

**Berekeningen kwaliteit  
regionale wateren in kader Ex-  
ante SGBP2**





## **Berekeningen kwaliteit regionale wateren in kader Ex-ante SGBP2**

Peter Cleij (Deltares)  
Frank van Gaalen (PBL)  
Erwin van Boekel (WUR)

11202234-000



**Titel**

Berekeningen kwaliteit regionale wateren in kader Ex-ante SGBP2

**Opdrachtgever**  
PBL

**Project**  
11202234-000

**Kenmerk**  
11202234-000-ZWS-0001





**Pagina's**  
36

**Trefwoorden**

Evaluatie stroomgebiedbeheerplannen, Landelijk KRW-Verkenner Model (LKM)

**Samenvatting**

In dit document wordt de methode beschreven zoals toegepast bij de berekening van de kwaliteit van de Nederlandse regionale KRW-waterlichamen in het kader van de ex-ante evaluatie van de 2<sup>de</sup> stroomgebiedbeheerplannen, geldend voor de periode 2016-2021.

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	juni 2018	Peter Cleij (Deltares)		Erwin Meijers (Deltares)		Tom Buijse (Deltares)	
		Frank van Gaalen (PBL)					
		Erwin van Boekel (WUR)					

**Status**

definitief



## Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Eindresultaat</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>Berekening percentages</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Huidige situatie: nutriëntconcentraties en biologie</b>	<b>7</b>
4.1	Inleiding	7
4.2	Nutriëntconcentraties	7
4.3	Biologie	7
<b>5</b>	<b>Scenario's: nutriëntconcentraties en biologie</b>	<b>9</b>
5.1	Inleiding	9
5.2	Modelberekeningen	9
5.3	Combineren modelresultaten en meetgegevens	9
5.4	Modelruns	10
<b>6</b>	<b>Landelijk KRW-Verkenner Model</b>	<b>11</b>
6.1	Inleiding	11
6.2	Schematisatie	11
6.3	Hydrologie	11
6.4	Emissies	11
6.5	Biologie	11
6.6	Retentie van nutriënten	12
6.7	Validatie	13
<b>7</b>	<b>Huidige situatie: modelberekeningen</b>	<b>15</b>
7.1	Inleiding	15
7.2	Hydrologische randvoorwaarden	15
7.3	N- en P-emissies	16
7.4	Ecologische stuurvariabelen	17
<b>8</b>	<b>Scenario's: modelberekeningen</b>	<b>19</b>
8.1	Inleiding	19
8.2	N- en P-emissies	19
8.3	Ecologische stuurvariabelen	21
<b>9</b>	<b>Referenties</b>	<b>23</b>

## **Bijlage(n)**

<b>A</b>	<b>Berekeningsresultaten</b>	<b>A-1</b>
<b>B</b>	<b>Rekenschema scenarioberekeningen</b>	<b>B-1</b>
<b>C</b>	<b>Correctie gemodelleerde EKR-scores</b>	<b>C-1</b>
<b>D</b>	<b>LKM 2.0 schematisatie</b>	<b>D-1</b>
<b>E</b>	<b>Berekening effect maatregelen op nutriëntenbelasting</b>	<b>E-1</b>



## 1 Inleiding

Dit rapport geeft een beschrijving van de berekeningen door Deltares, Wageningen Environmental Research (Alterra) en PBL met betrekking tot de kwaliteit van de Nederlandse regionale oppervlaktewateren in het kader van de 'Ex-ante SGBP2', de ex ante evaluatie van de 2<sup>de</sup> stroomgebiedbeheerplannen, zoals die gelden voor de periode 2016-2021.

Voor het bepalen van de kwaliteit van de rijkswateren, zie:  
*Wortelboer, R., C. Chrzanowski, G. Roskam, R. Noordhuis & T. Vriese (2015)*  
*Effect van maatregelen BPRW-2 voor de KRW, Vergelijking van berekeningswijzen.*  
*Deltares-rapport 1220096-002-ZWS-0001. Utrecht: Deltares.*

Het rapport is opgezet uitgaande van een beschrijving van de resultaten van de berekeningen voor de regionale oppervlaktewateren zoals opgenomen in de tussentijdse en eindrapportage van de evaluatie (Galen et al. 2015 & 2016).



## 2 Eindresultaat

Het eindresultaat van de berekeningen bestaat uit percentages van regionale KRW-waterlichamen, die vallen binnen een kwaliteitsklasse (goed, matig, ontoereikend en slecht) van de fysisch-chemische maatlatten voor

- P-totaal en
  - N-totaal
- en van de biologische maatlatten voor

- algen,
- waterplanten,
- macrofauna, en
- vissen,

zoals gedefinieerd binnen de Nederlandse implementatie van de Kaderrichtlijn Water.

Daarnaast zijn ook percentages voor het 'eindoordeel biologie' bepaald op basis van het one-out, all out principe.

De percentages regionale KRW-waterlichamen binnen een bepaalde kwaliteitsklasse zijn bepaald voor de huidige situatie<sup>1</sup> en voor de situatie in 2021 en/of 2027 bij verschillende scenario's. Het jaar 2021 is het eindjaar uitvoering 2<sup>de</sup> stroomgebiedbeheerplannen en 2027 het eindjaar van de implementatie van de KRW. Scenario-jaar combinaties, waarvoor de betreffende percentages zijn bepaald, zijn:

1. Uitvoering 5de Actieprogramma Nitraat (verder aangeduid als mestbeleid<sup>2</sup>) en de maatregelen uit de 2<sup>de</sup> stroomgebiedbeheerplannen (SGBP2): 2021 en 2027.
2. Uitvoering mestbeleid: 2027.
3. Uitvoering mestbeleid en RWZI-maatregelen uit SGBP2: 2027.
4. Uitvoering mestbeleid en inrichtingsmaatregelen uit SGBP2: 2027.
5. Realiseren nutriëntdoelen en inrichtingsmaatregelen uit SGBP2: 2021

Bij alle scenario's is ook rekening gehouden met een reductie (2021: -2.5%; 2027: -5%) in de aanvoer van N en P via grensoverschrijdende waterlopen als resultaat van de implementatie van de KRW in het buitenland (Roovaart 2015).

Voor het 5<sup>de</sup> scenario zijn de nutriëntconcentraties in eerste instantie bepaald conform scenario 1, waarna alle nutriëntenconcentraties boven de norm op de norm zijn gezet als basis voor de doorrekening van de biologie.

---

<sup>1</sup> In de tussentijdse rapportage van de Ex-ante SGBP2 (Galen et al. 2015) is de huidige situatie gekoppeld aan het jaar 2013, in de definitieve rapportage (Galen et al. 2016) aan het jaar 2015.

<sup>2</sup> Maatregelen uit het Vijfde Nederlandse actieprogramma Nitraatrichtlijn met veestapel uit 2013.

De eindresultaten van de berekeningen zijn weergegeven in Bijlage A. Een groot deel daarvan is gerapporteerd in de volgende PBL-publicaties:

1. *Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Tussentijdse rapportage ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water* (Galen et al. 2015)  
Zie de volgende figuren + begeleidende teksten:
  - Figuur 1 (p. 6): Beoordeling ecologische kwaliteit in regionale wateren volgens Kaderrichtlijn Water. Betreft nutriënten en biologie voor de huidige situatie en de jaren 2021 en 2027.
  - Figuur 3.5 (p. 20): Beoordeling biologische kwaliteit in regionale wateren volgens Kaderrichtlijn Water, 2013.
  - Figuur 5.1 (p. 32): Beoordeling nutriënten in regionale wateren volgens Kaderrichtlijn Water. Betreft de huidige situatie en de jaren 2021 en 2027.
  - Figuur 5.2 (p. 33): Beoordeling biologische kwaliteit in regionale wateren volgens Kaderrichtlijn Water. Betreft de huidige situatie en de jaren 2021 en 2027.
2. *Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Eindrapport ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water* (Galen et al. 2016)  
Zie de volgende figuren en tabellen + begeleidende teksten:
  - Figuur 1 (p. 9): Beoordeling biologische kwaliteit in regionale wateren volgens Kaderrichtlijn Water. Betreft de huidige situatie en de jaren 2021 en 2027.
  - Figuur 3.9 (p. 29): Beoordeling biologische kwaliteit in regionale wateren volgens Kaderrichtlijn Water, huidige situatie.
  - Figuur 5.1 (p. 41): Beoordeling nutriënten in regionale wateren volgens Kaderrichtlijn Water. Betreft de huidige situatie en de jaren 2021 en 2027.
  - Figuur 5.2 (p. 42): Beoordeling biologische kwaliteit in regionale wateren volgens Kaderrichtlijn Water. Betreft de huidige situatie en de jaren 2021 en 2027.
  - Tabel 5.1 (p. 44): Procentuele toename van het aantal regionale waterlichamen met een goede biologische toestand bij verschillende maatregelpakketten. Vergelijking 2027 met de huidige situatie.
  - Tabel 5.2 (p. 45): Doelbereik regionale wateren in 2021 volgens inschattingen van de waterbeheerders, vergeleken met de berekeningen. Betreft doelbereik biologie.

### 3 Berekening percentages

Percentages regionale waterlichamen in de verschillende KRW kwaliteitsklassen voor zomergemiddeld N-totaal, zomergemiddeld P-totaal en de EKR-scores voor de vier biologische kwaliteitselementen zijn bepaald voor de huidige situatie en de situatie in 2021 en/of 2027 bij de verschillende scenario's.

Voor N- en P-concentraties en EKR-scores in de huidige situatie is gebruik gemaakt van op meetgegevens gebaseerde waarden. Bij de scenario's is gebruik gemaakt van N- en P-concentraties en EKR-scores, gebaseerd op een combinatie van modelberekeningen en meetgegevens.

