ortho lopen uiteen van 0,01 tot 0,06. P-ortho is fosfaat dat biologisch beschikbaar is. Het P-ortho kan onder andere door algen gebruikt worden voor de groei. In de Lovendaalsingel is nagenoeg geen fosfaat aanwezig in de vorm van P-ortho. Er zijn geen metingen van de concentraties chlorofyl-a. Wel zijn er metingen en waarnemingen gericht op blauwalgen.

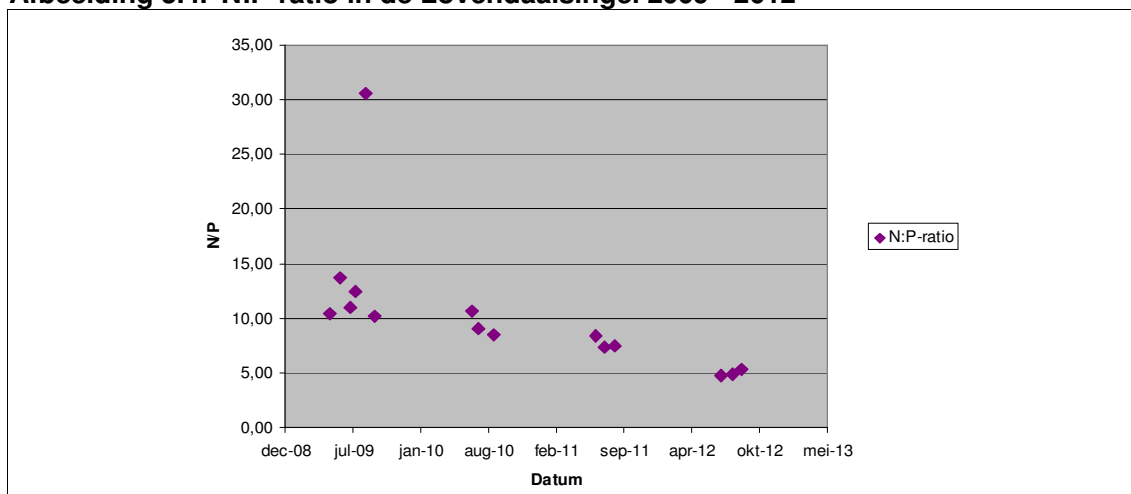
Afbeelding 5.3. Concentraties P-totaal en P-ortho in de waterfase van de Slieven-vijver (2009-2012)



5.1.2. N:P-ratio

De N:P-ratio is de hoeveelheid N ten opzichte van de hoeveelheid P en is weergegeven in afbeelding 5.4. Bij een ratio boven de 7,2 (Redfield-ratio; Loeb & Verdonshot, 2008) kan de hoeveelheid P limiterend zijn voor de algengroei in een waterpartij. Hiervoor dient de fosfaatconcentratie wel voldoende laag te zijn om limiterend te werken. De N:P-ratio in de Lovendaalsingel (afbeelding 5.4) laat vanaf 2009 een dalende trend zien van 10-15 in 2009 naar ongeveer 5 in 2012. Voor het sturen op een heldere en plantenrijke toestand wordt aanbevolen om te sturen op een reductie van de fosfaatbelasting. In afwezigheid van stikstof in de waterkolom kunnen een aantal blauwalgensoorten namelijk stikstof uit de lucht binden, waardoor deze blauwalgensoorten ook bij lage stikstofconcentraties domineren. Daarom wordt de stoffenbalans voor fosfor uitgewerkt.

Afbeelding 5.4. N:P-ratio in de Lovendaalsingel 2009 - 2012



5.2. Lichtklimaat

Onderstaand wordt besproken in hoeverre het doorzicht beperkend is voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten. Daarnaast wordt besproken in welke mate in de Lovendaalsingel algen zijn aangetroffen.

5.2.1. Doorzicht

Het doorzicht in de Lovendaalsingel loopt sterk uiteen, variërend tussen 0,25 en 1,10 m. Voor het herstel van ondergedoken waterplanten is een minimale doorzicht:diepte-ratio van 0,6 vereist. In de Lovendaalsingel varieert deze ratio, gebaseerd op een gemiddelde diepte van 1,3 m, tussen de 0,19 en de 0,84. Het gemiddelde doorzicht:diepte-ratio is 0,38. Het doorzicht is op de meeste meetpunten dus niet voldoende om herstel van ondergedoken waterplanten te realiseren.

Er zijn geen gegevens beschikbaar over de concentraties chlorofyl-a of zwevend stof. De singel is echter een visvijver waar onder andere bodemwoelende vissoorten, zoals karper en brasem zullen voorkomen. Het is te verwachten dat de aanwezige bodemwoelende vissen, gezien de sliblaag, bodemmateriaal opwervelen. Dit heeft een beperkt doorzicht tot gevolg. Gezien de blauwalgenproblematiek in de Lovendaalsingel zullen ook algen een negatieve invloed hebben op het doorzicht.

5.2.2. Algen groei

Het aantal blauwalgen dat in de Lovendaalsingel is geteld, varieert per jaar. In de zomer van 2010 is een telling uitgevoerd waarbij ongeveer 250.000 blauwalgen per ml zijn geteld behorende tot de soorten anabaena, microcystis en woronichinia. In 2011 is, naast het tellen van blauwalgen, ook het cyanochlorofylgehalte gemeten. Dit gehalte varieerde van 0,70-0,80 µg/l in juni en juli tot 230 µg/l in augustus. In augustus werd enkel de soort aphanizomenon waargenomen (8.400.000 per ml). In de zomer van 2012 zijn de blauwalgen (inclusief kolonies) twee keer geteld. Er werden 74.000-135.000 blauwalgen geteld, behorende tot de soorten anabaena, aphanizomenon, microcystis. Een aantal jaren achter elkaar is er ook drijfslagen van blauwalgen waargenomen.

