



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland Rapportage 2022

RIVM-rapport 2022-0059
R. Hoogerbrugge et al.



Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu
*Ministerie van Volksgezondheid,
Welzijn en Sport*

Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland

Rapportage 2022

RIVM-rapport 2022-0059

Colofon

© RIVM 2022

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), de titel van de publicatie en het jaar van uitgave.

Het RIVM hecht veel waarde aan toegankelijkheid van zijn producten. Op dit moment is het echter nog niet mogelijk om dit document volledig toegankelijk aan te bieden. Als een onderdeel niet toegankelijk is, wordt dit vermeld. Zie ook www.rivm.nl/toegankelijkheid.

DOI 10.21945/RIVM-2022-0059

R. Hoogerbrugge (auteur), RIVM
G.P. Geilenkirchen (auteur), PBL¹
S. Hazelhorst (auteur), RIVM
H.A. den Hollander (auteur), RIVM
M. Huitema (auteur), RIVM
W. Marra (auteur), RIVM
K. Siteur (auteur), RIVM
W.J. de Vries (auteur), RIVM
R.J. Wichink Kruit (auteur), RIVM

¹) PBL: Planbureau voor de Leefomgeving. Is verantwoordelijk voor emissieramingen die in dit rapport voor de prognosekaarten zijn gebruikt.

Contact:

R. Hoogerbrugge
Milieu en Veiligheid - Centrum voor Milieukwaliteit
Ronald.hoogerbrugge@rivm.nl

Dit onderzoek werd verricht in Opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, in het kader van de cluster 'Leefomgeving'.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid
en Milieu**
Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven
Nederland
www.rivm.nl

Publiekssamenvatting

Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland

Rapportage 2022

Het RIVM maakt elk jaar kaarten van de luchtverontreiniging in Nederland. Dit gebeurt voor diverse stoffen, waaronder stikstofdioxide, ammoniak en fijnstof. Ook wordt in kaart gebracht hoeveel stikstof er op de bodem neerslaat (depositie). Het RIVM gebruikt zowel modelberekeningen als metingen om de kaarten te maken. Zo komen de concentraties en deposits het best overeen met de werkelijke situatie in het afgelopen jaar. Naast de jaarlijkse berekeningen maakt het RIVM verwachtingen voor de concentraties en deposits voor de jaren 2025 en 2030. De verwachtingen worden vergeleken met het 'basisjaar' 2018.

De kaarten worden gebruikt om de ontwikkeling van de luchtkwaliteit en de stikstofdepositie in Nederland te volgen. Overheden gebruiken de verwachtingen om beleid te maken voor een betere luchtkwaliteit en minder stikstofdepositie. Luchtverontreiniging is schadelijk voor de volksgezondheid. Te veel stikstofdepositie op natuurgebieden is schadelijk voor het aantal plant- en diersoorten.

Over het algemeen dalen de concentraties van luchtvervuilende stoffen al tientallen jaren. Deze daling is in 2020 en 2021 sterker geworden door de gevolgen van maatregelen die zijn genomen tegen de verspreiding van het coronavirus.

Stikstofdioxide- en fijnstofconcentraties

De gemiddelde concentraties stikstofdioxide in de lucht waren in 2021 iets lager dan in 2020, en gemiddeld ongeveer 20 procent lager dan in 2019. Dat komt vooral doordat er in 2020 en 2021 minder wegverkeer was, en doordat elk jaar oudere auto's worden vervangen door nieuwere die minder stikstofoxiden uitstoten. Naar verwachting zullen de concentraties stikstofdioxiden in 2030 ongeveer 40 procent lager zijn dan in 2018.

De gemiddelde concentraties fijnstof waren in 2021 ongeveer even hoog als in 2020, maar veel lager dan in 2019; de concentratie van de deeltjesgrootte PM₁₀ daalde ten opzichte van 2019 met ongeveer 10 procent en die van PM_{2,5} ongeveer 15 procent. Ook de lagere concentraties fijnstof in 2020 en 2021 worden verklaard door minder wegverkeer en schonere auto's. De verwachting is dat de concentraties in 2030 ongeveer 17 respectievelijk 30 procent lager zullen zijn dan in 2018.

Stikstofdepositie

De gemiddelde stikstofdepositie op het Nederlandse landoppervlak was in 2021 circa 3 procent hoger dan in 2020. De verwachting is dat de stikstofdepositie in 2030 ongeveer 15 procent lager zal zijn dan in 2018. Lokaal kan de daling anders zijn dan dit landelijke gemiddelde. De lokale verschillen worden in het najaar gepubliceerd via de AERIUS-monitor.

Gegevens voor de berekening van de verwachtingen

Net als vorig jaar zijn voor de berekening van de verwachte concentraties en depositie zijn gegevens gebruikt over beleidsmaatregelen die op 1 mei 2020 beschikbaar waren. Maatregelen voor klimaat, luchtkwaliteit en stikstof die sindsdien zijn uitgewerkt, zijn dus nog niet meegenomen. Door een actualisatie van de ondersteunende kaarten, zoals die van het landgebruik, zijn de verwachtingen voor 2030 lokaal wel veranderd.

Kernwoorden: fijnstof, stikstofdioxide, Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL), vermeting, stikstofdepositie, ammoniak

Synopsis

Large-scale concentration and deposition maps of the Netherlands

2022 report

Each year, RIVM publishes maps of air pollution in the Netherlands on a 1x1 km scale. This includes nitrogen dioxide, ammonia and particulate matter. Maps also show the amount of nitrogen deposited on the soil (deposition). The maps are based on model calculations and measurements. This ensures that the concentration and deposition maps are as close as possible to the actual measurements in the past year. In addition to the 2021 maps, RIVM also explores the concentrations and depositions in the years 2025 and 2030, assuming full implementation of current legislation.

The maps are used to track the development of air pollution and nitrogen deposition in the Netherlands. Governments use the maps to draw up policy plans aimed at improving air quality and reducing nitrogen deposition. Air pollution is a public health hazard. Excess nitrogen deposition on nature areas is detrimental to the number of plant and animal species.

Concentrations of air pollutants have been on the decline during the past decades. This decline was greater in 2020 and 2021 as a result of the measures taken to limit the spread of COVID-19. The extent to which these effects will persist in future is unclear.

Concentrations of nitrogen dioxide and particulate matter

The concentrations of nitrogen dioxide in the air in 2021 were slightly lower than those in 2020 and, on average, 20 per cent lower than those in 2019. This is primarily because there was less traffic on the roads in 2020 and 2021 and because, each year, older cars are being replaced by newer ones that generate fewer nitrogen-oxides emissions. The concentrations of nitrogen dioxide in 2030 are expected to be approximately 40% lower than in 2018.

The concentrations of particulate matter in 2021 were more or less the same as in 2020, but much lower than in 2019. The concentration of particles with a diameter of 10 micrometer (PM_{10}) declined by about 10 per cent as compared to 2019. The smaller particles ($PM_{2.5}$) dropped by around 15 per cent. These concentrations, respectively, are expected to be 17 and 30 per cent lower in 2030 than in 2018.

Nitrogen deposition

In 2021, the average nitrogen deposition on soil in the Netherlands was around 3 per cent higher than in 2020. The nitrogen deposition in 2030 is expected to be approximately 15 per cent lower than in 2018. Some areas may experience local differences from this national average. These local differences will be reported in the AERIUS monitor, to be published in autumn.

Data used

The calculations for 2025 and 2030 are based on legislation that was published before 1 May 2020. Policy measures on climate, air quality and nitrogen that have been formulated after that date have therefore not yet been taken into account. Compared to last year's report, supporting maps, such as that for land use, have been updated.

Keywords: particulate matter, nitrogen dioxide, air quality policy, eutrophication, nitrogen deposition, ammonia

Inhoudsopgave

Samenvatting — 9

1 Inleiding — 13

2 Methode van concentratie- en depositieberekeningen — 15

- 2.1 Incidentele actualisaties — 16
- 2.2 Reguliere actualisaties — 16
- 2.3 Veranderingen in de kalibratiemethode — 17
- 2.4 Kalibratiefactoren en meetcorrectie — 17

3 Emissies — 21

- 3.1 Ramingen — 21
- 3.2 Aanpassingen van emissies — 23

4 Grootschalige concentraties en bronbijdragen — 31

- 4.1 GCN-kaarten — 31
 - 4.1.1 NO₂-concentraties — 31
 - 4.1.2 PM₁₀-concentraties — 35
 - 4.1.3 PM_{2,5}-concentraties — 37
 - 4.1.4 EC-concentraties — 38
 - 4.1.5 Benzeenconcentratiekaarten — 40
- 4.2 Opbouw concentraties NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, EC en SO₂ — 40
- 4.3 Bijdragen concentraties fijnstof voor effecten maatregelen — 47
- 4.4 Onzekerheden in de GCN-kaarten — 48

5 Grootschalige depositie en bronbijdragen — 51

- 5.1 GDN-kaarten — 51
 - 5.1.1 Stikstofdepositie — 51
 - 5.1.2 Potentieel-zuurdepositie — 53
- 5.2 Opbouw stikstofdepositie en potentieel zuurdepositie — 55
- 5.3 Onzekerheden in depositiekaarten — 61
- 5.3.1 Onzekerheid in de stikstofdepositie in een 1x1 km gridcel — 61

6 Modelverbeteringen en innovaties — 63

- 6.1 Vernieuwde gegevens: Landgebruik en ruwheid — 63
- 6.2 Vernieuwde gegevens: achtergrondconcentraties en chemische reactiesnelheden binnen OPS — 66
- 6.3 Verandering model input: ruimtelijke verdeling emissies buitenland — 67
- 6.4 Kalibratiemethode: elementair koolstof (roet) — 71

Literatuur — 75

Bijlage 1 Nederlandse emissies in de scenario's — 77

Bijlage 2 SRM-emissiefactoren — 83

Samenvatting

Grootschalige concentratie- en depositiekaarten

Het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) levert jaarlijks kaarten met grootschalige concentraties voor Nederland - GCN-kaarten genoemd - van de luchtverontreinigende stoffen waarvoor Europese luchtkwaliteitsnormen bestaan. Deze kaarten geven een grootschalig beeld van de luchtkwaliteit in Nederland, zowel van het verleden als voor de toekomst. Ze worden gebruikt bij de rapportage in het kader van de EU-luchtkwaliteitsrichtlijn, de uitvoering van het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL), het definiëren van lokaal beleid en bij planvorming. De resultaten van de GCN-berekeningen spelen verder een belangrijke rol bij het volgen van de resultaten van het Schone Lucht Akkoord (SLA).

Het RIVM levert daarnaast kaarten met de grootschalige depositie voor Nederland (GDN-kaarten genoemd) van stikstof en potentieel zuur. Ten opzichte van het voorgaande jaar zijn in deze rapportage zijn de gebruikte metingen, de totale Nederlandse emissies en de ruimtelijke verdelingen van de emissies geactualiseerd. Deze updates zijn een jaarlijkse actualisatie, gebaseerd op de nieuwste gegevens uit de Emissieregistratie.

Methode

De update van de emissietotalen en de ruimtelijke verdeling is gebaseerd op de Emissieregistratie. Hierbij zijn emissies voor het jaar 2020 toegepast, waarbij rekening is gehouden met het effect van de coronamaatregelen op de luchtvaart. Net als vorig jaar zijn de emissieramingen gebaseerd op de Klimaat- en Energieverkenning 2020 (PBL 2020). In deze ramingen, die in de zomer van 2020 zijn gemaakt, zijn geen lange-termijneffecten van de coronamaatregelen meegenomen. Voor deze ramingen is verondersteld dat de ontwikkeling van de economie op de langere termijn (vanaf 2025) weer op het pad komt van voor de coronapandemie. Voor de emissieramingen van het buitenland zijn dezelfde emissietotalen gebruikt als vorig jaar. Voor de verdeling over de diverse emissiessectoren is wel actualisatie beschikbaar gekomen en gebruikt.

De GCN/GDN-kaarten worden berekend met het Operationele Prioritaire Stoffen (OPS) verspreidingsmodel. Een aantal benodigde achtergrondgegevens is geactualiseerd, omdat nieuwe gegevensbronnen beschikbaar zijn. De berekeningen zijn hierdoor actueler geworden. Een van deze achtergrondgegevens is een kaart voor het landgebruik en de daaruit afgeleide ruwheid van het landoppervlak. Deze vernieuwde kaart is nu gebaseerd op informatie uit LGN2020 (situatie 2020), en vervangt daarmee de kaart op basis van LGN7 (situatie 2013). De verdeling van de buitenlandse emissies is geactualiseerd op basis van informatie uit de Europese CAMS-database (Kuenen et al., 2021).

Daarnaast maakt het OPS-model gebruik van diverse ondersteunende kaarten als input voor het berekenen van chemische reacties en de

depositie van ammoniak. De berekening van deze ondersteunende kaarten kost veel tijd. Vorig jaar was hierdoor slechts een beperkte set beschikbaar. Deze zijn uitgebreid ten opzichte van vorig jaar, en bevatten nu voor elk toekomstjaar specifieke informatie.

Dit jaar is voor het eerst een gekalibreerde EC (roet)kaart gemaakt. Deze kaart komt beter overeen met de metingen dan de indicatieve roetkaarten van voorgaande jaren.

De kaarten van benzeen en koolmonoxide (CO) zijn sinds 2012 niet meer aangepast en daarom indicatief. Voor benzeen is indertijd vastgesteld dat er geen blootstelling boven de norm plaatsvindt. Daarom werd een jaarlijkse update van de kaart niet meer noodzakelijk geacht. Sindsdien wordt nog wel gemeten. Deze meetwaarden zijn ruim onder de norm, en tonen in het algemeen een dalende trend. Beoogd wordt om volgend jaar een geactualiseerde kaart te publiceren.

Grootschalige NO₂-concentraties iets lager dan 2020

De stikstofdioxide (NO₂) concentratie voor het jaar 2021 is gemiddeld over Nederland iets lager dan in 2020 en daarmee ook lager ($3,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, circa 20%) dan die voor 2019. Dat komt vooral doordat er in 2020 en 2021 minder wegverkeer was, en doordat elk jaar oudere auto's worden vervangen door nieuwere die minder stikstofoxide (NO_x) uitstoten. De verwachting voor 2030 is dit jaar vrijwel gelijk aan de inschatting van vorig jaar. De verwachting is dat de gemiddelde berekende Nederlandse concentratie in 2030 bij vastgesteld beleid ongeveer $5,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (circa 40%) lager zal zijn dan de concentratie in 2018 (bepaald met langjarig gemiddelde meteorologie). Het jaar 2018 is in deze vergelijking gebruikt als referentiejaar, omdat dit het meest recente jaar is waarvoor emissiegegevens zijn gebruikt voor het maken van de ramingen. Indien een meer recent jaar als referentie zou worden gebruikt, treden ongewenste inconsistenties op tussen de raming en het referentiejaar.

Grootschalige PM₁₀- en PM_{2,5}-concentraties vrijwel gelijk aan 2020

De fijnstofconcentraties, PM₁₀ en PM_{2,5}, waren in 2021 vrijwel gelijk aan 2020 en gemiddeld lager (resp. $1,6$ en $1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ongeveer 10% respectievelijk 15%) dan die in 2019. De verwachte gemiddelde concentraties in 2030 bij vastgesteld beleid zijn voor PM₁₀ en PM_{2,5} respectievelijk $2,7$ en bijna $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (respectievelijk circa 17% en 30%) lager dan de concentraties in 2018 (bepaald met langjarige gemiddelde meteorologie). Deze daling komt slechts voor een klein deel door de daling van de bijdrage van primair fijnstof. Het grootste deel komt door de daling van secundair fijnstof, dat in de lucht wordt gevormd uit gasvormige luchtverontreiniging zoals NO_x, NH₃ (ammoniak) en SO₂ (zwaveldioxide). Deze prognose is vrijwel gelijk aan de prognose van vorig jaar. Dit was te verwachten, omdat zowel voor Nederland als voor het buitenland emissieramingen met dezelfde emissietotalen zijn gebruikt als vorig jaar.

Grootschalige ammoniakconcentraties en stikstofdepositie

Voor de effecten op de natuur zijn de hoeveelheden ammoniak en stikstofoxiden die op het oppervlak neerslaan belangrijk: de

stikstofdepositie. Te veel stikstof kan in natuurgebieden leiden tot een afname van de soortenrijkdom (biodiversiteit).