Voor de vertaling van N- en P-concentraties en EKR-scores naar kwaliteitsklassen is gebruik gemaakt van de maatlatdefinities (onder- en bovengrenzen per klasse) van 2014-11-27 uit het Waterkwaliteitsportaal (Waterkwaliteitsportaal 2014).

Als afgeleide van de classificatie van EKR-scores zijn ook de 'eindoordelen biologie' voor de waterlichamen bepaald via het one-out-all-out principe.

Alle percentages waterlichamen (per kwaliteitselement en kwaliteitsklasse) zijn bepaald aan de hand van een deelverzameling van 572 van de in totaal 662 regionale KRW-waterlichamen uit de kaart met KRW-waterlichamen van 6 januari 2015 (Waterkwaliteitsportaal 2015). Voor deze deelverzameling waren de benodigde ecologische stuurvariabelen, (gemeten) EKR-scores en EKR-doelen voor doorrekening van de biologie beschikbaar in de bestanden van het Waterkwaliteitsportaal (Waterkwaliteitsportaal 2014a & 2014b) en HaskoningDHV (HaskoningDHV 2014a & 2014b). Voor alle waterlichamen van de deelverzameling waren ook (gemeten) N- en P-concentraties en N- en P-doelen beschikbaar, uitgezonderd P-doelen voor waterlichamen NL02L9 en NL34M108.



## 4 Huidige situatie: nutriëntconcentraties en biologie

### 4.1 Inleiding

Voor het beschrijven van de nutriëntconcentraties en biologie van de regionale waterlichamen in de huidige situatie is gebruik gemaakt van meetgegevens.

### 4.2 Nutriëntconcentraties

Wat betreft nutriëntconcentraties is gebruik gemaakt van de zomergemiddelde N- en P-concentraties, zoals vastgesteld door HaskoningDHV in kader van het opstellen van de lijst met ecologische stuurvariabelen voor regionale KRW-waterlichamen (zie paragraaf 6.2). Uitgangspunt voor deze zomergemiddelde concentraties vormen de waarden, zoals die door de waterbeheerders zijn aangeleverd aan het Informatiehuis Water (IHW) en toegankelijk zijn gemaakt via het Waterkwaliteitsportaal ([www.waterkwaliteitsportaal.nl](http://www.waterkwaliteitsportaal.nl)). HaskoningDHV heeft echter op basis van gegevens van enkele waterschappen een aantal correcties en aanvullingen op deze basisset doorgevoerd.

### 4.3 Biologie

Wat betreft de biologie is gebruik gemaakt van zowel EKR-scores afkomstig van het Waterkwaliteitsportaal (Waterkwaliteitsportaal 2014b) als EKR-scores afkomstig van HaskoningDHV (HaskoningDHV 2014b).

De EKR-scores van HaskoningDHV betreffen de scores zoals die zijn gebruikt voor het trainen van de neurale netwerken van versie 4 van het Expert systeem Ecologische Effecten (EEE4) van HaskoningDHV (Schipper en Schomaker 2015). De EKR-scores van HaskoningDHV vormen een selectie van EKR-scores uit het Waterkwaliteitsportaal, met aanvullingen en correcties.

Beide datasets zijn omgezet in één bestand, waarbij voor die gevallen waarin uit beide bronnen verschillende EKR-scores beschikbaar waren, gekozen is voor de EKR-score van HaskoningDHV (die in dit geval beschouwd kan worden als een correctie op de EKR-score uit het Waterkwaliteitsportaal).





## 5 Scenario's: nutriëntconcentraties en biologie

### 5.1 Inleiding

Voor het beschrijven van de nutriëntconcentraties en biologie van de regionale waterlichamen in toekomstige situaties (2021 en/of 2027) bij de verschillende scenario's is gebruik gemaakt van een combinatie van modelberekeningen en meetgegevens.

Een schematisch overzicht van deze berekeningen is weergegeven in Bijlage B.

### 5.2 Modelberekeningen

De modelberekeningen zijn uitgevoerd met versie 2.0 van het Landelijk KRW-Verkenner Model (LKM) (Roovaart et al 2012, Cleij et al. 2014). Het LKM is hierbij gevoed door gegevens uit verschillende externe model- en datasystemen. Maatregelen zijn tot uitdrukking gebracht, óf door gebruik te maken van resultaten van runs met een externe modelsysteem voor de betreffende toekomstige situatie na uitvoering van de maatregelen, óf door de invoer van het model voor de huidige situatie aan te passen in overeenstemming met de verwachte effecten van de beschouwde maatregelen.

Het LKM 2.0 maakt hierbij gebruik van een speciale versie van de KRW-Verkenner. De belangrijkste aanpassingen t.o.v. de officiële versie 2.0.0 van de KRW-Verkenner (Meijers en Witteveen 2013, Harezlak en Meijers 2014, Evers et al. 2009, Witteveen+Bos 2012) betreffen de mogelijkheid om met variabele watervolumes voor de geschematiseerde delen van het oppervlaktewatersysteem te rekenen, en een update van de ecologische modules voor regionale wateren. De regressieboom module van het PBL is niet langer beschikbaar in deze speciale KRW-Verkenner versie, terwijl van de PUNN modellen van Witteveen+Bos de nieuwe versie 3 (Witteveen+Bos 2015) is geïmplementeerd, en van de neurale-netwerk modellen van het EEE systeem van HaskoningDHV de nieuwe versie 4 (Schipper en Schomaker 2015). Deze modellen, in de KRW-Verkenner aangeduid met 'PUNN3', respectievelijk 'NN4', leveren EKR-scores voor de biologische maatlaten van de 2<sup>de</sup> stroomgebiedbeheerplannen

### 5.3 Combineren modelresultaten en meetgegevens

De rekenresultaten van het LKM zijn op een relatieve manier gebruikt ('relatief rekenen') om te komen tot een inschatting van de toekomstige situatie. Dat wil zeggen dat de verschillen tussen de modelresultaten voor de toekomstige en de huidige situatie gecombineerd worden met gemeten waarden voor de huidige situatie tot concentraties, die een inschatting vormen van de toekomstige situatie.

Voor zomergemiddelde N- en P-concentraties per waterlichaam is het relatieve gebruik van de LKM resultaten toegepast door de gemeten concentratie te vermenigvuldigen met de verhouding van de modelconcentraties voor de toekomstige en huidige situatie:

$$Conc_{toekomst} = Conc_{huidig}^{gemeten} * (Conc_{toekomst}^{model} / Conc_{huidig}^{model}) \quad (1)$$

Hierbij zijn de 'modelconcentraties' als volgt tot stand gekomen. De KRW-Verkenner bepaalt stofconcentraties per kwartaal voor de basiselementen (nodes) van de schematisatie, die worden omgezet in stofconcentraties voor waterlichamen door middeling over de nodes die een waterlichaam vormen. Zomergemiddelde concentraties voor zowel individuele nodes als waterlichamen worden vervolgens berekend door middeling van de concentraties voor het tweede en derde kwartaal. Bij de verwerking van de LKM resultaten zijn de automatisch gegenereerde zomergemiddelde concentraties per waterlichaam echter niet gebruikt. In plaats daarvan zijn deze concentraties, d.w.z. de modelconcentraties van Eq.1, tot stand gekomen door een gewogen middeling van de zomergemiddelde node-concentraties over de

nodes van het waterlichaam, waarbij het wateroppervlak van de node (gemiddeld over het tweede en derde kwartaal) als gewicht diende. Verder zijn nodes, waarvoor geen uitwisseling van water met de omgeving voor één of beide kwartalen was berekend, niet in de middeling meegenomen (de KRW-Verkenner geeft in geval van het ontbreken van deze uitwisseling geen zinvolle waarde voor de node-concentratie).

Voor EKR-scores is het relatieve gebruik van de modelresultaten toegepast door de verschillen van de EKR modelscores voor de toekomstige en de huidige situatie op te tellen bij de gemeten EKR scores:

$$EKR_{toekomst} = EKR_{huidig}^{gemeten} + (EKR_{toekomst}^{model} - EKR_{huidig}^{model}) \quad (2)$$

Hierbij zijn de EKR modelscores tot stand gekomen door zowel gebruik te maken van de resultaten van zowel de PUNN3 als de NN4 modellen van de KRW-Verkenner. Dit is gedaan door middeling van de uitkomsten van beide deelmodellen ('ensemble middeling'):

$$EKR^{gem} = (EKR^{PUNN3} + EKR^{NN4})/2 \quad (3)$$

Op dit resultaat is vervolgens nog een correctie toegepast ten einde de EKR modelscores meer in overeenstemming te brengen met de gemeten EKR-scores. Deze correctie heeft de vorm van een lineaire transformatie, waardoor de uiteindelijke EKR modelscores, voor zowel de huidige situatie als toekomstige situaties, tot stand kwamen middels de volgende formulering:

$$EKR^{model} = (EKR^{gem} - b)/a \quad (4)$$

waarbij  $a$  en  $b$  twee constanten zijn (zie bijlage C voor details).

Bij de berekeningen met het LKM is het effect van variatie in het weer op de rekenresultaten gereduceerd door de berekeningen, voor zowel de huidige situatie als de situaties in 2021 en 2027 uit te voeren in de vorm van een gemiddelde hydrologie voor de jaren 2005-2008. Voor de toetsperiode 2010-2013 en de toetsperiode 2027-2030 is dus dezelfde hydrologische reeks gebruikt.

#### 5.4 Modelruns

De berekeningen met het LKM bestonden uit aparte runs met de KRW-Verkenner voor nutriëntenconcentraties, biologie-PUNN3 en biologie-NN4, waarbij eerst de huidige situatie is doorgerekend, inclusief het omzetten van de LKM rekenresultaten in modelconcentraties, resp. EKR modelscores.

