

**Stikstof scenario studie met
KRW-Verkenner en koppeling
met het Noordzee model**

Eindrapportage



Stikstof scenario studie met KRW- Verkenner en koppeling met het Noordzee model

Eindrapportage

Sibren Loos
Tineke Troost
Neeltje Goorden
Christophe Thiange
Marc Weeber
Hans Los

1208815-000


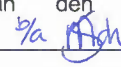

Titel

Stikstof scenario studie met KRW-Verkenner en koppeling met het Noordzee model

Opdrachtgever	Project	Kenmerk	Pagina's
De heer R. van Dokkum	1208815-000	1208815-000-0013	96

Samenvatting

Met de uitbreiding van het Landelijke KRW-Verkenner Model (LKM) met de buitenlandse delen van de stroomgebieden van de Rijn, Maas, Schelde en Eems, en een offline koppeling met het ZUNO3D-GEM model voor de Noordzee wordt een stroomgebieddekkende schematisatie gerealiseerd. Een dergelijke toepassing zal ondersteuning bieden aan internationale discussies over de benodigde reducties van stikstofemissies in het kader van de stroomgebiedbeheerplannen en het realiseren van de kwaliteitdoelstellingen van de KRW en KRM. Dit rapport beschrijft de opzet van het modelinstrumentarium en de voor het referentiejaar gebruikte N emissies (hoofdstuk 2), de opzet van de scenario's voor het jaar 2015 (hoofdstuk 3), de resultaten voor de verschillende stikstofemissie reductie scenario's (hoofdstuk 4) en de conclusies en aanbevelingen. Tevens is er een zelfstandig leesbare samenvatting opgenomen aan het eind van dit rapport in het Nederlands (hoofdstuk 7) en het Engels (hoofdstuk 8).

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
	mrt. 2014	Sibren Loos		Joost van den Roovaart		Gerard Blom	
		Neeltje Goorden					
		Christophe Thiange					
		Marc Weeber					
		Hans Los					
		Tineke Troost					

Status

definitief

Inhoud

1	Introductie	1
1.1	Vraagstelling	1
2	Opzet van het modelinstrumentarium	5
2.1	Waterbeweging stroomgebieden (hydrologie met het WFlow model)	5
2.2	Waterkwaliteit stroomgebieden (stikstof met de KRW-Verkenner)	21
2.3	Noordzee model (ZUNO3D-GEM)	36
3	Scenario's	47
3.1	Emissies afkomstig uit de landbouw sector	47
3.2	Emissies afkomstig uit puntbronnen (Industrie en RWZI's)	48
3.3	Overige stikstof emissies	50
3.4	Overzicht van stikstofemissie reductiescenario's	50
4	Resultaten	55
4.1	Rivieren	55
4.2	Noordzee model	61
5	Conclusies en aanbevelingen	67
5.1	Conclusies	67
5.2	Aanbevelingen	71
6	Referenties	75
7	Samenvatting	79
7.1	Inleiding	79
7.2	Scenariobeschrijvingen	80
7.3	Resultaten referentie simulatie	80
7.4	Resultaten scenario simulaties	84
7.5	Conclusies	86
8	Executive Summary	89
8.1	Introduction	89
8.2	Scenario description	90
8.3	Results reference simulation	90
8.4	Results scenario simulation	93
8.5	Conclusions	95

1 Introductie

In 2012 is er een studie uitgevoerd naar stikstof emissiereductie maatregelen voor de Rijn, zoals beschreven in het eindrapport “Scenario studie naar de effecten van emissiereductie maatregelen op stikstofvrachten in de Rijn”. In het rapport is het verschil tussen de huidige stikstofvracht en de (afgeleide) stikstofnorm in de rivier, het zogenaamde doelgat, voor de Rijn met de KRW-Verkenner in kaart gebracht. Ook is in 2012, aan de hand van diverse scenario's voor het jaar 2015, onderzocht met welke maatregelen het dichten van het doelgat, de stikstofreductiedoelstelling gerealiseerd kan worden.

De aanleiding van deze studie is het realiseren van een modelinstrumentarium dat ondersteuning kan bieden aan internationale discussies over de benodigde reducties van stikstofemissies in het kader van de stroomgebiedbeheerplannen en het realiseren van de kwaliteitdoelstellingen van de KRW en KRM. Met het oog op de tweede ronde stroomgebiedbeheerplannen waarvan het ontwerp in december 2014 afgerond moet zijn, zijn aan het modelinstrumentarium voor het stroomgebied van de Rijn nu ook de buitenlandse stroomgebieden van de Maas, Schelde en Eems toegevoegd. Met de uitbreiding van het Landelijke KRW-Verkenner Model (LKM) met de buitenlandse delen van de stroomgebieden van de Rijn, Maas, Schelde en Eems, is een stroomgebieddekkende schematisatie gerealiseerd. Daarnaast is een (offline) koppeling tot stand gebracht met het ZUNO3D-GEM¹ model voor de Noordzee, zodat voor alle Nederlandse stroomgebieden én de kustgebieden stikstof emissie scenarioberekeningen uitgevoerd kunnen worden. Het complete modelinstrumentarium biedt de mogelijkheid om de effecten van stikstofreductiemaatregelen in de stroomgebieden op de stikstofconcentraties in de kustwateren en offshore te bepalen en onderzoeken. Het instrument beoogt op dit moment niet een exact antwoord te kunnen geven op vragen of een bepaalde (set aan) saneringsmaatregel(en) in een bepaald deelstroomgebied voor een specifieke sector resulteert in een hoge mate van zekerheid of de gewenste stikstofreductie zal worden gerealiseerd, laat staan welke kosten hiermee gemoeid zijn. Voor dit type vraagstelling is het instrument nog onvoldoende getest en is een bredere toepassing (bijvoorbeeld het doorrekenen van droge en natte jaren en het verkleinen van de onzekerheid in de emissies naar het oppervlaktewater) een noodzakelijke vervolgstap. Deze studie beperkt zich tot de parameter stikstof. Er wordt geen uitspraak gedaan over het al dan niet behalen van de ecologische normen voor de rivieren, kust- en overgangswateren en zoute wateren.

1.1 Vraagstelling

In deze studie is onderzocht wat de effecten zijn van diverse stikstof reductiescenario's in de 4 stroomgebieden op de ecologische toestand van de Noordzee (in de huidige opzet alleen gericht op stikstof).

¹ Het ZUNO3D-GEM model (Zuidelijke Noordzee 3D schematisatie; Generiek Ecologisch Model), is een compleet 3-dimensionaal dynamisch model waarin alle stikstof fracties (NO₃, DIN etc.), maar ook andere stoffen zoals chlorofyl-a kunnen worden berekend voor de Noordzee. Hierin zijn op dit moment 98 rivieren meegenomen als instroom naar de Noordzee: 20 instroom locaties worden gevoed met resultaten van de KRW-Verkenner, de gegevens voor de overige locaties zijn afkomstig uit een internationale database (CEFAS).

De vraagstelling daarbij is:

- 1) of de huidige stikstofconcentraties in de Noordzee voldoen aan de normen² zoals opgesteld voor de KRW-waterlichamen en OSPAR-gebieden (zie Tabel 1.1) en
- 2) of de verwachte verlaging van de stikstofconcentraties als gevolg van de stikstof reductiescenario's voldoende effect hebben om, voor die gebieden die voor het referentiejaar boven de gestelde norm uitkomen, de stikstofnormen te halen in het jaar 2015.

De scenario's die in deze studie zijn doorgerekend omvatten een verbeterd zuiveringsrendement van Nederlandse en buitenlandse RWZI's en een verlaagde stikstof uitspoeling als gevolg van de implementatie van maatregelen zoals gedefinieerd in de Nitraatrichtlijn.

Tabel 1.1 Normen voor de KRW-waterlichamen en OSPAR-gebieden.

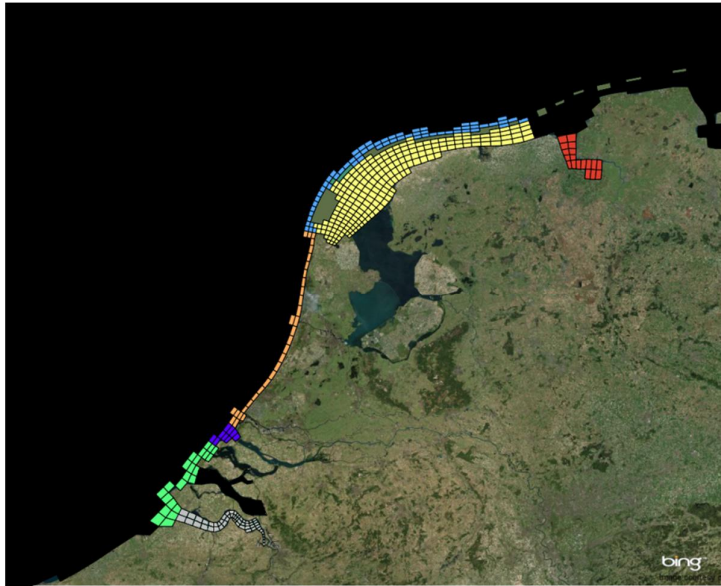
KRW-waterlichamen (zie Figuur 1.1)		
Nummer Waterlichaam	Naam	Norm (in mg/l als winter DIN)
42	Zeeuwse kust (Schelde)	0.46
22	Noordelijke deltakust (Maas)	0.46
18	Hollandse kust (Rijn)	0.46
4	Wadden kust (Rijn)	0.46
5	Waddenzee (Rijn)	0.46
6	Eems-Dollard (Eems)*	1.33
OSPAR-gebieden (zie Figuur 1.2)		
	Naam gebieden	Norm (in $\mu\text{mol/l}$ als winter DIN)
	Estuaries Western Schelde en Ems estuary*	30 (=0.42 mg/l)
	Coastal waters	30 (=0.42 mg/l)
	Offshore, Doggersbank, Oestergronden en Duitse bocht	15 (=0.21 mg/l)

* voor de Eems-Dollard zijn zowel OSPAR- en KRW-normen beschikbaar. In deze studie wordt uitgegaan van de strengste van de twee (de OSPAR-norm).

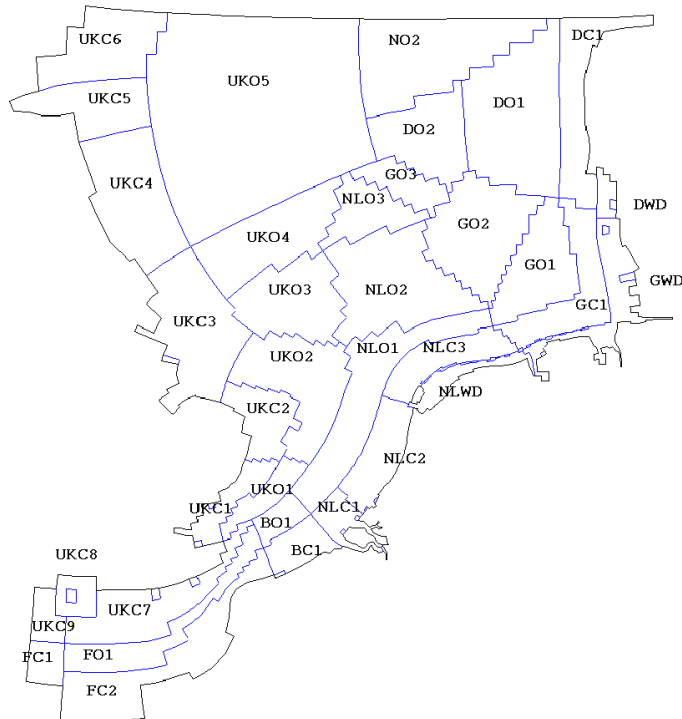
Dit rapport beschrijft de opzet van het modelinstrumentarium (hoofdstuk 1), de gebruikte N emissies voor het referentiejaar (hoofdstuk 2), de opzet van de scenario's voor het jaar 2015 (hoofdstuk 3), en de resultaten van de verschillende stikstof reductie scenario's voor de stroomgebieden en de Noordzee (hoofdstuk 4). De conclusies en aanbevelingen zijn opgenomen in hoofdstuk 5. Tevens zijn zowel een Nederlandstalige als een Engelstalige samenvatting opgenomen (respectievelijk hoofdstuk 7 en 8).

² Voor de KRW-waterlichamen in de Noordzee zijn in Nederland richtwaarden vastgesteld. Vanuit de zoute wateren is een richtwaarde voor de zoete wateren afgeleid, te weten 2.5 mg N-totaal/l (als zomergemiddelde). Ten behoeve van het internationaal Rijnoverleg is voor de Rijn een jaargemiddelde afgeleid (2.8 mg N-totaal/l), dat als werkwaarde wordt gebruikt (Prins (2007) en ICBR (2009)). In deze studie zijn deze zomer- en jaargemiddelde ook toegepast op de Maas, Schelde en Eems.

Voor de OSPAR gebieden zijn in Nederland geen normen vastgesteld. Daar waar in deze studie wordt gesproken over OSPAR-normen is bedoeld de beoordelingscriteria van OSPAR.



Figuur 1.1 KRW-kustgebieden in the model-schematisatie van het Delft3D-GEM voor de Noordzee. Weergegeven zijn enkel de gebieden die in deze studie worden meegenomen. Groen = Zeeuwse kust, Grijs= Westerschelde; blauw=Noordelijke Deltakust; oranje = Hollandse kust; Lichtblauw= waddenkust; Geel= Waddenzee; Rood = Eems-Dollard.



Figuur 1.2 OSPAR gebieden in the model-schematisatie van het Delft3D-GEM voor de Noordzee. In deze studie worden enkel gekeken naar de Nederlandse kustgebieden (NLC1, NLC2, NLC3), en de Nederlandse offshore gebieden (NLO1, NLO2, NLO3).

2 Opzet van het modelinstrumentarium

Voor de opzet van de KRW-Verkenner toepassingen voor de stroomgebieden Maas, Schelde, en Eems is voor elk stroomgebied een modeltoepassing voor de waterbeweging (WFlow) en waterkwaliteit (KRW-Verkenner) opgezet. Naast deze nieuwe KRW-Verkenner toepassingen is de 'buitenlandse' KRW-Verkenner, voor alle vier stroomgebieden (inclusief de toepassing voor de Rijn), op een tweetal punten gewijzigd:

1. De jaarlijkse emissies zijn verdeeld over de kwartalen waarmee de KRW-Verkenner rekent, met als doel om naast de jaarlijkse N concentraties ook een realistische zomer en/of winter N concentratie te kunnen berekenen.
2. De grondwaterverblijftijden zijn met behulp van het hydrologisch model WFlow berekend, dit levert een betere schatting op van het verlies van N in het grondwater compartiment.

Ook is een offline koppeling met het ZUNO3D-GEM model gerealiseerd binnen dit project, waarvoor een 20-tal instroom locaties in het Noordzee model worden gevoed met uitkomsten van de KRW-Verkenner toepassingen (paragraaf 2.2). Deze offline koppeling maakt het mogelijk dat de effecten van de stikstofreducties vanuit de stroomgebieden gelijk doorgerekend kunnen worden voor de Noordzee.

2.1 Waterbeweging stroomgebieden (hydrologie met het WFlow model)

Als startpunt vooraf aan de opzet van de KRW-Verkenner schematisaties zijn een drietal hydrologische modeltoepassingen met behulp van WFlow gerealiseerd. WFlow is een gedistribueerd hydrologisch model (WFlow modelbeschrijving), bestaande uit een neerslag-interceptie model, een bodem-grondwater model en een rivier-afvoer model, dat dient als basis om de afvoer in de buitenlandse deelstroomgebieden: Maas, Schelde en Eems te bepalen. De deelstroomgebieden zijn opgebouwd met behulp van ruimtelijk gedistribueerde open data, zoals de STRM90 dataset (Farr, et al. 2007) voor het maaiveld (hoogte op een resolutie van ca. 90 x 90m) en de E-OBS (dataset met meteorologische gegevens, neerslag en temperatuur) dataset (Haylock et al., 2008) voor de meteorologie. In paragraaf 2.1.1 is deze data weergegeven. Vervolgens zijn in paragraaf 2.1.2 de stroomgebieden met bijbehorende waterlopen van de verschillende deelgebieden weergegeven en wordt de parameterkeuze van het WFlow model besproken. In paragraaf 2.1.3 wordt de "local drainage direction" (lidd) weergegeven. Deze geeft de afstromingsrichting per cel in het betreffende stroomgebied weer. Hierna zijn met beschikbare debiet meetreeksen (verkregen via BfG voor de Eems en via persoonlijk contact met Vlaamse overheid, Departement Mobiliteit en Openbare Werken, voor de Schelde) de WFlow modellen gekalibreerd voor de periode 2003-2007. De resultaten van deze kalibratie exercitie staan in Figuur 2.21 t/m Figuur 2.24. Tenslotte is in paragraaf 2.1.5 het resultaat van de afvoer van de gekalibreerde WFlow modellen voor de periode 1996-2008 (2001-2008 voor de Rijn en Maas) uitgezet tegen de metingen.

2.1.1 Basisdata WFlow modellen

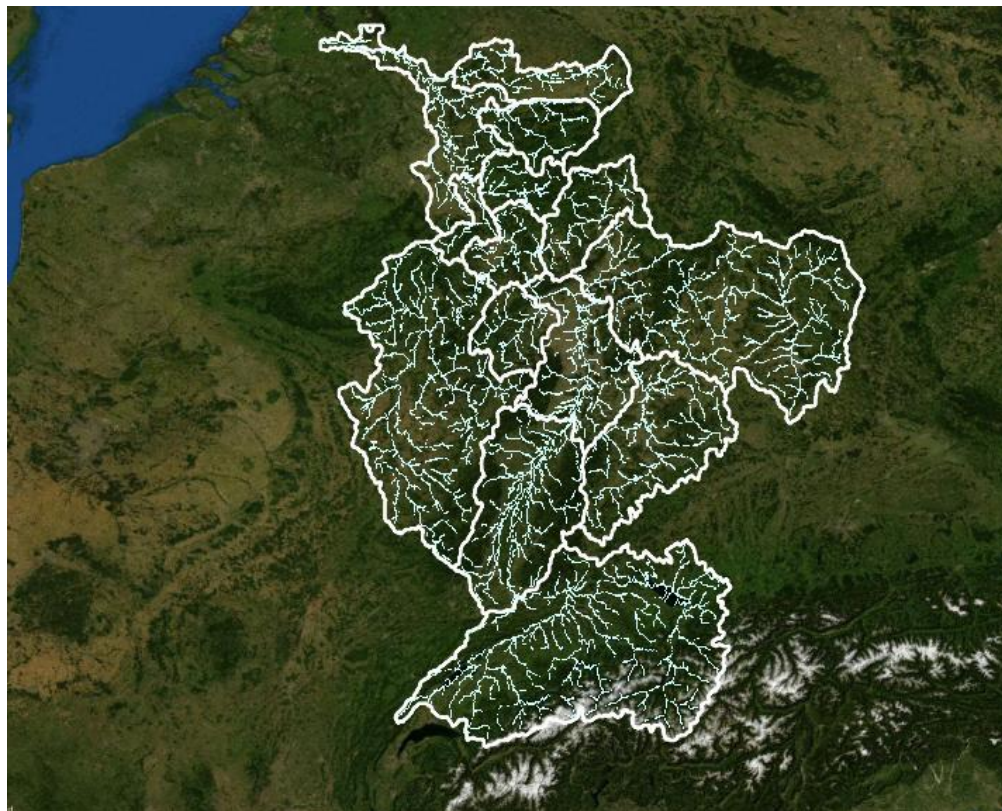
De WFlow modellen voor het stroomgebied van de Maas, Schelde, Eems en Rijn zijn opgebouwd met behulp van open data. WFlow heeft hiervoor de volgende invoer nodig:

- Waterlopen kaart
- Catchment kaart (kan WFlow ook afleiden met behulp van maaiveld)
- Maaiveld kaart
- Landgebruik kaart
- Bodem kaart
- Neerslag kaart
- Verdamping kaart

De invoer voor WFlow dient in PCRaster “map” formaat te zijn. De gridcellen van de “maps” zijn indien nodig geschaald naar een celresolutie van 1x1km met behulp van Wflow preprocessing (python) scripts.

2.1.2 Stroomgebieden Rijn, Maas, Schelde en Eems

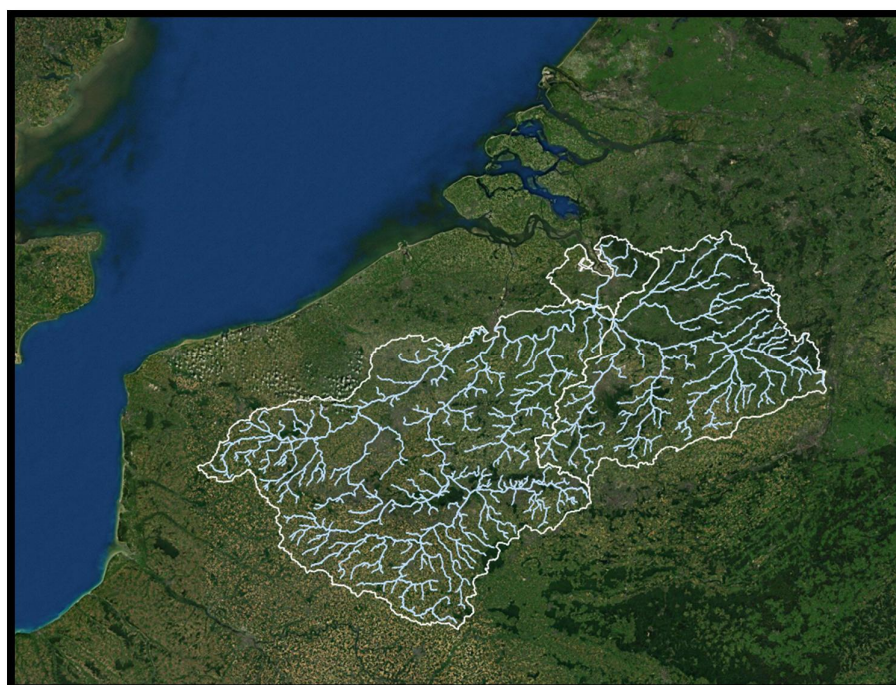
De stroomgebiedsschematisaties van de buitenlandse delen van de Rijn, Maas, Schelde en Eems zoals gebruikt voor de WFlow modellen zijn in Figuur 2.1 t/m Figuur 2.4 weergegeven. Hierin zijn de hoofd waterlopen te zien als lijnelementen. De kleinere wateren zijn niet weergegeven in onderstaande figuren maar maken wel uit van de stroomgebiedsschematisaties waarin het fijnste detailniveau 1x1 km gridcellen zijn.



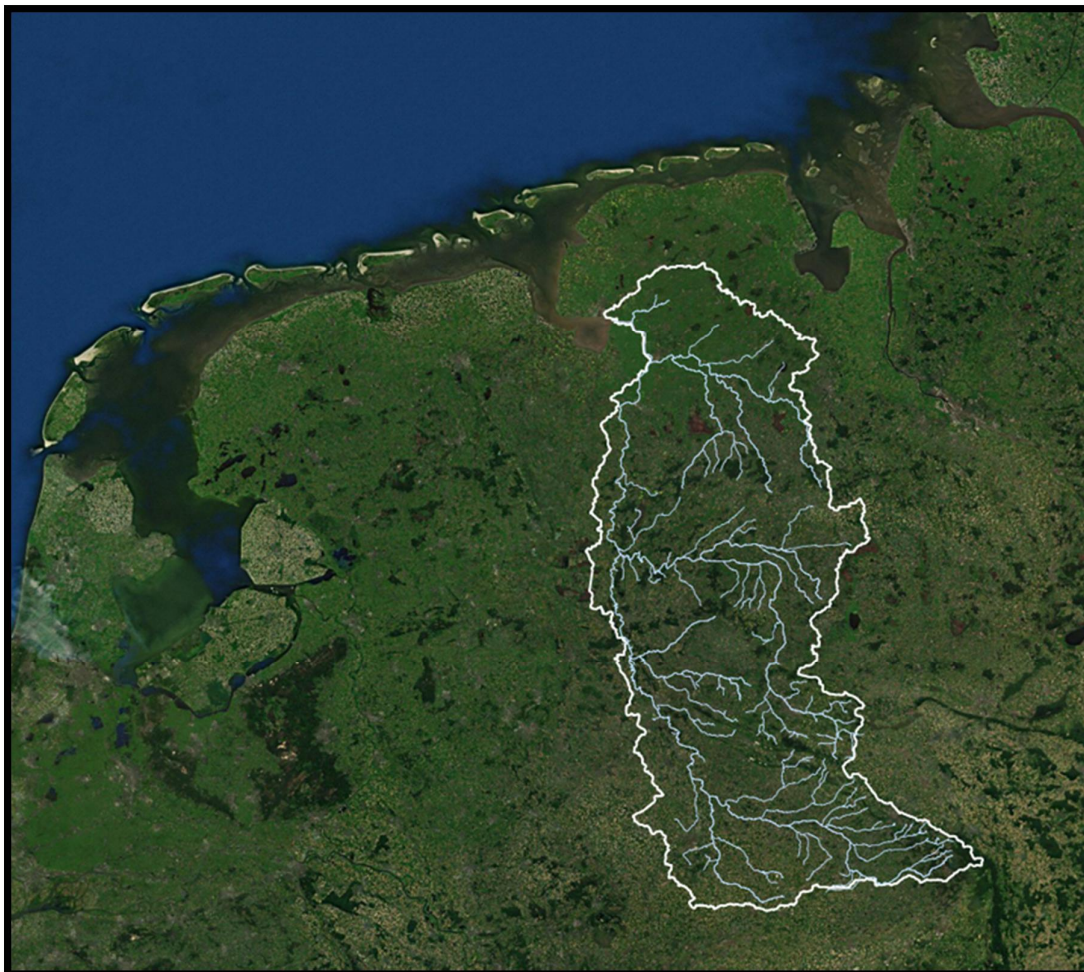
Figuur 2.1 Stroomgebied Rijn (buitenlandse deel) met de waterlopen (lichtblauw).



Figuur 2.2 Stroomgebied Maas (buitenlandse deel) met de waterlopen (lichtblauw).



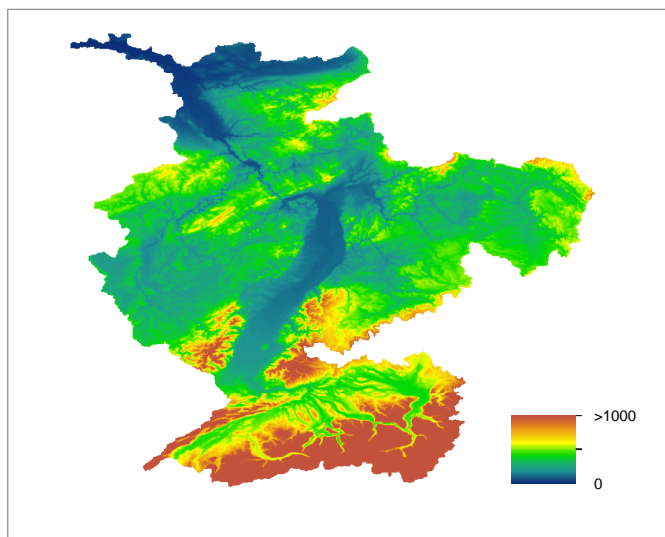
Figuur 2.3 Stroomgebied Schelde (buitenlandse deel) met de waterlopen (lichtblauw).



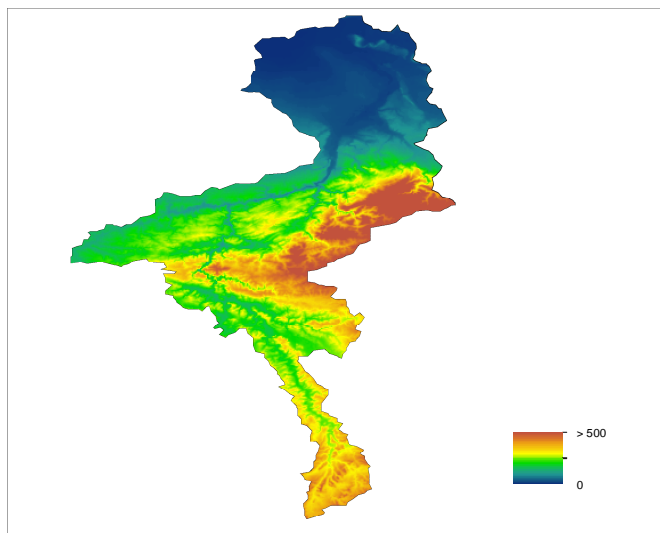
Figuur 2.4 Stroomgebied Eems (buitenlandse deel) met de waterlopen (lichtblauw).

Maaiveld

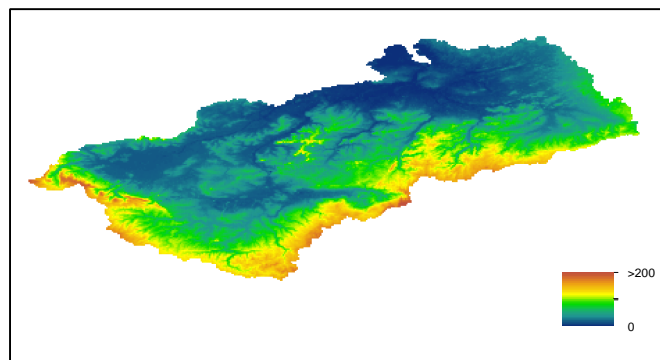
Het maaiveld is gebaseerd op SRTM90 (Shuttle Radar Topography Mission; Farr, et al. 2007). De resolutie van de SRTM is drie arc-seconden, wat overeenkomt met een celgrootte van ca. 90 meter ($3/60 \cdot 1860$ meter). In onderstaande figuren is het maaiveld voor de Eems, Schelde en Maas te zien.



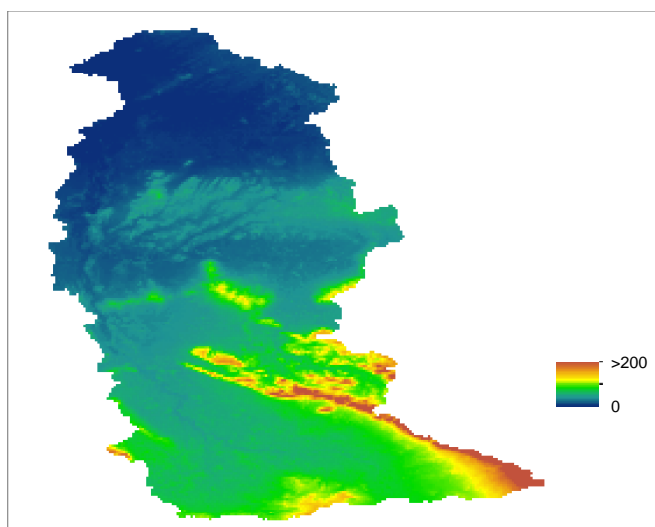
Figuur 2.5 Maaiveldhoogte[+MSL] van het Rijn stroomgebied (buitenlandse deel) [1x1km].



Figuur 2.6 Maaiveldhoogte [+MSL] van het Maas stroomgebied (buitenlandse deel) [1x1km].



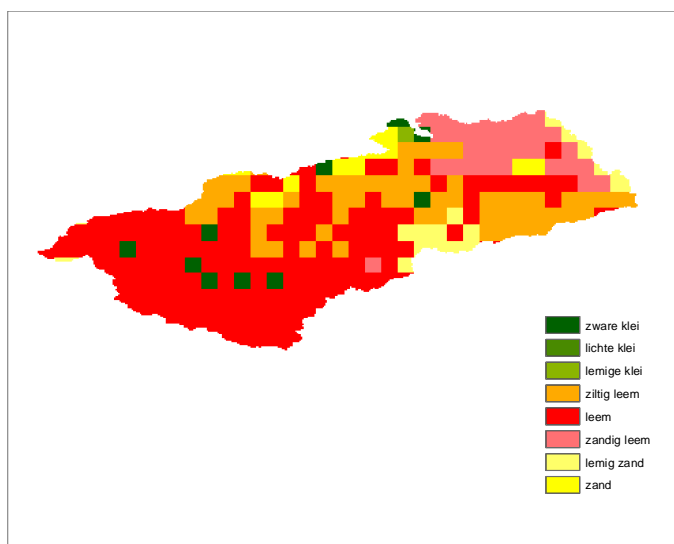
Figuur 2.7 Maaiveldhoogte [+MSL] van het Schelde stroomgebied (buitenlandse deel) [1x1km].



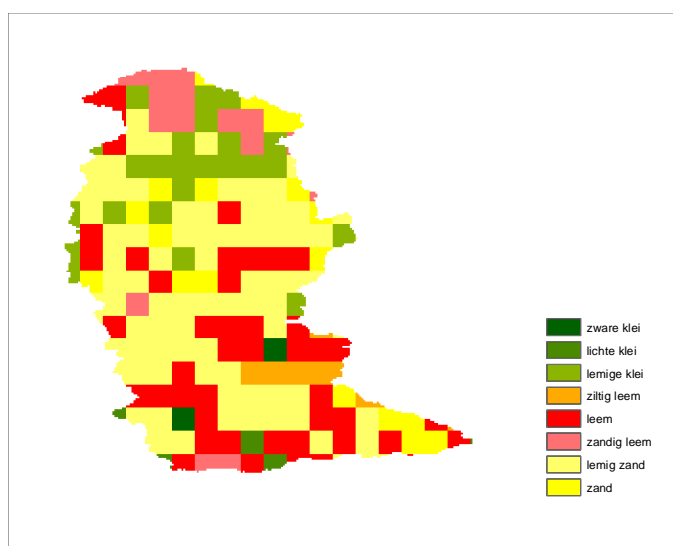
Figuur 2.8 Maaiveldhoogte [+MSL] van het Eems stroomgebied (buitenlandse deel) [1x1km].

Bodemkaart en gekozen parameters

Voor de Maas en Rijn zijn, als gevolg van de model opzet in het verleden, de bodemparameters onderscheiden op basis van deelstroomgebieden. Omdat er voor de Eems en Schelde schematisaties van de bestaande WFlow toepassingen geen onderscheid is in deelstroomgebieden, is het onderscheid voor de bodemparameters gemaakt op basis van een bodemtypekaart (Figuur 2.9 en Figuur 2.10). Voor de classificatie van de bodemtypes is gebruik gemaakt van de HSWD (Harmonized World Soil Database; FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC, 2009) van de FAO (Food and Agriculture organization of the United Nations). De bodemkaart onderscheidt 13 verschillende bodemtypes. De resolutie van de bodemkaart is ongeveer 1x1 km (30 arc seconds by 30 arc seconds). In onderstaande figuren is de gereclassificeerde bodemkaart voor de Eems en Schelde weergegeven.



Figuur 2.9 Bodemkaart van het Schelde stroomgebied (buitenlandse deel).



Figuur 2.10 Bodemkaart van het Eems stroomgebied (buitenlandse deel).

Voor de bodemklassen zijn parameters gekozen die WFlow nodig heeft om de afvoer te berekenen. In Tabel 2.1 zijn de verschillende bodemklassen met gekozen parameters weergegeven.

Tabel 2.1 Bodemklassen en gebruikte parameters.

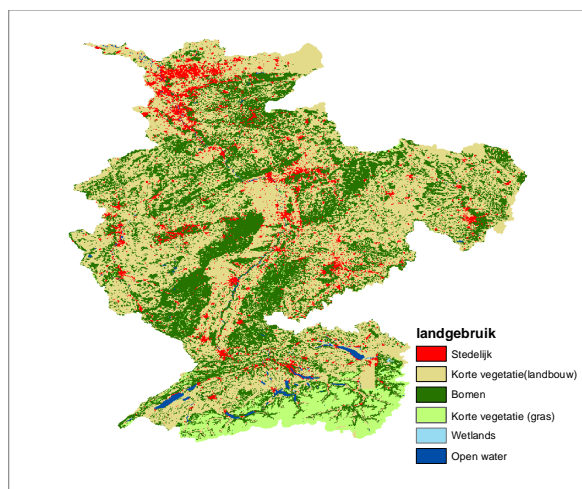
Soil type	Ksat (saturated hydraulic conductivity) [mm/day]	Infiltration rate [mm/day]	M (decrease of ksat with depth) [mm/m]	ThetaS (water content at saturation)	ThetaR (Residual water content)
clay (heavy)	0.1	50	100	0.6	0.01
silty clay	1	100	100	0.6	0.01
clay (light)	10	100	100	0.5	0.01
silty clay loam	30	200	100	0.5	0.01
clay loam	50	200	100	0.5	0.01
silt	100	300	100	0.4	0.01
silt loam	200	300	100	0.4	0.01
sandy clay	300	400	100	0.4	0.01
loam	500	400	100	0.3	0.01
sandy clay loam	1000	500	100	0.3	0.01
sandy loam	3000	600	100	0.3	0.01
loamy sand	5000	600	100	0.25	0.01
sand	10000	700	100	0.25	0.01

Landgebruik en gekozen parameters

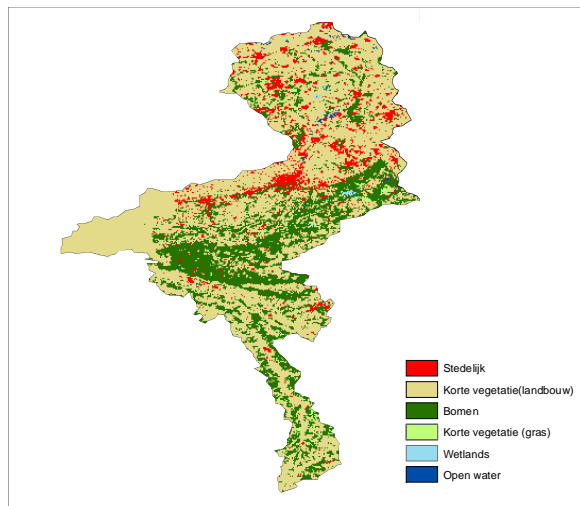
Het landgebruik is bepaald op basis van Corine landcover 2006 (Commission of the European Communities, 2002) met een celresolutie van 250m x 250m. Corine bevat 44 landgebruiksklassen. Deze klassen zijn gereclassificeerd naar 6 klassen voor WFlow, waarvoor de bedekkingspercentages per stroomgebied (buitenlandse deel) zijn weergegeven:

Tabel 2.2 Percentage landgebruiksklassen per stroomgebied (buitenlandse deel).

