

**Emissieschattingen Diffuse bronnen  
Emissieregistratie**

# **Atmosferische Depositie op Nederland en Nederlands Continentaal Plat**

Versie juni 2026

In opdracht van RIJKSWATERSTAAT – WVL  
Uitgevoerd door TNO, DELTARES en RIVM

# Atmosferische Depositie op Nederland en Nederlands Continentaal Plat

## 1 Omschrijving emissiebron

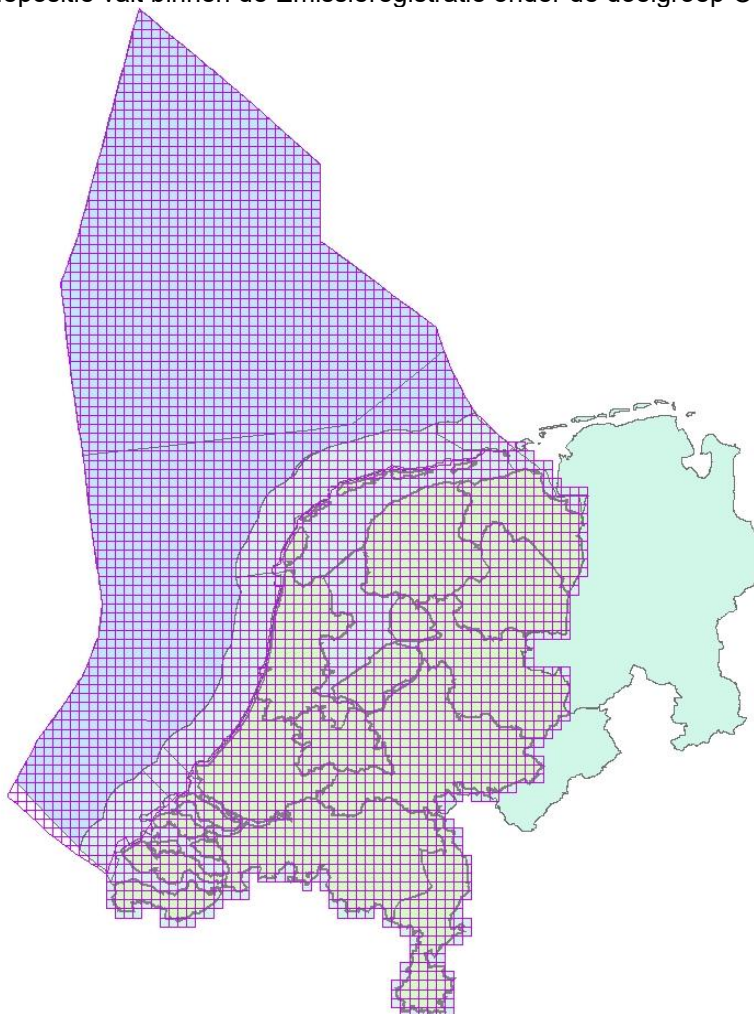
Atmosferische depositie van stoffen op water en bodem kan omschreven worden als een belasting van het oppervlaktewater dan wel de bodem via de lucht. Voor de hier gepresenteerde stoffen vindt de emissie van stoffen in eerste instantie naar de lucht plaats. De emissie naar de lucht wordt gegeven door de bij Emissieregistratie (ER) bekende bronnen in Nederland en Europa. Na emissie vanuit deze bronnen naar de atmosfeer worden stoffen verspreid door de atmosfeer waarna ze via de lucht (droge depositie) en via neerslag (natte depositie) in het water en op de bodem terecht komen.

Figuur 1 geeft een overzicht van het rekengebied dat in deze studie gebruikt is.

De depositie is in deze studie berekend voor Nederland en het Nederlands Continentaal Plat (NCP). Daarbij worden de volgende emissieoorzaken onderscheiden:

|         |                               |
|---------|-------------------------------|
| E400100 | depositie op oppervlaktewater |
| E400100 | depositie op riool            |
| E901411 | depositie op bodem            |

De atmosferische depositie valt binnen de Emissieregistratie onder de doelgroep Overig.



*figuur 1: Overzichtskartaal van het rekengebied dat gebruikt is in deze studie (alleen het gerasterde gedeelte).*

Opgemerkt wordt dat er wel gerekend is voor het Duitse gedeelte van de Dollard, maar dat deze cijfers niet in de Emissieregistratie zijn opgenomen.

## 2 Toelichting berekeningswijze

Voor tijdreeksen van depositie is het van belang dat er consistentie is in de methodiek waarop die wordt uitgerekend. Als er alleen naar metingen wordt gekeken, dan is het b.v. van belang dat eenzelfde set van meetstations wordt gebruikt en eenzelfde meetmethode in de tijd. Veranderingen in het aantal meetstations of veranderingen in de meetmethode kunnen tot inconsistenties in de tijdreeks leiden. Ditzelfde geldt voor modelberekeningen. Hiervoor is het van belang dat een consistente emissiereeks en dezelfde modelversie worden gebruikt. Daarnaast moeten de datafusiemethodes (methodes om de modeldata en de metingen te combineren, ook wel kalibratiemethodes genoemd) consistent zijn in de tijd.

De berekening van de stikstofdepositie volgt een iets andere route dan de overige berekende stoffen voor de Emissieregistratie. Dit komt o.a. doordat de emissiegegevens, modelversies en datafusiemethoden jaarlijks door RIVM worden aangepast aan de nieuwste inzichten. RIVM update jaarlijks de tijdreeksen voor stikstofdepositie. Voor de overige stoffen wordt eenmalig een berekening uitgevoerd die met trendfactoren wordt geupdated. In de toelichting wordt eerst ingegaan op de stikstofberekeningen en vervolgens op de overige stoffen.

### 2.1 Stikstof

De stikstofdepositie op water en bodem wordt jaarlijks vanaf 2005 door het RIVM doorgerekend. Voor deze berekeningen zijn de emissies naar lucht van de Emissieregistratie gebruikt. Voor de buitenlandse emissies naar lucht zijn de door de landen zelf aan de EU gerapporteerde gegevens gebruikt van het Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP). Voor het jaar 2024 zijn in beide gevallen de emissietotalen van het laatst beschikbare jaar gebruikt, maar is wel met de meteorologie van 2024 gerekend.

### Modelberekening

#### *Zoet oppervlaktewater*

De modelversie van OPS die voor de berekeningen is gebruikt is versie 5.1.1<sup>1</sup>. Dit is dezelfde modelversie als die voor de Grootschalige Concentratie- en Depositiekaarten Nederland (GCN/GDN) van RIVM voor het jaar 2024 is gebruikt. Voor de jaren vóór 2005 is geen herberekening uitgevoerd omdat de ruimtelijke informatie over de emissies in die periode nog vrij onzeker was. Daarom is er voor de ontwikkeling in de stikstofdepositie voor gekozen om de kaarten van vóór 2005 te schalen met de emissietotalen die door de emissieregistratie zijn gerapporteerd voor die jaren. De kalibratie van de modelberekeningen naar de beschikbare metingen gebeurt op dezelfde manier zoals beschreven is in de laatste GCN/GDN ronde<sup>2</sup>.

Voor de depositie op de grote oppervlaktewateren zijn aparte berekeningen uitgevoerd met het European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP) model (versie 4.33)<sup>3</sup>, omdat de berekeningen met het Operationele Prioritaire Stoffen (OPS) model boven zee momenteel minder betrouwbaar zijn. Dit komt doordat in het verleden emissies vanuit zee zijn geïntroduceerd om de berekeningen van de concentraties in de duinen beter te laten aansluiten bij de gemeten concentraties. Deze emissies leiden echter vooral boven zee tot onrealistisch hoge concentraties, waardoor ook de depositiecijfers boven zee uit OPS minder betrouwbaar worden geacht. Er loopt momenteel onderzoek bij het RIVM om het verschil tussen de berekende en gemeten concentraties langs de kust beter te kunnen duiden en de modellering hierop aan te kunnen passen [20, 21].

Voor de EMEP berekeningen zijn dezelfde emissies gebruikt als die ook worden gebruikt in de hiervoor beschreven OPS berekeningen. Er vindt bij de berekeningen boven water geen kalibratie aan de metingen plaats, omdat die boven water ontbreken. De berekeningen met EMEP zijn op verschillende ruimtelijke resoluties uitgevoerd. Voor het gehele rekengebied (uit figuur 1) zijn berekeningen op een  $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$  graad (ca. 35 x 55 km<sup>2</sup>) beschikbaar. Voor een groot deel van het rekengebied, behalve het noordelijke deel van de Doggersbank is een berekening op een hogere resolutie van  $\frac{1}{18} \times \frac{1}{18}$  graad (ca. 3.8 x 6.2 km<sup>2</sup>) beschikbaar. Boven Nederland en een deel van de Noordzee zijn berekeningen uitgevoerd op een ruimtelijke resolutie van  $\frac{1}{54} \times \frac{1}{54}$  graad, wat overeenkomt op ca. 1.3 x 2.1 km<sup>2</sup>.

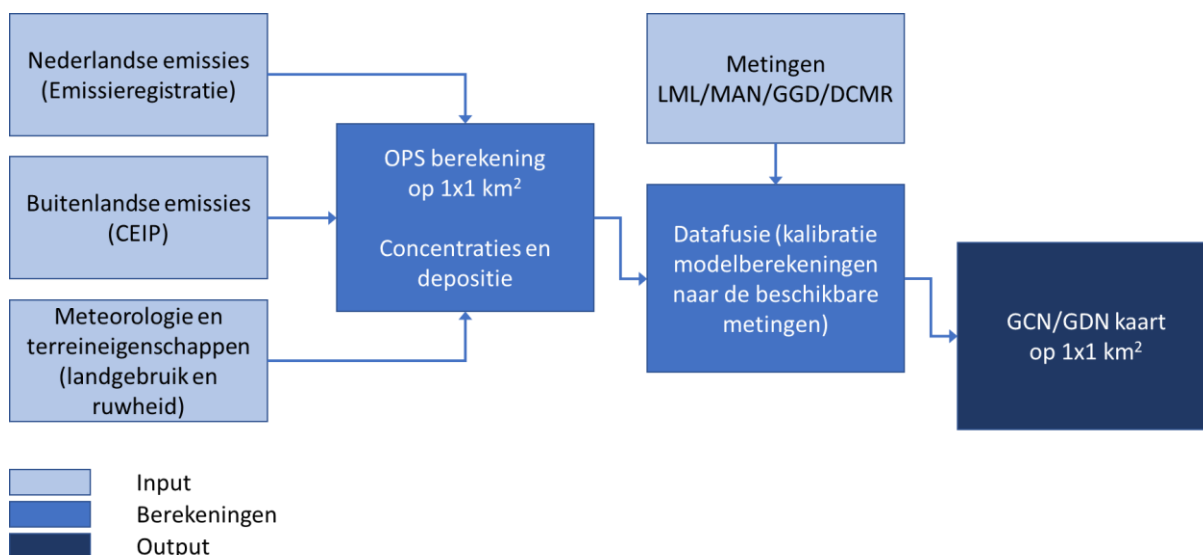
<sup>1</sup> <https://www.rivm.nl/documenten/uitgebreide-modelbeschrijving-van-ops-versie-5110>

<sup>2</sup> <https://www.rivm.nl/publicaties/grootschalige-concentratiekaarten-nederland-rapportage-2024>

<sup>3</sup> [https://emep.int/publ/reports/2022/EMEP\\_Status\\_Report\\_1\\_2022.pdf](https://emep.int/publ/reports/2022/EMEP_Status_Report_1_2022.pdf).

Deze verschillende resoluties hebben te maken met de resolutie waarop de meteorologie beschikbaar is. Voor de berekeningen van de depositie op de grote oppervlaktewateren wordt altijd de hoogst beschikbare resolutie gebruikt. Boven land worden de berekeningen van het OPS model gebruikt.

Onderstaande figuur (figuur 2) geeft een globaal overzicht van de procedure die gebruikt wordt om de stikstofdepositie per km<sup>2</sup> te berekenen.



