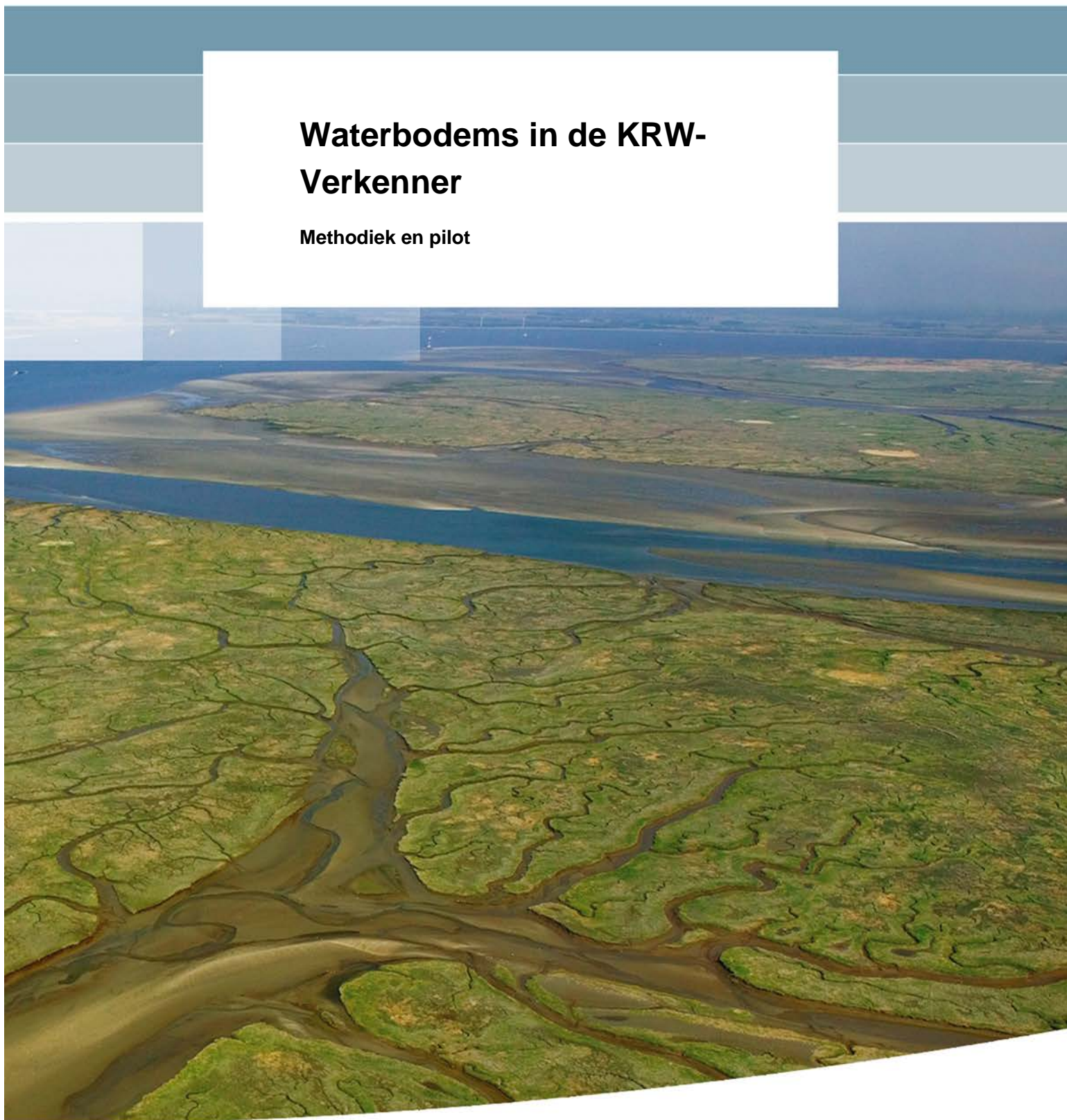


Waterbodems in de KRW- Verkenner

Methodiek en pilot



Waterbodems in de KRW-Verkenner

Methodiek en pilot

Leonard Osté (Deltares)
Stefan Witteveen (Grontmij)

1206111-006

Titel

Waterbodems in de KRW-Verkenner

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1206111-006	1206111-006-BGS-0002	18

Trefwoorden

KRW-Verkenner, waterbodem, sediment, fosfor, fosfaat

Samenvatting

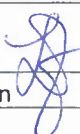

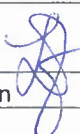
Nalevering van fosfor vanuit de waterbodem naar het oppervlaktewater is vooral bestudeerd op een locatie of binnen een waterlichaam. Tot nu toe is nauwelijks aandacht besteed aan afwenteling vanuit diverse locaties of waterlichamen naar benedenstroomse wateren. In deze studie zijn de mogelijkheden onderzocht om de KRW-Verkenner in te zetten voor het beoordelen van effecten van fosfor in de waterbodem op een groter schaalniveau (deelstroomgebied). Dit is gedaan aan de hand van een pilotgebied (Quarles van Uffordpolder).

Voor bovengenoemd doel is de flux uit de waterbodem in de KRW-Verkenner toegevoegd als puntbron. Deze sterkte van de puntbron is in Excel berekend op basis van het gehalte in de waterbodem en de oppervlakte van de betreffende schematisatie-eenheid. Samen met de gemiddelde watertemperatuur per kwartaal en een transportvergelijking uit het IP-KRW-project BaggerNut is de totale bronsterkte berekend.

De methode om waterbodems toe te voegen als bron in de KRW-Verkenner blijkt voor de Quarles van Uffordpolder uitvoerbaar en bruikbaar. Het effect op de locatie waar de waterbodem nalevert, is duidelijk te zien in de concentratie in het oppervlaktewater. Het effect op naburige locaties (de afwenteling) en het effect van maatregelen op bijvoorbeeld het uitstroompunt, is minder goed zichtbaar. Dat heeft vooral te maken met het aantal locaties waar een waterbodemflux is toegevoegd (alleen KRW-wateren) en met de schematisatie van de waterbeweging (grof, omdat de schematisatie was gemaakt voor een landelijke pilot).

Referenties

Osté, L.A. Witteveen, S, 2013. Waterbodems in de KRW-Verkenner. Deltaresrapport 1206111-006-BGS-0002

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
4	dec. 2013	Leonard Osté		Joost van den Roovaart		Hilde Passier	
		Stefan Witteveen					

Status

definitief

Inhoud

1 Inleiding	1
2 Methodiek waterbodems in de KRW-Verkenner	3
2.1 Essentie van de KRW-Verkenner	3
2.2 Waterbodems toegevoegd als bron	4
2.3 Het effect van waterbodems op de retentiefactor	5
2.4 De pilot Quarles van Uffordpolder (QvU)	5
2.5 Analyse stappen (scenario's)	9
2.6 Berekeningen	9
3 Resultaten	11
3.1 Scenario 1	11
3.2 Scenario 2	12
3.3 Scenario 3	12
3.4 Scenario 4	13
3.5 Scenario 5	14
3.6 Scenario 6	15
3.7 Scenario 7	15
3.8 Scenario 8	16
3.9 Scenario 9	16
4 Conclusies en aanbevelingen	19
4.1 Effect van de waterbodememissies op de betreffende LSW	19
4.2 Effect van de waterbodemflux op gebiedsniveau (QvU)	19
4.3 Aanbevelingen	19

1 Inleiding

In de afgelopen jaren is er in Nederland veel energie gestopt in het kwantificeren van de bijdrage van de waterbodembodem aan eutrofiëring (m.n. doorzicht, P-totaal, EKR fytoplankton/chorofyl). De focus lag vooral (maar niet alleen) op wateren met een lange verblijftijd. De effecten zijn beoordeeld op de locatie of binnen het waterlichaam zelf. Tot nu toe is nauwelijks aandacht besteed aan afwenteling naar benedenstroomse wateren. Het Ministerie van IenM heeft Deltares gevraagd om in beeld te brengen hoe deze afwenteling kan worden gekwantificeerd en of de KRW-Verkenner daarbij ingezet kan worden.

De KRW-Verkenner is een generiek instrument dat gebruikers inzicht geeft in de effectiviteit van maatregelen en maatregelpakketten in relatie tot de KRW doelstellingen. Het is een flexibel instrument dat verschillende schaalniveaus verbindt (zoals stroomgebiedsdistricten, waterbeheergebieden, afwateringseenheden en waterlichamen) en kan desgewenst tijdgebonden stofbalansen berekenen. De KRW-Verkenner kan op verschillende momenten in het beleidsproces worden ingezet: in de planfase, bij het opstellen van de stroomgebiedsbeheerplannen maar ook bij het evalueren van al geïmplementeerde maatregelen of maatregelpakketten.