5.3. Waterbodem

Er is thans sprake van een sliblaag met een dikte van 25 tot 50 cm. Het is bekend dat de bodem een belangrijke bron van nutriënten kan vormen. Daarnaast kan de waterbodem toxisch zijn voor waterplanten als gevolg van vorming van onder andere sulfide in het bodemvocht. Ten slotte is de waterbodem ook belangrijk als substraat voor waterplanten. Een dikke, waterige sliblaag is ongunstig voor de groei en ontwikkeling van waterplanten.

In 2011 is er een waterbodemonderzoek uitgevoerd in de Lovendaalsingel. In dit onderzoek zijn onder andere Fe, P en S op basis van drooggewicht bepaald. Op basis van deze waarden is de nalevering van fosfaat uit de waterbodem geschat. Hierbij is gebruik gemaakt van een waterbodem quickscan (afbeelding 5.5). De quickscan, inclusief uitleg over de methodiek, is te downloaden via de website van de STOWA. De methodiek achter de quickscan is gebaseerd op naleveringsexperimenten. De resultaten van deze experimenten zijn vertaald naar rekenregels voor het bepalen van de nalevering uit de waterbodem.

Deze waarden van P, Fe en S liggen buiten de range van waarden waarbinnen de quickscan betrouwbaar is. Op basis van de waterbodemquickscan wordt een nalevering van 49 mg P/m²/d bepaald (afbeelding 5.5).

Afbeelding 5.5. Nalevering volgens waterbodemgegevens Lovendaalsingel

Totaal bodem	invoer	(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)	schatting porievocht (mg P/l)	schatting flux naar waterlaag bij 15°C (mg P/m ² /d)
	mg/kg (DW)		R ² = 0.62	R ² = 0.62
P totaal	6982,4	1,1	39,5	49,0
Fe	29000			
S	9000			

(Fe-S)/P < 1.4
(Fe-S)/P > 1.4 & < 4
(Fe-S)/P > 4

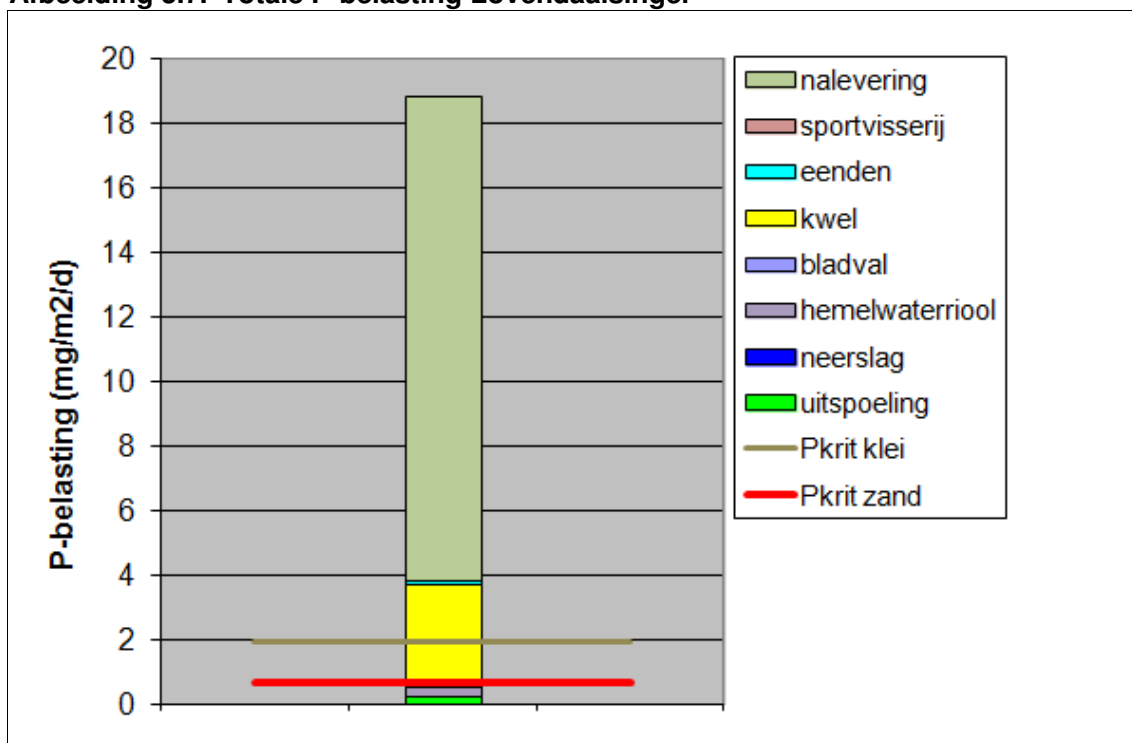
De berekende waarde ligt buiten de range van de nalevering uit het onderzoek van Baggernut. Voor de nalevering door de waterbodem wordt daarom de maximaal mogelijke nalevering uit het onderzoek van Baggernut gehanteerd: 15 mg P/m²/d (afbeelding 5.6).

Afbeelding 5.6. Maximale nalevering volgens Quicksan Baggernut

		invoer	(Fe-S)/P-ratio bodem (molbasis)		schatting porievocht (mg P/l)	schatting flux naar waterlaag bij 15°C (mg P/m ² /d)
Totaal bodem		mg/kg (DW)			R ² = 0.62	R ² = 0.62
P totaal		2280				
Fe		22839				
S		4711				
			3,6	(Fe-S)/P < 1.4 (Fe-S)/P > 1.4 & < 4 (Fe-S)/P > 4	<11,3 & >1.5	< 12,8 & > 0 - 1
				winter voorjaar zomer herfst		
				Pnalevering	6,0 9,4 15,0 12,9	mg/m ² /d
				Nnalevering (jaar)	onzeker	mg/m ² /d
				mogelijke overschatting!		