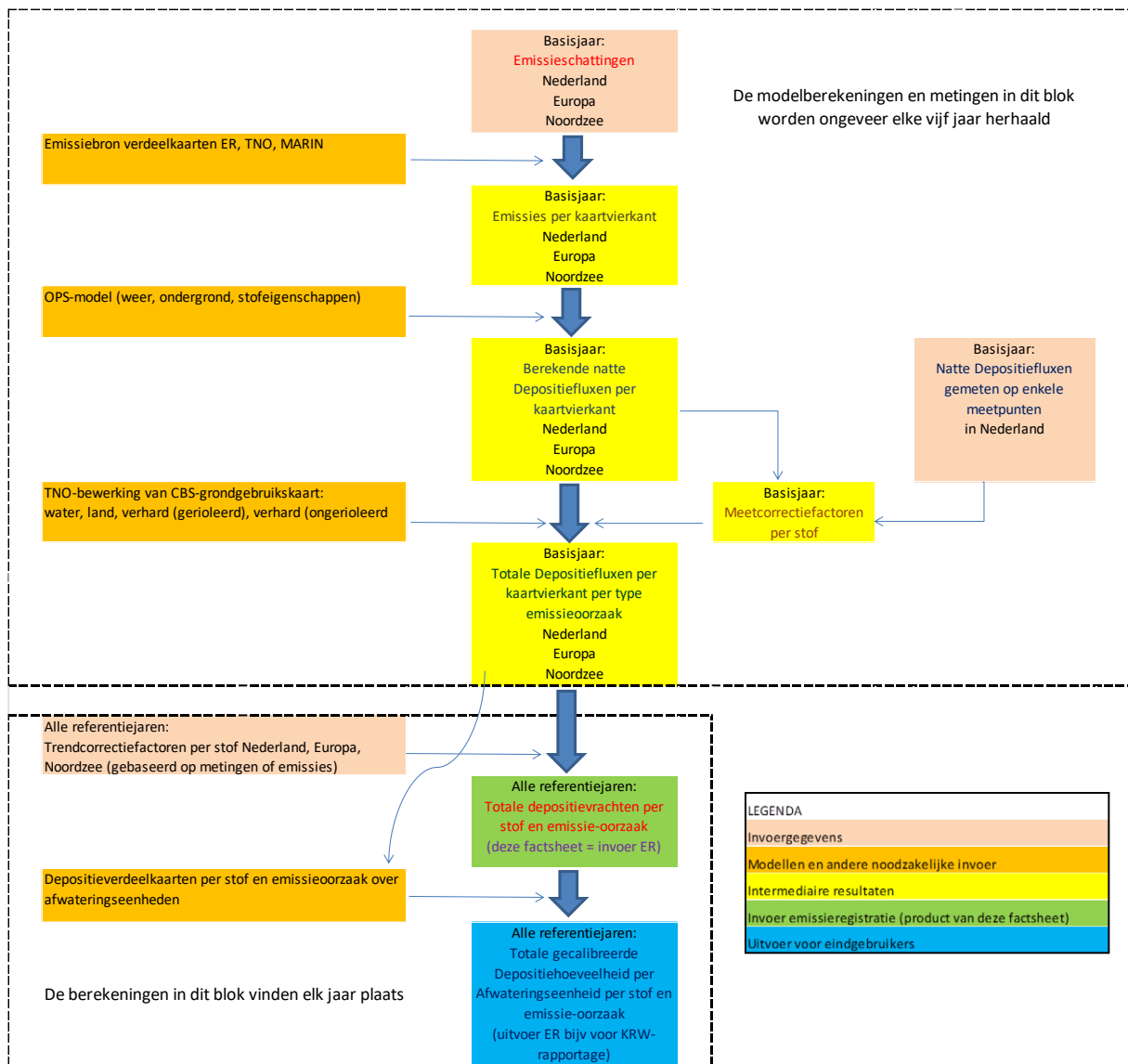
figuur 2: Overzicht van de procedure voor de productie van geregionaliseerde cijfers van atmosferische depositie voor een reeks van jaren voor stikstof

## 2.2 Overige stoffen

De procedure om geregionaliseerde cijfers voor atmosferische depositie te berekenen voor een groot aantal andere stoffen wordt getoond in figuur 3.

Geregionaliseerde emissiegegevens over één basisjaar van Nederland en omringende Europese landen en de Noordzee worden ingevoerd in het atmosferische (chemie-)transportmodel (OPS-model [1]). Het resultaat van deze berekeningen zijn depositiefluxen voor ieder kaartvierkant in het gebied zoals getoond in figuur 1. Afhankelijk van het onderliggende oppervlak (water, land, verhard (gerioleerd/ongerioleerd) en locatie worden hieraan emissie-oorzaken toegekend tevens wordt in deze stap gecorrigeerd voor systematische afwijkingen door per stof meetcorrectiefactoren toe te passen. De berekende depositie van stoffen op meetlocaties (zie ook: “vergelijking met meetgegevens”) is vergeleken met de op die locatie gemeten depositie. Uit de vastgestelde verhouding tussen meetgegevens en modelberekeningen voor alle meetlocaties wordt een meetcorrectiefactor berekend die van toepassing verklaard wordt op de berekende depositie voor het hele rekengebied (Figuur 1). Impliciet is daarbij de aanname gemaakt dat de verdeling van de bronnen over het gebied goed bekend is maar de emissiefactoren niet.

Deze aanpak functioneert in het algemeen goed in het gebied waar de metingen zijn uitgevoerd. Dit geldt voor eerdere berekeningen die zijn uitgevoerd voor het Nederlandse oppervlaktewater [3a], [3b] en waarschijnlijk ook voor berekeningen van de depositie op kustwateren. Voor berekeningen op de Noordzee en NCP neemt de onzekerheid door deze werkwijze echter toe. Dit komt omdat meetgegevens in dit gebied ontbreken en de verdeling van de bronnen systematisch af zou kunnen wijken van die op het land. De onzekerheid is daardoor aanzienlijk groter dan de onzekerheid in de schattingen voor het land.



figuur 3: Overzicht van de procedure voor de productie van geregionaliseerde cijfers van atmosferische depositie voor een reeks van jaren

Door de verkregen depositiefluxen te vermenigvuldigen met het oppervlak en te sommeren per brongebied van de luchtmissies en per emissie-oorzaak worden de jaarvrachten afkomstig van de emissies verkregen. Om de jaarvrachten over meerdere jaren te produceren, zoals getoond in deze factsheet, worden de jaarvrachten voor het basisjaar vermenigvuldigd met trendfactoren. Deze trendfactoren kunnen worden afgeleid van jaarreeksen van emissiegegevens voor de verschillende brongebieden of uit meetreeksen (van deposities of concentraties) op enkele locaties in Nederland. Indien er gebruik wordt gemaakt van meetreeksen vervalt uiteraard het onderscheid tussen de verschillende brongebieden en wordt 1 trendfactor per stof per jaar toegepast in de berekening van de jaarvracht in het betreffende jaar. Omdat er voor vele PAK-verbindingen geen emissiegegevens beschikbaar zijn worden de depositievrachten van deze PAK-verbindingen geschat door gebruik te maken van de verhouding van deze PAK-verbindingen ten opzichte van één geslecteerde PAK-verbinding waarvan de jaarvrachten wel berekend zijn. De toegepaste verhouding wordt in dat geval afgeleid uit de beschikbare meetcijfers, zie Verhoudingsfactoren in PAK-depositie.

Tabel A1 in bijlage A geeft een overzicht welke stoffen in deze studie beschouwd zijn en voor welke stoffen en in welke jaren berekeningen zijn uitgevoerd. Leidraad voor de keuze van stoffen is de kwaliteit

van de invoergegevens, en in het bijzonder die van de luchtemissies. De kwaliteit van de emissiegegevens bepaalt voor een groot gedeelte de kwaliteit van de getallen uit deze studie.

Lucht-emissies afkomstig uit de Emissieregistratie of uit een recente emissiestudie van Denier van der Gon et al. [3a/b] worden beschouwd als de best beschikbare bestanden. Voor een beperkt aantal stoffen is daarnaast gebruik gemaakt van het emissiestand van Berdowski et al. [4]. Voor een latere studie naar PAK, kobalt en vanadium heeft Visschedijk [9a] gekeken naar recentere emissies. Stoffen waarvan de emissiegegevens niet afkomstig zijn uit een van eerdergenoemde bestanden zijn niet in deze studie behandeld.

### **Modelberekeningen**

Voor het bepalen van de concentratie- en depositieverdeling van de verschillende stoffen over Nederland en het NCP wordt gebruik gemaakt van het door het RIVM ontwikkelde verspreidings- en depositiemodel OPS (Operationeel model Prioritaire Stoffen). Voor de 'overige stoffen' is OPS versie 4.1<sup>4</sup> gebruikt.

De uitkomsten van het OPS model zijn vervolgens verwerkt in een GIS om daarmee de belasting (daadwerkelijke netto vracht) op het onverhard oppervlak, het verhard oppervlak, het oppervlaktewater en het NCP te berekenen. Hiervoor is de Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN) uit 2018 gebruikt. Door middel van GIS bewerkingen wordt er per rooster cel een verdeling bepaald tussen water, verharde en onverharde oppervlakken en de doorvertaling naar riool (zie ook paragraaf 8+10).

### *Stofspecifieke gegevens*

Tijdens het transport door de atmosfeer kunnen stoffen worden afgebroken door reacties met ozon of hydroxyl-radicalen. Daarnaast treden verliezen op door bijvoorbeeld droge en natte depositie. Met de invloed van deze verliesprocessen wordt in het OPS model rekening gehouden. Het OPS bevat stofspecifieke parameters voor enkele stoffen (zoals zware metalen). Voor andere stoffen zijn de gegevens ingevoerd die zijn afgeleid uit eerdere rapportages [6].

In tabel 1 is een overzicht gegeven van depositiesnelheden naar water, zoals in deze studie gehanteerd ten behoeve van het berekenen van de droge depositie naar oppervlaktewateren. Deze tabel vermeldt ook de stoffeigenschappen die gebruikt zijn voor die stoffen die niet standaard in OPS zitten.

### **Vergelijking met meetgegevens**

De berekende natte depositiefluxen van metalen zijn vergeleken met de overeenkomstige cijfers uit het landelijk meetnet regenwater van het RIVM [7] voor het jaar 2000. De stations zijn de zogenaamde regionale stations van het landelijk meetnet en hebben een landelijke dekking (zie ook: voetnoot 3 van tabel A.1). De modelresultaten zijn via de trendfactoren geschaald naar de situatie van 2000. De filosofie van deze methode is dat voor een aantal stoffen de emissies slecht bekend zijn, en dat een correctie op grond van de verhouding tussen meet- en modelresultaten resulteert in een berekende belasting die recht doet aan de gemeten fluxen. De meetcorrectiefactor is gedefinieerd als de verhouding tussen meetresultaat en modelresultaat. (Als de metingen een hogere waarde geven dan de modelresultaten dan is de meetcorrectiefactor groter dan 1, en worden de fluxen naar de ondergrond na toepassing van de factor verhoogd.)

OPS is in 2012 opnieuw gedraaid voor de PAK's, kobalt en vanadium. De berekende natte depositiefluxen van Kobalt en Vanadium zijn vergeleken met de overeenkomstige cijfers uit het landelijk regenwatermeetnet van het RIVM [7]. Voor de vier gerapporteerde PAK's zijn vergelijkingen gemaakt met cijfers uit de voor deze factsheet door TNO uitgevoerde metingen op vier stations in Nederland [30]. Voor PAK betreft het de periode oktober 2011-oktober 2012. Dit meetnet heeft ook een landelijke dekking (zie ook: voetnoot 3 van tabel A.1). De modelresultaten zijn via de trendfactoren geschaald naar de situatie van 2011.

Opgemerkt wordt dat voor diverse stoffen de meetcorrectiefactor fors is (Tabel 1). Dit kan veroorzaakt worden door mogelijk niet correcte metingen. Zie ook paragraaf 12.

---

<sup>4</sup> <https://www.rivm.nl/documenten/uitgebreide-modelbeschrijving-van-ops-versie-5110>].