In deze studie zijn de mogelijkheden onderzocht om de KRW-Verkenner in te zetten voor het beoordelen van effecten van fosfor in de waterbodembodem op een groter schaalniveau (deelstroomgebied). De verkenning wordt uitgevoerd aan de hand van berekeningen in een pilotgebied (Quarles van Uffordpolder).

2 Methodiek waterbodems in de KRW-Verkenner

2.1 Essentie van de KRW-Verkenner

De KRW-Verkenner (<https://publicwiki.deltares.nl/display/KRWV/KRW-Verkenner>) is een applicatie met een statisch berekende waterbalans. Er wordt dus niet doorgerekend naar een volgende tijdstap. De berekening van de stoffenbalans wordt uitgevoerd met behulp van het programma DELWAQ. DELWAQ is een waterkwaliteitsmodule (onderdeel van o.a. SOBEK en Delft-3D) waarmee stof- en sedimenttransport in watersystemen berekend kan worden.

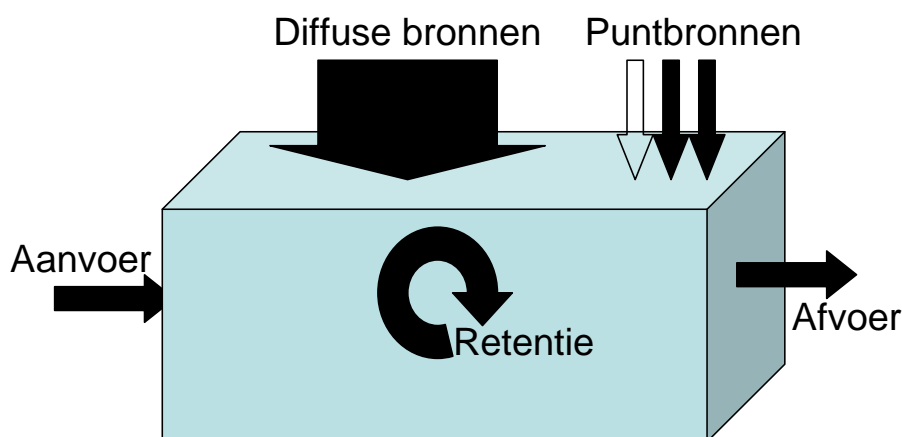
De essentie van de KRW-Verkenner is weergegeven in Figuur 2.1. Elk bakje ontvangt water van bovenstreams, bevat water, voert water af en er zijn bronnen die direct in het bakje terecht komen. De bijdrage van diffuse bronnen kan als input voor een bakje worden opgegeven; de bijdrage van puntbronnen wordt als vracht in het bakje 'geloosd'. Vervolgens wordt de resultante concentratie berekend. Omdat uit ervaring bekend is dat er fosfaat achterblijft in het systeem (sediment/bodem), kent de KRW-Verkenner een temperatuurafhankelijke retentiefactor. De resultante concentratie in het betreffende bakje wordt berekend volgens vergelijking 2.1

$$C = \frac{\sum Q_{in} \times C_{in} + \sum \text{overige bronnen}}{\sum Q_{uit} + k \times V} \quad [2.1]$$

Waarin:

C	= resultante concentratie in het bakje
Q_{in}	= het inkomend debiet (m^3/d)
C_{in}	= concentratie in het inkomend debiet (g/m^3)
Overige bronnen	= directe belasting (niet gekoppeld aan een debiet) (g/d)
Q_{uit}	= het uitstromend debiet (m^3/d)
k	= retentie ($1/d$)
V	= volume van het bakje (m^3)

Als er zonder retentie wordt gerekend geldt $k=0$, met retentie geldt $k=0,02 \times 1,047^{(T-20)}$. Aangezien in dit project geen temperatuurcorrectie is gebruikt geldt voor alle kwartalen dat $k=0,02$. Hierbij is de keuze van de landelijke KRW-verkennerschematisatie gevolgd.



Figuur 2.1 Schematische weergave van een bakje in de KRW-Verkenner

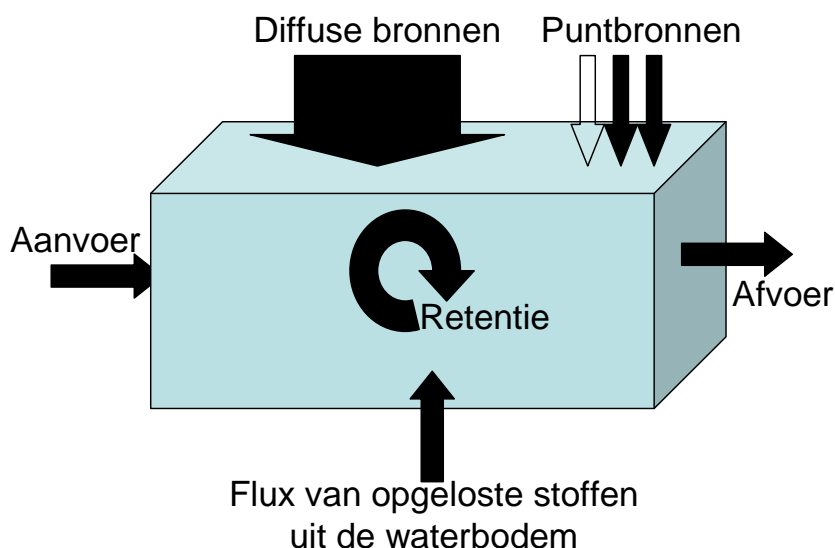
Voor de studie over waterbodems in de KRW-Verkenner hebben we een deelgebied gebruikt uit de schematisatie voor de landelijke pilot¹. In de landelijke pilot wordt de informatie over emissiebronnen uit de Emissieregistratie gehaald en wordt het effect op de waterkwaliteit berekend. Daarbij wordt een retentiefactor meegenomen om de interne processen in het watersysteem te kwantificeren. Op basis van een Alterra-rapport worden in de landelijke pilot 2 verschillende retentiefactoren toegepast: één voor hoog-Nederland en één voor laag-Nederland².

De retentiefactor is dus een netto-maat voor de interne verdwijprocessen (altijd kleiner dan 1). De belangrijkste interne processen zijn:

- nalevering uit en opname in de waterbodem van opgelost fosfaat
- 'netto sedimentatie' (=sedimentatie - resuspensie)
- biologische processen: plantopname en algenopname(zomer)en afsterving

2.2 Waterbodems toegevoegd als bron

Als er een flux uit de waterbodem expliciet wordt toegevoegd, verandert Figuur 2.1 in Figuur 2.2.



Figuur 2.2 Schematische weergave van een bakje in de KRW-Verkenner met waterbodem als bron toegevoegd.

Om een P-naleveringsflux te kunnen berekenen, is minimaal een totaalgehalte in de waterbodem nodig en een relatie tussen het totaalgehalte en de flux. In het project BaggerNut³ zijn diverse bodemparameters gebruikt om tot een flux ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{dag}$) te komen, namelijk: P in poriewater, P-totaal o.b.v. verse bodem, P-totaal o.b.v. droge bodem en P-Olsen o.b.v. droge bodem. In principe kunnen al deze parameters gebruikt worden in de KRW-Verkenner, omdat de flux niet wordt berekend in de KRW-Verkenner. De flux wordt in Excel berekend en vervolgens wordt de waarde van de flux als input gebruikt voor de KRW-Verkenner. In deze pilot is gekozen voor het gebruik van P-totaalgehalten (uitgedrukt in mg

¹Van den Roovaart, J., et al, 2012. Landelijke pilot KRW-Verkenner 2.0, Effecten van beleidsscenario's op de nutriëntenkwaliteit. Deltares-rapport 1205716-000-ZWS. De landelijke pilot KRW-Verkenner is beschikbaar op de KRW-Verkenner site.

²Van Gerven, L.P.A., A.A.M.F.R. Smit, P. Groenendijk, F.J.E. van der Bolt, J.J.M. de Klein, 2009. Retentieschatting van N en P in het oppervlaktewater op verschillende schaalniveaus. Alterra-rapport 1848.