Elke toekomstige situatie is vervolgens doorgerekend door eerst een KRW-Verkenner run voor nutriëntenconcentraties uit te voeren, de resulterende node concentraties om te zetten in concentraties per waterlichaam en deze modelconcentraties te combineren met de modelconcentraties en gemeten concentraties voor de huidige situatie volgens formule (1) tot een inschatting van de toekomstige concentraties. Deze concentraties zijn vervolgens gebruikt als stuurvariabelen, naast de overige stuurvariabelen, in twee KRW-Verkenner runs met de PUNN3, respectievelijk de NN4 modellen. De resultaten van deze biologie runs zijn daarna verwerkt tot de toekomstige EKR scores volgens de formules (3), (4) en (2).

## 6 Landelijk KRW-Verkenner Model

### 6.1 Inleiding

Het Landelijk KRW-Verkenner Model is een landsdekkende toepassing van de KRW-Verkenner. Voor de modelberekeningen is versie 2.0 gebruikt.

### 6.2 Schematisatie

De schematisatie van het Nederlandse oppervlaktewatersysteem van het LKM 2.0 is een afgeleide van de MOZART schematisatie van versie 3.0.2 van het Landelijk Hydrologisch Model (LHM) (Hoogewoud en de Lange 2013, Hoogewoud et al. 2013, Hoogewoud et al. 2014), versie 1.2 van het Landelijk SOBEM Model (LSM) (Prinsen 2013, Prinsen en Wesselius 2015) en de koppeling tussen beide modellen (Prinsen 2013). Het MOZART deel binnen de LKM schematisatie is hierbij tot stand gekomen middels een desaggregatie van de LHM-MOZART schematisatie, waarbij gebruik is gemaakt de definities van de KRW waterlichamen (Roovaart et al 2012). Het LSM-deel is tot stand gekomen middels een aggregatie van de originele LSM schematisatie (Roovaart et al. 2014).

Binnen de LKM-schematisatie zijn (bijna) alle zoete en brakke KRW-waterlichamen van de 2<sup>de</sup> stroomgebiedbeheerplannen gedefinieerd op basis van de kaarten met KRW waterlichamen uit het Waterkwaliteitsportaal (versies van 6 januari 2015). Een KRW-waterlichaam heeft hier de vorm van één of meer basiselementen (nodes) van de LKM schematisatie. Zie bijlage D voor een impressie van de LKM schematisatie van het Nederlandse watersysteem.

### 6.3 Hydrologie

Het LKM maakt als hydrologische randvoorwaarden gebruik van (o.a.) de hydrologische randvoorwaarden en modelresultaten van LHM 3.02 en LSM 1.2.

### 6.4 Emissies

Emissiegegevens voor N en P zijn afkomstig van het STONE model (berekent o.a. uit- en afspoeling van N en P vanuit landelijk gebied), RWZlbase<sup>3</sup> (met o.a. N en P influentfluxen en zuiveringsrendementen voor RWZI's) en de Emissieregistratie database (emissies algemeen, inclusief atmosferische depositie van N op oppervlaktewater). Voor de aanvoer van N en P via grensoverschrijdende waterlopen is gebruik worden gemaakt van de debiet- en concentratiemetingen in Waterbase ([live.waterbase.nl](http://live.waterbase.nl)) en de KRW-ECHO database van Wageningen Environmental Research.

### 6.5 Biologie

Als basis voor het berekenen van EKR-scores voor regionale waterlichamen beschikt het LKM over een lijst met waarden voor de huidige situatie van de ecologische stuurvariabelen (HaskoningDHV 2014a) voor 653 van de 662 regionale SGBP2 waterlichamen, zoals gedefinieerd in de kaarten met KRW-waterlichamen van mei 2014 (Waterkwaliteitsportaal 2014c). De waterlichamen van deze lijst zijn allen terug te vinden in de LKM schematisatie, waar uitgegaan is van de definities van KRW-waterlichamen in de kaarten met KRW-waterlichamen van januari 2015 (Waterkwaliteitsportaal 2015).

---

<sup>3</sup> Database van het CBS met gegevens over individuele RWZI's ten behoeve van o.a. Stedelijk Afvalwater-rapportages en Emissieregistratie.

In Tabel 6.1 en Tabel 6.2 is aangegeven welke stuurvariabelen door de KRW-Verkenner worden gebruikt voor de onderscheiden regionale watertypen.

Tabel 6.1 Stuurvariabelen en hun waarden (Schipper en Schomaker 2015)

Stuurvariabele	Klasse of eenheid	Waarden en omschrijving
Meandering	5	1= recht + normprofiel, 2= gestrekt + natuurlijk dwarsprofiel, 3 = zwak slingerend, 4 = slingerend, 5 = vrij meanderend
Verstuwing	3	1 = sterk gestuwd zonder vistrappen, 2 = gestuwd met vistrappen, 3 = ongestuwd
Beschaduwing	3	1 = onbeschaduwd zonder ruigte op de oevers, 2 = gedeeltelijk beschaduwd of ruigte op de oever, 3 = grotendeels of geheel beschaduwd (opgaande begroeiing/bos)
Oeverinrichting	3	1 = beschoeid of steil en onbegroeid, 2 = riet/helofyten, 3 = moeras + riet/helofyten
Peildynamiek	3	1 = tegennatuurlijk, 2 = stabiel, 3 = natuurlijk
Onderhoud	2	1 = intensief, 2 = extensief
Scheepvaart	2	1 = intensief bevaren, 2 = niet of nauwelijks bevaren
Connectiviteit	3	1 = geïsoleerd, 2 = periodiek geïsoleerd, 3 = open verbinding
BZV	mg O <sub>2</sub> /l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor organische belasting
Totaal P	mg P/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring
Totaal N	mg N/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor eutrofiëring
Chloride	mg Cl/l	Zomergemiddelde (april-september), maat voor verzoeting

Tabel 6.2 Stuurvariabelen per regionaal watertype (Schipper en Schomaker 2015)

Stuurvariabele	Langzaam stromende beken	Snel stromende beken	Diepe meren	Ondiepe meren	Kanalen en vaarten	Sloten	Zwak brakke wateren	Brakke tot zoute wateren
Meandering	X	X						
Verstuwing	X	X						
Beschaduwing	X	X						
Oeverinrichting			X	X	X	X	X	X
Peildynamiek			X	X	X	X	X	X
Onderhoud					X	X	X	X
Scheepvaart					X			
Connectiviteit							X	X
BZV	X	X						
Totaal P	X	X	X	X	X	X	X	X
Totaal N	X	X	X	X	X	X	X	X
Chloride							X	X

Berekeningen met het LKM kunnen worden uitgevoerd voor heel Nederland, behalve de Waddeneilanden (LHM en LSM rekenen niet voor de Waddeneilanden).

## 6.6 Retentie van nutriënten

Voor de retentie van N en P in het oppervlaktewater maakt het LKM gebruik van de mogelijkheid van de KRW-Verkenner om voor deze stoffen een eerste-orde afbraakproces te definiëren. Hierbij zijn afbraakconstanten (Meijers en Witteveen 2013) voor N-totaal en P-totaal gebruikt voor een aantal verschillende categorieën van oppervlaktewateren. Zie Tabel 6.3.

Tabel 6.3 Gehanteerde afbraakconstanties (Cleij et al. 2014)

Watersysteem	Stikstof	Fosfor
Hoog-Nederland	0.195	0.15
Laag-Nederland	0.0198	0.0198
Maas	0.0117	0.0269
Markermeer	0.000719	0.000102
Randmeren-Oost	0.00384	0.000544
Rijn	0.0233	0.0539
IJssel	0.034	0.0786
IJsselmeer	0.0024	0.00034

Van de mogelijkheid van temperatuurafhankelijke retentie is geen gebruik gemaakt. Dit betekent dat in alle gevallen gerekend is met de temperatuurcoëfficiënten gelijk aan 1. De gehanteerde afbraakconstanties moeten dan ook beschouwd worden als jaargemiddelde waarden.

## 6.7 Validatie

De berekening van N-totaal en P-totaal concentraties is gevalideerd voor versie 1.1 van het LKM (Cleij et al. 2014). Dit is gebeurd aan de hand van een vergelijking van gemodelleerde en gemeten concentraties voor de periode 1996-2006. Hierbij is ook het relatieve gebruik van de modelresultaten geëvalueerd, zoals toegepast in de onderhavige evaluatie van de EMW.

De ecologische modules van de KRW-Verkenner voor de regionale wateren (PUNN3 en NN4) zijn gekalibreerd in combinatie met validatie. Hierbij zijn verzamelingen van situaties gebruikt waarvoor zowel de waarden van de stuurvariabelen als gemeten EKR-scores beschikbaar waren, die ieder willekeurig zijn onderverdeeld in een kalibratieset ('trainingset') en een validatieset. De resultaten van de kalibraties en validaties zijn voor de PUNN3 modellen beschreven in Witteveen+Bos (2015) en voor de NN4 modellen in Schipper en Schomaker (2015).



## 7 Huidige situatie: modelberekeningen

### 7.1 Inleiding

De modelberekeningen met het LKM voor de huidige situatie maken gebruik van hydrologische randvoorwaarden, N- en P-emissies en ecologische stuurvariabelen voor waterlichamen.

### 7.2 Hydrologische randvoorwaarden

De gebruikte hydrologische randvoorwaarden representeren een gemiddelde hydrologie over de periode 2005-2008.