Tabel 1: Depositiesnelheden boven water ( $V_{water}$ ) in  $cm.s^{-1}$  (centimeter per seconde) voor de verschillende stoffen in deze studie, de verdeling naar gas- en aerosolfase, en de ingevoerde parameters voor de niet-standaard stoffen. De laatste kolom geeft de meetcorrectiefactoren.

| stoffen                       | Vd <sup>1</sup><br>water<br>$cm.s^{-1}$ | ps <sup>2</sup> | stofeigenschappen                                 | Mol<br>(gr) | Meet<br>corr.<br>factor |
|-------------------------------|-----------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------|-------------|-------------------------|
| Arseen                        | 0,10                                    | 1               | OPS                                               | 75          | 3,53                    |
| Cadmium                       | 0,10                                    | 1               | OPS                                               | 112         | 3,42                    |
| Chroom                        | 0,10                                    | 2               | OPS                                               | 52          | 0,58                    |
| Kobalt                        | 0,10                                    | 1               | Dc=1.300 <sup>E-1</sup>                           | 58,9        | 7,76                    |
| Koper                         | 0,10                                    | 1               | OPS                                               | 64          | 2,57                    |
| Kwik                          | 0,15                                    | 1               | OPS                                               | 201         | 1                       |
| Lood                          | 0,10                                    | 1               | OPS                                               | 207         | 3,82                    |
| Nikkel                        | 0,10                                    | 1               | OPS als Cu                                        | 59          | 1,02                    |
| Seleen                        | 0,10                                    | 1               | OPS                                               | 79          | 1                       |
| Vanadium                      | 0,15                                    | 1               | Dc=1.402 <sup>E-1</sup>                           | 50,9        | 1,06                    |
| Zink                          | 0,10                                    | 1               | OPS                                               | 65          | 5,08                    |
| Benzo(a)pyreen                | 0,45                                    | 1               | OPS                                               | 252         | 0,24                    |
| Benzo(b)fluorantheen          | 0,45                                    | 1               | Dc=6,300 <sup>E-02</sup>                          | 252         | 0,17                    |
| Benzo(k)fluorantheen          | 0,45                                    | 1               | Dc=6,300 <sup>E-02</sup>                          | 252         | 0,22                    |
| Indeno(1,2,3-cd)pyreen        | 0,45                                    | 1               | Dc=6,019 <sup>E-2</sup>                           | 276         | 0,10                    |
| Hexachloorbenzeen             | 0,10                                    | 0               | Rc=21.3;Da=0.01;W=0;Dc=5.93 <sup>E-02</sup>       | 284         | 1                       |
| Polychloorbifenyyl            | 0,30                                    | 0               | Rc=14.3;Da=0.0;W=1000;Dc=5.53 <sup>E-02</sup>     | 327         | 5                       |
| Hexachloorhexaan              | 0,19                                    | 0               | Rc=2.33;Da=0.09;W=453000;Dc=5.86 <sup>E-02</sup>  | 291         | 1                       |
| Benzeen                       | 0,01                                    | 0               | OPS                                               | 78          | 1                       |
| Endosulfan                    | 0,40                                    | 0               | Rc=166;Da=1,8;W=1.55;Dc=4.957 <sup>E-02</sup>     | 407         | 1                       |
| Polygebromeerde difenylethers | 0,01                                    | 1               | Dc=3.22 <sup>E-02</sup>                           | 964         | 1                       |
| Hexachloorbutadieen           | 0,10                                    | 0               | W=0;Dc=6.19 <sup>E-02</sup>                       | 261         | 10                      |
| Pentachloorfenol              | 0,45                                    | 0               | Rc=2.05;Da=0.05;W=130000;Dc=6.126 <sup>E-02</sup> | 267         | 0.1                     |
| Tetrachlooretheen             | 0,01                                    | 0               | Rc=250;Da=0.0439;W=0.8;Dc=7,809 <sup>E-2</sup>    | 164         | 1                       |
| Trichlooretheen               | 0,01                                    | 0               | Rc=111,1;Da=0,521;W=1,94;Dc=8,77 <sup>E-02</sup>  | 130         | 1                       |

<sup>1</sup> depositiesnelheden uit [6] en referenties daarin.

<sup>2</sup> PS = deeltjes grootte verdeling; 0 is gas; 1: ultrafijn; 2: fijn

Rc oppervlakteweerstand voor droge depositie ( $s.cm^{-1}$ ).

Da chemische afbraak in lucht (% per uur)

W verhouding tussen de concentratie in neerslag en in lucht (dimensieloos). Deze verhouding is van belang voor een onderdeel van de natte depositie (rain-out).

Dc diffusiecoëfficiënt ( $cm^2.s^{-1}$ ) is gelijk aan (molgewicht)<sup>-0.5</sup>. Deze coëfficiënt is van belang voor de beschrijving van een onderdeel van de natte depositie (wash-out).

### 3 Emissieverklarende variabele

De emissieverklarende variabele voor depositie op het oppervlaktewater en op de bodem is in principe de emissie naar de lucht. Dat betekent dat de verhouding tussen een bepaalde emissie in een bepaald jaar en de depositie in dat jaar gebruikt kan worden om de depositie in een ander jaar te berekenen op basis van de emissie in dat andere jaar. De schaalfactor voor een stof voor een bepaald jaar is daardoor gelijk aan de emissie van het betreffende jaar gedeeld door de emissie van het referentiejaar waarvoor de depositie is berekend.

In deze factsheet is de depositie berekend ten gevolge van emissies die in drie categorieën zijn ingedeeld, zie ook tabel 2:

- emissies van de zeescheepvaart op het NCP (nikkel, vanadium, kobalt, benzo(a)pyreen, benzo(b)fluorantheen, benzo(b)fluorantheen en indeno (1,2,3-c,d)pyreen)
- emissies van de overige Nederlandse bronnen
- emissies van overige emissiebronnen in Europa

Tabel 2: Emissies naar lucht in (kg/jaar, tenzij anders vermeld), en herkomst van gegevens en peiljaar van de gegevens.

|                               | Nederlandse bronnen |                      | Europese bronnen<br>(zonder NL) |            | Zeescheepvaart<br>(NOS) <sup>8</sup> |          |
|-------------------------------|---------------------|----------------------|---------------------------------|------------|--------------------------------------|----------|
|                               | emissie             | herkomst             | emissie                         | herkomst   | emissie                              | herkomst |
| Arseen                        | 976                 | ER-2003              | 481 ton                         | DvdG-2000  |                                      |          |
| Cadmium                       | 2363                | ER-2003              | 326 ton                         | DvdG-2000  |                                      |          |
| Chroom                        | 2990                | ER-2003              | 1960 ton                        | DvdG-2000  |                                      |          |
| Kobalt                        | 330                 | JD-2012              | 11 ton                          | JD-2012    | 3.040                                | JD-2012  |
| Koper                         | 86 ton              | ER-2003 <sup>1</sup> | 4990 ton                        | DvdG-2000  |                                      |          |
| Kwik                          | 571                 | ER-2003              | 315 ton                         | DvdG-2000  |                                      |          |
| Lood                          | 41 ton              | ER-2003              | 12995 ton                       | DvdG-2000  |                                      |          |
| Nikkel                        | 18,6 ton            | ER-2003              | 3730 ton                        | DvdG-2000  | 28,6 ton                             | Ref.6    |
| Seleen                        | 706                 | ER-2003              | 473 ton                         | DvdG-2000  |                                      |          |
| Vanadium                      | 31.900              | JD-2012              | 818 ton                         | JD-2012    | 608                                  | JD-2012  |
| Zink                          | 97 ton              | ER-2003              | 16881 ton                       | DvdG-2000  |                                      |          |
| Benzo(a)pyreen                | 1060                | JD-2012              | 1554 ton                        | JD-2012    | 6.410                                | JD-2012  |
| Benzo(b)fluorantheen          | 6080                | JD-2012              | 2113 ton                        | JD-2012    | 390                                  | JD-2012  |
| Benzo(k)fluorantheen          | 15.900              | JD-2012              | 1818 ton                        | JD-2012    | 560                                  | JD-2012  |
| Indeno(1,2,3-cd) pyreen       | 4222                | JD-2012              | 1218 ton                        | JD-2012    | 2.170                                | JD-2012  |
| Hexachloorbenzeen             | 598                 | DvdG-2000            | 18 ton                          | DvdG-2000  |                                      |          |
| Polychloorbifenyyl            | 160                 | DvdG-2000            | 133 ton                         | DvdG-2000  |                                      |          |
| Hexachloorhexaan              | 0                   | DvdG-2000            | 254 ton                         | DvdG-2000  |                                      |          |
| Benzeen                       | 2911 ton            | ER-2000              | 157 kton                        | LE-2000    |                                      |          |
| Endosulfan                    | 0                   | DvdG-2000            | 703 ton                         | DvdG-2000  |                                      |          |
| Polygebromeerde difenylethers | 180                 | DvdG-2000            | 8,5 ton                         | DvdG-2000  |                                      |          |
| Hexachloorbutadieen           | 0                   | DvdG-2000            | 64                              | DvdG-2000  |                                      |          |
| Pentachloorfenol              | 21 ton              | ER-2005              | 657 ton                         | DvdG-2000  |                                      |          |
| Tetrachlooretheen             | 825 ton             | ER-2005              | 196 kton                        | Berdw-1990 |                                      |          |
| Trichlooretheen               | 31 ton              | ER-2005              | 222 kton                        | Berdw-1990 |                                      |          |

1: voor de buitenlandse koper emissies is de variant gevolgd met de hoge emissieschatting voor verwijdering

ER: Emissieregistratie, gevolgd door het jaar waarvoor aangevraagd; voor de metalen is gebruik gemaakt van het Emissieregistratie (ER1990-2006, voor de overige stoffen Er1990-2007).

DvdG: Denier van de Gon et al., (2005). Cijfers hebben betrekking op het jaar 2000 [3a/b]

LE-2000: uit het LOTOS-EUROS systeem [10].

Berdw: Berdowski et al., 1997 [4]

JD: Jan Duyzer et al., 2011. Cijfers hebben betrekking op 2005 [9a]

### Verhoudingsfactoren in PAK-depositie

Voor de PAK emissies zijn 4 PAK doorgerekend met OPS; benzo(a)pyreen, benzo(b)fluorantheen, benzo(k)fluorantheen en indeno(1,2,3-cd)pyreen. Voor de PAK waarvoor geen recente emissieschattingen beschikbaar waren zijn de depositie-hoeveelheden geschaald met de uitkomsten van één andere PAK zijnde benzo(a)pyreen. De verhoudingsfactoren zijn afgeleid uit de metingen die door TNO werden uitgevoerd in de periode 2010/2011 [9a].

Tabel 6: Verhoudingsfactoren in PAK-depositie t.o.v. Benzo(a)Pyreen.

| Stofnaam               | Verhoudingsfactor |
|------------------------|-------------------|
| Benzo(a)Pyreen         | 1.00              |
| Naftaleen              | 5.20              |
| Acenafteleen           | 1.58              |
| Acenafteleen           | 1.74              |
| Fluoreen               | 2.10              |
| Fenanthreen            | 14.76             |
| Anthraceen             | 0.76              |
| Fluorantheen           | 9.38              |
| Pyreen                 | 5.49              |
| Benzo(a)Anthraceen     | 0.88              |
| Chryseen               | 1.88              |
| Dibenzo(a,h)Anthraceen | 0.29              |
| Benzo(ghi)Peryleen     | 0.98              |

Het gevolg van de toepassing van deze verhoudingsfactoren is dat er van veel meer PAK-verbindingen schattingen beschikbaar zijn gekomen voor de hoeveelheden van atmosferische depositie. Een kwetsbaar punt hierbij is dat de meting van de hoeveelheid atmosferische depositie van de stof benz(a)pyreen bepalend is voor de uitkomsten van alle PAK-verbindingen in tabel 6.

### Trendfactoren

De door het OPS model berekende depositiefluxen zijn geschaald met trendfactoren om ervoor te zorgen dat de fluxen gelijk zijn aan die van het peiljaar 2000 zijn voor de meeste stoffen. Voor PAK geldt peiljaar 2011. Deze trendfactoren zijn ook gebruikt om de vrachten (belasting) voor jaren anders dan 2000 te berekenen. De trendfactoren zijn weergegeven in tabel 3 (Nederland), tabel 4 (Europa) en tabel 5 (scheepvaart). Voor zware metalen en PAK worden metingen van het RIVM luchtmeetnet gebruikt om de trend af te leiden. Voor de overige stoffen zijn de trendfactoren gebaseerd op trends en/of prognoses in emissies (zie onderstaande alinea's).