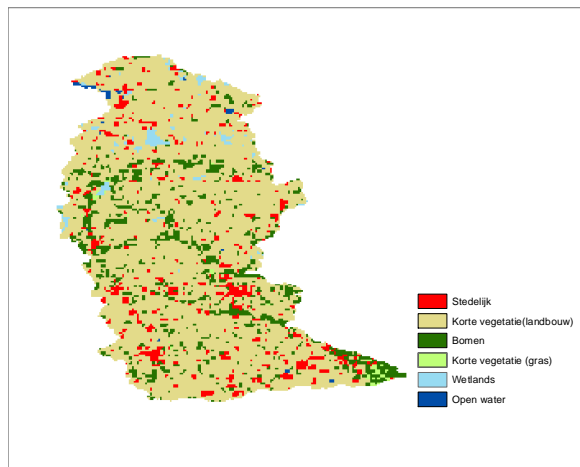
	Rijn	Maas	Schelde	Eems
Stedelijk	7	8	24	7
Korte vegetatie (landbouwgebieden)	52	64	67	79
Bos	34	27	7	12
Korte vegetatie (grassland)	6	1	1	0
Wetlands	0	0	0	2
Open water	1	0	1	0



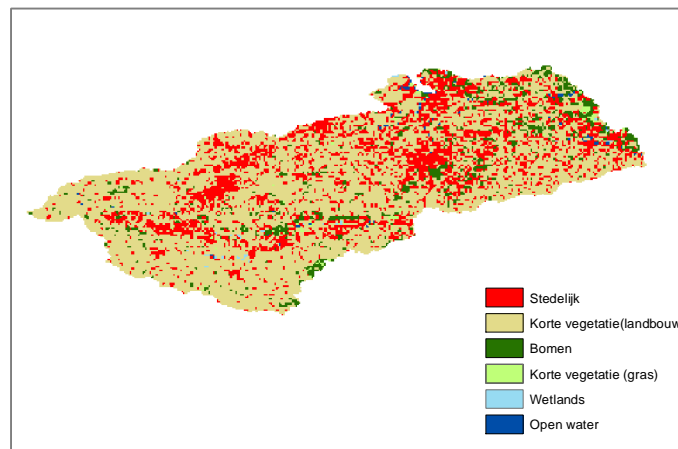
Figuur 2.11 Landgebruikkaart van het Rijn stroomgebied (buitenlandse deel).



Figuur 2.12 Landgebruikskarta van het Maas stroomgebied (buitenlandse deel).



Figuur 2.13 Landgebruikskarta van het Eems stroomgebied (buitenlandse deel).



Figuur 2.14 Landgebruikskarta van het Schelde stroomgebied (buitenlandse deel).

Tabel 2.3 Landgebruik en gebruikte parameters.

	Stedelijk	Korte vegetatie (landbouw)	Bos	Korte Vegetatie (grasland etc.)	Wetlands	Open water
Max canopy storage [mm] ¹	0.01	0.5	1.5	0.3	0.1	0.01
Rooting depth [mm] ²	20	500	2000	500	500	20
Canopy gap fraction ³	0.5	0.5	0.1	0.5	0.8	0.8
FirstZoneCapacity [mm] ⁴	500	5000	5000	5000	5000	5000
Eover ⁵	0.11	0.13	0.15	0.11	0.11	0.11
FirstZoneMinCapacity [mm] ⁶	500	1000	1000	1000	1000	1000

¹ Maximale berging die wordt gebruikt in het GASH model

² Wortel diepte van de vegetatie

³ Coëfficiënt die de vrije doorval van de neerslag aangeeft. Deze wordt gebruikt in het Gash interceptie model.

⁴ Maximale capaciteit van de berging in de verzadigde zone

⁵ Ratio van de gemiddelde natte evaporatie van het bladerdek over de gemiddelde neerslag (Gash interception model parameter)

⁶ Minimale capaciteit van de berging van de verzadigde zone

Tabel 2.4 Overige gebruikte parameters

Nriver ¹	0.045
N ²	0.1
InfiltrCapPath [mm/day] ³	5

¹ Manning N parameter voor de kinematic wave functie voor de rivier. Hogere waarden dempen de afvoer piek

² Manning N parameter voor de kinematic wave functie voor de overland flow

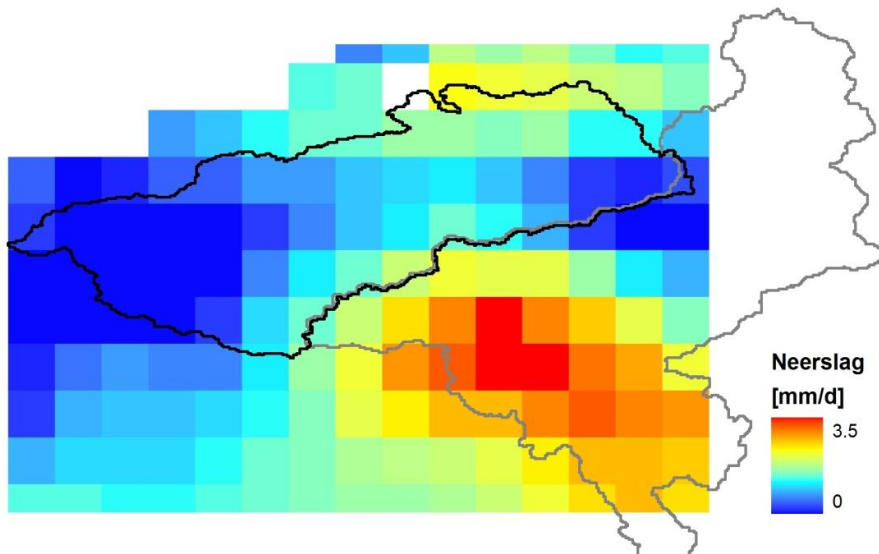
³ Infiltratie capaciteit van de gecompacteerde grond (verhard oppervlak) voor elke gridcel

Neerslag en verdamping

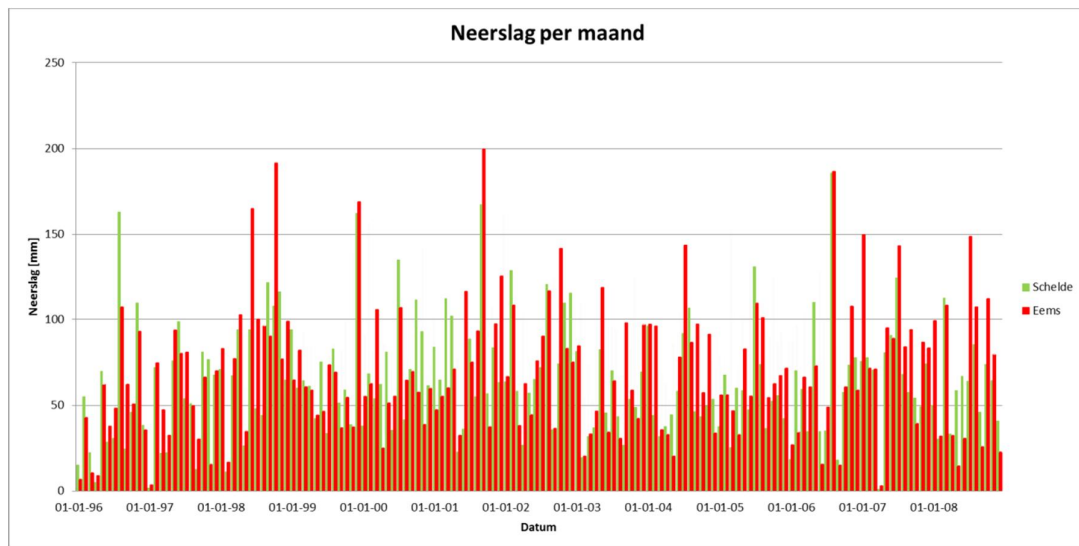
Om een indruk te krijgen hoe de parameters voor neerslag en verdamping in WFlow-modellen worden opgegeven zijn de Schelde en de Eems hieronder als voorbeeld genomen. In WFlow wordt gebruik gemaakt van de dagelijkse neerslag en temperatuur uit de E-OBS versie 5 dataset (Haylock et al., 2008). Een voorbeeld van de ruimtelijke verdeling van de neerslag op 1-1-1996 voor het stroomgebied de Schelde is te zien in Figuur 2.15. De potentiële verdamping is bepaald door de Hargraeves method (Sperna Weiland et al., 2012):

$$E_{pot} = 0.0031(T + 17.78)abs(T_{max} - T_{min})^{0.5}R$$

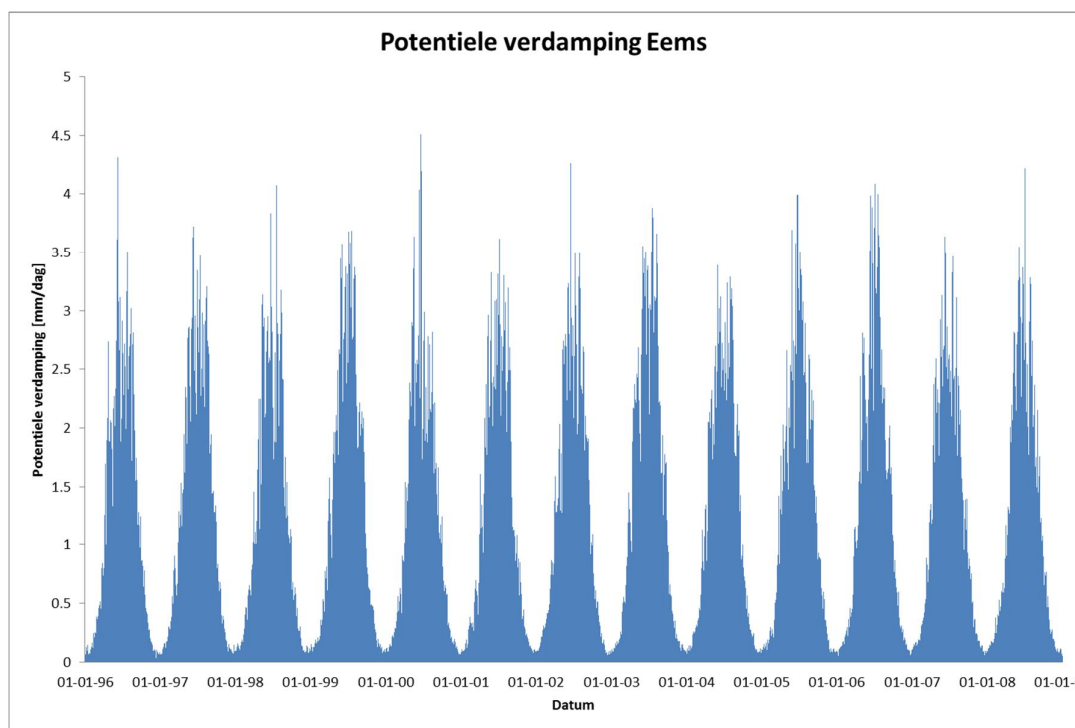
waarin 0.0031 een kalibratie factor is en R is de straling van de zon bij onbewolkt weer in mm/dag. In de WFlow modellen is de temperatuur gecorrigeerd voor hoogte verschillen in een E-OBS gridcel. De totale neerslag voor de Eems en de Schelde voor de periode 1996-2008 is in Figuur 2.16 weergegeven. Tevens is de totale potentiële verdamping over dezelfde periode voor de Eems weergegeven in Figuur 2.17.



Figuur 2.15 Ruimtelijke verdeling neerslag op 1-1-1996 voor het Scheldtstroomgebied (zwarte lijn).



Figuur 2.16 Neerslag voor Schelde en Eems voor de gesimuleerde periode.

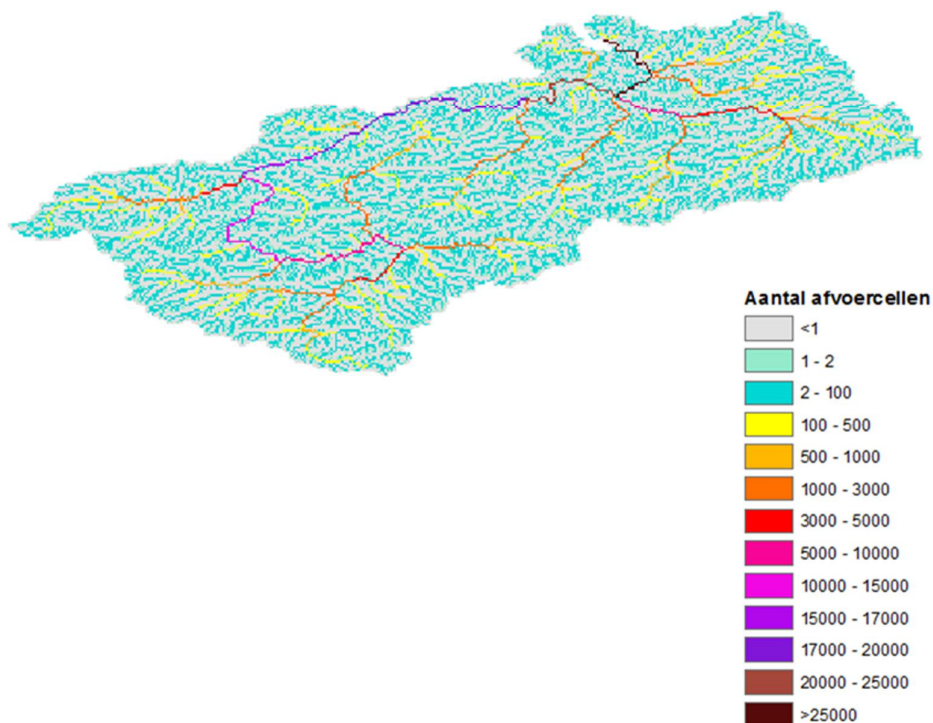


Figuur 2.17 Totale potentiële verdamping per dag in de Eems.

2.1.3 Local drainage direction (afstromingsrichting per gridcel) bepalen en model schalen

Met behulp van het maaiveld en de waterlopenkaart is een afwateringskaart bepaald die de afstromingsrichting van het water voor elke gridcel weergeeft.

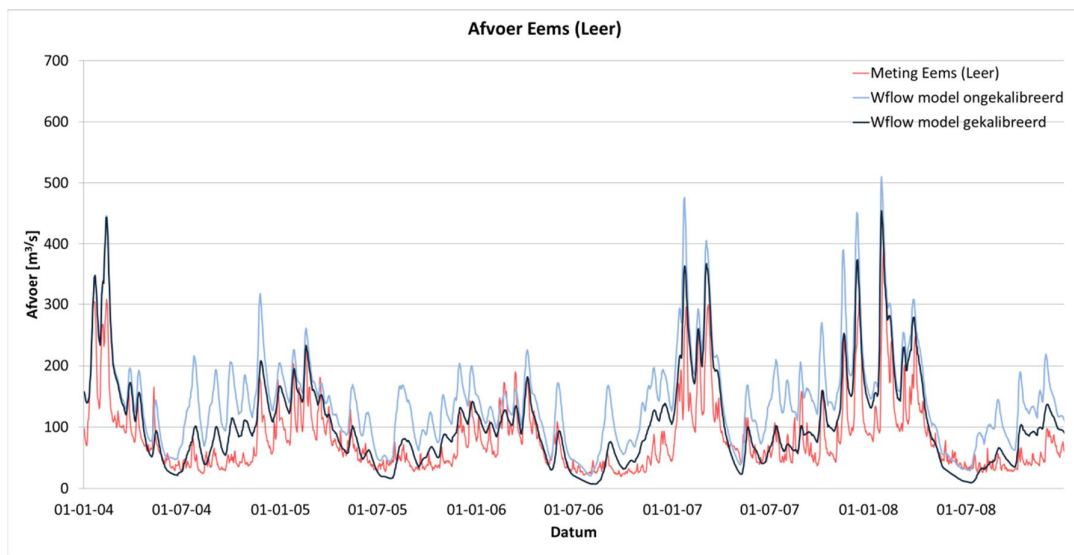
- Met behulp van Python-PCRaster script is de afwateringsrichting per cel bepaald (ldd). De waterlopen zijn hierbij eerst in het maaiveld 'gebrand' om te zorgen dat het water in de waterloop verdwijnt. Daarnaast is de outlet van het stroomgebied in het maaiveld 'gebrand' (maaiveld plaatselijk heel laag gelegd). Voor de Schelde is de afwateringskaart weergegeven in Figuur 2.18. Deze kaart geeft het aantal cellen weer dat afwatert op een riviercel.
- Hierna zijn de invoerkaarten voor het WFlow model naar het juiste extent en celgrootte (1x1km) geschaald met behulp van Python script: WFlow-buid2.py.



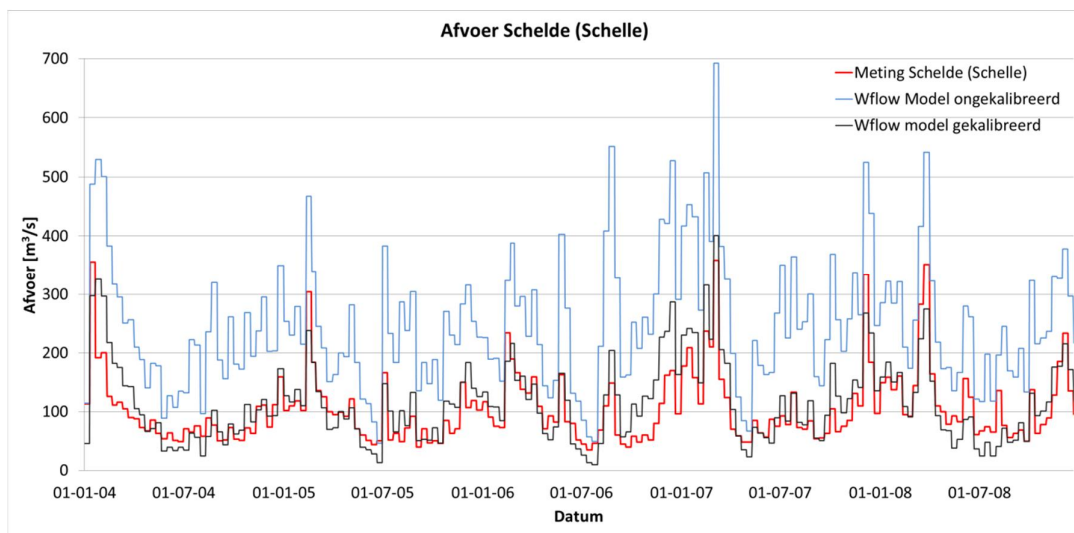
Figuur 2.18 Aantal riviercellen dat afwatert op een riviercel voor het afstroomgebied Schelde. Deze kaart is afgeleid uit de Local Drainage Direction kaart.

2.1.4 Kalibratie WFlow-modellen

De parameters van WFlow zijn gekalibreerd. De hoofdconclusie is dat de potentiële verdamping voor de Eems en de Schelde een factor 1.5 te laag is. In de onderstaande figuur zie je het WFlow resultaat voor de Eems en de Schelde waarbij de lichtblauwe lijn de afvoer weergeeft van het originele WFlow model waarbij de verdamping te laag is ingeschat. De zwarte lijn geeft de afvoer weer wanneer de potentiële verdamping vermenigvuldigd is met 1.5 en de rode lijn geeft de metingen weer. Ook voor de Schelde is de potentiële verdamping na kalibratie fors aangepast met dezelfde factor 1.5. Voor de Schelde zijn slechts 10-daagse metingen beschikbaar vandaar dat de modeluitvoer in Figuur 2.19 ook op 10-daagse basis is weergegeven. De kalibratie van de initiële parameters van het WFlow model voor de Maas, zoals ingeschat tijdens de bouw van het model, heeft niet tot verbeteringen van de afvoer geleid, zie Figuur 2.23 voor de afvoer van de Maas. Het WFlow model voor het Rijnstroomgebied is in een eerdere studie gekalibreerd (WFlow Rijnkalibratie rapport).



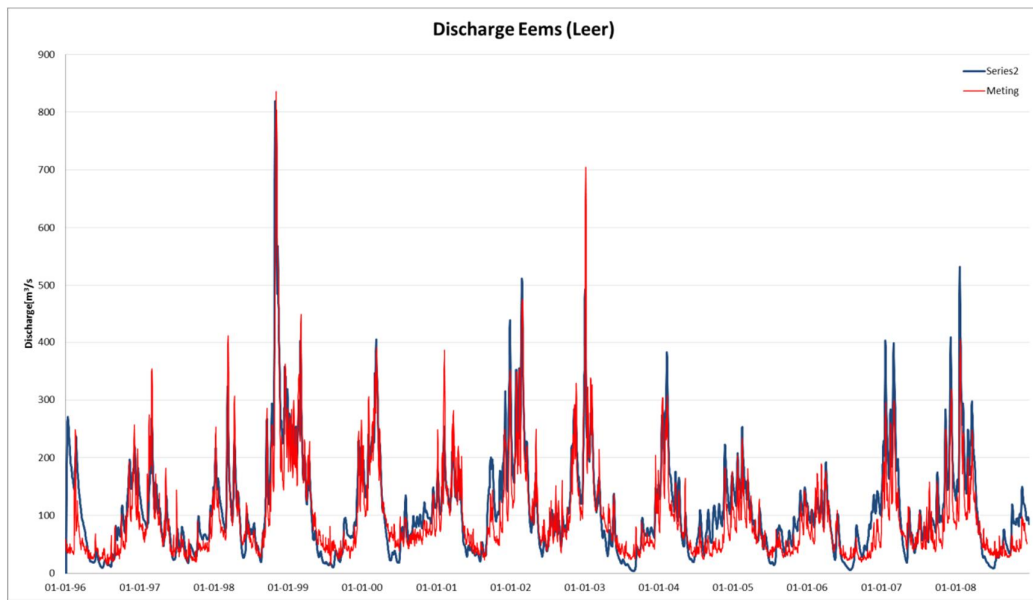
Figuur 2.19 Ongekalibreerde modelafvoer (blauw) en gekalibreerde afvoer (zwart) voor de jaren 2004-2009 uitgezet tegen de metingen (rood) voor de Eems (Leer).



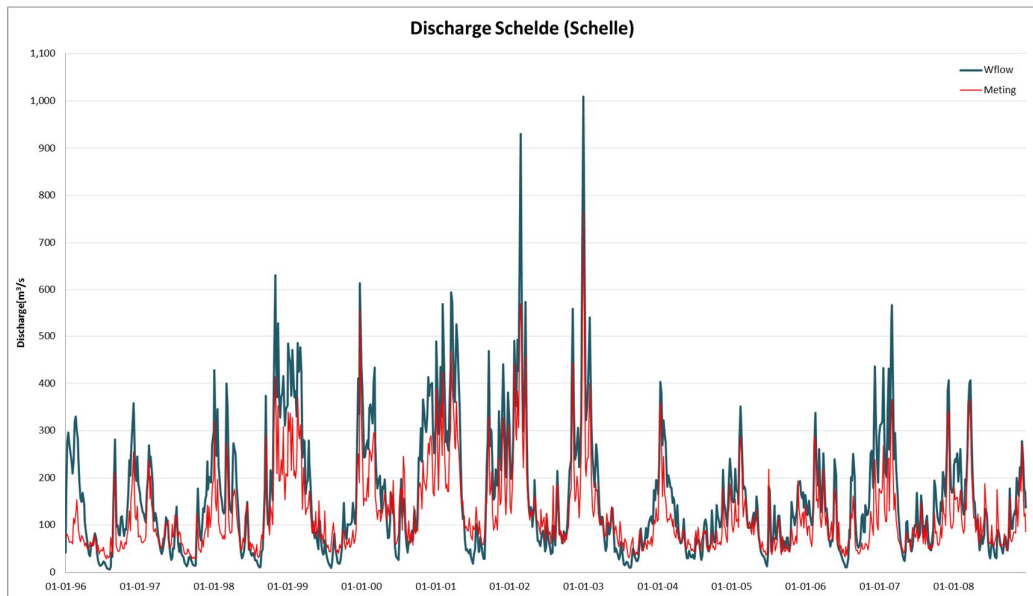
Figuur 2.20 Ongekalibreerde 10-daagse modelafvoer (blauw) en gekalibreerde 10-daagse model afvoer (zwart) voor de jaren 2004-2009 uitgezet tegen de 10-daagse metingen (rood) voor de Schelde.

2.1.5 Resultaat WFlow-modellen

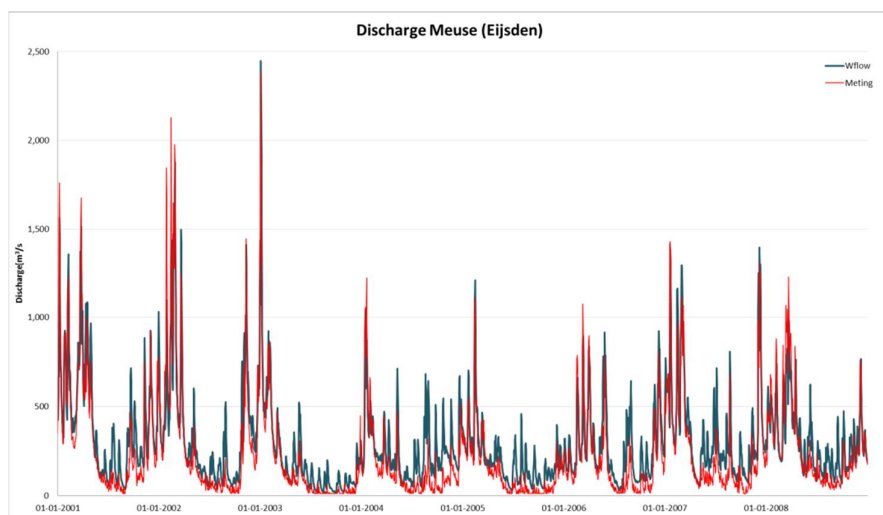
De afvoer resultaten voor de gekalibreerde WFlow modellen voor de jaren 1996-2008 (vanaf jaar 2001 voor de Maas en Rijn) zijn uitgezet tegen de metingen in onderstaande figuren.



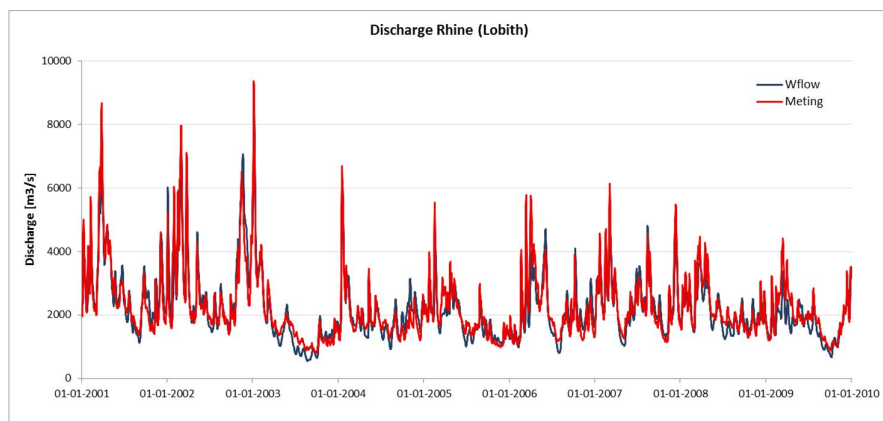
Figuur 2.21 Modelafvoer (blauw) voor de jaren 1996-2008 uitgezet tegen de metingen (rood) voor de Eems (Leer).



Figuur 2.22 Modelafvoer (blauw) voor de jaren 1996-2008 uitgezet tegen de metingen (rood) voor de Schelde (Schelle).



Figuur 2.23 Modelafvoer (blauw) voor de jaren 2001-2008 uitgezet tegen de metingen (rood) voor de Maas (Eijsden).



Figuur 2.24 Modelafvoer (blauw) voor de jaren 2001-2008 uitgezet tegen de metingen (rood) voor de Rijn (Lobith).

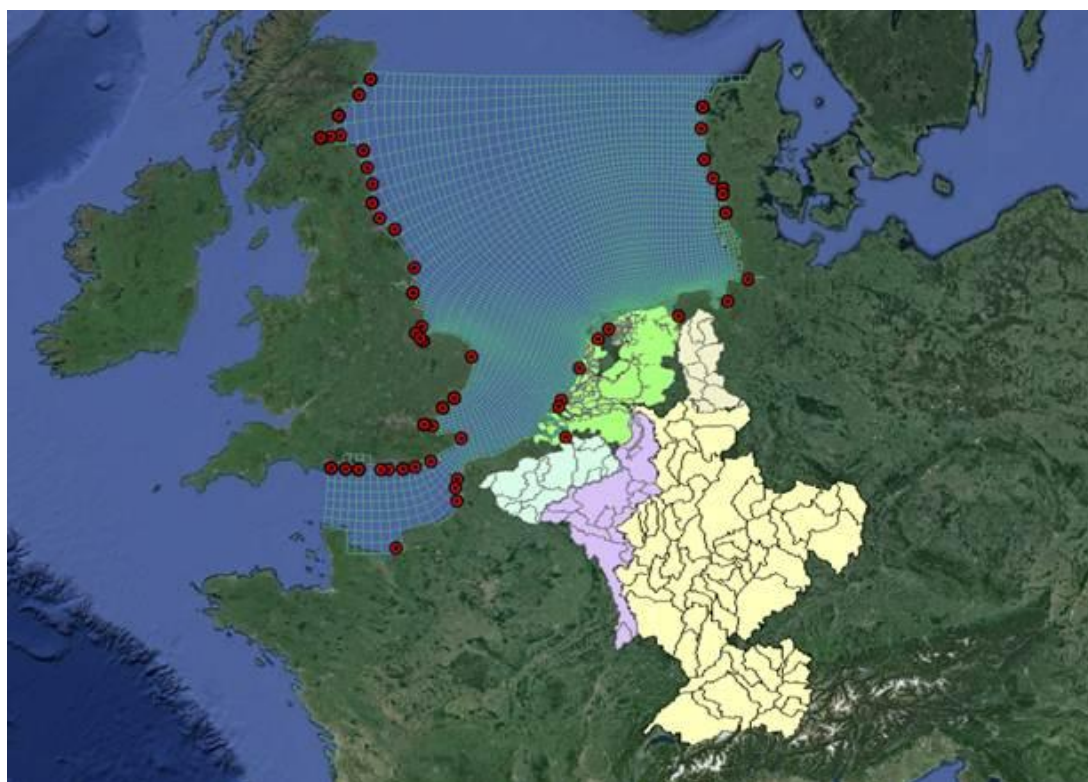
In Tabel 2.5 is per stroomgebied de gemiddelde afvoer (jaar- en zomerperiode) zoals berekend met WFlow vergeleken met de gemeten afvoer (afkomstig van de Waterbase database (Rijn en Maas) en CEFAS database (Eems en Schelde)). De percentuele verhouding tussen WFlow en gemeten afvoeren is tussen haakjes weergegeven. Over het algemeen presteert WFlow goed. De Rijn presteert over de hele periode genomen het beste met voor afvoer de zomerperiode (-9%) en voor het hele jaar (-6%) een verschil van minder dan 10%. De afvoer van de Eems komt in de zomerperiode nagenoeg overeen met de gemeten afvoer (verschil 3%), Echter gedurende de winter wordt de afvoer wat overschat. De Schelde komt gedurende het gehele jaar 3% tekort, waarbij als kanttekening moet worden gemaakt dat de afvoer vooral in de zomer wordt onderschat. Voor de Maas wordt het gemiddelde zomer debiet door WFlow sterk overschat. De aanwezigheid van veel kunstwerken in de Maas maakt de afvoer modellering lastig. Voor een mogelijke verbetering van de afvoer in de Maas zal een extra kalibratieslag nodig zijn. Ook kan gedacht worden aan het opzetten van een gekoppeld modflow(grondwater)-WFlow model om de basisafvoer van de Maas beter in te schatten.

Tabel 2.5 Vergelijking gesimuleerde WFlow afvoer.

		Rijn (Lobith)		Maas (Eijsden)		Schelde		Eems	
Jaar	Gemeten afvoer [m3/s]	2216	(94%)	219	(127%)	145	(97%)	81	(132%)
	Wflow afvoer [m3/s]	2085		279		140		107	
Zomer	Gemeten afvoer [m3/s]	2197	(91%)	132	(163%)	102	(80%)	50	(103%)
	Wflow afvoer [m3/s]	2005		215		82		51	

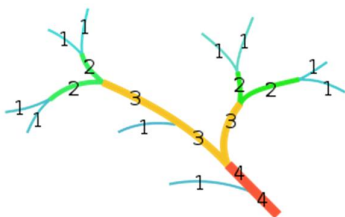
2.2 Waterkwaliteit stroomgebieden (stikstof met de KRW-Verkenner)

2.2.1 Schematisaties



Figuur 2.25 KRW-Verkenner schematisaties voor de buitenlandse delen van de Rijn, Maas, Schelde, Eems en het Nederlandse deel (LKM). De donkerrode cirkels zijn de lozingspunten zoals aanwezig in het standaard Noordzeemodel (waarin de CEFAS data voor de stikstof belasting vanuit de rivieren wordt gebruikt).

Met behulp van de afwateringskaarten die bij de opzet van het WFlow model zijn gemaakt is een KRW-Verkenner schematisatie opgezet per stroomgebied (zie Figuur 2.25) die de 1x1 km gridcellen uit WFlow aggregereert naar substroomgebieden op basis van een gekozen "Strahler stream order", een maat voor het aantal vertakkingen van de rivier (zie Figuur 2.26).



Figuur 2.26 “Strahler stream order” geeft het aantal vertakkingen in bovenstroomse richting weer.

In Figuur 2.25 zijn alle invoerlocaties van het standaard Noordzeemodel zichtbaar (rode cirkels). Voor de Nederlandse stroomgebieden zijn dit de Rijn, Maas, het Noordzee-kanaal, het IJsselmeer (twee locaties), de Schelde en de Eems, deze locaties zijn vetgedrukt in Tabel 2.6. Om aan te kunnen sluiten bij de KRW-verkenner (zie schematisatie in Figuur 2.27) zijn binnen deze studie de genoemde zeven lozingspunten in het standaard Noordzeemodel uitgebreid naar in totaal 20 lozingspunten (Tabel 2.6). De KRW-Verkenner schematisaties voor de Eems en Schelde zijn direct gekoppeld met het ZUNO3D-GEM grid. De KRW-Verkenner schematisaties voor de Rijn en Maas zijn gekoppeld aan de landelijke Nederlandse schematisatie, welke op een 18-tal locaties is gekoppeld met het ZUNO grid (Tabel 2.6). De delen die niet door de buitenlandse KRW-Verkenner schematisatie gedekt worden (zoals bijvoorbeeld het bovenstroomse deel van de Overijsselse Vecht; het gebied links van de Eems dat in Duitsland ligt), zijn meegenomen als randen in de landelijke KRW-Verkenner schematisatie. De stikstof belastingen op deze randen zijn in de scenario berekeningen constant gehouden. De modelranden in de landelijke KRW-Verkenner schematisatie voor grote rivieren (Rijn bij Lobith en Maas bij Eijsden) variëren wel voor de verschillende scenario's evenals de belasting op de Nederlandse oppervlakte waterlichamen. De Nederlandse bijdrage van stikstof naar de Eems-Dollard en Westerschelde zijn meegenomen in de landelijke KRW-Verkenner schematisatie (Figuur 2.27). In Figuur 2.27, waarin alleen het DM netwerk (het Distributie Model is het hoofdnetwerk in het NHI) is getoond (de regionale wateren maken echter wel deel uit van de Landelijke toepassing), zijn de koppelpunten tussen de KRW-Verkenner en het Noordzee model met lichtblauwe driehoekjes weergegeven. Binnen dit project zijn de gemeten vrachten voor de Nederlandse koppelpunten en de Eems en Schelde vervangen door KRW-Verkenner vrachten. Hierdoor is het mogelijk om voor deze koppelpunten scenario-berekeningen door te geven aan het Noordzee model.



Figuur 2.27 KRW-Verkenner schematisatie voor het landelijke Nederlandse deel in detail (de (nieuw) geformuleerde koppelpunten met Noordzeemodel zijn weergegeven als driehoekjes).