³Quick scan Baggernut: http://www.stowa.nl/bibliotheek/publicaties/baggernut_maatregelen_baggeren_en_nutrienten

P/kg droge stof), omdat hiervoor de meeste data beschikbaar waren. De flux wordt berekend volgens vergelijking 2.2:

$$P\text{-nalevering (mg/m}^2\text{/d)} = 0,00770 \times P\text{-sediment (mg/kg)} - 4,726 \quad [2.2]$$

waarbij P-nalevering gelijk is aan 0 is als P-sediment < 614 mg/kg.

Deze vergelijking geldt alleen voor sedimenten met (Fe-S)/P-ratio < 2, dus voor waterbodems met relatief weinig ijzer ten opzichte van zwavel en fosfor. Voor hogere (Fe-S)/P-ratio's is de nalevering lager.

De volgens vergelijking 2.2 berekende flux (in mg/m²/dag) is gemeten bij een temperatuur van 15°C. In tegenstelling tot de retentiefactor wordt de waterbodemplux (bronsterkte) wel gecorrigeerd voor de temperatuur, volgens:

$$P\text{-nalevering}_{Qx} \text{ (mg/m}^2\text{/d)} = P\text{-nalevering (mg/m}^2\text{/d)} \times f_T \quad [2.3]$$

Waarin Qx staat voor kwartaal x (1-4) en f_T de temperatuurcorrectiefactor (zie Tabel 2.1) weergeeft. De temperatuurcorrectiefactoren in Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Temperatuurcorrectiefactoren (f_T) voor de in vergelijking 2.3 berekende flux

Kwartaal	1	2	3	4
correctiefactor	0,46	0,74	1,17	1,01

Om de juiste bronterm voor de KRW-Verkenner te berekenen, wordt de flux (per m²) vermenigvuldigd met de oppervlakte van het betreffende 'bakje'.

2.3 Het effect van waterbodems op de retentiefactor

Zoals in paragraaf 2.2 is aangegeven, is de retentiefactor opgebouwd uit een verzameling van processen. Als een van de processen (nalevering waterbodems) als aparte bron wordt opgenomen, heeft dat effect op de retentiefactor. In eerste instantie is in dit project getracht om de retentiefactor zodanig te corrigeren dat de resultaten (concentratie in het oppervlaktewater zonder en met waterbodems als aparte bron gelijk waren. Het bleek uiteindelijk te gecompliceerd om dit te berekenen. Daarom is de waterbodems als bron toegevoegd en is de retentiefactor niet aangepast.

2.4 De pilot Quarles van Uffordpolder (QvU)

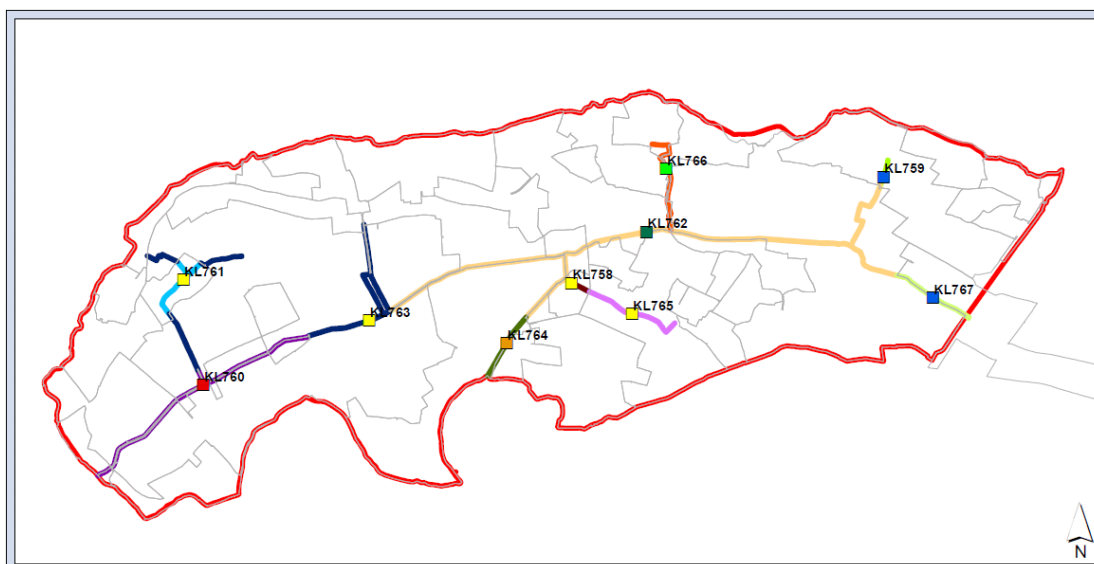
Voor dit project is een afgebakend modelgebied gekozen. Vanuit het landelijk KRW-Verkenner model is met behulp van GIS een selectie gemaakt van het deelgebied QvU in het beheergebied van Waterschap Rivierenland. Er is uitgegaan van het jaar 2000. Deze is in het Landelijk Pilotmodel voor de KRW-Verkenner ook gebruikt als referentiejaar. De invoergegevens zijn uit dat jaar overgenomen.

In de landelijke schematisatie heeft de QvU-polder:

- 10 local surface waters (LSW's; KL-nummers in Figuur 2.3, per KL in verschillende kleuren weergegeven) behorende tot de KRW-waterlichamen,
- 28 niet KRW LSW's, in de schematisatie vergelijkbaar met KRW-LSW's en benoemd als virtuele LSW's (niet zichtbaar in Figuur 2.3).
- 38 basins, afwateringsgebieden behorende bij 1 LSW (vlakken binnen de grijze lijnen in Figuur 2.3).

Alleen voor de 10 KRW-LSW's is in dit project een flux uit de waterbodem ingevoerd. Belangrijkste reden is dat de virtuele LSW's alleen een volume hebben, maar geen diepte en oppervlakte. Het effect van deze keuze wordt nog besproken in hoofdstuk 0.

Figuur 2.3 toont de schematisatie van het gebied in de KRW-Verkenner.

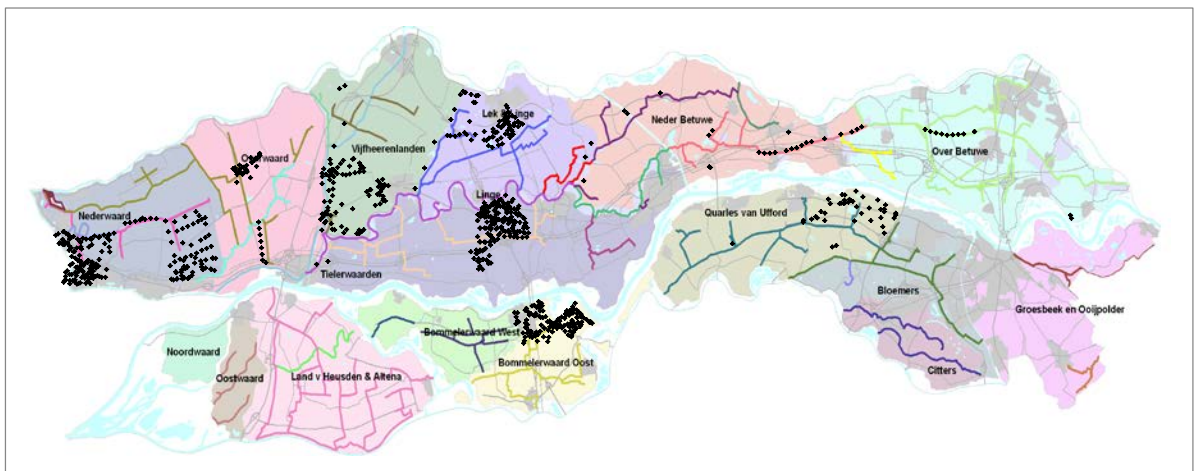


Figuur 2.3 Schematisatie van de kanalen in QvU-polder op basis van de landelijke pilot

Tabel 2.2 : Kenmerken van de verschillende wateren die zijn geschematiseerd in de KRW-Verkenner.

LSW	volume (m ³)	opp. (m ²)	diepte (m)	lengte (m)	Verblijftijd (d)
KL758	13203	5908	2,23	682	27
KL759	14727	5721	2,57	670	12
KL760	18215	73728	0,25	6094	21
KL761	14327	18433	0,78	2163	17
KL762	453111	176026	2,57	15683	55
KL763	207325	80542	2,57	8189	37
KL764	46655	18125	2,57	1561	41
KL765	51210	19894	2,57	2231	29
KL766	39244	21867	1,79	2501	56
KL767	40669	15799	2,57	1862	109

Figuur 2.4 toont de beschikbare waterbodemmetingen in de QvU. De monsters zijn vooral genomen in het noordoostelijk deel.