#### Trendfactoren zware metalen (#a in tabel 3 t/m 5)

De trendfactoren voor zware metalen zijn gebaseerd op in regenwater gemeten concentraties afkomstig uit het landelijk regenwatermeetnet van het RIVM [7]. Voor seleen is gebruik gemaakt van emissie-informatie uit het EMEP-Webdab [11]. Vanaf 2012 wordt het regenwater nog maar op 2 verschillende locaties afgeleid ipv 5 tot 12 locaties in eerdere jaren. De jaarlijkse trend wordt vanaf 2011 niet meer afgeleid op basis van een jaarlijks gemiddelde maar op basis van een 3-jarig gemiddelde.

#### Trendfactoren PAK (#b in tabel 3 t/m 5)

Voor het jaar 2011 zijn nieuwe OPS berekeningen voor PAK uitgevoerd. De trend voor PAK bestaat uit twee perioden. De periode voor de nieuwe OPS berekeningen in 2011 en de periode daarna. In de periode voor 2011 wordt uitgegaan van een studie van Denier van der Gon (3b) waarin trendfactoren zijn afgeleid voor 1990-2020. Voor de periode na 2011 wordt gebruik gemaakt van metingen bij locatie *de Zilk* in aerosolen. Op locatie *de Zilk* worden 5 PAK gemeten. Deze PAK kunnen worden opgesplitst in zware PAK (> 255 g/mol), middelzware PAK (230 – 255 g/mol) en lichte PAK (<230 g/mol). De indeling wordt in tabel 3 weergegeven. Voor de periode vanaf 2011 wordt voor elk jaar een 3-jarig gemiddelde trend bepaald voor de 3 verschillende gewichtsklassen voor PAK.

#### Trendfactoren stikstof (#c in tabel 3 t/m 5)

Voor de stikstofdepositie zijn alleen trendfactoren bepaald vóór 2005. Deze trendfactoren zijn niet afgeleid op basis van emissies uit de Emissieregistratie, maar op basis van de historische depositiereeks boven land (CLO-indicator 189 Stikstofdepositie; <http://www.clo.nl/nl0189>). Voor de buitenlandse emissies wordt dezelfde trend aangehouden. Na 2005 wordt jaarlijks een depositieberekening uitgevoerd door RIVM.

#### Trendfactoren via prognoses (#d in tabel 3 t/m 5)

Voor de stoffen endosulfan, hexachloorbutadieën, hexachloorbenzeen, hexachloorcyclohexaan, PCB's en pentachloorfenol wordt uitgegaan van de prognoses 1990-2020 uit het rapport van Denier van der Gon [3b]. Middels interpolatie wordt de trend afgeleid voor de tussenliggende jaren.

Voor de stoffen NMVOS (niet-methaan vluchtige organische stoffen) benzeen trichlooretheen en tetrachlooretheen zijn de trendfactoren van Nederland en Europa voor de jaren vanaf 1990 afkomstig van EMEP<sup>5</sup> [12].

Tabel 3: Trendfactoren ten opzichte van het basisjaar voor Nederland.

| stof     | basisjaar | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 |
|----------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Stikstof | 2005      | 1.37 | 1.20 | 1.11 | 1.00 | -    | -    | -    | -    | -    |
| Arseen   | 2000      | 3.89 | 2.97 | 1.00 | 1.01 | 0.44 | 0.53 | 0.50 | 0.50 | 0.44 |
| Cadmium  | 2000      | 1.75 | 1.50 | 1.00 | 0.66 | 0.22 | 0.29 | 0.28 | 0.32 | 0.27 |
| Chroom   | 2000      | 1.07 | 1.02 | 1.00 | 1.02 | 0.82 | 0.90 | 0.78 | 0.82 | 0.77 |
| Kobalt   | 2000      | 1.12 | 1.12 | 1.00 | 0.85 | 0.27 | 0.26 | 0.33 | 0.35 | 0.32 |
| Koper    | 2000      | 0.94 | 0.80 | 1.00 | 0.71 | 0.32 | 0.55 | 0.45 | 0.46 | 0.39 |
| Kwik     | 2000      | 3.12 | 1.35 | 1.00 | 0.89 | 0.67 | 0.60 | 0.43 | 0.41 | 0.43 |
| Lood     | 2000      | 1.23 | 1.11 | 1.00 | 0.69 | 0.17 | 0.21 | 0.16 | 0.19 | 0.18 |
| Nikkel   | 2000      | 1.82 | 1.45 | 1.00 | 1.25 | 0.66 | 0.81 | 0.82 | 0.87 | 0.86 |
| Seleen   | 2000      | 0.85 | 0.73 | 1.00 | 0.82 | 0.63 | 0.64 | 0.65 | 0.65 | 0.65 |
| Vanadium | 2000      | 1.05 | 1.18 | 1.00 | 0.97 | 0.25 | 0.23 | 0.18 | 0.19 | 0.18 |

<sup>5</sup> EMEP: Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe. Gothenburg Protocol: Protocol dat de nationale emissieplafonds beschrijft voor de Europese landen voor de stoffen NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> en NMVOS

| stof                         | basisjaar | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 |
|------------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Zink                         | 2000      | 1.56 | 1.27 | 1.00 | 0.80 | 0.43 | 0.54 | 0.54 | 0.56 | 0.51 |
| Acenaftheen*                 | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 |
| Acenafthyleen*               | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 |
| Anthraceen*                  | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 |
| Benzo(a)Anthraceen*          | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 |
| Benzo(a)Pyreen**             | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.63 | 0.57 | 0.40 | 0.32 |
| Benzo(b)Fluorantheen**       | 2011      | 3.02 | 1.87 | 0.89 | 0.88 | 1.04 | 0.63 | 0.57 | 0.40 | 0.32 |
| Benzo(ghi)Peryleen***        | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.78 | 0.70 | 0.50 | 0.41 |
| Benzo(k)Fluorantheen**       | 2011      | 3.29 | 2.03 | 0.97 | 0.95 | 1.02 | 0.63 | 0.57 | 0.40 | 0.32 |
| Chryseen*                    | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 |
| Dibenzo(ah)anthraceen***     | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.78 | 0.70 | 0.50 | 0.41 |
| Fenanthreen*                 | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 |
| Fluorantheen*                | 2011      | 4.25 | 2.63 | 1.25 | 1.00 | 1.00 | 0.63 | 0.57 | 0.40 | 0.32 |
| Fluoreen*                    | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 |
| Indeno (1,2,3-c,d) Pyreen*** | 2011      | 2.91 | 1.80 | 0.86 | 0.89 | 1.06 | 0.78 | 0.70 | 0.50 | 0.41 |
| Naftaleen*                   | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 |
| Pyreen*                      | 2011      | 3.50 | 2.16 | 1.03 | 1.09 | 1.01 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 |
| Benzeen                      | 2000      | 2.55 | 1.79 | 1.00 | 0.82 | 0.74 | 0.62 | 0.50 | 0.50 | 0.48 |
| PCB's                        | 2000      | 0.92 | 0.96 | 1.00 | 0.60 | 0.20 | 0.13 | 0.06 | 0.06 | 0.06 |
| Endosulfan                   | 2000      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Gebrom. Difenylethers (PBDE) | 2000      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Hexachloorbenzeen            | 2000      | 0.44 | 0.72 | 1.00 | 0.72 | 0.44 | 0.45 | 0.46 | 0.46 | 0.46 |
| Hexachloorbutadieen          | 2000      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Hexachloorcyclohexaan        | 2000      | 5.20 | 3.10 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| Pentachloorfenol             | 2000      | 2.00 | 1.41 | 1.00 | 0.70 | 0.48 | 0.32 | 0.22 | 0.20 | 0.18 |
| Tetrachlooretheen            | 2000      | 2.20 | 2.62 | 1.00 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 |
| Trichlooretheen              | 2000      | 8.57 | 9.02 | 1.00 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 |

\*Lichte PAK (molmassa < 230 g/mol)

\*\* Middelzware PAK (molmassa 230 <= 255 g/mol)

\*\*\* Zware PAK (molmassa >255 g/mol)

Tabel 4: Trendfactoren ten opzichte van het basisjaar voor Europa.

| stof                             | basisjaar | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | # |
|----------------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| Stikstof                         | 2005      | 1.37 | 1.20 | 1.11 | 1    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | -    | c |
| Arseen                           | 2000      | 3.89 | 2.97 | 1.00 | 1.01 | 0.44 | 0.53 | 0.50 | 0.50 | 0.44 | 0.45 | 0.45 | a |
| Cadmium                          | 2000      | 1.75 | 1.50 | 1.00 | 0.66 | 0.22 | 0.29 | 0.28 | 0.32 | 0.27 | 0.25 | 0.25 | a |
| Chroom                           | 2000      | 1.07 | 1.02 | 1.00 | 1.02 | 0.82 | 0.90 | 0.78 | 0.82 | 0.77 | 0.79 | 0.79 | a |
| Kobalt                           | 2000      | 1.12 | 1.12 | 1.00 | 0.85 | 0.27 | 0.26 | 0.33 | 0.35 | 0.32 | 0.29 | 0.29 | a |
| Koper                            | 2000      | 0.94 | 0.80 | 1.00 | 0.71 | 0.32 | 0.55 | 0.45 | 0.46 | 0.39 | 0.33 | 0.33 | a |
| Kwik                             | 2000      | 1.88 | 1.31 | 1.00 | 0.90 | 0.67 | 0.52 | 0.34 | 0.37 | 0.33 | 0.30 | 0.30 | d |
| Lood                             | 2000      | 1.23 | 1.11 | 1.00 | 0.69 | 0.17 | 0.21 | 0.16 | 0.19 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | a |
| Nikkel                           | 2000      | 1.82 | 1.45 | 1.00 | 1.25 | 0.66 | 0.81 | 0.82 | 0.87 | 0.86 | 0.89 | 0.89 | a |
| Seleen                           | 2000      | 2.00 | 1.50 | 1.00 | 0.82 | 0.63 | 0.64 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | a |
| Vanadium                         | 2000      | 1.05 | 1.18 | 1.00 | 0.97 | 0.25 | 0.23 | 0.18 | 0.19 | 0.18 | 0.17 | 0.17 | a |
| Zink                             | 2000      | 1.56 | 1.27 | 1.00 | 0.80 | 0.43 | 0.54 | 0.54 | 0.56 | 0.51 | 0.47 | 0.47 | a |
| Acenaftheen                      | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | b |
| Acenafthyleen                    | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | b |
| Anthraceen                       | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | b |
| Benzo(a)Anthraceen               | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | b |
| Benzo(a)Pyreen                   | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.63 | 0.57 | 0.40 | 0.32 | 0.29 | 0.29 | b |
| Benzo(b)Fluorantheen             | 2011      | 3.53 | 2.18 | 1.04 | 1.02 | 1.01 | 0.63 | 0.57 | 0.40 | 0.32 | 0.29 | 0.29 | b |
| Benzo(ghi)Peryleen               | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.78 | 0.70 | 0.50 | 0.41 | 0.36 | 0.39 | b |
| Benzo(k)Fluorantheen             | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.02 | 1.00 | 0.63 | 0.57 | 0.40 | 0.32 | 0.29 | 0.29 | b |
| Chryseen                         | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | b |
| Dibenzo(ah)anthraceen            | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.78 | 0.70 | 0.50 | 0.41 | 0.36 | 0.39 | b |
| Fenanthreen                      | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | b |
| Fluorantheen                     | 2011      | 4.25 | 2.63 | 1.25 | 1.00 | 1.00 | 0.63 | 0.57 | 0.40 | 0.32 | 0.29 | 0.29 | b |
| Fluoreen                         | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | b |
| Indeno (1,2,3-c,d) Pyreen        | 2011      | 3.66 | 2.26 | 1.08 | 1.04 | 1.01 | 0.78 | 0.70 | 0.50 | 0.41 | 0.36 | 0.39 | b |
| Naftaleen                        | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | b |
| Pyreen                           | 2011      | 3.56 | 2.20 | 1.05 | 1.03 | 1.00 | 0.58 | 0.45 | 0.29 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | b |
| Benzeen                          | 2000      | 1.49 | 1.21 | 1.00 | 0.84 | 0.70 | 0.61 | 0.57 | 0.57 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | d |
| PCB's                            | 2000      | 0.92 | 0.96 | 1.00 | 0.60 | 0.20 | 0.13 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | d |
| Endosulfan                       | 2000      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | d |
| Gebromeerde Difenylethers (PBDE) | 2000      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | d |
| Hexachloorbenzeen                | 2000      | 0.44 | 0.72 | 1.00 | 0.72 | 0.44 | 0.45 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | 0.46 | d |
| Hexachloorbutadieen              | 2000      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | d |

| stof                  | basisjaar | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | # |
|-----------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| Hexachloorcyclohexaan | 2000      | 5.20 | 3.10 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | d |
| Pentachloorfenol      | 2000      | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | d |
| Tetrachlooretheen     | 2000      | 2.20 | 2.62 | 1.00 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | 0.95 | d |
| Trichlooretheen       | 2000      | 8.57 | 9.02 | 1.00 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | 0.30 | d |

### Trendfactoren zeescheepvaart

De toekomstige emissies van zeescheepvaart zijn niet goed bekend. Verwacht wordt dat het volume van deze sector nog verder zal groeien. Er zijn ook maatregelen in voorbereiding die de uitstoot van deze sector moet verminderen. De trendfactoren van de metalen kobalt, nikkel en vanadium zijn afgeleid van de hoeveelheden zwaveloxide die op het NCP door de scheepvaart is geëmitteerd (#e). De trendfactoren van de PAK-verbindingen zijn afgeleid van de hoeveelheid koolwaterstoffen die op het NCP door de scheepvaart is geëmitteerd (#f). Deze hoeveelheden worden jaarlijks van de besloten website van de emissieregistratie gehaald.