Hiertoe zijn de resultaten gebruikt van

- 2 modelruns met LHM 3.02, voor de periodes 1990-2006 en 2007-2014, en
- 4 modelruns met LSM 1.2 voor elk van de jaren in de periode 2005-2008.

Uit de resultaten van de twee LHM modelruns zijn de resultaten voor de jaren 2005-2008 geëxtraheerd.

Resultaten van runs met LSM 1.2 voor de jaren 2005 t/m 2008 zijn met m.b.v. de *WQInt* tool (Roovaart et al. 2014) omgezet naar hydrologische randvoorwaarden in KRW-Verkenner formaat (kwartaalcijfers), en vervolgens met de *SobekToKrwV\_WaterDynamics* tool (MS Access applicatie *SobekToKrwV\_WaterDynamics.mdb*, eerste versie) ruimtelijk geaggregeerd en omgezet tot randvoorwaarden die gebruikt kunnen worden voor het LSM-deel van de LKM-schematisatie.

Het geheel is vervolgens m.b.v. de LHM/LSM/STONE preprocessing tool (R-script *KRW-Verkenner\_preproc.R*, versie van 2015-03-06) omgezet in de hydrologische randvoorwaarden voor de totale LKM-schematisatie voor de jaren 2005-2008, waarna een middeling heeft plaats gevonden over deze vier jaren. Dit levert voor het LSM-deel van de schematisatie kwartaal-afhankelijke verdelingsfracties op voor debieten bij de splitsing van waterlopen, die het gemiddelde vormen van de verdelingsfracties voor de vier jaren. Deze zijn vervolgens vervangen door verdelingsfracties die bepaald zijn op basis van de over de vier jaren gemiddelde kwartaaldebieten uit LSM voor de betrokken waterlopen.

### 7.3 N- en P-emissies

Bij de doorrekening van de huidige situatie met het LKM is voor de N- en P- emissies naar het oppervlaktewater een middeling uitgevoerd voor de cijfers voor de periode 2010-2013. Het gaat hierbij om de volgende emissies:

- *Uit- en afspoeling vanuit landbouw -en natuurgebieden*

Gebruik is gemaakt van de resultaten van een run met het STONE 2.4 model (Groenendijk et al. 2013 & 2012) voor de periode 2010-2013 met weerjaren 2005-2008 (Renaud et al. 2015). Bij de verwerking van de STONE uitspoelingsgegevens voor N en P is ook gebruik gemaakt van de hydrologische uitvoer van STONE. De STONE resultaten in de vorm van drainagegebieten, debieten voor oppervlakkige afspoeling en uit-/afspoelingsfluxen voor N en P zijn hierbij met behulp van de LHM/LSM/STONE preprocessing tool omgezet in kwartaalgemiddelde uit-/afspoelingsconcentraties per afwateringsgebied van de LKM-schematisatie. Deze concentraties zijn weer omgezet in kwartaalgemiddelde stoffluxen met behulp van de LHM debieten voor drainage en oppervlakkige afvoer voor de periode 2005-2008. Middeling van deze stoffluxen over de vier jaren levert zo de kwartaalgemiddelde N- en P-emissies (gram/sec) voor de uit- en afspoeling in het landelijk gebied voor het gemiddelde hydrologisch jaar, die als invoer voor de KRW-Verkenner gebruikt kunnen worden.

- *RWZI-effluent emissies*

Gebruik is gemaakt van de influent en effluent jaarvrachten uit RWZIbase voor de jaren 2010-2013. Per RWZI zijn de influent jaarvrachten voor N en P gemiddeld over de vier jaren en omgezet in stoffluxen in gram/sec. Deze stoffluxen zijn vervolgens als KRW-Verkenner emissies per RWZI toegekend aan alle vier kwartalen van het gemiddelde hydrologische jaar. De corresponderende zuiveringsrendementen voor de KRW-Verkenner zijn berekend op basis van de over de vier jaren gesommeerde influent en effluent jaarvrachten.

- *Overige emissies*

Voor deze categorie van emissies is gebruik gemaakt van de regionaliseerde emissies uit Emissieregistratie (ER) ([www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl)) voor de jaren 2010-2012, waarbij de cijfers voor 2012 ook voor het jaar 2013 zijn gebruikt (de ER cijfers voor 2013 waren nog niet beschikbaar). Per ER afwateringseenheid zijn de jaarvrachten voor N en P gesommeerd over alle emissietypen, behalve die voor RWZI-emissies en uit- en afspoeling vanuit het landelijk gebied, gemiddeld over de vier jaren en omgezet in stoffluxen in gram/sec. Deze stoffluxen zijn vervolgens omgezet in stoffluxen voor de nodes van de LKM-schematisatie middels een koppelingstabel voor ER afwateringseenheden en LKM afwateringsgebieden. De resulterende stoffluxen zijn vervolgens als KRW-Verkenner emissies toegekend aan alle vier kwartalen van het gemiddelde hydrologische jaar.

- *Aanvoer via Rijn en Maas*

Voor aanvoer van N en P vanuit het buitenland via de Rijn en de Maas zijn debiet- en concentratiemetingen bij Lobith, respectievelijk Eijsden voor de periode 2010-2013 gebruikt afkomstig uit Waterbase ([live.waterbase.nl](http://live.waterbase.nl)). De concentratiemetingen voor N betreffen de parameters 'Kjeldahl stikstof' en 'Som nitraat en nitriet na filtratie', de concentratiemetingen voor P de parameter 'Totaal fosfaat'. Samen met de debietcijfers (daggemiddelde debieten) zijn de concentraties omgezet in debiet-gewogen kwartaalgemiddelde concentraties voor N-totaal en P-totaal. Deze concentraties zijn vervolgens omgezet in kwartaalgemiddelde stoffluxen voor N en P met behulp van de



kwartaalgemiddelde debieten voor Rijn en Maas. Deze wijze van vrachtberekening komt overeen met de 'gewogen-concentratie' methode voor het berekenen van riviervrachten (RIZA 2007, Cleij 2015). Vervolgens zijn de resulterende stoffluxen gemiddeld over de vier jaren van de periode 2010-2013, en als 'emissies' gebruikt in de KRW-Verkenner voor de vier kwartalen van het gemiddelde hydrologische jaar.

Voor de Maas geldt nog de bijzonderheid dat de grensoverschrijdende debieten, die als randvoorwaarden voor het LKM gelden, niet de debieten bij Eijsden zijn, maar die bij Monsin in België. De koppeling die hierdoor ontstaat van debieten bij Monsin en N en P riviervrachten voor Eijsden veronderstelt dat de debieten en N en P concentraties voor Monsin en Eijsden (ongeveer) gelijk zijn.

- *Aanvoer via kleine grensoverschrijdende waterlopen*

Afgezien van de Rijn en Maas als grensoverschrijdende waterlopen, kent de LKM-schematisatie een (incomplete) verzameling van locaties waar grensoverschrijdende debieten als randvoorwaarde beschikbaar zijn vanuit LHM en LSM. Voor deze locaties kunnen dan ook grensoverschrijdende N- en P-fluxen gespecificeerd worden. Voor deze fluxen is gebruik gemaakt van (ongewogen) kwartaalgemiddelde N-totaal en P-totaal concentraties voor de jaren 2000-2005 uit de KRW-ECHO database van Wageningen Environmental Research. Hierbij is per grensoverschrijdende waterloop een projectie gemaakt van de jaren uit de periode 2000-2005, waarvoor concentraties beschikbaar zijn, naar de vier jaren van de periode 2010-2013. In enkele gevallen, waarin in het geheel geen concentraties beschikbaar waren, is gekozen voor de meetresultaten van een andere grensoverschrijdende waterloop. De zo geselecteerde kwartaalgemiddelde concentraties voor de grensoverschrijdende locaties van de LKM-schematisatie zijn vervolgens omgezet in kwartaalgemiddelde stoffluxen door vermenigvuldiging met de corresponderende grensoverschrijdende LKM debieten. Deze wijze van vrachtberekening, op basis van een ongewogen periodegemiddelde concentratie, komt overeen de 'rechttoe-rechtaan' methode voor het berekenen van riviervrachten (RIZA 2007, Cleij 2015). Na middeling over de vier jaren van de periode 2010-2013 zijn deze N- en P-stoffluxen als 'emissies' gebruikt in de KRW-Verkenner voor de vier kwartalen van het gemiddelde hydrologische jaar.

#### **7.4 Ecologische stuurvariabelen**

Voor de doorrekening van de ecologische kwaliteit (biologie) voor de regionale KRW-waterlichamen in de huidige situatie is gebruik gemaakt van de door HaskoningDHV opgestelde lijst met ecologische stuurvariabelen voor regionale KRW-waterlichamen (zie paragraaf 4.2).



## 8 Scenario's: modelberekeningen

### 8.1 Inleiding

De modelberekeningen met het LKM voor de situatie in 2021 en/of 2017 bij de verschillende scenario's maken gebruik van hydrologische randvoorwaarden, N- en P-emissies en ecologische stuurvariabelen voor waterlichamen.

De gebruikte hydrologische randvoorwaarden zijn dezelfde als toegepast bij de doorrekening van de huidige situatie in de vorm van de gemiddelde hydrologie voor de periode 2005-2008 (zie paragraaf 7.2).

Voor N- en P-emissies en ecologische stuurvariabelen zijn de invoerbestanden van de modelruns voor de huidige situatie alleen als uitgangspunt gebruikt. Het effect van deze maatregelen is vervolgens tot uitdrukking gebracht door bepaalde invoerbestanden voor de huidige situatie te vervangen door de bestanden, die de toekomstige situatie na maatregelen representeren, of door bepaalde invoerbestanden voor de huidige situatie aan te passen aan de toekomstige situatie na maatregelen. Ook vervangen en aanpassen is toegepast.

