



ALTERRA

WAGENINGEN UR

# Analyse van de grootte en de herkomst van de vrachten stikstof en fosfor, via het oppervlaktewater, op het Nederlandse deel van de Noordzee

J.J.M. de Klein

Alterra-rapport 1417, ISSN 1566-7197



Analyse van de grootte en de herkomst van de vrachten stikstof en fosfor, via het oppervlaktewater, op het Nederlandse deel van de Noordzee



**Analyse van de grootte en de herkomst van de vrachten stikstof  
en fosfor, via het oppervlaktewater, op het Nederlandse deel van  
de Noordzee**

**J.J.M. de Klein**

**Alterra-rapport 1417**

**Alterra, Wageningen, 2007**

## REFERAAT

Klein, J.J.M. de, 2007. *Analyse van de grootte en de herkomst van de vrachten stikstof en fosfor, via het oppervlaktewater, op het Nederlandse deel van de Noordzee*. Wageningen, Alterra-rapport 1417; 40 blz.; 6 fig.; 10 tab.; 19 ref.

In deze studie is een analyse gemaakt van de herkomst van nutriënten die via de grote rivieren op het Nederlandse deel van de Noordzee worden geloosd. Via de flow-path methode is berekend welk deel afkomstig was uit het buitenland en welk deel van binnenlandse bronnen. Voorts is berekend wat de bijdrage is van 19 deelstroomgebieden in Nederland aan de vrachten op de Noordzee. Met een Monte Carlo simulatie is inzicht verkregen in de onzekerheden van de berekeningen.

Trefwoorden: eutrofiering, nutriëntenbelasting, Noordzee, bronnenanalyse, retentie, onzekerheden

ISSN 1566-7197

Dit rapport is digitaal beschikbaar via [www.alterra.wur.nl](http://www.alterra.wur.nl). Een gedrukte versie van dit rapport, evenals van alle andere Alterra-rapporten, kunt u verkrijgen bij Uitgeverij Cereales te Wageningen (0317 46 66 66). Voor informatie over voorwaarden, prijzen en snelste bestelwijze zie [www.boomblad.nl/rapportenservice](http://www.boomblad.nl/rapportenservice)

© 2007 Alterra

Postbus 47; 6700 AA Wageningen; Nederland

Tel.: (0317) 474700; fax: (0317) 419000; e-mail: [info.alterra@wur.nl](mailto:info.alterra@wur.nl)

Niets uit deze uitgave mag worden veelevoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Alterra.

Alterra aanvaardt geen aansprakelijkheid voor eventuele schade voortvloeiend uit het gebruik van de resultaten van dit onderzoek of de toepassing van de adviezen.

# Inhoud

Woord vooraf	7
Samenvatting	9
1 Inleiding	13
1.1 Aanleiding	13
1.2 Doel	13
2 Werkwijze	15
2.1 Algemene opzet	15
2.2 Bronnen	15
2.3 Flow-path benadering	16
2.4 Retentie in het oppervlaktewater	17
2.5 Verificatie berekende vracht op Noordzee met gemeten exportvrachten	18
2.6 Onzekerheden balansberekeningen	18
3 Resultaten	21
3.1 Totale vrachten naar de Noordzee	21
3.2 Aandeel van verschillende bronnen in de vrachten naar de Noordzee	24
3.3 Bijdrage van de afzonderlijke deelstroomgebieden	25
3.4 Effect van verschillende hydrologische jaren	26
4 Conclusies	29
4.1 Vrachten naar de Noordzee	29
4.2 Aandeel van binnenlandse bronnen in de vrachten	29
4.3 Implicaties	30
Literatuur	31
Bijlage 1 Indeling WB21 Deelstroomgebieden	33
Bijlage 2 Uitspoeling van N en P per deelstroomgebied (berekend met STONE)	35
Bijlage 3 Aandeel van de afzonderlijke deelstroomgebieden in de belasting (bronnen) van het oppervlaktewater en de uiteindelijke vrachten N en P naar de Noordzee (gemiddeld over de jaren 1995-2000)	37
Bijlage 4 Uitvoer SPSS regressie analyse op neerslagsom (m)	39



## Woord vooraf

De Nederlandse kustwateren worden belast met nutriënten, wat leidt tot ongewenste eutrofiëringverschijnselen. Om tot een afweging van maatregelen te komen is naast inzicht in de grootte van de nutriëntenbelasting ook inzicht in de herkomst van de nutriënten noodzakelijk.

Dit onderzoek beoogt de vrachten van nutriënten vanuit het stroomgebied van de grote rivieren, op het Nederlandse deel van de Noordzee te kwantificeren en tevens de herkomst ervan te bepalen. Belangrijk daarbij is het onderscheid in het aandeel van binnenlandse bronnen en de aanvoer van nutriënten uit het buitenland via de grote grensoverschrijdende rivieren. Het doel is voorts regionale verschillen in de bronnen en retentieprocessen in het oppervlaktewater aan te geven.

De auteur bedankt de heren T. Prins (RIKZ Middelburg) en R. Laane (RIKZ Den Haag) voor de begeleiding van het onderzoek en hun inbreng in de discussies. Voor dit onderzoek is o.a. gebruikt gemaakt van databestanden die zijn opgezet door Danneke Bakker in het kader van haar afstudeeronderzoek aan de Wageningen Universiteit.





## **Samenvatting**

### **Introductie**

De Nederlandse kustwateren worden belast met verhoogde concentraties stikstof en fosfaat, wat leidt tot eutrofiering van de mariene kustsystemen. De nutriënten bereiken de kustzone vooral via de afvoer van de grote rivieren. Uit eerder onderzoek is duidelijk dat er een aanzienlijke import vanuit het buitenland plaats vindt via de aanvoer van Rijn, Maas en Schelde. Daarnaast is er een forse bijdrage van emissies binnen Nederland via puntbronnen en diffuse bronnen.

Echter niet alle nutriënten die geloosd worden op het oppervlaktewater bereiken uiteindelijk ook de kustwateren. Tijdens het transport in het zoete oppervlaktewater en in de overgangswateren vindt retentie plaats. Deze retentie van nutriënten kan aanzienlijk zijn en verschilt per regio en per watertype en is ook temporeel variabel. Dit betekent, dat de relatieve bijdrage van verschillende bronnen aan de uiteindelijke vracht van N en P naar zee niet simpelweg geschat kan worden uit de relatieve bijdrage van binnenlandse bronnen en buitenlandse import.

Een koppeling van de bronnen van nutriënten en effecten ervan op de eutrofiëringstoestand in de kustwateren is nodig om een afweging te kunnen maken van de meest effectieve maatregelen om tot een reductie in de kustwateren te kunnen komen. Met het oog hierop is het nodig dat er een beter kwantitatief onderbouwd beeld komt van de relatieve bijdrage van verschillende binnenlandse bronnen en buitenlandse import aan de uiteindelijke vracht van N en P naar zee.

### **Doel van het onderzoek**

Het doel van deze studie is het kwantificeren van verschillende bronnen van stikstof (N) en fosfor (P) die via het zoete oppervlaktewater op het Nederlandse deel van de Noordzee terecht komen. Dit betreft zowel de vrachten N en P die op de (regionale) Nederlandse oppervlaktewateren worden geloosd, als ook de vrachten die via grensoverschrijdende rivieren uit Duitsland en België worden aangevoerd. Belangrijk element daarbij is dat in de vrachtberekeningen rekening wordt gehouden met retentie van N en P in het oppervlaktewater.

De balansen worden opgesteld voor verschillende hydrologische jaren om inzicht te geven in het effect van verschillende neerslag- en afvoercondities.

Daarnaast is het doel de regionale spreiding van de bronnen en van de retentie aan te geven, en aldus een inschatting te maken van de bijdrage van de individuele deelstroomgebieden aan de uiteindelijke vracht naar de Noordzee.

### **Werkwijze**

De algemene opzet van het onderzoek is het opstellen van balansen van N en P over het Nederlandse oppervlaktewater voor elk jaar in de periode 1995-2000. Door bronnen en retentie te kwantificeren volgt de vracht naar de Noordzee als uitkomst van de balans.

Als basis zijn balansen opgesteld voor 19 deelstroomgebieden, zoals gedefinieerd in de nota Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw (WB21). Via de zogenaamde flow-path benadering zijn de deelstroomgebieden aan elkaar gekoppeld zodat uiteindelijk de vrachten N en P op de Noordzee kunnen worden berekend. Deze benadering maakt het mogelijk rekening te houden met regionale verschillen in punt- en diffuse bronnen en de optredende retentie van nutriënten tijdens het transport door het oppervlaktewater.

Het uiteindelijke resultaat van de flow-path benadering is de totale jaarvracht van stikstof en fosfor naar de Noordzee, waarbij ook het aandeel van binnenlandse en buitenlandse bronnen in de vracht zichtbaar gemaakt kunnen worden. Voorts is in deze methode uitsplitsing mogelijk naar de belangrijkste uitstroompunten van (zoet) oppervlaktewater naar de Noordzee: Haringvliet, Nieuwe Waterweg, Noordzeekanaal, Noordhollandskanaal, Afsluitdijk en Ooster- en Westerschelde.

## **Resultaten**

### Vrachten naar de Noordzee

De totale belasting van het Nederlandse oppervlaktewater met stikstof bedroeg in de periode 1995-2000 gemiddeld  $480 \pm 38$  miljoen kgN/jaar (95%-betrouwbaarheidsinterval). Hiervan was 75% afkomstig van aanvoer uit Duitsland en België via de grote rivieren. De totale belasting met fosfor bedroeg  $32 \pm 4.7$  miljoen kgP/jaar (95%-BI), waarvan 65% van buitenlandse herkomst was.