In afbeelding 5.7 is de belasting (extern plus waterbodem) op de Lovendaalsingel weergegeven.

Afbeelding 5.7. Totale P-belasting Lovendaalsingel



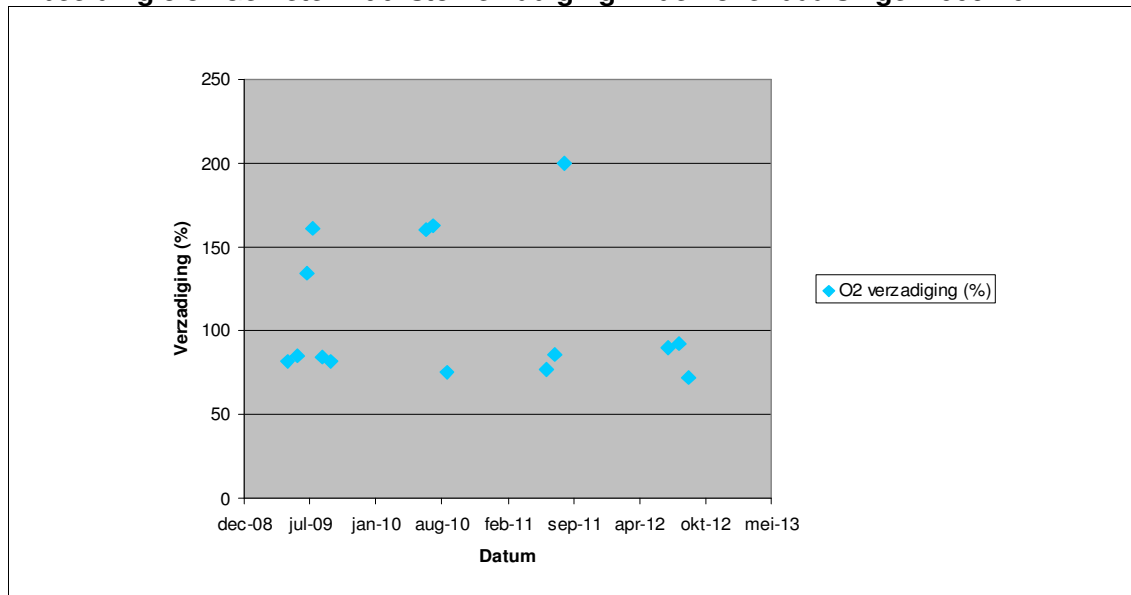
5.4. Zuurstof

De gemeten zuurstofverzadiging in de Lovendaalsingel is weergegeven in afbeelding 5.7. De mate van zuurstofverzadiging wordt voornamelijk bepaald door afbraak- en productieprocessen. Afbraakprocessen (van bijvoorbeeld organisch slib) consumeren zuurstof, daar waar productie (door bijvoorbeeld algen of waterplanten) zorgt voor een toename in verzadiging. Uit de gegevens, die het waterschap heeft aangeleverd, blijkt dat de zuurstofverzadiging in de ochtend en vroege middag (07.30-14.00 uur) is gemeten. De gemeten zuurstofverzadiging in de Lovendaalsingel ligt tussen 72 % en 200 %. Als vuistregel wordt gehanteerd dat een verzadiging tussen de 75-120 % als goed wordt beoordeeld¹. Alle waar-

¹ Voor KRW waterlichamen van het type M1a (gebufferde sloten) geldt reeds een goed ecologisch potentieel bij een zuurstofverzadiging van 45 %. Deze sloten verschillen sterk met Lovendaalsingel. Ze zijn over het algemeen namelijk

den boven of onder deze range worden als slecht beoordeeld. Uit de metingen blijkt dat in de jaren 2009-2011 regelmatig te hoge zuurstofverzadiging werd gemeten. In 2012 vielen alle metingen binnen de norm. De hoge zuurstofverzadiging wijst op zuurstofproductie door algen.

Afbeelding 5.8. Gemeten zuurstofverzadiging in de Lovendaalsingel 2009-2012



5.5. Ecologie

5.5.1. Vegetatie

Het is niet bekend in hoeverre er ondergedoken waterplanten in de vijver voorkomen. Omdat het doorzicht op de meeste meetpunten niet voldoende is voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten, is de verwachting dat er weinig tot geen ondergedoken waterplanten voorkomen. Ook tijdens het veldbezoek en een belevingsonderzoek van het waterschap zijn er geen waargenomen (mondelinge mededeling waterschap Aa en Maas). De oevervegetatie rond de Lovendaalsingel is redelijk ontwikkeld.

5.5.2. Vis

Bodemwoelende vis kan een substantiële rol spelen in de nalevering van nutriënten vanuit de waterbodem naar de waterfase. Er zijn echter geen gegevens bekend over de visstand in de singel.

5.5.3. Watervogels

Tijdens het veldbezoek werden in de singel enkele watervogels waargenomen. Van nature eten deze vogels waterplanten. In principe zou een singel ter grootte van de Lovendaalsingel de aanwezigheid van ongeveer tien eenden moeten kunnen dragen.

zeer ondiep en hoog productief. Hierdoor treedt in de zomermaanden sneller zuurstofloosheid op. Onder normale omstandigheden (geen overmatige algenbloei of productiviteit van de waterbodem) zouden er in Lovendaalsingel (gezien het oppervlak en relatief grotere diepte) geen lage zuurstofconcentraties gevonden moeten worden. Gezien de functie van de Lovendaalsingel is een zuurstofconcentratie lager dan 75 % ook niet gewenst.