De gemiddelde stikstofdepositie is in 2021 iets hoger dan in 2020 (circa 50 mol/ha/jaar, ongeveer 3%). Stikstofdepositie bestaat uit ammoniak gerelateerde componenten (NH_x) en componenten die gerelateerd zijn aan stikstofoxiden (NO_y). De berekende natte depositie van NH_x en NO_y is respectievelijk 45 en 20 mol/ha hoger dan in 2020. De droge depositie van NH_x 20 mol/ha lager en de droge depositie van NO_y 5 mol/ha hoger. Ten opzichte van de verschillen die in voorgaande jaren zijn geconstateerd zijn deze verschillen gering. De verschillen ontstaan door de andere weersomstandigheden van jaar tot jaar, het actualiseren van het landgebruik, de ruimtelijke verdeling en sectorale toekenning van emissies voor het buitenland en de chemiekaarten (zie paragraaf 6.1 tot 6.3). Lokaal kunnen grotere verschillen tussen dit jaar en vorig jaar optreden.

De gemiddelde hoeveelheid stikstof die op de bodem neerslaat, zal naar verwachting de komende jaren dalen. Dit komt vooral door de verwachte reducties van de uitstoot van stikstofoxiden en ammoniak in Nederland en de omringende landen. De verwachting is dat de gemiddelde stikstofdepositie over het Nederlandse landoppervlak tussen 2018 en 2030 bij vastgesteld beleid met ongeveer 15% (circa 240 mol/ha) zal dalen. De verwachte daling over de gehele periode is dit jaar kleiner dan vorig jaar werd gerapporteerd. De verwachte daling bedroeg toen 280 mol/ha, oftewel een verschil van 40 mol/ha ten opzichte van dit jaar. Dit komt vooral door het actualiseren van het landgebruik, de ruimtelijke verdeling en sectorale toekenning van emissies voor het buitenland en de chemiekaarten (zie paragraaf 6.1 tot 6.3). Er zijn geen grote ruimtelijke verschillen in de reducties t.o.v. vorig jaar geconstateerd.

Berekeningen van de concentraties en deposities kennen een onzekerheid. Voor de gemiddelde cijfers is deze ongeveer 15% (1 standaarddeviatie) voor de concentratie en 15% (1 standaarddeviatie) voor depositierekeningen. Dit wordt in het rapport nader toegelicht.

Uitgangspunten concentratie- en depositiekaarten voor toekomstige jaren

De emissieramingen van het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) vormen de basis voor de GCN- en GDN-kaarten voor toekomstige jaren. De ramingen in dit rapport zijn - net als vorig jaar - afkomstig uit de Klimaat- en Energieverkenning 2020 (KEV 2020). Ze zijn gebaseerd op een referentiescenario met een gemiddelde economische groei in Nederland voor de periode 2020-2030. Het scenario voor de depositiekaarten is identiek aan het scenario voor de concentratiekaarten.

Net als vorig jaar hebben de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) besloten om alleen het vastgestelde beleid te laten verwerken in de

GCN- en GDN-kaarten, en geen voorgenomen maatregelen¹. Dit betekent dat alleen vastgesteld beleid tot 1 mei 2020 is meegenomen.

Voor de termijn na 2025 is in de KEV 2020 verondersteld dat de ontwikkeling van de economie weer op het pad komt van voor de coronapandemie. Dit is een onzekere aanname, omdat onbekend is hoe eventuele lange-termijneffecten kunnen doorwerken in de economie.

Voor de toekomstige buitenlandse emissies zijn net als vorig jaar de ramingen gebruikt uit het National Air Pollution Control Programme (NAPCP) scenario van de *second clean air outlook*. IIASA heeft dit scenario in 2020 gemaakt, in opdracht van de Europese Commissie. Dit heeft IIASA gedaan op basis van de officieel aan de EU gerapporteerde nationale emissies en het in de EU vastgestelde beleid. Dit NAPCP-scenario houdt rekening met het vastgestelde beleid en de effecten van het additionele beleid dat landen hebben gerapporteerd in hun NAPCP's, teneinde te kunnen voldoen aan de vastgestelde nationale emissiereductieverplichtingen. In die NAPCP's staat welke extra maatregelen landen willen gaan invoeren.

Kaarten en emissiefactoren beschikbaar via internet

De grootschalige concentratiekaarten en onderliggende data van stikstofdioxide (NO_2), stikstofoxiden (NO_x), fijnstof (PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$), zwaveldioxide (SO_2), ozon (O_3), ammoniak (NH_3), koolmonoxide (CO), benzeen (C_6H_6), zijn beschikbaar op www.rivm.nl/qcn, net als de depositiekaarten van stikstof en potentieel zuur. Tevens zijn daar de grootschalige concentratiekaarten van elementair koolstof (EC) en de emissiefactoren voor lokale wegverkeersberekeningen beschikbaar.

¹ In andere studies is wel gekeken naar het effect van concreet voorgenomen beleid. Zo is voor het Schone Lucht Akkoord het VES-2030 scenario gebruikt (Ruyssenaars 2022 met een beschrijving van de maatregelen die wel/nier in de KEV 2020 zijn meegenomen). De taakstellingen van het klimaat- en stikstofbeleid zijn illustratief ingevuld in LOW-2030.

1

Inleiding

Luchtkwaliteit en stikstofdepositie vormen in Nederland belangrijke aandachtspunten voor het nationale en Europese milieubeleid.

Luchtkwaliteit staat enerzijds in de aandacht door de effecten op de gezondheid van de mens, anderzijds door de implementatie in Nederland van de richtlijn voor luchtkwaliteit van de Europese Unie. In opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW), en ter ondersteuning van de uitvoering van de Europese richtlijn en de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit 2007, produceert het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM) jaarlijks kaarten met grootschalige concentraties van diverse luchtverontreinigende stoffen in Nederland. De concentratiekaarten (GCN-kaarten) geven een beeld van de grootschalige component van de luchtkwaliteit. Deze kaarten worden in combinatie met lokale berekeningen gebruikt bij lokale planvorming, de monitoring van de luchtkwaliteit en bij de rapportage ten behoeve van de EU-luchtkwaliteitsrichtlijn.

Depositie staat in de aandacht, doordat de natuur in Nederland op veel plaatsen negatief wordt beïnvloed door een hoge depositie van reactief stikstof. Deze vorm van stikstof is gemiddeld voor circa 30% afkomstig van emissies naar de lucht van stikstofoxiden (NO_x) en voor 70% van ammoniak (NH_3) uit binnenlandse en buitenlandse bronnen, en wordt gedeponeerd als zowel droge als natte (regen) depositie. Te veel depositie heeft negatieve gevolgen voor de biodiversiteit. Het RIVM voorziet het ministerie van LNV en de provincies onder meer van kaarten van de grootschalige depositie (GDN-kaarten) van stikstof in Nederland.

De GCN- en GDN-kaarten zijn gebaseerd op een combinatie van metingen en modelberekeningen. De met modellen berekende concentraties worden gekalibreerd op basis van meetresultaten. De kaarten zijn bedoeld voor het grootschalige beeld, en hebben een resolutie van 1x1 km.

De grootschalige kaarten worden onder meer gebruikt in het Nationaal Samenwerkingsprogramma Luchtkwaliteit (NSL; dit wordt de Omgevingswet) om de luchtkwaliteit lokaal (bijv. op rekenpunten naast wegen) te berekenen, en te beoordelen hoe de waarden zich verhouden tot de EU-grenswaarden voor luchtkwaliteit. Aan het eind van het jaar worden de resultaten van deze lokale berekeningen in een NSL-monitoringsrapportage aangeboden aan het parlement. De totale concentraties in bijvoorbeeld verkeersbelaste omgevingen, zoals langs drukke straten en snelwegen, worden vastgesteld door de grootschalige concentraties te verhogen² met een specifiek voor deze lokale rekenpunten berekende extra bijdrage door het wegverkeer. Hetzelfde geldt in gebieden met intensieve veehouderij op woonlocaties in de buurt van landbouwstallen. De lokale bijdragen door het wegverkeer en de landbouw worden berekend aan de hand van dezelfde kengetallen

² Dubbeltelling van grote bronnen wordt voorkomen door de optelling met hoge resolutie te combineren met eliminatie op GCN-resolutie.

voor emissies en verspreiding die ten grondslag liggen aan de GCN/GDN-kaarten. De GCN kaarten worden ook voor het Schone Lucht Akkoord (SLA) gebruikt, als invoer voor de berekeningen van de luchtkwaliteit en de gezondheidseffecten.

Met AERIUS (<https://www.aerius.nl/nl>) wordt de depositie in de stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden op een groter detailniveau berekend. Daarnaast geeft dit rekeninstrument inzicht in de depositiebijdragen van lokale bronnen.

Databestanden waarmee de kaarten met grootschalige achtergrondconcentraties kunnen worden gemaakt, zijn te vinden op de website van de rijksoverheid (www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/luchtkwaliteit/vraag-en-antwoord/hoe-kan-ik-luchtvervuiling-berekenen). Hier zijn ook emissiefactoren voor lokale verkeersberekeningen te vinden. Op de RIVM-website (www.rivm.nl/gcn) staan naast de concentratiekaarten ook de depositiekaarten. Ze worden hier visueel gepresenteerd, en de databestanden zijn te downloaden. Die kaarten zijn identiek aan de kaartbestanden op de website van de rijksoverheid. De kaartbestanden op de website van de rijksoverheid hebben een juridisch-formele status.

De GCN/GDN-kaarten in deze publicatie en die van het voorafgaande jaar 2020 zijn beïnvloed door de corona-maatregelen. Door de maatregelen zijn de emissies minder nauwkeurig bekend dan gebruikelijk. Hierdoor hebben ook de berekende concentraties en deposities voor 2021 en 2020 een grotere onzekerheid dan in de jaren voor 2020.

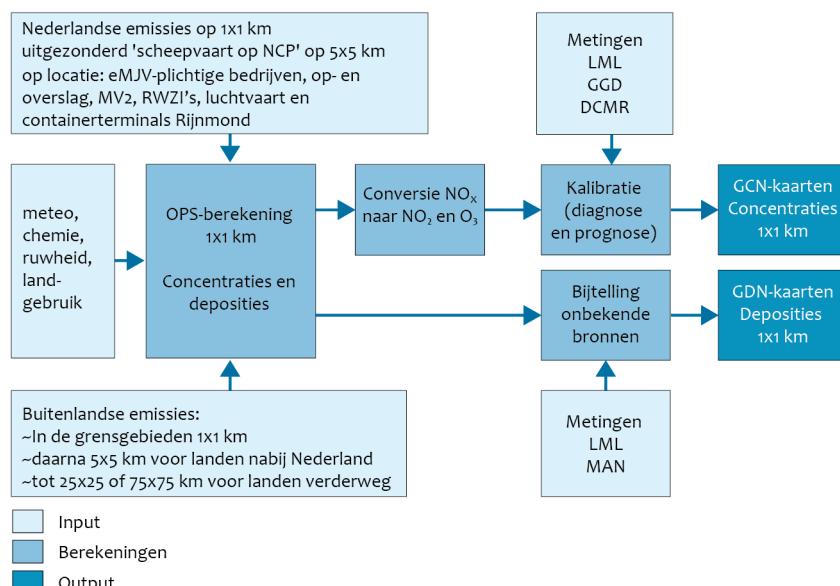
2

Methode van concentratie- en depositieberekeningen

De GCN/GDN-kaarten geven waarden voor de concentraties en depositie per gridcel van 1x1 km. De concentraties en depositie worden berekend met het OPS-model (Sauter et al., 2018, Sauter et al., 2020). Voor elke gridcel wordt de concentratie/depositie op een aantal punten in de gridcel bepaald, en aan die gridcel toegekend door het gemiddelde van alle berekende punten te bepalen. De methodiek om te komen tot een waarde voor die gridcel van 1x1 km doorloopt twee stappen:

1. berekening van de grootschalige concentratie en depositie;
2. kalibratie aan metingen.

Zie figuur 2.1 en Velders et al. (2016) voor meer informatie.



Figuur 2.1 Berekening grootschalige concentratie- en depositiekaarten (001s_gcn21).

Bij de kalibratie aan de metingen worden de metingen van 2021 gebruikt om de berekende concentratiekaart voor 2021 te kalibreren (de diagnosekaart). Het kalibratieresultaat kan van jaar tot jaar variëren. De kalibratie in het huidige diagnosejaar (2021) kan dus afwijken van de kalibratie in het vorige diagnosejaar (2020). Om een robuust resultaat te krijgen, wordt voor de prognosejaren (2025 en 2030) een gemiddelde kalibratie over vijf jaar gebruikt. Het weer in de toekomstige jaren is nog niet bekend. Daarom wordt voor de prognoseberekeningen gerekend met de gemiddelde meteostatistiek voor een periode van tien jaar (de jaren 2005-2014). Ten opzichte van de methode zoals die in 2021 (Hoogerbrugge et al., 2021) is gebruikt en beschreven, zijn diverse actualisaties uitgevoerd. Dit betreft onder meer de circa tien jaar oude landgebruikskaart en de emissieverdelingen. Ook zijn verbeteringen in het model en in de kalibratiemethoden doorgevoerd.

2.1

Incidentele actualisaties

Actualisatie landgebruik en ruwheid

De landgebruikskaart is geactualiseerd. Hiervoor is gebruik gemaakt van de Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN) kaarten van de WUR. In plaats van informatie uit LGN7 (situatie 2013) wordt nu informatie uit de LGN2020 (situatie 2020) gebruikt. Voor meer details zie paragraaf 6.1.

Achtergrondconcentraties

Het OPS-model gebruikt kaarten met achtergrondconcentraties voor het berekenen van uitwascoëfficiënten in de wolken van SO_2 en NO_x (natte depositie), en voor de berekening van een aantal parameters die gerelateerd zijn aan de droge depositie van NO_x en NH_3 , onder meer de gewasweerstand voor NO_x en de compensatiepunten voor NH_3 . Naast een uitbreiding/actualisatie voor de historische jaren is specifieke informatie toegevoegd voor het berekenen van toekomstige jaren. Voor meer details zie paragraaf 6.2.

Ruimtelijke verdeling buitenlandse emissies

De ruimtelijke delingen van de buitenlandse emissies zijn geactualiseerd. Hiervoor wordt nu gebruik gemaakt van informatie uit de CAMS database van TNO, en gegevens van de Duitse Umweltbundesamt. Voor meer details zie paragraaf 6.3.

Correctie van de temperatuurfunctie voor (zee)water

Correctie van een foutieve temperatuurfunctie die werd gebruikt in de depositiemodule DEPAC boven wateroppervlakten. Het effect boven land is zeer gering. Alleen voor de NH_4^+ -concentratie (aerosol; ammonium) is het verschil op een enkel meetpunt groter dan 1%. Boven water zijn de gemodelleerde verschillen groter.

2.2

Reguliere actualisaties

Naast bovengenoemde incidentele actualisaties zijn er ook updates waarbij dezelfde methode als vorig jaar wordt toegepast, maar waarbij alleen de informatie zelf is geactualiseerd. De meeste actualisaties vinden jaarlijks plaats ('standaard update'), maar sommige actualisaties hebben een lagere frequentie.

Standaard updates

- De meteostatistiek voor 2021 is toegevoegd;
- De trendfactoren voor het jaar 2020 zijn aan het model toegevoegd. Deze worden gebruikt om de meegeleverde achtergrondbestanden te schalen naar het juiste concentratie niveau voor een specifiek berekeningsjaar;
- De reactiesnelheden voor 2021 uit het EMEP-model zijn toegevoegd;
- De informatie betreffende de verdeling over de deeltjesgrootteklassen binnen PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$ en de fractie EC in $\text{PM}_{2,5}$ is geactualiseerd;

Dit resulteert dan in OPS versie 5.0.2.1.

Overige updates

- Update gerapporteerde emissies en ramingen (zie Hoofdstuk 3).