### 8.2 N- en P-emissies

De N- en P-emissies in de toekomstige situaties wijken af van de huidige situatie door maatregelen uit het 5<sup>de</sup> Nitraatactieprogramma (NAP5), maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen 2016-2021 (ontwerpplannen) en maatregelen die in het buitenland genomen worden.

#### 1. *Maatregelen NAP5 (mestbeleid)*

Gebruik is gemaakt van de uit- en afspoelingscijfers van een alternatieve STONE run in de vorm van de doorrekening van de effecten van het NAP5 (Groenendijk et al. 2015). Voor de situatie in 2027 zijn de gemiddelden gebruikt van de STONE NAP5 resultaten voor 2027-2030 en weerjaren 2005-2008, voor de situatie in 2021 gemiddelden van de STONE NAP5 resultaten voor de jaren 2021-2024 en weerjaren 2005-2008.

#### 2. *Inrichtingsmaatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen 2016-2021*

Inrichtings- en beheermaatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen kunnen een aanvullend effect hebben op de afname van de uit- en afspoeling van stikstof en fosfor naar het oppervlaktewater als gevolg van het mestbeleid (zie hierboven, onder 1). Op basis van de maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen zijn nieuwe emissiecijfers voor het landelijk gebied afgeleid, waarbij de volgende stappen zijn doorlopen:

- Stap 1: afleiden doorstroomgebieden/beïnvloedingsgebieden

Aangenomen wordt dat de maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen alleen effect hebben op de stikstof- en fosforbelasting naar het oppervlaktewater binnen de afwateringsgebieden van de LKM-schematisatie, die direct aan een waterlichaam grenzen (doorstroomgebieden). De nutriëntenbelasting van het oppervlaktewater buiten deze afwateringsgebieden blijft gelijk. Per waterlichaam worden de oppervlakten van de doorstroomgebieden gesommeerd en wordt aangeduid als het beïnvloedingsoppervlak.

- **Stap 2:** afleiden uit- en afspoeling per waterlichaam  
De uit- en afspoelingcijfers zijn aangeleverd per afwateringsgebied en moeten omgezet worden naar uit- en afspoelingcijfers per waterlichaam, omdat de maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen op het niveau van de waterlichamen bekend zijn. Hierbij wordt aangenomen dat de stikstof- en fosforbelasting homogeen verdeeld is over het afwateringsgebied.
- **Stap 3:** vaststellen effect maatregelen  
Uit de stroomgebiedbeheerplannen zijn 8 typen maatregelen geselecteerd die een effect hebben op de uit- en afspoeling vanuit landbouw- en natuurgebieden (Tabel 6.3). De omvang van de maatregelen is uitgesplitst voor de periodes 2016-2021 en 2022-2027. Per maatregel is het effect op de N- en P-belasting van het oppervlaktewater bepaald. Dit staat gedetailleerd beschreven in bijlage E. De reducties per waterlichaam zijn vervolgens omgerekend naar reducties per afwateringsgebied. Het eindresultaat zijn nieuwe stikstof- en fosforvrachten naar het oppervlaktewater die als invoer dienen voor de KRW-Verkenner.

Tabel 8.1 Overzicht van de omvang van maatregelen met effect op de uit- en afspoeling.

Maatregel	Eenheid	Omvang 2016-2021	Omvang 2022-2027	Omvang totaal
Inrichten spuit- en mestvrije zone	km	1,0	-	1,0
verbreden watersysteem, aansluitend wetland / verlagen uiterwaard	ha	11,0	18,0	29,0
verondiepen watersysteem	ha	12,0	-	12,0
verbreden / nvo; langzaam stromend / stilstaand water	km	1.486	675	2.161
aanleg nevengeul / herstel verbinding	km	27,0	4,0	31,0
verbreden / hermeanderen / nvo; (snel) stromend	km	1.071	408	1.480
aanleg zuiveringsmoeras	ha	190	4	194
wijzigen / beperken gebruiksfunctie	ha	122	1	123

### 3 RWZI-maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen 2016-2021

Bij de RWZI's waarvoor in de stroomgebiedbeheerplannen maatregelen met verbetering van het zuiveringsrendement zijn aangegeven, is het zuiveringsrendement verhoogd. Op basis van analyses voor de eerdere KRW-evaluaties in 2008 en 2012 en de zuiveringsrendementen die volgens RWZibase maximaal worden gehaald, is gekozen voor een zuiveringsrendement na maatregelen van 91% voor N en 97% voor P.

### 4. Maatregelen buitenland

Wat betreft de aanvoer van N en P via grensoverschrijdende waterlopen is aangenomen dat door (KRW) maatregelen in het buitenland de reductie 5% zou zijn in 2027 en 2.5% in 2021 (Roovaart 2015).

### 8.3 Ecologische stuurvariabelen

Het effect van de maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen 2016-2021 op de stuurvariabelen, die de invoer vormen voor de KRW-Verkenner, is gebaseerd op analyses uitgevoerd door Royal Haskoning t.b.v. de KRW-evaluaties in 2008 en 2012. De aanpassing op een stuurvariabelen van een waterlichaam gebeurt evenredig met het aandeel oeverlengte, lengte of oppervlak waarop de maatregel wordt toegepast t.o.v. de totale oeverlengte, lengte of oppervlak van het waterlichaam.

In Tabel 8.2 t/m Tabel 8.4 is aangegeven welke waarde een stuurvariabele krijgt bij het toepassen van de onderscheiden maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen 2016-2021.

Tabel 8.2 Effect van maatregelen in beken

Maatregel	Meandering	Beschaduwing	Verstuwing
Verbreden watersysteem, aansluitend wetland / verlagen uiterwaard	2		
Verondiepen watersysteem	2		
Verwijderen stuw			2
Vispasseerbaar maken kunstwerk			2
Verbreden / nvo; langzaam stromend / stilstaand water*	5	2	2
Aanleg nevengeul / herstel verbinding		2	3
Verbreden / hermeanderen / nvo; (snel) stromend water*	5	2	2
Uitvoeren actief vegetatie- / waterkwaliteitsbeheer		2	
Aanpassen begroeiing langs water		2	

\* geldt voor volledig beekherstel, indien het alleen gaat om het aanleggen van natuurvriendelijke oevers wordt de meandering 2 en blijft de beschaduwing en verstuwing onveranderd.

Tabel 8.3 Effect van maatregelen in meren

Maatregel	Oeverinrichting	Peilbeheer
Verbreden watersysteem, aansluitend wetland / verlagen uiterwaard	3	
Aanpassen waterpeil		3
Verbreden / nvo; langzaam stromend / stilstaand water	3	
Uitvoeren actief vegetatie- / waterkwaliteitsbeheer	2	
Aanpassen begroeiing langs water	2	

Tabel 8.4 Effect van maatregelen in kanalen en sloten

Maatregel	Oeverinrichting	Peilbeheer	Onderhoud
Verbreden watersysteem, aansluitend wetland / verlagen uiterwaard	3		2
Aanpassen waterpeil		3	
Verbreden / nvo; langzaam stromend / stilstaand water	3		2
Uitvoeren actief vegetatie- / waterkwaliteitsbeheer			2
Aanpassen begroeiing langs water	2		2



## 9 Referenties

- Cleij, P., E. Meijers en R. Smit (2014), Update Landelijk KRW-Verkenner Model. Resultaten van een aantal verbeteringen van het Landelijk KRW-Verkenner Model (LKM), Deltares-rapport 1208780-000-ZWS-0011.
- Cleij, Peter (2015), Gebruikershandleiding VrachtenApp Versie 1.0, Deltares-rapport 1220853-000-ZWS-0009.
- Evers, C. H. M., F. Keukelaar, and A. H. H. M. Schomaker (2009), Verbeteren datasets en afleiding ecologische rekenregels voor de KRW-verkenner. Op basis van Regressieboom-analyse en Neuraal netwerk, rapport 9T6271/R00002/901530/BW/DenB, Royal Haskoning.
- Gaalen, Frank van, Aaldrik Tiktak en Ron Franken (2015), Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Tussentijdse rapportage ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water, Den Haag: PBL (27 mei 2015).
- Gaalen, Frank van, Aaldrik Tiktak, Ron Franken, Erwin van Boekel, Peter van Puijenbroek en Hanneke Muilwijk (2016), Waterkwaliteit nu en in de toekomst. Eindrapport ex ante evaluatie van de Nederlandse plannen voor de Kaderrichtlijn Water, Den Haag: PBL (januari 2016).
- Groenendijk, P., L.V. Renaud, O.F. Schoumans, H.H. Luesink, T.J. de Koeijer en G. Kruseman (2012), MAMBO- en STONE-resultaten van rekenvarianten. Evaluatie Meststoffenwet 2012: eindrapport ex-ante, Alterra-rapport 2317.
- Groenendijk, P., L.V. Renaud, E.M.P.M. van Boekel, C. van der Salm en O.F. Schoumans (2013), Voorbereiding STONE 2.4 op berekeningen voor de Evaluatie Meststoffenwet 2012, Alterra-rapport 2462.
- Groenendijk, Piet, Leo Renaud, Caroline van der Salm, Harry Luesink, Pieter Willem Blokland en Tanja de Koeijer (2015), Nitraat en N- en P-uitspoeling bij de gebruiksnormen van het 5de NAP. Modelberekeningen met MAMBO en STONE, Alterra-rapport 2647.
- Harezlak, Valesca en Erwin Meijers (2014), WFD Explorer. an interactive water quality tool, Deltares-rapport 1000006-002-ZWS-0051.
- HaskoningDHV (2014a), bestand Waterlichamen SGBP2 met stuurvariabelen.xls (t.b.v. de ecologische module van de KRW-Verkenner), opgeleverd aan PBL op 20 december 2014, HaskoningDHV.
- HaskoningDHV (2014b), 8 bestanden Dataset <eco-cluster> <KRW typen> 2015.xlsm (trainingsets voor de neural-network modules van de ecologische module van de KRW-Verkenner), opgeleverd aan PBL op 20 december 2014, HaskoningDHV.
- Hoogewoud, J.C. en W.J. de Lange (2013), Veranderingsrapportage NHI 3.0. Beschrijving van de veranderingen in versie 3.0, Deltares-rapport 12206107-000-BGS-0012.