Echter, bij een beperkte ontwikkeling van ondergedoken vegetatie is het te verwachten dat deze hoeveelheid eenden de ontwikkeling van waterplanten door vraat beperken.

6. SYNTHESE OP BASIS VAN ECOLOGISCHE SLEUTELFACTOREN

6.1. Opbouw synthese

Zoals in paragraaf 2.1 wordt genoemd, is het systeem van de Lovendaalsingel geanalyseerd volgens de Ecologische Sleutelfactoren (afbeelding 2.1). Hierbij is gefocust op de eerste drie Sleutelfactoren, te weten de externe nutriëntenbelasting (productiviteit water: bepalend voor algengroei), het lichtklimaat en de productiviteit van de waterbodem. In tabel 6.1 is een korte samenvatting gegeven van bovenstaande analyse. De drie Sleutelfactoren zijn hierbij in de eerste kolom weergegeven. In de tweede kolom wordt een korte diagnose per Sleutelfactor gegeven: wordt aan de voorwaarden van de Sleutelfactor voldaan (aangegeven in groen) of niet (aangegeven in rood). In de derde kolom wordt het effect van de diagnose beschreven.

6.2. Uitwerking synthese

6.2.1. Sleutelfactor 1

De externe P-belasting op de Lovendaalsingel ligt ver boven de kritische belasting van het systeem. De belasting op de Lovendaalsingel is dus een beperkende factor in het verkrijgen van een helder en plantenrijk watersysteem. Er wordt niet voldaan aan de voorwaarden voor de eerste Sleutelfactor 'productiviteit water'. Deze Sleutelfactor is rood ingekleurd in tabel 6.1.

6.2.2. Sleutelfactor 2

Het doorzicht in de Lovendaalsingel is niet voldoende voor de ontwikkeling van ondergedoken waterplanten. Waterplanten zijn vermoedelijk (in verband met het beperkte doorzicht) niet aanwezig in de waterpartij. Een doorzicht: diepte-ratio van minimaal 0,6 is nodig zijn voor de ontwikkeling van waterplanten in de vijver (Jaarsma et al., 2008). Het doorzicht: diepte-ratio in de Lovendaalsingel voldoet hier op veel plaatsen niet aan (is thans circa 0,19-0,84). Het slechte doorzicht wordt mede veroorzaakt door algen. Het aanwezige visbestand kan bovendien een rol spelen in het beperkte doorzicht (opwerveling bodemma materiaal). Er wordt dus niet voldaan aan de voorwaarden voor de tweede Sleutelfactor 'lichtklimaat'. Deze Sleutelfactor is om deze reden oranje ingekleurd in tabel 6.1.

6.2.3. Sleutelfactor 3

De dikke, organische sliblaag in de Lovendaalsingel is een knelpunt. Op basis van de Waterbodemquickscan wordt de nalevering op 15 mgP/m²/d geschat. Dit is de maximaal berekende waarde volgens de waterbodemquickscan van Baggernut. Als de metingen aangehouden worden, dan is de nalevering zelfs hoger. Daarom is deze Sleutelfactor rood ingekleurd in tabel 6.1.

Tabel 6.1. Diagnose waterkwaliteit de Lovendaalsingel (rood: voorwaarde voldoet niet, oranje: voldoet gedeeltelijk en/of in bepaalde perioden, groen: voorwaarde voldoet wel, grijs: onbekend)

ecologische sleutelfactor	diagnose	effect
1. productiviteit water	belasting hoger dan kritische grens	de externe P-belasting ligt boven de kritische grens van het systeem. Kwel, eenden, bladval en sportvisserijgebruik zorgen hierbij voor een relatief hoge externe P-belasting op het systeem. De kritische belasting is laag als gevolg van de relatief grote waterdiepte en het inkomende debiet (kwel, regenval, et cetera)
2. lichtklimaat	doorzicht is op de meeste meetpunten onvoldoende voor groei van ondergedoken waterplanten	algen zorgen voor een slecht lichtklimaat. Daarnaast wordt verwacht dat de visstand invloed heeft op het doorzicht. Het doorzicht is niet overal voldoende voor de groei van ondergedoken waterplanten
3. productiviteit bodem	grote nalevering P vanuit de waterbodem	de nalevering uit de waterbodem wordt geschat op 15 mg P/m ² /d en vormt daardoor een knelpunt voor de waterkwaliteit

7. AANBEVELINGEN VOOR MAATREGELEN EN VERVOLGONDERZOEK

7.1. Mogelijke maatregelen

Aan de hand van de Stoplichtenmethodiek van Ecologische Sleutelfactoren zijn de mogelijke maatregelen voor de Lovendaalsingel bepaald (tabel 7.1).

Tabel 7.1. Mogelijke maatregelen Lovendaalsingel

maatregel	omschrijving	werkzaamheden
stoplicht 1: productiviteit water		
1	reducen kwel	aanbrengen van een leemlaag
2	reducen bladval	verwijderen beplanting op de directe oevers
3	reducen voorgebruik sportvisserij	instellen van een voerverbod
4	reducen belasting door watervogels	beperken foerageermogelijkheden, rust- en broedplaatsen
5	verhogen kritische belasting	verondiepen
6	verkorten verblijftijd	doorspoelen
stoplicht 2: lichtklimaat		
7	beperken aandeel bodemwoelende vis	afvangen van grote brasem en karper
stoplicht 3: productiviteit bodem		
8	reducen nalevering waterbodembodem	baggeren
stoplicht 6: verwijdering*		
9	beperken vraat door watervogels	aanleg enclosures**

* Hiermee wordt verwijdering van waterplanten door watervogels mee bedoeld (vraat).