2.3

Veranderingen in de kalibratiemethode

Ten opzichte van de vorige GCN-ronde zijn de onderstaande veranderingen in de kalibratiemethoden aangebracht:

Kalibratiemethode: actuele meteorologie en chemische conversiesnelheden

Voor de kalibratie van prognoses worden voor een reeks van vijf jaar de gemodelleerde concentraties vergeleken met de gemeten concentraties. Voor de prognoseberekeningen wordt standaard de gemiddelde meteorologie (2005-2014) gebruikt. Deze werd in voorgaande jaren ook gebruikt voor de vergelijking met de metingen. Om het effect van de meteorologie verder te reduceren, wordt vanaf dit jaar de meteorologie van het betreffende meetjaar gebruikt voor vergelijking met de metingen, die immers ook door het weer van het specifieke jaar zijn beïnvloed. Daarnaast zijn ook de bijpassende chemische conversiesnelheden van het meetjaar gebruikt. De verbeterde chemie impliceert dat de bijbehorende chemie in principe bij elk jaar met het EMEP-model moet worden afgeleid en in OPS moet worden toegepast. Deze tijdrovende implicatie heeft tot een stapsgewijze implementatie met praktische keuzes geleid. Zie paragraaf 6.2 voor meer details.

Kalibratiemethode: elementair koolstof (roet)

De GCN-kaart voor elementair koolstof (EC), of roet, was tot en met vorig jaar niet gekalibreerd aan metingen. Dit jaar is de kalibratie aan de metingen voor het eerst uitgevoerd. Voor meer details zie paragraaf 6.4.

Kalibratiemethode: NO_x-concentratie

De kalibratie van de berekende NO_x-concentraties werd tot vorig jaar gedaan door middel van NO_x-metingen. Vanaf dit jaar worden NO (stikstofmonoxide) en NO₂ separaat gekalibreerd en opgeteld. Op deze manier worden onrealistische NO₂/NO_x-verhoudingen voorkomen.

Kalibratiemethode: NH₃-concentraties en NH₃ droge depositie

De kalibratie van de berekeningen van NH₃-concentraties en droge deposities van NH₃ is vanaf dit jaar in lijn gebracht met de kalibratie van NO₂-diagnosekaarten. Kalibratieparameters worden nu bepaald door de ruimtelijke statistische eigenschappen van het verschil tussen model en meting per jaar te beschouwen.

Metingen: NO₂-concentraties

NO₂-concentratietellingen met de Palmes-diffusiebuisjes waren tijdens het maken van de GCN-kaarten nog niet voor het volledige jaar beschikbaar. De concentraties op de locaties van de buisjes voor de maanden oktober tot en met december zijn geschat op basis van de metingen uit het luchtmeetnet. De onzekerheid van deze schatting is 3% (1 standaarddeviatie).

2.4

Kalibratiefactoren en meetcorrectie

Actualisaties meetcorrecties

De meetcorrecties (de bijdrage van niet-gemodelleerde bronnen, zoals bodemstof en stofdeeltjes als gevolg van natuurbranden, aan de PM₁₀- en PM_{2,5}-concentraties) zijn geactualiseerd, evenals de kalibratiefactoren

voor de met het OPS-model berekende concentraties secundaire anorganische aerosolen. Er is dit jaar voor het eerst ook een meetcorrectie voor EC toegepast en opgenomen in Tabel 2.1. De correcties voor het berekenen van de stikstofdepositie zijn eveneens geactualiseerd, en opgenomen in Tabel 2.2.

Tabel 2.1 Overzicht kalibratiefactoren voor de aerosolen en de meetcorrecties voor de PM₁₀-, PM_{2,5}- en EC-concentraties.

	Kaarten voor 2021 (diagnose)	Kaarten voor 2022-2030 (prognose)
NH ₄	Factor 0,40 ^{a,d}	Factor 0,85 ^{a,d}
NO ₃	Factor 0,87 ^{a,d}	Factor 1,08 ^{a,d}
SO ₄	Factor 1,38 ^{a,d}	Factor 1,60 ^{a,d}
EC	Factor 0,261 ^e	Factor 0,394 ^e
PM ₁₀	Constante van 2,9 µg m ⁻³ ^b	Constante van 3,5 µg m ⁻³ ^c
PM _{2,5}	Constante van -0,8 µg m ⁻³ ^{b,d}	Constante van -0,6 µg m ⁻³ ^{c,d}
EC	Constante van 0,11 µg m ⁻³ ^e	Constante van 0,105 µg m ⁻³ ^e

a. Voor de diagnosekaarten zijn de gemeten secundaire aerosolconcentraties van het jaar 2021 gebruikt en vergeleken met OPS-berekeningen met emissies van 2021 (d.w.z. de 2020-emissies met correctie voor luchtvaart) en de meteorologie en chemie van 2021. Voor de prognosekaarten zijn de gemeten concentraties in 2014-2018 vergeleken met OPS-berekeningen emissies van 2014-2018 en de meteorologie en chemie van de jaren 2014-2018.

b. Voor de diagnosekaarten van PM₁₀ en PM_{2,5} zijn de gemeten waarden voor 2021 vergeleken met OPS-berekeningen met Nederlandse emissies van 2021 (dwz de geschaalde 2020 emissies met correctie voor luchtvaart) en de meteorologie van 2021, waarbij kriging wordt gebruikt om de constante te bepalen.

c. Voor de prognosekaarten van PM₁₀ en PM_{2,5} zijn de gemeten waarden voor de jaren 2014-2018 vergeleken met OPS-berekeningen met emissies van 2014-2018 en de meteorologie van het betreffende jaar. Omdat het verschil tussen meting en model van jaar tot jaar varieert, is een vijfjaar-gemiddelde robuuster, en kan het dus ook verschillen van de waarde in het diagnosejaar.

d. De bijdragen van de aerosolen in de PM_{2,5}-concentraties worden verkregen door de gekalibreerde PM₁₀-aerosolconcentraties te vermenigvuldigen met 1,0 voor ammonium en 0,9 voor sulfaat (Matthijssen en Ten Brink, 2007). Voor nitraat wordt gebruik gemaakt van de fractie 'fine_in_totaal_nitraat', die EMEP levert. Deze fractie kan per gridcel verschillend zijn.

e. De correctie voor EC bestaat uit een combinatie van een factor en een constante.

Tabel 2.2³ Overzicht bijdragen aan de meetcorrectie voor de depositie.

	Droge depositie	Natte depositie
Stikstofdepositie en potentieel-zuurdepositie		
NH _x	2021-kaart: berekende 2021-droge depositie ¹ vermenigvuldigen met een ruimtelijk gedifferentieerde correctiekaart. Dit komt overeen met gemiddeld 15 mol/ha/jr. Prognosekaarten: berekende droge depositie ² voor de prognosejaren vermenigvuldigen met een ruimtelijk gedifferentieerde correctiekaart. Dit komt overeen met gemiddeld 10 mol/ha/jr.	2021-kaart: berekende 2021-natte depositie ¹ vermenigvuldigen met een factor 0.98. Dit komt overeen met gemiddeld -8 mol/ha/jr. Prognosekaarten: berekende natte depositie ² voor de prognosejaren vermenigvuldigen met factor 1.01. Dit komt overeen met gemiddeld 5 mol/ha/jr.
NO _y	0 mol/ha/jr.	2021-kaart: berekende 2021-natte depositie ³ vermenigvuldigen met een factor 0.79. Dit komt overeen met gemiddeld -41 mol/ha/jr. Prognosekaarten: berekende natte depositie ² voor de prognosejaren vermenigvuldigen met factor 0.83 . Dit komt overeen met gemiddeld -20 mol/ha/jr.
Potentieel-zuurdepositie (als H⁺)		
SO _x	50 mol/ha/jr ⁴	50 mol/ha/jr ⁴
Halogenen en organische zuren	85 mol/ha/jr ⁴	195 mol/ha/jr ⁴

1. Voor de kalibratie van de 2021-kaart zijn voor de droge depositie de gemeten NH₃-concentraties uit het LML en het MAN voor 2021 vergeleken met OPS-berekeningen met Nederlandse emissies van 2021 en de meteorologie van het jaar 2021. Voor de natte depositie zijn de metingen van 2021 vergeleken met OPS-berekeningen met emissies van 2021 en de meteorologie van het jaar 2021.

2. Voor de prognoses zijn gemeten waarden voor de jaren 2014-2018 vergeleken met OPS-berekeningen met Nederlandse emissies van 2014-2018 en de jaarspecifieke meteorologie 2014-2018.

3. Voor de kalibratie van de 2021-kaart zijn voor de natte depositie de gemeten NO_y-deposities uit het LML voor 2021 vergeleken met OPS-berekeningen met Nederlandse emissies van 2021 en de meteorologie van het jaar 2021.

4. Gebaseerd op Buijsman (2008).

³ Uit onderzoek is gebleken dat een aantal meetstations voor de natte depositie in 2020 niet goed hebben gefunctioneerd. Hierdoor is er op die meetstations te weinig neerslag opgevangen. Deze metingen hadden daarom niet gebruikt mogen worden voor de kalibratie van de modelberekeningen bij de GCN2021 ronde. De oude factoren voor de 2020-natte depositie waren 0,61 voor NH_x en 0,62 voor NO_y. Na correctie zijn deze factoren 0,82 voor NH_x en 0,77 voor NO_y. De bestanden voor 2020 zijn op 9 mei 2022 geactualiseerd t.o.v. publicatie 5 juli 2021.

3

Emissies

De historische Nederlandse emissies die worden gebruikt als invoer voor het OPS-model zijn afkomstig van de Emissieregistratie (ER). Voor het buitenland komen ze van het Centre on Emission Inventories and Projections (CEIP, emissie 2019, rapportage 2021). De ER is in Nederland verantwoordelijk voor het verzamelen, bewerken, beheren, registreren en rapporteren van emissiedata, waarmee de betrokken ministeries aan de nationale en internationale verplichtingen op het gebied van emissierapportages kunnen voldoen. Deze emissies worden gebruikt voor de kaarten van gepasseerde jaren. In deze GCN-ronde zijn niet alleen de landelijke totalen van de emissies, maar ook alle emissieverdelingen van Nederlandse bronnen geactualiseerd. Voor de buitenlandse emissies zijn ook de nationale totalen en de ruimtelijke verdeling geactualiseerd.

De coronapandemie maakt 2021, net als 2020, een bijzonder jaar qua emissies in binnen- en buitenland, en daarmee ook qua concentraties en deposities. De wereldwijde (economische) gevolgen van deze pandemie en de maatregelen om het coronavirus beheersbaar te houden, beïnvloeden de emissies van luchtverontreinigende stoffen, en hun onzekerheden.

3.1

Ramingen

Voor prognosejaren (2025-2030) worden binnenlandse en buitenlandse emissies gebruikt, afkomstig uit nationale en internationale scenariostudies. Voor nationale emissies is dit - net als vorig jaar - het referentiescenario van de Klimaat- en Energieverkenning 2020 (KEV 2020; Hammingh et al., 2020). Dit referentiescenario bevat twee beleidsvarianten die in de KEV 2020 worden onderscheiden: één variant met vastgesteld beleid en één met vastgesteld en voorgenomen beleid. Net als in de GCN/GDN-publicatie van vorig jaar hebben de ministeries van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) besloten om alleen het vastgestelde beleid te laten verwerken in de GCN- en GDN-kaarten, en geen voorgenomen maatregelen.

De in dit rapport gebruikte ramingen voor Nederlandse emissies zijn in detail beschreven in een KEV 2020-publicatie (Smeets et al., 2020). Deze publicatie is een aanvulling op het hoofdrapport van de Klimaat- en Energieverkenning 2020.

De ramingen in de KEV 2020 kennen de emissiecijfers (en daarbij behorende inzichten) uit de ER-ronde van februari 2020 (de reeks 1990-2018) als vertrekpunt. Toekomstige trends (2018-2030) zijn berekend op basis van deze ER-ronde en de in de KEV 2020 geraamde cijfers voor toekomstige jaren.

Het PBL maakt eens per twee jaar een nieuwe raming voor luchtverontreinigende stoffen. De KEV 2022 die in het najaar van 2022 wordt gepubliceerd, zal nieuwe prognoses bevatten, gebaseerd op actuele inzichten en beleidsuitgangspunten per 1 mei 2022. Voor meer

details wordt verwezen naar het rapport van vorig jaar (Hoogerbrugge et al., 2021).

In de hier gebruikte beleidsvariant met vastgesteld beleid is het beleid meegenomen dat op de peildatum 1 mei 2020 was vastgesteld.

Voorgenomen beleid is dus niet meegenomen in de kaarten. Het gaat dan bijvoorbeeld om de aangekondigde subsidieregeling voor retrofit van binnenvaartschepen, de aangescherpte handhaving op correct gebruik van SCR-katalysatoren in vrachtauto's en de door het kabinet in april 2020 aangekondigde verhoging van het subsidiebudget voor de tweede uitbreiding Warme Sanering Veehouderij. Het Schoutenpakket en de Gebiedsgerichte Aanpak zitten ook niet in de raming. Ook is bij vastgesteld beleid verondersteld dat Schiphol niet verder mag groeien dan tot 500.000 vluchten per jaar.

Verder kon een aantal belangrijke voorgenomen beleidsmaatregelen niet worden meegenomen, ook niet in de beleidsvariant met voorgenomen beleid. Het gaat dan om maatregelen uit het Klimaatakkoord, het Schone Lucht Akkoord en het stikstofpakket, die op 1 mei 2020 nog onvoldoende concreet waren uitgewerkt⁴. Bijvoorbeeld voor het Schone Lucht Akkoord is in Ruyssenaars (2022) opgeschreven welke maatregelen al in de KEV 2020 zijn opgenomen of apart zijn doorgerekend. In de ramingen van de KEV 2020 voor de jaren 2025 en 2030 zijn geen structurele effecten van de coronapandemie verondersteld. Bij het maken van die ramingen medio 2020 was nog niet duidelijk of en in welke mate die effecten zich op lange termijn zouden voordoen. Indien hier iets over bekend was, zijn deze mogelijke effecten daarom verwerkt in de bandbreedtes van de emissie. Voor verkeer gaat het dan bijvoorbeeld om structureel meer thuis werken of een lagere vraag naar vliegreizen.

Ramingen buitenland

Voor de toekomstige buitenlandse emissies zijn de ramingen gebruikt uit het NAPCP-scenario van de *Second Clean Air Outlook*, die IIASA in 2020 in opdracht van de Europese Commissie heeft opgesteld. Dit NAPCP-scenario houdt rekening met het vastgestelde beleid en de effecten van het additionele beleid dat landen hebben gerapporteerd in hun nationale actieplannen, de zogenaamde National Air Pollution Control Programmes (NAPCP's). Daarin hebben ze aangegeven hoe ze willen gaan voldoen aan de Nationale Emissie Plafonds (NEC) voor 2030. Deze plannen zijn door de Europese Commissie geanalyseerd en voldoende bevonden. Met de NAPCP's voldoen de landen wel aan de NEC-afspraken.

Voor de landen binnen de Europese Unie zijn er geen nieuwe prognoses sinds vorig jaar. De landelijke emissietotalen van EU-landen is daarmee gelijk aan vorig jaar. Wel is er in de Clean Air Outlook 2 meer informatie beschikbaar over de verdeling van de emissies over de verschillende sectoren. Deze informatie is overgenomen, en leidt tot een herverdeling van de emissieprognoses ten opzichte van vorig jaar. Daarnaast zijn de beschikbare prognoses binnen de Clean Air Outlook 2 aangevuld met

⁴ Overigens waren veel maatregelen die in het Klimaatakkoord, in het Schone Lucht Akkoord en in de stikstofaanpak zijn aangekondigd op 1 mei 2020 ook nog onvoldoende concreet uitgewerkt om als voorgenomen beleid mee te kunnen nemen in de KEV 2020.

landen buiten de Europese Unie. Deze emissieprognoses zijn opgenomen in de kaarten.

Per saldo resulteert dat de laatste twee jaar in lagere buitenlandse emissies dan in de GCN-ronde van 2020. Zie tabel 3.1 met ramingen van landtotalen voor het jaar 2030 voor de ons omringende landen, uit de laatste vier GCN-ronden. In de vorige GCN-ronde waren alleen de NAPCP-landtotalen voor de 27 EU-landen beschikbaar. Nu zijn ramingen voor 2025 en 2030 beschikbaar bij IIASA in GAINS. De verdeling over de sectoren is nu ook afkomstig van de in 2021 officieel door GAINS gerapporteerde data en zoals beschikbaar gesteld door IIASA (IIASA, 2021)

Tabel 3.1 Overzicht emissieramingen voor 2030, zoals toegepast in de laatste vier GCN-ronden in miljoen kilogram.