Met behulp van de flow-path benadering is het transport door de 19 deelstroomgebieden en de retentie in het oppervlaktewater berekend. De totale retentie werd via deze methode berekend op  $140 \pm 32$  miljoen kgN/jaar en  $11.5 \pm 2.7$  miljoen kgP/jaar, zodat de uiteindelijke vrachten nutriënten naar de Noordzee respectievelijk  $340 \pm 41$  miljoen kgN/jaar en  $20.5 \pm 4.1$  miljoen kgP/jaar bedroegen.

De hoogte van de aldus berekende vrachten en de variatie tussen de verschillen jaren liggen in lijn met de vrachten die door verschillende onderzoekers zijn geschat op basis van metingen van debieten en concentraties bij de uitstroompunten

Voor deze studie is atmosferische depositie rechtstreeks op oppervlaktewater beschouwd als een binnenlandse bron. In feite is dit discutabel en kan een deel ervan via transport door de lucht van buitenlandse herkomst zijn. Gezien het relatief kleine aandeel van atmosferische depositie in de totale stikstofbronnen (ca. 4%) is de verdeling binnenland-buitenland van de atmosferische depositie verder buiten beschouwing gelaten.

### Aandeel van binnenlandse bronnen in de vrachten

In Tabel 1 en 2 zijn de totale vrachten naar de Noordzee en het aandeel daarin van buitenlandse aanvoer en binnenlandse bronnen weergegeven.

Tabel 1. Aandeel Nederlandse N-bronnen aan totale vracht naar de Noordzee.

N-vracht Miljoen kg/jaar	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Gemid.
Vracht naar Noordzee	425.2	267.4	274.7	395.2	345.9	332.0	340.1
- Vracht aandeel grensoverschr.	361.4	222.2	228.3	311.2	286.6	272.5	280.4
- Vracht aandeel NL	63.8	45.2	46.4	84.1	59.3	59.5	59.7
% aandeel binnenlandse bronnen	15.0	16.9	16.9	21.3	17.1	17.9	17.5

Tabel 2. Aandeel Nederlandse P-bronnen aan totale vracht naar de Noordzee.

P-vracht Miljoen kg/jaar	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Gemid.
Vracht naar Noordzee	24.0	13.6	15.7	23.8	24.4	19.2	20.1
- Vracht aandeel grensoverschr.	17.7	10.7	11.6	17.4	18.4	14.4	15.0
- Vracht aandeel NL	6.3	2.9	4.1	6.4	6.0	4.8	5.1
% aandeel binnenlandse bronnen	26.3	21.0	26.1	26.9	24.4	24.9	25.0

Het aandeel van de Nederlandse bronnen in de vracht naar de Noordzee bedroeg gemiddeld 18% voor N en 25% voor P in de periode 1995-2000. Dit is minder dan het aandeel van de bronnen in de totale belasting van het oppervlaktewater in Nederland. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de retentie tijdens het transport door de regionale wateren groter is dan de retentie in de grote rivieren.

Het binnenlandse aandeel in de vrachten naar de Noordzee neemt toe tijdens jaren met hoge neerslaghoeveelheden en neemt af in (relatief) droge jaren. Dit wordt veroorzaakt door een toename c.q. afname van de berekende diffuse uitspoeling in extreme weerjaren. Dat verklaart het relatief lage aandeel in 1996 en hoge aandeel in 1998.

Het relatieve aandeel van de afzonderlijke deelstroomgebieden in de vrachten naar de Noordzee is variabel en hangt vooral samen met de grootte van het deelstroomgebied en de lengte van de transportroute naar zee.

Het aandeel van binnenlandse bronnen op de vrachten bij de verschillende uitstroompunten vertoont een grote variatie. Bij het Noordzeekanaal is deze het grootst (64%) terwijl bij de Nieuwe Waterweg (grootste vracht op de Noordzee) dit aandeel slechts 7.5% bedraagt. Dit is rechtstreeks gekoppeld aan de waterverdeling in het hoofdwatersysteem van Nederland. Het meeste grensoverschrijdende rivierwater wordt via de Nieuwe Waterweg op de Noordzee geloosd.

## Conclusies

De hier gepresenteerde berekeningsmethode maakt het mogelijk, naast het maken van balansen op nationale schaal, ook in te zoomen op deelgebieden. Door het hanteren van deelbalansen en transportroutes tussen de deelgebieden kan een onderscheid gemaakt worden tussen stofstromen van nutriënten in regionale wateren en in de grote rivieren. Daarmee kan zowel de bijdrage van buitenlandse bronnen, als ook de bijdrage van de afzonderlijke Nederlandse deelgebieden aan de nutriëntenvrachten op de Noordzee berekend worden. Tevens wordt hiermee de retentie van

nutriënten regiospecifiek berekend; deze werd in voorgaande studies veelal bepaald als sluitpost van de balans op nationale schaal.

De belangrijkste conclusies zijn, dat het Nederlandse aandeel in de vrachten van nutriënten naar de Noordzee is gemiddeld 18% voor N en 25% voor P. Dit is minder dan het Nederlandse aandeel in de totale belasting van het oppervlaktewater (respectievelijk 25% en 35%). De bijdragen van de afzonderlijke deelgebieden aan de vrachten op de Noordzee variëren van 0.4% tot 2.9%. Deze uitkomsten kunnen meegenomen worden bij het definiëren van maatregelen en het opzetten van stroomgebiedsbeheersplannen.

Tot slot dient opgemerkt te worden dat ondanks de relatief lage bijdrage van het Nederlandse stroomgebied aan de belasting van de Noordzee reductie van binnenlandse N en P bronnen noodzakelijk blijft. Zowel voor het verminderen van de vrachten op de Noordzee als de verbetering van de regionale watersystemen.

# 1 Inleiding

## 1.1 Aanleiding

De Nederlandse kustwateren worden belast met verhoogde concentraties van stikstof en fosfaat, wat leidt tot eutrofiering van de mariene systemen. De nutriënten bereiken de kustzone vooral via de afvoer van de grote rivieren. Voor het Nederlandse grondgebied exclusief de Noordzee zijn globale nutriëntenbalansen voor het oppervlaktewater bekend. Daaruit is duidelijk dat er een aanzienlijke import vanuit het buitenland plaatsvindt via de aanvoer van Rijn, Maas en Schelde. Daarnaast is er een bijdrage van emissies binnen Nederland vanuit puntbronnen en diffuse bronnen (Driesprong et al. 2006; Kroeze et al. 2003). Grofweg kan gesteld worden dat een derde van de nutriëntenbelasting van het Nederlandse oppervlaktewater afkomstig is van binnenlandse bronnen en tweederde vanuit het buitenland.

Het merendeel van de binnenlandse bronnen (maar ook de grensoverschrijdende aanvoer) heeft een antropogene herkomst te weten uitspoeling van meststoffen uit landbouwpercelen, rioolwater-zuiveringsinstallaties (RWZI's), atmosferische depositie, industriële lozingen en overige huishoudelijke lozingen.

Echter niet alle nutriënten die geloosd worden op het oppervlaktewater bereiken uiteindelijk ook de kustwateren. Tijdens het transport in het zoete oppervlaktewater en in de overgangswateren vindt retentie plaats. Uit eerder onderzoek (o.a. De Klein & Bakker, 2004; Driesprong et al., 2006) blijkt, dat deze retentie van nutriënten aanzienlijk is. De retentie wordt veroorzaakt door diverse processen, die deels optreden in het hoofdwatersysteem (rivieren en grote meren) en deels in de kleinere wateren. Voor stikstof (N) en fosfor (P) zijn de processen verschillend, en is de bijdrage van de verschillende watertypen aan de retentie van N en P ook verschillend. Dit alles betekent, dat de relatieve bijdrage van verschillende bronnen aan de uiteindelijke vracht van N en P naar zee niet simpelweg geschat kan worden uit de relatieve bijdrage van binnenlandse bronnen en buitenlandse import.

Een koppeling van de bronnen binnen het afwateringsgebied en effecten ervan op de eutrofiëringstoestand in de kustwateren is nodig om een afweging te kunnen maken van de meest effectieve maatregelen. Deze afweging is noodzakelijk voor het opstellen van stroomgebiedsbeheersplannen voor de Kaderrichtlijn Water. Met het oog hierop is het nodig dat er een beter kwantitatief onderbouwd beeld komt van de relatieve bijdrage van verschillende binnenlandse bronnen en buitenlandse import aan de uiteindelijke vracht van N en P naar zee.

## 1.2 Doel

Het doel van deze studie is het kwantificeren van verschillende bronnen van stikstof (N) en fosfor (P) die via het zoete oppervlaktewater op het Nederlandse deel van de Noordzee lozen. Dit betreft zowel de vrachten N en P die diffuus en via puntbronnen op de (regionale) Nederlandse oppervlaktewateren worden geloosd, als ook

de vrachten die via grensoverschrijdende rivieren uit Duitsland en België worden aangevoerd. Belangrijk element daarbij is dat in de vrachtberekeningen rekening wordt gehouden met retentie van N en P in het oppervlaktewater.

Door het uitvoeren van een Monte Carlo simulatie worden de onzekerheden in de berekeningen gekwantificeerd.

De balansen worden opgesteld voor verschillende hydrologische jaren om inzicht te geven in het effect van verschillende neerslag en afvoer condities.

Daarnaast is het doel de regionale spreiding van de bronnen en van de retentie aan te geven, en aldus een inschatting te maken van de bijdrage van de individuele deelstroomgebieden aan de uiteindelijke vracht naar de Noordzee.