Tabel 2.6 Koppelpunten tussen de KRW-Verkenner (knoop) en het ZUNO3D-GEM model (gridcel). Vetgedrukt zijn de oorspronkelijke 7 rivier invoerlocaties van het Noordzee model (vanuit de stroomgebieden Rijn, Maas Schelde en Eems)

KRW-V knoop	Naam	Stroomgebied	ZUNO grid
Scheldt	SCHELDE	Schelde	4347
DM5100	NL Belgie (Zeeuws Vlaanderen)	Schelde	4095
DM201	NL Grevelingen/Oosterschelde	Schelde	3748
DM198	NL Rijn @ Nieuwe waterweg	Rijn	3898
DM203	NL Rijn @ Brielse meer	Rijn	3898
DM199	NL Maas @ Haringvlietsluizen	Maas	3941
DM202	NL Maas @ Zuiderdiep	Maas	3941
DM204	NL Noordzee Scheveningen	Rijn	3834
DM205	NL Noordzee Katwijk	Rijn	3837
DM206	NL Noordzeekanaal	Rijn	3842
DM207	NL Waddenzee - Den Helder	Rijn	3900

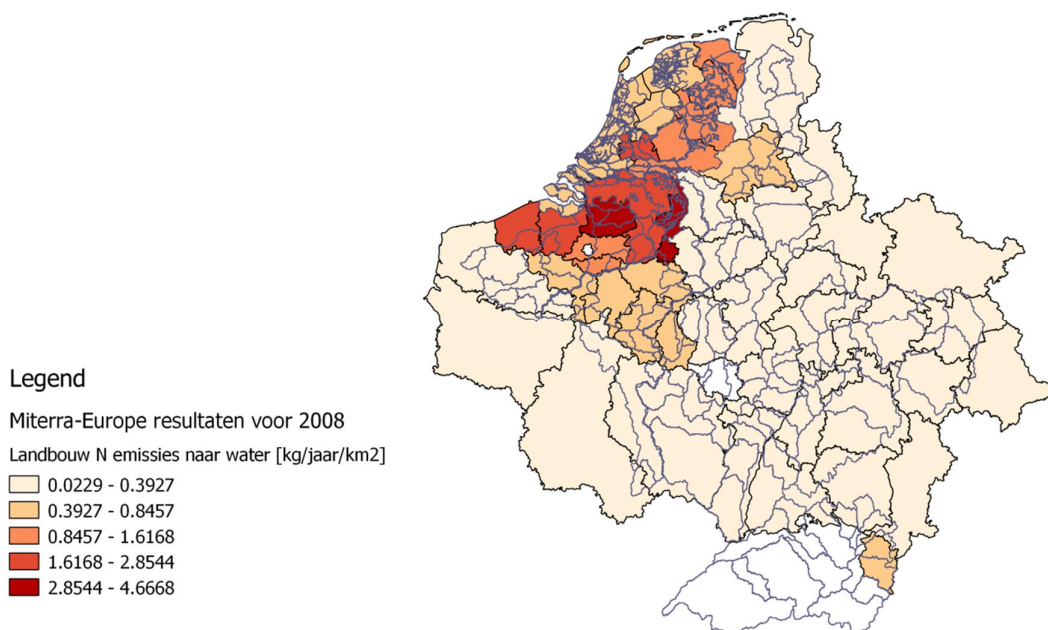
KRW-V knoop	Naam	Stroomgebied	ZUNO grid
DM208	NL Districtlozing Wieringen	Rijn	4048
DM214	NL Tsjerk Hiddes sluizen	Rijn	4243
DM215	NL Waddenzee / Lauwersmeer	Rijn	4132
DM217	NL Waddenzee - Sluizen Delfzijl	Eems	4268
DM218	NL Waddenzee - gemaal Ro	Eems	4279
DM219	NL Waddenzee - Nieuwe statenzijl	Eems	4294
DM60572	NL IJsselmeer	Rijn	4242
DM60571	NL Den Oever	Rijn	4233
Ems	EEMS	Eems	4283

2.2.2 Emissies

In deze studie is onderscheid gemaakt tussen stikstofbelasting naar het oppervlaktewater vanuit diffuse bronnen (landbouw, atmosferische depositie en achtergrondbelasting) en puntbronnen (RWZI's en industrie).

Landbouw

Voor de N emissies afkomstig uit de landbouw zijn MITERRA-EUROPE gegevens gebruikt, die in een eerdere stikstofstudie voor de Rijn (Deltares, 2012a) zijn geschat. Deze MITERRA-EUROPE dataset (Alterra, 2012) is op een enkele deelstaat na Europa dekkend, in Figuur 2.28 is een uitsnede voor de 4 stroomgebieden weergegeven. In deze studie is gekozen voor de MITERRA-EUROPE dataset omdat deze in de stikstofstudie voor de Rijn reeds succesvol is toegepast en deze dataset ook emissieschatting voor diverse scenario's bevat (zie paragraaf 3.1). Er zijn ook andere emissieschattingen bekend voor de landbouwemissies, zoals bijvoorbeeld de JRC's Green Model landbouwemissie schattingen, maar hiervan is niet onderzocht wat de betrouwbaarheid is evenals de toepasbaarheid binnen dit project.



Figuur 2.28 Stikstof emissies afkomstig uit de landbouw zoals berekend met MITERRA-EUROPE-Europe.

Schatting van grondwaterverblijftijd en stikstofretentie

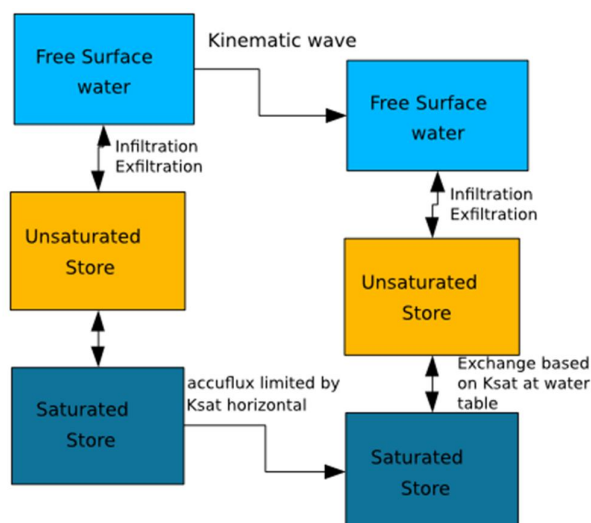
Voor het verbeteren van N emissieschattingen afkomstig uit grondwater zijn verblijftijden aan de hand van tracersommen berekend. MITERRA-EUROPE levert stikstofvruchten naar oppervlakte- en grondwater. De afbraak die plaatsvindt in het grondwater is berekend op basis van de verblijftijd van het water in de ondergrond met volgende formule (Keuskamp et al. 2012):

$$k_{\text{NO}_3} = \frac{\ln(2)}{\text{halfwaardetijd}_{\text{NO}_3}}$$

$$\text{Retentie} = \exp(-k_{\text{NO}_3} \times \text{Verblijftijd})$$

De gemiddelde verblijftijd in een deelstroomgebied wordt berekend aan de hand van een DELWAQ tracersom; als invoer voor de tracersommen is de waterbeweging afkomstig uit berekeningen met het WFlow model gebruikt. DELWAQ is een waterkwaliteitsmodel dat gekoppeld kan worden aan WFlow hydrologische modellen. Water dat het model binnenkomt (neerslag) kan aan de hand van tracers gelabeld worden. De vereenvoudigde schets van een WFlow model in Figuur 2.29 laat zien dat neerslag verschillende paden kan volgen: oppervlakkige afstroming of infiltratie naar het grondwater. De vraag is hoe lang het geïnfiltreerde water gemiddeld in het deelstroomgebied verblijft voordat het in het oppervlakte water terecht komt. Om de verblijftijd te bepalen wordt het infiltratiewater gelabeld met twee tracers: de ene conservatief en de andere afbreekbaar. Omdat de afbreesnelheid van de niet-conservatieve tracer bekend is kan de verhouding tussen beide tracerconcentraties bij het uitstroompunt van het deelstroomgebied gebruikt worden om de verblijftijd in de ondergrond te berekenen

De berekende verblijftijden zijn in Tabel 2.7 terug te vinden. De resultaten voor Rijn en Maas liggen, gemiddeld per deelstroomgebied, rond de 2.6 jaar. Het grotere verschil tussen minimum en maximum verblijftijden in het Rijn stroomgebied is te verklaren door de grotere variatie in het reliëf. Voor Eems en Schelde zijn de resultaten aan de lage kant, respectievelijk 0.7 en 0.8 jaar, terwijl het relatief vlak reliëf van deze stroomgebieden tot langere verblijftijden zou moeten leiden. Voor alle deelstroomgebieden van de Eems en Schelde is daarom een verblijftijd van 2 jaar aangenomen.



Figuur 2.29 Schematische weergave van het WFlow model.

In Tabel 2.8 is weergegeven wat de gevoeligheid is van het verlies N in grondwater (afkomstig uit landbouw) voor variaties in grondwaterverblijftijd volgens de retentie formule van Keuskamp et al. (2012). Hierin is in procenten aangegeven hoeveel N het oppervlakte water belast ten opzichte van een referentie situatie waarbij de grondwater verblijftijd op twee jaar is gesteld. Afhankelijk van de hoeveelheid stikstof die via het grondwater in het oppervlakte water terecht komt kan dit verschillen per stroomgebied.

Tabel 2.7 Berekende en gebruikte verblijftijden (jaar) voor berekening van retentie van landbouwemissies in grondwater.

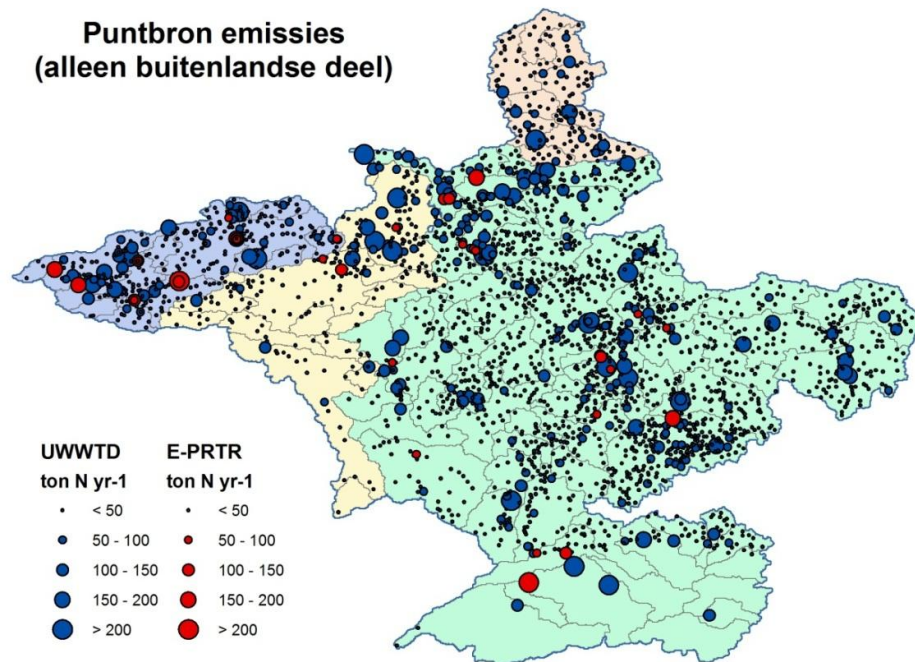
	Berekend			Gebruikt		
	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg
Eems	0.6	0.9	0.7	2	2	2
Maas	2.2	3.2	2.7	2.2	3.2	2.7
Rijn	0.3	9.2	2.6	0.3	9.2	2.6
Schelde	0.5	1.4	0.8	2	2	2

Tabel 2.8 Effect (in percentage ten opzichte van de referentiesom (=100%), waarin grondwaterverblijftijd van 2 jaar is aangenomen) van verblijftijd op de totale N belasting naar het oppervlakte water.

Verblijftijd [jaar]	N verlies in grondwater	Eems	Maas	Schelde	Rijn
0	0%	121%	108%	108%	103%
1	19%	109%	103%	103%	101%
2	50%	100%	100%	100%	100%
3	65%	94%	98%	98%	99%
4	75%	89%	96%	96%	98%
5	82%	86%	95%	95%	98%

Puntbronnen

Voor de bepaling van N emissies uit puntbronnen zijn de E-PRTR database (E-PRTR) en UWWTD databases gebruikt (Waterbase UWWTD, 2012). De E-PRTR database bevat voornamelijk lozingsgegevens vanuit de industrie en de UWWTD bevat lozingsgegevens van rioolwaterzuiveringsinstallaties. Er bestaat een overlap tussen beide databases: de E-PRTR database bevat gegevens van rioolwaterzuiveringsinstallaties die ook terugkomen in de UWWTD database. Met de uitvoering van een geografische analyse is de overlap tussen beide databases bepaald en zijn 'dubbelingen' verwijderd uit de E-PRTR database. De resultaten van deze exercitie zijn weergegeven in Figuur 2.30.



Figuur 2.30 Geschatte stikstof emissies afkomstig uit puntbronnen in de buitenlandse stroomgebieden van Eems, Maas, Schelde en Rijn (E-PRTR in rood; UWWTD in blauw).

N emissies overig

N emissies afkomstig van atmosferische depositie die niet in landbouwgebieden terecht komt (deze zijn al in de MITERRA-EUROPE emissies meegenomen), is conform de methodiek zoals gebruikt in de Rijnstudie (Deltares, 2012a) afgeleid uit totale N depositie fluxen (droge en natte NH_x/NO_y depositie) op land in de EMEP dataset (EMEP, 2010). Hierbij is, op basis van verhoudingen van emissiebronnen zoals gerapporteerd voor Nederland in de EmissieRegistratie, aangenomen dat 11% van de EMEP emissies terecht komt op het oppervlaktewater.

De achtergrondbelasting van N naar het oppervlaktewater is geschat op 0.5 mg/l voor de Rijn (Deltares, 2012a) en deze waarde is ook toegepast in de overige drie stroomgebieden. Als we kijken naar externe rapportages is alleen voor het Eems een schatting bekend voor de achtergrondbelasting (paragraaf 2.2.2), welke overeenkomt met een oppervlaktewaterbelasting, uitgedrukt in N-concentratie, van ~0.25 mg/l, een factor twee lager. Op de totale N concentratie van de Eems in 2008 (6.1 mg/l) is de bijdrage afkomstig van de achtergrond belasting echter beperkt en zal een verlaging van deze emissiebron een zeer gering effect hebben op de stikstofvracht naar de Noordzee.

Klaarzetten emissies voor de KRW-Verkenner

De kaartlagen voor de genoemde emissiebronnen zijn vertaald naar KRW-Verkenner deelstroomgebieden. Voor de stikstofemissie afkomstig vanuit de landbouw is daarnaast ook een vertaling gemaakt van de (geschatte) jaarlijkse emissies naar de kwartalen waarmee de KRW-Verkenner rekt. De vracht aan stikstof die afkomstig is vanuit de landbouw is seizoens-afhankelijk. Dit komt doordat er in periodes meer regenval ook meer uitstroming plaatsvindt. Voor puntbronnen en de overige diffuse bronnen wordt aangenomen dat de belasting constant is over de seizoenen. De verdeling van de landbouw afkomstige emissies is geschat aan de hand van de seizoens-trend in de gemeten totale N vracht (Figuur 2.39).

Van de gemeten totale N vracht is eerst het (berekende) aandeel dat afkomstig is van puntbronnen en 'overige diffuse bronnen' (atmosferische depositie) afgetrokken zodat het deel afkomstig van de landbouw overblijft. Uit de resterende 'gemeten' N vracht, dat het geschatte aandeel landbouw vertegenwoordigd, is vervolgens het verloop van de N vracht over de kwartalen afgeleid. Het kan voorkomen dat de berekende vracht, waarin het aandeel afkomstig uit de landbouw is weggelaten, hoger uitkomt dan de werkelijk gemeten totale N vracht in het derde kwartaal (Jun-Sep). In dit geval is het aandeel emissies afkomstig vanuit de landbouw voor dit kwartaal op nul gezet (zie als voorbeeld Figuur 2.32).

Er is een aantal aannames gedaan in de huidige studie om ontbrekende emissie te kunnen bepalen of om onrealistisch geachte schattingen te corrigeren:

- Achtergrond belasting is geschat op 0.5 mg/l voor alle stroomgebieden.
- Atmosferische depositie direct naar het oppervlaktewater geschat op 11% van de totale atmosferische depositie op land en water (afkomstig uit de EMEP dataset).
- Miterra-EUROPE berekent stikstof uitspoeling naar het grondwater en afspoeling naar het oppervlaktewater. Voor het aandeel dat uitspoelt naar het grondwater is aangenomen dat een deel alsnog in het oppervlaktewater terechtkomt via kwel en dat de hoeveelheid afhankelijk is van de verblijftijd in het grondwater.
- De retentie van stikstof in het grondwater is afgeleid uit de grondwaterverblijftijd volgens de Keuskamp et al. (2012) benadering. Er is voor de Schelde en de Eems een verblijftijd van minimaal 2 jaar aangenomen zodat tenminste 50% van de stikstofbelasting naar het grondwater verdwijnt voordat het via kwel in het oppervlaktewater terecht komt.

2.2.3 Vergelijking met eerder gerapporteerde emissies

De kwaliteit van de stikstofemissies die in deze studie voor de vier stroomgebieden bij elkaar is gebracht, is afhankelijk van de volledigheid waarmee deelstaten de emissies vanuit puntbronnen (industrie en RWZI's) rapporteren en de uitkomst van de modellen die ten grondslag liggen aan de schatting van de diffuse emissiebronnen. Om de voor deze studie gebruikte N emissies in perspectief te plaatsen en eventueel naar beneden of boven bij te schatten is een beperkt aantal rapporten geraadpleegd waarin N emissies naar het oppervlakte water zijn gerapporteerd. De stikstof emissies per sector die in deze rapporten staan genoemd zijn in Tabel 2.9 t/m Tabel 2.12 weergegeven. Deze emissies zijn ook opgenomen in Figuur 2.32 t/m Figuur 2.35 in de kolom "Extern Rapport".

Tabel 2.9 Rijn buitenlandse deel (BRON: ICBR beheerplan 2009)

Sector	Stikstof emissies (kt/jaar*)			
	2000	2005	2008**	prognose 2015
Landbouw	154	144	138 (47%)	122
RWZI's	106	78	76 (26%)	72
Industrie	21	21	21 (7%)	20
Andere bronnen***	72	62	60 (20%)	55
Totaal	352	306	295	268

*het emissie aandeel per bron staat in percentages weergegeven

**afgeleid uit een interpolatie tussen 2005 en 2015

***Achtergrond belasting en atmosferische depositie voor heel Rijnstroomgebied (incl. NL deel) geschat op 20%.

Tabel 2.10 Maas buitenlandse deel (BRON: Maascommissie rapport 2005).

Sector	Stikstof emissies (kt/jaar*) ~2005
Landbouw	28.5 (69%)
Afvalwater huishoudens	11.1 (27%)
Afvalwater industrie	1.0 (3%)
Andere bronnen	0.3 (1%)
Totaal	40.8

*het emissie aandeel per bron staat in percentages weergegeven

Tabel 2.11 Schelde @ Uitstroompunt Noordzee (BRON: Ontwerp SGBP Schelde 2009)

Sector	Stikstof emissies (kt/jaar*) ~2005
Landbouw	14.8 (52%)
Afvalwater Huishoudens	10.6 (37%)
Afvalwater Industrie	2.9 (11%)
Totaal**	28.3

*het emissie aandeel per bron staat in percentages weergegeven

**atmosferische depositie wordt niet genoemd in het rapport

Tabel 2.12 Eems (BRON: MONERIS, Behrendt 2003; In Eems SGBP rapport 2009).

Sector	Stikstof emissies (kt/jaar*) ~2003
Landbouw	24.3 (77%)
Afvalwater (huishoudens+industrie)	3.5 (11%)
Atmosferische depositie	2.8 (9%)
Achtergrond belasting	0.9 (3%)
Totaal	31.5

*het emissie aandeel per bron staat in percentages weergegeven

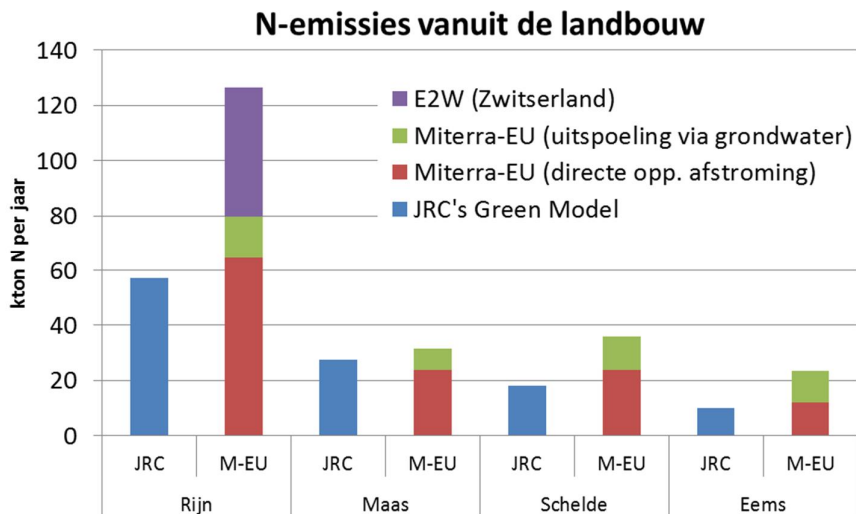
In de externe rapportages staat niet duidelijk vermeld welk deel van de landbouw emissies uit grondwater afkomstig is en welk deel via directe afspoeling het oppervlaktewater bereikt. Ook zijn in de externe rapportages andere jaren gerapporteerd dan het jaar dat in deze studie is gebruikt voor de referentie-som. Afhankelijk van de hydrologische verschillen tussen de jaren kan de emissie van diffuse bronnen met een factor 2 verschillen. Daarnaast ontbreken er in een deel deze rapportages een aantal emissieposten, zoals atmosferische depositie en achtergrondbelasting voor bijvoorbeeld de Maas en Schelde. Deze beperkingen maken het lastig om gerapporteerde emissies één op één te vergelijken met onze emissieschattingen.

Bijschatting emissies

Er is in deze studie ook gekeken of de externe rapportages aanleiding geven tot het bijschatten van de emissies waarmee de KRW-Verkenner is doorgerekend. Onder 'bijschatten' verstaan we ofwel een afname danwel een toename in de emissie.

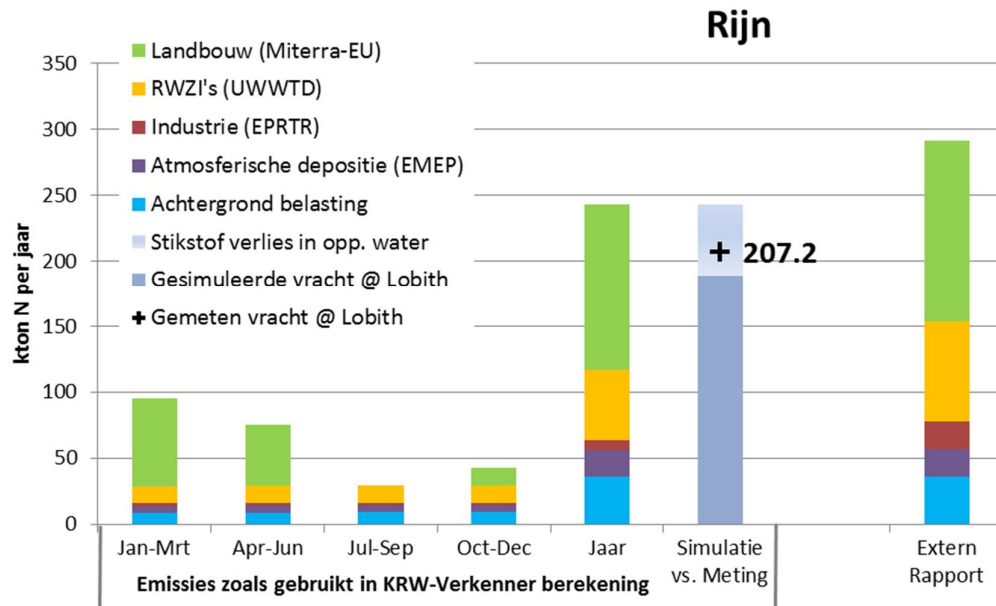
Voor de Schelde is de met het MITERRA-EUROPE model geschatte N-belasting uit de landbouw sector (weergegeven in kolom "Zonder bijschatting", Figuur 2.34) naar beneden bijgeschaald zodat deze overeenkomt met de extern gerapporteerde landbouw emissie.

Hiervoor is gekozen, omdat als deze bijinschatting niet wordt meegenomen de berekende vracht voor de Schelde fors hoger ligt dan de gemeten vracht voor het referentie jaar. In Figuur 2.31 is stikstof emissie naar het oppervlakte water zoals berekend met twee verschillende modellen weergegeven. Deze figuur geeft aan dat er een hoge mate van onzekerheid aanwezig is in de geschatte landbouw stikstofemissies. Voor het JRC's Green Model lijkt de stikstof bijdrage vanuit het grondwater naar het oppervlaktewater (de groene balk in onderstaand figuur) niet te zijn meegenomen.

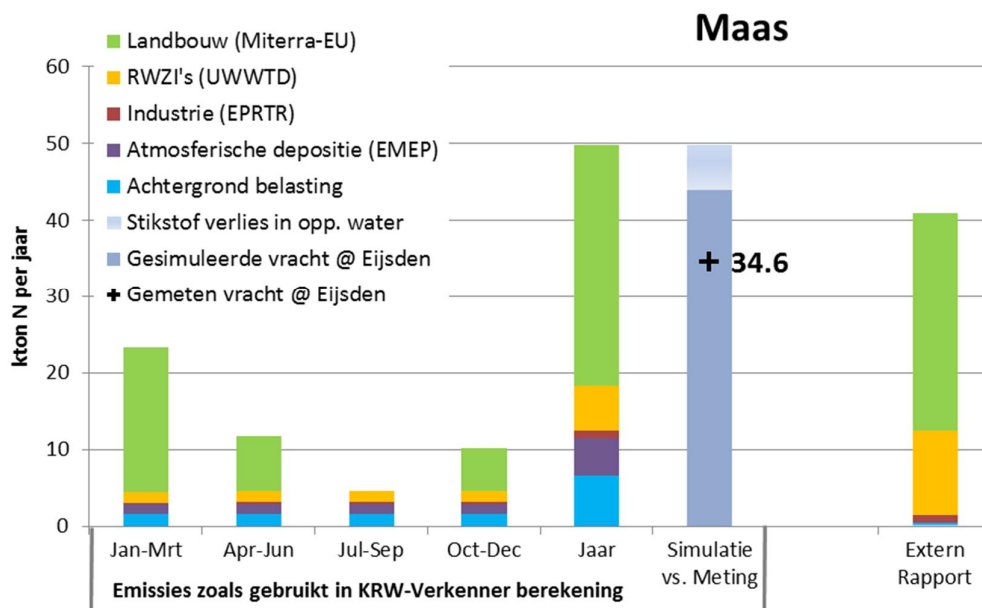


Figuur 2.31 Vergelijking van landbouw N-emissies naar het oppervlakte water zoals geschat met het MITERRA-EUROPE model (Alterra, 2012) en het JRC's GREEN model (Van den Roovaart et al. 2013) voor de buitenlandse delen van de vier stroomgebieden.

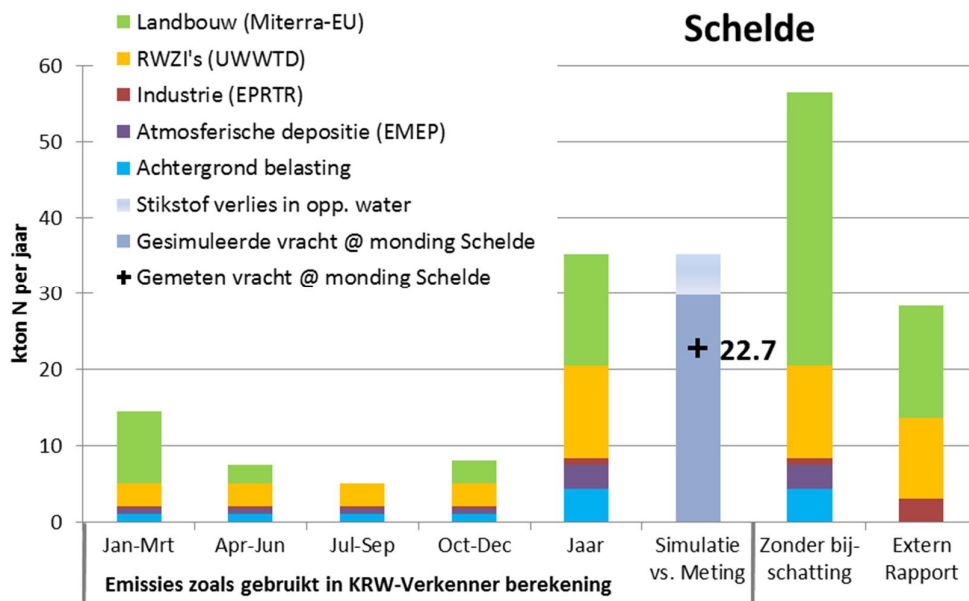
In onderstaande grafieken is per stroomgebied een overzicht gegeven van de stikstof emissies per kwartaal waarmee de KRW-Verkenner voor het referentiejaar 2008 is doorgerekend. Om de toegepaste N-emissies te kunnen vergelijken met emissies zoals gerapporteerd in externe brondocumenten (zie Tabel 2.9 t/m Tabel 2.12 en kolom "Extern Rapport" in onderstaande figuren) zijn de kwartaal emissies ook gesommeerd per jaar weergegeven (kolom "Jaar"). Ook is hierin de gesimuleerde en gemeten vracht weergegeven in de kolom "Simulatie versus Meting". De gemeten stikstofvrachten zijn gebaseerd op metingen bij Lobith (Rijn), Eijsden (Maas), monding Schelde (in de Schelde bij WGS84 Lat/Long coördinaten 53.32°, 7.254°), monding Eems (Eems bij WGS84 Lat/Long coördinaten 51.37°, 4.302°).



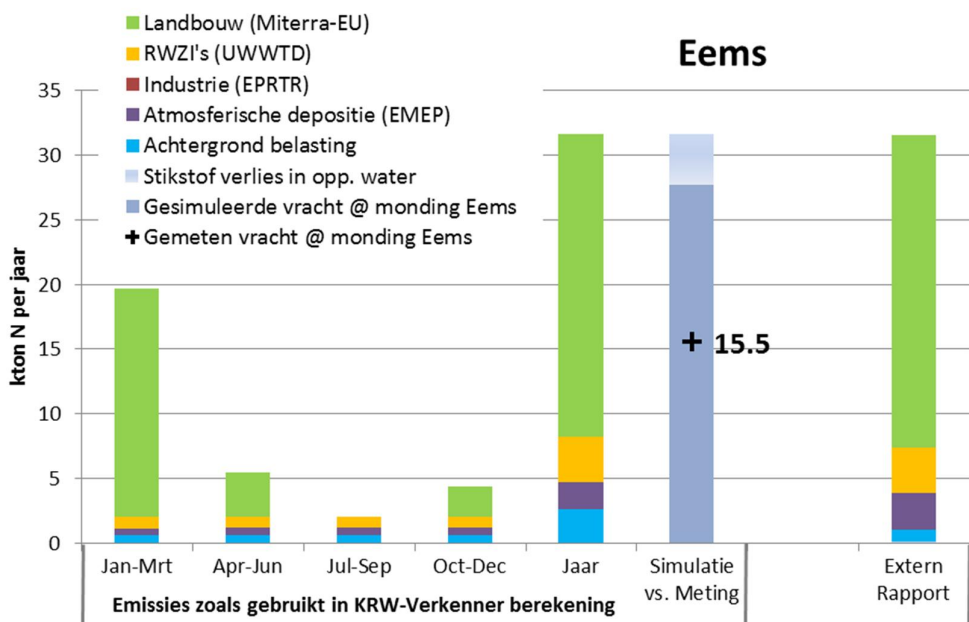
Figuur 2.32 Overzicht voor het buitenlandse deel van de Rijn van stikstof emissies per kwartaal (gekleurde staven) waarmee de KRW-Verkenner voor het referentiejaar 2008 is doorgerekend en de resulterende vracht bij het uitstroompunt donkergrijze staaf) ten opzichte van de gemeten vracht (+ teken). De laatste kolom geeft weer wat in externe rapportages aan emissies is gemeld, dit in vergelijking met de jaartotalen die het model in gaan.



Figuur 2.33 Overzicht voor het buitenlandse deel van de Maas van stikstof emissies per kwartaal (gekleurde staven) waarmee de KRW-Verkenner voor het referentiejaar 2008 is doorgerekend en de resulterende vracht bij het uitstroompunt (donkergrijze staaf) ten opzichte van de gemeten vracht (+ teken).



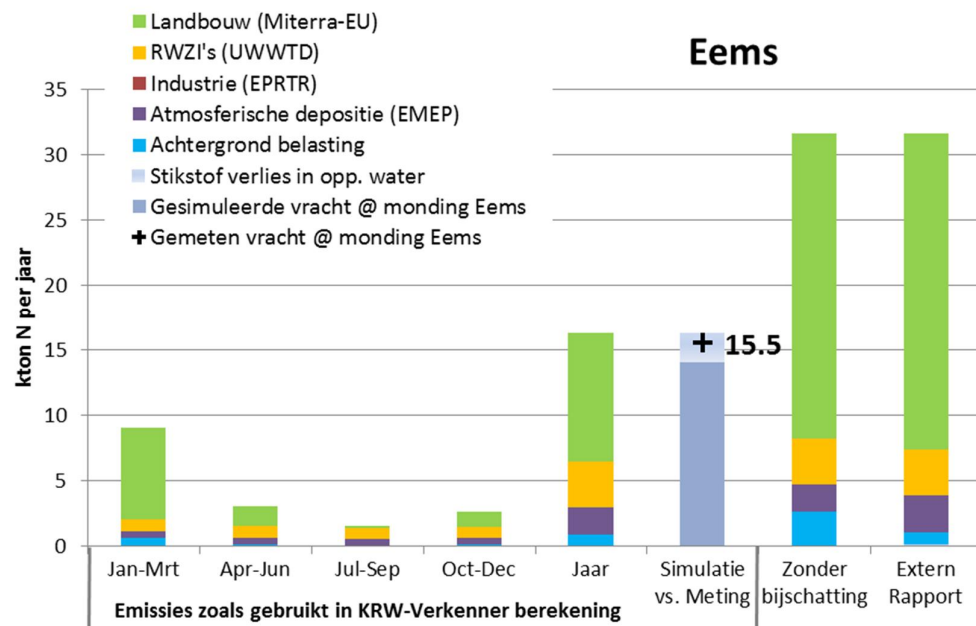
Figuur 2.34 Overzicht voor het buitenlandse deel van de Schelde van stikstof emissies per kwartaal (gekleurde staven) waarmee de KRW-Verkenner voor het referentiejaar 2008 is doorgerekend en de resulterende vracht bij het uitstroompunt (donkergrijze staaf) ten opzichte van de gemeten vracht (+ teken). De kolom "zonder bij-schatting" geeft de geschatte emissies weer waarin de landbouw emissie nog niet naar beneden is bijgeschaald naar de extern gerapporteerde landbouw emissie.



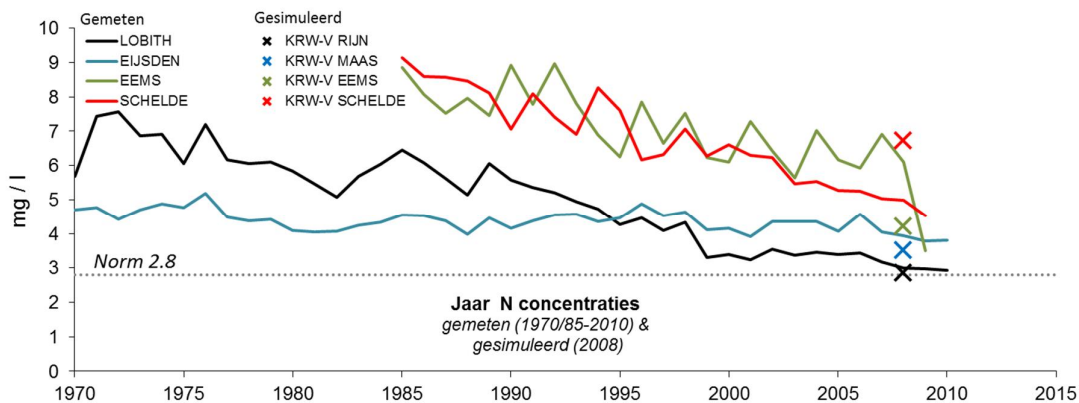
Figuur 2.35 Overzicht voor het buitenlandse deel van de Eems van stikstof emissies per kwartaal (gekleurde staven) waarmee de KRW-Verkenner voor het referentiejaar 2008 is doorgerekend en de resulterende vracht bij het uitstroompunt (donkergrijze staaf) ten opzichte van de gemeten vracht (+ teken).