NO _x	GCN2019	GCN2020	GCN2021/22
België	119	108	81
Frankrijk	435	408	326
Duitsland	548	540	469
Groot-Brittannië	430	354	405/394

NH3	GCN2019	GCN2020	GCN2021/22
België	63	68	60
Frankrijk	597	715	494
Duitsland	406	671	446
Groot-Brittannië	254	291	214/262

PM10	GCN2019	GCN2020	GCN2021/22
België	34	42	28
Frankrijk	221	225	147
Duitsland	132	149	132
Groot-Brittannië	85	100	100/127

3.2 Aanpassingen van emissies

Ten opzichte van de emissies zoals die begin 2021 (Hoogerbrugge et al., 2021) zijn gebruikt voor het maken van de vorige ronde van GCN/GDN-kaarten, is het basisjaar van de Emissieregistratie geactualiseerd van 2019 naar 2020. Ook de ruimtelijke verdeling van die emissies over Nederland is geactualiseerd, en daarmee ook de locaties van de geraamde emissies in toekomstige jaren. Voor het bepalen van de diagnosekaarten zijn emissies voor het jaar 2020 toegepast, waarbij rekening is gehouden met het effect van de coronamaatregelen op de luchtvaart. Uit de rapportage van Schiphol blijkt dat het totaal aantal vluchten in 2021 18% hoger was dan het aantal vluchten in 2020. Daarom is voor de sector luchtvaart een verhoging van 18% toegepast van de emissies zoals die voor het jaar 2020 zijn gerapporteerd in de

Emissieregistratie, als grove benadering van de emissieniveaus in 2021⁵. Bij de resterende onderdelen van de sector mobiliteit was het vervoersvolume in 2021 veelal ook iets groter dan in 2020. Naar verwachting wordt deze volumegroei echter grofweg gecompenseerd door de jaarlijkse ‘verschoning’ van het voertuigenpark. Daarom is voor het resterende deel van de sector mobiliteit de emissie van 2020 gebruikt. Voor de andere sectoren waren de volumeveranderingen in 2021 ten opzichte van 2020 kleiner, zodat er ook voor de andere sectoren geen reden was om van de emissies van 2020 af te wijken. De impact van onzekerheden in de emissies voor 2021 wordt gereduceerd door de kalibratie van de kaarten aan de metingen.

Het herstel van de economie en het verloop van de emissies tussen 2020 en 2025 zijn onzeker, en door het PBL niet berekend in de KEV 2020 (PBL, 2020). Ten behoeve van berekeningen voor vergunningverlening is er toch behoefte aan een GCN-kaart voor deze jaren. Op verzoek van het ministerie van IenW zijn er daarom kaarten berekend die uitsluitend bestemd zijn voor dat doel. Hiervoor zijn de emissies van 2018 en de door het PBL geraamde emissies voor 2025 geïnterpoleerd. De kaarten geven daarmee een beeld van de mogelijke ontwikkeling van de emissies, zou er geen coronapandemie zijn geweest. Dat beeld geeft een schatting die aan de bovenkant van de mogelijke uitkomsten zit (worst-case). Deze schatting is bruikbaar voor specifieke kaarttoepassingen waarbij gebruik van een worst-case scenario een verdedigbaar uitgangspunt is. Het gebruik van de 2022-2024 kaarten voor andere toepassingen wordt sterk ontraden.

Verandering in ruimtelijke verdelingen van de emissies
De ruimtelijke verdeling van de collectief geregistreerde emissies wordt ontleend aan de Emissieregistratie (ER). Deze zijn geactualiseerd ten opzichte van de GCN2021-ronde. Zie voor meer achterliggende documentatie: <http://www.emissieregistratie.nl/documentatie> . In grote lijnen zijn in de ruimtelijke verdelingen de volgende wijzigingen geweest:

Arbeidsplaatsen

Het aantal voltijds arbeidsplaatsen wordt gebruikt als verdeelsleutel voor de emissies van bedrijven die niet onder de verplichting van een Milieujaarverslag vallen (niet ER-I bedrijven). Gegevens daarover zijn geactualiseerd naar 2019, op basis van de BAG (Basisregistratie Adressen en Gebouwen) en het Handelsregister van de Kamer van Koophandel. Daarbij is de BAG gebruikt voor de bedrijfslocaties en het Handelsregister voor de aantallen arbeidsplaatsen per bedrijf.

Landbouw

De verdeling van emissies uit stallen en uit opslag van dierlijke mest is geactualiseerd op basis van de meest recente versie van de Geografische Informatie Agrarische Bedrijven (GIAB+) uit 2019. Dit bestand wordt samengesteld door de Rijksdienst voor Ondernemend Nederland (RVO), in samenwerking met Wageningen Environmental Research. Het bestand bevat de locatie van alle agrarische bedrijven in

⁵ Dit aantal ligt echter veel lager dan het aantal vluchten dat in 2019 is gerealiseerd of het aantal dat in de toekomst wordt toegestaan.

Nederland (met onderscheid naar hoofd- en nevenvestiging). De locatiegegevens zijn in overeenstemming met de Basisregistratie Adressen en Gebouwen. Bij de actualisatie gaat het om veranderingen in zowel locatie en staltypen als het aantal dieren. vergeleken met 2018 zijn de aantallen dieren afgerekend. Bij de stallen zijn er meer stallen met luchtwassers. Voor emissiearme stallen (met vloer/kelderaanpassingen) zijn de emissiefactoren aangepast. In de praktijk komt het er dan vaak op neer dat ze zijn gelijkgesteld aan de emissiefactoren van reguliere stallen.

De verdeling van emissies door beweiding en het toepassen van dierlijke mest en kunstmest, is gebaseerd op het Initiator-model waaraan 2019 is toegevoegd. In Initiator zijn de meest recente gegevens over de productie en de toepassing van de diverse mestsoorten verwerkt. Uitgangspunt hierbij is de verdeling van de mest op bedrijfsniveau, waarbij rekening wordt gehouden met de mestproductie, de mestafzet (ook buiten de Nederlandse landbouw) en de mestgebruiksruimte, gegeven de geldende gebruiksnormen voor fosfor en stikstof. Dieraantallen zijn geactualiseerd, en ook is gebruik gemaakt van de gegevens uit NEMA (Nationaal emissiemodel voor Ammoniak) 2019. Daardoor zijn er wijzigingen in het aandeel toegepaste kunst-, runder- en schapenmest.

De verdelingen voor emissies via mestbewerking en -vergisting zijn geactualiseerd. De verdeling voor mestbe- en verwerking is gebaseerd op de hoeveelheid geproduceerde mest per bedrijf. Dit geldt voor alle bedrijven die in de landbouwtelling de vraag over mestbe- en verwerkingstechnieken hebben ingevuld. De locaties van de vergisters zijn afkomstig uit opgaven van RVO en de NVWA (Nederlandse Voedsel- en Warenautoriteit). Vooralsnog heeft ieder van deze locaties een gelijk aandeel in de emissie. Dit vanwege het ontbreken van voldoende informatie over de geproduceerde hoeveelheid energie of de omgezette hoeveelheid mest.

De stalemissies van alle paarden en pony's zijn opgenomen onder landbouw, in plaats van onder consumenten.

Vreugdevuren

De eindejaarsvuren bij Scheveningen zijn in de verdeling voor 2019 meegenomen. Door voorjaarsdroogte ging een groot aantal paasvuren niet door. Dit is zo goed mogelijk verwerkt in de nieuwe verdeling, op basis van informatie uit gemeentesites en regionale nieuwssites.

Zeescheepvaart en visserij

De verdeling van de emissies door zeescheepvaart en visserij is geactualiseerd voor 2019, op basis van gegevens van het MARIN, TNO, Wageningen Economic Research en Havenbedrijf Rotterdam. Het gaat hier om AIS-data (snelheid en positie van schepen), emissiefactoren en scheepstypen (wijzigingen in de vlootsamenstelling van zowel zee- als vissersschepen). De gegevens hebben betrekking op het Nederlands Continentaal Plat en de Nederlandse havens.

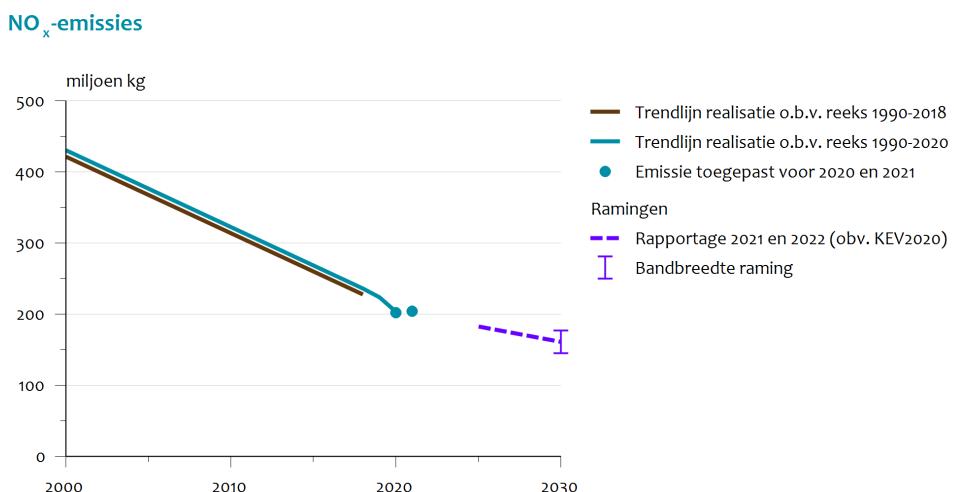
Individuele bedrijven

De informatie van bedrijven waarvan de emissies individueel worden geregistreerd, is geactualiseerd met informatie uit 2019.

Trends in emissietotalen

NO_x-emissies

Figuur 3.4 toont de Nederlandse NO_x-emissies, zoals ze zijn gebruikt voor het berekenen van de GCN/GDN-kaarten. In de figuur is het effect van het actualiseren van de historische emissiereeks weergegeven. De bruine lijn geeft de trend zoals die beschikbaar was bij het maken van de KEV 2020, en die daarom consistent is met de ramingen. De blauwe lijn geeft de trend op basis van de laatste informatie, zoals beschikbaar in de Emissieregistratie. Het verschil wordt voornamelijk bepaald door een hogere inschatting van de emissie door wegverkeer over de hele periode.



Figuur 3.4 Verloop van de NO_x-emissies op Nederlands grondgebied exclusief de zeescheepvaart. De verkenningen in de rapportage 2021 en 2022 zijn gebaseerd op de referentieraming uit de KEV 2020, met cijfers volgens de definitie 'op Nederlands grondgebied'. Deze definitie is inclusief de emissies van stikstofoxiden uit landbouwgronden (die niet meetellen voor de in Europa afgesproken emissiedoelen) en op basis van brandstofverbruik voor het wegverkeer.

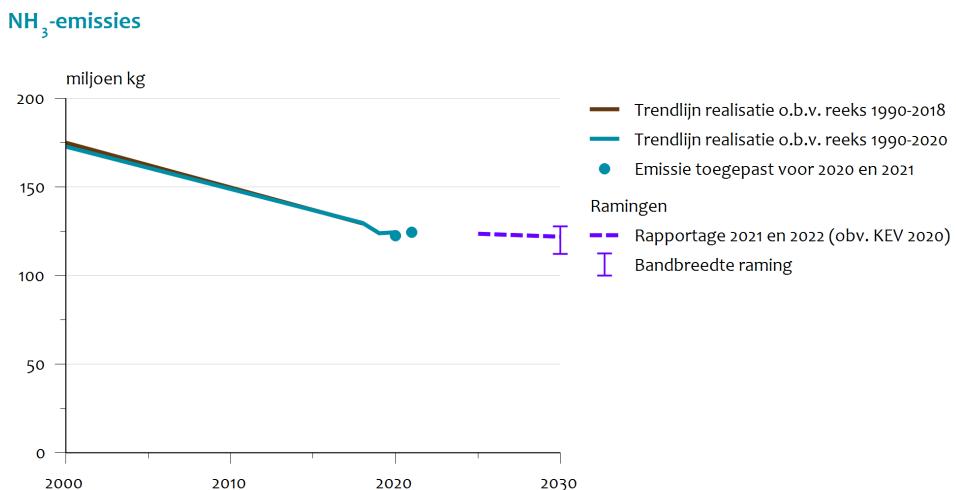
Vanwege de onzekerheid in de effecten van de coronapandemie is er geen raming voor de periode 2020-2024. Daarom begint de stippellijn in figuur 3.4 in 2025. De twee coronajaren (2020 en 2021) zijn in figuur 3.4 als losse punten weergegeven. De emissie van 2020 is gebaseerd op de Emissiereeks 1990-2020. De emissie voor 2021 is hieraan gelijk verondersteld, behalve een toename van 18% voor de luchtvaart. In de figuur is te zien dat de bijstelling van de ER-reeks aan nieuwe inzichten tot hogere emissies heeft geleid (gemiddeld circa 3%).

NH₃-emissies

De berekende totale uitstoot van NH₃ neemt naar verwachting af naar 122 kiloton in 2030 (zie figuur 3.5). Dit is een afname van 6% (7 kiloton) ten opzichte van 2018. Deze daling wordt vooral verklaard door afnemende emissies in de landbouw. De geraamde emissiedaling in de

landbouw ten opzichte van 2018 is 8% (9 kiloton). Deze daling wordt verklaard door de afname van het aantal stuks vee, en door een geleidelijke overgang naar emissiearme stallen. De daling vindt grotendeels plaats bij stallen en mestopslag. Bij de bemesting van landbouwgrond met dierlijke mest is de daling gering, doordat de geraamde krimp van de veestapel nagenoeg geen effect heeft op de bemestingsemisies. Voor de diverse diercategorieën is de verwachte emissiedaling bij rundvee het grootst, met 4,6 kiloton tussen 2018 en 2030 (7%). De daling bij varkens is 1,7 kiloton (10%) en bij pluimvee 2,3 kiloton (23%). De emissie van ammoniak door de sector mobiliteit is gering, maar neemt wel toe richting 2030 (met 1,2 kiloton, 27%). Deze toename hangt samen met de katalysatortechniek die wordt toegepast op moderne vrachtauto's en dieselpersonen- en -bestelauto's, om te kunnen voldoen aan de nieuwe, strenge praktijkemissienormen voor stikstofoxiden. De hogere ammoniakemissie is een neveneffect van deze techniek; de zogeheten ammoniakslip.

De bruine lijn geeft de trend die consistent is met de ramingen. De blauwe lijn geeft de trend op basis van de laatste informatie, zoals beschikbaar is in de Emissieregistratie. De verschillen tussen beide zijn voor ammoniak gering.



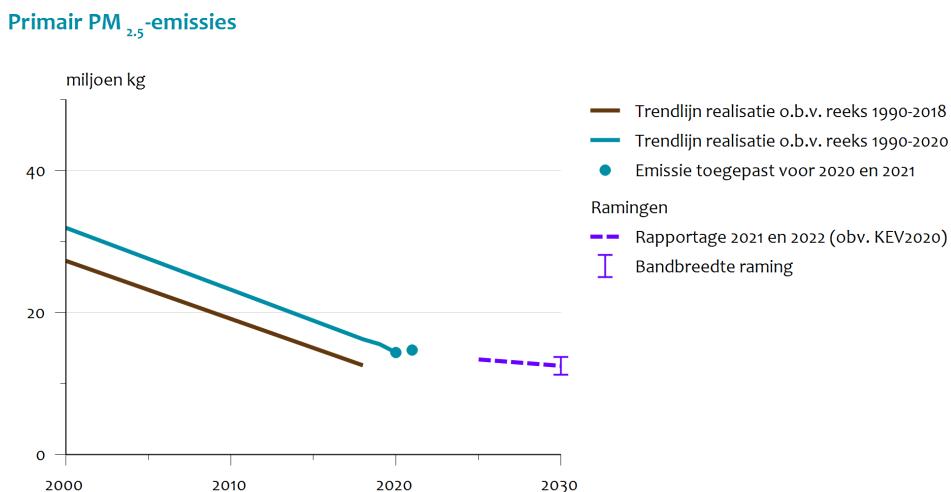
Figuur 3.5 Verloop van de NH₃-emissies op Nederlands grondgebied. De verkenningen in de rapportage 2021 en 2022 zijn gebaseerd op de referentieraming uit de KEV 2020 met cijfers volgens de definitie 'op Nederlands grondgebied'. Deze definitie is op basis van brandstofverbruik voor het wegverkeer.