Tabel 5: Trendfactoren ten opzichte van het basisjaar voor scheepvaart.

| stof                      | basisjaar | 1990 | 1995 | 2000 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | # |
|---------------------------|-----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| Kobalt                    | 2000      | 0.80 | 0.82 | 1.00 | 1.12 | 0.87 | 0.86 | 0.84 | 0.83 | 0.83 | 0.76 | 0.76 | e |
| Nikkel                    | 2000      | 0.80 | 0.82 | 1.00 | 0.97 | 0.54 | 0.19 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | e |
| Vanadium                  | 2000      | 0.80 | 0.82 | 1.00 | 0.97 | 0.54 | 0.19 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | e |
| Acenaftheen               | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Acenafthyleen             | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Anthraceen                | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Benzo(a)Anthraceen        | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Benzo(a)Pyreen            | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Benzo(b)Fluorantheen      | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Benzo(ghi)Peryleen        | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Benzo(k)Fluorantheen      | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Chryseen                  | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Dibenzo(ah)anthraceen     | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Fenanthreen               | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Fluorantheen              | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Fluoreen                  | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Indeno (1,2,3-c,d) Pyreen | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Naftaleen                 | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |
| Pyreen                    | 2011      | 1.01 | 1.04 | 1.26 | 1.37 | 0.97 | 1.04 | 1.01 | 0.99 | 1.00 | 0.94 | 0.84 | f |

## 4 Emissiefactoren

Emissiefactoren beschrijven de emissies per eenheid van een bepaalde parameter. Bijvoorbeeld: de emissie uit een auto per gereden kilometer. Het begrip emissiefactor is niet zinvol voor de beschrijving van atmosferische depositie. Zie de paragraaf over de Emissieverklarende variabele.

## 5 Maatregelen en effecten

Maatregelen ten aanzien van atmosferische depositie zijn het meest effectief door emissiebeperking op (inter)nationale schaal door te voeren. Voor NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, NMVOC, zware metalen en persistente organische stoffen bestaat er een protocol onder de Convention on the Longe Range Transboundary Air Pollution (CLRTAP) dat ressorteert onder de UN-ECE<sup>6</sup>. In het kader van dit protocol heeft een groot aantal landen afspraken gemaakt over rapportageverplichtingen en emissiereductieverplichtingen. Mede hierdoor dalen de emissies van deze stoffen al een aantal jaren en is de verwachting dat deze dalingen de komende jaren nog zullen voortduren. De OPS-berekeningen zijn (zoveel mogelijk) gebaseerd op werkelijke emissies naar lucht. De effecten van maatregelen zijn daarom via de trendfactoren meegenomen in de uiteindelijke berekeningen voor de belasting door atmosferische depositie.

## 6 Tijdreeks emissiefactoren

<sup>6</sup> UN-ECE staat voor: United Nations Economic Commission for Europe. In dit kader worden emissies verzameld onder het zogenaamde EMEP programma. (EMEP: Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long-range transmission of air pollutants in Europe).

De schattingsmethode voor atmosferische depositie wordt niet uitgevoerd aan de hand van emissiefactoren. zie paragraaf 4.

## **7 Belasting op Nederland en Nederlands Continentaal Plat**

Met het OPS of EMEP model is de belasting voor alle compartimenten afzonderlijk berekend. De Nederlandse bronnen zijn exclusief de NCP bronnen. De Europese bronnen zijn exclusief die van Nederland en NCP. Het NCP is het water buitengaats tot vlak voor de kust. De 1-mijlszone valt in deze studie niet onder het NCP, maar wordt bij het oppervlaktewater gerekend, evenals het IJsselmeer, de Waddenzee en de Zeeuwse wateren.

Het referentiejaar voor de emissies in de berekeningen is 2000, behalve voor PAK's en stikstof. Voor PAK's is het referentiejaar 2011, stikstof wordt jaarlijks door RIVM berekend.

In paragraaf 8 wordt toegelicht hoe de verdeling over de verschillende compartimenten tot stand komt.

*Een overzicht van de totale belasting door atmosferische depositie door de drie brongroepen gezamenlijk is te downloaden van [emissieregistratie.nl](http://emissieregistratie.nl)*

## 8 Verdeling compartimenten

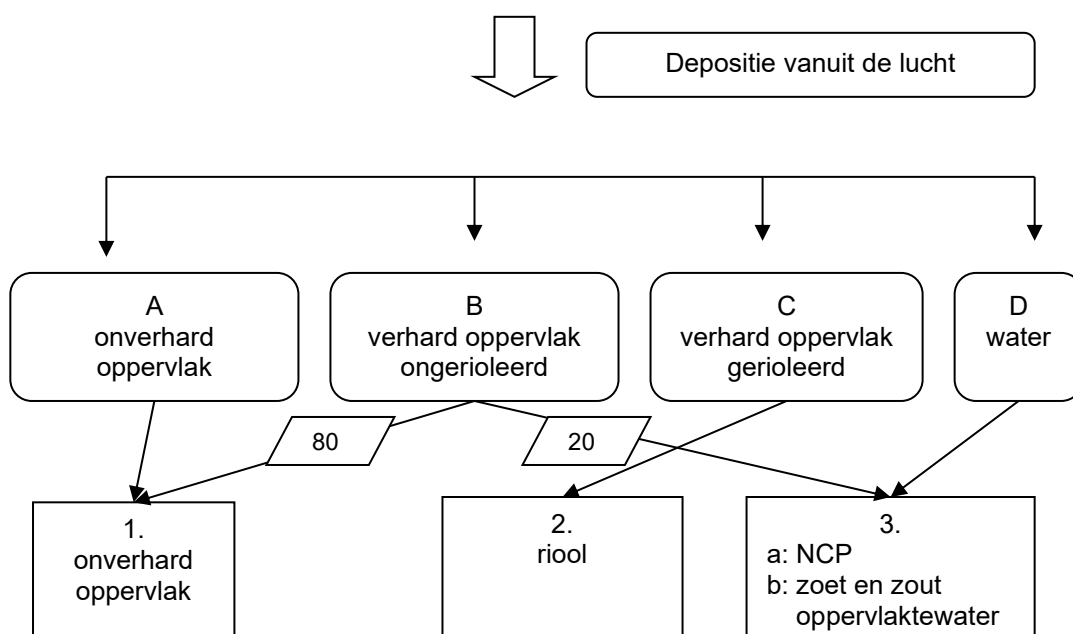
Figuur 3 laat zien dat de atmosferische depositie (emissies naar water/bodem etc.) plaatsvindt naar:

- A onverhard oppervlak
- B verhard oppervlak. ongerioleerd
- C verhard oppervlak. gerioleerd
- D water (NCP + zoet oppervlaktewater + zout t/m 1 miles zone)

Van de belasting op de ongerioleerde verharde oppervlakken wordt aangenomen dat 20% naar water gaat en 80% naar onverhard oppervlak. Door deze toedeling wordt de atmosferische depositie uiteindelijk toegerekend naar:

- 1) onverhard oppervlak
- 2) riool
- 3) water
  - a NCP
  - b zoet oppervlaktewater tot en met de 1 miles zone

Vanwege het basische karakter van de verharde oppervlakken wordt de  $\text{NH}_3$  vracht in het riool gelijk aan nul gesteld.



figuur 4: Verdeling van de atmosferische depositie over de compartimenten.

De oppervlakte van de vier verschillende compartimenten voor Nederland bedraagt respectievelijk:

|    |                                |                       |
|----|--------------------------------|-----------------------|
| A  | onverhard oppervlak            | 30042 km <sup>2</sup> |
| B  | verhard oppervlak ongerioleerd | 1598 km <sup>2</sup>  |
| C  | verhard oppervlak gerioleerd   | 1783 km <sup>2</sup>  |
| Da | NCP                            | 57270 km <sup>2</sup> |
| Db | oppervlaktewater               | 8111 km <sup>2</sup>  |

## 9 Emissieroutes via riool naar water

Emissies naar water vinden plaats door middel van directe emissies op oppervlaktewater en indirect door emissies uit het rioleringsysteem, via overstorten, effluenten van RWZI's. In de factsheet "Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's" [15] wordt dit verder beschreven. De emissies vinden plaats via de hemelwaterafvoer (hwa).

## 10 Regionalisatie

Voor elke stof is door het RIVM voor de betreffende jaren een depositieberekening gedaan met het OPS model. Deze is voor de betreffende jaren door het RIVM uitgerekend met het OPS-model op een rooster van 5x5 kilometer (NCP) en 1x1 kilometer (vasteland). Vervolgens zijn de deposities per gridcel met GIS-programmatuur toebedeeld aan de afzonderlijke compartimenten.

Voor het NCP komt de ruimtelijke verdeling 1 op 1 overeen met de OPS verdeling, alle depositie komt immers op het oppervlaktewater terecht. Voor het vasteland wordt per 1x1 gridcel naast oppervlaktewater ook onderscheid gemaakt naar onverhard, verhard gerioleerd en verhard niet gerioleerd. Hiervoor zijn gegevens gebruikt uit het LGN2019 (Landelijk Grondgebruik Nederland). De gegevens uit dit bestand gelden ook voor eerdere jaren.

## 11 Opmerkingen en wijzigingen ten opzichte van voorgaande jaren

ER1990-2024

...

ER1990-2023

De stikstofdepositiereeks van 2005-2023 is met EMEPv4.45 en OPSv5.1.1 herberekend. De beschrijving van de EMEP versie is te vinden in EMEP (2022)<sup>7</sup>. De beschrijving van de OPS versie is te vinden in RIVM (2023)<sup>8</sup>. In deze herberekening zijn consistente emissiereeksen voor zowel binnenland (op basis van data van de Emissieregistratie; <https://www.emissieregistratie.nl>) als buitenland (op basis van data van het *Centre on Emission Inventories and Projections* (CEIP); <https://www.ceip.at/>) gebruikt. De resultaten van de OPS berekeningen zijn ook gebruikt in het rapport Monitor stikstofdepositie in Natura 2000-gebieden 2024 (Marra et al., 2024<sup>9</sup>).

ER1990-2022

Nieuwe berekeningen van de stikstofdepositie in 2021-2022 met EMEPv4.33 op zoet en zout oppervlaktewater toegevoegd aan de bestaande reeks. Herberekening van de stikstofdepositie 2005 – 2022 op land met OPSv5.1.1. De verdeling van de berekende deposities over Nederland is opnieuw uitgevoerd op basis van de LGN2020 kaart. Wijzigingen in de OPS modelversie zijn beschreven in Hoogerbrugge et al. (2023)<sup>10</sup>.