Figuur 2.4 P-metingen in sediment in Rivierenland (beschikbaar gesteld door R. Gylstra, Rivierenland).

Figuur 2.5 toont dezelfde meetpunten, waarbij het symbool aangeeft welke P-gehalten zijn gevonden. Behalve enkele uitschieters bevat de waterbodembodem 1 tot 2 g P/kg. Voor de pilot is ervoor gekozen om uit te gaan van gehalten in de bodem van 2 g P/kg droge bodem met 2 uitschieters van 4 g P/kg, namelijk in de LSW's aangeduid met KL759 en KL766 (zie Figuur 2.3).



Figuur 2.5 P-meetwaarden in de QvU. Symbolen: blauw kruisje: 1 gP/kg, groen blokje: 2 gP/kg, oranje driehoek (4 gP/kg), rode ruit (5 gP/kg).

Vervolgens zijn de waterbodembodembodembodemfluxen berekend conform vergelijking 2.1. Indien de (Fe-S)/P-ratio in de QvU hoger dan 2 is, zijn de fluxen uit de waterbodembodem overschat. Dit kon echter niet gecontroleerd worden voor de QvU, omdat geen S-gehalten in sediment beschikbaar waren. In Tabel 2.3 zijn de berekende fluxen per kwartaal te lezen. In de KRW-Verkenner is per waterlichaam de oppervlakte opgenomen. Daarmee is de "algemene" naleveringsflux per kwartaal omgerekend naar een nalevering (vracht) per waterlichaam in QvU.

Tabel 2.3 Berekende basisflux (15°C) en de kwartaalfluxen op basis van de correctiefactoren in Tabel 2.1.

P-sed	basisflux	Q1	Q2	Q3	Q4
mg/kg	mg/m ² /d	mg/m ² /d	mg/m ² /d	mg/m ² /d	mg/m ² /d
2000	10,7	4,9	7,9	12,5	10,8
4000	26,1	12,0	19,3	30,5	26,3

In Tabel 2.4 is de nalevering uit de waterbodem per LSW in QvU weergegeven. De flux is toegekend als een emissiebron op de betreffende LSW in het model.

Tabel 2.4 De P-fluxen uit de waterbodem op basis van het gehalte in de bodem (P-sed) en gemiddelde watertemperatuur voor het betreffende kwartaal (zie vergelijking 2.2).

Emissietype KRW- Verkenner	Node ID	Oppervlakte (m ²)	P-sed (g/kg)	Flux (g/s) Q1	Flux (g/s) Q2	Flux (g/s) Q3	Flux (g/s) Q4
WB_KL758	KL758	5908	2	0,000154	0,0004	0,001	0,000746
WB_KL759	KL759	5721	4	0,000366	0,000946	0,002363	0,001759
WB_KL760	KL760	73728	2	0,001923	0,004989	0,01248	0,009308
WB_KL761	KL761	18433	2	0,000481	0,001247	0,00312	0,002327
WB_KL762	KL762	176026	2	0,004592	0,01191	0,029796	0,022223
WB_KL763	KL763	80542	2	0,002101	0,00545	0,013633	0,010168
WB_KL764	KL764	18125	2	0,000473	0,001226	0,003068	0,002288
WB_KL765	KL765	19894	2	0,000519	0,001346	0,003368	0,002512
WB_KL766	KL766	21867	4	0,001397	0,003615	0,009031	0,006723
WB_KL767	KL767	15799	2	0,000412	0,001069	0,002674	0,001995

De waterbodem ten opzichte van andere bronnen

Tabel 2.5 toont alle bronnen in het gebied opgeteld, behalve de RWZI's omdat die alleen invloed hebben op KL760 en KL764. De grootste P-belasting wordt veroorzaakt door uitspoeling uit de bodem. Er is echter een seizoensafhankelijkheid in de bijdrage van verschillende bronnen. Uitspoeling (berekend met STONE) is vooral hoog in de winter, terwijl de waterbodemnalevering juist in de zomer hoger is. De relatieve bijdrage in de zomer (Q2/Q3) ligt rond de 20%.

Tabel 2.5 Totale omvang van de verschillende P-bronnen (behalve de RWZI's) in geval alle waterbodems naleveren conform Tabel 2.4 (in g P/s).

Bron	absolute bron				relatieve bijdrage			
	Q1 (g P/s)	Q2 (g P/s)	Q3 (g P/s)	Q4 (g P/s)	Q1 (%)	Q2 (%)	Q3 (%)	Q4 (%)
CONSUMENTEN	0,02	0,02	0,02	0,02	3	6	8	3
CONTRO	0,00	0,04	0,03	0,00	0	13	14	0
INDUSTRIE_OVERIG	0,07	0,07	0,07	0,07	10	20	26	10
LANDBOUW STONE	0,02	0,02	0,02	0,02	2	5	7	3
(BODEMUITSCOELING)	0,57	0,14	0,03	0,46	83	45	13	74
WATERBODEM	0,01	0,03	0,08	0,06	2	10	33	10
TOTAAL	0,68	0,32	0,25	0,63	100	100	100	100

Retentiefactoren

Om de invloed van de processen mee te nemen is in de KRW-Verkenner een retentiefactor opgenomen. Dit is een netto vastleggingscomponent die alle processen in het watersysteem vertegenwoordigt. In het onderzoek zijn de retentiefactoren uit het landelijk pilotmodel overgenomen. Voor QvU geldt dat er een retentiefactor (k) van 0,02 / dag wordt toegepast. Deze is opgenomen in vergelijking 2.1

2.5 Analyse stappen (scenario's)

Om het effect van de nalevering uit waterbodems te beoordelen, is het systeem stapsgewijs gevuld met de verschillende bronnen. In essentie zijn er 3 vrijheidsgraden: 1. externe bronnen aan of uit, 2. retentie aan of uit en 3. variatie in P-gehalten in de waterbodem. Tabel 2.6 geeft een samenvatting van de scenario's. Onder de tabel wordt voor elk scenario een korte beschrijving gegeven.

Tabel 2.6 KRW-Verkenner scenario's die zijn gedraaid in de QvU voor dit project.

scenario	Externe Bronnen	retentie	waterbodem
1	aan	aan	Alles 0
2	uit	uit	P-KL766 =4g/kg
3	uit	aan	P-KL766 =4g/kg
4	uit	aan	P=2g/kg, P-KL759 & 766=4g/kg
5	aan	aan	P-KL766 =4g/kg
6	aan	aan	P=2g/kg, P-KL759 & 766=4g/kg
7	aan	aan	P=2g/kg, P-KL759 & 766=4g/kg, P-KL760=0
8	aan	aan	P=2g/kg, P-KL759 & 766=0g/kg
9	uit	aan	P=2g/kg, P-KL759 & 766=0g/kg

Scenario 1 betreft de KRW-Verkenner zoals deze nu in de landelijke pilot is geschematiseerd (inclusief retentie). De emissies betreffen 2 puntbronnen (RWZI's) die lozen op LSW KL760 en KL764 en een flink aantal diffuse bronnen (uit STONE en uit de Emissieregistratie).

In scenario 2 zijn juist alle bronnen en de retentie uitgezet en is er alleen een waterbodemflux in LSW KL766 ($P=4 \text{ g/kg} \rightarrow \text{flux} = 0,0004 \text{ g/s}$). Daarna wordt stapsgewijs uitgebreid naar een complete berekening in scenario 6. Eerst wordt de retentie aangezet (scenario 3), daarna wordt aan alle KRW-wateren een waterbodemissie toegevoegd (scenario 4) en tenslotte staan alle externe bronnen aan met en waterbodememissie in KL 766 (scenario 5) en waterbodememissies in alle KRW-wateren (scenario 6). De andere scenario's geven het effect van maatregelen weer. Op basis van het volledige scenario 6 wordt een waterbodemmaatregel benedenstrooms (vlak voor uitlaatpunt naar de Maas; KL760) gesimuleerd (scenario 7) en het verwijderen van de 'hot spots' bovenstrooms in de hoog belaste LSW's (scenario 8). De maatregel van scenario 8, verwijderen van de 'hot spots' bovenstrooms, is ook nog een keer doorgerekend zonder overige bronnen (scenario 9).