PM_{2,5}-emissies

De uitstoot van fijnstof (PM_{2,5}) neemt naar verwachting af naar 12,5 kiloton in 2030 (zie figuur 3.6). Dit betreft de uitstoot op Nederlands grondgebied, exclusief zeescheepvaart en inclusief de uitstoot van condenseerbaar fijnstof door houtkachels en open haarden. Dit is een afname van 19% ten opzichte van 2018. De grootste daling wordt verwacht bij de sector mobiliteit, met 40% (1,4 kiloton). Net als bij stikstofoxiden kan deze forse daling hoofdzakelijk worden toegeschreven aan de Europese emissiewetgeving. Die maakt het gebruik van roetfilters op vrijwel alle nieuwe dieselmotoren noodzakelijk, ook bij

binnenvaartschepen en mobiele werktuigen. Een roetfilter kan vrijwel alle fijnstof uit het uitlaatgas verwijderen. Daarnaast dalen de emissies bij huishoudens, doordat verouderde houtkachels langzaam worden vervangen. De fijnstofuitstoot door huishoudens (inclusief condenseerbaar fijnstof) daalt tussen 2018 en 2030 naar verwachting met circa 1,5 kiloton (23%). De uitstoot van fijnstof ($PM_{2,5}$) door de industrie stijgt licht met 0,2 kiloton (5%).

De bruine lijn geeft de trend die consistent is met de ramingen. De blauwe lijn geeft de trend op basis van de laatste informatie, zoals beschikbaar is in de Emissieregistratie. De verschillen tussen beide ontstaan als gevolg van het meenemen van condenseerbaar fijnstof. In de ramingen is dit achteraf alsnog verwerkt. Daardoor is voor deze specifieke component de raming meer consistent met de nieuwe reeks dan met de oude reeks.

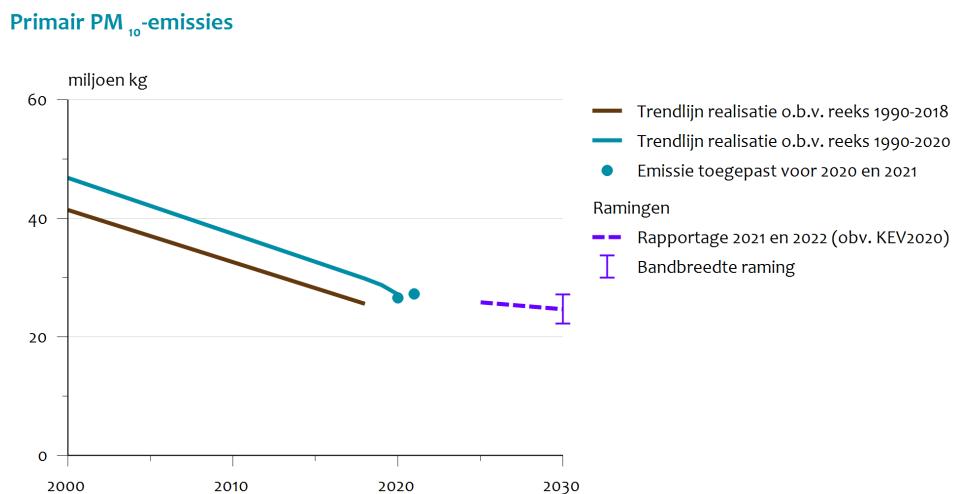


Figuur 3.6 Verloop van de primair $PM_{2,5}$ -emissies op Nederlands grondgebied exclusief de zeescheepvaart en inclusief condenseerbaar fijnstof door houtkachels en open haarden. De verkenningen in de rapportage 2021 en 2022 zijn gebaseerd op de referentieraming uit de KEV 2020 met cijfers volgens de definitie 'op Nederlands grondgebied'. Deze definitie is op basis van brandstofverbruik voor het wegverkeer.

PM₁₀-emissies

Voor PM₁₀ zien we een vergelijkbaar beeld als bij PM_{2,5}. De uitstoot neemt naar verwachting af naar ongeveer 25 kiloton in 2030 (zie figuur 3.7). Net als bij PM_{2,5} wordt de grootste daling verwacht bij de sector mobiliteit.

De bruine lijn geeft de trend die consistent is met de ramingen. De blauwe lijn geeft de trend op basis van de laatste informatie, zoals beschikbaar is in de Emissieregistratie. De verschillen tussen beide ontstaan als gevolg van het meenemen van condenseerbaar fijnstof. In de ramingen is dit achteraf alsnog verwerkt.



Figuur 3.7 Verloop van de primairPM₁₀-emissies op Nederlands grondgebied exclusief de zeescheepvaart en inclusief condenseerbaar fijnstof door houtkachels en open haarden. De verkenningen in de rapportage 2021 en 2022 zijn gebaseerd op de referentieraming uit de KEV 2020 met cijfers volgens de definitie 'op Nederlands grondgebied'. Deze definitie is op basis van brandstofverbruik voor het wegverkeer.

Buitenlandse bronnen

De ruimtelijke verdeleningen van de buitenlandse emissies zijn geactualiseerd. Zie paragraaf 6.3 voor meer informatie over deze actualisatie. Voor de kaarten van 2021 zijn de meest recente emissietotalen gebruikt, zoals gerapporteerd door de landen en beschikbaar bij CEIP. Dit betreft de emissies over het jaar 2019. Voor de ons omringende landen zijn tussen de gerapporteerde emissies voor 2018 en 2019 de jaarlijkse ontwikkelingen te zien, waarbij zowel stijgingen als dalingen voorkomen. Zie tabel 3.3 voor de totalen per land. Bij deze emissies zijn geen effecten van coronamaatregelen meegenomen.

Tabel 3.3 Overzicht van gerapporteerde emissies voor de jaren 2018 en 2019 in miljoen kilogram

	NO_x		NH₃		PM₁₀	
	2018	2019	2018	2019	2018	2019
België	169	160	70	66	32	27
Frankrijk	749	774	594	593	216	202
Duitsland	1202	1137	636	587	211	204
Groot-Brittannië	842	842	263	258	176	171

4 Grootschalige concentraties en bronbijdragen

De grootschalige concentratiekaarten van NO₂, PM₁₀, PM_{2,5} en EC, zoals berekend voor deze 2022-rapportage, en de verschillen met de 2021-rapportage worden hier kort weergegeven in de vorm van tabellen en figuren. De berekende concentraties in de prognoses geven de meest waarschijnlijke schatting van de te verwachten concentraties. Bij het gebruik van de kaarten moet rekening worden gehouden met bandbreedtes en onzekerheden (zie Velders et al., 2016).

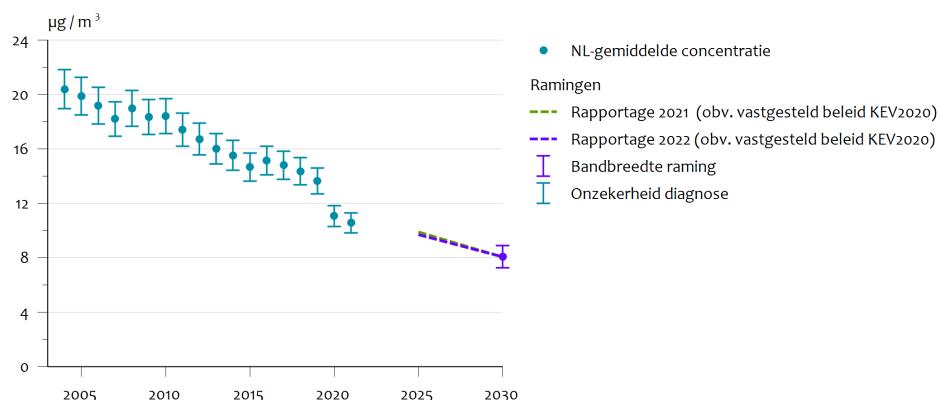
De kaarten en achterliggende data zijn te vinden op de GCN-website (<http://www.rivm.nl/gcn>). In dit hoofdstuk worden alleen de belangrijkste bevindingen en verschillen in concentraties ten opzichte van de 2021-rapportage besproken.

4.1 GCN-kaarten

4.1.1 NO₂-concentraties

De gemiddelde NO₂ concentratie voor het jaar 2021 is gemiddeld over Nederland iets lager dan in 2020 en daarmee ook lager (3,1 µg/m³, circa 20%) dan die voor 2019 (zie figuur 4.1).

Grootschalige NO₂-concentratie



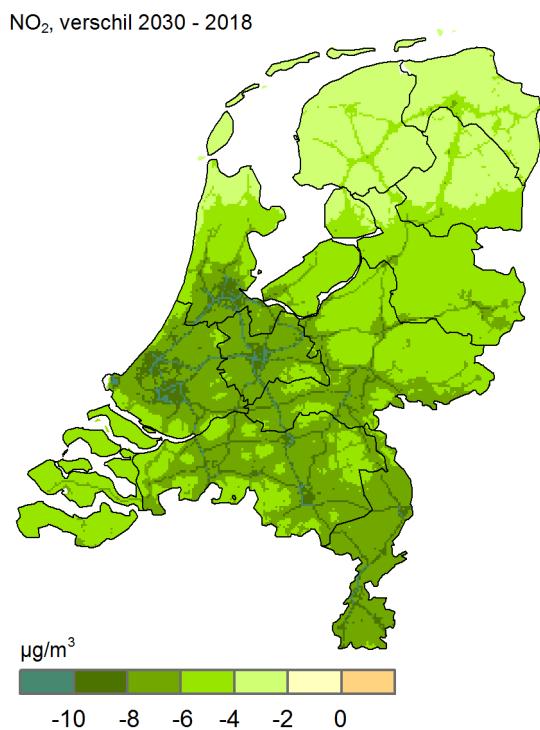
Figuur 4.1 Ontwikkeling grootschalige NO₂-concentratie met actuele meteorologie. De concentratie gemiddeld over Nederland. De realisatie is weergegeven als stippen met onzekerheidsmarge van het Nederlands gemiddelde, ongeveer 7% (1.7 sigma). De realisaties zijn bepaald met de actuele meteorologie en gekalibreerd aan de hand van metingen. De prognoses zijn op basis van het vastgestelde beleid en langjarig gemiddelde meteorologie. In de bandbreedtes van de prognoses is alleen de onzekerheid in de toekomstige ontwikkeling van Nederlandse emissies meegenomen (zie tekst).

De verwachting voor 2030 is dit jaar vrijwel gelijk aan de inschatting van vorig jaar. De verwachting is dat de gemiddelde berekende Nederlandse concentratie in 2030 bij vastgesteld beleid ongeveer 5,4 µg/m³ (circa 40%) lager zal zijn dan de concentratie die met lange termijn gemiddelde meteo is uitgerekend voor 2018. Het jaar 2018 is in deze vergelijking

gebruikt als referentiejaar, omdat dit het meest recente jaar is waarvoor gegevens bekend zijn die consistent zijn met de prognoses.

Figuur 4.1 toont de ontwikkelingen in de diagnosekaarten van afgelopen jaren en in de prognosekaarten op basis van de huidige en vorige rapportage. De onzekerheidsband in de prognoses is berekend door de berekende onzekerheden per sector uit het PBL-rapport (Smeets et al., 2020) op te tellen. Hiermee wordt de onzekerheidsbijdrage van de ramingen van de Nederlandse emissies op de prognosekaarten overschat⁶. Dit wordt (deels) gecompenseerd doordat er geen onzekerheden in de buitenlandse emissies wordt meegenomen, omdat deze niet goed bekend zijn. Ook kan het effect van de coronapandemie een extra onzekerheid opleveren die niet in deze schattingen is meegenomen. De onzekerheden in het PBL-rapport zijn uitgedrukt als 90% betrouwbaarheidsinterval (Smeets et al., 2020). De onzekerheidsband in het Nederlandse gemiddelde in de diagnosekaarten van de gepasseerde jaren (7%) is gebaseerd op de systematische onzekerheid in de metingen (3%, 1 sigma) en de onzekerheid in elk van de kalibratiepunten (15%, 1 sigma). Het aantal kalibratiepunten bedraagt circa 20. Voor de vergelijkbaarheid is de onzekerheid in het gemiddelde van de diagnosekaarten ook uitgedrukt als 90% betrouwbaarheidsband (1,7 sigma). De onzekerheid in het gemiddelde van de diagnosekaarten zet zich ook voort in de onzekerheid van de prognoses. Deze zijn in de berekende bandbreedtes niet meegenomen, omdat deze grotendeels wegvalt bij vergelijking van de resultaten van jaren met elkaar. Bij de figuren voor de andere componenten is dezelfde systematiek toegepast, waarbij de systematische onzekerheid in de meetinstrumenten wat groter is dan bij NO₂.

⁶ Omdat in de praktijk mogelijke tegenvalters in de ene sector kunnen worden gecompenseerd door meevalters in een andere sector.



Figuur 4.2 Ontwikkeling grootschalige NO₂-concentratie tussen 2018 en 2030, beide met langjarige meteorologie. Een negatief getal betekent dat de concentratie daalt. De 2018- en 2030-kaarten zijn gebaseerd op langjarig gemiddelde meteorologie en een langjarig gemiddelde kalibratiekaart. Voor 2030 zijn de ramingen uit de KEV 2020 toegepast; voor 2018 de vastgestelde emissies consistent met deze ramingen.

In figuur 4.2 is de verwachte daling van de NO₂-concentraties in 2030 ten opzichte van 2018 weergegeven. Om de invloed van jaarlijkse meteorologische variaties te reduceren, worden beide met de langjarige meteorologie uitgerekend. Er is voor het jaar 2018 gekozen, omdat de ramingen consistent zijn met de vorig jaar vastgestelde emissiereeks. Deze reeks loopt niet verder dan 2018. Met deze consistente dataset in emissies voor historische en toekomstige jaren is het mogelijk om toekomstige concentratietrends te bepalen. In de periode 2018-2030 dalen de concentraties gemiddeld met ongeveer 5,4 µg/m³. In de figuur is zichtbaar dat de grootste daling plaatsvindt in de Randstad en rond de snelwegen. Dit laat zien dat de verschoning van het wagenpark nog steeds een belangrijke factor is bij de verbetering van de luchtkwaliteit in 2030. Een ander gebied met forse daling is Limburg. Dit komt vooral door de daling van de buitenlandse emissies.

In tabel 4.1 is het verschil tussen de 2030- en 2018-concentraties weergegeven voor diverse voor de luchtkwaliteit relevante zones en agglomeraties in Nederland. Tevens is de bijdrage van diverse emissiessectoren weergegeven.