ER1990-2020

Nieuwe berekeningen stikstofdepositie 2005-2020 op zoet en zout oppervlaktewater door RIVM met EMEPv4.33. Berekeningen stikstofdepositie 2005 – 2020 op land door RIVM met OPSv5.0.1. De verdeling van de berekende deposities over Nederland is opnieuw uitgevoerd op basis van de LGN2018 kaart.

ER1990-2017

Oppervlakken verhard gerioleerd en verhard ongerioleerd zijn aangepast. Binnen de bebouwde kom werd een te groot percentage toegewezen aan verhard gerioleerd. Het oppervlak is aangepast van 4.569 km<sup>2</sup> naar 2.362 km<sup>2</sup>.

ER1990-2016

Trendfactoren voor de PAK metingen zijn aangepast. Er wordt vanaf 2011 niet langer gebruik gemaakt van luchtemissies uit Emissieregistratie of prognoses op basis van het rapport van Denier van der Gon [3b]. De emissies voor Benzo(b)fluorantheen zijn aangepast. De emissies op riool waren erg hoog in vergelijking met de overige PAK. De emissies zijn op basis van gevonden verhoudingsfactoren BbF tov BaP, BkF en InP. Trendfactoren voor PAK aangepast. Voorheen werd gekeken naar de trend voor PAK op basis van de luchtemissies in de Emissieregistratie.

ER1990-2015

<sup>7</sup> [https://emep.int/publ/reports/2022/EMEP\\_Status\\_Report\\_1\\_2022.pdf](https://emep.int/publ/reports/2022/EMEP_Status_Report_1_2022.pdf)

<sup>8</sup> <https://www.rivm.nl/documenten/uitgebreide-modelbeschrijving-van-ops-versie-5110>

<sup>9</sup> <https://doi.org/10.21945/RIVM-2024-0076>.

<sup>10</sup> <https://www.rivm.nl/publicaties/grootschalige-concentratiekaarten-nederland-rapportage-2023>

Trendfactoren voor zware metalen zijn aangepast. In plaats van het jaargemiddelde wordt een 3-jarig gemiddelde berekend.

#### *ER1990-2012*

Nieuwe PAK berekeningen zijn doorgevoerd. Hiervoor zijn de regenwatermetingen uit de TNO/Deltares meetcampagne 2011/2012 gebruikt.

#### *ER1990-2011*

Twee nieuwe stoffen zijn toegevoegd: kobalt en vanadium. Daarnaast zijn er nieuwe trendfactoren afgeleid voor de scheepvaart voor NO<sub>x</sub> en nikkel. Voor NO<sub>x</sub> werd tot nu toe de trendfactor voor 2005 doorgesluisd. Voor nikkel werden de trendfactoren uit het regenwatermeetnet aangehouden.

#### *ER1990-2009 tweede ronde*

Voor de zware metalen zijn de regenwatermeetnet gegevens van het RIVM gebruikt om de trend te bepalen. De emissies voor 2005 en 2008 zijn aangepast. In de voorgaande jaren was de trend bepaald door interpolatie van de prognose voor 2010. Daarnaast zijn voor het bepalen van de PAK en stikstof trendfactoren luchtemissies uit de Emissieregistratie gebruikt en voor stikstof ook de Europese luchtemissies uit de EMEP database [11].

#### *Correctie voor Eems stroomgebied*

Ten onrechte was het gehele Eems stroomgebied meegenomen in de depositie op het NCP. De belasting op het Duitse deel van het Eems stroomgebied is uit de depositieberekeningen verwijderd. Tabel B1 geeft een vergelijking van de depositieflux op de vier verschillende compartimenten zoals berekend in deze studie en de flux afgeleid uit metingen in het TNO meetnet [9] en uit het landelijk regenwatermeetnet van het RIVM [7]. Vergelijking met metingen is de grondslag geweest voor de bepaling van de depositiefluxen in eerdere studies. Voor diverse stoffen is de overeenstemming behoorlijk te noemen. Voor anderen zijn de verschillen nogal groot. Deze vergelijking is aanleiding geweest om voor een aantal stoffen (PCB, PCP en HBU) meetcorrectiefactoren op te nemen zoals weergegeven in tabel 1. Voor HCB en PCB zijn de depositiewaarden boven water aangepast (respectievelijk van 0,01 naar 0,10 en van 0,07 naar 0,30). Verder valt in tabel B1 op dat de fluxen van bepaalde stoffen voor de verschillende ondergronden sterk uiteenlopen. Dit valt te verklaren uit de fysisch/chemische eigenschappen van de stoffen waarmee gerekend is.

#### *Belasting NCP*

Een vergelijking met eerdere studies is niet goed mogelijk aangezien de gebieden waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd (o.a. afwateringseenheden) verschillen. Een uitzondering betreft de studie "Atmosferische depositie Zoute Wateren" uit 2005-2006 [6]. Tabel C1 geeft een overzicht van de emissies, meetcorrectiefactoren en belasting op het NCP in beide studies. De emissies en de meetcorrectiefactoren in beschouwing nemend kan gesteld worden dat de bijdragen tot de belasting op het NCP uit beide studies voor sommige stoffen in redelijke overeenstemming is. Voor andere stoffen zijn er aanzienlijke verschillen die grotendeels te verklaren zijn uit de verschillen in de emissies.

#### *Stoffen*

Stoffen die in deze studie niet behandeld zijn maar in eerdere studies wel, zijn:

- benzo(a)anthraceen
- carbendazim
- chloorthanolil
- diuron
- fenanthreen
- isoproturon
- organotinverbindingen
- simazine
- tinverbindingen

De reden voor het niet meenemen van deze stoffen is gelegen in het feit dat voor deze stoffen de emissiebestanden van onvoldoende kwaliteit werden beoordeeld.

Originele factsheet::

Roemer. M (TNO). J.H. van der Brugh (TNO) en N. van Duijnhoven (Deltares). Atmosferische depositie op Nederland en Nederlands Continentaal Plat. april 2008

De factsheets worden alleen geupdate wanneer er een methodiek wijziging heeft plaatsgevonden.

## 12 Betrouwbaarheid en verbeterpunten

Aan elk onderdeel van de emissieberekening is een betrouwbaarheid toegekend. De volgende betrouwbaarheidspercentages zijn hierbij gehanteerd: 1%, 5%, 10%, 25%, 50%, 100%, 200% en 400%. Een betrouwbaarheid van 1% wil zeggen dat het desbetreffende onderdeel zeer betrouwbaar is; een betrouwbaarheid van 400% betekent een grote onzekerheid in het desbetreffende onderdeel. Alle percentages ertussen geven van laag naar hoog een steeds kleinere betrouwbaarheid en een grotere onzekerheid. Voor elk van de onderdelen is de betrouwbaarheid ingeschat door een groep experts. Hierbij zijn onder andere de volgende punten in overweging genomen:

- Metingen: zijn er metingen beschikbaar? Om hoeveel metingen gaat het? Zijn ze recent. realistisch en representatief? Hoe groot is de variatie?
- Als er geen metingen voorhanden zijn: is er veel literatuur of zijn er andere informatiebronnen beschikbaar?
- Als de emissie d.m.v. een model wordt verkregen: wat is de schaal van het model en is het model gevalideerd?
- Aannames: moeten er veel aannames gedaan worden en hoe groot zijn die?
- Regionalisatie: geeft de EVV een goed beeld van de ruimtelijke verdeling van de bron? Hoe groot is de variatie van de emissie in de ruimte en kan deze variatie door de EVV wel goed over Nederland verdeeld worden?

| Onderdeel emissieberekening                | Betrouwbaarheidspercentage (%) |
|--------------------------------------------|--------------------------------|
| Berekening jaarvrachten (OPS + validatie): |                                |
| - stikstof                                 | 25                             |
| - metalen                                  | 50                             |
| - PAK                                      | 100                            |
| - overige stoffen                          | 200                            |
| Verdeling compartimenten                   |                                |
| - direct                                   | 5                              |
| - indirect                                 | 200                            |
| - bodem                                    | 5                              |
| Emissieroutes via riool naar water         | 10                             |
| Regionalisatie:                            |                                |
| - stikstof                                 | 50                             |
| - metalen                                  | 100                            |
| - PAK                                      | 100                            |
| - overige stoffen                          | 100                            |

Zowel de emissieverklarende variabele als de emissiefactor zijn onderdeel van het OPS model. Alleen de berekende jaarvrachten met behulp van OPS en de daarbij horende validatie met meetgegevens krijgt een betrouwbaarheidspercentage. Voor stikstof wordt de berekende belasting met OPS niet gevalideerd met meetgegevens omdat het model redelijk betrouwbare belastingen oplevert. Stikstof krijgt daarom een betrouwbaarheidspercentage van 25%. Voor metalen zijn de invoergegevens van OPS redelijk bekend, maar de OPS resultaten dienen wel gevalideerd te worden. Hiervoor wordt de meetgegevens uit het landelijk meetnet regenwater van RIVM gebruikt. De metalen krijgen een betrouwbaarheidspercentage van 50%. Voor PAK en de overige stoffen is de invoer matig en is de validatie ook minder goed. Voor PAK vinden incidenteel metingen plaats, voor overige stoffen zijn ze niet beschikbaar. De PAK krijgen een betrouwbaarheidspercentage van 100%, de overige stoffen een percentage van 200%.

De verdeling van de emissies over de verschillende compartimenten verloopt via een aantal routes (zie Hoofdstuk 8) en wordt bepaald door de kwaliteit van de GIS gegevens. Deze gegevens zijn goed bekend voor de directe belasting op bodem en oppervlaktewater. Beide krijgen een betrouwbaarheidspercentage van 5%. De indirecte belasting op het riool is minder betrouwbaar. Voordat de stoffen een RWZI bereiken hebben ze al een behoorlijke weg afgelegd. Een groot deel van de stoffen blijft achter in straatvuil of het rioleringsproces. De betrouwbaarheid wordt op 200% geschat. De verdeling van de indirecte emissies via het riool naar water krijgt een betrouwbaarheidspercentage van 10% [15]. De regionalisatie van de emissies is redelijk betrouwbaar omdat het zwaartepunt van de bronnen wel bekend is en het model wat dit betreft redelijk betrouwbaar is. De weerjaren worden minder goed meegenomen. OPS wordt voor een bepaald jaar gedraaid en de emissies voor de daaropvolgende jaren worden berekend met behulp van trendfactoren. Uitzondering is de stikstofdepositie, die voor elk van de afzonderlijke jaren vanaf 2005 is uitgerekend met de meteo van dat jaar. Om die reden krijgt

stikstof een betrouwbaarheidspercentage van 50% toegewezen en de andere stoffen een betrouwbaarheid van 100%.

Als belangrijkste verbeterpunten kunnen worden genoemd:

- Opgemerkt wordt dat voor diverse metalen de meetcorrectiefactor fors is (Tabel 1). Dit grote verschil suggereert dat de emissies van deze stoffen flink onderschat worden. Gegeven de aanzienlijke aandacht die in een recente studie [3] aan de emissies van deze stoffen is geschonken is dat een opvallende constatering. Het blijkt echter dat de meetresultaten verkregen uit twee verschillende methoden niet eenduidig zijn. In deze studie en in eerdere studies over de belastingen van Nederland en NCP zijn de metingen uit het landelijk meetnet regenwater gebruikt [7]. Voor vier metalen (arsen, cadmium, kwik en zink) meet het RIVM sinds 1990 de concentratie in aerosol. Er bestaat een goed bekend verband tussen de jaarlijkse depositieflux uitgaande van concentraties van metalen in de lucht, en die gebaseerd op de concentraties in regenwater. Het blijkt dat de jaarlijkse depositieflux gebaseerd op concentraties in regenwater circa een factor drie hoger is dan die op grond van concentraties van metalen in de lucht. Gesteld wordt dat de twee meetbestanden niet samenhangend zijn. Aanbevolen wordt dat het RIVM hierover helderheid verschaft, en aangeeft welk bestand het beste te gebruiken is. Belangrijk verbeterpunt is om overeenstemming te bereiken tussen de meetgegevens van metalen uit het regenwaternet en die uit de aerosol metingen.
- verbetering van emissiegegevens van zware metalen en overige stoffen. De berekeningen dateren uit 2003
- verbetering van schattingen van de depositiesnelheid van gasvormige organische verbindingen
- verbetering van de verificatie van modelberekeningen door het uitvoeren van metingen. Dit geldt vooral voor de schattingen op het NCP.
- om meer stoffen op te kunnen nemen is het nodig dat van deze stoffen betere emissiegegevens beschikbaar komen en dat er meetcampagnes worden uitgevoerd.
- De nieuwe verdeling naar type oppervlak is berekend met LGN2018. Eerdere jaren worden ook gebaseerd op de LGN2018 kaart. Voor eerdere jaren 2000 en 2010 zou het wenselijk zijn om ook een onderverdeling te hebben op basis van kaarten geldend voor die jaren. De LGN-kaarten voor die jaren zijn minder gedetailleerd en daardoor niet geschikt voor de toedeling naar type oppervlakte. Er dienen andere ondergrondkaarten gebruikt te worden.