2.6 Berekeningen

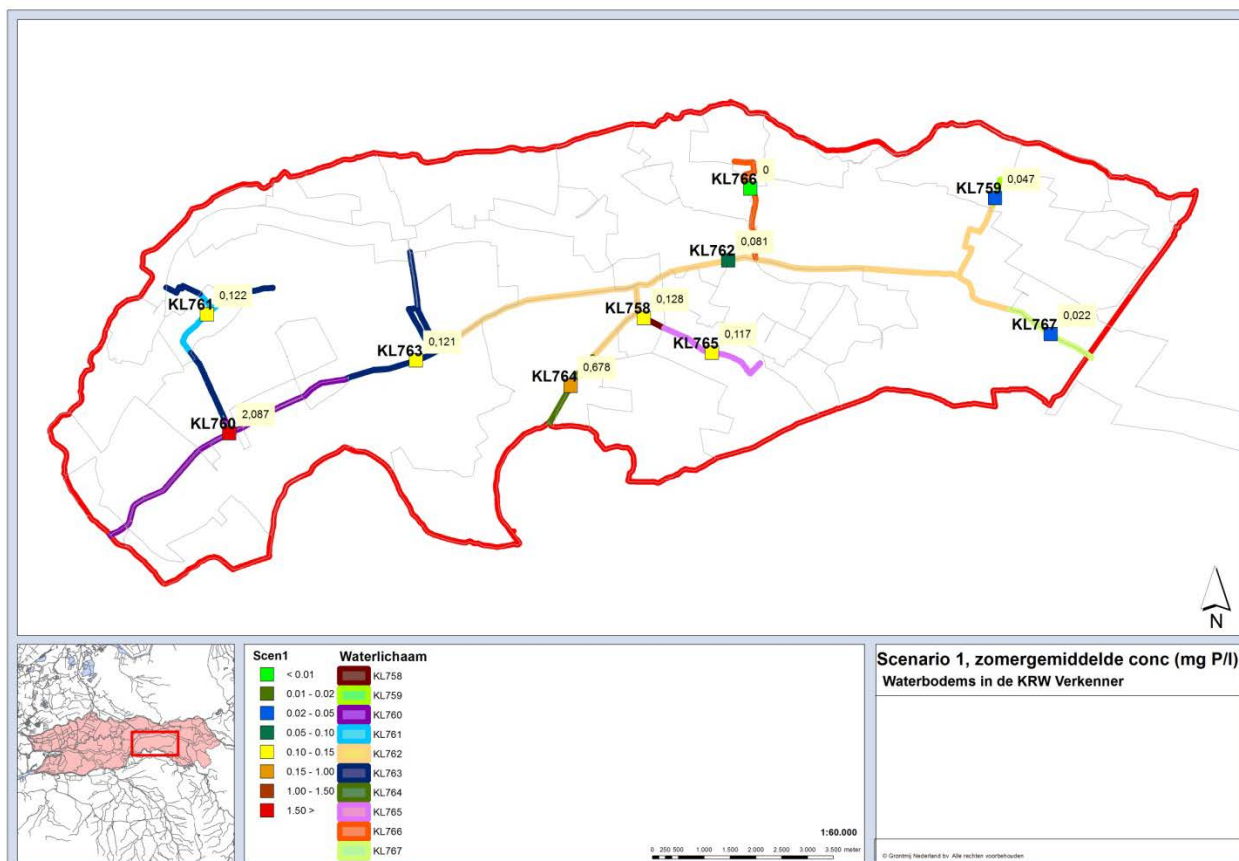
In de KRW-Verkenner zijn de benodigde invoerwaarden geïmporteerd zoals emissies en retentiefactoren. Daarna is een case aangemaakt en doorgerekend. Voor analyses van de uitkomsten zijn de resultaten per LSW en per kwartaal gekopieerd naar Excel voor nabewerking en verdere analyse. Presentatie van de resultaten is uitgevoerd in arcGis.

3 Resultaten

3.1 Scenario 1

Alle bronnen inclusief retentie zonder waterbodempluxen (landelijke pilot).

In Figuur 3.1 is te zien dat de grootste fosforbronnen in de polder aan de zuidkant (KL764) en aan de westkant liggen (m.n. KL760). De RWZI's in het gebied lozen op beide LSW's en zijn in hoge mate verantwoordelijk voor de hoge concentraties. Helaas zijn in deze LSW's geen waterbodemmonsters geanalyseerd. Die liggen vooral in het noordoostelijke deel. Het is dus de vraag of de gemaakte keuze in paragraaf 2.4, om alleen in de uithoeken in het noorden hogere P-gehalten toe te kennen, realistisch is. Het primaire doel van de pilot is echter dat er een realistisch voorbeeld wordt getoond en het is minder belangrijk of het ook op alle punten juist is.

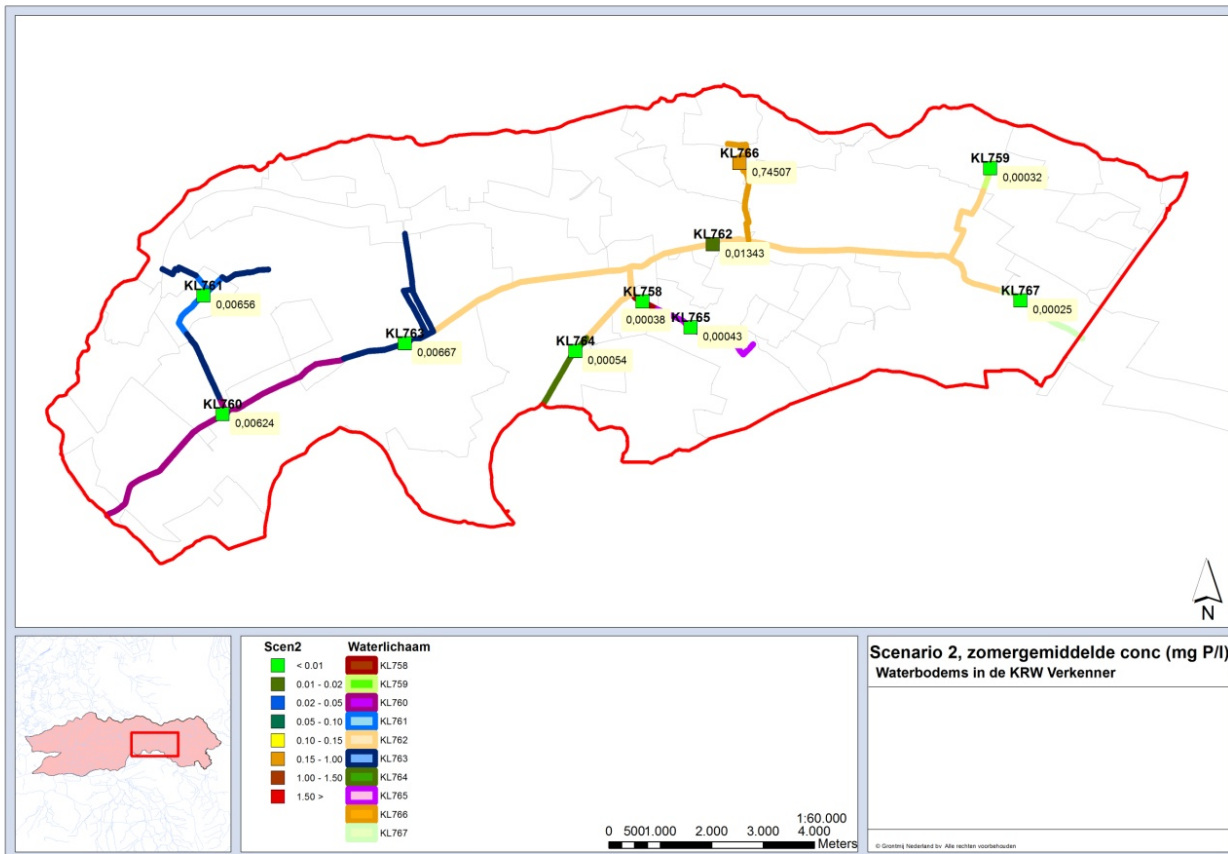


Figuur 3.1 Zomergemiddelde P-concentraties in de QvU-polder in scenario 1: externe bronnen aan, retentie aan, geen waterbodemplux

3.2 Scenario 2

Het effect van de waterbodem (P=4 g/kg) in LSW KL766 zonder overige bronnen.