** Gaasconstructie.

7.2. Afweging maatregelen

Voor de afweging van maatregelen is een aantal factoren van belang:

1. de maatregelen dienen voldoende effectief te zijn om een helder plantenrijk systeem te krijgen. Het toepassen van meerdere maatregelen kan hiervoor nodig zijn;
2. de maatregelen dienen duurzaam te zijn. Het ecologisch systeem dient op de lange termijn evenwichtig te zijn en dient te passen bij de natuurlijke eigenschappen van het watersysteem.

In tabel 7.2 is de effectiviteit en duurzaamheid van de verschillende mogelijke maatregelen beoordeeld. De tabel dient als indicatie voor het effect van maatregelen op de (kritische) belastingen. In paragraaf 7.3 wordt een advies voor een mogelijk maatregelenpakket gegeven.

Tabel 7.2. Effect en duurzaamheid van mogelijke maatregelen Lovendaalsingel *)

maatregel	omschrijving	effect	duurzaamheid
stoplicht 1: productiviteit water			
1	reducen van kwel door aanbrengen van een leemlaag	enkel het volledig reduceren van kwel zou de externe P-belasting verlagen met maximaal 3,0 mg P/m ² /dag tot ongeveer 0,8 mg P/m ² /dag (zie afbeelding 4.1). Hierbij komt de P-belasting onder de kritische P-belasting uit van 0,67 mg P/m ² /dag (zie afbeelding 4.1)	nee, de van nature aanwezige kwel wordt sterk beïnvloed

maatregel	omschrijving	effect	duurzaamheid
		maatregel zelfstandig uitvoeren is voldoende effectief	
2	reducen bladval door het verwijderen van beplanting (bomen en struiken)	enkel het verwijderen van alle blad-verliezende vegetatie zou de externe P-belasting verlagen met maximaal 0,17 mg P/m ² /dag tot ongeveer 3,6 mg P/m ² /dag (zie afbeelding 4.1). Hierbij komt de P-belasting niet onder de kritische P-belasting uit van 0,67 mg P/m ² /dag (zie afbeelding 4.1) maatregel zelfstandig uitvoeren is onvoldoende effectief	ja, maatregel draagt bij aan een evenwichtig ecosysteem
3	reducen voorgebruik sportvisserij	door het verbieden van de het gebruik van visvoer, zou de externe P-belasting verlaagd kunnen worden met maximaal 0,02 mg P/m ² /dag. Hierbij komt de P-belasting niet onder de kritische P-belasting uit van 0,67 mg P/m ² /dag (zie afbeelding 4.1) maatregel zelfstandig uitvoeren is onvoldoende effectief	ja, maatregel draagt bij aan een evenwichtig ecosysteem
4	reducen aantallen watervogels door beperken foerageermogelijkheden, rust- en broedplaatsen	door het volledig reduceren van het aantal watervogels zou de externe P-belasting verlaagd kunnen worden met maximaal 0,13 mg P/m ² /dag tot 3,7 mg P/m ² /dag (zie afbeelding 4.1). Hierbij komt de P-belasting niet onder de kritische P-belasting van 0,67 mg P/m ² /dag uit. (zie afbeelding 4.1) maatregel zelfstandig uitvoeren is onvoldoende effectief	nee, het beperken van het aantal watervogels is een niet-natuurlijke maatregel
5	verhogen kritische belasting door verondieping**	het terugbrengen van de gemiddelde waterdiepte van 1,3 m naar 0,75 m, zal resulteren in een toename van de kritische P-belasting tot 2,0 mg/m ² /d. De huidige belasting ligt echter hoger dan 2,0 mg/m ² /d maatregel zelfstandig uitvoeren is onvoldoende effectief	ja, het hydrologisch karakter van het watersysteem veranderd niet
6	verkorten verblijftijd met doorspoelen	doorspoelen is gericht op het zodanig verkorten van de verblijftijd dat algen en kroos zich niet meer in het watersysteem zelf kunnen ontwikkelen. Doorspoelen verhoogt de nutriëntenbelasting en is daarom alleen zinvol als bron- en systeemmaatregelen niet effectief zijn en als algen- en kroosgroei zorgt voor overlast	afhankelijk van de wijze van doorspoelen onder vrij verval is een duurzame maatregel, doorspoelen met pompen echter niet

maatregel	omschrijving	effect	duurzaamheid
		maatregel zelfstandig uitvoeren is onvoldoende effectief	
stoplicht 2: lichtklimaat			
7	beperken aandeel bodemwoelende vis door afvangen	in de huidige situatie is het waarschijnlijk dat het visbestand uit relatief veel bodemwoelende vis bestaat. Hierdoor wordt veel bodemmateriaal opgewerveld waardoor het doorzicht afneemt. Een lagere visbiomassa resulteert in betere groeiomstandigheden voor waterplanten maatregel zelfstandig uitvoeren is mogelijk onvoldoende effectief	nee, het afvangen van vis is een onnatuurlijke maatregel mits de visstand zichzelf in stand houdt (dus: geen uitzet plaatsvindt) visstandbeheer kan in bepaalde gevallen een oplossing zijn om versneld een betere toestand te krijgen
stoplicht 3: productiviteit bodem			
8	reduceren nalevering waterbodembodem door baggeren	de nalevering uit de waterbodem is dusdanig hoog, dat baggeren van singel nodig wordt geacht. Hierdoor wordt de nalevering uit de waterbodem beperkt maatregel zelfstandig uitvoeren is onvoldoende effectief	ja, baggeren is een onderdeel van regulier onderhoud
stoplicht 6: verwijdering			
9	beperken vraat door watervogels	door vraat te beperken, kan de ontwikkeling van waterplanten een kickstart gegeven worden. Afgeschermdde enclosures waarborgen de groei van waterplanten, mits het lichtklimaat voldoet maatregel zelfstandig uitvoeren is onvoldoende effectief	nee, enclosures zijn een niet-natuurlijke maatregel

* In deze tabel wordt verwezen naar afbeelding 4.1. Op afbeelding 4.1 is de nalevering van de waterbodem niet meegenomen, omdat dit de interne belasting betreft.