Tabel 4.1 Verschil gemodelleerde NO₂-concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2030 – 2018, beide met langjarige meteorologie en gebaseerd op de KEV 2020 en de bijbehorende ER-reeks 1990-2018

	Nederland	Amster-dam/ Haarlem	Den Haag/ Leiden	Utrecht	Rotterdam/ Dordrecht	Eind- hoven	Heerlen	Noord- Nederland	Midden- Nederland	Zuid- Nederland
NO₂-conc. 2018	13,6	18,7	20,5	20,1	23,3	18,6	14,4	10,0	14,7	15,9
NO₂-conc. 2030	8,1	11,3	12,6	11,4	15,1	10,9	6,9	5,9	8,7	9,6
Verandering concentratie	-5,5	-7,5	-7,9	-8,7	-8,3	-7,7	-7,5	-4,1	-6,0	-6,3
Industrie	-0,01	0,06	0,00	-0,01	-0,01	-0,05	-0,01	-0,01	0,00	-0,02
Raffinaderijen	-0,02	-0,03	-0,06	-0,02	-0,08	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,02
Energiesector	-0,06	-0,09	-0,10	-0,08	-0,11	-0,04	-0,02	-0,07	-0,07	-0,05
Afvalverwerking	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wegverkeer	-1,78	-3,70	-3,14	-4,94	-3,21	-2,96	-1,66	-1,14	-2,32	-1,66
Overig verkeer	-0,38	-0,51	-0,64	-0,58	-1,08	-0,40	-0,26	-0,33	-0,42	-0,33
Landbouw	-0,08	-0,12	-0,60	-0,10	-0,25	-0,14	-0,03	-0,01	-0,09	-0,12
Huishoudens	-0,09	-0,20	-0,22	-0,18	-0,17	-0,15	-0,12	-0,06	-0,11	-0,08
HDO/Bouw	-0,11	-0,32	-0,34	-0,27	-0,28	-0,20	-0,11	-0,07	-0,14	-0,09
Internationale scheepvaart	-0,33	-0,71	-0,76	-0,37	-0,82	-0,21	-0,12	-0,26	-0,36	-0,33
België	-0,63	-0,39	-0,54	-0,56	-0,72	-1,23	-1,48	-0,26	-0,51	-1,33
Duitsland	-1,16	-0,56	-0,53	-0,75	-0,60	-1,48	-2,87	-1,15	-1,11	-1,36
Frankrijk	-0,30	-0,29	-0,34	-0,30	-0,36	-0,38	-0,42	-0,22	-0,30	-0,43
Groot Brittannië	-0,36	-0,46	-0,49	-0,38	-0,45	-0,29	-0,21	-0,35	-0,39	-0,36
Overig buitenland	-0,15	-0,13	-0,13	-0,13	-0,13	-0,15	-0,19	-0,17	-0,14	-0,15

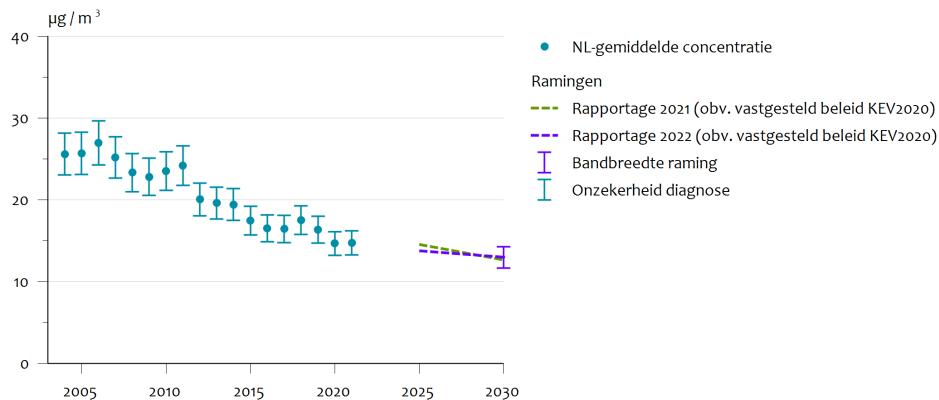
Weergegeven is de gemiddelde verandering in Nederland in zes agglomeraties en in drie zones, en de bijdrage van de Nederlandse bronnen, internationale scheepvaart en het buitenland aan de verandering.

4.1.2

PM₁₀-concentraties

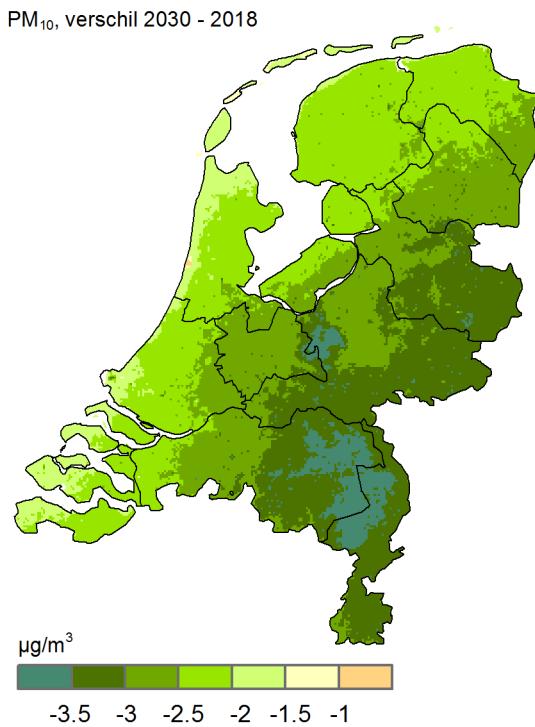
De fijnstofconcentraties PM₁₀, waren in het diagnosejaar 2021 vrijwel gelijk aan 2020 en gemiddeld lager ($1,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$, ongeveer 10%) dan die in 2019 (zie figuur 4.3).

Grootschalige PM₁₀-concentratie



Figuur 4.3 Ontwikkeling grootschalige PM₁₀-concentratie met actuele meteorologie. De concentratie gemiddeld over Nederland. De realisatie is weergegeven als stippen met onzekerheidsmarge van het Nederlands gemiddelde, ongeveer 10% (1,7 sigma). De realisaties zijn bepaald met de actuele meteorologie en gekalibreerd aan de hand van metingen. De prognoses zijn op basis van het vastgestelde beleid en langjarig gemiddelde meteorologie. In de bandbreedtes van de prognoses is alleen de onzekerheid in de toekomstige ontwikkeling van Nederlandse emissies meegenomen.

De verwachte concentraties in 2030 bij vastgesteld beleid zijn voor PM₁₀ $2,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (circa 17%) lager dan de concentraties in 2018. De berekende concentraties voor 2018 zijn lager dan in de vorige rapportage. Dit is het gevolg van de geactualiseerde chemiekaarten. De vorming van secundair stof is bij gebruik van de nieuwe informatie kleiner dan in de oude situatie. In de oude situatie werd voor wat de chemiekaarten betreft gebruik gemaakt van informatie met 2018-meteorologie, waarbij door de relatief hoge temperaturen in 2018 ook de vorming van secundair stof groter dan gemiddeld was. De prognose voor 2030 is gemiddeld vrijwel gelijk aan de prognose van vorig jaar. Dit was te verwachten, omdat zowel voor Nederland als voor het buitenland dezelfde emissieramingen zijn gebruikt als vorig jaar. Door een geactualiseerde bijtelling, die als gevolg van de aangepaste buitenlandse bronnen iets hoger uitvalt, komt de prognose $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hoger uit dan de prognose van vorig jaar.



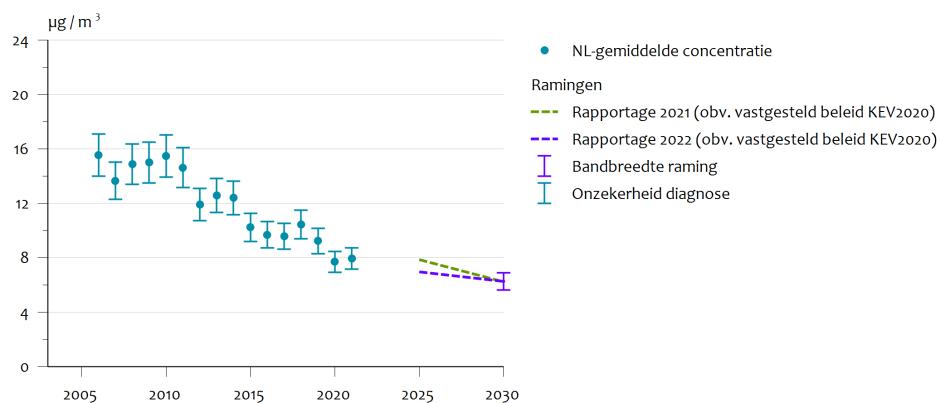
Figuur 4.4 Ontwikkeling grootschalige PM₁₀-concentratie tussen 2018 en 2030, beide met langjarige meteorologie. Een negatief getal betekent dat de concentratie daalt. De 2018- en 2030-kaarten zijn gebaseerd op langjarig gemiddelde meteorologie, jaarspecifieke chemie en een langjarig gemiddelde kalibratiekaart. Voor 2030 zijn de ramingen uit de KEV 2020 toegepast; voor 2018 de vastgestelde emissies consistent met deze ramingen.

In figuur 4.4 is de verwachte daling van de PM₁₀-concentraties in 2030 ten opzichte van 2018 weergegeven. Er is voor het jaar 2018 gekozen, omdat de ramingen consistent zijn met de vorig jaar vastgestelde emissies van 2018. Met deze consistente dataset in emissies voor historische en toekomstige jaren is het mogelijk om toekomstige trends te bepalen. De concentraties dalen naar 2030 gemiddeld met ongeveer 2,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (circa 17%). In de figuur is zichtbaar dat de daling een duidelijke gradiënt vertoont. De daling is het sterkst in het zuidoosten en minder sterk in het noordwesten. De daling is grotendeels het gevolg van lagere NO_x-emissies in 2030 in binnen- en buitenland. NO_x (NO en NO₂) wordt in de atmosfeer omgezet in andere componenten, hetgeen uiteindelijk leidt tot de vorming van nitraatzouten. Door de verminderde NO_x-emissie vermindert de bijdrage van nitraat aan PM₁₀ met bijna 1,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ook de primair emissies dalen. Voor ammonium en sulfaat is dit respectievelijk 0,4 en 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De lagere primair PM₁₀-emissies in binnen- en buitenland zorgen voor een verdere verlaging van de PM₁₀-concentraties met ongeveer 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

4.1.3 $PM_{2,5}$ -concentraties

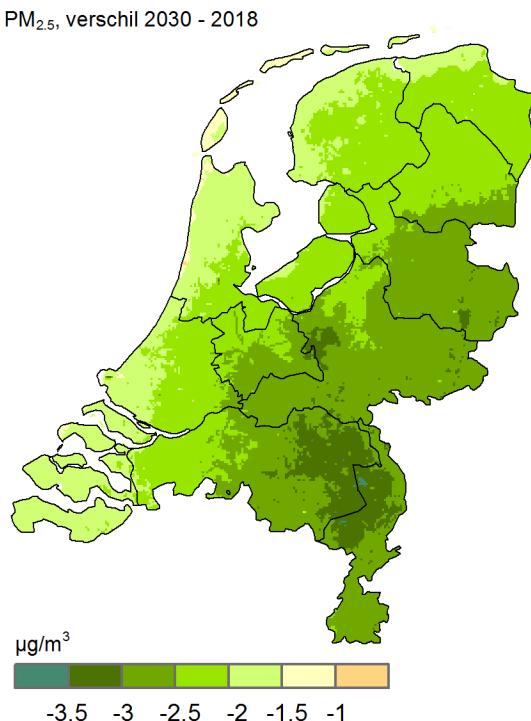
De $PM_{2,5}$ -concentraties waren in 2021 vrijwel gelijk aan 2020 en gemiddeld lager ($1,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 15%) dan die in 2019 (figuur 4.5).

Grootschalige $PM_{2,5}$ -concentratie



Figuur 4.5 Ontwikkeling grootschalige $PM_{2,5}$ -concentratie met actuele meteorologie. De concentratie gemiddeld over Nederland. De realisatie is weergegeven als stippen met onzekerheidsmarge van het Nederlands gemiddelde, ongeveer 10% (1,7 sigma). De realisaties zijn bepaald met de actuele meteorologie en gekalibreerd aan de hand van metingen. De prognoses zijn op basis van het vastgestelde beleid en langjarig gemiddelde meteorologie. In de bandbreedtes van de prognoses is alleen de onzekerheid in de toekomstige ontwikkeling van Nederlandse emissies meegenomen.

De verwachte concentraties in 2030 bij vastgesteld beleid zijn voor $PM_{2,5}$ $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (circa 30%) lager dan de concentraties in 2018. De berekende concentraties voor 2018 zijn lager dan in de vorige rapportage. Dit is het gevolg van de geactualiseerde chemiekaarten. De vorming van secundair stof is bij gebruik van de nieuwe informatie kleiner dan in de oude situatie. In de oude situatie werd gebruik gemaakt van informatie op basis van 2018-meteorologie, waarbij door de hoge temperaturen in dat jaar ook een hoge vorming van secundair stof ontstond. De prognose voor 2030 is gemiddeld vrijwel gelijk aan de prognose van vorig jaar. Dit was te verwachten, omdat zowel voor Nederland als voor het buitenland dezelfde emissieramingen zijn gebruikt als vorig jaar. Door een geactualiseerde bijtelling, die als gevolg van de aangepaste buitenlandse bronnen iets hoger uitvalt, komt de prognose $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hoger uit.



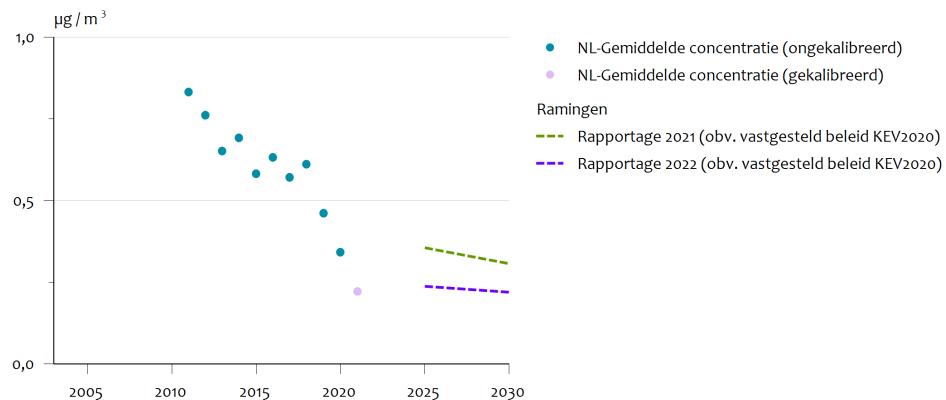
Figuur 4.6 Ontwikkeling grootschalige PM_{2.5}-concentratie tussen 2018 en 2030, beide met langjarige meteorologie. Een negatief getal betekent dat de concentratie daalt. De 2018- en 2030-kaarten zijn gebaseerd op langjarig gemiddelde meteorologie en een langjarig gemiddeld kalibratiekaart. Voor 2030 zijn de ramingen uit de KEV 2020 toegepast; voor 2018 de vastgestelde emissies consistent met deze ramingen.

In figuur 4.6 is de verwachte daling van de PM_{2.5}-concentraties in 2030 ten opzichte van 2018 weergegeven. Er is voor het jaar 2018 gekozen, omdat de ramingen consistent zijn met de vorig jaar vastgestelde emissies van 2018. Met deze consistente dataset in emissies voor historische en toekomstige jaren is het mogelijk om toekomstige trends te bepalen. In de figuur is zichtbaar dat de concentraties naar 2030 gemiddeld met ongeveer 2,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dalen. Net als bij PM₁₀ is ook hier een duidelijke gradiënt aanwezig. De daling is het sterkst in het zuidoosten en minder sterk in het noordwesten. Als we figuur 4.6 en 4.4 vergelijken, zien we dat de daling in de PM₁₀-concentraties voor een groot deel wordt veroorzaakt door de daling in PM_{2.5}. Bij de daling spelen ook hier de lagere NO_x-emissies in 2030 een belangrijke rol. Net als bij PM₁₀ leidt dit tot een lagere nitraatbijdrage. Hierdoor is de bijdrage van de nitraatconcentratie aan PM_{2.5} in 2030 bijna 1,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ minder dan in 2018. Voor ammonium en sulfaat is dit resp. 0,4 en 0,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Ook de lagere primair PM_{2.5}-emissies in 2030 zorgen voor een verlaging van de PM_{2.5}-concentraties met ongeveer 0,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ten opzichte van 2018.

4.1.4 EC-concentraties

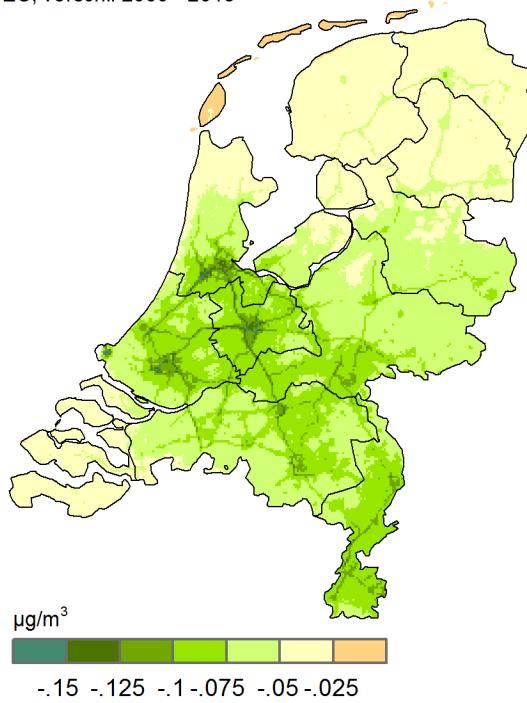
Net als voorgaande jaren zijn kaarten en emissiefactoren voor elementair koolstof (EC) in GCN-kader vervaardigd. Voor het eerst is kalibratie aan de metingen toegepast (zie paragraaf 6.4).