### 13 Reacties

Voor vragen naar aanleiding van dit werkdocument of opmerkingen kan contact worden opgenomen met [emissieregistratie@deltares.nl](mailto:emissieregistratie@deltares.nl).

### 14 Referenties

- [1] Duyzer. J.H. R.A.J. Plant. A. Bleeker (2002). Bepaling van emissies naar water door atmosferische depositie. TNO-MEP rapport R2002/268. Utrecht.
- [2] Bleeker A. en J.H. Duyzer (2003). Belasting van het oppervlaktewater door atmosferische depositie- berekening van directe depositie van 18 probleemstoffen naar water. TNO rapport 2003/476. Utrecht.
- [3a] Denier van der Gon H.. M. van het Bolscher. A. Visschedijk en P. Zandveld (2005). Study to the effectiveness of the UN-ECE Heavy Metals Protocol and costs of additional measures. TNO rapport B&)-A R2005/193. TNO. Utrecht.
- [3b] Denier van der Gon H.. M. van het Bolscher. A. Visschedijk en P. Zandveld (2005). Study to the effectiveness of the UN-ECE Persistent Organic Pollutants Protocol and costs of additional measures. TNO rapport B&)-A R2005/193. TNO. Utrecht.
- [4] Berdowski J.. J. Baas. J. Bloos. A. Visschedijk en P. Zandveld (1997). The European Inventory of Heavy Metals and Persistent Organic Pollutants for 1990. UFO Plan 104.02 672/03 UBA/Berlijn en TNO/Utrecht.
- [5] Van Jaarsveld.J.A. (1995). Modelling the long-term atmospheric behaviour of pollutants on various spatial scales. Proefschrift Universiteit Utrecht. ISBN 90-393-0950-7

- [6] Roemer M., J. Duyzer, J. Hulskotte, J. van den Roovaart en K. van de Ven (2006). Factsheet Atmosferische depositie op zoute wateren.
- [7] Stolk A. (2001). Landelijk meetnet regenwatersamenstelling Meetresultaten 2000. RIVM Rapport 723101 057 / 2001. Bilthoven + jaarlijkse databestanden met regenwatersamenstellingen.
- [8] Duyzer J. en A.W. Vonk (2003). Atmosferische depositie van pesticiden. PAK's en PCB's in Nederland. TNO rapport R2003/255. TNO. Utrecht.
- [9] Duyzer J. en A.W. Vonk (2001). Atmosferische depositie van POP in Nederland: resultaten van de metingen in het jaar 2000. TNO rapport R2001/246. TNO. Utrecht.
- [9a] Duyzer J., Weststrate H., Visschedijk A., Atmosferische depositie van stoffen naar oppervlaktewater. TNO-060-UT-2012-01650. 7 december 2012
- [10] Denier van der Gon en A.Visschedijk (2004). LOTOSEUROS emissies
- [11] Webdab: elektronische emissie-informatie van EMEP ([www.emep.int](http://www.emep.int)).
- [12] EMEP (2007) Transboundary pollution of acidification, eutrophication and ground level ozone (Tabellen A1-A5). Report 1/7. DNMI. Oslo. Noorwegen.
- [13] Amann M.W. Asman, I. Bertok, J. Cofala, C. Heyes, Z. Klimont, W. Schopp en F. Wagener (2007). Cost-effective emission reductions to meet the environmental targets of the thematic strategy on air pollution under different greenhouse gas constraints.NEC Scenario Analysis Report No. 5. IIASA. Laxenburg. Oostenrijk.
- [14] Informatie afkomstig van de Emissieregistratie. [www.emissieregistratie.nl](http://www.emissieregistratie.nl)
- [15] Rijkswaterstaat WVL. 2014. Effluenten RWZI's, regenwaterriolen, niet aangesloten riolen, overstorten en IBA's. factsheet diffuse bronnen. mei 2014.
- [16] Bestand Bodemgebruik 2003 (2003). Centraal Bureau voor de Statistiek. Voorburg.
- [17] Hulskotte J. en J. Duyzer (2004). Belasting van het oppervlaktewater door atmosferische depositie. TNO rapport R2004/526. TNO. Utrecht.
- [18] Most, P.F.J. van der *et al.*, juli 1998. *Methoden voor de bepaling van emissies naar lucht en water*. Publicatiereeks Emissieregistratie. nr. 44.
- [19] Duyzer J., H Weststrate en A. Visschedijk (2014). Atmosferische depositie van stoffen naar oppervlaktewater. TNO rapport TNO-060-UT-2012-01650.
- [20] Bleeker, A., Poelhuis, M., Van Pul, A., Siteur, K., Stolk, A., Verweij, R., Wichink Kruit, R., 2023. Stand van zaken 'Ammoniak van Zee'; Tussenrapportage april 2023. RIVM-briefrapport 2023-0308. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2023-0308.pdf>
- [21] Wichink Kruit, R., Bleeker, A., de Vries, W., Jacobs, C., Meijer, P., Sauter, F., Siteur, K., van der Swaluw, E., van Pul, A., Verweij, R., 2024. Kennisupdate 'Ammoniak van zee'. RIVM-kennisupdate 2023-0033. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/KU-2023-0033.pdf>

## Bijlage A Overzicht stoffen

Tabel A1: Stoffenlijst

| Stoffen (stofnr)                           | NL<br>ER <sup>1</sup><br>DvdG-2000 | buitenland<br>DvdG-2000 <sup>2</sup> | Buiten <sup>3</sup><br>lucht<br>meting | Fysisch.<br>chemische<br>karakt. <sup>4</sup> | Status <sup>5</sup> |
|--------------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------|
| <b>Ja-stoffen<sup>6</sup></b>              |                                    |                                      |                                        |                                               |                     |
| Cadmium (104)                              | 2003                               | DvdG-2000                            | RIVM                                   | Ja                                            | 1                   |
| Kwik (110)                                 | 2003                               | DvdG-2000                            | -                                      | Ja                                            | 2                   |
| Lood (111)                                 | 2003                               | DvdG-2000                            | RIVM                                   | Ja                                            | 1                   |
| Arseen (103)                               | 2003                               | DvdG-2000                            | RIVM                                   | Ja                                            | 1                   |
| Chroom (105)                               | 2003                               | DvdG-2000                            | RIVM                                   | Ja                                            | 1                   |
| Koper (109)                                | 2003                               | DvdG-2000                            | RIVM                                   | Ja                                            | 1                   |
| Nikkel (114)                               | 2003                               | DvdG-2000                            | RIVM                                   | Ja                                            | 1                   |
| Seleen (115)                               | 2003                               | DvdG-2000                            | -                                      | Ja                                            | 2                   |
| Zink (120)                                 | 2003                               | DvdG-2000                            | RIVM                                   | Ja                                            | 1                   |
| Hexachloorbenzeen                          | DvdG-2000                          | DvdG-2000                            | TNO                                    | Ja                                            | 1                   |
| Polychloorbifenyyl                         | DvdG-2000                          | DvdG-2000                            | TNO                                    | Ja                                            | 1                   |
| Hexachloorhexaan                           | DvdG-2000                          | DvdG-2000                            | TNO                                    | Ja                                            | 1                   |
| Benzo(a)pyreen (539)                       | 2005                               | JD [9a]                              | TNO                                    | Ja                                            | 1                   |
| Benzo(b)fluorantheen (540)                 | 2005                               | JD [9a]                              | TNO                                    | Ja                                            | 1                   |
| Benzo(k)fluorantheen (541)                 | 2005                               | JD [9a]                              | TNO                                    | Ja                                            | 1                   |
| Indeno-(1.2.3.cd)pyreen (543)              | 2005                               | JD [9a]                              | TNO                                    | Ja                                            | 1                   |
| Benzeen (515)                              | 2000                               | Berdw-1990 <sup>7</sup>              | RIVM                                   | Ja                                            | 3                   |
| Benzo(g,h,i)peryleen (542)                 | 2000                               | Berdw-1990                           | TNO                                    | Ja                                            | 3                   |
| Endosulfan                                 | DvdG-2000                          | DvdG-2000                            | TNO                                    | Ja                                            | 1                   |
| Polygebromeerde difenylethers              | DvdG-2000                          | DvdG-2000                            | -                                      | Ja                                            | 2                   |
| Hexachloorbutadieen                        | DvdG-2000                          | DvdG-2000                            | TNO                                    | Ja                                            | 1                   |
| Pentachloorfenol (679)                     | 2005                               | DvdG-2000                            | TNO                                    | Ja                                            | 1                   |
| Tetrachloortheen (619)                     | 2005                               | Berdw-1990                           | -                                      | Ja                                            | 4                   |
| Trichloortheen (621)                       | 2005                               | Berdw-1990                           | -                                      | Ja                                            | 4                   |
| N-totaal                                   | 2005-2023                          | CEIP 2005-2023                       | RIVM                                   |                                               |                     |
| <b>Nee stoffen<sup>6</sup></b>             |                                    |                                      |                                        |                                               |                     |
| Di2-thylhexylftalaat                       | 2005                               | -                                    | -                                      | Ja                                            | N                   |
| Dichloorethaan.1.2                         | 2005                               | ??                                   | -                                      | Ja                                            | N                   |
| Dichloormethaan                            | 2005                               | ??                                   | -                                      | Ja                                            | N                   |
| Anthraceen <sup>10</sup>                   | ER <sup>11</sup>                   | UBA <sup>11</sup>                    | TNO                                    | Ja                                            | N                   |
| Atrazine                                   | RIALT <sup>12</sup>                | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                            | N                   |
| Chloorvenfinvos                            | 2005                               | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                            | N                   |
| Chloorpyrifos                              | 2005                               | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                            | N                   |
| Trichloorbenzenen                          | 2005                               | ??                                   | -                                      | Ja?                                           | N                   |
| Trichloormethaan                           | 2005                               | -                                    | -                                      | Ja                                            | N                   |
| Tetrachloormethaan (620)                   | 2005                               | ??                                   | -                                      | Ja                                            | N                   |
| Dichloorvos                                | RIALT                              | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                            | N                   |
| Mecoprop                                   | niet                               | RIALT                                | -                                      | Ja                                            | N                   |
| SCCP (short chain chlorinated paraffins)   | DvdG-2000                          | ??                                   | -                                      | Ja?                                           | N                   |
| Vanadium                                   | ??                                 | ??                                   | -                                      |                                               | N                   |
| Dieldrin                                   | -                                  | -                                    | -                                      | deels                                         | N                   |
| Diuron                                     | -                                  | -                                    | -                                      | Ja                                            | N                   |
| Isodrin                                    | -                                  | -                                    | -                                      |                                               | N                   |
| Isoproturon                                | 2005                               | -                                    | -                                      |                                               | N                   |
| Alachloor                                  | -                                  | -                                    | -                                      | deels                                         | N                   |
| Nonylfenol                                 | -                                  | -                                    | -                                      |                                               | N                   |
| Octylfenolen                               | -                                  | -                                    | -                                      |                                               | N                   |
| Simazine                                   | RIALT                              | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                            | N                   |
| Stoffen (stofnr)                           | NL<br>ER <sup>1</sup><br>DvdG-2000 | buitenland<br>DvdG-2000 <sup>2</sup> | Buiten <sup>3</sup><br>lucht<br>meting | Fysisch.<br>chemische<br>karakt. <sup>4</sup> | Status <sup>5</sup> |
| Tributylverbindingen                       | -                                  | -                                    | -                                      |                                               | N                   |
| Trifluralin                                | -                                  | -                                    | -                                      | Ja                                            | N                   |
| Trifenylytin                               | RIVM                               | -                                    | -                                      |                                               | N                   |
| MCPA (2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid) | 2005                               | -                                    | TNO                                    | deels                                         | N                   |
| Heptachloor                                | RIALT                              | RIALT                                | TNO                                    | deels                                         | N                   |
| Stoffen (stofnr)                           | NL<br>ER <sup>1</sup><br>DvdG-2000 | buitenland<br>DvdG-2000 <sup>2</sup> | Buiten <sup>3</sup><br>lucht<br>meting | Fysisch.<br>chemische<br>karakt. <sup>4</sup> | Status <sup>5</sup> |
| Bentazon                                   | 2005                               | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                            | N                   |
| Chloridazon                                | 2005                               | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                            | N                   |
| Dichloorvos                                | RIALT                              | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                            | N                   |
| Dichloorprop                               | -                                  | -                                    | -                                      |                                               | N                   |