- Hoogewoud, J.C., J.C. Hunink, J. Verkaik en G. Prinsen (2013), Veranderingsrapportage NHI 3.01. correctief beheer & onderhoud, Deltares-rapport 1207757-000-BGS-0008.
- Hoogewoud, Jacco, Geert Prinsen, Joachim Hunink, Frank van der Bolt, Timo Kroon, Paul van Walsum en Ab Veldhuizen (2014), Veranderingsrapportage NHI 3.02. Beschrijving van de veranderingen in NHI 3.02, Deltares-rapport 1209264-002-BGS-0002.
- Meijers, Erwin en Stefan Witteveen (2013), Gebruikershandleiding KRW-Verkenner. WFD-Explorer 2.0.0, Deltares-rapport 1205958-002-ZWS-0002.
- Prinsen, Geert (2013), Achtergronddocument LSM 1.04, Deltares-rapport 1207765-004-ZWS-0001.
- Prinsen, Geert en Carine Wesselius (2015), LSM achtergronddocument, Deltares-rapport 122072-015-ZWS-0002.
- Renaud, Leo, Luc Bonten, Piet Groenendijk en Bert Jan Groenberg (2015), Berekening van uit- en afspoeling van nutriënten- en zware metalen ten behoeve van de EmissieRegistratie 2013, Alterra-rapport 2638.
- RIZA (2007), Gebruikers Handleiding Vrachten(iBever) versie 1.7.2, RWS-RIZA.
- Roovaart, J. van den, E. Meijers, R. Smit, P. Cleij, F. van Gaalen en S. Witteveen (2012), Landelijke pilot KRW-Verkenner 2.0; Effecten van beleidsscenario's op de nutriëntenkwaliteit, Deltares-rapport 1205716-000-ZWS-0011-vj.
- Roovaart, Joost van den, Edwin Snippen, Peter Cleij, Martijn Visser en Marc Weeber (2014), Rapportage koppeling Landelijk KRW-Verkenner model met Deltamodel, Deltares-rapport 1209471-000-ZWS-0004.
- Roovaart, Joost van den (2015), Reductiepercentages buitenlandse aanvoer ten behoeve van Ex Ante evaluatie SGBP2 - update van memo van 30 maart 2015, memo van 4 november 2015 aan Frank van Gaalen (PBL): Deltares.
- Schipper, M.D. en A.H.H.M. Schomaker (2015), Verbetering kennisregels ecologische effecten. Ten behoeve van de KRW-verkenner, Royal HaskoningDHV. Rapport RDC\_BC8148\_R001\_901530\_d1.
- Waterkwaliteitsportaal (2014a), bestand doelen\_ow\_20141127.csv (KRW maatlatdefinities), Waterkwaliteitsportaal (2014-11-27).
- Waterkwaliteitsportaal (2014b), bestand toetsresultaat\_totaal\_2014.csv (resultaten van KRW toetsing van gemeten waterkwaliteitsparameters), Waterkwaliteitsportaal.
- Waterkwaliteitsportaal (2014c), GIS-bestanden owm\_SGBP2\_20140507\_lijn.shp en owm\_SGBP2\_20140507\_vlak.shp (KRW-waterlichamen), Waterkwaliteitsportaal (2014-05-07).



Waterkwaliteitsportaal (2015), GIS-bestanden

waterlichamen\_lijn\_2014\_SGBP2\_20150106.shp en

waterlichamen\_vlak\_2014\_SGBP2\_20150106.shp (KRW-waterlichamen),

Waterkwaliteitsportaal (2015-01-06).

Witteveen+Bos (2012), Voorspellen ecologische kwaliteitsratio op basis van product unit neural networks, rapport STO179-1/smid3/001, Witteveen+Bos.

Witteveen+Bos (2015), Update Ecologische modellen KRW-verkenner. Rapport GV1201-1/15-002.048, Witteveen+Bos.



## A Berekeningsresultaten

In de onderstaande tabellen is voor de huidige situatie en per scenario, jaar en maatlat het berekende percentage waterlichamen, dat valt in elk van de kwaliteitsklassen volgens de KRW, weergegeven.

Zie hoofdstuk 2 voor een beschrijving van de scenario's.

Huidige situatie (ca. 2013)	goed	matig	ontoereikend	slecht
Stikstof	47%	35%	12%	6%
Fosfor	44%	31%	16%	9%
Algen	40%	48%	11%	1%
Waterplanten	21%	46%	28%	6%
Macrofauna	24%	54%	21%	1%
Vissen	32%	34%	25%	9%
Biologie totaal	4%	34%	47%	15%

Mestbeleid en SGBP2: 2021	goed	matig	ontoereikend	slecht
Stikstof	51%	35%	9%	5%
Fosfor	51%	29%	14%	6%
Algen	46%	41%	10%	2%
Waterplanten	32%	40%	22%	6%
Macrofauna	46%	42%	12%	1%
Vissen	40%	32%	21%	7%
Biologie totaal	10%	37%	40%	13%

Mestbeleid en SGBP2: 2027	goed	matig	ontoereikend	slecht
Stikstof	51%	34%	9%	5%
Fosfor	51%	29%	13%	6%
Algen	47%	41%	10%	2%
Waterplanten	34%	39%	21%	6%
Macrofauna	51%	37%	11%	1%
Vissen	41%	33%	20%	6%
Biologie totaal	12%	37%	38%	13%

Mestbeleid: 2027	goed	matig	ontoereikend	slecht
Stikstof	51%	34%	9%	5%
Fosfor	51%	29%	13%	6%
Algen	41%	47%	11%	1%
Waterplanten	21%	46%	28%	6%
Macrofauna	24%	53%	21%	1%
Vissen	31%	35%	25%	9%
Biologie totaal	3%	34%	48%	15%

<b>Mestbeleid en RWZI-maatregelen uit SGBP2: 2027</b>	<b>goed</b>	<b>matig</b>	<b>ontoereikend</b>	<b>slecht</b>
Stikstof	51%	34%	9%	5%
Fosfor	51%	29%	13%	6%
Algen	45%	45%	10%	1%
Waterplanten	23%	46%	26%	6%
Macrofauna	27%	52%	20%	1%
Vissen	33%	35%	24%	9%
Biologie totaal	3%	35%	47%	15%

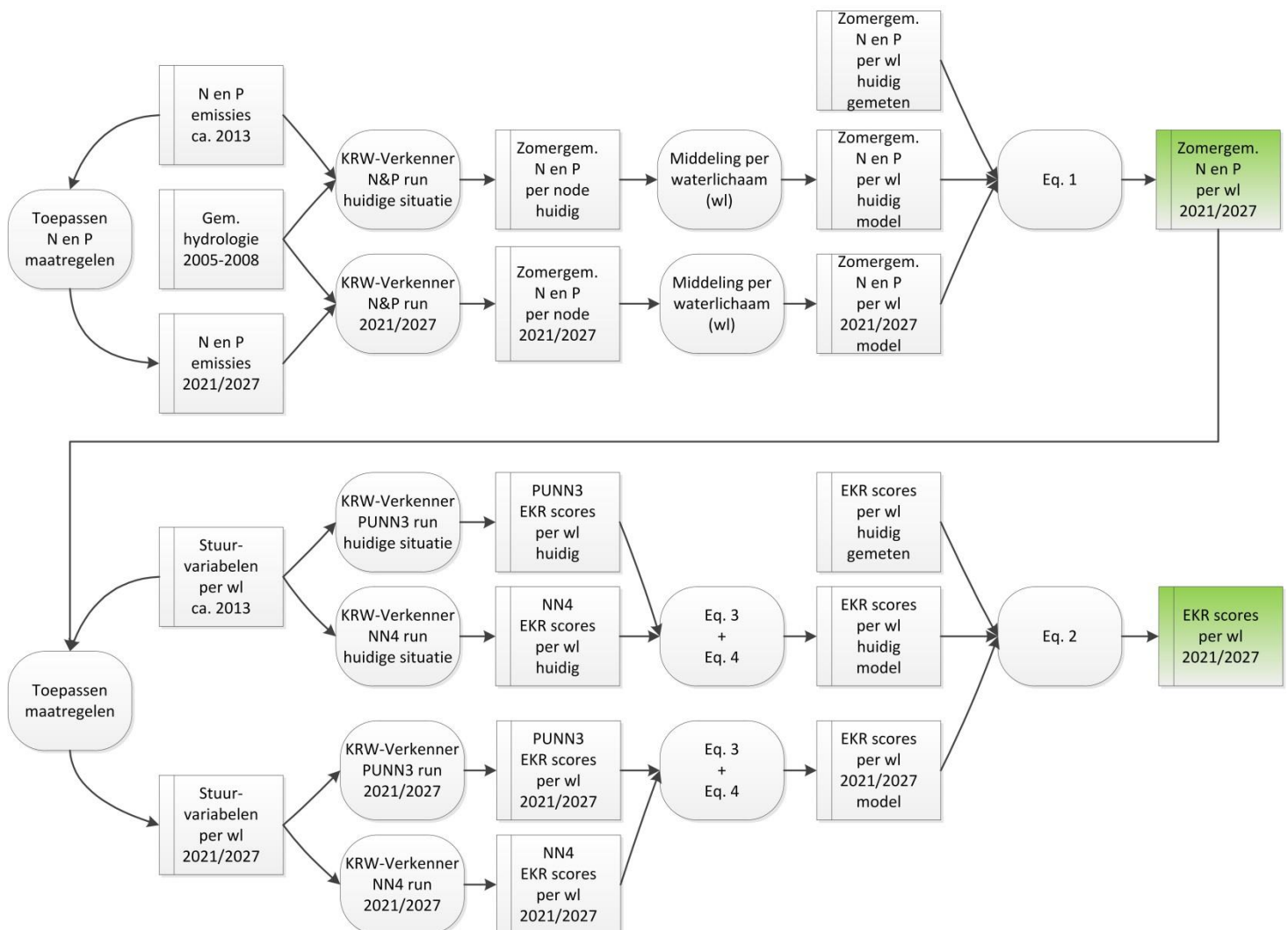
<b>Mestbeleid en inrichtingsmaatregelen uit SGBP2: 2027</b>	<b>goed</b>	<b>matig</b>	<b>ontoereikend</b>	<b>slecht</b>
Stikstof	51%	34%	9%	5%
Fosfor	51%	29%	13%	6%
Algen	42%	44%	12%	2%
Waterplanten	33%	39%	22%	6%
Macrofauna	48%	39%	12%	1%
Vissen	40%	33%	21%	6%
Biologie totaal	11%	37%	40%	12%