Het effect van de waterbodemflux is zoals verwacht vooral zichtbaar in KL766. Daar is de hoogste concentratie gevonden, nl. 0,7 mg P/l. Het gevolg van de flux in KL766 is beperkt te zien in KL762. Dat waterlichaam heeft namelijk een groot watervolume, de bijdrage van water uit KL766 aan KL762 is slechts 1,5%. Ook in de benedenstroomse LSW's KL760, 761 en 763 is nog een minimaal effect zichtbaar.



Figuur 3.2 Zomergemiddelde P-concentraties in de QvU-polder in scenario 2: externe bronnen uit, retentie uit, waterbodemflux in LSW KL766

3.3 Scenario 3

Het effect van de waterbodem (4 g P/kg) in LSW KL766 zonder overige bronnen inclusief retentie zoals gebruikt in de landelijke pilot.

Als er sprake is van retentie zien we dat het effect van de waterbodem wordt gereduceerd (Tabel 3.1). In KL766 (waar de bron is) betreft de reductie ca. 50%, in de naburige LSW KL762 85% en in de overige LSW's meer dan 90%, omdat de aanvoer vanuit KL766 (na reductie) naar andere LSW's nogmaals gereduceerd wordt door retentie in die LSW.

Tabel 3.1 Zomergemiddelde P-concentraties (mg P/l) in de QvU-polder in scenario 3: externe bronnen uit, retentie aan, waterbodemflux in LSW KL766.

LSW	KL758	KL759	KL760	KL761	KL762	KL763	KL764	KL765	KL766	KL767
Scen3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,359	0,000

3.4 Scenario 4

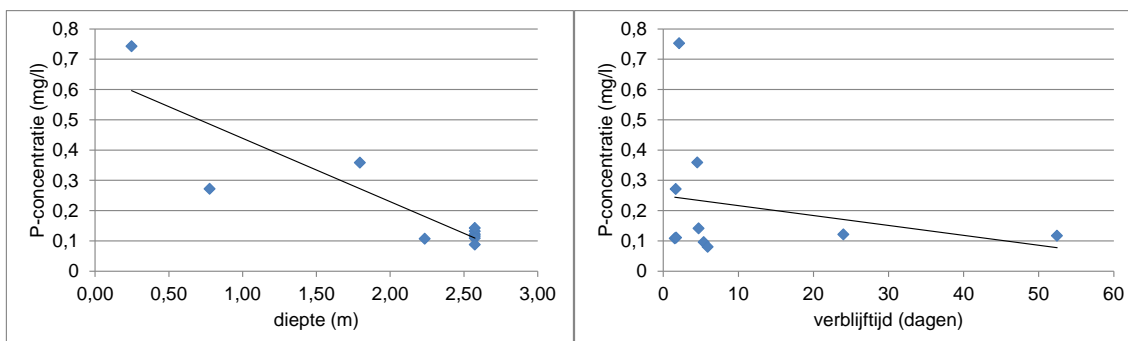
Het effect van de waterbodems (2 g P/kg en in KL759 en KL766: 4 g P/kg) in het hele gebied inclusief retentie.

Als alle waterbodems naleveren worden de concentraties (ook met retentie) aanzienlijk hoger. Tevens is te zien dat bij een gelijk gehalte in de bodem het effect op het oppervlaktewater sterk kan variëren. De waterbodems in KL759 en KL766 bevat in beide LSW's 4 g P/kg, toch is de concentratie in KL766 3 keer zo hoog.

Tabel 3.2 Zomergemiddelde P-concentraties (mg P/l) in de QvU-polder in scenario 4: externe bronnen uit, retentie aan, waterbodemplux in alle LSW's.

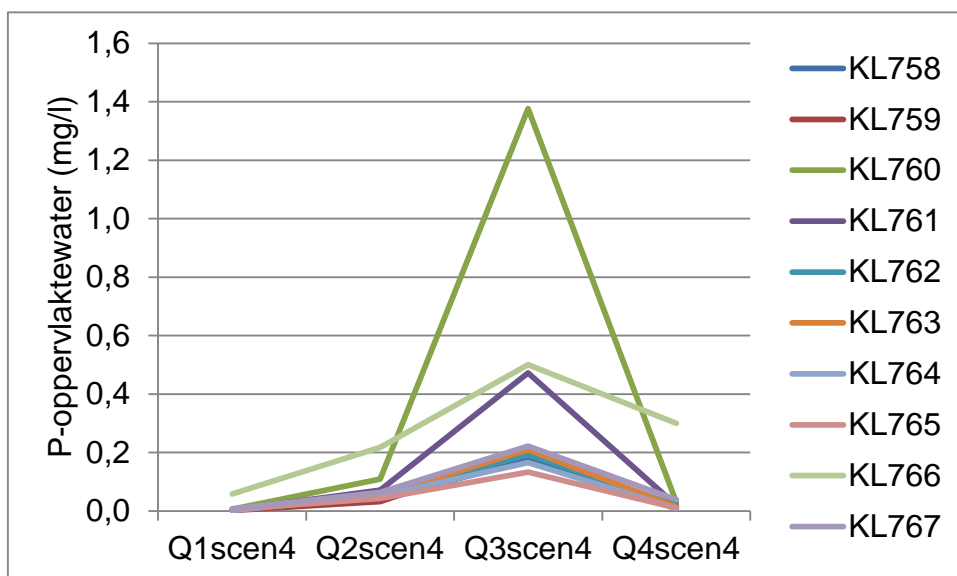
LSW	KL758	KL759	KL760	KL761	KL762	KL763	KL764	KL765	KL766	KL767
Scen4	0,108	0,111	0,752	0,271	0,116	0,121	0,095	0,080	0,359	0,141

Als alle concentraties worden gerelateerd aan de kenmerken van het water (verblijftijd, omvang), blijkt de diepte de belangrijkste stuurparameter te zijn (Figuur 3.3). De flux wordt bepaald door het oppervlak en als die flux in weinig m³ wordt verspreid levert dat een relatief hoge concentratie op. Verder valt op dat de bakjes met een lange verblijftijd van het water geen hoge concentratie geven. De verwachting was dat de waterbodems in een bakje met een lange verblijftijd meer effect heeft en zou leiden tot hogere concentraties in het water. Dit blijkt niet uit de berekende concentraties. Dat heeft mogelijk te maken met de retentie die in een dergelijk bakje ook een groot (tegen)effect heeft, maar het vraagt meer inspanning om dit kwantitatief vast te stellen.



Figuur 3.3 Relatie tussen de P-concentratie en de diepte (links) of verblijftijd (rechts) van het water in scenario 4 (in het hele gebied alleen een flux uit de waterbodems).

Voor scenario 4 is ook gekeken naar de seizoensvariatie. Er is een duidelijke piek te zien in Q3 (Figuur 3.4). Dat heeft te maken met de flux uit de bodem die in de zomer hoger is dan in de winter, maar de piek in de zomer is veel groter dan verklaard kan worden uit de correctiefactoren in Tabel 2.1. Naast een hogere flux is er in de zomer een langere verblijftijd, waardoor de flux uit de waterbodems meer invloed heeft op de concentratie. Ook hiervoor geldt het binnen dit project niet exact gekwantificeerd is.

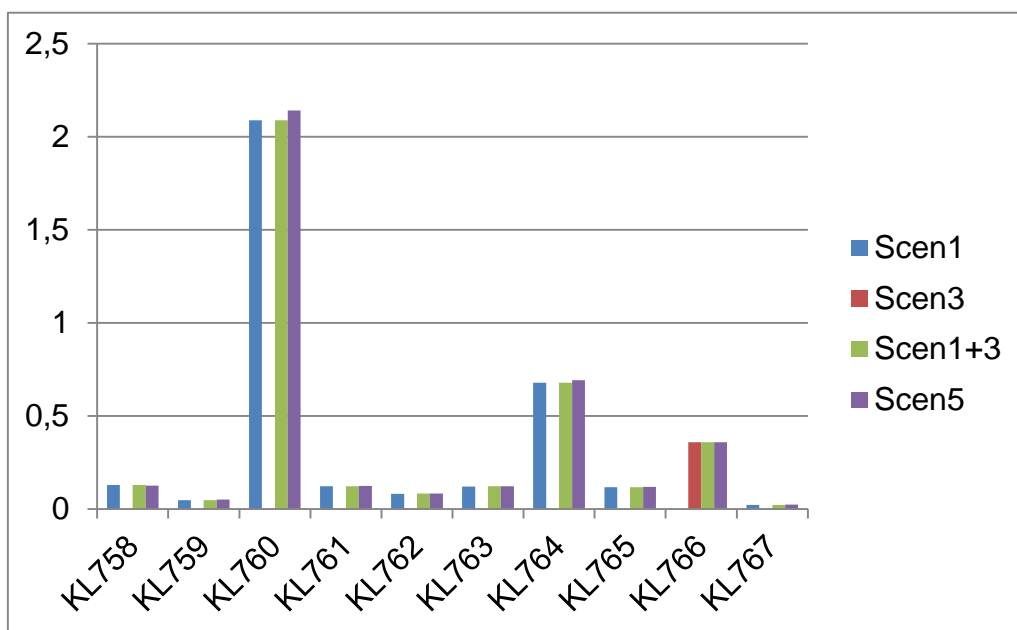


Figuur 3.4 Seizoensafhankelijkheid in P-concentraties in scenario 4.