** Bij verondiepen wordt het waterbergend vermogen van de waterpartij beperkt. Gezien de hoeveelheid kwel moet vooraf aan deze ingreep berekend worden tot hoe ver de singel verondiept kan worden om geen water overlast te krijgen.

7.3. Advies maatregelenpakket

Voor het advies van het maatregelenpakket zijn twee varianten afgewogen:

- een variant gericht op het sturen op de belasting;
- een variant gericht op het sturen van de verblijftijd.

Variant sturen op de belasting

In tabel 7.3 zijn de geselecteerde maatregelen voor de variant voor het sturen op de belasting aangegeven.

Tabel 7.3. Maatregelenpakket variant sturen op de belasting

maatregel	omschrijving	effect	duurzaam
verondiepen *	zand storten tot een gemiddelde diepte van 0,75 m is bereikt	P_{krit} verhoogd tot 2,0 mg $P/m^2/dag$	ja
baggeren	verwijderen van de sliblaag	(onbekend) positief effect **	ja
reducen bladval	reducen begroeid areaal met bomen en struiken tot 100 m	reductie externe belasting van 0,12 mg $P/m^2/dag$	ja

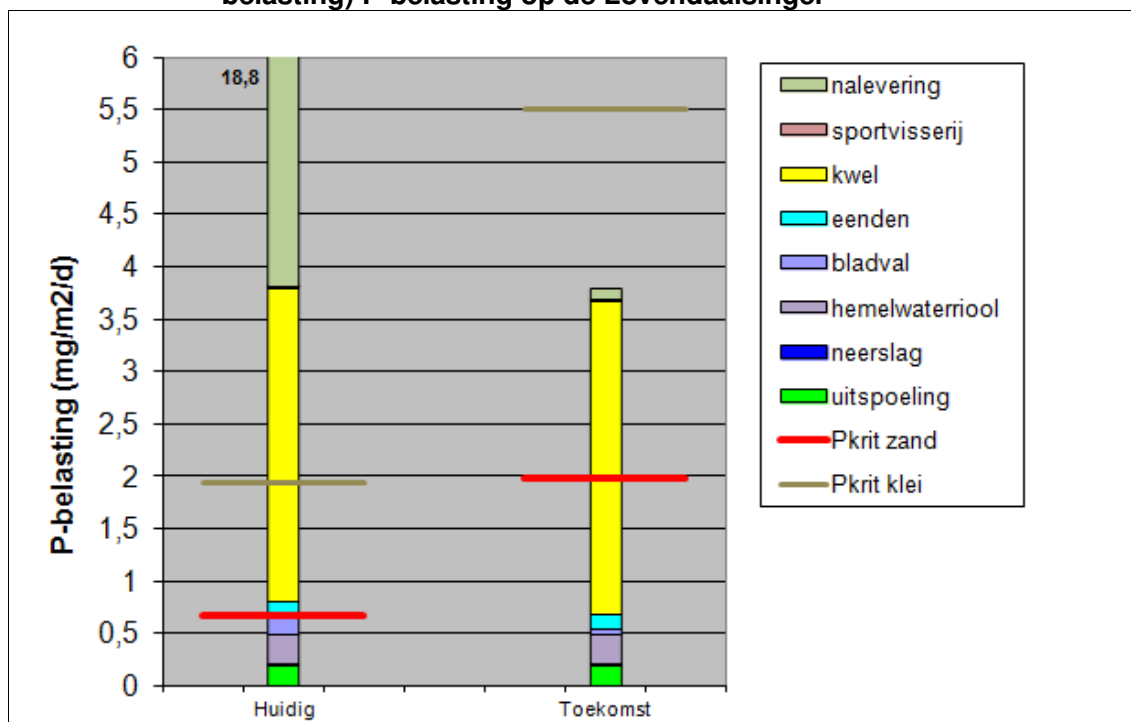
* bij het aanbrengen van zand om te verondiepen dient nader bepaald te worden welk type zand gebruikt gaat worden. Een ijzer-, kalk- en/of aluminiumrijke en nutriëntenarme component wordt geadviseerd. IJzer heeft (onder zuurstofrijke condities) namelijk een sterke bindingscapaciteit voor P, waardoor P uit de waterfase en waterbodem wordt gebonden en niet zal bijdragen aan algengroei.

** er wordt uitgegaan van een reductie van nalevering na baggeren tot 0,1 mgP/m²/d in het meest gunstige scenario.

In afbeelding 7.1 zijn de berekende belasting en kritische belasting weergegeven. Bovenstaand maatregelenpakket resulteert in een belasting van ongeveer 3,7 mg P/m²/dag. De toelaatbare berekende kritische P-belasting bedraagt 2,0 mg P/m²/dag voor een zandbodem of 5,5 mg P/m²/dag voor een kleibodem.

Op basis van de analyse, berekeningen en randvoorwaarden voor maatregelen kan gesteld worden dat het realiseren van een heldere plantenrijke waterpartij alleen haalbaar is als er sprake is van een kleibodem. Daarbij wordt er opgemerkt dat de omvang van de kwelbelasting een onzekere factor. Bovendien is het mogelijk, dat de nalevering groter is dan de aangehouden maximale waarde uit het Baggernut onderzoek. Vanwege een risico op onvoldoende effectiviteit en relatief hoge kosten wordt de variant met het sturen op de belasting (vooralsnog) afgeraden.

Afbeelding 7.1. Huidige en toekomstige (na maatregelenpakket variant sturen op belasting) P-belasting op de Lovendaalsingel*



* Rode lijn geeft de kritische P-belasting weer bij een zandbodem, de groenbruine lijn bij een kleibodem.