| Stoffen (stofnr)                      | NL<br>ER <sup>1</sup><br>DvdG-2000 | buitenland<br>DvdG-2000 <sup>2</sup> | Buiten <sup>3</sup><br>lucht<br>meting | Fysisch.<br>chemische<br>karak. <sup>4</sup> | Status <sup>5</sup> |
|---------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------|---------------------|
| Dimethoaat                            | RIALT                              | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                           | N                   |
| Pyrazon                               | RIALT                              | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                           | N                   |
| Boor                                  | -                                  | -                                    | -                                      |                                              | N                   |
| Uranium                               | -                                  | -                                    | -                                      |                                              | N                   |
| Propoxur                              | RIALT                              | RIALT                                | TNO                                    | Ja                                           | N                   |
| Diazinon                              | RIALT                              | RI/ALT                               | TNO                                    | Ja                                           | N                   |
| Hepterofofos                          | -                                  | -                                    | -                                      |                                              | N                   |
| Aldrin                                | 0 <sup>3</sup>                     | 0                                    | TNO                                    | deels                                        | N                   |
| Chlordane                             | 0                                  | 0                                    | -                                      |                                              | N                   |
| Chlordecone                           | 0                                  | 0                                    | -                                      |                                              | N                   |
| DDT (Dichlorodiphenyltrichloroethane) | 0                                  | 0                                    | -                                      |                                              | N                   |
| Endrin                                | 0                                  | 0                                    | 0                                      | deels                                        | N                   |
| Hexabroombifenyyl                     | 0                                  | 0                                    | -                                      | deels                                        | N                   |
| Mirex                                 | 0                                  | 0                                    | -                                      |                                              | N                   |
| Toxafeen                              | 0                                  | 0                                    | -                                      | deels                                        | N                   |
| Heptachloor                           | 0                                  | 0                                    | ~0                                     | deels                                        | N                   |

- 1) Als emissie is voorzien van een getal dan is de bron de Emissieregistratie (ER). of Denier van der Gon et al.. [3a/b]. anders is de bron ofwel Berdowski et al.. (1995) [4] ofwel RIVM/ALTERRA
- 2) Als emissie is voorzien van een getal dan is de bron Denier van de Gon (2005). [3a/b]
- 3) RIVM meetnet. neerslag beslaat periode 1992-2004/5 in 4-wekelijks perioden. Stations: Beek. Biddinghuizen. de Bilt. de Zilk/Leiduin. Eibergen. Gilze-Rijen. Huijbergen. Kollumerwaard. Philippine. Rotterdam. Speulderbos. Valthernmond/Witteveen. Vredepeel. Wageningen. Wieringerwerf; Voor N-totaal en benzeen worden luchtconcentraties bedoeld; TNO meetnet beslaat luchtmonsters en neerslagmonsters in de periode 2000-2001 in 4-wekelijks perioden; 19 stations verspreid over het land.
- 4) Deels: wel dampspanning. oplosbaarheid. moleculaire massa. maar geen depositiesnelheden.
- 5) Status; zie onderstaande tabel.
- 6) Ja-stoffen zijn stoffen waarover gerapporteerd is; Nee-stoffen worden niet gerapporteerd omdat er te weinig of onvoldoende betrouwbare informatie is
- 7) Gebaseerd op Berdowski et al.. (1995) [4]
- 8) Denier van der Gon en Vissschedijk [10]
- 9) Naftaleenemissies zijn als 10% van de benzeenemissies verondersteld.
- 10) Anthraceen is "gepromoveerd" naar de "ja-groep". Er wordt niet voor gerekend. alleen is er geschaald via fluorantheen. (anthraceen = 0.11\* fluorantheen.)
- 11) Info uit Hulskotte en Duyzer (2004). [17]
- 12) RIALT: emissiebestanden zoals gebruikt in Duyzer en Vonk (2003). [9].

Status-tabel

|                     | 1       | 2       | 3       | 4       | N* |
|---------------------|---------|---------|---------|---------|----|
| Emissies Nederland  | ER/DvdG | ER/DvdG | ER/DvdG | ER/DvdG |    |
| Emissies buitenland | DvdG    | DvdG    | Berd.   | Berd.   |    |
| trend-info          | ja      | ja      | nee     | nee     |    |
| meetnet             | ja      | nee     | ja      | nee     |    |
| stofkarakteristiek  | ja      | ja      | ja      | ja      |    |

\* Nee-stoffen zijn stoffen waarvan de bestanden voor Nederlandse en buitenlandse emissies andere zijn dan de ER. DvdG dan wel Berdw.

## Bijlage B Vergelijking Fluxen

Tabel B1 vergelijkt de depositieflux van een aantal stoffen op de vier verschillende bestemmingen met de depositieflux zoals die uit metingen volgt. De depositieflux per tijdseenheid en per oppervlakte-eenheid verschilt voor de vier verschillende bestemmingen. De verschillen in depositieflux tussen de bestemmingen worden veroorzaakt door de stofeigenschappen. De depositieflux "water direct NCP" is circa een factor twee lager dan die van "water direct NL" wat te maken heeft met het feit dat het NCP verder weg gelegen is van vooral de Nederlandse bronnen dan de oppervlaktewateren in Nederland. De depositieflux uit metingen sluit goed aan bij de berekende depositiefluxen, wat gezien de toepassing van meetcorrectiefactoren niet vreemd is.

*Tabel B1: Depositieflux (gram/ha/j) vergeleken met die uit metingen [8.9].*

| stofnaam            | Bestemming. Flux (gram/ha/jr) |                       |                  |                 | Flux (gram/ha/jr) |
|---------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------|-----------------|-------------------|
|                     | Bodem direct NL               | Verhard gerioleerd NL | Water direct NCP | Water direct NL | Metingen          |
| Chroom <sup>1</sup> | 1.300400                      | 1.434500              | 0.67870          | 1.10250         | 1.2040            |
| Nikkel              | 4.649300                      | 6.066400              | 2.57750          | 4.24530         | 3.8530            |
| Koper               | 34.925600                     | 47.825400             | 6.99860          | 22.39910        | 20.2980           |
| Zink                | 119.588900                    | 134.388600            | 44.85120         | 85.47530        | 90.9000           |
| Arseen              | 1.719500                      | 1.836400              | 1.05660          | 1.41030         | 1.4420            |
| Cadmium             | 1.220000                      | 1.353300              | 0.43730          | 0.98480         | 0.8810            |
| Lood                | 40.379000                     | 44.722600             | 14.06770         | 29.30940        | 31.4480           |
| HexaChloorBenzeen   | 0.004187                      | 0.005233              | 0.00028          | 0.00094         | 0.0060            |
| Hexachloorhexaan    | 0.066200                      | 0.083100              | 0.02770          | 0.02830         | 0.0230            |
| Polychloorbifenyyl  | 0.013000                      | 0.016400              | 0.00018          | 0.00250         | 0.0500            |
| Endosulfan          | 0.211500                      | 0.246000              | 0.06570          | 0.13860         | 0.0060            |
| HexaChloorButadien  | 0.000630                      | 0.000640              | 0.00043          | 0.00047         | 0.00060           |
| PentaChloorFenol    | 0.227600                      | 0.443400              | 0.10630          | 0.16890         | 0.1400            |

1: metingen alle zware metalen uit het landelijk regenwatermeetnet [7]. Flux is 2\* flux natte depositie

2: metingen Benzo(a)pyreen en alle daarna genoemde stoffen uit TNO meetnet [8.9]

## Bijlage C Vergelijking met eerdere studies

Een vergelijking van de resultaten met wat uit eerdere studies naar voren is gekomen is niet goed mogelijk aangezien de gebieden waarvoor de berekeningen zijn uitgevoerd (o.a. afwateringseenheden) verschillen. Een uitzondering betreft de studie "Atmosferische depositie Zoute Wateren uit 2005-2006 [6]. Tabel C1 geeft een overzicht van de emissies, meetcorrectiefactoren en belasting op het NCP in beide studies.

De meetcorrectiefactoren zijn voor beide studies nogal verschillend. In de huidige studie zijn alle regionale stations (verspreid over Nederland gebruikt) terwijl in de eerdere slechts drie kuststations gebruikt zijn; die studie was gericht op de zoute wateren en niet op Nederland als totaal. De depositiesnelheden op zee (tabel 1) waren in beide studies gelijk. Verder valt op dat de emissies voor hetzelfde peiljaar verschillend zijn in de twee studies. Grote verschillen bestaan voor koper en voor de binnenlandse emissies van cadmium en lood. De koperemissies zijn aangepast vanwege nieuwe schattingen van de bijdrage van remvoeringen. De reden van de grote verschillen in de aangeleverde emissies voor cadmium en lood is niet bekend.

Tabel C1: Vergelijking emissies en belasting NCP in deze studie en studie Atmosferische Depositie Zoute Wateren. Peiljaar 2000

| Stof                        | Emissies naar lucht (ton/j) |            | Meet correctie factor | Belasting op NCP (kg/j)   |                           |
|-----------------------------|-----------------------------|------------|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
|                             | ER                          | buitenland |                       | door binnenlandse bronnen | door buitenlandse bronnen |
| <b>Deze studie</b>          |                             |            |                       |                           |                           |
| Cadmium                     | 2,5                         | 326        | 3,418                 | 434                       | 2.070                     |
| Koper                       | 87,4                        | 4.990      | 2,658                 | 7.105                     | 56.849                    |
| Kwik                        | 0,6                         | 315        | 1,000                 | 31                        | 869                       |
| Lood                        | 47,2                        | 12.995     | 3,823                 | 9.185                     | 71.387                    |
| Nikkel                      | 19,1                        | 3.730      | 1,018                 | 935                       | 9.618                     |
| Zink                        | 99,4                        | 16.881     | 5,075                 | 18.061                    | 238.824                   |
|                             |                             |            |                       |                           |                           |
| <b>Studie zoute wateren</b> |                             |            |                       |                           |                           |
| Cadmium                     | 1,0                         | 376        | 1,85                  | 102                       | 2.165                     |
| Koper                       | 19,6                        | 2.826      | 9,46                  | 8.880                     | 65.088                    |
| Kwik                        | 0,8                         | 343        | 1,00                  | 43                        | 917                       |
| Lood                        | 29,2                        | 35.344     | 1,17                  | 2.010                     | 94.677                    |
| Nikkel                      | 24,9                        | 4.052      | 0,63                  | 1.006                     | 9.883                     |
| Zink                        | 94,1                        | 19.409     | 2,77                  | 11.277                    | 217.896                   |

Een ander verschil is dat in de huidige studie gerekend is volgens de meteorologie van 2000. terwijl in de eerdere studie gebruik is gemaakt van de langjarige gemiddelde meteorologie 1990-2000. Dit verschil is de reden voor afwijkingen van niet meer dan 10-20%. Tenslotte wordt opgemerkt dat vergelijking van alleen de emissies niet alles verklaart. Van belang is vooral ook de bronhoogte. de hoogte waarop de stoffen in de atmosfeer uitgestoten wordt. De bronhoogte is van belang voor de NO<sub>x</sub> emissie uit bijvoorbeeld elektriciteitscentrales. Die vergelijking is niet gemaakt.

De emissies en de meetcorrectiefactoren in beschouwing nemend kan gesteld worden dat de bijdrage tot de belasting op het NCP uit beide studies voor sommige stoffen in redelijke overeenstemming is. Voor andere stoffen zijn er aanzienlijke verschillen die grotendeels te verklaren zijn uit de verschillen in de emissies.