Extra testsom voor de Eems met verlaagde diffuse bron emissies

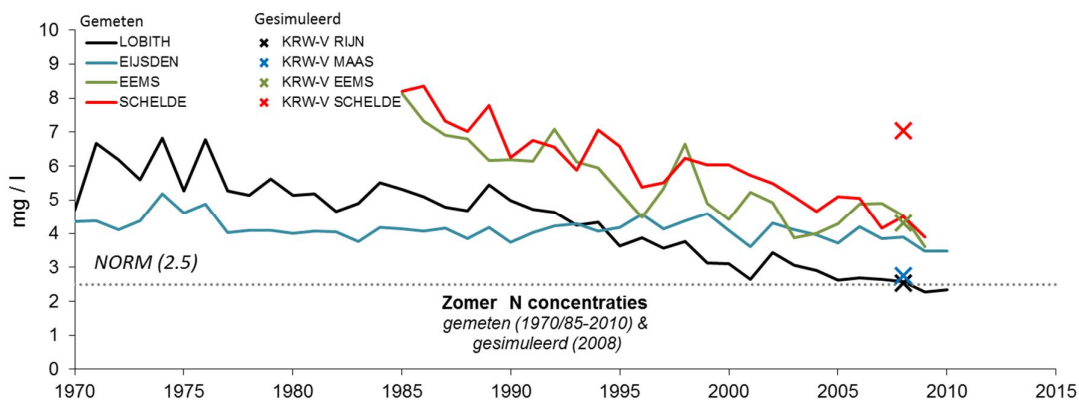
Om te onderzoeken wat het effect is van het verlagen van de stikstofbelasting uit de landbouw (de landbouwemissie is naar beneden bijgeschat met 58% (=13.6 kt/jaar) op basis van de emissie schattingen van het JRC's Green model) en de achtergrondbelasting (verlaging op basis van de externe rapportage met 1.7 kt/jaar) is een extra testsom doorgerekend voor het referentiejaar (Figuur 2.36). De testsom voor de Eems resulteert in een lagere vracht (14.1 kt/jaar ten opzichte van een gemeten vracht van 15.5 kt/jaar) en in een realistischer jaargemiddelde N-concentratie van 4.2 mg/l (zie Figuur 2.37) en zomergemiddelde N-concentratie van 4.3 mg/l (zie Figuur 2.38). De in de simulatie gebruikte jaarafvoer is 32% hoger dan de werkelijke afvoer, waardoor de jaargemiddelde concentratie nog iets wordt onderschat. Zonder de bijschatting van de emissies is de gesimuleerde KRW-Verkenner N-concentratie 8.2 mg/l (zie Figuur 4.4).



Figuur 2.36 Overzicht voor het buitenlandse deel van de Eems van stikstof emissies per kwartaal (gekleurde staven) waarmee de KRW-Verkenner voor het referentiejaar 2008 is doorgerekend en de resulterende vracht bij het uitstroompunt (donkergrijze staaf) ten opzichte van de gemeten vracht (+ teken), na bijschatting landbouw en achtergrond emissies.



Figuur 2.37 Overzicht van de jaargemiddelde stikstof concentraties voor de 4 stroomgebieden; gemeten voor de periode 1970/1985-2010 (doorgetrokken lijn) en gesimuleerd voor het jaar 2008 (kruis), waarin voor de Eems de landbouw emissies en achtergrond belasting zijn verlaagd.

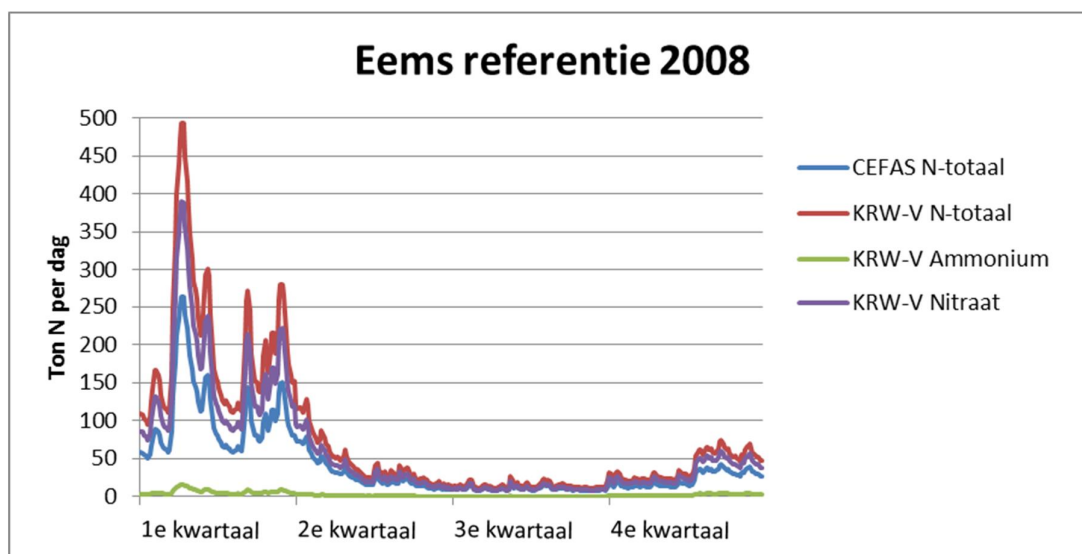


Figuur 2.38 Overzicht van de zomergemiddelde stikstof concentraties voor de 4 stroomgebieden; gemeten voor de periode 1970/1985-2010 (doorgetrokken lijn) en gesimuleerd voor het jaar 2008 (kruis), waarin voor de Eems de landbouw emissies en achtergrond belasting zijn verlaagd.

2.2.4 Koppeling met het Noordzee model

De landelijke KRW-Verkenner toepassingen is offline gekoppeld met het ZUNO3D-GEM model, de koppelpunten zijn in Figuur 2.27 met behulp van driehoekjes weergegeven.

Als onderdeel van de koppeling tussen de stroomgebiedsmodellen en het Noordzee model is een interpolatie methode voor de vertaling van kwartaal stikstofvrachten naar vrachten per decade gerealiseerd. Daarnaast is een conversiefunctie toegepast om totaal stikstof (uitkomst KRW-Verkenner) te verdelen in de stikstof fracties nitraat (NO_3) en ammonium (NH_4) die in ZUNO3D-GEM worden gebruikt. De interpolatie methode en de conversiefunctie zijn bepaald aan de hand van tijdreeksen van gemeten vrachten (CEFAS).



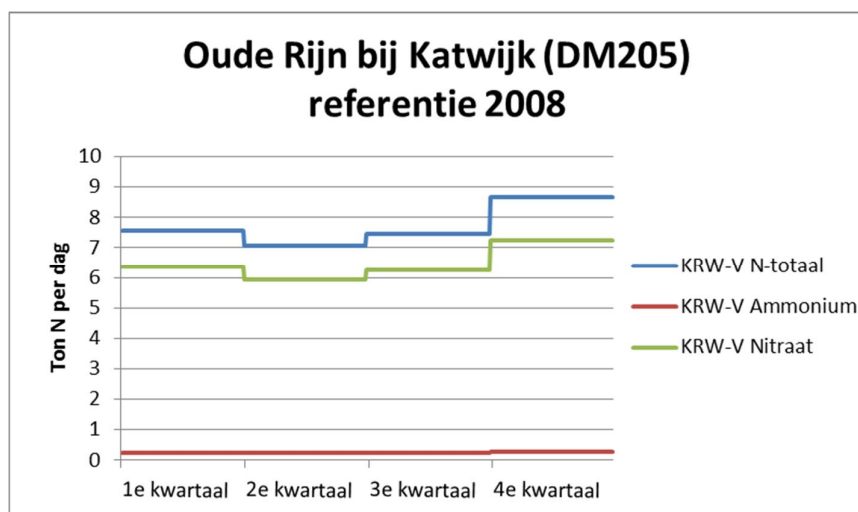
Figuur 2.39 Vrucht verdeling van de Eems voor het jaar 2008 waarin de resultaten uit de KRW-V geschaald zijn naar de CEFAS metingen van 2008.

De seizoens-trend van de twee N-fracties nitraat en ammonium is gebruikt om de vertaling te maken van N totalen naar nitraat en ammonium die in ZUNO3D-GEM worden gebruikt. Organische fracties worden in deze conversie niet meegenomen omdat deze N-fracties refractonair zijn en snel zullen sedimenteren en geen noemenswaardige rol spelen in de transport van stikstof naar de OSPAR gebieden. In Figuur 2.39 zijn de gemeten stikstof vrachten (CEFAS, totaal N) en de geschaalde vrachten uit de KRW-Verkenner (ammonium en nitraat) voor het uitstroompunt van de Eems als voorbeeld gegeven.

Voor de kleinere lozingspunten in Nederland (die gekoppeld zijn aan het Noordzee model, zie voorbeeld in Figuur 2.40) zijn geen meetgegevens in de CEFAS database beschikbaar. Voor deze locaties is de invoer voor het Noordzee model gelijk gehouden aan de kwartaal uitvoer van de KRW-verkenner. De verdeling NO_3/NH_4 is gemaakt op basis van de gemiddelde verhouding van de drie grootste stroomgebieden (zie Tabel 2.13).

Tabel 2.13 Gemiddelde (vrucht-gewogen) verdeling NO_3/NH_4 (2008).

	NO_3	NH_4	OrgN
Schelde	83.6%	4.0%	12.4%
Rijn	86.3%	2.3%	11.4%
Maas	87.4%	3.6%	9.0%
Gemiddeld	85.8%	3.3%	10.9%



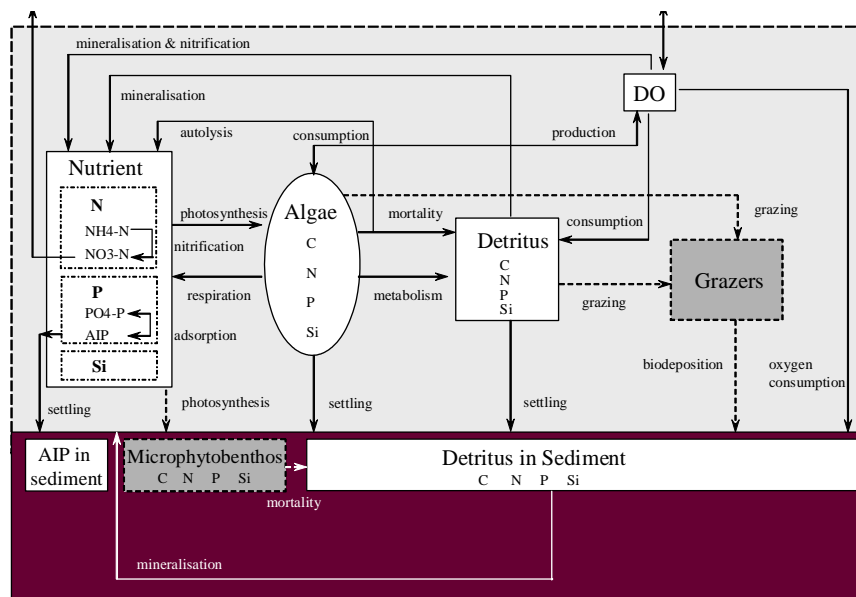
Figuur 2.40 Vracht verdeling over het jaar 2008 van de Oude Rijn bij Katwijk (DM205).

2.3 Noordzee model (ZUNO3D-GEM)

Delft3D-GEM/BLOOM berekent de concentraties van nutriënten (nitraat, ammonium, fosfaat, silicaat), opgelost zuurstof, zout, fytoplankton (diatomeeën, flagellaten, dinoflagellaten en *Phaeocystis*), en detritus (zowel de gemodelleerde algen als detritus hebben een variabele nutriënten-samenstelling). Het model houdt rekening met de volgende processen (Figuur 2.41):

- Opname van nutriënten door fytoplankton en microfytobenthos, wat resulteert in algengroei;
- respiratie en sterfte van fytoplankton, resulterend in de vorming van dood organisch materiaal (met een variabele verhouding van koolstof, stikstof, fosfaat en silicaat);
- afbraak van gesuspendeerd organisch materiaal, waarbij de afbraak snelheid afhangt van de stoichiometrie van het materiaal;
- afbraak van het organisch materiaal in het sediment, waarbij de vrijkomende inorganische nutriënten in de water kolom terecht komen;
- nitrificatie en denitrificatie;
- adsorptie en desorptie van fosfaat aan zwevend stof;
- sedimentatie, resuspensie, en begraving van algen, organisch materiaal, en geabsorbeerd fosfaat;
- extinctie van licht, door zwevend stof, organisch materiaal, algen, en humuszuren.

Deze processen zijn in detail beschreven in Blauw *et al.* (2008), Los *et al.* (2008) and Deltares (2013a). In de huidige opzet van het GEM model voor de Noordzee worden graas en microfytobenthos niet expliciet meegenomen. Modelforceringen bestaan uit de hydrodynamica, meteorologie (wind en instraling), nutriëntentoevoeren en slibconcentraties. De meegenomen slibconcentraties bestaan uit een cosinus functie die is gekalibreerd op modelresultaten waaraan korte-termijn wind-afhankelijke variatie is toegevoegd.



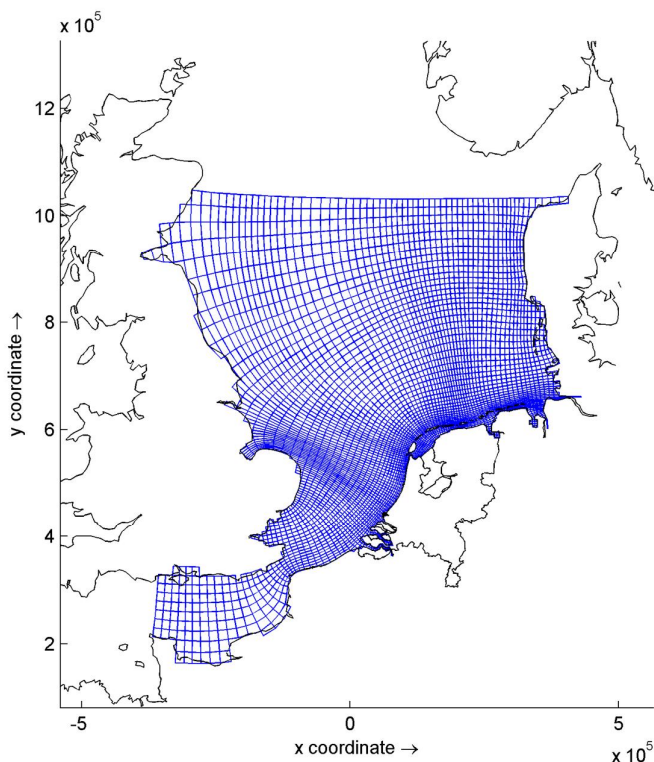
Figuur 2.41 Schematische weergave van de processen in GEM. Grize vlakken en gestreepte pijlen zijn niet meegenomen in de huidige opzet van het Noordzee-model.

2.3.1 Hydrodynamica

Het hydrodynamisch transport is afkomstig van Delft3D-FLOW berekeningen. Delft3D-FLOW is een multi-dimensionaal (2D of 3D) hydrodynamisch model, dat stromingen en transport berekent, gebaseerd op getijde- en meteorologische forceringen op een rectilinear of curvilinear grid. Processen en model-opzet worden beschreven in Deltares (2013b).

2.3.2 Modelgrid

Het model grid van het Delft3D-GEM/BLOOM voor de Noordzee is curvi-linear en bestaat uit 4350 horizontale segmenten (Figuur 2.42). Het model voor 2008 bestaat uit 12 verticale sigma lagen (met laagdiktes variërend van 4-11%). Het grid is variabel, met een resolutie die varieert van 1x1 km aan de Nederlandse kust tot 20x20 km bij de Noordwestelijke modelrand.



Figuur 2.42 Curvi-linear grid van het Noordzee model.

2.3.3 Nutriëntentoevoer

Nutriënten komen het systeem binnen via 85 rivieren, 2 open randen (Atlantische oceaan en het Kanaal), en via atmosferische depositie.

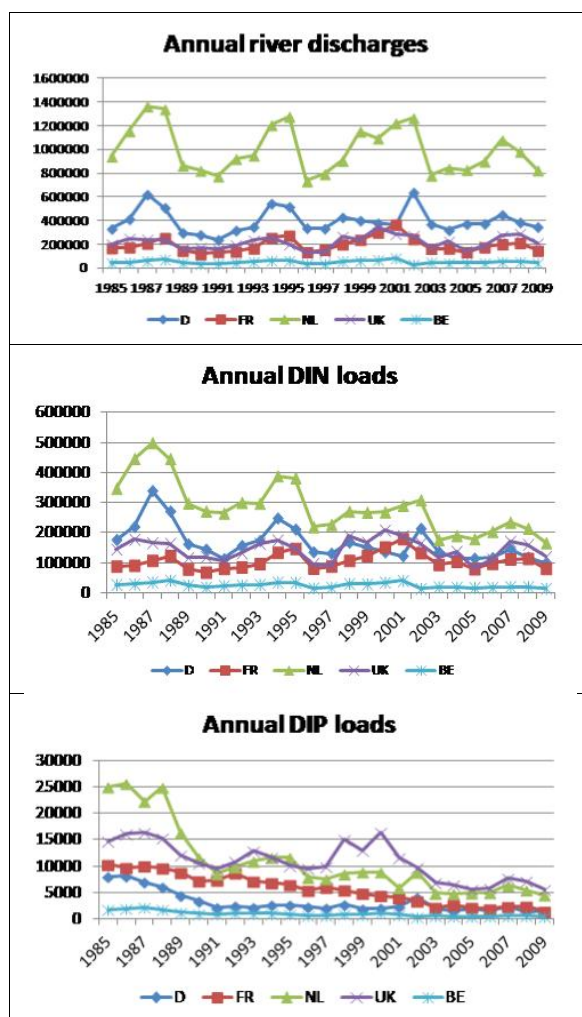
Rivieren

In het model loost elke rivier in een enkele gridcel, welke gelegen is aan de kust en in de bovenste waterlaag. Voor een overzicht van de lozingslocaties zoals deze zijn meegenomen in het standaard Noordzee-model, zie Figuur 2.25. De Nederlandse lozingspunten die in het standaard Noordzee-model meegenomen worden (zie Figuur 2.25) zijn: Rijn, Maas, Noordzeekanaal, en IJsselmeer (Schelde en Eems worden ook meegenomen, maar vallen in het standaard model geheel onder België en Duitsland). Speciaal voor deze studie zijn de Nederlandse lozingspunten aangepast en uitgebreid naar 18 lozingspunten (Tabel 2.6) om aan te kunnen sluiten bij de KRW-verkenner (zie Figuur 2.27).

De stikstofvrachten op de Nederlandse lozingspunten zijn afkomstig uit de KRW-Verkenner (zie hoofdstuk 2.22.2.4). De fosfaat-, en silicaat-vrachten op de Nederlandse lozingspunten, en alle nutriëntenvrachten op de overige lozingspunten, zijn echter onveranderd ten opzichte van het standaard GEM Noordzee-model en zijn grotendeels gebaseerd op data uit nationale databases. Deze databases zijn geharmoniseerd binnen de OSPAR-ICG EMO werkgroep, en zijn geformatteerd en gearhiveerd door Sonja van Leeuwen (CEFAS).

Figuur 2.43 toont de DIN en DIP vrachten en de rivierafvoeren sinds 1985 (figuren zijn afkomstig van H. Lenhart (pers. Comm. 2012) en zijn gebaseerd op de bovengenoemde CEFAS database). In onze standaard modelsommen worden een aantal aanpassingen gedaan ten opzichte van de internationaal afgestemde OSPAR-sommen Zo wordt er:

- een correctie uitgevoerd om onrealistische verschillen tussen totaal-fosfaat en ortho-fosfaat concentraties te corrigeren;
- een aantal extra nutriëntenvrachten meegenomen die niet in de CEFAS database staan. Dit gaat met name om detritus afkomstig van het IJsselmeer (welke wordt gebaseerd op data uit www.waterbase.nl).
- een aantal extra nutriëntenvrachten meegenomen die wel in de CEFAS-database staan maar die niet in de OSPAR-berekeningen worden meegenomen. Dit zijn o.a. een aantal directe lozingen afkomstig van de UK.



Figuur 2.43 De jaarlijkse rivierafvoeren(a), DIN (b) and DIP (c) vrachten per land zoals gedocumenteerd in de CEFAS database (pers. comm. Lenhart, 2012) die gebruikt zijn in de standaard-som (waarin geen KRW-Verkenner resultaten zijn gebruikt). De stikstofvracht van de Schelde valt onder België (BE) en van de Eems onder Duitsland (D).

Modelranden

De Atlantische modelrand bestaat uit alle meest Noordelijk gelegen modelsegmenten; de Kanaalrand bestaat uit alle modelsegmenten aan de Zuidwestelijke modelrand. Nutriëntenconcentraties op de Kanaalrand zijn gebaseerd op metingen door Laane et al. (1993, 1996); Brion et al. (2004); Bot et al. (1996); Bentley et al. (1999) en Radach et al. (1996). Concentraties op de Atlantische rand zijn gebaseerd op metingen door Pätch et al. (1997), Bot et al. (1996), Brockmann et al. (2002), en NERC (1991), Radach et al. (1996). Voor een overzicht, zie Meuwese (2007).

Atmosferische depositie

Atmosferische depositie vindt plaats over het gehele modeloppervlak, en wordt meegenomen als een ruimtelijke en temporele forcering. Enkel de atmosferische depositie van stikstof wordt meegenomen. De forcering bestaat uit maandelijks deposities van stikstof (in mg/m²) in geoxideerde en gereduceerde vormen, welke respectievelijk bijdragen aan de concentraties van nitraat en ammonium. De gebruikte data zijn gebaseerd op atmosferisch-chemische transport model-experimenten zoals gerapporteerd door Bartnicki en Valiyaveetil (2008); voor meer details, zie Troost *et al.* (2013).

2.3.4 Initiele waarden

De standaardmodelsom voor 2008 is onderdeel uit een meerjarige serie modelsommen (2003 t/m 2008). De initiële waarden van het model zijn dus het resultaat van de voorgaande jaren, en het model is daarmee goed ingespeeld. De bijbehorende modelresultaten kunnen dus rechtstreeks worden gebruikt om het model te valideren. Om de referentiesom (op basis van de KRW-verkenner-vrachten) te kunnen vergelijken met het standaardmodel, worden deze zelfde initiële waarden gebruikt.

Bij de scenario-sommen worden ook dezelfde initiele waarden gebruikt. Echter, nu wordt het model niet één keer, maar twee keer achter elkaar gedraaid. Deze 're-runs' zijn in vrijwel alle opzichten gelijk aan de oorspronkelijke sommen, met het verschil dat de oorspronkelijke initiele waarden in de re-run vervangen zijn door de eindwaarden van de eerste som. Dit wordt gedaan om er voor te zorgen dat het model goed is ingespeeld, d.w.z. dat de effecten van de genomen maatregelen voldoende tijd krijgen om tot hun recht te komen. Om een eerlijke vergelijking te kunnen maken tussen de scenario's en de referentie-som, wordt ook de referentiesom twee keer achter elkaar gedraaid.

2.3.5 Validatie en verschillen met het standaard model

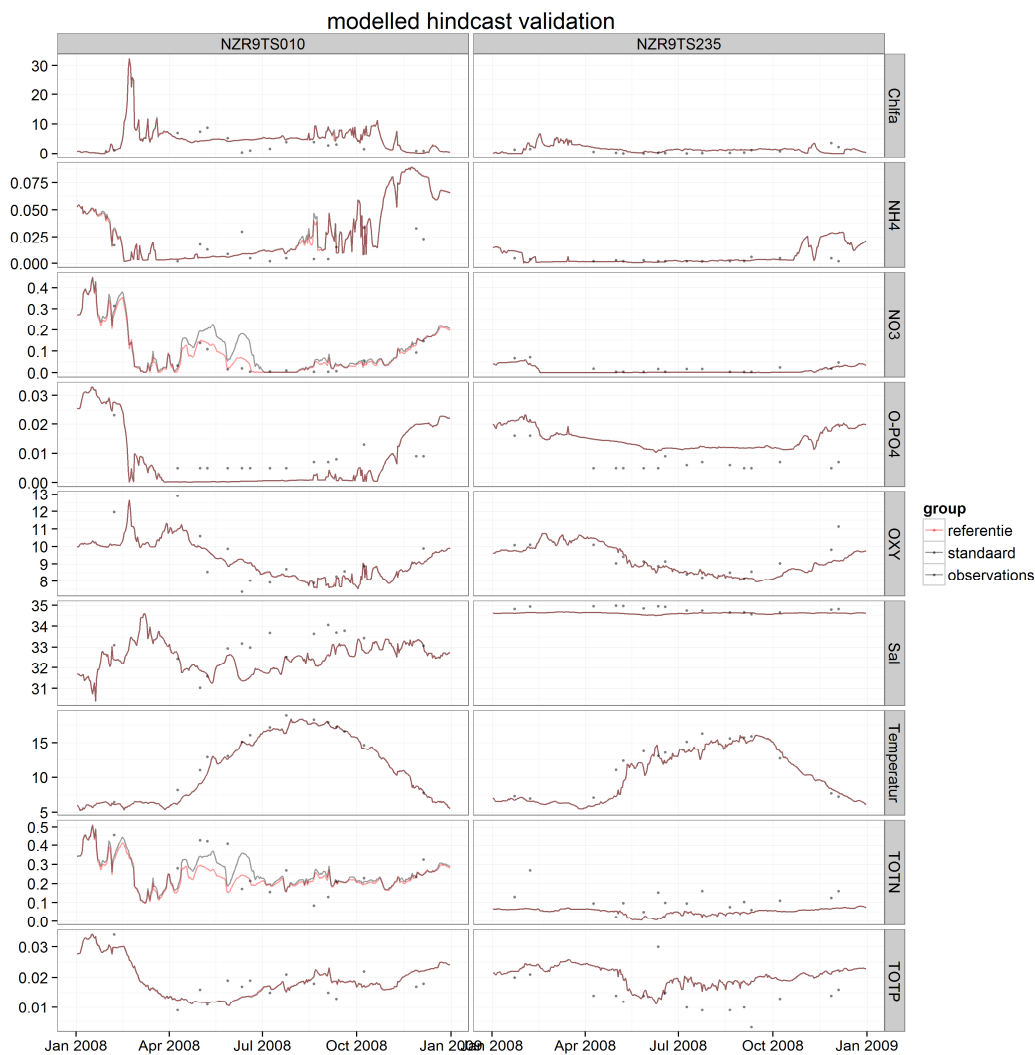
Over de jaren heen is het standaard Delft3D-GEM/BLOOM voor de Noordzee uitgebreid en grondig gevalideerd. Dit is met name gebeurd door modelresultaten te vergelijken met in situ metingen van chlorofyl en nutriëntenconcentraties, op basis van grafische inspecties van tijdseries, 'goodness of fit' kostenfuncties (Villars et al., 1998) en targetdiagrammen (Jolliff et al., 2008); over het algemeen geeft het model de seizoenspatronen, gemiddelde waarden, en de variatie in metingen goed weer (zie Los and Wijsman (2007), Los et al. (2008), en Los en Blaas (2010)). Verder is er in een inter-model vergelijking aangetoond dat het modelgedrag in lijn is met dat van andere biogeochemische flux modellen, zowel wat betreft het gedrag onder standaardcondities als de respons op veranderingen (Lenhart et al., 2010).

Om een indruk te geven van de goodness of fit van het standaardmodel worden een aantal tijdseries getoond op twee locaties op de Noordwijk-raai (Noordwijk 10 en Noordwijk 70, in Figuur 2.44), en in twee locaties op de Terschelling-raai (Terschelling 10 en Terschelling 235, Figuur 2.45). Voor een vollediger beeld geeft Figuur 2.46 een overzicht van de goodness of fit in alle MWTL-locaties door middel van target-diagrammen. In het target diagram staat de "genormaliseerde unbiased root mean square difference" (RMSD*) op de x-as, wat de over- of onderschatting van de variabiliteit van het model in vergelijking tot de meetdata toont. Op de y-as staat het genormaliseerde verschil tussen de gemiddelde concentratie van meet- en model data (bias, B*), wat iets zegt over de over- of ondervoorspelling van het model ten opzichte van de meetdata. Positieve waarden betekenen een overschatting, negatieve waarden een onderschatting. Alle punten binnen de getrokken cirkel (diameter=1) krijgen het predicaat 'redelijk', alle punten binnen een cirkel met diameter 0.67 krijgen het predicaat 'goed'. Meer informatie hierover is terug te vinden in Jolliff et al (2009) en Los en Blaas (2010).

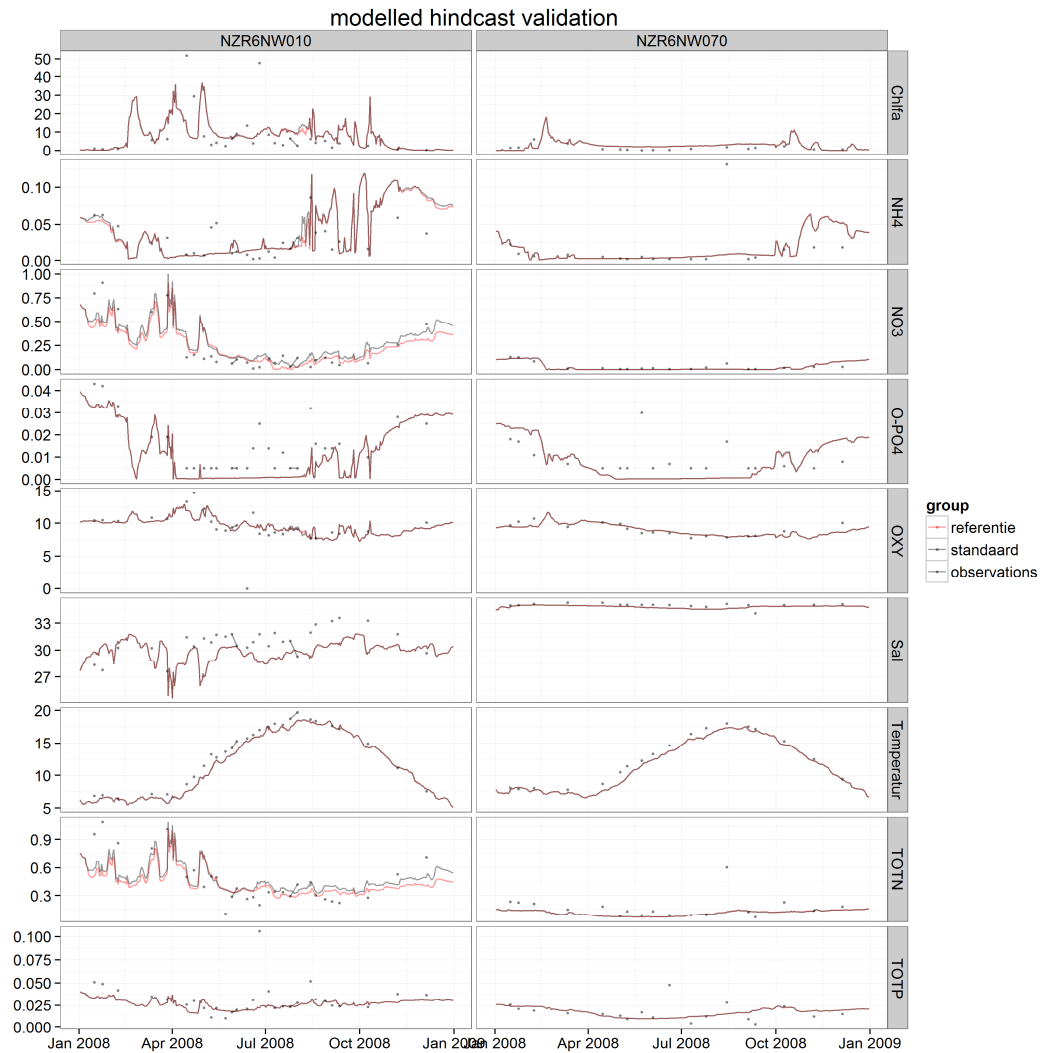
Figuren 2.41, 2.42, en 2.43 laten zien dat de gemodelleerde nutriëntenconcentraties op basis van het standaardmodel in de meeste MWTL locaties redelijk tot goed overeenkomen met de metingen. Daarbij komt met name de gemodelleerde variabiliteit goed overeen met de variabiliteit in de metingen; de gemiddelde waarden zijn in sommige locaties iets te hoog en in andere locaties iets te laag, maar daarin zijn geen patronen te vinden (dwz het model laat geen raaien of gebieden zien met een structurele over- of onderschatting). In de onderliggende studie is echter niet het standaard Delft3D-GEM model voor de Noordzee gebruikt (met daarin de CEFAS-vrachten), maar zijn de stikstoflozingen in de Nederlandse lozingspunten gebaseerd op de resultaten van de KRW-verkenner (hierna noemen we dit de referentie-som). Figuren 2.41 en 2.42 geven een vergelijking tussen een aantal modelresultaten van de standaard-som en de referentie-som in het viertal eerdergenoemde MWTL-locaties. Figuur 2.48 geeft de stikstof en chlorofylconcentraties weer in alle KRW- en OSPAR-gebieden. Figuur 2.47 toont de target diagrammen voor stikstof-gerelateerde concentraties van de referentie-som. De targetdiagrammen voor de overige stoffen worden hier niet getoond, want ze zijn (vrijwel of geheel) gelijk aan de standaardsom.

Figuur 2.48 laat zien dat de stikstofconcentraties in de Eems Dollard en Westerschelde hoger liggen in de referentie-som dan in de standaard-som, terwijl de concentraties in de Waddenzee lager liggen. Dit komt doordat de gemodelleerde nutriëntenvrachten van Eems en Schelde die in de referentierun worden gebruikt, veel groter zijn dan de gemeten vrachten die in de standaardsom worden gebruikt.

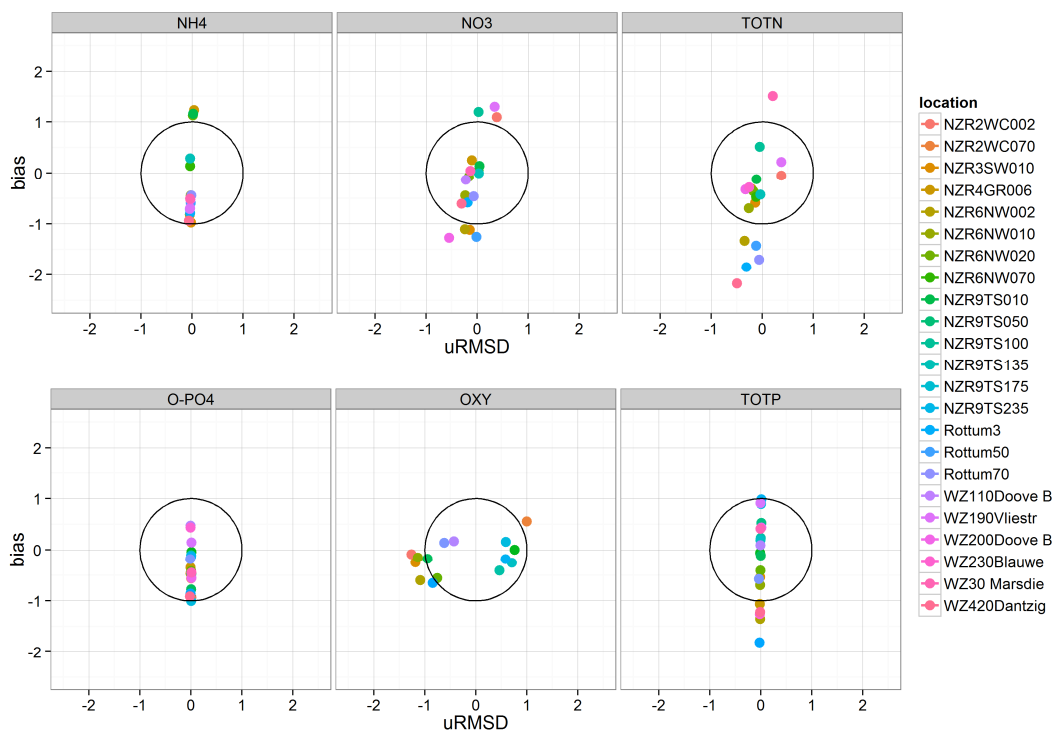
Figuur 2.48 laat zien dat er in sommige gebieden grote verschillen bestaan tussen de standaard-som en de referentie-som, komt dit veel minder tot uiting in de targetdiagrammen in Figuur 2.47. Dit komt omdat de gebruikte MWTL-locaties met name langs de kust liggen, waar de verschillen tussen de beide sommen niet erg groot zijn. Blijkbaar geven de twee modellen voor deze kustgebieden zeer vergelijkbare resultaten met een vergelijkbare goodness of fit.



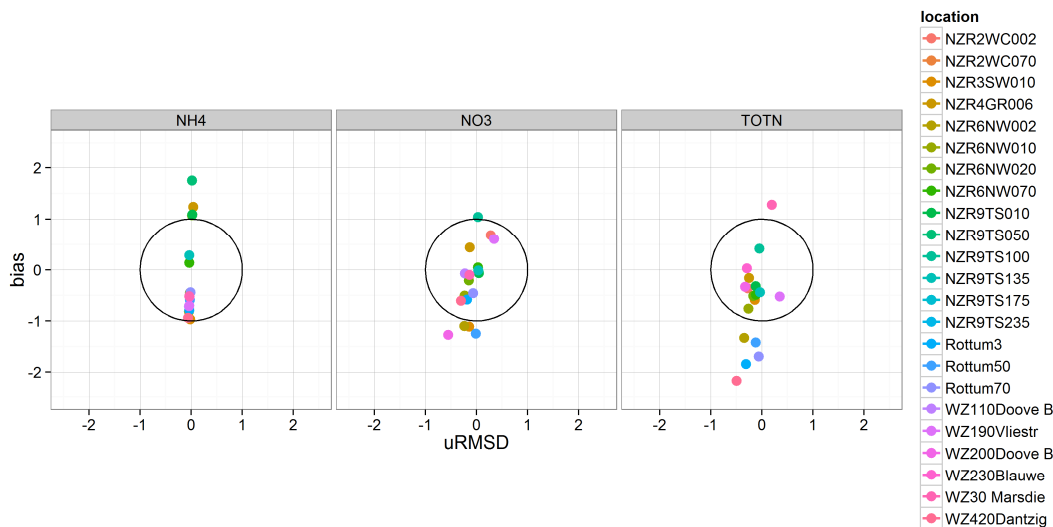
Figuur 2.44 Vergelijking tussen gemeten waarden (punten) en gemodelleerde tijdseries (lijnen) afkomstig van de standaard-som (op basis van CEFAS vrachten, zwarte lijnen) en van de referentie-som (op basis van KRW-Verkenner vrachten, rode lijnen) in Terschelling 10 (linker paneel) en Terschelling 235 (rechter paneel).