## 2 Werkwijze

### 2.1 Algemene opzet

De algemene opzet van het onderzoek is het opstellen van balansen van N en P over het Nederlandse oppervlaktewater voor elk jaar in de periode 1995-2000. Door bronnen en retentie te kwantificeren volgt de vracht naar de Noordzee als uitkomst van de balans. De vrachten stikstof en fosfor op de Noordzee worden als volgt berekend:

$$\begin{aligned} & \text{Aanvoer uit België en Duitsland} \\ & + \\ & \text{Diffuse bronnen (NL)} \\ & + \\ & \text{Puntbronnen (NL)} \\ & - \\ & \text{Retentie in het oppervlaktewater} \\ & = \\ & \text{Netto vracht op de Noordzee} \end{aligned}$$

Als basis zijn balansen opgesteld voor 19 deelstroomgebieden, zoals gedefinieerd in de nota Waterbeheer 21<sup>e</sup> eeuw (WB21, Commissie Tielrooij, 2000). Via de zogenaamde flow-path benadering zijn de deelstroomgebieden aan elkaar gekoppeld zodat uiteindelijk de vrachten N en P op de Noordzee kunnen worden berekend. Deze benadering maakt het mogelijk rekening te houden met regionale verschillen in punt- en diffuse bronnen en de optredende retentie van nutriënten tijdens het transport door het oppervlaktewater.

Het uiteindelijke resultaat van de flow-path benadering is de totale jaarvracht van stikstof en fosfor naar de Noordzee, waarbij nog uitsplitsing mogelijk is naar de belangrijkste uitstroompunten: Haringvliet, Nieuwe Waterweg, Noordzeekanaal, Noordhollandskanaal, Afsluitdijk en Ooster- en Westerschelde.

### 2.2 Bronnen

#### Aanvoer uit België en Duitsland

De vrachten N en P die via de grensoverschrijdende rivieren worden aangevoerd zijn berekend uit langjarige metingen, uitgevoerd door Rijkswaterstaat (bron: Donar). Op de grenslocaties Lobith, Eijsden en Doel ven respectievelijk Rijn, Maas en Schelde zijn intensieve metingen gedaan van debieten (dagelijks) en nutriëntenconcentraties (wekelijks tot 2-wekelijks). Op basis van deze metingen zijn vrachten N en P berekend met de 'gewogen concentratie methode' (Klavers et al., 1993).



### Diffuse bronnen

Diffuse binnenlandse bronnen zijn uitspoeling uit de landbouw en atmosferische depositie rechtstreeks op oppervlaktewater. Landbouwemissies zijn berekend met het modelinstrumentarium STONE (Wolf et al., 2003). Dit is een landsdekkend model dat jaarlijkse emissies berekend in ca 6000 deelgebiedjes ('plots'). Input voor dit model is de bemesting en atmosferische depositie op het land. Voor deze studie zijn de meest recente modelberekeningen gehanteerd (april 2005).

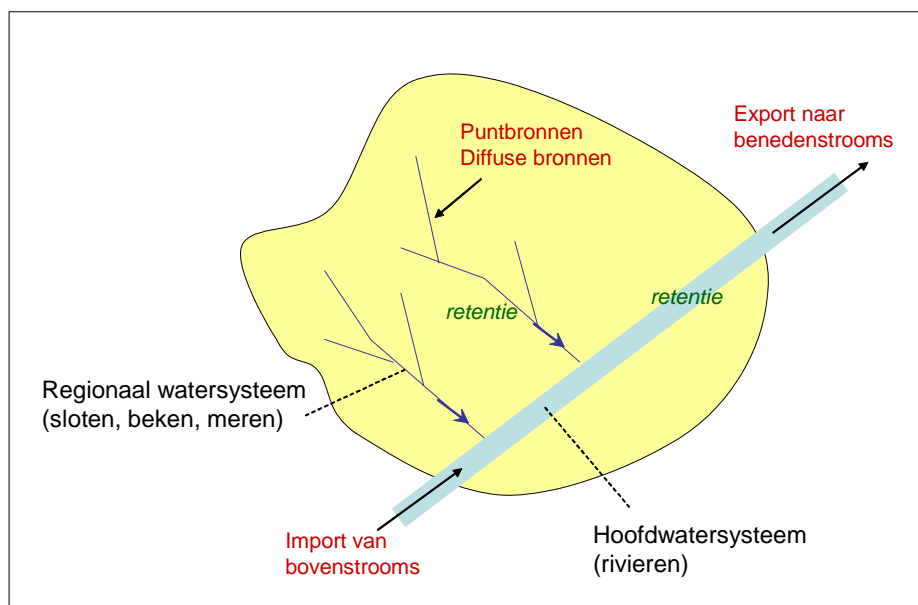
Voor atmosferische depositie op oppervlaktewater is een uniforme waarde aangenomen (VROM, 2001). Per deelstroomgebied is de vracht van deze bron berekend, gerelateerd aan het totale oppervlak open water.

### Puntbronnen

Puntbronnen bestaan uit directe emissies uit de industrie en huishoudelijke bronnen (direct of via het afvalwatersysteem). Deze zijn berekend uit het databestand van de landelijke Emissieregistratie (Emissieregistratie, 2006). In de Emissieregistratie zijn gegevens opgeslagen van 2440 afwateringsgebieden, die voor deze studie gesommeerd zijn per deelstroomgebied.

## 2.3 Flow-path benadering

De basis voor de flow-path benadering is het koppelen van deelstroomgebieden van bovenstrooms naar benedenstrooms. De nutriëntenbalansen van de deelstroomgebieden zijn niet onafhankelijk. Een deelstroomgebied ontvangt nutriënten uit bovenstroomse gebieden of buitenlandse bronnen en geeft deze door aan benedenstroomse gebieden en uiteindelijk de zee. In Figuur 2.1 is de situatie binnen een deelstroomgebied weergegeven.



Figuur 2.1. Schematische weergave berekening nutriëntenvrachten binnen een deelstroomgebied.

De debieten door het hoofdwatersysteem, dat de deelstroomgebieden met elkaar verbindt, zijn bepaald met resultaten van het distributiemodel. Dit model is de hydrologische basis voor het stofstromenmodel (Driesprong, 2004).

In Bijlage 1 is de indeling in de WB21 deelstroomgebieden weergegeven en de koppeling met het netwerk van het distributiemodel.

## 2.4 Retentie in het oppervlaktewater

Er zijn veel studies gedaan naar retentie van nutriënten in oppervlaktewater. Dit betreft enerzijds procesonderzoek, waarbij de belangrijkste verwijderingsprocessen zijn gekwantificeerd. Anderzijds gaat het om onderzoek met behulp van (gebieds)-balansen. De retentie wordt dan afgeleid uit het verschil van totale inkomende en uitgaande vracht. Voor stroomgebieden van laaglandbeken is berekend dat nutriëntenretentie in klein oppervlaktewater aanzienlijk kan zijn, maar tevens variabel (30%-70%) (o.a. Peterson, 2001; Svendsen, 1993). Een belangrijke verklarende factor voor de variabiliteit van de retentie is het totale oppervlak open water binnen een stroomgebied (Venohr, 2005; De Klein, 2006).

Voor de grote rivieren (Rijn en Waal) is vastgesteld dat retentie van stikstof erg laag is (enkele procenten) en voor fosfor weliswaar iets hoger (5%-10%), maar veel lager dan in de regionale wateren (van der Lee et al., 2004). Alexander (2000) geeft aan, dat de retentie van stikstof afneemt naarmate de dimensie van de wateren groter wordt. Voor kleine stromende wateren berekent hij een 1<sup>e</sup>-orde verdwijnterm van ca. 0.45 dag<sup>-1</sup> en voor grote rivieren ca. 0.015 dag<sup>-1</sup>. Bij een gemiddelde verblijftijd van 2 dagen betekent dit een relatieve retentiefactor van respectievelijk 0.6 en 0.03.<sup>1</sup>

Een overzicht van retentiefactoren en berekeningsmethoden is te vinden in het Nutrient Retention Handbook (Kronvang et al., 2004).

Op basis van bovengenoemde studies en eigen onderzoek (De Klein et al., in prep.) zijn voor deze studie retentiefactoren per watertype vastgesteld (Tabel 2.1). Deze factoren betreffen de relatieve retentie, dat wil zeggen de fractie van de totale inkomende vracht die in het water wordt vastgelegd

Tabel 2.1. Relatieve Retentiefactoren voor N en P in oppervlaktewater (-) per watertype.

	N	P
Greppels en kleine sloten (< 3 m breed)	0.5	0.3
Sloten (3 tot 6 m breed)	0.6	0.5
Beken (> 6 m breed)	0.6	0.5
Meren	0.25	0.45
Rivieren	0.04	0.09

<sup>1</sup> Dit wordt als volgt berekend: 1e orde vergelijking:  $C_t = C_0 * e^{(-K*t)}$  met  $C_0$  beginconcentratie,  $C_t$  concentratie op tijd  $t$ ,  $K$  1e orde verdwijnterm. Relatieve retentie  $R$  kan beschreven worden met

$$R = 1 - \frac{C_t}{C_0} = 1 - e^{(-K*t)}$$

Retentie van nutriënten in het oppervlaktewater is per deelstroomgebied geschat op basis van deze retentiefactoren, het totale oppervlak open water en de verdeling over de verschillende watertypen (greppels, sloten, beken, meren en rivieren). De basisgegevens hiervoor zijn verkregen van digitale kaarten met verdeling van verschillende watertypen per gridcel van 250 bij 250 m (bron: Stone Hydrologie, Alterra).

Binnen het deelstroomgebied is de retentie berekend aan de hand van de oppervlakte greppels, sloten, beken en meren. De retentie in het hoofdwatersysteem is berekend met de retentiefactor voor rivieren, met uitzondering van de Zeeuwse wateren en het IJsselmeer. Hiervoor zijn de retentiefactoren voor meren gehanteerd.