Grootschalige EC-concentratie (indicatief)



Figuur 4.7 Ontwikkeling (indicatieve) grootschalige EC-concentratie met actuele meteorologie. De concentratie gemiddeld over Nederland op basis van het vastgestelde beleid. De realisaties zijn bepaald met de actuele meteorologie. De prognoses zijn berekend met langjarige meteorologie. Vanaf 2021 vindt kalibratie aan de metingen plaats.

EC, verschil 2030 - 2018



Figuur 4.8 Ontwikkeling grootschalige EC-concentratie tussen 2018 en 2030, beide met langjarige meteorologie. Een negatief getal betekent dat de concentratie daalt. De 2018- en 2030-kaarten zijn gebaseerd op langjarig gemiddelde meteorologie en een langjarig gemiddelde kalibratiekaart. Voor 2030 zijn de ramingen uit de KEV 2020 toegepast; voor 2018 zijn de vastgestelde emissies consistent met deze ramingen.

In figuur 4.8 is de verwachte daling van de EC-concentraties in 2030 ten opzichte van 2018 weergegeven. Er is voor het jaar 2018 gekozen, omdat de ramingen consistent zijn met de vorig jaar vastgestelde

emissies van 2018. In de figuur is zichtbaar dat de concentraties naar 2030 gemiddeld met ongeveer $0,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dalen. In en rond drukke snelwegen is dit beduidend meer (tot $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dan in het landelijk gebied.

4.1.5 *Benzeenconcentratiekaarten*

De kaarten voor benzeen en koolmonoxide (CO) zijn sinds 2012 niet meer aangepast, en daarom indicatief. Voor beide stoffen is indertijd vastgesteld dat geen blootstelling boven de norm plaatsvindt. Daarom werd een jaarlijkse update van de kaart niet meer noodzakelijk geacht. Sindsdien wordt nog wel gemeten. Deze meetwaarden zijn ruim onder de norm, en tonen in het algemeen een dalende trend. Beoogd wordt om volgend jaar een geactualiseerde kaart te publiceren.

4.2 **Opbouw concentraties NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, EC en SO₂**

De concentratie van luchtverontreinigende stoffen in Nederland is opgebouwd uit bijdragen van verschillende sectoren in Nederland, van de omliggende landen (België, Duitsland, Frankrijk, Groot-Brittannië), van het overige buitenland en van de internationale scheepvaart. In tabel 4.2, 4.3 en tabel 4.5 tot en met 4.7 staat de opbouw van de concentraties in 2021 van NO₂, PM₁₀, PM_{2,5}, EC en SO₂ voor Nederland, gemiddeld voor de zes agglomeraties genoemd in de Wet milieubeheer, te weten Amsterdam/Haarlem, Den Haag/Leiden, Utrecht, Rotterdam/Dordrecht, Eindhoven en Heerlen/Kerkrade, en voor de drie luchtkwaliteitszones Noord-, Midden- en Zuid-Nederland. Het betreft telkens het gemiddelde over het genoemde landoppervlak.

In tabel 4.4 is het verschil tussen de 2030- en 2018-concentraties voor PM₁₀ weergegeven voor diverse voor de luchtkwaliteit relevante zones en agglomeraties in Nederland. Tevens is de bijdrage van diverse emissiessectoren weergegeven.

Tabel 4.2 Opbouw van de NO₂-concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in 2021¹

	Neder-land	Amster-dam/ Haarlem	Den Haag/ Leiden	Utrecht	Rotter-dam/ Dordrecht	Eind-hoven	Heerlen /Kerk- rade	Noord- Neder- land	Midden- Neder- land	Zuid- Neder- land
Industrie	0,3	0,5	0,4	0,4	0,6	0,4	0,4	0,2	0,3	0,4
Raffinaderijen	0,0	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Energie-sector	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
Afvalverwerking	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
Wegverkeer	2,6	4,9	5,2	7,0	5,6	4,9	2,2	1,5	3,3	2,6
Overig verkeer	1,9	3,9	3,8	4,1	5,4	2,3	1,2	1,3	2,4	1,8
Landbouw	1,1	0,7	1,0	1,1	0,8	0,9	0,4	1,2	1,2	1,0
Huishoudens	0,4	0,5	0,6	0,5	0,6	0,5	0,3	0,3	0,4	0,3
HDO ² /Bouw	0,1	0,3	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Internationale scheepvaart	1,2	2,6	3,2	1,3	3,6	0,7	0,3	0,9	1,3	1,2
België	0,8	0,5	0,7	0,7	1,0	1,8	1,9	0,3	0,7	1,9
Duitsland	1,1	0,4	0,5	0,6	0,6	1,5	3,0	1,0	1,0	1,4
Frankrijk	0,3	0,3	0,5	0,4	0,5	0,4	0,4	0,2	0,3	0,5
Groot-Brittannië	0,3	0,5	0,6	0,4	0,5	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4
Overig Buitenland	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1
Totaal	10,6	15,5	17,3	17,1	20,0	14,1	10,7	7,7	11,7	12,0

1. De bijdragen zijn bepaald op basis van de NO_x-bijdragen en de gekalibreerde NO₂-kaart. In verband met de niet-lineaire relatie tussen NO_x en NO₂ is de onderverdeling afhankelijk van de totale concentratie, en kunnen individuele bijdragen niet zomaar afzonderlijk worden beschouwd. Let op: de onzekerheid in de concentraties is groter dan dat het aantal decimalen aangeeft. Bijdragen zijn gebaseerd op 2020-emissies, aangevuld met 18% verhoging voor luchtvaart (zie tekst).

2. HDO = handel, diensten en overheid.

Tabel 4.3 Opbouw van de PM₁₀-concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in 2021¹

	Nederland	Amster-dam/ Haarlem	Den Haag/ Leiden	Utrecht	Rotter-dam/ Dordrecht	Eind-hoven	Heerlen /Kerk- rade	Noord- Neder- land	Midden- Neder- land	Zuid- Neder- land
Industrie	0,5	1,0	0,6	0,8	0,9	0,8	0,5	0,4	0,6	0,6
Raffinaderijen	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2
Energiesector	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Afvalverwerking	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wegverkeer	0,7	1,0	0,9	1,5	1,0	1,1	0,5	0,5	0,9	0,7
Overig verkeer	0,5	0,7	0,7	0,9	0,8	0,6	0,4	0,4	0,6	0,5
Landbouw	0,9	0,5	0,4	0,9	0,5	1,2	0,4	0,8	1,0	1,1
Huishoudens	0,9	1,6	1,7	1,8	1,5	1,5	1,1	0,6	1,1	0,9
HDO/Bouw	0,2	0,5	0,5	0,4	0,9	0,2	0,1	0,1	0,2	0,1
Int. scheepvaart	0,6	0,8	0,9	0,7	0,9	0,5	0,3	0,6	0,7	0,6
België	0,8	0,5	0,6	0,8	0,9	1,6	1,9	0,4	0,7	1,5
Duitsland	2,0	1,1	1,1	1,6	1,3	2,9	4,4	1,9	1,9	2,5
Frankrijk	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,7	0,4	0,5	0,7
Groot-Brittannië	0,4	0,6	0,6	0,5	0,6	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5
Overig buitenland	0,8	0,7	0,6	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	0,8	0,7
Zeezout	2,2	3,1	3,3	2,2	2,7	1,4	1,1	2,3	2,3	1,8
SOA	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bodemstof/ overig	3,0	3,0	3,1	3,0	3,0	3,0	2,9	3,0	3,0	3,0
Totaal	14,8	16,4	16,5	17,1	17,1	17,3	16,2	13,3	15,4	16,0

1. De bijdragen zijn bepaald op basis van de gekalibreerde PM₁₀-kaart. Let op: de onzekerheid in de concentraties is groter dan dat het aantal decimalen aangeeft. De toedeling naar bronnen is op basis van massa. Bijdragen zijn gebaseerd op 2020-emissies, aangevuld met 18% verhoging voor luchtvaart (zie tekst).

Tabel 4.4 Verschil gemodelleerde PM₁₀-concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 2030 – 2018, beide met langjarige meteorologie en gebaseerd op de KEV 2020 en de bijbehorende ER-reeks 1990-2018

	Neder -land	Amster -dam/ Haarlem	Den Haag/ Leiden	Utrecht	Rotterdam/ Dordrecht	Eind- hoven	Heerlen	Noord- Nederland	Midden- Nederland	Zuid- Nederland
PM₁₀-conc. 2018	15,7	17,1	16,8	17,6	17,5	17,6	15,9	14,6	16,3	16,5
PM₁₀-conc. 2030	13,0	14,9	14,6	14,7	15,2	14,2	12,8	12,0	13,5	13,6
Verandering concentratie	-2,7	-2,2	-2,2	-2,9	-2,3	-3,3	-3,2	-2,6	-2,8	-3,0
Industrie	0,07	0,13	0,08	0,09	0,10	0,06	0,04	0,06	0,07	0,05
Raffinaderijen	0,03	0,05	0,07	0,05	0,08	0,03	0,01	0,02	0,04	0,04
Energiesector	-0,03	-0,03	-0,02	-0,03	-0,02	-0,03	-0,02	-0,04	-0,03	-0,02
Afvalverwerking	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Wegverkeer	-0,25	-0,31	-0,26	-0,46	-0,28	-0,32	-0,16	-0,20	-0,31	-0,24
Overig verkeer	-0,09	-0,12	-0,12	-0,15	-0,18	-0,10	-0,06	-0,08	-0,10	-0,08
Landbouw	-0,28	-0,16	-0,12	-0,28	-0,14	-0,36	-0,11	-0,28	-0,30	-0,30
Huishoudens	-0,15	-0,20	-0,21	-0,22	-0,18	-0,22	-0,17	-0,12	-0,18	-0,14
HDO/Bouw	-0,03	-0,04	-0,04	-0,05	-0,04	-0,03	-0,02	-0,02	-0,04	-0,03
Int. scheepvaart	-0,05	-0,06	-0,05	-0,04	-0,04	-0,03	-0,02	-0,05	-0,04	-0,04
België	-0,18	-0,12	-0,14	-0,19	-0,20	-0,36	-0,38	-0,11	-0,17	-0,32
Duitsland	-0,92	-0,59	-0,56	-0,76	-0,63	-1,10	-1,38	-0,96	-0,87	-0,98
Frankrijk	-0,18	-0,15	-0,17	-0,18	-0,19	-0,23	-0,26	-0,14	-0,18	-0,24
Groot-Brittannië	-0,23	-0,26	-0,27	-0,24	-0,25	-0,20	-0,15	-0,22	-0,23	-0,22
Overig buitenland	-0,44	-0,37	-0,35	-0,41	-0,37	-0,46	-0,51	-0,46	-0,43	-0,44

Weergegeven is de gemiddelde verandering in Nederland in zes agglomeraties en in drie zones, en de bijdrage van de Nederlandse bronnen, internationale scheepvaart en het buitenland aan de verandering.

Tabel 4.5 Opbouw van de PM_{2,5}-concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in 2021¹

	Neder-land	Amster-dam/ Haarlem	Den Haag/ Leiden	Utrecht	Rotter-dam/ Dordrecht	Eind-hoven	Heerlen/ Kerk-rade	Noord- Neder- land	Midden- Neder- land	Zuid- Neder- land
Industrie	0,4	0,6	0,5	0,6	0,7	0,6	0,4	0,3	0,5	0,5
Raffinaderijen	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Energie-sector	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Afvalverwerking	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Wegverkeer	0,5	0,7	0,6	1,0	0,7	0,7	0,4	0,3	0,6	0,5
Overig verkeer	0,4	0,6	0,6	0,8	0,7	0,5	0,3	0,3	0,5	0,4
Landbouw	0,6	0,4	0,4	0,7	0,4	0,7	0,3	0,6	0,7	0,6
Huishoudens	0,9	1,6	1,6	1,8	1,5	1,4	1,1	0,6	1,1	0,8
HDO/Bouw	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Int. scheepvaart	0,5	0,7	0,7	0,6	0,7	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5
België	0,7	0,4	0,5	0,7	0,7	1,3	1,6	0,3	0,6	1,3
Duitsland	1,7	0,9	1,0	1,3	1,1	2,4	3,7	1,6	1,6	2,1
Frankrijk	0,4	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,3	0,4	0,6
Groot-Brittannië	0,4	0,5	0,5	0,4	0,5	0,3	0,2	0,3	0,4	0,4
Overig buitenland	0,7	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6
Zeezout	0,8	1,1	1,2	0,8	1,0	0,5	0,4	0,8	0,8	0,6
SOA	0,5	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
Bodemstof/overig	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,7	-0,8	-0,8	-0,7	-0,7	-0,7
Totaal	8,0	8,8	9,0	9,9	9,5	10,3	9,9	6,8	8,5	9,1

1. De bijdragen zijn bepaald op basis van de gekalibreerde PM_{2,5}-kaart. Let op: de onzekerheid in de concentraties is groter dan dat het aantal decimalen aangeeft. De toedeling naar bronnen is op basis van massa. Bijdragen zijn gebaseerd op 2020-emissies, aangevuld met 18% verhoging voor luchtvaart (zie tekst).

Tabel 4.6 Opbouw van de EC-concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in 2021¹

	Nederland	Amster-dam/ Haarlem	Den Haag/ Leiden	Utrecht	Rotter-dam/ Dordrecht	Eind-hoven	Heerlen/ Kerk-rade	Noord-Neder-land	Midden-Neder-land	Zuid-Neder-land
Industrie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Raffinaderijen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Energie-sector	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Afvalverwerking	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Wegverkeer	0,05	0,10	0,09	0,14	0,10	0,09	0,05	0,03	0,07	0,05
Overig verkeer	0,07	0,12	0,12	0,15	0,18	0,08	0,05	0,05	0,09	0,07
Landbouw	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Huishoudens	0,07	0,13	0,13	0,14	0,12	0,12	0,10	0,05	0,09	0,07
HDO ¹ /Bouw	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Internationale scheepvaart	0,01	0,03	0,03	0,01	0,04	0,01	-	0,01	0,01	0,01
België	0,06	0,03	0,05	0,05	0,06	0,12	0,16	0,02	0,04	0,13
Duitsland	0,07	0,03	0,03	0,05	0,04	0,10	0,21	0,06	0,06	0,09
Frankrijk	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,05	0,02	0,03	0,05
Groot-Brittannië	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Overig buitenland	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
Kalibratie	-0,21	-0,30	-0,30	-0,37	-0,37	-0,36	-0,40	-0,12	-0,23	-0,28
Totaal	0,22	0,25	0,26	0,28	0,28	0,28	0,29	0,19	0,23	0,25

1. De bijdragen zijn bepaald op basis van de gekalibreerde EC-kaart. Omdat het effect van de kalibratie relatief groot is, wordt deze ook weergegeven. Let op: de onzekerheid in de concentraties is groter dan het aantal decimalen aangeeft. Een '-' geeft een concentratie kleiner dan 0,005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aan. Bijdragen zijn gebaseerd op 2020-emissies, aangevuld met 18% verhoging voor luchtvaart (zie tekst).

Tabel 4.7 Opbouw van de SO₂-concentratie ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) in 2021¹

	Neder-land	Amster-dam/ Haarlem	Den Haag/ Leiden	Utrecht	Rotter-dam/ Dordrecht	Eind-hoven	Heerlen/ Kerkrade	Noord- Neder- land	Midden- Neder- land	Zuid- Neder- land
Industrie	0,10	0,35	0,20	0,18	0,25	0,09	0,09	0,07	0,11	0,10
Raffinaderijen	0,03	0,04	0,22	0,03	0,39	0,01	-	-	0,04	0,04
Energie-sector	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	-	-	0,01	0,01	0,01
Afvalverwerking	-	-	-	-	0,01	-	-	-	-	-
Wegverkeer	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	-	0,01	0,01
Overig verkeer	0,01	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	-	-	0,01	-
Landbouw	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	-
Huishoudens	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01
HDO/Bouw	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	-	-	-	-
Internationale scheepvaart	0,02	0,09	0,08	0,02	0,12	-	-	0,01	0,02	0,02
België	0,07	0,04	0,06	0,07	0,09	0,16	0,16	0,02	0,05	0,16
Duitsland	0,14	0,03	0,03	0,06	0,04	0,30	0,78	0,09	0,11	0,26
Frankrijk	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	-	0,01	0,02
Groot-Brittannië	-	-	0,01	-	-	-	-	-	-	-
Overig buitenland	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Totaal	0,42	0,74	0,70	0,45	1,01	0,64	1,09	0,22	0,39	0,64

1. De bijdragen zijn bepaald op basis van de gekalibreerde SO₂-kaart. Let op: de onzekerheid in de concentraties is groter dan dat het aantal decimalen aangeeft. Een '-' geeft een concentratie kleiner dan 0,005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aan. Bijdragen zijn gebaseerd op 2020-emissies, aangevuld met 18% verhoging voor luchtvaart (zie tekst).