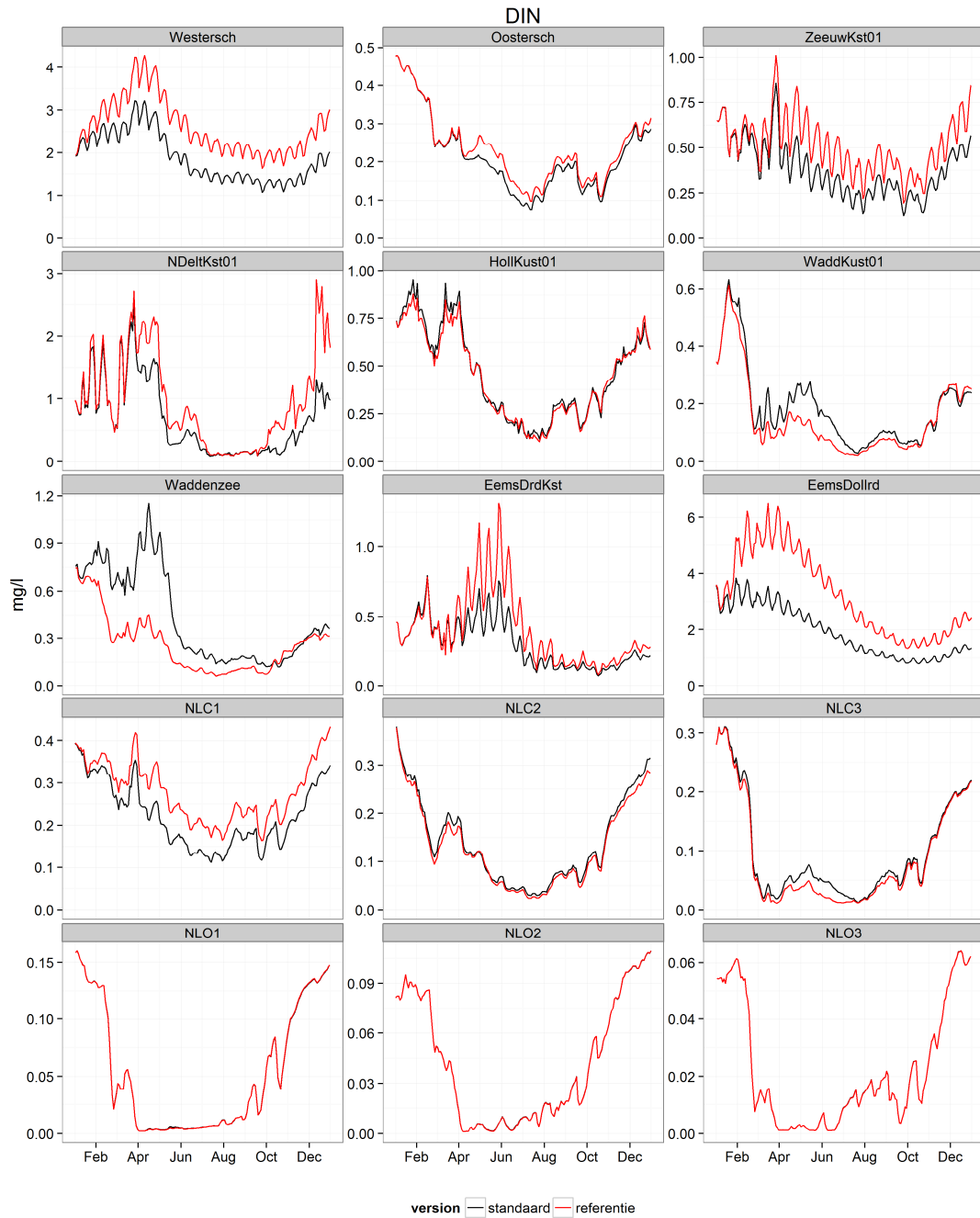
Figuur 2.45 Vergelijking tussen gemeten waarden (punten) en gemodelleerde tijdseries (lijnen) afkomstig van de standaard-som (op basis van CEFAS vrachten, zwarte lijnen) en van de referentie-som (op basis van KRW-Verkenner vrachten, rode lijnen) in Noordwijk 10 (linker paneel) en Noordwijk 70 (rechter paneel).



Figuur 2.46 Targetdiagrammen voor modelresultaten in de MWTL-locaties van het standaard Delft3D-GEM model voor de Noordzee.



Figuur 2.47 Targetdiagrammen voor stikstofconcentraties van het Delft3D-GEM model voor de Noordzee, waarbij de stikstoflozingen in de Nederlandse lozingspunten zijn gebaseerd op de resultaten van de KRW-verkenner.



Figuur 2.48 Gemodelleerde stikstofconcentraties(DIN) in de OSPAR- en KRW-gebieden op basis van gemeten stikstofvrachten (in de standaard som van het Noordzee model, zwarte lijnen) en op basis van gemodelleerde stikstofvrachten uit de KRW-verkenner (in de referentiesom, rode lijnen).

3 Scenario's

Voor een doorkijk naar het jaar 2015 zijn voor de stroomgebieden Rijn, Maas, Schelde en Eems drie stikstofemissie scenario's gedefinieerd waarin de belasting vanuit de diffuse bronnen en puntbronnen zijn gereduceerd. Voor scenario 1 is alleen de landbouwemissie gereduceerd, voor scenario 2 zijn zowel de diffuse bronnen als de puntbronnen gereduceerd en scenario 3 is het scenario met de sterkste afname in N emissies voor de puntbronnen en diffuse bronnen.

Tevens is voor elk scenario (inclusief het referentie jaar) een aparte emissiedataset doorgerekend, hierna te noemen de "plus scenario's" (scenario+ in de grafieken). In deze emissiedataset zijn alle emissiebronnen met een percentage verhoogd (landbouw met 11.5% en de overige bronnen met 5%). De verhoging kan gezien worden als een soort gevoeligheidsanalyse voor de onzekerheid van de gerapporteerde emissieschattingen. De plus scenario's zijn als volgt gedefinieerd:

scenario+ ten opzichte van de referentie som zijn de emissies verhoogd naar een 'maximum' schatting van de emissies om de onzekerheid in emissiedata mee te nemen en is de retentie in de rivier verlaagd om de onzekerheid in de modelaannames omtrent retentie in de rivier mee te nemen.

3.1 Emissies afkomstig uit de landbouw sector

Als gevolg van een verwachte afname in landbouwareaal en een toename in gewasopbrengst zal de af- en uitspoeling van stikstof vanuit landbouwgebieden dalen zonder dat er extra maatregelen genomen worden (BAU; business as usual, gelijkblijvende implementatie graad van de NiD maatregelen zoals bekend in 2008). Maatregelen op basis van de Nitraat Richtlijn (NiD), het vigerende nitraatactieprogramma (NAP4), zijn meegenomen in de emissiereductie scenario's voor landbouw. Voor scenario 2 is een aanvullende implementatie van NiD maatregelen (bovenop de geïmplementeerde maatregelen op het niveau van 2008) zoals een limitatie van bemesting in de winter en tijdens natte periodes, voor scenario 3 is gerekend met een complete implementatie van de NiD maatregelen pakket inclusief een gebalanceerde N bemesting (details over de meegenomen maatregelen staan beschreven in het rapport van Alterra (2012). De door MITERRA-EUROPE berekende vrachten voor de verschillende scenario's zijn rechtstreeks gebruikt in KRW-Verkenner applicaties voor de Rijn, Maas, Schelde en Eems. De reductiepercentages ten opzichte van het referentiejaar 2008 voor deze verschillende scenario's zijn op basis van de MITERRA-EUROPE resultaten bepaald voor alle vier de buitenlandse delen van de stroomgebieden en apart voor het Nederlandse deel. Het reductiepercentage voor het Nederlandse deel is toegepast op de landbouwemissies zoals berekend met het STONE model. De reductiepercentages voor het jaar 2015 (ten opzichte van 2008) staan vermeld in Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Overzicht van de stikstofreductie scenario's voor landbouw emissies. De percentages geven de verwachte afname in N emissies naar het oppervlaktewater weer voor de buitenlandse delen van de stroomgebieden (Rijn, Maas, Schelde, Eems) en het Nederlandse deel (NL).

Landbouw		<i>Rijn</i>	<i>Maas</i>	<i>Schelde</i>	<i>Eems</i>	<i>NL</i>
scenario1	BAU	28.6%	21%	18.5%	21%	16%
scenario2	NiD maatregelen	30.6%	24.7%	21%	24.8%	21%
scenario3	NiD maatregelen + gebalanceerde N bemesting	34%	35.2%	37.8%	41.4%	35%

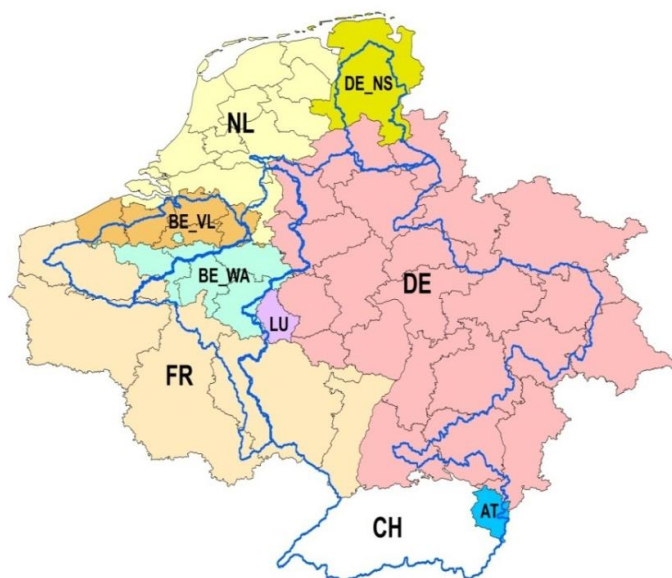
3.2 Emissies afkomstig uit puntbronnen (Industrie en RWZI's)

De scenario's voor emissies afkomstig uit puntbronnen zijn gebaseerd op veranderende zuiveringsrendementen. Er is voor de scenario's geen onderscheid gemaakt tussen de stikstof lozingen afkomstig RWZI die zijn aangesloten op huishoudens en de industriële sector. Voor de sector industrie zijn dezelfde stikstofreductiemaatregelen gebruikt als voor de RWZI's, waarbij we er van uit zijn gegaan dat de industriële bedrijven elk hun eigen zuiveringinstallatie hebben die vergelijkbare zuiveringsrendement hebben als de RWZI's.

In Tabel 3.2 staat een algemene beschrijving van de drie scenario's en in Tabel 3.3 staan de daadwerkelijk gebruikte zuiveringsrendementen voor elk scenario weergegeven. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen verschillende regio's (Figuur 3.1).

Tabel 3.2 Beschrijving van de stikstofreductie scenario's voor puntbron emissies.

Puntbron	<i>Alle stroomgebieden, onderscheid per regio (zie Figuur 3.1)</i>
scenario1	Identiek als het referentie jaar (ongewijzigd zuiveringsrendement)
scenario2	Toename zuiveringsrendement met 5% (indien het zuiveringsrendement voor het referentie jaar lager is dan 70%, is een rendement van 75% gebruikt voor dit scenario; idem voor een zuiveringsrendement groter dan 90% in het referentiejaar is een rendement van 95% gebruikt.
scenario3	Toename zuiveringsrendement dat resulteert in de halvering van het resterende effluent zoals berekend voor het referentie jaar (indien het zuiveringsrendement voor het referentie jaar lager is dan 60% is een zuiveringsrendement van minimaal 80% gebruikt)



Figuur 3.1 Regio's (gekleurde vlakken) waarvoor onderscheid gemaakt is in zuiveringsrendementen, ook zijn de stroomgebiedsgrenzen weergegeven (blauwe lijn).

De zuiveringsrendementen voor het referentiejaar 2008 (ook gebruikt voor scenario 1) zijn geschat op basis van zuiveringstype en zuiveringsrendementen voor stikstof per zuiveringstype:

- ~20% (primair)
- ~55% (secundair)
- ~78% (tertiair)

De zuiveringsrendementen voor de drie zuiveringstypes primair, secundair en tertiair zijn geschat aan de hand van RWZI gegevens waarvoor zowel zuiveringstype en zuiveringsrendement gerapporteerd zijn.

Tabel 3.3 Gebruikte zuiveringsrendementen per scenario per regio.

	Zuiveringsrendement		
	Referentie Jaar & Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3
NL*	~81%	81	81
DE/NS	~92%	95	96
DE	~82%	87	91
BE_VL	~78%	83	89
BE_WA	~56%	75	80
LU	~66%	75	83
FR	~74%	79	87
CH	~52%	75	80
AT	~78%	83	89

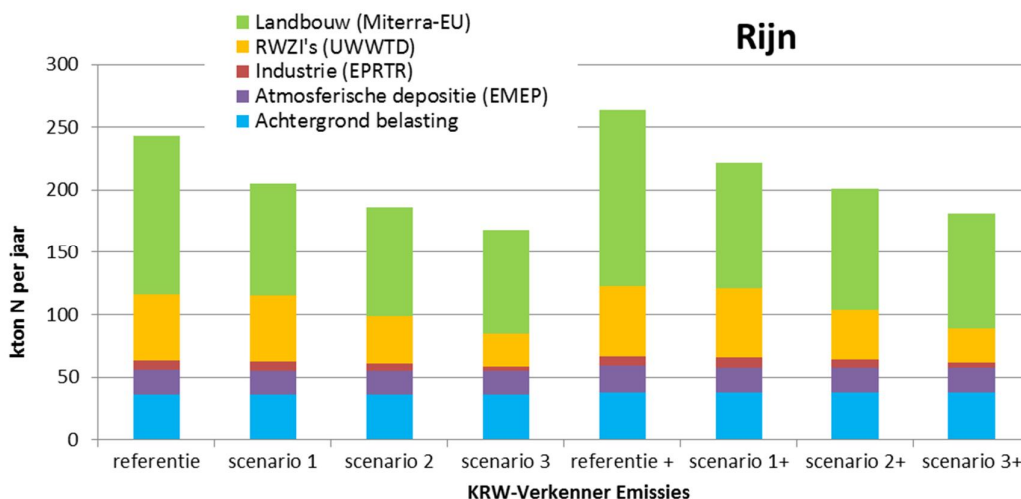
*In tegenstelling tot de zuiveringsrendementen voor het buitenland voor scenario 2 en scenario 3, zijn deze voor Nederland in de huidige simulatie gelijk gehouden aan de zuiveringsrendementen van het referentie jaar

3.3 Overige stikstof emissies

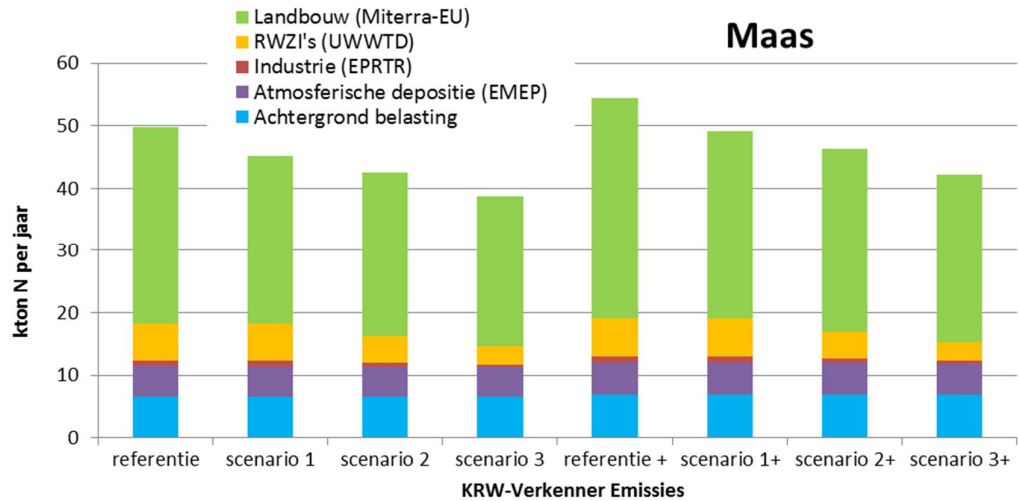
Naast de reductie van N belasting uit de sectoren landbouw, huishoudens (RWZI's) en industrie is alleen de atmosferische N depositie aangepast voor de scenario's. De EMEP kaarten die hiervoor zijn gebruikt, zijn ook toegepast in het MITERRA-EUROPE model voor de berekening van de landbouw emissies. De achtergrond N belasting is constant gehouden voor alle scenario's evenals de randen op de Noordzee die niet gevoed worden door de KRW-Verkenner.

3.4 Overzicht van stikstofemissie reductiescenario's

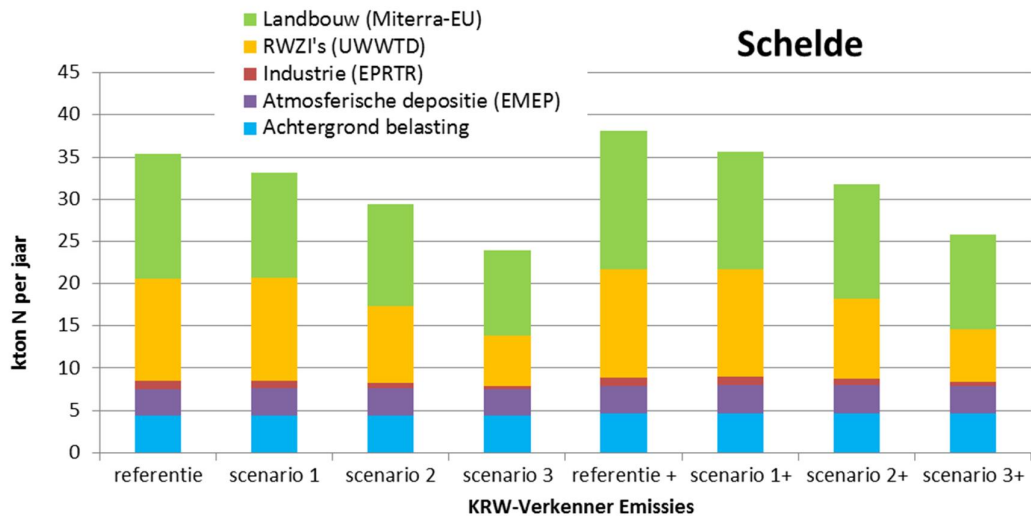
In figuren (Figuur 3.2 t/m Figuur 3.6) zijn de stikstofemissies getoond zoals deze zijn gebruikt voor de verschillende scenario sommen die gebruikt zijn als invoer voor de KRW-Verkenner berekeningen. Hierin zijn ook de stikstofemissies voor het referentie jaar 2008 weergegeven ter vergelijking.



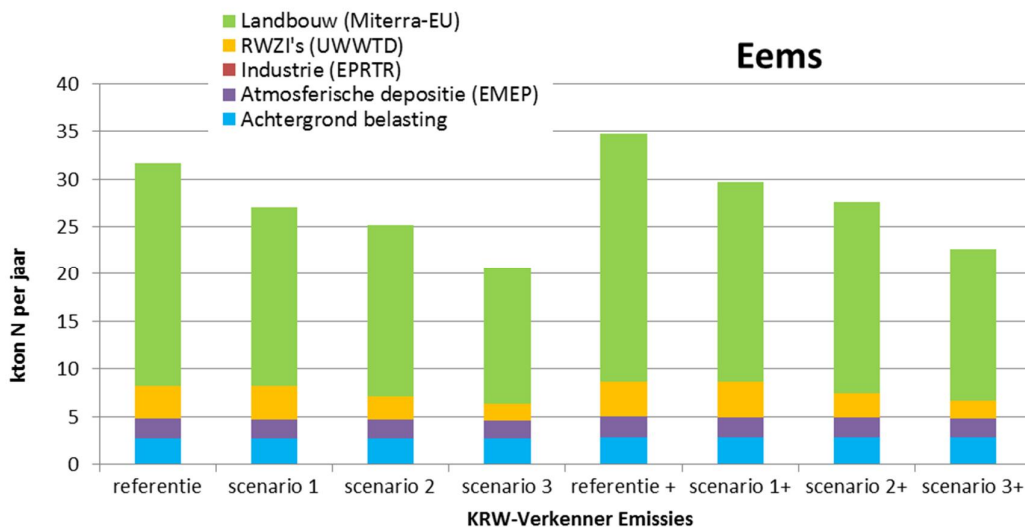
Figuur 3.2 Overzicht van de emissies zoals toegepast voor de verschillende scenario's voor het buitenlandse deel van de Rijn.



Figuur 3.3 Overzicht van de emissies zoals toegepast voor de verschillende scenario's voor het buitenlandse deel van de Maas.



Figuur 3.4 Overzicht van de emissies zoals toegepast voor de verschillende scenario's voor het buitenlandse deel van de Schelde.



Figuur 3.5 Overzicht van de emissies zoals toegepast voor de verschillende scenario's voor het buitenlandse deel van de Eems.

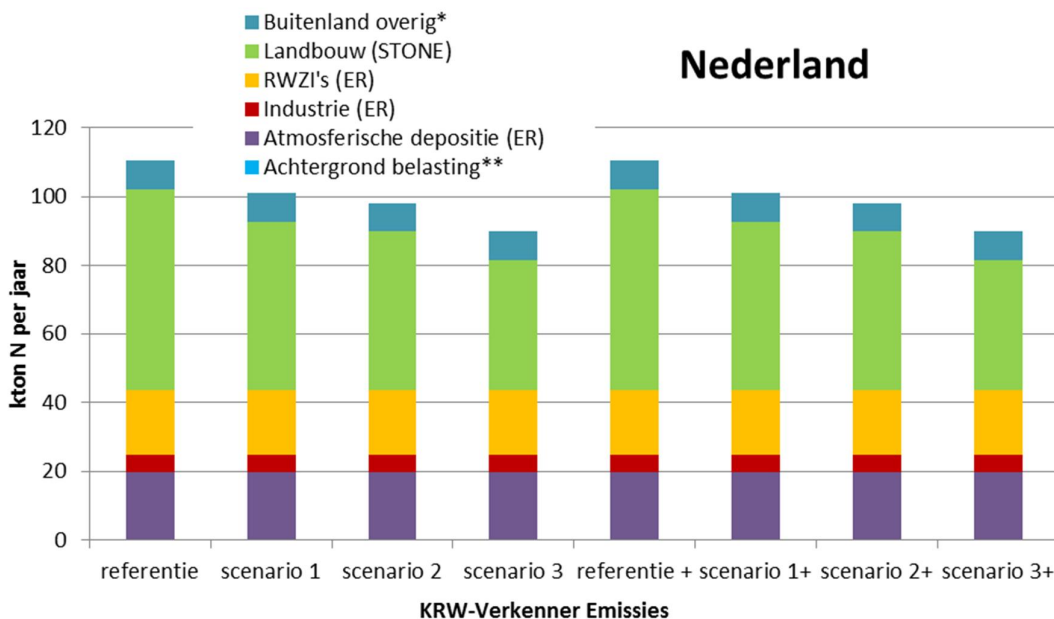


Figure 3.6 Overzicht van de emissies in Nederland (het totaal van emissies in de Nederlandse delen van de vier stroomgebieden).

*buitenland overig zijn de vrachten uit het buitenland voor de kleine wateren die niet in de KRW-Verkenner voor de Rijn (bovenstrooms Lobith) en de Maas (bovenstrooms Eijsden) zijn meegenomen, maar in de KRW-Verkenner voor het NL deel;

**achtergrond belasting is geen aparte post in de EmissieRegistratie database

Voor Nederland zijn in de huidige simulaties de belastingen vanuit puntbronnen voor de scenario's gelijk gehouden aan het referentie jaar (zie Figuur 3.6 en Tabel 3.3), dit in tegenstelling tot de buitenlandse delen van het stroomgebied voor scenario 2 en scenario 3 (zie Figuur 3.2 t/m Figuur 3.5). Als we ook voor Nederland rekenen met een gereduceerde N belasting vanuit industrie en RWZI's (als gevolg van een verhoogd zuiveringsrendement (86% voor scenario 2 en 91 voor scenario 3), dan is het effect op de totale N vracht naar de Noordzee een extra afname van 2% voor beide scenario's. Als we alleen kijken naar de afname van de stikstofvrachten vanuit de stroomgebieden Rijn en Maas, waarvan een groter aandeel afkomstig is uit Nederland, dan ligt het percentage, 4% afname, iets hoger.

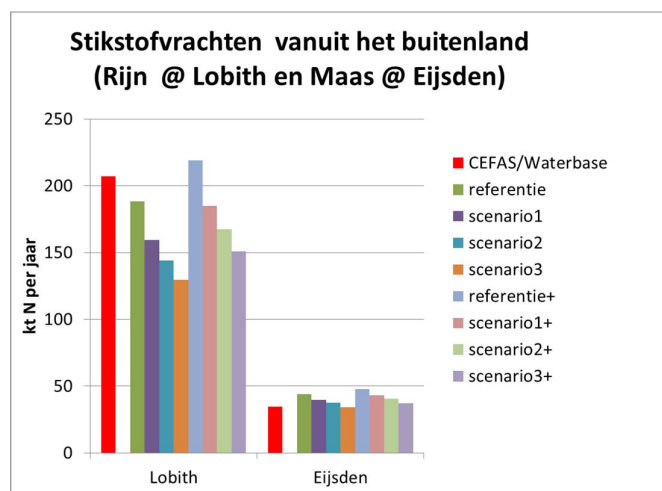
4 Resultaten

4.1 Rivieren

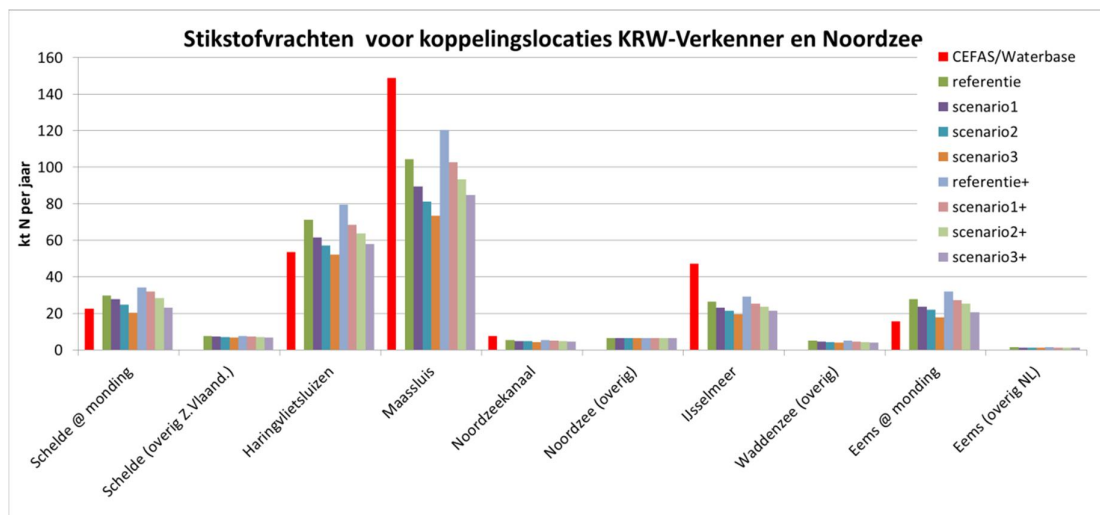
Er zijn in totaal acht modelsimulaties gedraaid, 2 referentie sommen voor het jaar 2008 (“referentie” en “referentie plus”) en twee keer 3 scenario’s voor het jaar 2015 (de standaard scenario’s en de “plus scenario’s”). De “referentie plus” som en de “plus scenario” sommen wijken af van de reguliere referentie en scenario sommen doordat er hogere emissies zijn toegepast in combinatie met een lagere afbraaksnelheid in het oppervlakte water. De “plus scenario’s” zullen daarom altijd een hogere vracht opleveren dan de reguliere scenario’s.

4.1.1 Referentie-som

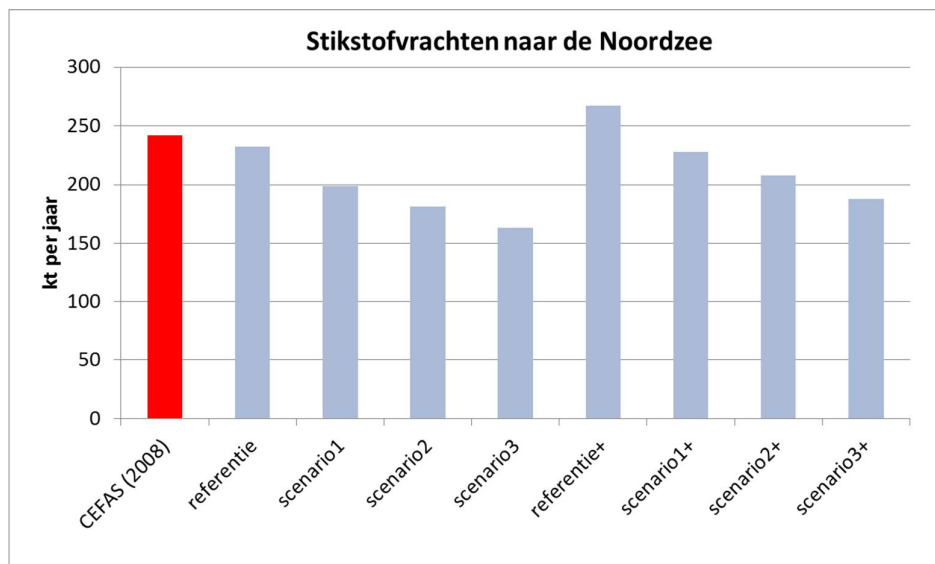
Voor het referentiejaar 2008 is de gesimuleerde N vracht voor de aanvoer vanuit de grote rivieren naar Nederland (Rijn @ Lobith en Maas @ Eijsden; Figuur 4.1). De aanvoer vanuit de Schelde en de Eems is niet in Figuur 4.1 opgenomen, omdat de vrachten vanuit deze twee rivieren direct het Noordzee model ingaan, te weten in de Westerschelde en de Eems-Dollard. De uitvoer naar de Noordzee (inclusief de buitenlandse stroomgebieden Schelde (Schelde @ monding) en Eems (Eems @ monding); Figuur 4.2) vergeleken met de gemeten vracht afkomstig van Waterbase database (Waterbase) en de CEFAS database. Figuur 4.3 toont de totale stikstofvracht naar de Noordzee vanuit de buiten- en binnenlandse delen van vier stroomgebieden Rijn, Maas, Schelde en Eems.



Figuur 4.1 Vergelijking tussen de gemeten en de met de KRW-Verkenner gesimuleerde stikstof vracht voor het buitenlandse deel van de stroomgebieden Rijn en Maas



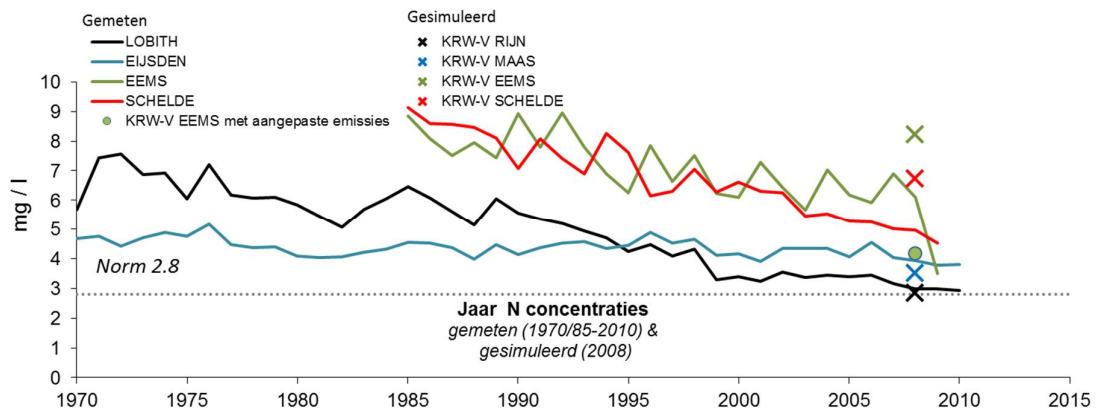
Figuur 4.2 Overzicht van de gemeten stikstofvracht (rood) en de met de KRW-Verkenner gesimuleerde stikstofvrachten (overige kleuren) naar de Noordzee voor alle koppelingslocaties voor de referentie-som en de scenario's.



Figuur 4.3 Overzicht van de totale stikstofvracht (gemeten in rood en gesimuleerd in grijs weergegeven) naar de Noordzee voor de referentie-som en de scenario's (sommatie van de vrachten zoals weergegeven in Figuur 4.2). De CEFAS data is representatief voor het jaar 2008, en de referentie data is een combinatie voor de jaren 2006 (Nederlandse emissies) en 2008 (buitenlandse emissies).

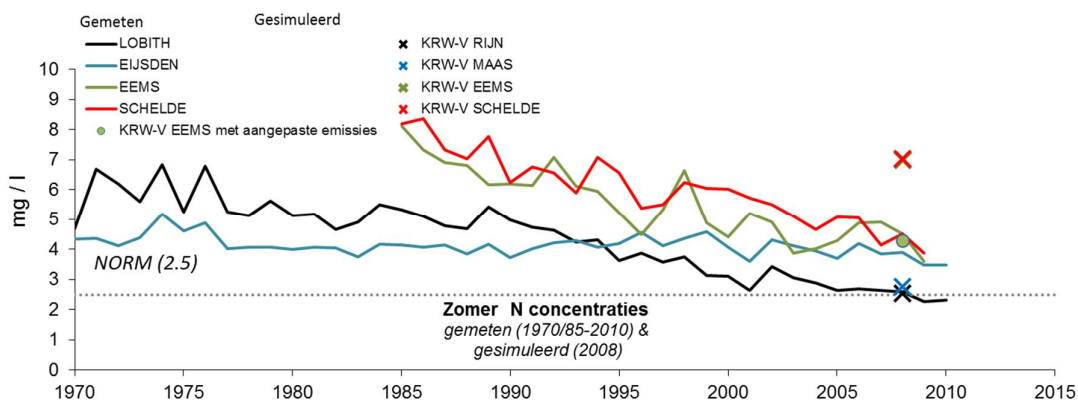
Voor de Rijn wordt de stikstofvracht iets onderschat, terwijl voor de Maas, Schelde en Eems de stikstofvracht wordt overschat. De Eems, waarvoor de N emissies niet zijn bijgeschat aan de hand van extern gerapporteerde emissie waarden, ligt met 79% overschatting het meest verwijderd van de metingen (Figuur 4.2), als we de bijstelling wel meenemen (zie extra som paragraaf 2.2.3) in de berekening is er sprake van een kleine onderschatting (-9%).

In Figuur 4.4 zijn de gesimuleerde stikstofconcentraties voor alle Nederlandse stroomgebieden weergegeven samen met de neerwaarts lopende gemeten stikstofconcentraties, afgezet tegen de jaar- (2,8 mg N/l) of zomernorm (2,5 mg N/l) (zie voetnoot pagina 2). De gesimuleerde stikstofconcentratie is een resultaat van de gesimuleerde stikstof vracht en de in de KRW-Verkenner gebruikte waterafvoeren per kwartaal. In Figuur 4.4 en Figuur 4.5 worden de jaar- en zomergemiddelde N-concentraties getoond. In deze figuren zijn slechts gesimuleerde concentraties te zien (aangegeven met een kruisje) voor het jaar 2008. Idealiter zouden we in de vergelijking gebruik willen maken van een plot waarin metingen en simulaties voor meerdere jaren tegen elkaar worden uitgezet. Vanwege de zeer beperkte beschikbaarheid van emissiegegevens is dit nu niet mogelijk. De stikstofconcentratie voor de Rijn bij Lobith stemt goed overeen met de gemeten concentratie. Voor de Maas is de gesimuleerde waterafvoer, zoals berekend met het WFlow model, hoger dan de gemeten afvoer voor 2008 (zie Tabel 2.5). De in Figuur 4.4 getoonde stikstofconcentratie voor Eijsden is door verdunning lager dan de gemeten concentratie terwijl de gesimuleerde vracht hoger is dan de gemeten vracht voor de Maas (Figuur 4.1) en geeft in dit geval dus een te lage concentratie aan. In een testsom voor de Maas waarin gecorrigeerde afvoeren zijn gebruikt, neemt de concentratie bij Eijsden toe met 1.1 mg/l tot 4.6 mg/l en komt daarmee meer in lijn met de gemeten stikstofconcentratie. Een verdere kalibratie van het Maas waterbewegingsmodel is daarom wenselijk. Net als de vracht, ligt de stikstofconcentratie voor de Schelde en Eems hoger dan de gemeten concentratie. Voor de Eems is een aanvullende testsom uitgevoerd (paragraaf 2.2.3), en de hierin berekende lagere N-vrachten vertalen zich in een aanzienlijk betere fit met de gemeten N-concentraties (zie Figuur 4.4 en Figuur 4.5; KRW-V EEMS met aangepaste emissies).



Figuur 4.4 Overzicht van de jaargemiddelde stikstof concentraties voor de 4 stroomgebieden; gemeten voor de periode 1970/1985-2010 (doorgetrokken lijn) en gesimuleerd voor het jaar 2008 (kruis). Het rondje toont de N-concentratie van de aangepaste berekening die aanvullend voor de Eems is uitgevoerd.

De zomergemiddelde concentratie is gevisualiseerd in Figuur 4.5 en toont een vergelijkbare weergave. Voor de Maas ligt de gesimuleerde stikstofconcentratie nog verder onder de gemeten waarde vanwege een overschatting van de zomerafvoer.