3.5 Scenario 5

Het effect van de waterbodem (4 g P/kg in LSW KL766) en inclusief retentie met overige bronnen.

In scenario 3 zagen we dat LSW KL766 duidelijk werd beïnvloed door de waterbodem en de overige LSW's beperkt. Als de externe bronnen ook worden meegenomen is de invloed van de waterbodem in KL766 nog steeds prominent aanwezig (Figuur 3.5), omdat er geen overige bronnen op KL766 zitten. Figuur 3.5 toont dat de optelling van scenario's 1+3 nagenoeg gelijk is aan scenario 5.

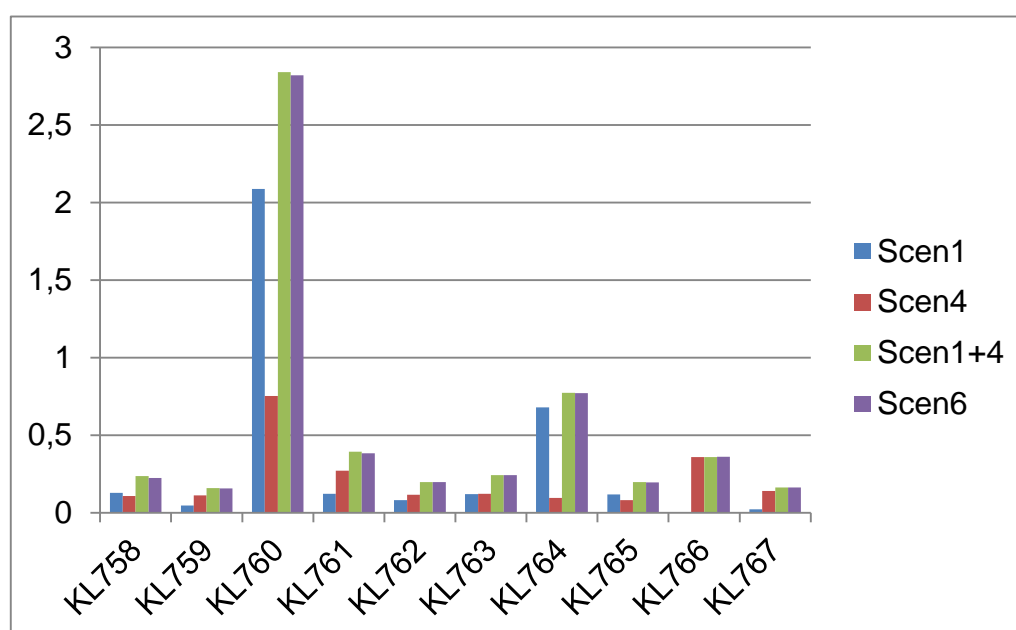


Figuur 3.5 P-concentraties (mg/l) in de verschillende bakjes in de scenario's 1, 3, 5 en de berekende optelling (Scen1+3).

3.6 Scenario 6

Alle overige bronnen, alle waterbodems (2 g P/kg en in KL759 en KL766: 4 g P/kg) in het hele gebied inclusief retentie.

In dit scenario wordt duidelijk wat het toevoegen van de waterbodems voor effect heeft ten opzichte van de basis variant in de KRW-Verkenner (alle andere bronnen en retentie). Er mag verwacht worden dat scenario 6 grofweg een optelling is van scenario 1 (overige bronnen inclusief retentie) en 4 (waterbodems incl. retentie). Figuur 3.6 toont dat die verwachting uitkomt. In het zomerhalfjaar zorgt de waterbodems voor gemiddeld 0,2 mg P/l verhoging in de concentratie, van 0,34 naar 0,55, maar als KL760 en KL764 (RWZI-lozingen) niet worden meegenomen gaat het over een verhoging van 0,08 naar 0,24. Dat is ook ongeveer 0,2 mg/l verschil, maar wel een factor 3 verhoging.

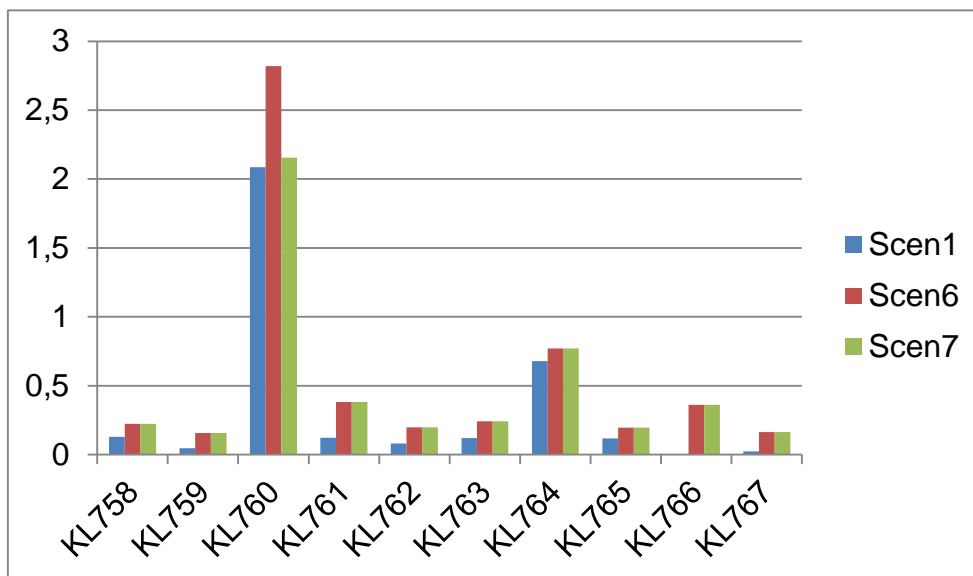


Figuur 3.6 P-concentraties (mg/l) in de verschillende bakjes in de scenario's 1,4, 6 en de berekende optelling (Scen1+4)

3.7 Scenario 7

Scenario 6 met een waterbodemmaatregel benedenstrooms (vlak voor uitlaatpunt naar de Maas; KL760).

Figuur 3.7 toont scenario 1, 6 en 7. Het effect van het terugdraaien van de P-flux in bakje KL760 zelf is groot: de concentratie in scenario 7 (2,15 mg P/l) daalt bijna naar het niveau van scenario 1 (2,09 mg P/l).

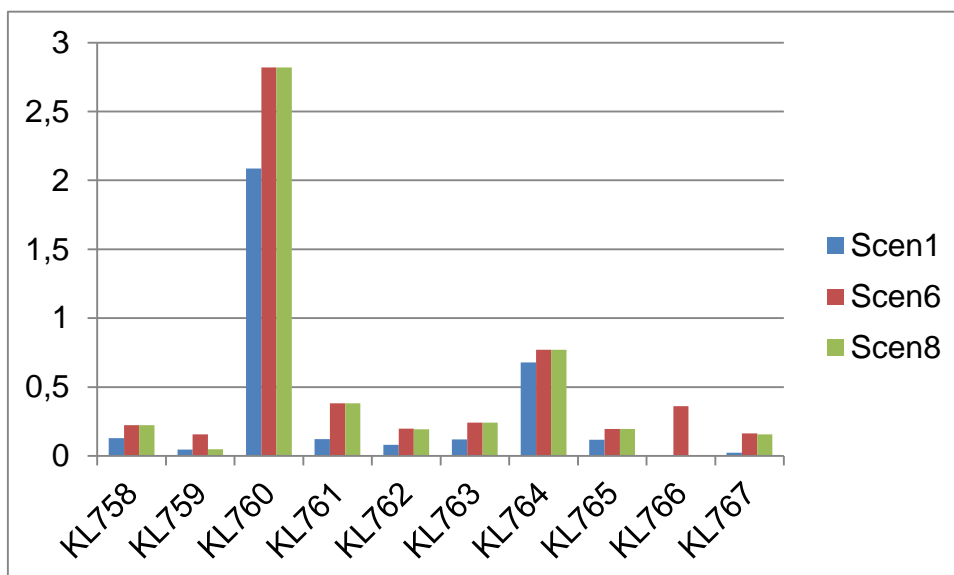


Figuur 3.7 P-concentraties (mg/l) in de verschillende bakjes in de scenario's 1, 6 en 7.