## **2.5 Verificatie berekende vracht op Noordzee met gemeten exportvrachten**

De flow-path benadering resulteert in berekende vrachten op de Noordzee, inclusief retentie in de regionale wateren en het hoofdwatersysteem. Om de validiteit van deze vrachtberekeningen te testen zijn de uitkomsten vergeleken met geschatte vrachten op basis van metingen bij de uitstroompunten. Dit betreft geschatte vrachten uit deze studie en tevens berekeningen in het kader van ecologische modelstudies (Pätsch & Lenhart, 2002) en het Milieucompendium van het Milieu en Natuur Planbureau (MNP, bron: Emissieregistratie, 2006). Opgemerkt dient te worden dat de geschatte vrachten uit de drie genoemde studies zijn gebaseerd op dezelfde basisgegevens (debietmetingen en concentraties van Rijkswaterstaat). Maar door verschillende aannames en methoden van vrachtberekeningen verschillen de uitkomsten in bepaalde mate van elkaar (zie paragraaf 2.6).

## **2.6 Onzekerheden balansberekeningen**

Zoals elke (model)berekening bevat de hier gepresenteerde methode voor het schatten van vrachten naar de Noordzee onzekerheden. Dit zijn onzekerheden in de meetgegevens, vrachtberekeningen, schatting van bronnen etc. Voor het beoordelen van de resultaten en het vergelijken met resultaten van andere onderzoeken is het noodzakelijk om inzicht in de orde grootte van de fout in de vrachten te hebben.

De flow-path methode zoals toegepast in deze studie bestaat uit een serie van onderling afhankelijke berekeningen. Dit maakt het moeilijk om een directe analyse van fouten-voortplanting te maken. Om toch de onzekerheid in de exportvrachten te schatten is hier gebruik gemaakt van een zogenaamde Monte Carlo simulatie<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Monte Carlo simulatie is een techniek om complexe situaties te modelleren, met variërende waarden voor de invoergegevens en parameters, in plaats van vaste waarden (Poulter, 2003). De modelberekening wordt een groot aantal keren uitgevoerd; voor elke berekening worden de waarden voor invoer en parameters willekeurig gekozen uit een kansdichtheidsverdeling van de variabele. De herhaalde berekeningen genereren een waarschijnlijkheidsverdeling of cumulatieve verdeling voor het eindresultaat. Uit deze gegevens wordt het resultaat van de uitkomst afgeleid, uitgedrukt in een gemiddelde of mediaan, een standaard deviatie en eventueel een 95%-betrouwbaarheidsinterval.

Klavers et al. (1993) hebben een uitgebreide studie gedaan naar onzekerheden bij het berekenen van vrachten opgeloste en zwevende stoffen in grote rivieren. Op basis van hoogfrequente meetreeksen van ammonium, chloride en zwevende stof in Rijn en Maas zijn betrouwbaarheidsintervallen rond gemiddelde jaarvrachten vastgesteld. Deze betrouwbaarheidsintervallen geven de grootte van de toevallige fout weer. Tevens hebben zij onderzocht in hoeverre er een systematische fout optreedt bij verschillende vrachtberekingsmethoden met verschillende aantallen concentratiemetingen.

Hun conclusie was dat de bij de gewogen concentratie methode (gebruikt in dit onderzoek) de systematische fout verwaarloosbaar is bij een 2-wekelijkse concentratiemetingen. De onbetrouwbaarheid (toevallige fout, uitgedrukt in een 95%-betrouwbaarheidsinterval) kan aanzienlijk zijn en is verschillend voor de verschillende stoffen. Voor chloride is dit 5%-10% en voor zwevende stof 20%-30%.

Voor deze studie hebben we de betrouwbaarheidsintervallen van chloride en ammonium als maat genomen voor totaal-N en van zwevende stof als maat voor totaal-P. Voor de uniformiteit met de overige invoergegevens en coëfficiënten zijn de 95%-betrouwbaarheidsintervallen omgerekend naar een standaarddeviatie (dat wil zeggen gedeeld door 1.96).

Op basis van literatuur en expert judgement zijn aan alle balansposten onzekerheden toegekend. We nemen aan dat de invoergegevens en parameters normaal verdeeld zijn, uitgedrukt in een gemiddelde en een standaarddeviatie (zie Tabel 2.2).

Tabel 2.2. Relatieve standaarddeviatie (SD als % van het gemiddelde) voor de invoerwaarden in de flow-path berekening.

Balanspost	Standaard afwijking (%)	Opmerkingen
<i>Input</i>		
Import door rivieren	6-12 (50)	6% N, 12% P (Rijn), 50% P (Maas); (naar Klavers et al., 1993)
Puntbronnen (NL)	20	Toelichting bij emissieregistratie
Diffuse bronnen (NL)	30	Validatie Stone; De Vries et al., 2001
Atmosferische depositie	15	Schatting MNP (alleen voor N)
<i>Output</i>		
Retentie (coëfficiënten)	20	Schatting
Export naar Noordzee	?	Restpost; volgt uit overigen

Bij de Mont Carlo simulatie is de berekening 2000 keer uitgevoerd, waarbij de invoerwaarden willekeurig geselecteerd werden uit de normale verdelingen. Door achtereenvolgens de onzekerheden van de verschillende invoeren en parameters weg te laten kon de bijdrage van de individuele gegevens aan de uiteindelijke spreiding worden vastgesteld.



## 3 Resultaten

### 3.1 Totale vrachten naar de Noordzee

In Tabel 3.1 en Tabel 3.2 zijn de berekende vrachten naar de Noordzee weergegeven voor de verschillende jaren in de periode 1995-2000, voor respectievelijk stikstof en fosfor. In deze perioden was er een aanzienlijke verscheidenheid in hydrologische condities waarbij 1996 extreem droog was en 1998 een nat jaar. Het jaar 2000 was hydrologisch gezien een gemiddeld jaar.

Tabel 3.1. Stikstofbalans van het oppervlaktewater in Nederland voor verschillende jaren (export naar de Noordzee berekend met flow-path).

N-vracht Miljoen kg/jaar	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Gemid 95 - 00	% 95 - 00
Balanspost								
<i>Input</i>								
Import door rivieren	469.0	288.0	296.0	404.0	372.0	354.0	363.8	75.8
Puntbronnen (NL)	43.0	45.4	43.9	40.7	37.0	36.0	41.0	8.5
Diffuse bronnen (NL)	67.8	31.0	33.3	111.0	66.4	68.4	63.0	13.1
Atmosferische depositie	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	12.3	2.6
<i>Output</i>								
Retentie (in oppervlaktewater)	166.6	109	110.5	172.5	141.5	138.4	139.9	29.1
Export naar Noordzee	425.2	267.4	274.7	395.2	345.9	332.0	340.1	70.9

Tabel 3.2. Fosforbalans van het oppervlaktewater in Nederland voor verschillende jaren (export naar de Noordzee berekend met flow-path).

P-vracht Miljoen kg/jaar	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Gemid 95 - 00	% 95 - 00
Balanspost								
<i>Input</i>								
Import door rivieren	23.3	15.6	16.6	23.7	24.6	19.2	20.5	64.9
Puntbronnen	7.0	6.7	6.5	5.6	6.0	4.4	6.0	19.0
Diffuse bronnen	5.0	2.7	2.9	9.0	5.3	5.6	5.1	16.1
Atmosferische depositie	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Output</i>								
Retentie (in oppervlaktewater)	11.3	11.4	10.3	14.5	11.5	10.0	11.5	36.4
Export naar Noordzee	24.0	13.6	15.7	23.8	24.4	19.2	20.1	63.6

Uit de Tabellen 3.1 en 3.2 komt duidelijk naar voren dat het grootste deel van de belasting van het Nederlandse oppervlaktewater wordt gevormd door aanvoer uit het buitenland via de grote rivieren. Gemiddeld over de periode 1995-2000 is de verhouding binnenlandse en buitenlandse bronnen 24%-76% voor N, en 35%-65% voor P. Voorts komt uit de berekeningen naar voren dat van de totale N-belasting uiteindelijk 71% naar de Noordzee wordt afgevoerd en 29% wordt tijdens het transport in

het oppervlaktewater verwijderd of vastgelegd (retentie). Voor P is de vracht op de Noordzee 64% en de retentie 36% van de totale belasting.

De resultaten komen goed overeen met de cijfers gepresenteerd in het onderzoek Afwenteling Rijkswateren (Driesprong et al., 2006). De auteurs berekenen de bronnen en de vrachten op de Noordzee voor een aantal stoffen waaronder N en P, in de periode 2000-2003. In die studie worden de totale binnenlandse en buitenlandse N-bronnen en de N-export naar de Noordzee geschat op respectievelijk 462 en 335 miljoen kg/j (vergelijk Tabel 3.1: 471 en 332 miljoen kg/j). Voor P schatten zij respectievelijk 29.5 en 18.5 miljoen kg/j (vergelijk Tabel 3.2: 29.2 en 19.2 miljoen kg/j).

### Onzekerheidsanalyse

De resultaten van de Monte Carlo simulaties zijn samengevat in Tabel 3.3. Hierin zijn gemiddelde waarden en onzekerheden weergegeven voor de invoergegevens, retentie en vracht op de Noordzee, in de periode 1995-2000.

Tabel 3.3. Resultaten Monte Carlo simulaties.