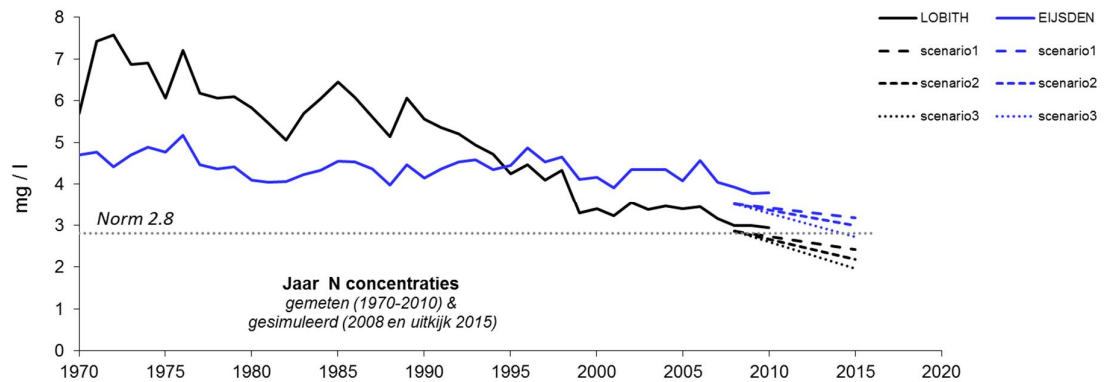
Figuur 4.5 *Overzicht van de zomergemiddelde stikstof concentraties voor de 4 stroomgebieden; gemeten voor de periode 1970/1985-2010 (doorgetrokken lijn) en gesimuleerd voor het jaar 2008 (kruis). De gesimuleerde waarden van de vrachten van de Eems en Schelde vallen precies samen (rood kruisje). Het rondje toont de N-concentratie van de aangepaste berekening die aanvullend voor de Eems is uitgevoerd.*

4.1.2 Scenario's

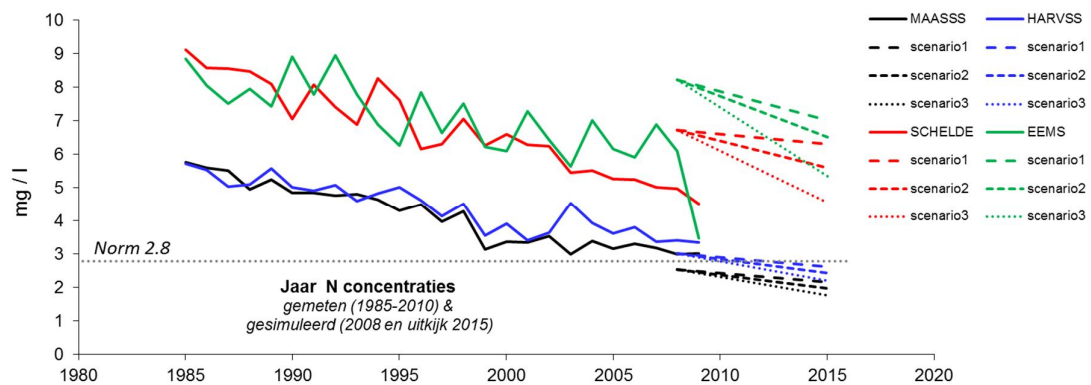
De 'reguliere' scenario's

In onderstaande figuren zijn de gemeten stikstofconcentraties getoond in combinatie met de gesimuleerde afnemende concentraties voor de verschillende scenario's en de jaar- (2.8 mgN/l) of zomernorm (2.5 mgN/l). Het effect van de riviervrachten op de stikstofconcentraties in de Noordzee is beschreven in paragraaf 4.2.2.

Voor het halen van de jaargemiddelde norm in 2015 voor de Rijn is de stikstofreductie die met scenario 1 wordt bewerkstelligd voldoende (Figuur 4.6). Voor de Maas is geen van de scenario's afdoende om de norm in 2015 te halen. Voor de benedenstroomse delen van de Maas en Rijn, bij Maassluis en Haringvlietsluis (Figuur 4.7) lijken de maatregelen zoals gedefinieerd in de verschillende scenario's voldoende om in 2015 onder de norm van 2.8 mg/l uit te komen. Echter, de gesimuleerde N concentraties in de kustzone in combinatie met de daar gehanteerde normen kunnen een ander beeld geven (zie paragraaf 4.2.2). De Schelde en Eems beginnen voor het referentiejaar 2008 hoger dan de gemeten concentratie, dit is het gevolg van een te hoge vracht die met behulp van de KRW-Verkenner en de daarin gebruikte N-emissies wordt gesimuleerd. Als de resultaten voor de referentie-som (2008) worden geprojecteerd naar de meetwaarde voor 2008 lijkt alleen scenario 3 geschikt voor de Schelde voor het behalen van de weergegeven norm. Voor de Eems zit er een merkwaardige daling in de gemeten N concentratie voor het jaar 2010. Het is daarom onzeker om te kunnen zeggen of de scenario's voor de Eems het gewenste effect zullen hebben (zie onder andere Figuur 4.4 en Figuur 4.5).

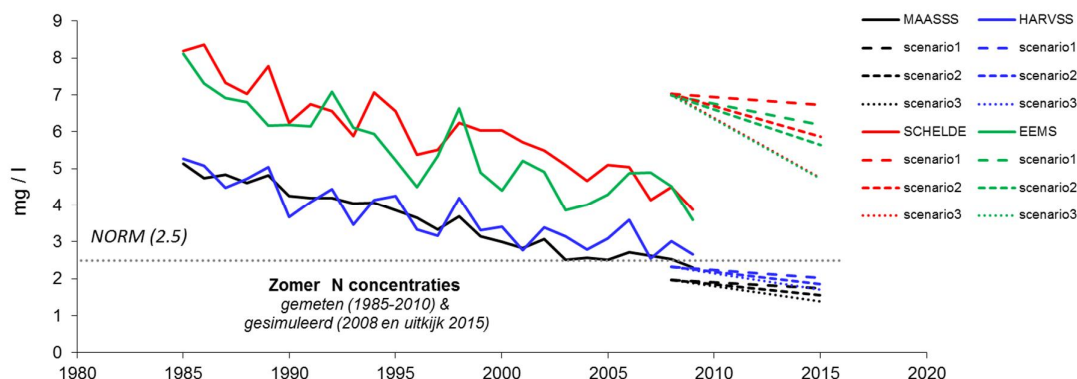


Figuur 4.6 Stikstofconcentraties (jaargemiddelde) voor Lobith (zwart), en Eijsden (blauw); gemeten voor de periode 1970-2010 (doorgetrokken lijn), gemodelleerd voor 2008 en 2015 (gestippelde lijnen) op basis van de drie 'reguliere' scenario's uitgezet tegen de norm (2.8 mgN/l).

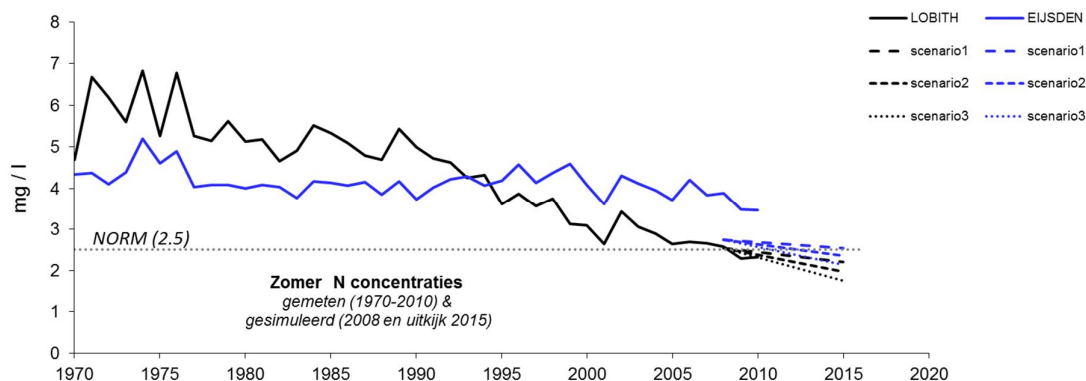


Figuur 4.7 Stikstofconcentraties (jaargemiddelde) voor de Maassluis (zwart), Haringvlietsluizen (blauw), monding van de Schelde (rood) en monding van de Eems (groen); gemeten voor de periode 1985-2010 (doorgetrokken lijn), gemodelleerd voor 2008 en 2015 (gestippelde lijnen) op basis van de drie 'reguliere' scenario's uitgezet tegen de norm (2.8 mgN/l).

Voor de zomergemiddelde stikstofconcentraties voor de verschillende scenarios ligt de aanvoer van stikstof naar de Noordzee voor de twee grootste Nederlandse rivieren (Rijn en Maas) rondom de weergegeven norm (zie Figuur 4.8). De norm voor de Rijn bovenstrooms lijkt al bij Lobith te worden gehaald; dit geldt niet voor de Maas bovenstrooms (Figuur 4.9), de scenario's zullen hier naar verwachting onvoldoende effect hebben om de norm te halen.



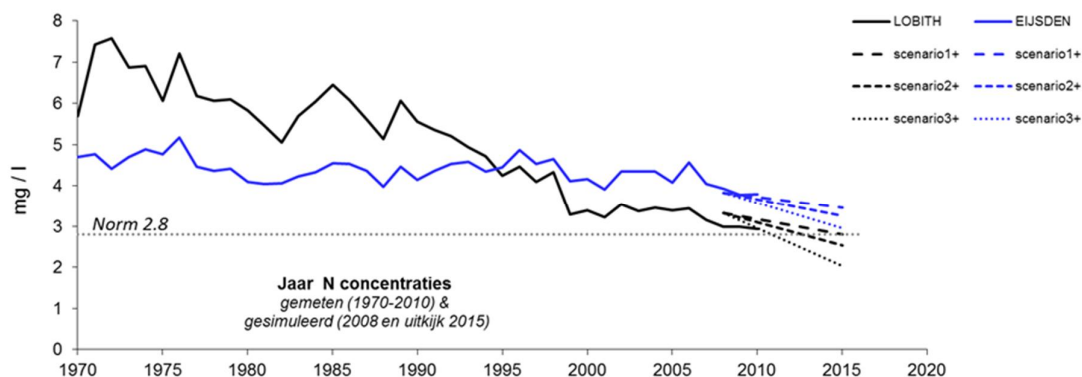
Figuur 4.8 Stikstofconcentraties (zomergemiddelde) voor de Maassluis (zwart), Haringvlietsluizen (blauw), monding van de Schelde (rood) en monding van de Eems (groen); gemeten voor de periode 1985-2010 (doorgetrokken lijn), gemodelleerd voor 2008 en 2015 (gestippelde lijnen) op basis van de drie 'reguliere' scenario's uitgezet tegen de norm (2.5 mgN/l).



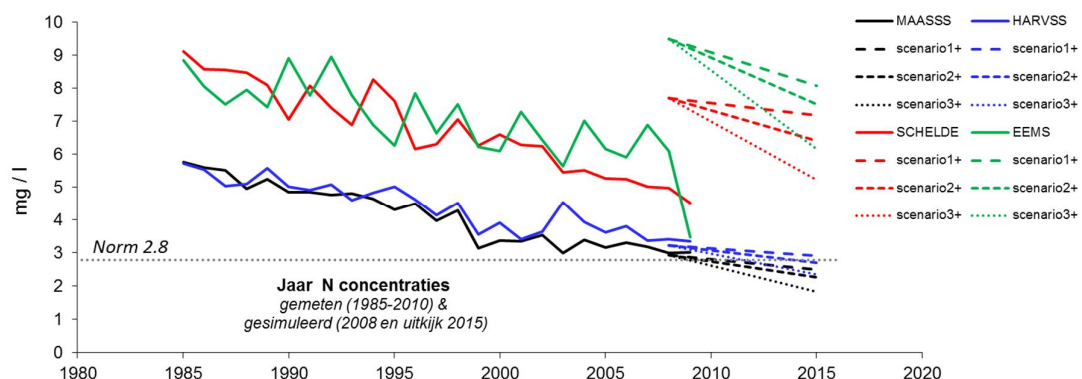
Figuur 4.9 Stikstofconcentraties (zomergemiddelde) voor Lobith (zwart), en Eijsden (blauw); gemeten voor de periode 1970-2010 (doorgetrokken lijn), gemodelleerd voor 2008 en 2015 (gestippelde lijnen) op basis van de drie 'reguliere' scenario's uitgezet tegen de norm (2.8 mgN/l).

De "plus" scenario's

Voor de 'plus' scenario's is gerekend met een hogere initiële emissie en een lagere afbraaksnelheid van N in de rivier. Voor Maassluis sluit de gesimuleerde stikstofconcentratie (vanwege de hogere N belasting) daarom beter aan op de gemeten concentratie (Figuur 4.11). In grote lijnen kunnen op basis van de 'plus' scenario's dezelfde conclusies worden getrokken als voor de 'reguliere' scenario's. Daar waar voor de 'reguliere' scenario's de stikstofconcentraties al boven de norm uitkomen zal dat voor de 'plus' scenario's nog duidelijker zijn, omdat daar met hogere emissies is gerekend. Voor de locaties die voor de 'reguliere' scenario's onder gewenste stikstofconcentraties uitkomen is alleen de N concentratie bij Haringvlietsluis in de 'plus' scenario 1 hoger dan de jaargemiddelde norm . Maassluis blijft ook voor de 'plus' scenario's onder de norm.



Figuur 4.10 Stikstofconcentraties (jaargemiddelde) voor Lobith (zwart), en Eijsden (blauw); gemeten voor de periode 1970-2010 (doorgetrokken lijn), gemodelleerd voor 2008 en 2015 (gestippelde lijnen) op basis van de drie 'plus' scenario's uitgezet tegen de norm (2.8 mgN/l).



Figuur 4.11 Stikstofconcentraties (jaargemiddelde) voor de Maassluis (zwart), Haringvlietsluizen (blauw), monding van de Schelde (rood) en monding van de Eems (groen); gemeten voor de periode 1970/1985-2010 (doorgetrokken lijn), gemodelleerd voor 2008 en 2015 (gestippelde lijnen) op basis van de drie 'plus' scenario's uitgezet tegen de norm (2.8 mgN/l).

4.2 Noordzee model

4.2.1 Referentie-som

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de gemodelleerde DIN-winterconcentraties en de stikstofnormen per gebied (voor een overzicht van de ligging van deze gebieden zie Figuur 1.1 en Figuur 1.2). Zoals is uitgelegd in paragraaf 2.3.4 worden de referentiesom en de scenariosommen twee keer achter elkaar gedraaid. In de tabel zijn zowel de resultaten van de eerste modelruns als die van de re-runs weergegeven. Helaas kunnen er geen gemeten waarden in de tabel worden weergegeven, aangezien er per gebied slechts voor enkele locaties meetwaarden beschikbaar zijn welke samen geen representatief beeld geven voor het hele gebied. Wel zijn ter vergelijking de resultaten uit de standardsom van het Noordzeemodel weergegeven.

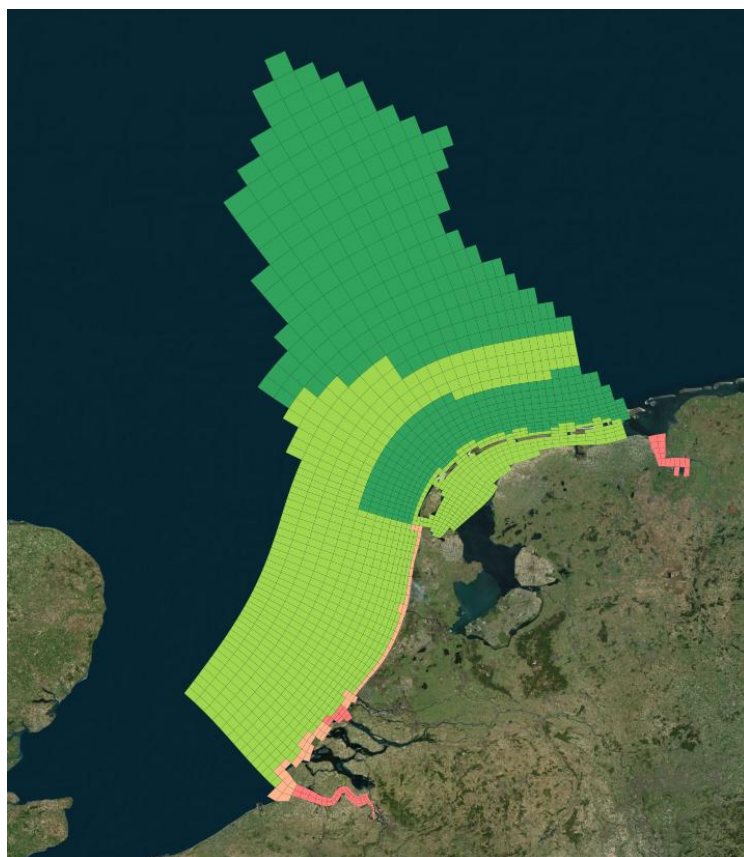
In tegenstelling tot de referentiesom (welke is gebaseerd op gemodelleerde nutriëntenvrachten), is de standaardsom (welke is gebaseerd op gemeten nutriëntenvrachten) grondig gevalideerd (zie paragraaf 2.3.5).

In de referentiesom wordt de norm gehaald in alle OSPAR-gebieden (NLC1, NLC2, NLC3, NLO1, NLO2, NLO3), en in slechts één van de KRW-gebieden, (Waddenkust). De stikstofconcentraties in de vijf overige KRW-gebieden (Westerschelde, Zeeuwse kust, Noordelijke Deltakust, Hollandse kust, Waddenzee, en de Eems) liggen boven de norm. Nadat de referentiesom twee keer achter elkaar is gedraaid, zakt de stikstofconcentratie in de Waddenzee verder omlaag en komt deze ook onder de norm te liggen (Figuur 4.12). Dit resultaat wijkt af van de standaard modelsom. Het verschil wordt veroorzaakt doordat de gemodelleerde IJsselmeer-vrachten zoals die in de referentiesom gebruikt worden, lager liggen dan de IJsselmeer-vrachten zoals die in de standaardsom gebruikt worden (zie paragraaf 2.3.3). In de Eems Dollard en in de Westerschelde komen de stikstofconcentraties juist hoger te liggen nadat de referentiesom twee keer achter elkaar is gedraaid. Door het twee keer draaien van de sommen worden de verschillen tussen de referentiesom en de standaardsom dus vergroot.

Tabel 4.1 Gemodelleerde winter DIN concentraties (mg/l) en normen (mg/l) in de KRW en OSPAR-gebieden. Standaard is de simulatie met gemeten stikstofvrachten als input (vanuit de rivieren), referentie is simulatie met gesimuleerde KRW-Vekenner stikstofvrachten als input (vanuit de 4 Nederlandse rivieren)

	norm	standaard	standaard (rerun)	referentie	referentie (rerun)	scenar io1 (rerun)	scenario2 (rerun)	scenario3 (rerun)	Referentie + (rerun)	scenario1 + (rerun)	scenario2 + (rerun)	scenario3 + (rerun)
ZeeuwKst01	0.46	0.545	0.536	0.625	0.766	0.717	0.668	0.6	0.835	0.78	0.725	0.648
NDeltKst01	0.46	1.062	1.059	1.465	1.524	1.313	1.23	1.119	1.689	1.45	1.359	1.237
HollKust01	0.46	0.717	0.697	0.694	0.682	0.609	0.577	0.538	0.747	0.662	0.626	0.583
WaddKust01	0.46	0.356	0.306	0.344	0.288	0.259	0.245	0.227	0.314	0.281	0.265	0.246
EemsDollard	0.42	2.505	1.709	3.611	3.198	2.743	2.549	2.106	3.652	3.129	2.909	2.4
Westerschelde	0.46	2.158	2.224	2.701	3.258	3.058	2.769	2.333	3.645	3.414	3.091	2.596
Waddenzee	0.46	0.617	0.525	0.482	0.362	0.315	0.294	0.266	0.398	0.345	0.322	0.292
NLO1	0.21	0.127	0.13	0.127	0.13	0.13	0.13	0.129	0.131	0.13	0.13	0.13
NLO2	0.21	0.089	0.102	0.089	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102
NLO3	0.21	0.053	0.06	0.053	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
NLC1	0.42	0.328	0.326	0.367	0.416	0.395	0.371	0.336	0.449	0.426	0.399	0.359
NLC2	0.42	0.255	0.257	0.242	0.244	0.226	0.218	0.208	0.261	0.24	0.231	0.22
NLC3	0.42	0.224	0.215	0.217	0.208	0.196	0.19	0.183	0.219	0.206	0.199	0.191

Legenda	
	groter dan 2 keer de norm
	groter dan de norm tot 2 keer de norm
	kleiner dan de norm tot een ½ keer de norm
	kleiner dan een ½ keer de norm



Figuur 4.12 Toestand van de Nederlandse KRW- en OSPAR gebieden in 2008 met betrekking tot de stikstofnormen. In de lichtgroene en donkergroene gebieden zijn de DIN-winterconcentraties beneden de norm, zie legenda in Tabel 4.1. Resultaten zijn afkomstig uit de referentie-som van het Noordzee model.

4.2.2 Scenario's

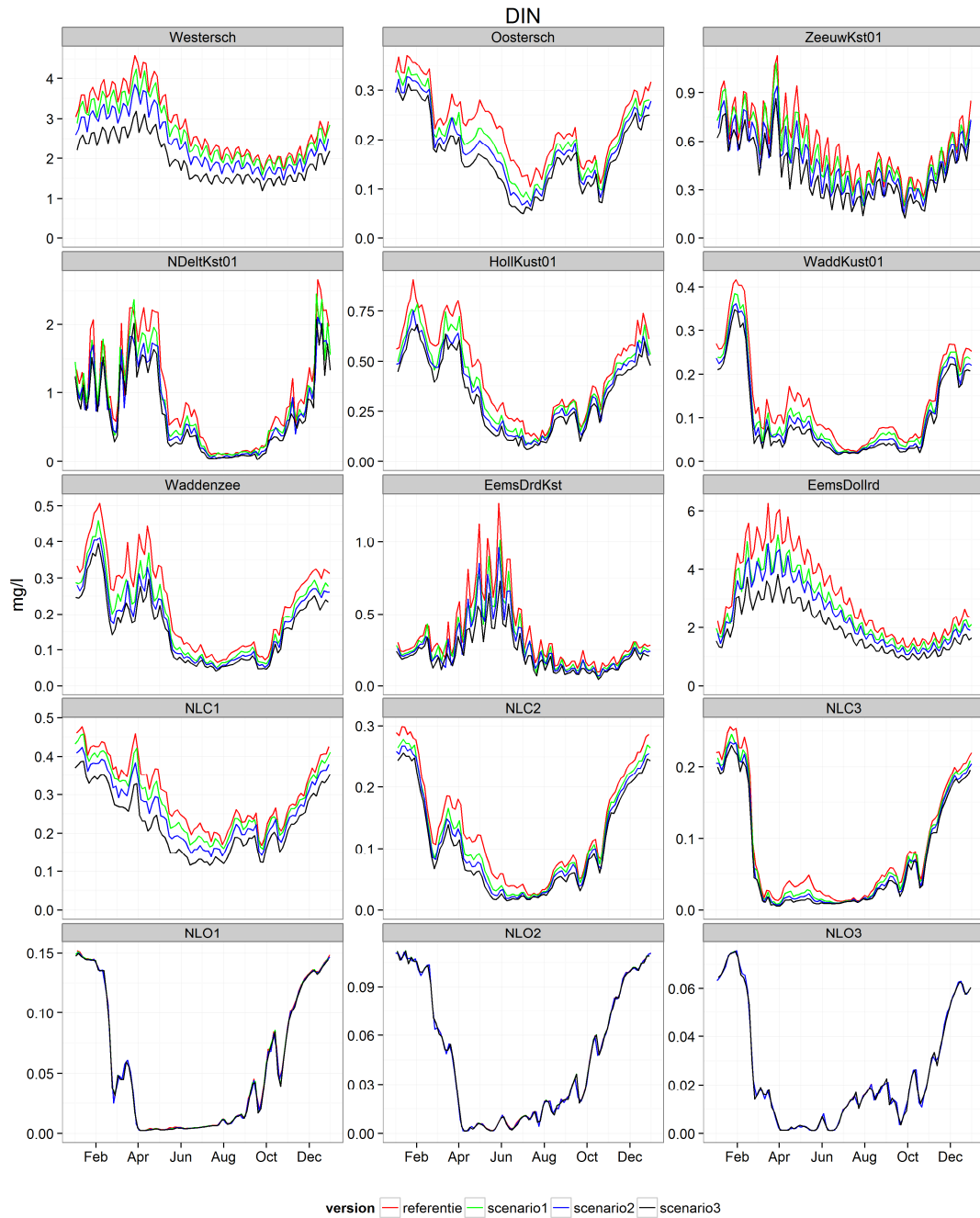
Figuur 4.13 toont de gemodelleerde stikstofconcentraties in alle OSPAR- en KRW-gebieden; resultaten zijn afkomstig uit de referentie-som en de drie scenario-sommen. Bij de vergelijking tussen de referentiesom en scenario-sommen wordt enkel gekeken naar de re-runs (zie paragraaf 2.3.4), maar voor de leesbaarheid wordt dit hieronder niet steeds vermeld. De stikstofconcentraties zijn het hoogst in de referentiesom en nemen af per scenario. Deze afname is het grootst aan de kust, en is verwaarloosbaar in de offshore gebieden. (NB: de concentraties voor de referentie-som in Figuur 4.13 en Figuur 2.48 zijn verschillend, dit komt door de extra inspeeltijd, zie sectie 2.3.4.).

Tabel 4.1 geeft een overzicht van de DIN-winterconcentraties en de stikstofnormen per gebied en per modelsom.

Evenals in de (re-run van de) referentiesom, wordt de norm in de scenario-sommen niet gehaald in de volgende gebieden: Westerschelde, Zeeuwse kust, Noordelijke Deltakust, Hollandse kust, en de Eems. Hoewel de stikstofconcentraties in de drie scenario's lager liggen dan in de referentiesom, leidt dit dus in geen van deze gebieden tot het halen van de norm. De stikstofconcentraties in de plus-scenarios liggen elk boven die in de reguliere scenarios (Tabel 4.1), en ook deze leiden dus niet tot het halen van de norm.

In drie van deze gebieden (Westerschelde, Eems, en de Noordelijke Deltakust) komt dit omdat de stikstofconcentraties zover boven de norm liggen, dat deze niet gehaald kunnen worden met de geteste maatregelen. Dit kan deels worden verklaard doordat het model de stikstofconcentraties overschat, wat te wijten is aan te hoge emissies (zie paragraaf 2.2.2). Anderzijds liggen de stikstofconcentraties in de Eems en de Westerschelde ook in de standaardvorm ruimschoots boven de norm.

In de twee overige gebieden met stikstofconcentraties boven de norm (Hollandse kust en in de Zeeuwse kust), liggen de stikstofconcentraties wel redelijk dicht bij de norm, met name in het derde scenario. Deze gebieden worden beïnvloed door de Westerschelde, waar de gemodelleerde concentraties erg hoog zijn. Wellicht dat, als deze modelconcentraties worden verbeterd, de normen in de Zeeuwse kust (en eventueel ook in de Hollandse kust) alsnog worden gehaald in een of meerdere van de scenario's.



Figuur 4.13 Gemodelleerde stikstofconcentraties (DIN) in de KRW-gebieden en in de OSPAR-gebieden, afkomstig uit de rerun van de referentie-som (rood) en uit de reruns van de drie scenario-sommen (groen, blauw, zwart).

5 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk worden de belangrijkste conclusies van deze studie op een rij gezet. De conclusies beperken zich niet tot de uitkomsten van de scenarioberekeningen, er wordt ook nader ingegaan op het ontwikkelde modelinstrumentarium, de kwaliteit van de gebruikte data en de uitkomsten van calibratie activiteiten. In het paragraaf 5.2 wordt een aantal aanbevelingen geformuleerd, waarmee het modelinstrumentarium en de uitgevoerde scenarioberekeningen kunnen worden uitgebreid of verbeterd. Daarbij wordt tevens aandacht gegeven aan de ingeschatte omvang van verbeteracties en, indien mogelijk, de orde van grootte van de mate van kwaliteitsverbetering, die met de verbeteracties kan worden bereikt (dit laatste blijkt nog erg lastig).

De (deel)conclusies en –aanbevelingen zijn genummerd, waarbij de conclusies met een C zijn aangeduid en de aanbevelingen met een A.

5.1 Conclusies

Modelinstrumentarium (C1)

- C1.1 In deze studie is een modelinstrumentarium ontwikkeld waarin emissies zijn geschat en concentraties kunnen worden berekend vanuit de buitenlandse delen van de Nederlandse stroomgebieden tot en met het Nederlandse deel van de Noordzee.
- C1.2 Deze volledige modelketen bestaat uit de buitenlandse stroomgebiedsmodellen van de Rijn, Maas, Schelde en Eems, bestaande uit het hydrologisch WFlow-model en KRW-Verkenner schematisaties per stroomgebied, het Landelijke KRW-Verkenner Model (LKM), en het ZUNO3D-GEM model voor de Noordzee.
- C1.3 Technisch werkt het ontwikkelde modelinstrumentarium naar behoren. De uitkomsten kunnen in voldoende mate worden verklaard uit de invoerdata, de hydrologie in de afzonderlijke modellen, de gehanteerde randvoorwaarden en de gebruikte normen.
- C1.4 Binnen deze studie is met dit modelinstrumentarium een eerste verkenning gedaan van huidige en toekomstige stikstofvrachten naar de Noordzee, en de effecten van deze vrachten met betrekking tot het behalen van stikstofnormen.
- C1.5 Dit samenhangende modelinstrumentarium kan ondersteuning bieden aan internationale discussies over de benodigde reducties van stikstofemissies in het kader van de stroomgebiedbeheerplannen en het realiseren van de stikstofkwaliteitsdoelstellingen van de KRW en KRM.
- C1.6 Het modelinstrumentarium kan ook worden gebruikt om voor andere stoffen concentraties te berekenen en scenarioberekeningen uit te voeren. In dat geval zijn stofspectifieke data (zoals emissiedata, retentiecoëfficiënten, effecten van maatregelen) noodzakelijk.

Waterbeweging WFlow modellen (C2)

C2.1 Om de hydrologie van de buitenlandse stroomgebieddelen te simuleren is gebruik gemaakt van WFlow. Voor de Rijn is gebruik gemaakt van het in de vorige studie toegepaste (en reeds gekalibreerde) WFlow model (Deltares, 2012a). Voor de Maas is gebruik gemaakt van een reeds bestaande toepassing, die binnen dit project is gekalibreerd. Voor de Schelde en Eems zijn binnen dit project nieuwe modellen opgebouwd, gebaseerd op openbaar beschikbare data.

C2.2 Hydrologie is de basis van de berekeningen in deze studie en de nauwkeurigheid van de gesimuleerde afvoer is van groot belang voor de kwaliteit van de concentratieberekeningen. De hoogte van de afvoer vanuit de stroomgebieden heeft twee tegengestelde effecten: een hogere afvoer heeft zowel directe invloed op de berekende concentraties (lagere concentraties door verdunning), als op de verblijftijd (kortere verblijftijd, minder afbraak en daardoor hogere concentraties). Voor de WFlow modellen is veel invoerdata noodzakelijk (zie par. 2.1.1) met tal van parameters die moeten worden ingesteld (zie par. 2.1.2), wat de kalibratie niet eenvoudig maakt. Daarnaast is het zo dat in deze studie met een referentiejaar (2008) is gerekend, terwijl de kalibratie op een hele tijdreeks is gebaseerd. Hierdoor bestaat de mogelijkheid dat het referentiejaar wellicht een niet representatief jaar betreft voor de algehele prestatie van de modeltoepassing.

C2.3 Hoewel in deze studie de nodige aandacht besteed aan de kalibratie van de waterafvoeren, was de hiervoor beschikbare gereserveerde tijd vrij beperkt. In Tabel 2.5 is zowel voor de jaargemiddelde afvoer als voor de zomergemiddelde afvoer de gesimuleerde WFlow vergeleken met de gemeten afvoeren. De resultaten zijn wisselend: De Rijn presteert goed, de Eems goed in de zomer, maar een forse overschatting in de winter, de Schelde presteert goed op jaarbasis maar laat een fors tekort zien in de zomer, terwijl de Maas een te hoge jaarafvoer laat zien en een sterk verhoogde zomerafvoer. De aanwezigheid van veel kunstwerken in de Maas maakt de afvoer modellering lastig.

Emissiedata (C3)

C3.1 De hoeveelheid data, de kwaliteit en de transparantie van de beschikbare emissiegegevens voor de buitenlandse stroomgebieddelen is beperkt. Vooral wat betreft de landbouwemissies, wat voor stikstof de belangrijkste bron is, zijn er weinig beschikbare gegevens. Bovendien is vaak slechts informatie voor een jaar beschikbaar, terwijl de landbouwemissies van jaar tot jaar sterk kunnen fluctueren als gevolg van hydrologische omstandigheden.

C3.2 Er is een aantal aannames gedaan om emissies in te schatten:

- Achtergrond belasting is geschat op 0.5 mg/l voor alle stroomgebieden.
- Atmosferische depositie direct naar het oppervlaktewater is geschat op 11% van de totale atmosferische depositie op land en water (afkomstig uit de EMEP dataset).
- Miterra-EUROPE berekent stikstof uitspoeling naar het grondwater en afspoeling naar het oppervlaktewater. Voor het aandeel dat uitspoelt naar het grondwater is aangenomen dat een deel alsnog in het oppervlaktewater terechtkomt via kwel en dat de hoeveelheid afhankelijk is van de verblijftijd in het grondwater.

- De retentie van stikstof in het grondwater is afgeleid uit de grondwaterverblijftijd volgens de Keuskamp et al. (2012) benadering. Er is voor de Schelde en de Eems een verblijftijd van minimaal 2 jaar aangenomen zodat tenminste 50% van de stikstofbelasting naar het grondwater verdwijnt voordat het via kwel in het oppervlaktewater terecht komt.

Voor alle bovenstaande aannames geldt dat deze een beperkte betrouwbaarheid hebben en dat er met enige inspanning een kwaliteitsverbetering van aannames, berekeningen of detailniveau mogelijk is.

- C3.3 Een vergelijking van de gebruikte emissiegegevens met eerdere rapportages laat zien dat er forse verschillen zijn in de compleetheid, achtergronden en aannames van de verschillende rapportages. Hierdoor is het erg lastig een uitspraak te doen over de kwaliteit van de emissiedata.
- C3.4 Er is een uitgebreide vergelijking uitgevoerd tussen de berekende vrachten op basis van emissies en retentie (aan de grens voor Rijn en Maas; bij het uitstroompunt in de Noordzee voor Schelde en Eems) met de gemeten vrachten (zie Figuur 2.32 t/m 2.35). Voor de Rijn is de berekende (jaar)vracht ca. 10% lager dan de gemeten vracht. Voor Maas en Schelde zijn de berekende vrachten ca. 25% hoger dan de gemeten vrachten. Voor de Eems is het verschil erg groot: hier is de berekende vracht bijna een factor twee te hoog. Vooral de afwijkingen in de waterafvoeren, de onzekerheden in de emissiegegevens en de variatie van jaar tot jaar dragen bij aan de onzekerheden in deze resultaten.

Koppeling KRW-Verkenner met Noordzeemodel (C4)

- C4.1 Het aantal van zeven invoerlocaties vanuit de Nederlandse stroomgebieden in standaard Noordzeemodel is in deze studie uitgebreid naar in totaal 20 lozingspunten (zie Tabel 2.6), waarmee alle relevante lozingspunten zijn gedekt.
- C4.2 Als onderdeel van de koppeling tussen de KRW-Verkenner met Noordzeemodel zijn stikstofvrachten per kwartaal uit de KRW-Verkenner vertaald naar de stikstof fracties nitraat en ammonium per decade op basis van gemeten tijdreeksen voor de verschillende lozingspunten. De invoer informatie voor het Noordzeemodel lijkt met deze vertaalslag in voldoende en juiste mate beschikbaar.

Referentiejaar 2008 (C5)

- C5.1 Om een indruk te krijgen van de gevoeligheid van de berekeningen voor de omvang van de emissies en de toegepaste afbraaksnelheid zijn ook berekeningen gemaakt voor een "referentie plus" scenario, waarin hogere emissies zijn toegepast in combinatie met een lagere afbraaksnelheid in het oppervlakte water. Voor de Rijn zien we dat de gemeten vrachten bij Lobith liggen tussen het referentie en het referentie plus scenario (zie Figuur 4.1). Voor de Maas (Eijsden) en Schelde en Eems (bij de monding) zien we dat de vrachten die in de referentiesom al te hoog waren, nog verder verhoogd worden en hierdoor sterker afwijken van de metingen (Figuur 4.2). De waarde van de referentie plus scenario's is daarom beperkt.

C5.2 Wanneer we de referentieberekeningen vergelijken met de langjarige trends, zien we dat voor de Rijn zowel de jaargemiddelde stikstofconcentraties als de zomergemiddelde concentraties goed matchen met de gemeten waarden. Dit komt overeen met de verwachting omdat zowel de vrachten als de afvoeren voor de Rijn al goed leken.