<b>Realisatie N- en P-doelen en inrichtingsmaatregelen uit SGBP2: 2021</b>	<b>goed</b>	<b>matig</b>	<b>ontoereikend</b>	<b>slecht</b>
Algen	64%	31%	4%	1%
Waterplanten	41%	35%	20%	4%
Macrofauna	52%	39%	8%	1%
Vissen	44%	31%	20%	5%
Biologie totaal	14%	39%	38%	9%

## B Rekenschema scenarioberekeningen

In Figuur B.1 is het rekenschema van een scenario berekening voor 2021/2027 weergegeven, bestaande uit twee deelschema's voor nutriëntconcentraties, resp. EKR scores. De relatie tussen beide deelschema's wordt gevormd door het gebruik van de berekende nutriëntconcentraties, in de vorm van ecologische stuurvariabelen, als input voor de berekening van de EKR scores.

Alle scenario's zijn met dit schema doorgerekend door middel van het variëren van de set met toegepaste maatregelen. Uitzondering is scenario 5 (Realiseren nutriëntdoelen en inrichtingsmaatregelen), waarbij tevens de berekende zomergemiddelde N- en P-concentraties eerst zijn afgekapt tot op de norm alvorens gebruikt te zijn voor de doorrekening van de biologie.

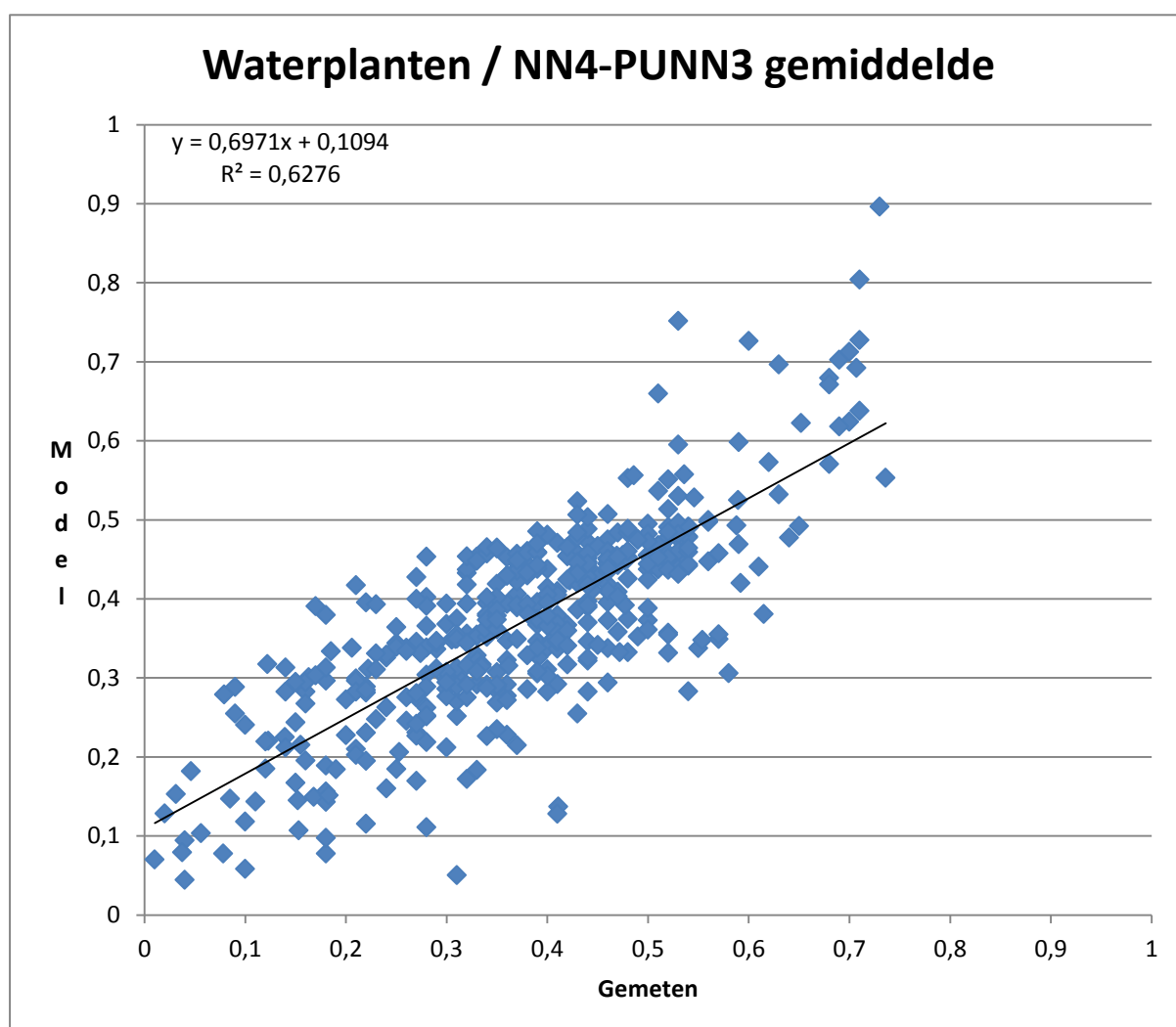


Figuur B.1 Rekenschema scenarioberekeningen



## C Correctie gemodelleerde EKR-scores

Bij een vergelijking van de gemiddelde EKR-scores voor de PUNN3 en NN4 modellen van de ecologische module van de KRW-Verkenner voor de regionale wateren met gemeten EKR-scores bleek de relatie gemodelleerd - gemeten systematisch af te wijken van de theoretische 1-op-1 lijn. De lage EKR-scores worden te hoog berekend, terwijl de hoge EKR-scores juist te laag worden berekend. Zie het onderstaande voorbeeld voor de maatlat Waterplanten.



Figuur C.1 Gemeten en gemodelleerde EKR-scores voor waterplanten

De gemeten EKR-scores zijn afkomstig van de bestanden gebruikt voor de training van de neural-network modules van de ecologische module van de KRW-Verkenner (HaskoningDHV 2014b). De berekening van de EKR-scores met de KRW-Verkenner is uitgevoerd op basis van de ecologische stuurvariabelen voor de regionale KRW-waterlichamen uit een ander bestand van HaskoningDHV (HaskoningDHV 2014a). Voor de maatlat Algen waren zo 258 waterlichamen met EKR-scores beschikbaar, voor de andere maatlaten waren dit elk 439 waterlichamen met EKR-scores. Voor de vier maatlaten is m.b.v. Excel een rechte lijn gefit voor de relatie gemodelleerd - gemeten:

$$EKR'_{model} = a * EKR_{gemeten} + b$$

De gecorrigeerde EKR-score is vervolgens berekend als:

$$EKR_{model} = (EKR'_{model} - b) / a$$

met als gevolg dat een fit van  $EKR_{model}$  tegen  $EKR_{gemeten}$  resulteert de gewenste 1-op-1 lijn.