3.8 Scenario 8

Scenario 6 met een waterbodemmaatregel bovenstrooms in de hoog belaste LSW's (KL759 en KL766: 0 g P/kg).

Het saneren van bodems met een hoge belasting geeft een rendement in de wateren die zijn gesaneerd (759, 766) en nauwelijks in naburige LSW's (Figuur 3.8).

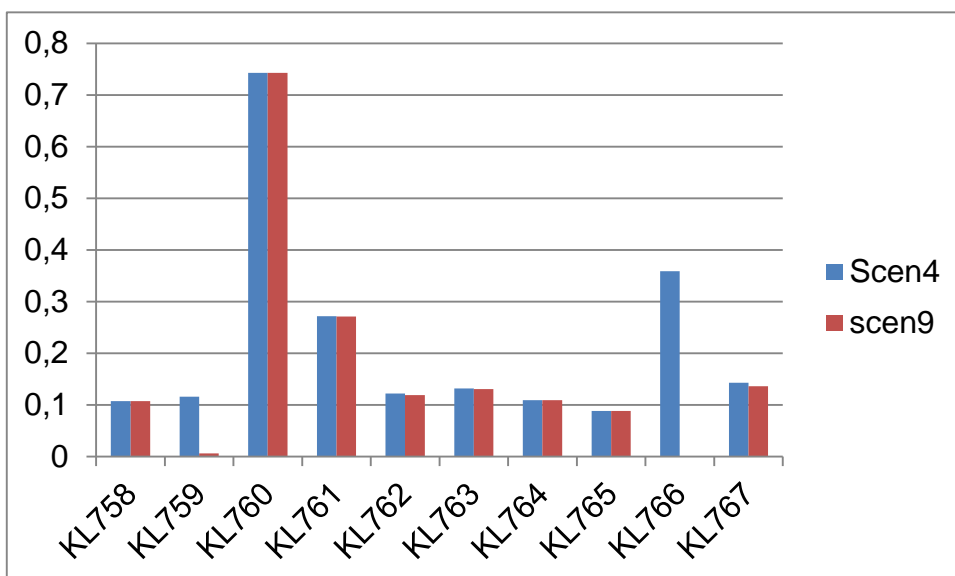


Figuur 3.8 P-concentraties (mg/l) in de verschillende bakjes in de scenario's 1, 6 en 7.

3.9 Scenario 9

Scenario 4 (alleen waterbodem, met retentie, geen overige bronnen) met een waterbodemmaatregel bovenstrooms in de hoog belaste LSW's (KL759 en KL766: 0 g P/kg).

Dit geeft hetzelfde beeld: in het betreffende bakje is de sanering bijna 100% effectief, maar in de andere bakjes is het effect verwaarloosbaar.



Figuur 3.9 P-concentraties (mg/l) in de verschillende bakjes in de scenario's 4 en 9.

4 Conclusies en aanbevelingen

Voor het beoordelen van effecten interne van nalevering van fosfor op een groter schaalniveau dan de verontreinigde locatie, is de KRW-Verkenner gebruikt. De Quarles van Uffordpolder (QvU) is gekozen als illustratie voor een grotere schaal.

4.1 Effect van de waterbodememissies op de betreffende LSW

De flux van P uit de bodem is berekend op basis van de formules die zijn afgeleid in het project BaggerNut. Het berekenen van een flux in Excel en het inlezen in de KRW-Verkenner is eenvoudig. De relatieve bijdrage van de waterbodememissies ten opzichte van de andere diffuse bronnen bedraagt in dit gebied in de zomer ca. 20% van de totale P-belasting uitgaande van 2 g P/kg in het sediment van de LSW's. In de winter is de bijdrage verwaarloosbaar. De zomergemiddelde concentratieverhoging als gevolg van het toevoegen van waterbodememissies was 0,2 mg P/l.

Als het effect de waterbodemflux gerelateerd wordt aan de eigenschappen van de LSW, komt er een duidelijk verband uit tussen diepte en concentratie in de LSW. Overige parameters zoals oppervlakte en verblijftijd tonen geen verband met de concentratie in de LSW.

Vooraf bij lage belastingen kan de waterbodem in de zomerperiode dus zorgen voor een flinke verhoging van de concentratie. Tot nu toe is de flux van en naar de waterbodem altijd integraal meegenomen in de retentiefactor. Officieel dient de retentiefactor te worden bijgesteld. De retentiefactor bevat echter grote onzekerheden. Belangrijker is de vraag of de berekende concentraties aansluiten bij de gemeten concentraties. Dat is niet onderzocht in dit project.

4.2 Effect van de waterbodemflux op gebiedsniveau (QvU)

Het toevoegen van waterbodememissies is duidelijk zichtbaar in de concentraties in het oppervlaktewater van de betreffende LSW's, maar het effect op andere LSW's is gering. Dat laatste was juist het belangrijkste doel. Dat een effect op naburige LSW's nauwelijks zichtbaar is, heeft een aantal oorzaken:

- 1 Slechts in 10 van de 76 (38 LSW's, 38 basins) geschematiseerde eenheden is een waterbodemflux ingevoerd. De uitwisseling (en dus de afwenteling) wordt dus in hoge mate bepaald door eenheden waarin de waterbodem niet is meegenomen.
- 2 De hydrologie van een polder is ingewikkeld; er is geen eenduidige stroomrichting, er kan sprake zijn van inlaat en uitlaat op hetzelfde punt afhankelijk van regenval.
- 3 De schematisatie op kwartaalbasis geeft mogelijk een onderschatting van de daadwerkelijke uitwisseling tussen de verschillende eenheden.

De laatste twee punten gelden niet specifiek voor waterbodems, maar voor elke bron die wordt ingevoerd.

4.3 Aanbevelingen

Voor het inzichtelijk maken van afwenteling van fosfor door nalevering uit de waterbodem wordt geadviseerd om minimaal in alle LSW's fosfor mee te nemen als bron. Mogelijk moeten ook de *basins* worden betrokken.

Een schone waterbodem (na een maatregel) zou in de eerste jaren na de ingreep tot een verhoogde vastlegging (retentie) kunnen leiden. Het berekenen van het effect van een waterbodemmaatregel zou dan niet alleen moeten bestaan uit het terugbrengen van de bronsterkte zoals in scenario's 7,8 en 9 in dit project, maar ook uit een (tijdelijk) verhoogde retentie, bijv. 0,04 in de eerste drie jaar, 0,03 in het derde tot 6^e jaar en daarna weer de oude waarde 0,02.

Het feit dat er geen relatie is tussen verblijftijd en waterbodemflux dient nader onderzocht te worden. De diepte, die wel een verband toont met de concentratie, zou bepalender kunnen zijn, waardoor het verband met verblijftijd niet zichtbaar is. Een andere mogelijkheid is dat de retentie een compenserende werking heeft. Met andere woorden: bij een lange verblijftijd is er een grote flux, maar er verdwijnt ook veel. Voordat waterbodems op grotere schaal als bron worden meegenomen, is een nadere analyse naar de relatie tussen de resultante concentratie als gevolg van de flux uit de waterbodem en de verblijftijd in een LSW gewenst.

Vooralsnog wordt aangeraden om de bronsterkte van de waterbodem buitenom de KRW-Verkenner te berekenen met behulp van een Excel-bestand en dit als point source op de betreffende LSW te zetten.

Afwenteling is juist relevant in stromende wateren, omdat in de stromende wateren zelf meestal geen algenproblemen spelen, maar wel in de plassen of meren waarin dat water terechtkomt. Bovendien is de stroomrichting en stroomsnelheid van stromende wateren (beken) doorgaans eenvoudiger. Daarom is het aan te raden een pilot uit te voeren in een gebied in hoog Nederland waarin sprake is van natuurlijke afstroming. Daarin kunnen de overige aanbevelingen worden meegenomen, zoals de relatie tussen verblijftijd en concentratie, de validatie met metingen in oppervlaktewater en het meenemen van de waterbodem in basins.