Variant sturen op verblijftijd

In tabel 7.4 is het maatregelenpakket beschreven.

Tabel 7.4. Maatregelenpakket variant sturen op verblijftijd

maatregel	omschrijving	effect	duurzaam
doorspoelen	reduceren van de verblijftijd tot maximaal tien dagen (door middel van waterinlaat vanuit de Graafsche Raam met een pomp van circa 1,6 m ³ /min)	verkorten van de verblijftijd dat algen en kroos zich niet meer in het watersysteem zelf kunnen ontwikkelen	nee

Het realiseren van doorspoelen kan op verschillende manieren plaatsvinden:

- wateraanvoer vanuit de Graafsche Raam. Wateraanvoer onder vrij verval is niet mogelijk, omdat het singelpeil hoger ligt dan de waterstand in de Graafsche Raam. Daarom wordt rekening gehouden met wateraanvoer met een pomp. Het wateroverschot kan dan afgevoerd worden via de bestaande uitstroomvoorziening;
- afkoppelen van oppervlakken in de omgeving kan ook zorgen voor doorspoeling. Na iedere bui wordt het watersysteem dan doorgespoeld. Er dient dan echter wel rekening mee gehouden te worden, dat er dan bij langdurige droogte geen doorspoeling is. Hiermee wordt afkoppelen als onvoldoende effectief beoordeeld.

Doorspoelen is geen duurzame maatregel indien dit met pompen plaats vindt. Het toepassen van duurzame maatregelen is in geval van de Lovendaalsingel minder kansrijk. Doorspoelen is een effectieve maatregel om blauwalgenproblematiek tegen te gaan. Daarom wordt aanbevolen om door te spoelen. Met een pomp met een capaciteit van 1,6 m³/min kan de verblijftijd verkort worden tot maximaal tien dagen. In de praktijk kan ook pomp met een grotere capaciteit toegepast worden, waarbij er dan niet continu doorgespoeld wordt. De pomp kan ingezet worden in het zomerhalfjaar. In de omgeving van de singel zijn mogelijk ontwikkelingen gaande, waarbij de singel verruimd wordt. Dit kan invloed hebben op de verblijftijd. Het volume aan water zal dan toenemen, waarmee de benodigde wateraanvoer enigszins groter is.

7.4. Discussie en onzekerheden

Het geadviseerde maatregelenpakket is gebaseerd op een systeemanalyse, waarbij gebruik is gemaakt van inzichten uit het veldbezoek, metingen waterkwaliteit, water- en stofbalans en de kritische belastingsberekening met PC Ditch. Daarbij zijn er een aantal onzekerheden geconstateerd. Ondanks de onzekerheden is het mogelijk om concrete adviezen te geven. Daarbij wordt van grof naar fijn gewerkt. Belangrijk is om meer te gaan meten. In de onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van de onzekerheden en de impact voor de watersysteemanalyse en geadviseerde maatregelenpakket. In de tabel wordt tevens aangegeven welke vervolgacties er aanbevolen worden.

Tabel 7.4. Onzekerheden, impact en advies

onderdeel	onzekerheden	impact en advies
kwel	- kwelhoeveelheid in mm is berekend op basis van éénmalige meting van de chlorideconcentratie, voor de chlorideconcentratie van het grondwater is daarbij een algemeen kengetal gebruikt, voor de fosfaatbelasting is een algemeen kengetal gebruikt	- kwelvracht wordt overschat of onderschat. Indien de kwelvracht lager is, dan zijn er betere mogelijkheden voor het sturen op de belasting. Met behulp van monitoring kan dit nagegaan worden
verdamping	- met de gehanteerde verdampingsfactoren wordt de verdamping mogelijk overschat	- de gehanteerde verdampingsfactoren zijn gangbaar, er wordt geen grote impact op

		de waterbalans verwacht (vanuit de doelstelling van de gehanteerde waterbalans/scope van het project). Er is hiermee geen impact op het advies
kengetallen belasting	- er worden algemene kengetallen aangehouden; - met name het aangehouden kengetal voor watervogels is een discussiepunt, mogelijk wordt de belasting door watervogels overschat	- watervogels zijn geen doorslaggevende bron voor het advies. Er is bovendien doorspoeling geadviseerd. Er is hiermee geen impact op het advies
aantal watervogels	- het is onduidelijk hoeveel watervogels er jaarrond verblijven	- watervogels zijn geen doorslaggevende bron voor het advies. Er is hiermee geen impact op het advies voor doorspoelen. Sturen op belasting is lastiger als er meer watervogels zijn dan aanhouden
sportvissers	- voergebruik sportvissers is niet bekend	- voergebruik sportvissers is geen doorslaggevende bron voor het advies. Er is hiermee geen impact op het advies
visstand	- samenstelling en dichtheid vis is onbekend	- er kan van uitgegaan worden dat de visstand geen invloed heeft op het doorspoeladvies. Er is hiermee geen aanvullende impact op het advies
kritische belasting	- de kritische belasting wordt berekend met een theoretisch model, de praktijksituatie kan afwijken. De mate van afwijking is niet goed bekend. Bij het toepassen van ecologische modellen is er altijd enige onzekerheid. Het gehanteerde model is het meta model PC Ditch. Het metamodel werkt met een beperkt aantal invoerwaarden. Het toegepaste model is thans het meest gangbare model voor het afleiden van de kritische belasting voor stedelijk water. De rekenresultaten zijn vooral indicatief bedoeld. De bodemtype, stroming en waterdiepte zijn bepalend voor de kritische belasting. In geval van de Lovendaalsingel is de kritische belasting mogelijk hoger indien er sprake is van klei in plaats van zand	- de berekende belastingen ligt ruim boven de kritische belasting. Er is doorspoeling geadviseerd. Als er sprake is van een kleibodem, dan is de kritische belasting hoger en zijn er betere mogelijkheden voor het sturen op de belasting. Door het bepalen van de bodemsamenstelling kan er een betere inzicht verkregen worden van de kritische belasting
waterstand en waterdiepte	- de waterstand is gebaseerd op de AHN2 en de aangehouden waterdiepte is indicatief	- de waterdiepte is bepalend voor de kritische belasting (en de mate van doorspoeling). Als de waterdiepte groter is, dan is ook de kritische belasting groter. Als de waterdiepte groter is, dan is meer investering nodig om de maatregel verondiepen te realiseren
nalevering waterbodem	- voor de nalevering door de waterbodem is op basis van de maximale waarde uit het onderzoek van Baggernut gehanteerd van 15 mg P/m²/d. Op basis van de metingen is de nalevering 49 mg P/m²/d	- de nalevering is mogelijk groter, dan aangehouden. In de variant sturen op belasting is baggeren meegenomen als maatregel. Hiermee draagt de maatregel bij aan het reduceren van de nalevering van de waterbodem