Periode 1995-2000	N		P	
	gemiddelde miljoen kg/j	95%-betrouwbaarheidsinterval	Gemiddelde miljoen kg/j	95%-betrouwbaarheidsinterval
Grensoverschrijdende rivieren	363.8	± 34.7	20.5	± 4.5
Puntbronnen (NL)	41.1	± 4.5	6.0	± 0.8
Diffuse bronnen (NL)	63.0	± 10.0	5.1	± 0.8
Atmosferisch depositie	12.2	± 3.5	-	-
Totaal Bronnen	480.1	± 37.7	31.6	± 4.7
Retentie	139.8	± 31.8	11.5	± 2.7
Vracht naar Noordzee	340.2	± 41.4	20.1	± 4.1

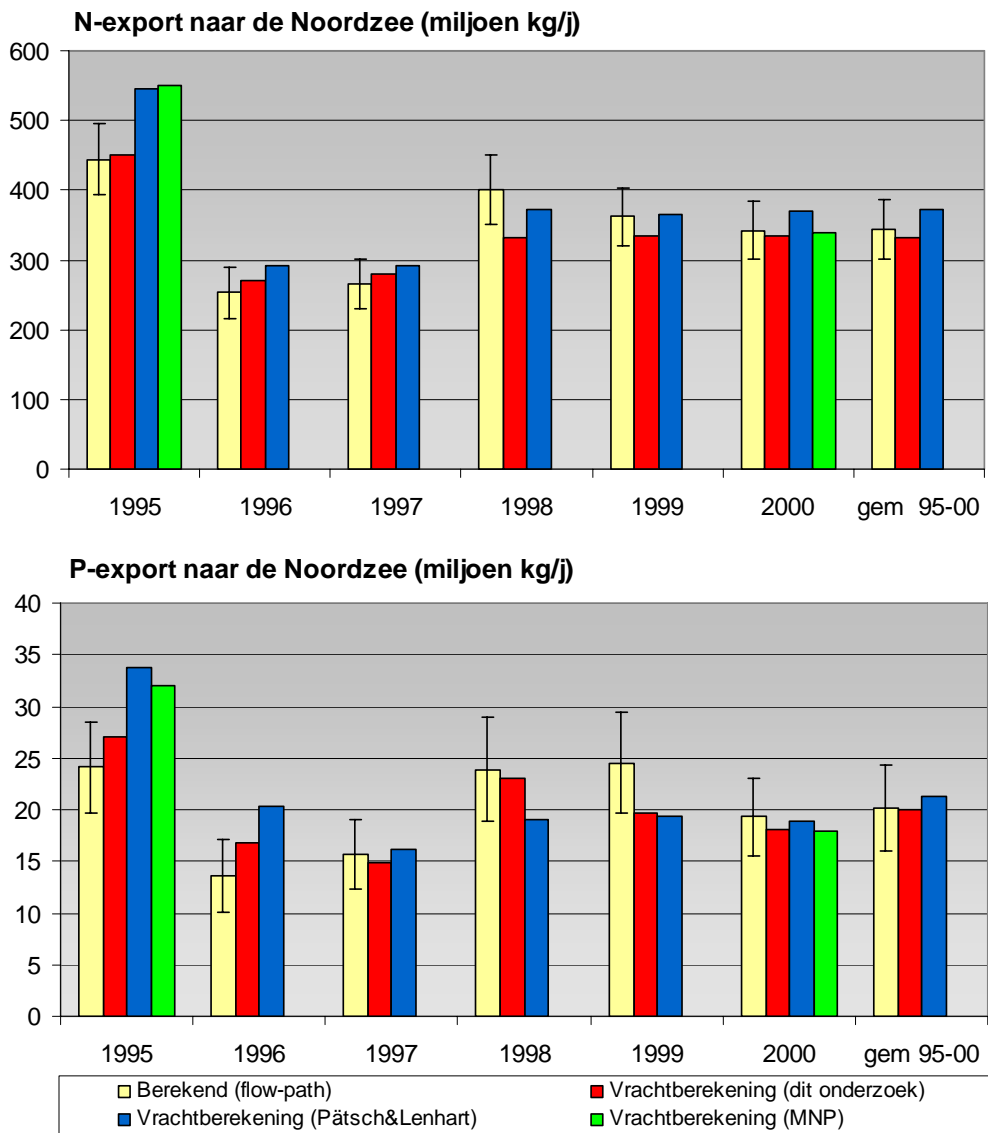
De resultaten van de Monte Carlo simulaties zijn normaal verdeeld en de gemiddelde waarden komen goed overeen met de data gepresenteerd in Tabel 3.1 en 3.2. Dit was te verwachten aangezien aangenomen is dat de invoerwaarden en parameters ook normaal verdeeld zijn.

Het 95%-betrouwbaarheidsinterval voor de gemiddelde vracht naar de Noordzee bedraagt  $340 \pm 42$  miljoen kgN/j en  $20.1 \pm 4.2$  miljoen kgP/j. Voor P is de relatieve onzekerheid dus groter. Dit wordt veroorzaakt door een grotere onzekerheid van de berekende P-vrachten door de grote rivieren.

Verdere analyse van de Monte Carlo resultaten laten zien dat de grootste bijdrage aan de onzekerheid in de geschatte vrachten naar de Noordzee wordt gevormd door de onzekerheid in grensoverschrijdende vrachten (41%-50%) en in de retentiefactoren (39%-47%). Dit laatste wordt gedomineerd door onzekerheid in de retentie in de grote rivieren.

## Validatie vrachten naar de Noordzee

In Figuur 3.1 zijn de, met de flow-path methode, berekende vrachten naar de Noordzee vergeleken met geschatte vrachten op basis van metingen bij de uitstroompunten. Tevens is bij de berekende vrachten het 95%-betrouwbaarheidsinterval weergegeven.



Figuur.3.1 Totale vrachten N en P op de Noordzee berekend met flow-path, vergeleken met berekende vrachten op basis van debiet- en concentratiemetingen bij de uitstroompunten (respectievelijk uit deze studie, Pätsch & Lenhart, en MNP milieucompendium). Foutenbalken geven het 95%-betrouwbaarheidsinterval weer.

Figuur 3.1 laat zien dat de er een behoorlijke overeenkomst is van de berekende vrachten (flow-path) met de geschatte vrachten op de uitstroompunten. Daarbij moet



opgemerkt worden dat het berekenen van vrachten op basis van debieten en concentraties bij de uitstroompunten ook behoorlijke onzekerheden bevat. In deze veelal overgangswateren met invloed van het getij zijn de exacte debieten lastiger te meten dan bijv. bij de grensovergangen Lobith en Eijsden. Voorts gebruiken Pättsch & Lenhart (2004) de interpolatie-methode voor hun vrachtberekeningen terwijl voor dit onderzoek de gewogen concentratie methode is toegepast. Noch Pättsch & Lenhart (2004) noch MNP (Emissieregistratie, 2006) doen voor hun berekeningen uitspraken over de onzekerheden. Conform de studie van Klavers et al. (1993) kunnen we aannemen dat de ‘gemeten’ vrachten bij de uitstroompunten onzekerheden van 20%–30% bevatten.

### 3.2 Aandeel van verschillende bronnen in de vrachten naar de Noordzee

In de vorige paragraaf is ingegaan op het aandeel van de binnenlandse bronnen op de totale belasting (emissies) van het oppervlaktewater. Dit aandeel is niet per definitie hetzelfde als het aandeel in de uiteindelijke vrachten naar de Noordzee. Door verschillende transportwegen en regionale verschillen in retentie kan de verhouding binnenlands-buitenlands veranderen.

De hier gehanteerde flow-path benadering maakt het mogelijk de binnenlandse en grensoverschrijdende belasting apart te berekenen en uiteindelijk het aandeel van beide in de vracht naar de Noordzee te bepalen. In Tabel 3.3 en 3.4 zijn de resultaten weergegeven.

Tabel 3.3. Aandeel Nederlandse N-bronnen aan totale vracht naar de Noordzee.

N-vracht Miljoen kg/jaar	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Gemid.
Vracht naar Noordzee	425.2	267.4	274.7	395.2	345.9	332.0	340.1
- Vracht aandeel grensoverschr.	361.4	222.2	228.3	311.2	286.6	272.5	280.4
- Vracht aandeel NL	63.8	45.2	46.4	84.1	59.3	59.5	59.7
% aandeel binnenlandse bronnen	15.0	16.9	16.9	21.3	17.1	17.9	17.5

Tabel 3.4. Aandeel Nederlandse P-bronnen aan totale vracht naar de Noordzee.

P-vracht Miljoen kg/jaar	1995	1996	1997	1998	1999	2000	Gemid.
Vracht naar Noordzee	24.0	13.6	15.7	23.8	24.4	19.2	20.1
- Vracht aandeel grensoverschr.	17.7	10.7	11.6	17.4	18.4	14.4	15.0
- Vracht aandeel NL	6.3	2.9	4.1	6.4	6.0	4.8	5.1
% aandeel binnenlandse bronnen	26.3	21.0	26.1	26.9	24.4	24.9	25.0

Uit Tabel 3.3. valt af te leiden dat het aandeel van binnenlandse bronnen op de uiteindelijke vrachten naar de Noordzee gemiddelde 18% voor N en 25% voor P bedraagt, terwijl het aandeel in de emissies 25% resp. 35% is (zie Tabel 3.1 en 3.2). In de regionale wateren is de relatieve retentie groter dan in de grote rivieren, waardoor

het aandeel van de binnenlandse bronnen in de vracht vermindert. Overigens is de absolute retentie (in kg) in de grote rivieren veel groter, doordat de riviervrachten veel groter zijn.

Het binnenlandse aandeel in de vrachten naar de Noordzee neemt toe tijdens jaren met hoge neerslaghoeveelheden en neemt af in (relatief) droge jaren. Dit wordt veroorzaakt door een toename c.q. afname van de berekende diffuse uitspoeling in extreme weerjaren. Dat verklaart het relatief lage aandeel in 1996 en hoge aandeel in 1998 (zie par. 3.4).