Voor de Maas levert de combinatie van te hoge jaarafvoer en te hoge vrachten netto een ca. 10% te lage concentratie op. De afwijking in de zomerconcentratie is voor de Maas nog lager, wat vooral veroorzaakt wordt door de veel te hoge zomerafvoer. Voor de Schelde leidt een combinatie van te lage afvoeren (vooral in de zomer) en te hoge emissies tot fors te hoge jaarconcentraties, met extreme verschillen in de zomer. Voor de Eems leiden te hoge jaarafvoeren (30%) in combinatie met gecorrigeerde (naar beneden bijgestelde) emissies tot te lage jaarconcentraties. Bij de Eems zien we echter ook in de meetreeksen grote sprongen, vooral in 2009.

- C5.3 Er kan worden geconcludeerd dat de referentieberekeningen nog niet optimaal zijn en dat daarom de waarde van de scenarioberekeningen in dit stadium met grote voorzichtigheid moeten worden beschouwd. We zien dat de berekeningen voor de Rijn op alle onderdelen relatief goed scoort, wat een gevolg is van een reeds jarenlang opgebouwde waterbeweging en betere emissiedata dan voor de overige stroomgebieden beschikbaar is. Dit duidt erop dat voor de in deze studie nieuw toegevoegde stroomgebieden nog een kwaliteitsslag noodzakelijk lijkt (zie par. 5.2).

Vergelijking met Noordzeemodel (C6)

- C6.1 Het Noordzeemodel is een operationeel, grondig gevalideerd model dat in het algemeen een goede fit oplevert van de berekende stikstofconcentraties met de gemeten waarden. In de standaardsommen worden de gemeten vrachten vanuit de rivieraanvoeren als input gebruikt. In deze studie zijn deze vervangen door de met de KRW-Verkenner berekende stikstofvrachten. Wanneer we de standaardsommen vergelijken met de referentiesommen (Figuur 2.48), zien we dat de stikstofconcentraties vooral in de Eems Dollard en Westerschelde hoger liggen in de referentie-som dan in de standaard-som, terwijl de concentraties in de Waddenzee lager liggen. Dit komt doordat de gemodelleerde nutriëntenvrachten van Eems en Schelde die in de referentierun worden gebruikt, veel groter zijn dan de gemeten vrachten die in de standaardsom worden gebruikt. In de kustgebieden en offshoregebieden, die verder van de Nederlandse kust liggen zijn de verschillen tussen de standaardsom en de referentiesom in het algemeen zeer klein.

Scenarioberekeningen (C7)

- C7.1 Naast de referentiesom is een drietal scenario's opgezet en doorgerekend. In de scenario's worden stapsgewijs zowel de puntbron emissies verlaagd (op basis van een verbeterd zuiveringsrendement van de RWZI's), als de diffuse emissies (in lijn met de maatregelen zoals beschreven in het nitraatactieprogramma). De aannames die zijn gedaan voor de scenario's in de buitenlandse stroomgebiedsdelen zijn gebaseerd op een zeer beperkte set gegevens. De realiteitswaarde van de scenario's is in verband hiermee beperkt en de scenarioberekeningen moeten dan ook vooral worden gezien als een indicatie van de mogelijke ontwikkelingsrichting.
- C7.2 De effecten van de verminderde emissies in de scenario's zijn goed terug te zien in zowel de berekende vrachten in de Rijn en Maas bij Lobith en Eijsden (Figuur 4.1), als in de berekende vrachten voor de koppelingslocaties met het Noordzeemodel (zie Figuur 4.2). Hierbij moet men zich goed realiseren dat de (soms forse) verschillen tussen de meetwaarden en de referentiesom ook hun weerslag hebben in de scenarioberekeningen.

Vergelijking met normen (C8)

- C8.1 Een vergelijking in de rivieren van de berekende jaargemiddelde stikstofconcentraties met de norm van 2,8 mgN/l laat zien dat in Lobith in alle scenario's de norm naar verwachting zal worden gehaald, terwijl in Eijsden in alle scenario's de norm in 2015 nog niet wordt gehaald (Figuur 4.6). Voor de zomergemiddelde waarden worden in Lobith ook de normen gehaald in alle scenario's. Dit lijkt ook het geval te zijn in Eijsden, maar hierbij moet worden opgemerkt dat de referentieberekening al een stuk lager is dan de gemeten waarde. Wanneer we de scenario uitkomsten projecteren op de hogere meetwaarde in 2008 voor Eijsden, zal in geen van de scenario's de norm in 2015 worden gehaald (Figuur 4.9).
- C8.2 Wanneer we de stikstofconcentraties bij de uitstroompunten van de stroomgebieden in de Noordzee vergelijken met de norm van 2,8 mgN/l (die is afgeleid uit de KRW-normen voor de kustgebieden), zien we dat zowel voor de berekende jaargemiddelde als zomergemiddelde waarden de norm niet gehaald wordt voor de Eems (monding) en de Schelde (monding), maar wel bij Maassluis en bij Haringvlietsluis, in alle scenario's (Figuur 4.7 en 4.8). Hier moet worden opgemerkt dat de referentieberekening voor de Eems en de Schelde een stuk hoger is dan de gemeten waarde. Wanneer we de scenario uitkomsten projecteren op de lagere meetwaarden in 2008, zal ook voor de Eems en de Schelde de norm in het verstgaande scenario (3) worden gehaald (Figuur 4.7 en 4.8).
- C8.3 De met het Noordzeemodel gemodelleerde DIN-winterconcentraties zijn vergeleken met de stikstofnormen per gebied (Tabel 4.1). De KRW-normen voor de kustgebieden worden gehaald in de Waddenzee, de Oosterschelde en de Waddenkust, maar niet in de Zeeuwse kust, de Noordelijke Deltakust, de Hollandse kust, de Eems-Dollard, en in de Westerschelde. De OSPAR-normen worden in alle OSPAR gebieden (NLC1, NLC2, NLC3, NLO1, NLO2, NLO3) gehaald, behalve in de Eems-Dollard en in de Westerschelde. In de huidige berekeningen zien we geen verschillen tussen de scenario's in het al dan niet halen van de normen in de Noordzee.
- C8.4 Met de in deze studie gehanteerde stikstofnormen blijkt het mogelijk dat de gesimuleerde stikstofconcentratie wel aan de riviernorm voldoet (Haringvlietsluis en Maassluis), terwijl de stikstofnorm in de kustzone (NDeltKst01 en HollKust01) niet gehaald wordt voor hetzelfde scenario.

5.2 Aanbevelingen

Algemene kwaliteitsverbetering

- A1 Uit bovenstaande conclusies wordt duidelijk dat de matige prestatie van de modelberekeningen (vooral voor Maas, Schelde en Eems) voor de referentiesituatie wordt veroorzaakt door een combinatie van aantal samenhangende factoren. Wanneer betrouwbaardere scenarioberekeningen zijn gewenst, zal eerst moeten worden gewerkt aan een kwaliteitsverbetering van de referentiesommen. Hieronder zijn verbetervoorstellen geformuleerd voor de belangrijkste gesignaleerde knelpunten.

Relatief modelgebruik

- A2 Wanneer om welke reden dan ook geen voorkeur wordt gegeven aan een investering in kwaliteit van de referentiesommen, kan worden overwogen om de huidige scenario-berekeningen te blijven gebruiken, maar om deze dan te “vertalen” naar een relatieve verandering ten opzichte van een gemeten referentiewaarde. Hiermee wordt de invloed van fouten en extreme berekeningresultaten kleiner. Een nadeel van deze methode is dat dit minder inzicht oplevert in onzekerheden en spreiding van de berekeningsresultaten en uiteindelijk minder systeemkennis oplevert.

Verbeteren afvoerschattingen

- A3 Gezien de huidige onnauwkeurigheden in de berekende afvoeren wordt aanbevolen om te onderzoeken of en op welke wijze de berekeningen van de afvoeren kunnen worden verbeterd. Met name voor de Maas, maar ook voor Schelde en Eems lijkt een meer realistische afvoer gewenst. Speciale aandacht zou hierbij uit moeten gaan naar:
- een herkalibratie voor de Maas;
 - onderzoeken van de mogelijkheden van een koppeling van het WFlow model met een apart grondwater model (modflow) voor de Maas;
 - verbeteren van de relatie grondwater – oppervlaktewater;
 - verblijftijden en retentie.
- Op dit moment is nog niet goed in te schatten welke inzet voor de genoemde onderwerpen noodzakelijk is en welk niveau van kwaliteitsverbetering daarbij is te verwachten. Daarom wordt voorgesteld als eerste stap een inventarisatie te doen naar de omvang en het effect van mogelijke verbeteracties gerelateerd aan de afvoeren.
- Inzet: 5 dagen.

Verbeteren emissiedata

- A4 Het is duidelijk dat de kwaliteit van de gebruikte emissiegegevens voor verbetering vatbaar is. Hierbij zou vooral aandacht uit moeten gaan naar:
- verbeteren inzicht landbouwemissies;
 - verfijnen opsplitsen jaargegevens in kwartalen;
 - verfijnen schattingen atmosferische depositie;
 - mogelijk regionaal specificeren van achtergrondconcentratie;
 - inzicht in tijdreeksen van emissiegegevens
 - de kleinere RWZI's (puntbronemissies) in Zwitserland worden niet gerapporteerd in de UWWTD database. Bijschattingen voor deze emissiebron lijkt een nuttige aanvulling om de emissies in het Rijnstroomgebied te completeren.

Voorgesteld wordt middels een eerste onderzoek in kaart te brengen voor welke emissiebronnen mogelijk betere emissiegegevens beschikbaar kunnen worden gemaakt, welke inzet nodig is om verbeteracties uit te voeren en welke kwaliteitsverbetering hieruit is te verwachten.

Inzet: 5 dagen.

Intensiveren data-uitwisseling buitenland

- A5 Een meer intensieve datauitwisseling met de bovenstroomse partners op het gebied van emissiedata lijkt gewenst. Hoewel binnen de stroomgebiedcommissies van de Rijn, Maas, Schelde en Eems – met verschillende intensiteit – regelmatig gezamenlijke emissie inventarisaties worden gemaakt en uitwisselingsdagen worden georganiseerd, lijkt de voor deze studie beschikbare data nog erg beperkt. Ook is er behoefte aan datauitwisseling op het gebied van definitie van scenario's en te verwachten effecten van vastgesteld of voorgenomen beleid. Voorgesteld wordt om in overleg met WVL een plan van aanpak op te stellen hoe in samenwerking met de stroomgebiedcommissies de datauitwisseling kan worden bevorderd.
Inzet: 5 dagen.

Uitbreiding toepassing naar andere parameters

- A6 Om een volledig beeld te krijgen van de ecologische status van de Noordzee gebieden is het van belang om de gebieden ook te beoordelen op andere parameters zoals fosfaat, chlorofyl, *Phaeocystis*, en zuurstof. Hiervoor is het nodig om ook de fosfaatbelasting mee te nemen in het gehele modelinstrumentarium. Daarnaast lijkt het ook interessant om voor andere stoffen gebruik te maken van het ontwikkelde instrumentarium. Gezien de nog grote onzekerheden, vooral in de afvoeren, wordt aangeraden om eerst een aantal verbeteracties uit te voeren, voordat het gebruik wordt verbreed naar meer stoffen.

Aansluiten bij updates LKM

- A7 Inmiddels zijn in het Landelijk KRW-Verkenner Model een aantal verbeteringen doorgevoerd, die ook gevolgen hebben voor de afvoeren en de berekende nutriëntenconcentraties. Aanbevolen wordt afspraken te maken of, wanneer en op welke wijze dit soort verbeteringen worden meegenomen in het ontwikkelde instrumentarium.
Inzet: opstellen van een plan van aanpak voor een goede aansluiting van verschillende modelversies en schematisaties. Bij voorkeur uit te voeren insamenhang met punt A8 hieronder.
Inzet: 2 dagen.

Beheer en onderhoud

- A8 Er zijn nog geen afspraken gemaakt over een eventueel beheer en onderhoud van de binnen dit project gebouwde schematisaties. Een structureel beheer en onderhoud zou goed kunnen worden gecombineerd met het beheer en onderhoud van het Landelijk KRW-Verkenner Model (LKM), waarover binnen het KPP 2014 project KRW-Verkenner overleg tussen WVL en Deltares loopt. Aanbevolen wordt om op een rij te zetten wat de voordelen zijn van een structureel beheer en onderhoud en welke investeringen daar tegenover staan.
Impact: moet volgen uit de inventarisatie. De verwachting is dat de voordelen fors kunnen zijn op het vlak van reduceren van ad hoc fouten, het verbeteren van samenhang tussen binnenlandse en buitenlandse scenario's en het stroomlijnen van datauitwisseling met het Noordzeemodel.
Inschatting orde van grootte van het maken van deze inventarisatie: 3 dagen.

6 Referenties

- Alterra, 2012. Description N leaching scenarios, Jan Peter Lesschen en Gerard Velthof.
- Bartnicki J. and S. Valiyaveetil. 2008. Atmospheric Deposition of nitrogen to OSPAR Convention waters in the period 1995-2006. Summary Report for OSPAR Convention. Norwegian Meteorological Institute, Oslo, Norway.
- Blauw A.N., F.J.Los, M. Bokhorst and P.L. A. Erfmeijer. 2008. GEM: a generic ecological model for estuaries and coastal waters. *Hydrobiologia*. DOI 10.1007/s10750-008-9575-
- Bot, P.V.M., van Raaphorst, W., Batten, S., Laane, R., Philippart, K. Radach, G., Frohse, A., Schultz, H., Van den Eynde, D., and Clijn, F. 1996. Comparison of changes in the annual variability of the seasonal cycles of chlorophyll, nutrients and zooplankton at eight locations on the north-west European shelf (1960-1994). *Deutsche Hydrografische Zeitschrift* 48: 349-363.
- Brion, N., Bayens, W., De Galan, S., Elskens, M. And Laane, R.W.P.M. 2004. The North Sea: source or sink for nitrogen and phosphorous to the Atlantic Ocean? *Biogeochemistry*, Springer. 68: 277-296.
- Commission of the European Communities, 2002. CORINE Land Cover update. I&CLC2000 project -Technical Guidelines. Final version
- Deltares, 2012a. Scenario studie naar de effecten van emissiereductie maatregelen op stikstofvrachten in de Rijn (1205955-004-ZWS-0004)
- Deltares, 2012b, Landelijke pilot KRW-Verkenner 2.0. Effecten van beleidsscenario's op de nutriëntenkwaliteit, Joost van den Roovaart, Erwin Meijers, Robert Smit, Peter Cleij, Frank van Gaalen, en Stefan Witteveen, pp.156 (1205716-000-ZWS-0011).
- Deltares, 2013a. Processes Library Description - Detailed description of Processes. Technical Reference Manual D-Water Quality Version: 5.01.29227 6 September 2013
- Deltares, 2013b. Delft3D-FLOW. Simulation of multi-dimensional hydrodynamic flows and transport phenomena, including sediments - User Manual. Hydro-Morphodynamics Version: 3.15.30059 6 September 2013
- Eems SGBP rapport, 2009. Internationaal Beheerplan volgens Artikel 13 Kaderrichtlijn Water voor het stroomgebieddistrict Eems – Beheerperiode 2010 – 2015. Coördinatiecommissie Integraal Waterbeleid
- EMEP, 2010. EMEP Measurement Database. The Co-operative Programme for the Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe. <http://www.emep.int/>
- E-PRTR: <http://prtr.ec.europa.eu/pgDownloadDataSet.aspx>
- FAO/IIASA/ISRIC/ISS-CAS/JRC, 2009. Harmonized World Soil Database (version 1.1.).FAO, Rome. Italy and IIASA, Laxenburg, Austria
- Farr, T. G. et al., 2007. The Shuttle Radar Topography Mission, *Rev. Geophys.*, 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.

Haylock, M.R., N. Hofstra, A.M.G. Klein Tank, E.J. Klok, P.D. Jones and M. New. 2008: A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation. *J. Geophys. Res (Atmospheres)*, 113, D20119, doi:10.1029/2008JD10201; "We acknowledge the E-OBS dataset from the EU-FP6 project ENSEMBLES (<http://ensembles-eu.metoffice.com>) and the data providers in the ECA&D project (<http://www.ecad.eu>)"

ICBR beheerplan, 2009. Internationaal gecoördineerd stroomgebiedbeheerplan van het internationaal stroomgebieddistrict Rijn (IKSR-CIPR-ICBR; www.iksr.org).

Jolliff, J.K., Kindle, J.C., Shulman, I., Penta, B., Friedrichs, M.A.M., Helber, R., Arnone, R.A., 2008. Summary diagrams for coupled hydrodynamic-ecosystem model skill assessment. *J. Mar. Syst.* <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.05.014>.

Keuskamp, J.A., G. van Drecht, A.F. Bouwman, 2012. European-scale modelling of groundwater denitrification and associated N₂O production. *Environmental Pollution* 165 (2012) 67-76.

Los, F.J., Blaas, M., 2010. Complexity, accuracy and practical applicability of different biogeochemical model versions. *J. Mar. Syst.* 81, 44–74.

Los, F.J., Wijsman, J.W.M., 2007. Application of a validated primary production model (BLOOM) as a screening tool for marine, coastal and transitional waters. *J. Mar. Syst.* 64, 201–215.

Laane, R.W.P.M., Groeneveld, G., De Vries, A., van Bennekom, J., and Sydown, S. 1993. Nutrients (P,N,Si) in the Channel and the Dover Strait: Seasonal and year-to-year variation and fluxes to the North Sea. *Oceanologica acta*. Paris 16: 607-616.

Laane, R.W.P.M., Southward, A.J., Slinn, D.J., Allen, J., Groeneveld, G., and De Vries, A. 1996a. Changes and causes of variability in salinity and dissolved inorganic phosphate in the Irish Sea, English Channel, and Dutch coastal zone. *ICES Journal of Marine Science* 53: 933-944.

Laane, R.W.P.M., Svendsen, E., Radach, G., Groeneveld, G., Damm, P., Pätzsch, J., Danielssen, D., Foeyn, L., Skogen, M., and Ostrowski, M. 1996b. Variability in fluxes of nutrients (N,P,Si) into the North Sea from the Atlantic Ocean and Skagerrak caused by variability in water flow. *Deutsche hydrographische Zeitschrift*. Hamburg 48: 401-419.

Lenhart, H., X. Desmit, F. Grosse, D. Mills, G. Lacroix, H. Los, A. Ménesguen, J. Pätsch, T. Troost, J. van der Molen, S. van Leeuwen, S. Wakelin. 2012. Report on "distance to target" modelling assessment by ICG-EMO Edited by H. Baretta-Bekker. OSPAR ICG_EMO report.

Los F. J., M.T Villars, and M.W.M. Van der Tol. 2008. A 3-dimensional primary production model (BLOOM/GEM) and its applications to the (southern) North Sea (coupled physical-chemical-ecological model). *Journal of Marine Systems* 74 (2008) 259–294.

Maascommissie rapport, 2005. "Internationaal stroomgebieddistrict Maas – Analyse, overkoepelend rapport, Internationale Maascommissie, 2005"

Meuwese, H. 2007. Nutrient loads on the North Sea. TUDelft and WL|Delft Hydraulics. MSc Thesis.

National Environment Research Council (NERC). 1991. Marine dataset.

Ontwerp SGBP Schelde, 2009. Ontwerp stroomgebiedbeheerplan voor de Schelde - Openbaar onderzoek 16 december 2008 – 15 juni 2009

Päth, J. and Radach, G. 1997. Long-term simulation of the eutrophication of the North Sea: temporal developments of nutrients, chlorophyll and primary production in comparison to observations. *Journal of Sea Research* 38: 275-310.

Prins T.C., 2007. Stikstofnormen K&O wateren. Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat.

Radach, G., Gekeler, J., and Kleinow, O. 1996. NOWESP. <http://www.ifm.uni-hamburg.de/~wwwem/res/nowesp.html> Hamburg, Institut fuer Meereskunde der Universitaet Hamburg.

Spurna Weiland, F. C., C. Tisseuil, H. H. Dürr, M. Vrac, and L. P.H. Van Beek, 2012. "Selecting the optimal method to calculate daily global reference potential evaporation from CFSR reanalysis data for application in a hydrological model study," *Hydrology and Earth System Sciences*, vol. 16, pp. 983–1000.

Troost, T.A., Blaas, M., Los, F.J. 2013. The role of atmospheric deposition in the eutrophication of the North Sea; A model analysis. *Journal of Marine Systems* 125 (2013) 101–112

Van den Roovaart, J., van Duijnhoven, N., Knecht, M., Theloke, J., Coenen, P., ten Broeke, M., 2013. Diffuse water emissions in E-PRTR - Dissemination document

Villars, M., de Vries, I., Bokhorst, M., Ferreira, J., Gellers-Barkman, S., Kelly-Gerreyn, B., Lancelot, C., Menesguen, A., Moll, A., Patsch, J., Radach, G., Skogen, M., Soiland, H., Svendsen, E., Vested, H.J., 1998. Report of the ASMO modelling workshop on eutrophication issues, 5–8 November 1996. In: Villars, M., de Vries, I. (Eds.), OSPAR Commission Report. Netherlands Institute for Coastal and Marine Management, RIKZ, The Hague, The Netherlands (The Hague, The Netherlands).

Waterbase UWWTD, 2012. UWWTD: Urban Waste Water Treatment Directive European database (Waterbase_UWWTD_v4; version 4). <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/waterbase-uwtd-urban-waste-water-treatment-directive>.

Waterbase: http://live.waterbase.nl/waterbase_wns.cfm?taal=nl

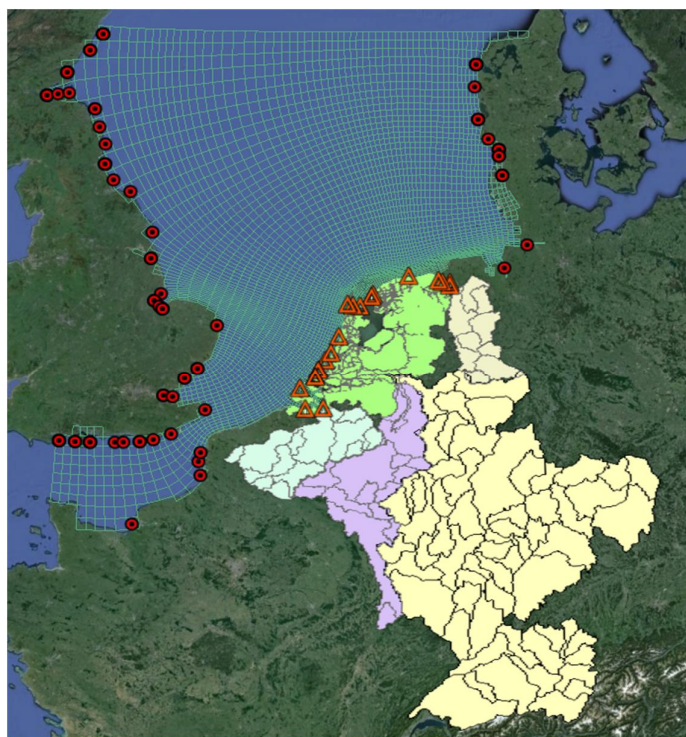
WFlow modelbeschrijving: wflow 1.0RC1 documentation. wflow_sbm Module; http://schj.home.xs4all.nl/html/wflow_sbm.html

WFlow Rijnkalibratie rapport: wflow 1.0RC1 documentation. Calibration of the wflow_sbm model for the Rhine catchment using EOBS data; http://schj.home.xs4all.nl/html/calib_report.html

7 Samenvatting

7.1 Inleiding

In deze studie is een stroomgebieddekkend modelinstrumentarium gerealiseerd voor de Rijn, Maas, Schelde en Eems, inclusief een koppeling met het ZUNO3D-GEM model voor de Noordzee. Dit modelinstrumentarium biedt de mogelijkheid om de effecten van stikstofreductiemaatregelen in de stroomgebieden op de stikstofconcentraties in de kustwateren en offshore te bepalen en onderzoeken. Het volledig instrumentarium bestaat uit vier KRW-Verkenner toepassingen voor de buitenlandse stroomgebiedsmodellen van de Rijn, Maas, Schelde en Eems, waarin WFlow-model is gebruikt als onderlingend hydrologisch model voor de simulatie van de waterbeweging, het Landelijke KRW-Verkenner Model (LKM) waarin Nederlands Hydrologisch Instrumentarium (NHI) is gebruikt als onderlingend hydrologisch model, en het ZUNO3D-GEM model voor de Noordzee. Voor het schatten van de stikstofbelasting naar het oppervlaktewater zijn per emissiebron verschillende databases of modelresultaten gebruikt: landbouw (MITERRA-EUROPE en STONE), atmosferische depositie (EMEP en EmissieRegistratie), Rioolwaterzuiveringsinstallaties (RWZI's; UWWTD en EmissieRegistratie) en industrie (E-PRTR en EmissieRegistratie) en achtergrondbelasting (externe rapportages).



Figuur 7.1 Overzicht van het complete modelinstrumentarium welke is opgebouwd uit vijf KRW-Verkenner toepassingen voor de buitenlandse delen van de Rijn, Maas, Schelde, Eems en het Nederlandse deel (LKM) plus het Noordzee model ZUNO3D-GEM. De rode driehoeken zijn de lozingspunten vanuit de Nederlandse stroomgebieden (Rijn, Maas, Schelde en Eems) welke gekoppeld zijn met de KRW-Verkenner schematisaties en de donkerrode cirkels zijn de overige buitenlandse lozingspunten (waarvoor de gemeten stikstofvracht uit de CEFAS database is gebruikt).

Met dit modelinstrumentarium is een eerste verkenning gedaan van huidige en toekomstige stikstofvrachten naar de Noordzee, en de effecten van deze vrachten met betrekking tot het behalen van de gehanteerde stikstofnormen. Hoewel er in de Nederlandse Noordzee meerdere factoren een rol spelen bij de algengroei en dus bij de eutrofiërings-status (stikstof, fosfor, en licht), beperkt deze studie zich tot de parameter stikstof. Er wordt geen uitspraak gedaan over het al dan niet behalen van de ecologische normen voor de rivieren, kust- en overgangswateren en zoute wateren.

7.2 Scenariobeschrijvingen

Voor het bepalen van stikstofreductiemaatregelen in de stroomgebieden zijn een referentiesom en een drietal scenario's opgezet en uitgevoerd, waarbij er in de scenario's is uitgegaan van een toenemend aantal maatregelen ten behoeve van nutriëntenreductie van zowel diffuse bronnen en puntbronnen. Voor de landbouw emissies zijn Miterra-EUROPE stikstofreductie scenario's gebruikt en voor de puntbronnen zijn de scenario's gedefinieerd aan de hand van een verbeterd zuiveringsrendement van de RWZI's (zie Tabel 7.1).

Tabel 7.1 Overzicht van de stikstofemissie reductie scenario's in de 4 stroomgebieden (zowel het Nederlandse als buitenlandse deel).

	Diffuse bronnen	Puntbronnen
Scenario 1	Reductie landbouw emissies met 23% (Business-as-usual)	-
Scenario 2	Reductie landbouw emissies met 26% (gedeeltelijk doorvoeren van de Nitrate Directive maatregelen)	Toename zuiveringsrendement met 5% naar minimal 75%
Scenario 3	Reductie landbouw emissies met 35% (toepassen Nitrate Directive maatregelen + gebalanceerde N bemesting)	Toename zuiveringsrendement naar minimaal 80% dat resulteert in de halvering van het resterende effluent

7.3 Resultaten referentie simulatie

Waterbeweging

De hydrologische WFlow modellen zijn gekalibreerd voor de periode 1996-2008. De resultaten van de afvoersimulaties zijn weergegeven in Tabel 7.2 en geven aan dat afvoer van de Rijn en Schelde worden onderschat en de afvoer voor de Maas en de Eems worden overschat. De zomergemiddelde afvoer van de sterk gereguleerde Maas toont het grootste verschil tussen meting en simulatie.

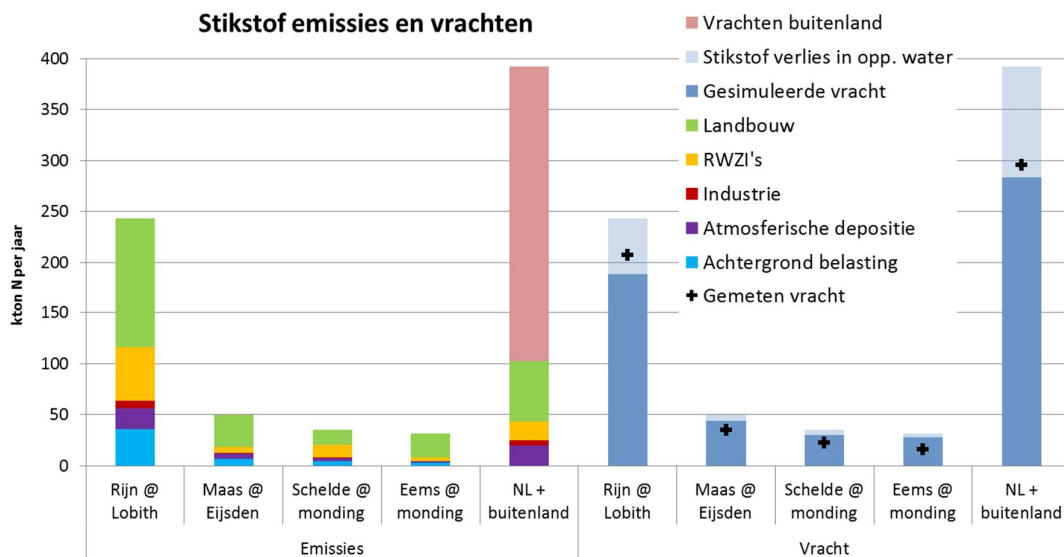
Tabel 7.2 Vergelijking gesimuleerde WFlow afvoer voor het jaar 2008.

		Rijn (Lobith)		Maas (Eijsden)		Schelde (monding)		Eems (monding)	
Jaar	Gemeten afvoer [m3/s]	2216	(94%)	219	(127%)	145	(97%)	81	(132%)
	Wflow afvoer [m3/s]	2085		279		140		107	
Zomer	Gemeten afvoer [m3/s]	2197	(91%)	132	(163%)	102	(80%)	50	(103%)
	Wflow afvoer [m3/s]	2005		215		82		51	

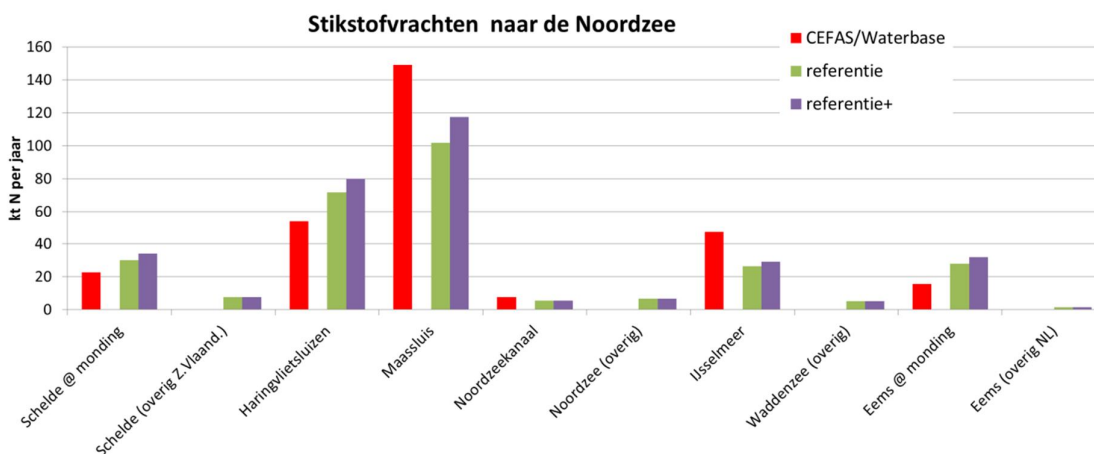
Waterkwaliteit

Voor het referentiejaar 2008 is de gesimuleerde N vracht voor de aanvoer vanuit de grote rivieren naar Nederland (Rijn @ Lobith en Maas @ Eijsden) en de uitvoer naar het Noordzee model (Schelde, Haringvlietsluizen, Maassluis, Noordzeekanaal, IJsselmeer en Eems) vergeleken met de gemeten vracht afkomstig van Waterbase database (Waterbase) en de CEFAS database. Voor de Rijn wordt de stikstofvracht iets onderschat, terwijl voor de Maas, Schelde en Eems de stikstofvracht wordt overschat (zie Figuur 7.2). De N-vracht in de Eems toont de grootste overschatting (+79%), dat grotendeels te wijten is aan de onzekerheid in de schatting van de landbouwemissie.

Een aanpassing van de landbouwemissie met een factor ~ 0.4 (op basis van JRC's Green model emissie schattingen) resulteert in een verbeterde stikstofvracht voor de Eems (-9% in vergelijking met de gemeten vracht). Als we naar de totale vracht vanuit de vier Nederlandse stroomgebieden naar de Noordzee kijken (NL + buitenland; 284 kt N jr^{-1}) is deze in lijn met de gemeten vracht (296 kt N jr^{-1}). Als we echter in meer detail kijken naar de verdeling van de vracht over de lozingspunten zien we toch duidelijke verschillen ten opzichte van de gemeten vrachten (zie Figuur 7.3).

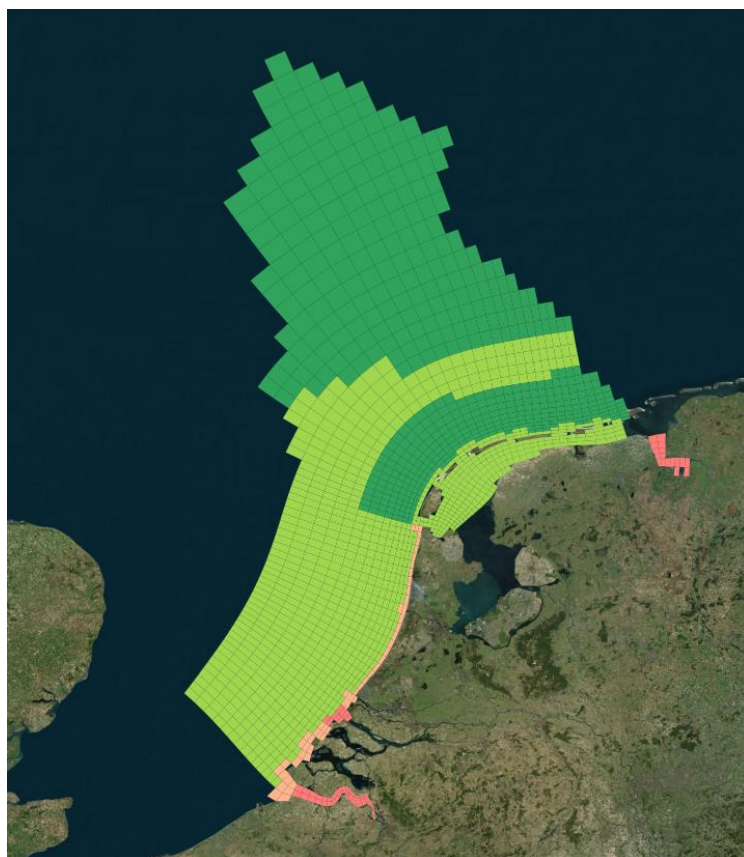


Figuur 7.2 Overzicht van de geschatte stikstof emissies (links) en de gemeten en gesimuleerde N-vrachten (rechts) voor de vier buitenlandse KRW-Verkenner toepassingen (bovenstrooms Lobith), Maas (bovenstrooms Maas), Schelde en Eems en het totaal inclusief het Nederlandse deel (NL + buitenland).



Figuur 7.3 Overzicht van de stikstofvrachten naar de Noordzee opgesplitst voor de (gegroepeerde) lozingspunten (koppeling KRW-Verkenner en ZUNO3D-GEM)

Als we naar de effecten in de kustzone en offshore gebieden van de Noordzee kijken zien we dat in de referentiesom (waarin KRW-Verkenner berekende vrachten vanuit de Nederlandse stroomgebieden zijn gebruikt in de simulatie) de norm wordt gehaald in alle OSPAR-gebieden (NLC1, NLC2, NLC3, NLO1, NLO2, NLO3), en in slechts twee van de KRW-gebieden, (Waddenkust en Waddenzee), zie Tabel 7.3 en Figuur 7.4. De stikstofconcentraties in de vijf overige KRW-gebieden (Westerschelde, Zeeuwse kust, Noordelijke Deltakust, Hollandse kust, en de Eems-Dollard) liggen boven de norm. Dit resultaat wijkt af van de standaard modelsom (waarin gemeten vrachten (CEFAS) vanuit de Nederlandse stroomgebieden zijn gebruikt in de simulatie). Het verschil wordt veroorzaakt doordat de gemodelleerde IJsselmeer-vrachten zoals die in de referentiesom gebruikt worden, lager liggen dan de IJsselmeer-vrachten zoals die in de standaardsom gebruikt worden (zie Figuur 7.3). In de Eems Dollard en in de Westerschelde liggen de stikstofconcentraties juist hoger als gevolg van een hogere stikstofvracht in vergelijking met de standaard modelsom.