Voor een meer nauwkeurige analyse en advies wordt geadviseerd om in ieder geval de volgende acties op te pakken:

- inmeten van het profiel van de waterpartij (waarbij ook de waterstand wordt gemeten);
- meten van de grondwaterstanden en grondwaterkwaliteit, omdat gebleken is dat kwel een grote bron is;
- bepalen van de bodemsamenstelling, zodat beschouwd kan worden wat de impact hiervan is op de kritische belasting.

8. REFERENTIES

1. Baranyi, C., Hein, T., Holarek, C., Keckeis, S., Schiemer, F., 2002. Zooplankton biomass and community structure in a Danube River floodplain system: effects of hydrology. *Freshwater Biology* 47(3): 473 - 482.
2. Haskoning, 2009. Gemeentelijk waterplan Grave. Rapport in opdracht van de gemeente Grave.
3. Jaarsma, N., Klinge, M. & Lamers, L. 2008. Van helder naar troebel... en weer terug. Rapport STOWA 2008-04. ISBN 978.90.5773.386.4.
4. Loeb, R. & Verdonschot, P.F.M., 2008. Complexiteit van nutriëntenlimitaties in oppervlaktewateren. Wageningen, Wettelijke Onderzoekstaken Natuur & Milieu, WOt-werkdocument 128. 69 bladzijden.
5. Aquon, 2012. Onderzoek Stadswateren Toestand en Trend: stadswater Veghel t Ven. Analyse-rapport Aquon, in opdracht van Waterschap Aa & Maas. Van Emmerik, W.A.M. & Peters, J.A. 2009. Invloed lokvoer op waterkwaliteit. Literatuurstudie Sportvisserij Nederland.
6. Van de Weerd, H. & Torenbeek, R. 2007. Uitspoeling van meststoffen uit grasland-emissieroutes onder de loep. STOWA-rapport 2007-14. ISBN 978.90.5773.364.2.
7. Van der Wijngaart, T., Schep, S. & Chan, P.M., 2012. Factsheets uitkomsten watermozaiekprojecten 2009-2012: bouwstenen van kennis. STOWA.
8. Van Vliet, M.E., Vrijhoef, A., Boumans, L.J.M. & Wattel-Koekkoek, E.J.W. 2010. De kwaliteit van ondiep en middeldiep grondwater in Nederland in het jaar 2008 en de verandering daarvan in 1984-2008. RIVM Rapport 680721005/2010.
9. Van Zuilichem, H. 2011. Kwaliteitsoordeel stadswater 2007-2010. Rapport Waterschap Aa & Maas.
10. Waajen, G., 2012. Conceptnotitie ten behoeve van achtergrondrapport Kansrijke Innovatieve Maatregelen Bestrijding Blauwalgenoverlast: vijver Mgr. Schaepmanlaan Dongen. Waterschap Brabantse Delta. Witteveen+Bos, 2006. Waterkwaliteitsspoor Moordrecht. In opdracht van hoogheemraadschap Schieland en de Krimpenerwaard.
11. STOWA, 2007, De feiten over de kwaliteit van afstromend hemelwater.
12. <http://atlas.brabant.nl/wateratlas>.
13. www.rivm.nl.
14. www.stowa.nl/upload/publicaties/QuickScan%20v1%2002.xls.
15. www.waterbodem.nl.

BIJLAGE I GEHANTEERDE VERDAMPINGSFACTOREN

Tabel I.1. Van Penman naar Makkink, een nieuwe berekeningswijze voor de klimatologische verdampingsgetallen, KNMI/CHO, rapporten en nota's, no.19

maand	maand	e_o/e_r	e_r/e_o
jan	1	0,400	2,500
feb	2	0,933	1,071
maart	3	1,267	0,789
april	4	1,300	0,769
mei	5	1,300	0,769
juni	6	1,310	0,763
juli	7	1,267	0,789
aug	8	1,193	0,838
sept	9	1,170	0,855
okt	10	0,900	1,111
nov	11	0,700	1,429
dec	12	0,000	1,000

BIJLAGE II NEERSLAG EN VERDAMPING MEETSTATION VOLKEL

Tabel II.2. Neerslag en verdamping meetstation Volkel

jaar	neerslag [mm]	verdamping [mm]
1993	758	545
1994	841	561
1995	655	609
1996	600	537
1997	535	593
1998	977	520
1999	747	609
2000	863	552
2001	839	589
2002	863	569
2003	562	652
2004	862	580
2005	759	607
2006	701	602
2007	847	584
2008	699	579
2009	688	617
2010	769	595
2011	776	606
2012	842	589

In de tabel zijn jaarwaarden opgenomen, in de waterbalans zijn dagwaarden opgenomen.