Door de indeling in de deelstroomgebieden gekoppeld aan reële afvoerverdelingen is het ook mogelijk de afzonderlijke uitstroompunten naar de Noordzee te kwantificeren. In Tabel 3.5 is dit weergegeven. Daarbij is ook berekend wat het aandeel van de binnenlandse bronnen is op de vracht per uitstroompunt.

*Tabel 3.5. Totale exportvracht op de Noordzee en het aandeel binnenlandse bronnen (NL) aan de vracht, uitgesplitst naar de verschillende uitstroompunten (gemiddelden over periode 1995-2000).*

	Totale Vracht N (Miljoen kg/j)	Aandeel NL %	Totale Vracht P (Miljoen kg/j)	Aandeel NL %
Nieuwe Waterweg	180.2	7.5	10.44	14.3
Haringvliet	53.8	7.5	3.12	14.3
Noordzeekanaal	14.5	63.6	1.14	82.1
Noordhollandskanaal	2.8	63.6	0.22	82.1
Ooster-/Westerschelde	26.4	13.9	2.23	13.1
IJsselmeer (afsluitdijk)	41.2	37.3	1.75	48.5

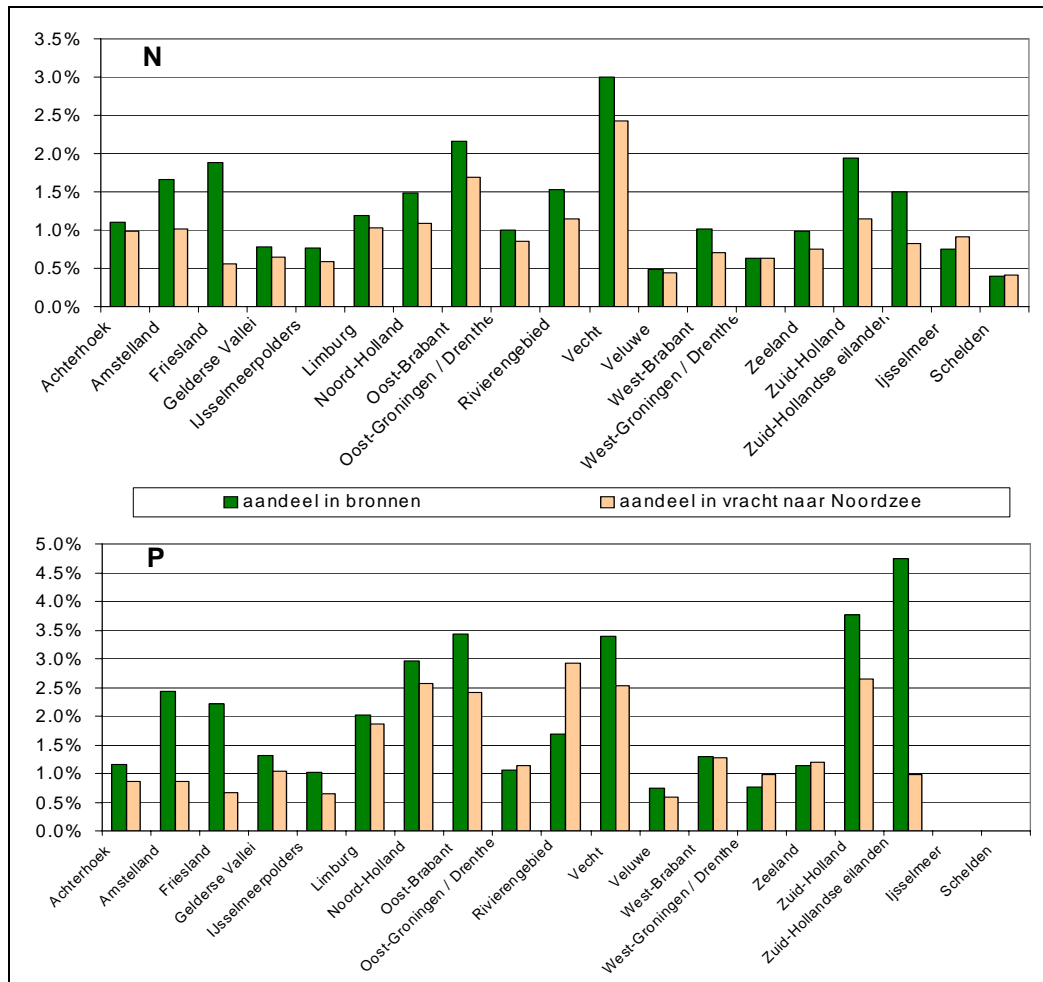
Het is duidelijk dat er grote verschillen bestaan tussen de uitstroompunten. Gezien de waterhuishouding van Nederland en afvoerverdeling van de grote rivieren is dit niet verwonderlijk. De grootste vracht naar de Noordzee vindt plaats via de Nieuwe Waterweg. Dit bestaat voor ruim 92% uit nutriënten van buitenlandse herkomst en minder dan 8% van Nederlandse bronnen. Daarentegen zijn de vrachten op de uitstroompunten in Noord-Holland relatief klein en daarvan is het aandeel binnenlandse bronnen bijna tweederde (63.6%).

### 3.3 Bijdrage van de afzonderlijke deelstroomgebieden

In Figuur 3.2 is het aandeel van de verschillende deelstroomgebieden aan de totale belasting van het oppervlaktewater weergegeven (donkere balk) en het aandeel in de uiteindelijke vracht naar de Noordzee (lichte balk).

Het aandeel in de belasting is in de orde van 0.5% tot 3% voor N en 1%-4% voor P voor de verschillende gebieden. De verschillen in bronnenaandeel worden in hoofdzaak veroorzaakt door de grootte van het gebied. In Bijlage 3 zijn de afzonderlijke bijdragen als getallen opgenomen, en ook de oppervlakten van de deelstroomgebieden.

Het aandeel in de vracht op de Noordzee is voor verreweg de meeste deelstroomgebieden lager dan het aandeel in de belasting. Dit wordt veroorzaakt door grotere retentie in de regionale wateren t.o.v. de rivieren. In welke mate het aandeel in de vracht lager is dan het aandeel in de belasting hangt af van de ligging van het deelstroomgebied (transportroute naar zee) en de mate van retentie in de regionale wateren.



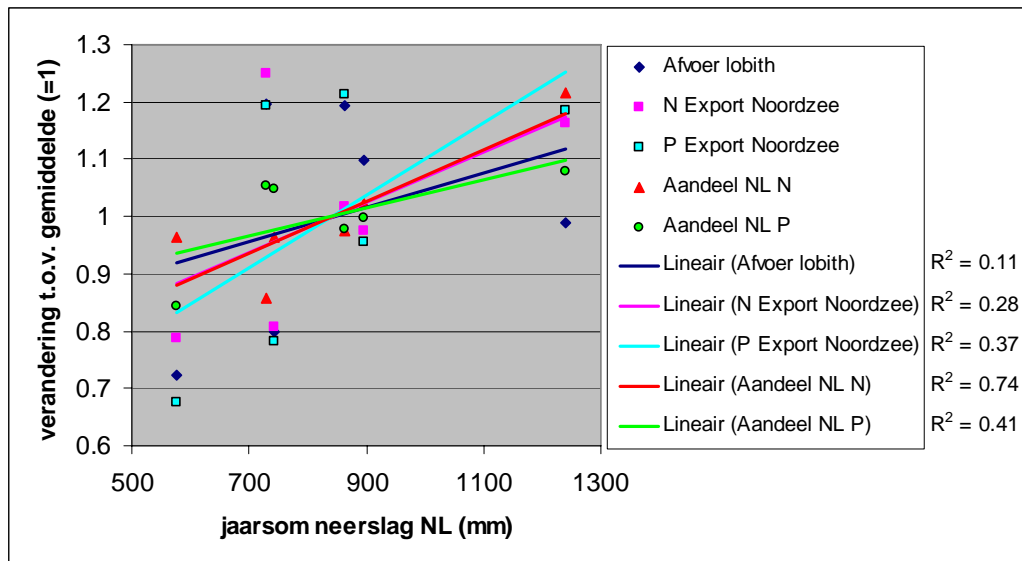
Figuur.3.2 Aandeel van de afzonderlijke deelstroomgebieden in de belasting (bronnen) van het oppervlaktewater en de uiteindelijke vrachten N en P naar de Noordzee (gemiddeld over de jaren 1995-2000).

### 3.4 Effect van verschillende hydrologische jaren

De periode 1995 tot 2000 bevat een aantal jaren, die hydrologisch verschillend zijn. Zo was 1996 erg droog, met een neerslagsom van 576 mm, terwijl 1998 zeer nat was met 1240 mm neerslag. Gemiddeld in deze periode was de neerslag 842 mm/jaar. Overigens bepalen de verdamping en de verdeling van de neerslag over het jaar ook mede de hydrologische condities, maar deze worden hier buiten beschouwing gelaten.

Het ligt voor de hand, dat de klimaatomstandigheden effect hebben op de grootte van de nutriëntenvrachten en mogelijk ook op het aandeel van binnenlandse en buitenlandse bronnen.

In Figuur 3.3 zijn de gemiddelde afvoer van de Rijn bij Lobith, de totale vrachten naar de Noordzee en het binnenlandse aandeel daarin uitgezet tegen de neerslag in het betreffende jaar. Te zien is, dat al deze grootheden toenemen met toenemende neerslag. Echter deze positieve relatie heeft slechts in enkele gevallen een significante betekenis (zie Bijlage 4).