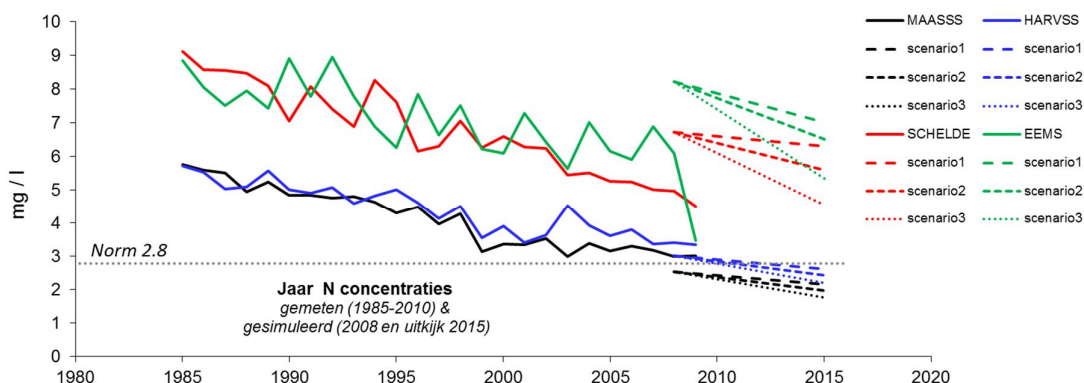
Figuur 7.4 Toestand van de Nederlandse KRW- en OSPAR gebieden in 2008 met betrekking tot de stikstofnormen. In de lichtgroene en donkergroene gebieden zijn de DIN-winterconcentraties beneden de norm, zie Tabel 7.3. Resultaten zijn afkomstig uit de referentie-som van het Noordzee model.

Voor Rijn is de simulatie van N-concentraties voor het referentie jaar in vergelijking met de metingen goed gelukt, ondanks de kleine onderschatting. Voor de Maas voldoet de simulatie van de N-vracht ook redelijk aan de verwachtingen, maar zien we door de te hoge afvoer in de simulatie dat de gesimuleerde vracht door verdunning resulteert in een te lage N-concentratie. Voor de Eems en Schelde is de simulatie minder succesvol en vormen de gesimuleerde concentratie voor het referentie jaar geen goede getallenbasis voor de scenario's. Als we echter kijken naar de bijdragen aan de totale vracht naar de Noordzee van deze twee rivieren is het gemeten aandeel minder dan 13%, waarvan een groot deel uit de Eems-Dollard de deze studie betreffende OSPAR gebieden vanwege de overheersende stromingsrichting niet zal bereiken.

7.4 Resultaten scenario simulaties

Gegeven de resultaten voor de referentiesom zien we in rivieren dat het meest verreichende scenario 3 zorgt voor een voldoende reductie van de stikstofconcentratie voor de Rijn (bij Maassluis) en de Maas (bij Haringvlietsluizen), zie Figuur 7.5. In deze figuur zijn de resultaten afgezet tegen de in het internationaal Rijnoverleg gebruikte werkwaarde van 2.8 mg N/l¹.

Omdat de N-concentratie voor het referentie jaar voor de Schelde en de Eems te hoog ligt is deze uitgangspositie ongeschikt voor het bepalen van de effecten van de scenario's. Als we echter de afnemende trend voor scenario 3 projecteren naar de dalende trend van de gemeten stikstofvracht, dan zien we dat scenario 3 ook voor de Schelde en Eems zorgt voor een voldoende afname van de stikstofvracht (zie Figuur 7.5).

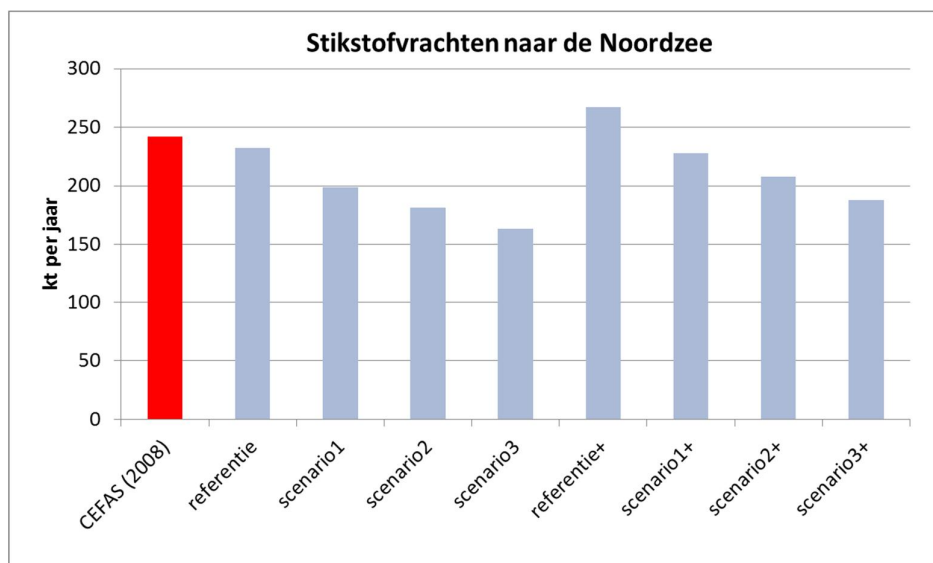


Figuur 7.5 Gemeten (doorgetrokken lijn) en gesimuleerde (gestippelde lijnen; prognose voor 2015) jaargemiddelde stikstofconcentraties voor de vier grootste lozingspunten naar de Noordzee (Maassluis (zwart), Haringvlietsluizen (blauw), monding van de Schelde (rood) en monding van de Eems (groen)) uitgezet tegen de werkwaarde(2.8 mgN/l).

Het effect van de opgelegde stikstofreductiemaatregelen op de N-vrachten naar de Noordzee is getoond in Figuur 7.6. De gesimuleerde vrachten voor de referentie en referentie+ modelsommen hebben dezelfde orde grootte als de gemeten CEFAS data, respectievelijk -4% en +8% verschil ten opzichte van de gemeten vracht. De totale N-vracht naar de Noordzee vanuit de stroomgebieden Rijn, Maas, Schelde en Eems neemt af met 12% (scenario 1), 20% (scenario 2) en 28% (scenario 3). Het effect hiervan op de concentraties in de Noordzee gebieden is weergegeven in Tabel 7.3.

¹ Voor de KRW-waterlichamen in de Noordzee zijn in Nederland richtwaarden vastgesteld. Vanuit de zoute wateren is een richtwaarde voor de zoete wateren afgeleid, te weten 2.5 mg N-totaal/l (als zomergemiddelde). Ten behoeve van het internationaal Rijnoverleg is voor de Rijn een jaargemiddelde afgeleid (2.8 mg N-totaal/l), dat als werkwaarde wordt gebruikt. In deze studie zijn deze zomer- en jaargemiddelde ook toegepast op de Maas, Schelde en Eems.

Voor de OSPAR gebieden zijn in Nederland geen normen vastgesteld. Daar waar in deze studie wordt gesproken over OSPAR-normen is bedoeld de beoordelingscriteria van OSPAR.



Figuur 7.6 *Overzicht van de totale stikstofvracht (rood=gemeten en grijs=gesimuleerd) naar de Noordzee voor de referentie-som en de scenario's (waarin voor de + scenario's met een verhoogde emissie is gerekend). De CEFAS data is representatief voor het jaar 2008, en de data zoals gebruikt in de referentie model-som is een combinatie voor de jaren 2006 (Nederlandse emissies) en 2008 (buitenlandse emissies).*

De DIN-winterconcentraties in de Noordzee zijn het hoogst in de referentiesom en nemen af per scenario.

Deze afname is het grootst aan de kust, en is verwaarloosbaar in de offshore gebieden. Evenals in de referentiesom, wordt de norm (zie voetnoot 1) in de scenario-sommen niet gehaald in de volgende gebieden: Westerschelde, Zeeuwse kust, Noordelijke Deltakust, Hollandse kust, en de Eems (zie Tabel 7.3). In drie van deze gebieden (Westerschelde, Eems, en de Noordelijke Deltakust) komt dit omdat de stikstofconcentraties zover boven de norm liggen, dat deze niet gehaald kunnen worden met de geteste maatregelen. In de twee overige gebieden met stikstofconcentraties boven de norm (Hollandse kust en in de Zeeuwse kust), liggen de stikstofconcentraties wel redelijk dicht bij de norm, met name in het derde scenario. Deze gebieden worden beïnvloed door de Westerschelde, waarvoor de gesimuleerde stikstofconcentratie aanzienlijk hoger ligt dan de gemeten concentratie. Als de stikstofvracht vanuit de Schelde (zie Figuur 7.2) worden verbeterd, bijvoorbeeld aan de hand van betere emissieschattingen, is het mogelijk dat de normen in de Zeeuwse kust (en eventueel ook in de Hollandse kust) alsnog worden gehaald in een of meerdere van de scenario's.

Tabel 7.3 Gemiddelde winter DIN concentraties (mg/l) en normen (mg/l) in de KRW en OSPAR-gebieden. Standaard is de simulatie met gemeten stikstofvrachten als input (vanuit de rivieren), referentie is simulatie met gesimuleerde KRW-Vekenner stikstofvrachten als input (vanuit de 4 Nederlandse rivieren)

	norm	standaard	referentie	scenario1	scenario2	scenario3	Referentie +	scenario1 +	scenario2 +	scenario3 +
ZeeuwKst01	0.46	0.536	0.766	0.717	0.668	0.6	0.835	0.78	0.725	0.648
NDeltKst01	0.46	1.059	1.524	1.313	1.23	1.119	1.689	1.45	1.359	1.237
HollKust01	0.46	0.697	0.682	0.609	0.577	0.538	0.747	0.662	0.626	0.583
WaddKust01	0.46	0.306	0.288	0.259	0.245	0.227	0.314	0.281	0.265	0.246
EemsDollard	0.42	1.709	3.198	2.743	2.549	2.106	3.652	3.129	2.909	2.4
Westerschelde	0.46	2.224	3.258	3.058	2.769	2.333	3.645	3.414	3.091	2.596
Waddensee	0.46	0.525	0.362	0.315	0.294	0.266	0.398	0.345	0.322	0.292
NLO1	0.21	0.13	0.13	0.13	0.13	0.129	0.131	0.13	0.13	0.13
NLO2	0.21	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102
NLO3	0.21	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
NLC1	0.42	0.326	0.416	0.395	0.371	0.336	0.449	0.426	0.399	0.359
NLC2	0.42	0.257	0.244	0.226	0.218	0.208	0.261	0.24	0.231	0.22
NLC3	0.42	0.215	0.208	0.196	0.19	0.183	0.219	0.206	0.199	0.191

Legenda	 groter dan 2 keer de norm
	 groter dan de norm tot 2 keer de norm
	 kleiner dan de norm tot een ½ keer de norm
	 kleiner dan een ½ keer de norm

7.5 Conclusies

Technisch werkt het ontwikkelde modelinstrumentarium naar behoren. De uitkomsten kunnen in voldoende mate worden verklaard uit de invoerdata, de hydrologie in de afzonderlijke modellen, de gehanteerde randvoorwaarden en de gebruikte normen. Dit samenhangende modelinstrumentarium kan ondersteuning bieden aan internationale discussies over de benodigde reducties van stikstofemissies in het kader van de stroomgebiedbeheerplannen en het realiseren van de stikstofkwaliteitsdoelstellingen van de KRW en KRM. Het modelinstrumentarium kan ook worden gebruikt om voor andere stoffen concentraties te berekenen en scenarioberekeningen uit te voeren. In dat geval zijn stofspecifieke data (zoals emissiedata, retentiefactoren, effecten van maatregelen) noodzakelijk.

Hydrologie is de basis van de berekeningen in deze studie en de nauwkeurigheid van de gesimuleerde afvoer is van groot belang voor de kwaliteit van de concentratieberekeningen. De hoogte van de afvoer vanuit de stroomgebieden heeft twee tegengestelde effecten: een hogere afvoer heeft zowel directe invloed op de berekende concentraties (lagere concentraties door verdunning), als op de verblijftijd (kortere verblijftijd, minder afbraak en daardoor hogere concentraties). De hoeveelheid data, de kwaliteit en de transparantie van de beschikbare emissiegegevens voor de buitenlandse stroomgebieddelen is beperkt. Vooral wat betreft de landbouwemissies, wat voor stikstof de belangrijkste bron is, zijn er weinig beschikbare gegevens.

Bovendien is vaak slechts informatie voor een jaar beschikbaar, terwijl de landbouwemissies van jaar tot jaar sterk kunnen fluctueren als gevolg van hydrologische omstandigheden. Er kan worden geconcludeerd dat de referentieberekeningen nog niet optimaal zijn en dat daarom de waarde van de scenarioberekeningen in dit stadium met grote voorzichtigheid moeten worden beschouwd. We zien dat de berekeningen voor de Rijn op alle onderdelen relatief goed scoort, wat een gevolg is van een reeds jarenlang opgebouwde waterbeweging en betere emissiedata dan voor de overige stroomgebieden beschikbaar is.

Met de in deze studie gehanteerde stikstofnormen blijkt het mogelijk dat de gesimuleerde stikstofconcentratie wel aan de riviernorm voldoet (Haringvlietsluis en Maassluis), terwijl de stikstofnorm in de kustzone (NDeltKst01 en HollKust01) niet gehaald wordt voor hetzelfde scenario.

Uit bovenstaande conclusies wordt duidelijk dat de matige prestatie van de modelberekeningen (vooral voor de Schelde en Eems) voor de referentiesituatie wordt veroorzaakt door een combinatie van een aantal samenhangende factoren. Er is een lijst van aanbevelingen opgesteld waarvan de belangrijkste zijn:

- Wanneer betrouwbaardere scenarioberekeningen gewenst zijn, zal eerst gewerkt moeten worden aan kwaliteitsverbetering van de referentiesommen.
- Verbeteren afvoerschattingen (vooral zomerafvoer voor de Maas en verbetering verblijftijden en afgeleide retentieschattingen)
- Verbeteren emissiedata (o.a. inzicht verkrijgen in de landbouwemissies, verfijnen schattingen atmosferische depositie)
- Intensiveren data-uitwisseling buitenland

Als vervolg op het doorvoeren van de aanbevolen verbeteringen lijkt het goed mogelijk om het modelinstrumentarium uit te breiden voor toepassingen naar andere parameters en aan te sluiten bij updates vanuit het Landelijk KRW-Verkenner Model en na te denken over structureel onderhoud van de gerealiseerde stroomgebieddekkende schematisatie.

8 Executive Summary

8.1 Introduction

In this study, we have developed a new basin-wide modelling tool for the river basins of the Rhine, Meuse, Scheldt and Ems with a direct coupling with the ZUNO3D-GEM model for the North Sea. With this new modelling tool it is possible to determine and explore the effects of nitrogen reduction measures taken in the upstream river basins on the nitrogen concentrations in coastal and offshore waters. The complete instrument consists of four WFD Explorer applications covering the cross-border sections of the Rhine, Meuse, Scheldt and Ems river basins, the WFD Explorer Model (Landelijke KRW-Verkenner Model (LKM) in Dutch) covering the Dutch part of the basins and the ZUNO3D-GEM model for the North Sea. For the WFD Explorer applications of the Rhine, Meuse, Scheldt and Ems, the hydrological model WFlow is used to simulate the water movement. The Netherlands Hydrological Modelling Instrument (NHI) is used in the WFD Explorer Model. To estimate the nitrogen load to the surface water from the various emission sources, the following databases and model results have been used: agriculture (MITERRA - EUROPE and STONE models), atmospheric deposition (EMEP database and Pollutant Release and Transfer Register) Waste Water Treatment Plants (WWTPs; UWWTD database and Pollutant Release and Transfer Register), industry (E-PRTR database and Pollutant Release and Transfer Register) and background load (external reports).

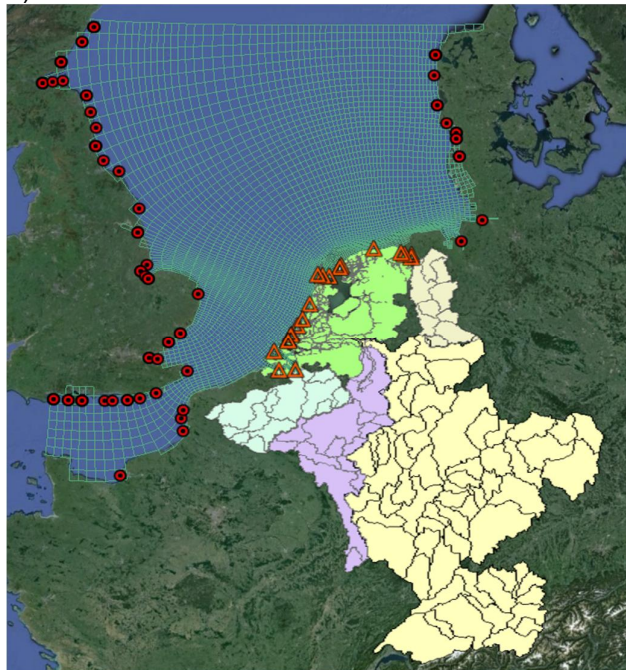


Figure 8.1 Overview of the complete basin-wide modelling tool composed of five WFD Explorer applications for the cross-border sections of the Rhine, Meuse, Scheldt, Ems and the Dutch part (LKM) plus the North Sea model ZUNO3D-GEM. The red triangles represent the discharge points from all four Dutch river basins (Rhine, Meuse, Scheldt and Ems), which are coupled to the WFD Explorer schematisations, and the dark red circles represent the other cross-border discharge points (with measured nitrogen loads from the CEFAS database) that feed the North Sea model.

With this modelling tool, we have made a first assessment of current and future nitrogen loads to the North Sea and how these loads affect the nitrogen concentrations and thus the standards to be met. In the Dutch section of the North Sea, various factors, such as nitrogen, phosphorus and light, play a part in the growth of algae and therefore in the eutrophication status. However, in this study we will only look at the parameter nitrogen. In this report, no statement is made as regards complying with the ecological standards set for rivers, coastal waters, transitional waters and marine waters.

8.2 Scenario description

To determine the nitrogen reduction measures for the four river basins, several model runs were set up and carried out including a run for the reference period and three scenarios. The scenarios were defined by applying an increasing number of measures to reduce the nutrient loading in both diffuse and point sources. For diffuse emissions from agricultural practices, Miterra-EUROPE based nitrogen reduction scenarios were used. The scenarios for the point source emissions have been defined on the basis of improved treatment efficiency in the waste water treatment plants (see Table 8.1).

Table 8.1 Overview of the nitrogen emission reduction scenarios in the four river basins (both the Dutch and cross-border subbasins).

	Diffuse sources	Point sources
Scenario 1	Reduction of the agricultural emissions by 23% (Business-as-usual)	-
Scenario 2	Reduction of the agricultural emissions by 26% (partial implementation of the Nitrate Directive measures)	Increase of the removal efficiency of WWTPs by 5% resulting in a treatment efficiency of at least 75%
Scenario 3	Reduction of the agricultural emissions by 35% (full implementation of the Nitrate Directive measures + Balanced N fertilization)	Removing half of the remaining effluent from WWTPs or increase the removal efficiency of WWTPs to at least 80%

8.3 Results reference simulation

Hydrology

The hydrological WFlow models have been calibrated for the period 1996-2008. The discharge simulations results are given in Table 8.2 and indicate an underestimation of the discharges of the Rhine and Scheldt and an overestimation of the discharges of the Meuse and Ems. The mean summer discharge of the highly regulated Meuse shows the largest difference between measurement and simulation.

Table 8.2 Comparison of simulated WFlow discharge for the year 2008.

Year	Measured discharge [m ³ /s]	Rhine (Lobith)		Meuse (Eijsden)		Scheldt (outlet)		Ems (outlet)	
		Value	(%)	Value	(%)	Value	(%)	Value	(%)
Year	Measured discharge [m ³ /s]	2216	(94%)	219	(127%)	145	(97%)	81	(132%)
	Wflow discharge [m ³ /s]	2085		279		140		107	
Summer	Measured discharge [m ³ /s]	2197	(91%)	132	(163%)	102	(80%)	50	(103%)
	Wflow discharge [m ³ /s]	2005		215		82		51	

Water quality

For the reference year 2008, the simulated N load discharging into the Netherlands (Rhine @ Lobith and Meuse @ Eijsden) and the N load discharging towards the North Sea model (Scheldt, Haringvlietsluizen, Maassluis, Noordzeekanaal, lake IJssel and Ems) have been compared with the measured load of the Waterbase and CEFAS databases. The results show a slight underestimation of the N load for the Rhine, while for the Meuse, Scheldt and Ems the nitrogen load is overestimated (see Figure 8.2). The largest overestimation of the nitrogen load (+79%) is observed in the Ems. This is mainly due to the uncertainty in the estimation of the agricultural emission. A decrease in agriculture emission by a factor ~0.4 (based on JRC 's Green model emission estimates) results in an improved nitrogen load for the Ems (-9% compared to the measured load). If we look at the total load from the four Dutch river basins towards the North Sea (NL + abroad), the simulation load (284 kt N yr⁻¹) is in line with the measured load (296 kt N yr⁻¹). However, if we take a closer look at the distribution of the load over the various discharge points, a clear difference between measured and simulated load can be observed (see Figure 8.3).

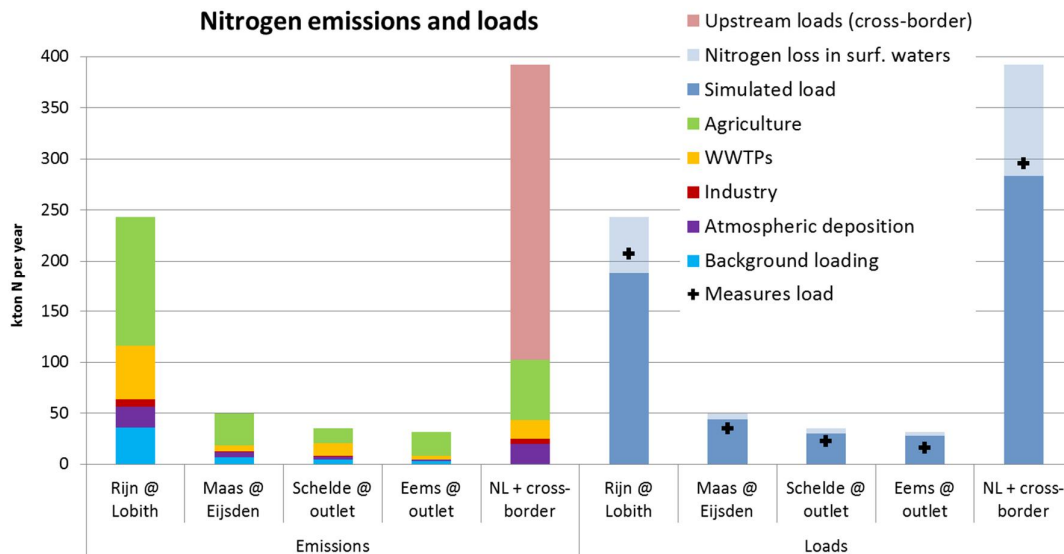


Figure 8.2 Overview of the estimated nitrogen emissions (left) and the measured and simulated N-loads (right) for the four cross-border WFD Explorer applications (upstream Lobith), Meuse (Meuse upstream), Scheldt and Ems and the total including the Dutch part (GB + abroad).

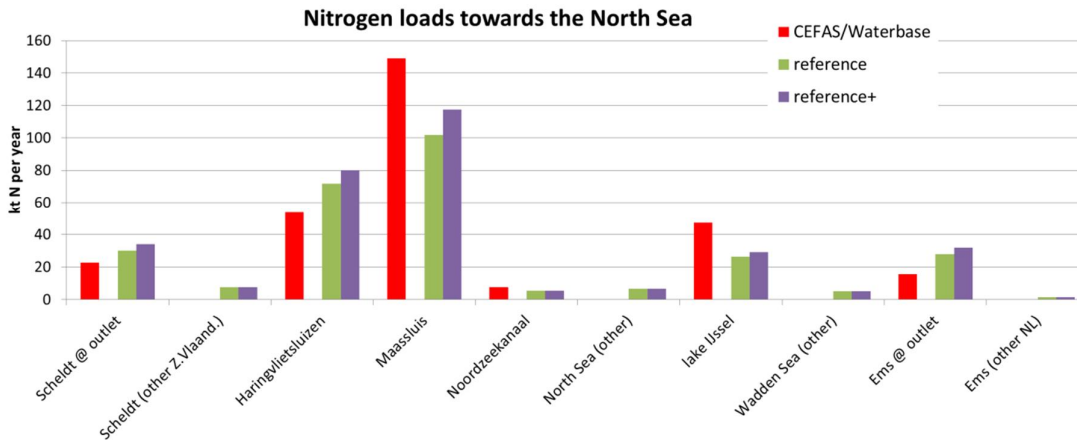


Figure 8.3 Overview of the nitrogen loads to the North Sea separated for the (grouped) discharge points (link WFD Explorer and ZUNO3D-GEM)

When examining the effects of the nitrogen loading on the N-concentrations in the coastal and offshore areas of the North Sea, we notice that for the reference simulation (in which simulated loads (WFD Explorer) discharged from the Dutch river basins are used) the standard is met in all OSPAR areas (IT1, NLC2, NLC3, NLO1, NLO2, NLO3) and only in two of the WFD areas (Wadden Coast and Wadden Sea), see Table 8.3 and Figure 8.4. The nitrogen concentrations in the other five WFD areas (Westerschelde estuary, Zeeuwse kust (coast), Noordelijke Deltakust (coast), Hollandse kust (coast), and the Eems-Dollard estuary) exceed the standard. This result differs from the standard simulation (in which measured loads (CEFAS) are used instead of the simulated loads that are supplied by the Dutch river basins). The difference is mainly caused by the modelled loads for Lake IJssel, which are lower than the measured loads (see Figure 8.3). In the Eems-Dollard and the Westerschelde estuaries, however, the nitrogen concentrations exceed the measured loads as used in the standard simulation.

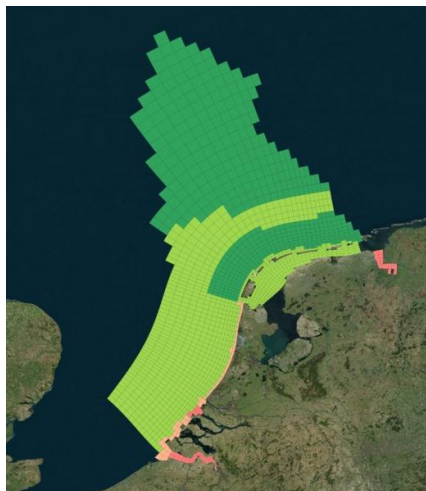


Figure 8.4 Status of the Dutch WFD and OSPAR regions in 2008 in relation to the nitrogen standards. The green areas represent the winter DIN concentrations below the standard, the red areas are above the standard. Results are taken from the reference simulation of the North Sea model.

The simulation of N concentrations for the reference year shows a good fit to the measurements (only a slight underestimation) for the Rhine. For the Meuse, the simulation of the nitrogen load reasonably meets the expectations, nevertheless we see that the overestimated discharge results in a low N concentration (caused by dilution). For the Ems and Scheldt, the simulation is less successful. This implies that the simulated concentration for the reference year is not a good basis for the scenario analysis. However, if we look at the contributions of these two rivers to the total N load discharged towards the North Sea, the measured proportion is less than 13%, of which a large part will not reach the OSPAR areas due to the predominant direction of flow near the Eems-Dollard estuary.

8.4 Results scenario simulation

Given the results of the reference simulation, we see that the scenario with the largest nitrogen reduction (scenario 3) results in nitrogen concentrations that meet the standard for the Rhine (at Maassluis) and the Meuse (at Haringvlietsluizen), see Figure 8.5. In this figure, the results are plotted against the working standard of 2.8 mg N/l

¹ used by "the international coordination in the Rhine river basin district". Because the N concentration for the reference year for the Scheldt and Ems is too high, the scenario simulation also results in an overestimation of the N concentration. However, if we project the downward trend for scenario 3 to the measured nitrogen load of the reference year, we see that scenario 3 achieves an adequate reduction of the nitrogen load for the Scheldt and Ems (see Figure 8.5).

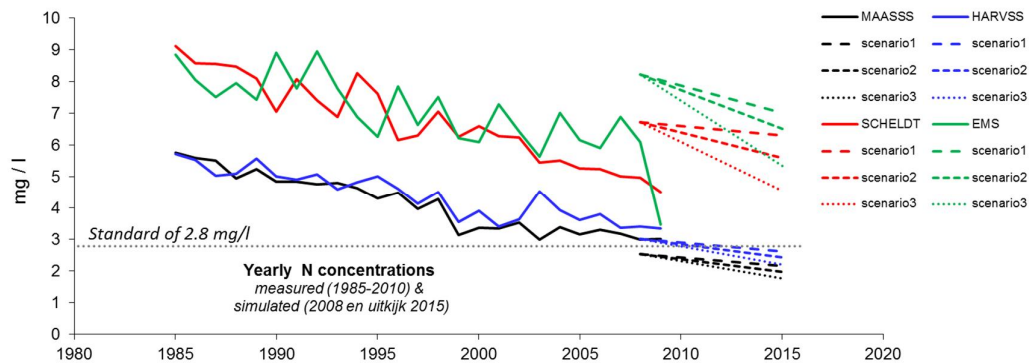


Figure 8.5 Measured (solid line) and simulated (dashed lines; forecast for 2015) annual average nitrogen concentrations for the four main discharge locations to the North Sea (Maassluis (black), Haringvlietsluizen (blue), the Scheldt outlet (red) and the Ems outlet (green)) plotted against the river working unit of 2.8 mgN/l.

¹ For the WFD-waterbodies in the North Sea, Dutch orientation standards have been determined. An orientation standard for the freshwater bodies (2.5 mg total-N/l (as the summer average) was derived from the orientation standards for the coastal waters. For the purpose of "the international coordination in the Rhine river basin district" a year average orientation standard (2.8 mg total-N/l) was derived for the river Rhine, which is used as a working unit. In this study, the summer- and year average working units are also applied to the Meuse, Scheldt and Ems.

For the OSPAR areas, no standards have been determined in the Netherlands. If this study refers to OSPAR standards, the OSPAR assessment criteria are meant instead.

The effect of the imposed nitrogen reduction measures on the N-loads to the North Sea is shown in Figure 8.6. The simulated loads for the reference and reference+ simulations are in the same range as the measured data CEFAS, -4% and +8% difference from the measured load, respectively. For the different scenarios the total nitrogen load supplied from the river basins Rhine, Meuse, Scheldt and Ems to the North Sea decreases by 12% (scenario 1), 20% (scenario 2) and 28% (scenario 3). The effect of these nitrogen reductions on the concentrations in the North Sea fields, are shown in Table 8.3.

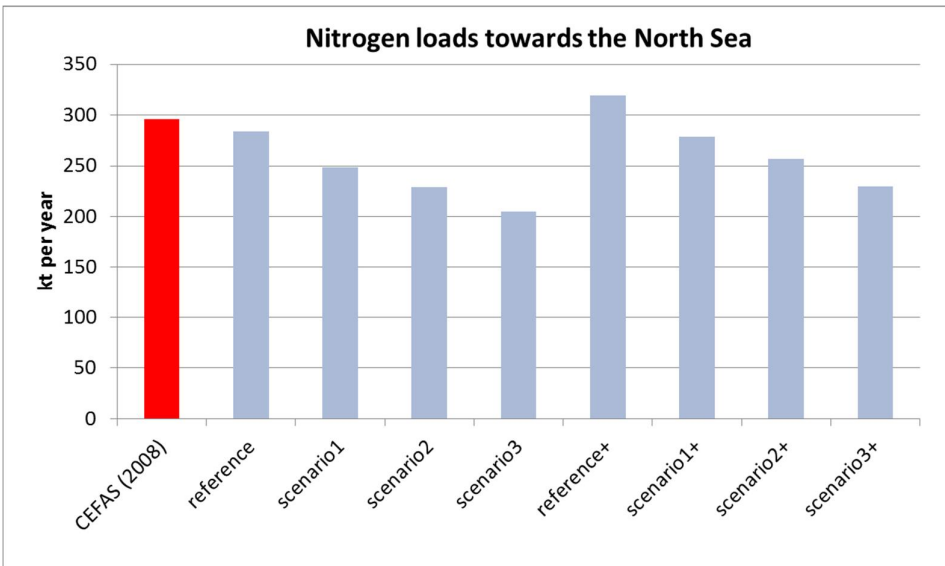


Figure 8.6 Overview of the total nitrogen load to the North Sea (red=measured and gray=simulated) for the reference and the scenarios simulations (for the '+' scenarios increased emissions in comparison with the regular scenarios were used in the simulation). The CEFAS data is representative for the year 2008, whereas the data used in the reference simulations is a combination of the years 2006 (Dutch emissions) and 2008 (cross-border emissions).

The DIN-winter concentrations in the North Sea are highest for the reference simulation and decrease with each scenario (reference > scenario1 > scenario2 > scenario3). The biggest decrease occurs in the coastal zone, and is negligible in the offshore areas. Like for the reference simulation, the standard (see footnote 1) is not met for the scenario simulations in the following areas: Westerschelde estuary, Zeeuwse kust, Noordelijke Deltakust, Hollandse kust, and the Eems-Dollard estuary (see Table 8.3). In three of these areas (Westerschelde, Eems-Dollard, and the Noordelijke Deltakust), this is caused by the fact that the nitrogen concentrations lie far above the standard, making it impossible to reach the standard with the tested set of measures. In the other two areas, where the nitrogen concentrations exceed the standard (Hollandse kust and Zeeuwse kust), the nitrogen concentrations are reasonably close to the standard, especially in the third scenario. These areas are affected by the Westerschelde, where the simulated nitrogen concentration is significantly higher than the measured concentration. If the nitrogen load from the Scheldt (see Figure 8.2) can be improved, for example by means of improved emission estimates, it is likely that the standards in the Zeeuwse kust (and possibly also in the Hollandse kust) are met in one or more of the scenarios.

Table 8.3 Modelled winter DIN concentrations (mg/l) and standards (mg/l) in the WFD and OSPAR areas. Default is the simulation with measured nitrogen loads as input (from the river mouths), reference is the simulation with simulated WFD-Explorer nitrogen loads as input (from the 4 Dutch rivers)

	standard	default	reference	scenario1	scenario2	scenario3	Reference +	scenario1 +	scenario2 +	scenario3 +
ZeeuwKst01	0.46	0.536	0.766	0.717	0.668	0.6	0.835	0.78	0.725	0.648
NDeltKst01	0.46	1.059	1.524	1.313	1.23	1.119	1.689	1.45	1.359	1.237
HollKust01	0.46	0.697	0.682	0.609	0.577	0.538	0.747	0.662	0.626	0.583
WaddKust01	0.46	0.306	0.288	0.259	0.245	0.227	0.314	0.281	0.265	0.246
EemsDollard	0.42	1.709	3.198	2.743	2.549	2.106	3.652	3.129	2.909	2.4
Westerschelde	0.46	2.224	3.258	3.058	2.769	2.333	3.645	3.414	3.091	2.596
Wadden Sea	0.46	0.525	0.362	0.315	0.294	0.266	0.398	0.345	0.322	0.292
NLO1	0.21	0.13	0.13	0.13	0.13	0.129	0.131	0.13	0.13	0.13
NLO2	0.21	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102	0.102
NLO3	0.21	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06
NLC1	0.42	0.326	0.416	0.395	0.371	0.336	0.449	0.426	0.399	0.359
NLC2	0.42	0.257	0.244	0.226	0.218	0.208	0.261	0.24	0.231	0.22
NLC3	0.42	0.215	0.208	0.196	0.19	0.183	0.219	0.206	0.199	0.191

Legend	Color	Description
	Red	higher than twice the standard
	Orange	higher than the standard up to twice the standard
	Light Green	lower than the standard up to ½ the standard
	Dark Green	lower than ½ the standard

8.5 Conclusions

From a technical perspective, the developed modelling tool has proven to work properly. The results can be satisfactorily explained by the input data, the hydrology of the individual models, the parameters used and the standards. This complete modelling tool can be used to support international discussions on necessary reductions of nitrogen emissions in the context of river basin management and the realization of the objectives for nitrogen, as defined in the Water Framework and Marine Strategy Framework Directives. This modelling tool can also be used to calculate the concentrations of other substances and perform scenario simulations. For the simulation of other substances, substance-specific data (such as emission data, retention coefficients, effects of measures) is required.

Hydrology forms the basis for the water quality simulations performed in this study, and the accuracy of the simulated discharge is of great importance for the quality of the concentration calculations. The magnitude of the simulated discharge (in comparison to the observed discharge) in the river basins has two opposing effects: a higher discharge has both direct influence on the concentrations (lower concentrations by dilution of the simulated load) and the residence time (shorter residence time, reduced degradation, and therefore higher concentrations). The amount, quality and transparency of the emission data available for the cross-border parts of the river basins are limited.

For emissions from the agricultural sector in particular, which is the main source of nitrogen, there is little data available. In addition, information is often only available for a single year, while agricultural emissions can fluctuate from year to year due to strong variations in hydrological conditions. We can conclude that the model calculations are not yet optimal, therefore, at this stage, we must treat the implication of the scenario calculations with great caution. We see that the calculations for the Rhine scored relatively well in all areas, which is a result of many years of experience in the discharge modelling and better emission data than is available for the other basins .

Based on the nitrogen standards used in this study, it is possible that the simulated nitrogen concentration meets the standard used in the river (Haringvlietsluizen and Maassluis), while the nitrogen standard in the coastal zone (NDeltKst01 and HollKust01) is not reached for the same scenario.

From the above findings, it is clear that the moderate performance of the model simulations for the reference year (especially for the Scheldt and Ems river basins) is caused by a combination of related factors. A set of recommendations has now been formulated. The most important ones are:

- When reliable scenario calculations are required, we will first have to improve the quality of the reference simulations.
- Improve discharge estimates (especially summer discharge for the Meuse and improve travel times and related retention estimates).
- Improve emission data (e.g. gain a better insight into agricultural emissions, refine atmospheric deposition estimates).
- Intensify data exchange abroad.

In addition to the recommended improvements, as a follow-up, it is possible to extend the modelling tool for other parameters and to adapt to updates of the National WFD Explorer model and define a strategy for structural support and maintenance of the basin-wide schematization.