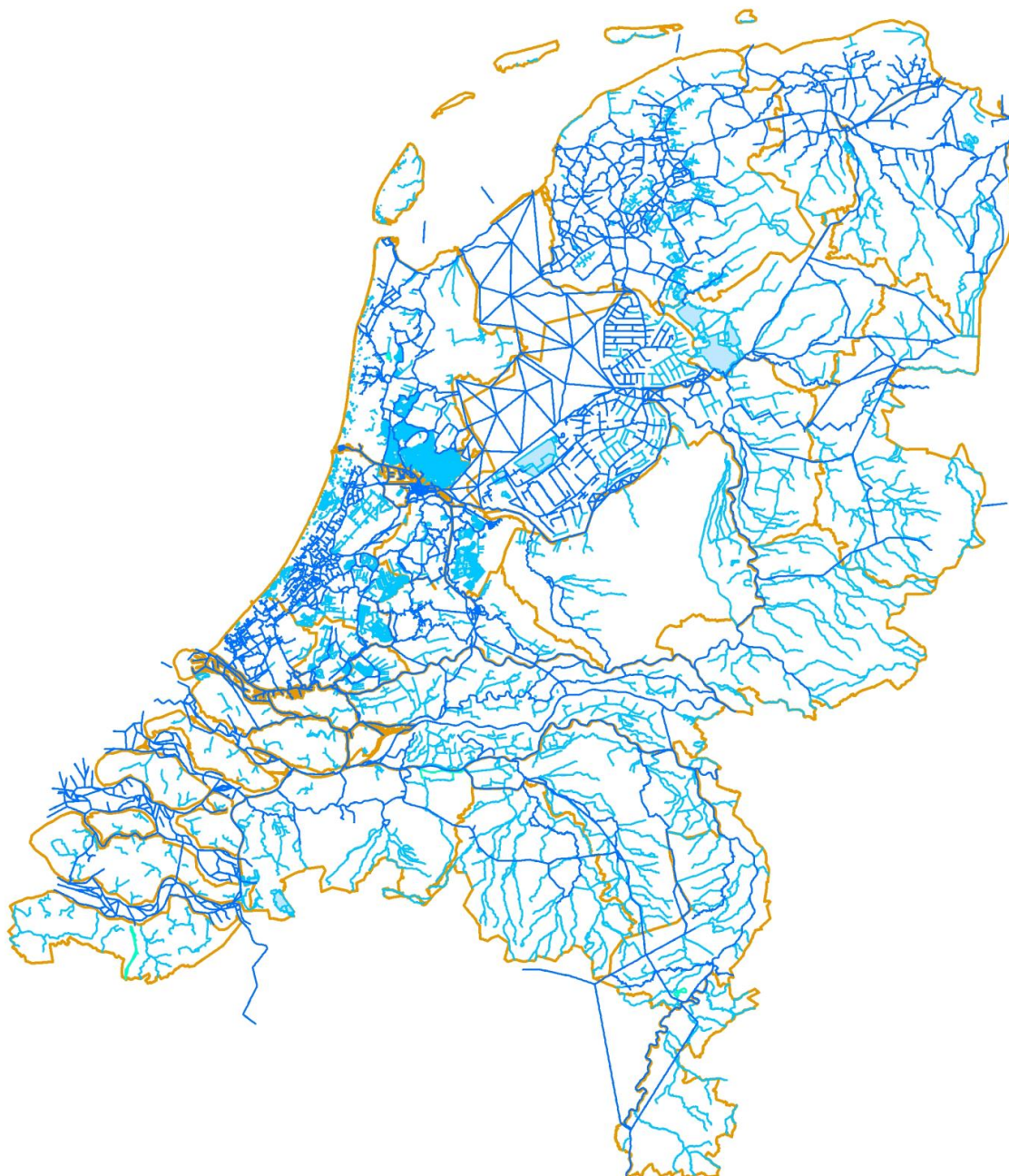
De gefitte parameters  $a$  en  $b$  voor de vier maatlaten zijn weergegeven in Tabel C.1.

Tabel C.1 De parameters  $a$  en  $b$  voor de correctie van de gemodelleerde EKR-scores

Kwaliteitselement	a	b
Algen	0.7636	0.1286
Waterplanten	0.6971	0.1094
Macrofauna	0.5860	0.1782
Vis	0.7895	0.0826



## D LKM 2.0 schematisatie



*Figuur D.1 Deel van het Nederlandse watersysteem, dat door LKM 2.0 wordt geschematiseerd, tegen de achtergrond van de Nederlandse waterschapsgebieden. In donkerblauw het LSM-deel en in lichtblauw het LHM-MOZART deel van de LKM-schematisatie.*



## E Berekening effect maatregelen op nutriëntenbelasting

De N- en P-belasting van het oppervlaktewater vanuit het landelijke gebied voor toekomstige situaties zoals berekend met het model STONE op basis van maatregelen uit het 5de Nitraatactieprogramma, is verder aangepast op basis van de maatregelen uit de stroomgebiedbeheerplannen 2016-2021 (zie paragraaf 4.6.2). In deze bijlage is uitgewerkt hoe het effect van de verschillende maatregelen is berekend.

### *Inrichten spuit- en mestvrije zone*

In de nieuwe stroomgebiedbeheerplannen is voor de periode 2016-2027 slechts 1 km spuit- en mestvrije zone voorzien. Gezien de omvang van de maatregel is ervoor gekozen om de effectiviteit van de maatregel op dezelfde wijze te berekenen als voor verbreden/verondiepen/meanderen/ natuurvriendelijke oevers (zie volgende paragraaf).

### *Verbreden/verondiepen/meanderen/nvo*

In de regiomaatregelen is geen onderscheid te maken tussen verschillende typen natuurvriendelijke oevers (natuurvriendelijke oever deels dras deel plas, natuurvriendelijke plas-oever en natuurvriendelijke plas-oever met moerasbufferstrook). Daarom zijn de maatregelen, waarbij een natuurvriendelijke oever een rol speelt, zoals beekherstel, hermeandering, aanleggen natuurvriendelijke oevers, verbreden/verondiepen, ecologische verbindingzones, natte bufferstroken (plas-drasstroken) samengevat onder de ingreep natuurvriendelijke oevers in ruime zin.

Omdat niet bekend is welk type oever wordt aangelegd, is overal uitgegaan van een 'traditionele' plas-dras oever en is alleen gerekend met reductie van uit- en afspoeling als gevolg van het niet meer bemesten van het oppervlak dat wordt omgezet in een natuurvriendelijke oever.

Bij het bepalen van het aandeel van de natuurvriendelijke oever t.o.v. het totale beïnvloedingsgebied van het waterlichaam is uitgegaan van een natuurvriendelijke oever met een gemiddelde breedte van 5 m. Er is vervolgens aangenomen dat de reductie van de uit- en afspoeling in het gebied evenredig is met het relatieve oppervlak dat door de natuurvriendelijke oever wordt ingenomen. De reductie is afgeleid met de volgende formule:

$$L_{nieuw} = (1 - F_m) * L_{org} + F_m * 0.25 * L_{org}$$

waarin

$L_{nieuw}$  = uit/afspoeling na reductie (gram-NP/sec)

$L_{org}$  = originele uit/afspoeling (gram-NP/sec)

$F_m$  = fractie oppervlak waarop de maatregel wordt uitgevoerd

0.25 = gemiddelde verhouding P-concentratie in uitspoelend water voor natuurgronden en landbouwgronden

### *Wijzingen / beperken landbouwfunctie*

Bij omzetten van landbouw in natuurgebied speelt alleen de reductie als gevolg van vermindering van het bemest oppervlak. De effectiviteit van de maatregel is op dezelfde wijze berekend als voor verbreden/verondiepen/meanderen/natuurvriendelijke oevers (zie vorige paragraaf).

## Aanleg zuiveringsmoeras

Omdat het totale areaal zuiveringsmoeras dat wordt aangelegd slechts 200 ha beslaat (verdeeld over 9 waterlichamen), is ervoor gekozen om de effectiviteit van een zuiveringsmoeras op een eenvoudige manier te bepalen. De effectiviteit van een zuiveringsmoeras bestaat uit twee effecten 1) een effect als gevolg van het uit productie nemen van landbouwgrond en 2) de zuiverende werking van het moeras.

Voor het eerste effect kan dezelfde formule gebruikt worden als voor natuurvriendelijke oevers:

$$L_{mest} = (1 - F_m) * L_{org} + F_m * 0.25 * L_{org}$$

waarin

$L_{mest}$  = uit/afspoeling als gevolg van het uit productie nemen (gram-NP/sec)

$L_{org}$  = originele uit/afspoeling (gram-NP/sec)

$F_m$  = fractie oppervlak waarop de maatregel wordt uitgevoerd

0.25 = gemiddelde verhouding P-concentratie in uitspoelend water voor natuurgebieden en landbouwgronden

Vervolgens wordt een zuiverende werking aangehouden van 72% voor stikstof en 60% voor fosfor. Deze percentages zijn gebaseerd op analyses uitgevoerd voor de KRW-evaluaties in 2008 en 2012, gebruik makend van het kennis-informatiesysteem Hydrometra van de WUR. De uiteindelijke vracht naar het oppervlaktewater is dan

$$L_{nieuw} = L_{mest} * (1 - Red\%)$$

## Afleiden nieuwe uit- en afspoelingscijfers

Nadat de effectiviteit van de verschillende maatregelen is vastgesteld zijn nieuwe uit- en afspoelingscijfers afgeleid. In Tabel E.1 zijn de uiteindelijke rekenregels vastgelegd. Voor het bepalen van de fractie van het oppervlak waarop de maatregel wordt toegepast is aangenomen dat de maatregelen niet op dezelfde plek worden uitgevoerd (bijvoorbeeld nvo voor snelstromende en langzaam stromende wateren). De omvang van maatregelen zijn gesommeerd, m.u.v. het zuiveringsmoeras. De effectiviteit van een zuiveringsmoeras komt bovenop de andere maatregelen.

Tabel E.1 Overzicht van de omvang van maatregelen met effect op de uit- en afspoeling.

Maatregel	rekenregel
Inrichten spuit- en mestrijke zone	$L_{nieuw} = (1 - F_m) * L_{org} + F_m * 0.25 * L_{org}$
verbreden watersysteem, aansluitend wetland / verlagen uiterwaard	$L_{nieuw} = (1 - F_m) * L_{org} + F_m * 0.25 * L_{org}$
verondiepen watersysteem	
verbreden / nvo; langzaam stromend / stilstaand water	
aanleg nevengeul / herstel verbinding	
Verbreden / hermeanderen / nvo; (snel) stromend	
aanleg zuiveringsmoeras	$L_{nieuw} = ((1 - F_m) * L_{org} + F_m * 0.25 * L_{org}) * (1 - Red)$
wijzigen / beperken gebruiksfunctie	$L_{nieuw} = (1 - F_m) * L_{org} + F_m * 0.25 * L_{org}$