Figuur 3.3. Relatie tussen de jaarsom van de neerslag in Nederland en de Rijn-afvoer bij Lobith, de vrachten N en P naar de Noordzee en het aandeel van binnenlandse bronnen in de vrachten.

Afvoer bij Lobith: de relatie is zwak positief en niet significant. Blijkbaar betekent een grote neerslaghoeveelheid in Nederland niet automatisch een grote neerslaghoeveelheid in de rest van het Rijn-stroomgebied. Daar komt bij dat een belangrijk deel van de Rijn-afvoer afkomstig is van gletsjers.

Vracht naar de Noordzee: voor zowel N als P neemt de vracht naar de Noordzee toe met toenemende neerslaghoeveelheid in Nederland. De cijfers wijzen uit dat dit vooral veroorzaakt wordt door toename van de bronnen binnen Nederland, voornamelijk diffuse uitspoeling. De relatie is echter niet significant.

Aandeel van binnenlandse bronnen: het aandeel van de binnenlandse bronnen in de vracht op de Noordzee neemt voor zowel N als P toe met toenemende neerslag. Dit wordt veroorzaakt door de grotere diffuse uitspoeling van N en P in natte jaren, berekend met het model Stone (zie Bijlage 2). Voor N is deze relatie duidelijk significant ( $p=0.028$ ), voor P niet ( $p=0.17$ ).



## 4 Conclusies

### 4.1 Vrachten naar de Noordzee

De totale belasting van het Nederlandse oppervlaktewater met stikstof bedroeg in de periode 1995-2000 gemiddeld  $480 \pm 38$  miljoen kgN/jaar (95%-betrouwbaarheids-interval). Hiervan was 75% afkomstig van aanvoer uit Duitsland en België via de grote rivieren. De totale belasting met fosfor bedroeg  $32 \pm 4.7$  miljoen kgP/jaar (95%-BI), waarvan 65% van buitenlandse herkomst was.

Met behulp van de flow-path benadering is het transport door de 19 deelstroomgebieden en de retentie in het oppervlaktewater berekend. De totale retentie werd via deze methode berekend op  $140 \pm 32$  miljoen kgN/jaar en  $11.5 \pm 2.7$  miljoen kgP/jaar, zodat de uiteindelijke vrachten nutriënten naar de Noordzee respectievelijk  $340 \pm 41$  miljoen kgN/jaar en  $20.5 \pm 4.1$  miljoen kgP/jaar bedroegen.

De hoogte van de aldus berekende vrachten en de variatie tussen de verschillende jaren liggen in lijn met de vrachten die door verschillende onderzoekers zijn geschat op basis van metingen van debieten en concentraties bij de uitstroompunten.

Voor deze studie is atmosferische depositie rechtstreeks op oppervlaktewater beschouwd als een binnenlandse bron. In feite is dit discutabel en kan een deel ervan via transport door de lucht van buitenlandse herkomst zijn. Gezien het relatief kleine aandeel van atmosferische depositie in de totale stikstofbronnen (ca. 4%) is de verdeling binnenland-buitenland van de atmosferische depositie verder buiten beschouwing gelaten.

### 4.2 Aandeel van binnenlandse bronnen in de vrachten

Het aandeel van de Nederlandse bronnen in de vracht naar de Noordzee bedroeg in de periode 1995-2000 gemiddeld 18% voor N en 25% voor P. Dit is minder dan het aandeel van de bronnen in de totale belasting van het oppervlaktewater in Nederland. Dit wordt veroorzaakt door het feit dat de retentie tijdens het transport door de regionale wateren groter is dan de retentie in de grote rivieren.

Het binnenlandse aandeel in de vrachten naar de Noordzee neemt toe tijdens jaren met hoge neerslaghoeveelheden en neemt af in (relatief) droge jaren. Dit wordt veroorzaakt door een toename c.q. afname van de berekende diffuse uitspoeling in extreme weerjaren. Dat verklaart het relatief lage aandeel in 1996 en hoge aandeel in 1998.

Het relatieve aandeel van de afzonderlijke deelstroomgebieden in de vrachten naar de Noordzee is variabel en hangt vooral samen met de grootte van het deelstroomgebied en de lengte van de transportroute naar zee.

Het aandeel van binnenlandse bronnen op de vrachten bij de verschillende uitstroompunten vertoont een grote variatie. Bij het Noordzeekanaal is dit het grootst (64%) terwijl bij de Nieuwe Waterweg (grootste vracht op de Noordzee) dit aandeel slechts 7.5% bedraagt. Dit is rechtstreeks gekoppeld aan de waterverdeling in

het hoofdwatersysteem van Nederland. Het meeste grensoverschrijdende rivierwater wordt via de Nieuwe Waterweg op de Noordzee geloosd.

### 4.3 Implicaties

De hier gepresenteerde berekeningsmethode maakt het mogelijk, naast het maken van balansen op nationale schaal, ook in te zoomen op deelgebieden. Door het hanteren van deelbalansen en transportroutes tussen de deelgebieden kan een onderscheid gemaakt worden tussen stofstromen van nutriënten in regionale wateren en in de grote rivieren. Daarmee kan zowel de bijdrage van buitenlandse bronnen, als ook de bijdrage van de afzonderlijke Nederlandse deelgebieden aan de nutriëntenvrachten op de Noordzee berekend worden. Tevens wordt hiermee de retentie van nutriënten regio-specifiek berekend; deze werd in voorgaande studies veelal bepaald als sluitpost van de balans op nationale schaal.

De uitkomsten van dit onderzoek kunnen meegenomen worden bij het definiëren van maatregelen en het opzetten van stroomgebiedsbeheersplannen. Echter met nadruk dient opgemerkt te worden dat ondanks de relatief lage bijdrage van het Nederlandse stroomgebied aan de belasting van de Noordzee, reductie van binnenlandse N en P bronnen noodzakelijk blijft. Zowel voor het verminderen van de vrachten op de Noordzee als de verbetering van de regionale watersystemen.

Tot slot moet opgemerkt worden, dat in deze studie gerekend is met data uit de periode 1995-2000. Sinds die periode zijn er wijzigingen opgetreden in de belastingen. Dit kan andere absolute vrachten tot gevolg hebben, echter naar verwachting zijn de verschillen niet groot. Dit geldt zeker voor het aandeel van de diverse bronnen in de totale vrachten op de Noordzee, die (met de gegeven onzekerheden) doorvertaald kunnen worden naar huidige situatie.

## Literatuur

- Alexander, R.B. & R.A. Smith et al. (2000). Effect of stream channel size on the delivery of nitrogen to the Gulf of Mexico. *Nature* 403(6771): 758-761.
- Bakker, D. (2004). De stikstof en fosforbalans van het Nederlandse oppervlaktewater. Een analyse van de mechanismen van de stikstof en fosforretentie. MSc-thesis Leerstoelgroep Aquatische Ecologie en Waterkwaliteitsbeheer rapportnummer 2004/015. Wageningen Universiteit.
- Commissie Tielrooij (2000). Waterbeleid voor de 21e eeuw. Advies van de Commissie Waterbeheer 21e eeuw aan de staatssecretaris van Verkeer en Waterstaat, augustus 2000.
- De Klein, J. & D. Bakker (2004) Nutrient retention in freshwaters in the Netherlands; Comparing a mass-balance and flow-path approach. 4<sup>th</sup> International Phosphorus Workshop, Wageningen, The Netherlands
- De Vries, W., J. Kros, O. Oenema & J. de klein (2003). Uncertainties in the fate of nitrogen II: A quantitative assessment of the uncertainties in major nitrogen fluxes in the Netherlands. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66(1): 71-102.
- Driesprong-Zoeteman, A. (2004). Quickscan Herkomstanalyse Stofstromen. Analyse van herkomst, gedrag en verspreiding van 12 landelijke probleemstoffen in Nederlands oppervlaktewater. Rijkswaterstaat RIZA werkdocument 2004.146X, Dordrecht, 102 p.
- Driesprong-Zoeteman, A., B. Huisman & M. van Hal (2006) Afwenteling rijkswateren. Eerste verkenning van effectiviteit KRW maatregelen in rijkswateren Schelde en Rijn-West. Rijkswaterstaat RIZA werkdocument 2005.154X, Rotterdam, 67 p.
- Emissieregistratie (2006). Jaarcijfers 2004. MNP, Bilthoven; CBS, Voorburg; RIZA, Lelystad; EC-LNV, Den Haag; SenterNovem, Utrecht en TNO-MEP, Apeldoorn.
- Klavers, H., A. de Vries, H. Twuiver & J. v.d. Meer (1993) Vrachtberekeningsmethoden : een casestudy voor Maas en Rijn. Rijkswaterstaat RIZA Werkdocument / RIZA (93.021X), Lelystad, 83 p.
- Kroeze, C. & R. Aerts et al. (2003). Uncertainties in the fate of nitrogen I: An overview of sources of uncertainty illustrated with a Dutch case study. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 66(1): 43-69.
- Kronvang, B. & J. Hezlar et al. (2004). Nutrient Retention Handbook. Software Manual for EUROHARP-NUTRET and Scientific review on nutrient retention. Oslo, Norway, NIVA: 103 pp.
- Pätsch, J. & H.J. Lenhart (2004) Daily Loads of Nutrients, Total Alkalinity, Dissolved Inorganic Carbon and Dissolved Organic Carbon of the European Continental Rivers for the Years 1977-2002. Zentrum für Meeres- und Klimaforschung, Reportnumber 48, Hamburg, Germany.
- Peterson, B.J. & W.M. Wollheim et al. (2001). Control of nitrogen export from watersheds by headwater streams. *Science* 292(5514): 86-90.

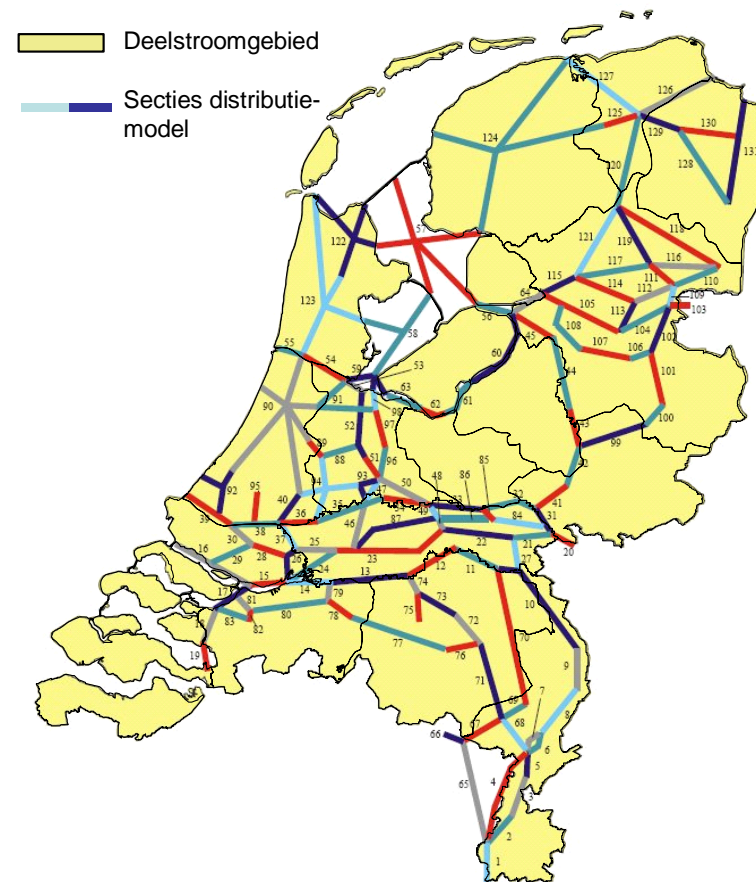


- Poulter, S.R. (2003) Monte Carlo Simulation in Environmental Risk Assessment Science, Policy And Legal Issues. Proceedings of Risk Assessment and Policy Association meeting, Alexandria, Virginia, March. 1997.
- Svendsen, L.M. & B. Kronvang (1993). Retention of Nitrogen and Phosphorus in a Danish Lowland River System - Implications for the Export from the Watershed. *Hydrobiologia* 251(1-3): 123-135.
- Van der Lee, G.E.M. & H.O. Venterink et al. (2004). Nutrient retention in floodplains of the Rhine distributaries in The Netherlands. *River Research and Applications* 20(3): 315-325.
- Venohr, M. & I. Donohue et al. (2005). Nitrogen retention in a river system and the effects of river morphology and lakes. *Water Science and Technology* 51(3-4): 19-29.
- VROM (2001). Nationaal Milieubeleidsplan 4. Een wereld en een wil: werken aan duurzaamheid. Ministerie van VROM, Den Haag.
- Wolf, J. & A.H.W. Beusen et al. (2003). The integrated modeling system STONE for calculating nutrient emissions from agriculture in the Netherlands. *Environmental Modeling & Software* 18 (2003) 597-617.

## Bijlage 1 Indeling WB21 Deelstroomgebieden



Figuur A.1. Indeling deelstroomgebieden WB21.



Figuur A.2. Koppeling deelstroomgebieden en distributiemodel hoofdwatersysteem.



## Bijlage 2 Uitspoeling van N en P per deelstroomgebied (berekend met STONE)

Stroomgebied	N-uitspoeling (miljoen kg N/jr)					
	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Achterhoek	4.7	1.4	2.0	6.7	3.2	3.6
Amstelland	2.4	1.8	1.5	4.8	3.1	3.0
Friesland	7.0	3.2	3.1	10.7	7.1	7.2
Gelderse Vallei	2.3	1.3	1.6	4.3	2.2	2.7
IJsselmeerpolders	2.2	1.9	1.6	4.2	2.5	3.2
Limburg	3.0	0.9	1.2	3.9	3.0	1.9
Noord-Holland	3.3	2.8	2.2	7.3	4.4	4.7
Oost-Brabant	7.8	1.9	2.6	10.3	6.6	5.8
Oost-Groningen / Drenthe	3.6	1.5	1.7	5.4	3.3	3.4
Rivierengebied	3.5	2.3	2.2	6.7	3.9	4.7
Vecht	13.0	3.5	4.9	18.6	9.1	10.2
Veluwe	1.5	0.8	0.9	2.3	1.3	1.5
West-Brabant	3.4	1.1	1.3	5.5	3.9	3.0
West-Groningen / Drenthe	2.3	0.9	1.0	4.2	2.2	2.3
Zeeland	3.1	1.6	2.1	6.5	3.9	4.7
Zuid-Holland	2.8	2.5	2.0	5.7	3.9	3.6
Zuid-Hollandse eilanden	1.8	1.6	1.6	4.1	2.8	2.9
<b>Totaal Nederland</b>	<b>67.8</b>	<b>31.0</b>	<b>33.3</b>	<b>111.0</b>	<b>66.4</b>	<b>68.4</b>

Stroomgebied	P-uitspoeling (miljoen kg P/j)					
	1995	1996	1997	1998	1999	2000
Achterhoek	0.19	0.06	0.08	0.35	0.13	0.15
Amstelland	0.18	0.13	0.12	0.37	0.25	0.25
Friesland	0.50	0.27	0.26	0.78	0.55	0.58
Gelderse Vallei	0.26	0.14	0.15	0.45	0.22	0.25
IJsselmeerpolders	0.19	0.15	0.14	0.45	0.21	0.26
Limburg	0.25	0.10	0.14	0.40	0.26	0.21
Noord-Holland	0.48	0.41	0.38	0.94	0.66	0.73
Oost-Brabant	0.71	0.23	0.29	1.04	0.60	0.65
Oost-Groningen / Drenthe	0.21	0.11	0.12	0.33	0.20	0.20
Rivierengebied	0.22	0.13	0.14	0.42	0.25	0.28
Vecht	0.64	0.26	0.31	1.17	0.50	0.56
Veluwe	0.10	0.05	0.05	0.16	0.09	0.10
West-Brabant	0.21	0.09	0.11	0.41	0.24	0.24
West-Groningen / Drenthe	0.15	0.07	0.08	0.25	0.15	0.16
Zeeland	0.19	0.11	0.14	0.44	0.27	0.29
Zuid-Holland	0.35	0.30	0.28	0.71	0.52	0.51
Zuid-Hollandse eilanden	0.14	0.11	0.11	0.31	0.21	0.22
<b>Totaal Nederland</b>	<b>4.97</b>	<b>2.74</b>	<b>2.89</b>	<b>8.98</b>	<b>5.33</b>	<b>5.65</b>



**Bijlage 3 Aandeel van de afzonderlijke deelstroomgebieden in de belasting (bronnen) van het oppervlaktewater en de uiteindelijke vrachten N en P naar de Noordzee (gemiddeld over de jaren 1995-2000)**

	Oppervlakte deelgebied  (km <sup>2</sup> )	N		P	
		aandeel bronnen (%)	aandeel export (%)	aandeel bronnen (%)	aandeel export (%)
Achterhoek	1928	1.1	1.0	1.2	0.9
Amstelland	1520	1.7	1.0	2.4	0.9
Friesland	3534	1.9	0.6	2.2	0.7
Gelderse Vallei	1055	0.8	0.6	1.3	1.0
IJsselmeerpolders	1487	0.8	0.6	1.0	0.7
Limburg	2207	1.2	1.0	2.0	1.9
Noord-Holland	1949	1.5	1.1	3.0	2.6
Oost-Brabant	3126	2.2	1.7	3.4	2.4
Oost-Groningen / Drenthe	2066	1.0	0.9	1.1	1.1
Rivierengebied	2073	1.5	1.1	1.7	2.9
Vecht	4827	3.0	2.4	3.4	2.5
Veluwe	1295	0.5	0.4	0.7	0.6
West-Brabant	1672	1.0	0.7	1.3	1.3
West-Groningen / Drenthe	1289	0.6	0.6	0.8	1.0
Zeeland	1752	1.0	0.7	1.1	1.2
Zuid-Holland	1846	1.9	1.2	3.8	2.6
Zuid-Hollandse eilanden	1390	1.5	0.8	4.7	1.0
IJsselmeer *	1904	0.8	0.9		
Schelden *	767	0.4	0.4		
Totaal NL	37684	24.2	17.9	35.1	25.2
Totaal Buitenland		75.8	82.1	64.9	74.8

\* Betreft alleen atmosferische depositie (N).



## Bijlage 4 Uitvoer SPSS regressie analyse op neerslagsom (m)

### Afvoer Lobith

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.748	.365		2.050	.110
	neerslag	.299	.421	.335	.710	.517

a Dependent Variable: VAR00008 R-squared=0.11

### Vracht N

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.633	.302		2.094	.104
	neerslag	.437	.349	.531	1.252	.279

a Dependent Variable: VAR00009 R-squared=0.28

### Vracht P

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.469	.354		1.325	.256
	neerslag	.632	.408	.612	1.548	.197

a Dependent Variable: VAR00010 R-squared=0.37

### Aandeel N

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.618	.116		5.311	.006
	neerslag	.454	.134	.860	3.377	.028

a Dependent Variable: VAR00011 R-squared=0.74

### Aandeel P

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.795	.126		6.297	.003
	neerslag	.244	.146	.642	1.674	.170

a Dependent Variable: VAR00012 R-squared=0.41