4.3

Bijdragen concentraties fijnstof voor effecten maatregelen

De toedeling van de concentratie aan sectoren kan op verschillende manieren worden bepaald, en hangt onder meer af van het doel van de toedeling. Dit geldt vooral voor de toedeling aan de sectoren van het secundair anorganisch aerosol (SIA) van de fijnstofconcentratie. Meestal wordt deze toedeling gedaan op basis van de massa van de verschillende aerosolen (zoals in tabel 4.3 en 4.5, zie paragraaf 4.2). Dit is een goede toedeling als wordt gekeken naar de verhoudingen van de bijdragen van de sectoren aan de totale massa van het aerosol en van de totale fijnstofconcentratie. Deze toedeling geeft echter geen goede inschatting van het effect van emissiebeperkende maatregelen bij een sector op de fijnstofconcentratie. De reden daarvoor is dat er altijd twee of drie precursorionen nodig zijn om een secundair anorganisch aerosol te vormen: één ammonium- en één nitraation voor NH_4NO_3 (ammoniumnitraat) of twee ammoniumionen en één sulfaation voor $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (ammoniumsulfaat). Deze ionen verschillen echter sterk in massa, waarbij ammonium 3,4 keer lichter is dan nitraat en 5,3 keer lichter dan sulfaat. Er zijn daardoor bijvoorbeeld veel minder kilogrammen (ongeveer 70% minder) ammonium dan nitraat nodig om een bepaald aantal moleculen (deeltjes) ammoniumnitraat te vormen.

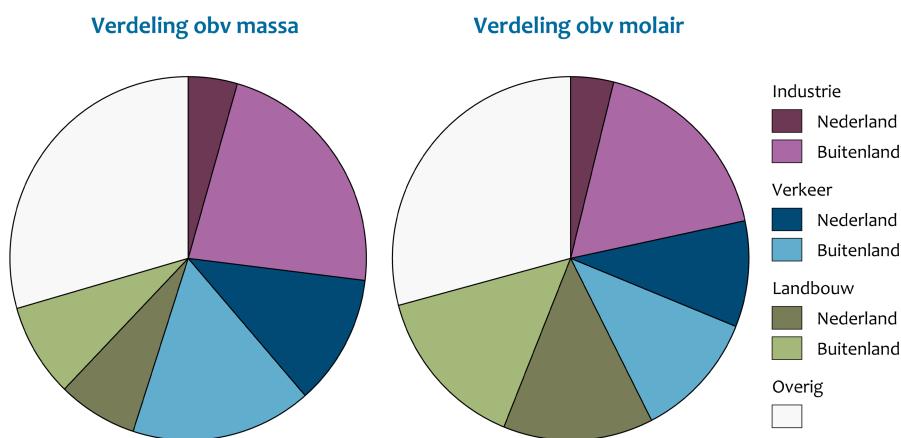
Het gevolg is dat een reductie van bijvoorbeeld 1 miljoen kg ammoniakemissies een grotere reductie kan geven in de concentratie van het ammoniumnitraataerosol dan een in massa gelijke reductie van stikstofoxiden. Er is dus een verschillend effect van een reductie in de verschillende precursoremmissies en de aerosolconcentratie.

Bovenstaande is maar één onderdeel van de complexe relaties tussen de precursoremmissies en aerosolconcentraties. In de atmosfeer zijn allerlei verschillende stoffen aanwezig die kunnen reageren met nitraat-, ammonium- en sulfaationen, en onder meer de aanwezige concentraties en reactiviteit spelen een rol bij de vorming van aerosolen. Voor een complete beschrijving van de niet-lineaire reacties die een rol spelen bij de vorming van secundair anorganische aerosolen is een complex atmosferisch chemisch transportmodel nodig. Deze processen worden in een vereenvoudigde vorm beschreven door het OPS-model.

Op basis van de berekeningen met het OPS-model kan wel een eerste stap worden gezet om een deel van de bovenstaande niet-lineaire processen in de atmosfeer te verdisconteren. Er kan dan een sectoropbouw van de fijnstofconcentraties worden bepaald die beter geschikt is voor het bepalen van het effect van emissiereducerende maatregelen dan de opbouw zoals beschreven in paragraaf 4.2. In deze 'molaire' opbouw zijn de secundaire anorganische aerosolen (nitraat, sulfaat en ammonium) verdeeld op basis van hun molaire gewicht. Dat wil zeggen, het aantal aerosoldeeltjes in plaats van de aerosolmassa.

Voor de bepaling van de molaire opbouw van de $\text{PM}_{2,5}$ -concentratie wordt de massa (per kubieke meter, per sector) van de secundaire anorganische aerosolen eerst omgerekend naar het aantal deeltjes (per kubieke meter, per sector). Daarna wordt de procentuele bijdrage van de sectoren bepaald op basis van het aantal deeltjes ten opzichte van het totaal aantal deeltjes.

Deze procentuele verdelingen worden dan vermenigvuldigd met de totale massa (per kubieke meter) van het secundair anorganische aerosol, waarna het primair aerosol erbij kan worden opgeteld. Figuur 4.9 geeft de verdeling van de sectoren weer op basis van massa en op basis van het aantal deeltjes.



Figuur 4.9 Verdeling PM_{2,5}-concentratie gemiddeld voor Nederland op basis van de aerosolmassa (links) en op basis van het aantal aerosoldeeltjes (rechts). Weergegeven zijn de bijdragen van emissies uit Nederland en het buitenland van de industrie (inclusief energieopwekking, raffinaderijen en afvalverwerking), het verkeer (wegverkeer, spoor, luchtvaart, mobiele werktuigen, binnenvaart) en de landbouw. De term 'Overig' bevat de zeescheepvaart, zeezout en bijtellingen (zie Tabel 2.1).

Het verschil tussen de opbouw op basis van de massaverhouding en op basis van de molaire verhouding komt vooral tot uiting in de bijdrage van de landbouw. Dit komt doordat de landbouw de grootste bron is van ammonium, middels de emissie van ammoniak. De bijdrage van de landbouw aan de PM_{2,5}-concentratie is op basis van de deeltjesverhouding ongeveer twee keer zo groot als op basis van de massaverhouding. Als gevolg hiervan is de bijdrage van de andere sectoren iets kleiner, aangezien de totale bijdrage van het secundair anorganische aerosol in massa voor beide verdelingen hetzelfde is. Dit werkt dus ook direct door in de effecten van emissiebeperkende maatregelen op de fijnstofconcentraties. Bij de landbouw kunnen deze dus een groter effect hebben dan met een toedeling op massabasis.

4.4

Onzekerheden in de GCN-kaarten

De GCN-kaarten hebben diverse bronnen van onzekerheden. Deze betreffen onder meer de locatie en de hoeveelheid van de emissies van de diverse stoffen, de onzekerheid in de verspreiding via het OPS-model en de onzekerheid in de metingen (via de kalibratie aan de metingen). Voor gepasseerde jaren is de karakteristieke onzekerheid het best vast te stellen door een vergelijking van de modelresultaten met de gemeten concentraties. Lokaal kan de onzekerheid groter zijn door specifieke bronnen. Ook kunnen de concentraties binnen een gridcel variëren, bijvoorbeeld door een sterke lokale bron. Dit kan worden ondervangen

door de lokale bron met een specifiek model door te rekenen, en deze bij de GCN-achtergrond op te tellen. Afhankelijk van de stof is de onzekerheid 15-30%. Zie de GCN-website en de bij de kaarten geleverde factsheets voor de details. Voor het jaar 2020 en 2021 zullen de onzekerheden waarschijnlijk groter zijn dan gebruikelijk, door de schattingen die moesten worden gemaakt om het effect van de coronamaatregelen mee te nemen.

De onzekerheid in toekomstscenario's is groter dan voor gepasseerde jaren, omdat er geen meetgegevens beschikbaar zijn om het modelresultaat aan te kalibreren. Invoer voor de modelberekeningen, zoals de toekomstige ontwikkelingen in emissies en de weersomstandigheden, is inherent onzeker. Zo is nog onduidelijk hoe het stikstofbeleid gaat uitpakken, in welke mate het te voeren klimaatbeleid zal leiden tot meer fijnstofemissies door het stoken van biomassa en of er lange-termijneffecten zijn van de coronamaatregelen. De oorlog in Oekraïne leidt ook tot extra onzekerheden, zoals voor de prijzen en beschikbaarheid van brandstof, kunstmest en veevoer. In de ramingen van de buitenlandse emissies zitten soortgelijke onzekerheden. Daarnaast is ook onzeker hoe de toekomstige spreiding van bevolking en arbeidsplaatsen er uit gaat zien. Waar worden bijvoorbeeld de één miljoen bij te bouwen woningen tot 2030 neergezet, en hoe worden de landbouwemissies beïnvloed door bijvoorbeeld uitkoopregelingen?

Er zijn geregeled nieuwe wetenschappelijk inzichten. Kennislacunes vormen één van de verklaringen voor de geconstateerde verschillen tussen de modelberekeningen en de metingen. Het kost tijd en onderzoek om nieuwe inzichten in de kaarten te verwerken. De kaarten worden door extra bronnen niet systematisch hoger of lager, aangezien de kaarten aan de metingen zijn gekalibreerd.

Bij de berekening van de kaarten van de huidige GCN-ronde 2022 is een aantal modelverbeteringen toegepast (zie Hoofdstuk 6 Innovaties en verbeteringen). Hierdoor is de onzekerheid van de berekening van de GCN-kaarten in het algemeen kleiner geworden.

5 Grootschalige depositie en bronbijdragen

De grootschalige depositiekaarten van stikstof, zoals die zijn berekend voor deze 2022-rapportage, worden hier kort weergegeven in de vorm van tabellen en figuren. Ook worden verschillen met de 2021-rapportage gepresenteerd. De onzekerheid in de gemiddelde stikstofdepositie in een 1x1 km gridcel is geschat op 20-25% (1 sigma). Voor het Nederlandse gemiddelde zal de onzekerheid aanzienlijk kleiner zijn. Bij het gebruik van de kaarten moet met deze bandbreedte-onzekerheden rekening worden gehouden (Velders et al., 2016).

De invoerdata voor emissies en ramingen zijn voor de depositieberekeningen identiek aan invoerdata voor de concentratieberekeningen. Alle keuzes en aannames die in hoofdstuk 3 en 4 zijn gemaakt over de inschatting van de coronamaatregelen en het gebruik van de KEV 2020 zijn hier dus ook van kracht. Ook de toevoeging van de emissie van stikstofoxiden uit landbouw bodems aan de totale concentratie luchtverontreinigende stoffen heeft effect op de stikstofdepositie.

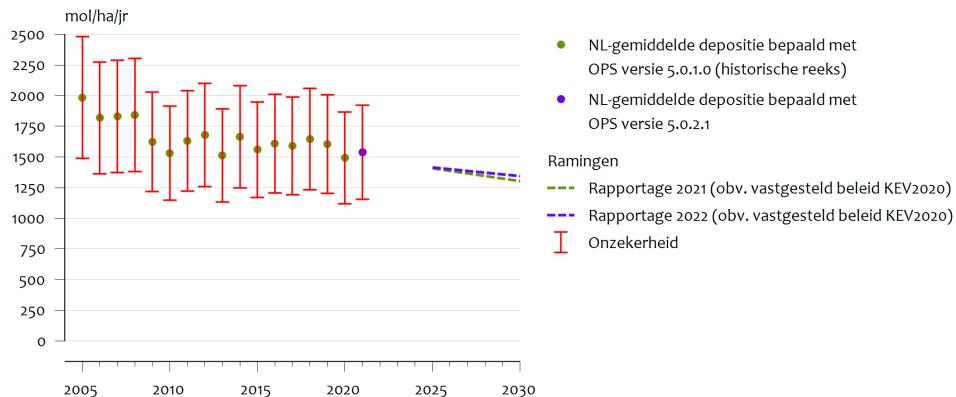
De kaarten en achterliggende data zijn te vinden op de GCN-website (www.rivm.nl/gcn). De GDN-kaarten in deze rapportage hebben een resolutie van 1x1 km, en worden gebruikt om de ontwikkeling in de gemiddelde stikstofdepositie in Nederland te volgen. Deze kaarten zijn minder geschikt voor het toetsen aan natuurwaarden, omdat hiervoor een hogere resolutie gewenst is. Daarom wordt de depositie in Natura 2000-gebieden met het AERIUS-systeem op een hogere resolutie uitgerekend (www.aerius.nl/nl). Die resolutie betreft zowel de lokalisering van de bronnen als de ruimtelijke resolutie van het rekengrid (1 ha in plaats van 1x1 km). Stikstofdepositie wordt in dit rapport meestal uitgedrukt als de hoeveelheid mol stikstof die jaarlijks per hectare neerslaat (mol/ha/j). Als de context duidelijk genoeg is, wordt dit soms samengevat als mol/ha, net als in andere publicaties.

5.1 GDN-kaarten

5.1.1 Stikstofdepositie

De gemiddelde stikstofdepositie is in 2021 iets hoger dan in 2020 (circa 50 mol/ha/jaar, ongeveer 3%). Stikstofdepositie bestaat uit ammoniakgerelateerde componenten (NH_x) en componenten die zijn gerelateerd aan stikstofoxiden (NO_y). Zowel de gemiddelde NH_x -depositie (circa 25 mol/ha) als de NO_y -depositie (25 mol/ha) is hoger dan in 2020. Deze verschillen zijn gering ten opzichte van de verschillen die in voorgaande jaren zijn geconstateerd. In voorgaande jaren zijn soms grote veranderingen geconstateerd als gevolg van de specifieke weersomstandigheden. Dat was in 2020 en 2021 minder het geval. Door de regionaal verschillende weersomstandigheden in de specifieke jaren, de actualisatie van het landgebruik en de ruwheid, en de actualisatie van de ruimtelijke verdeling van de binnenlandse en buitenlandse emissies kunnen lokaal wel grotere verschillen tussen dit jaar en vorig jaar optreden.

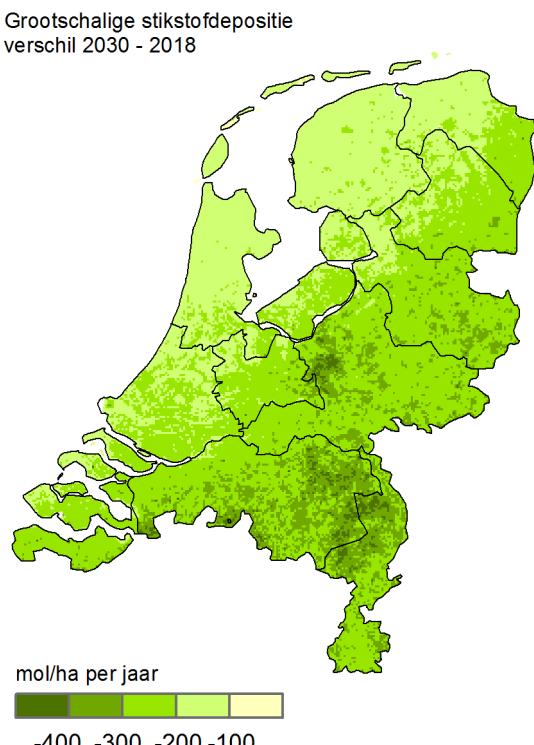
Grootschalige stikstofdepositie



Figuur 5.1 Ontwikkeling grootschalige stikstofdepositie met actuele meteorologie. De depositie gemiddeld over Nederland, voor GCN2022, op basis van het vastgestelde beleid. Voor stikstofdepositie zijn geen bandbreedtes voor de prognoses berekend.

De gemiddelde stikstofdepositie over Nederland (figuur 5.1) daalt bij uitvoering van het vastgestelde beleid tussen 2018 en 2030 naar verwachting met ongeveer 240 mol/ha⁷ (circa 15%). Dit komt overeen met een jaarlijkse daling van ongeveer 20 mol/ha/jr. Beide betreffen het gemiddelde over het totale Nederlandse landoppervlak. De depositie daalt doordat de uitstoot van landbouw, verkeer en scheepvaart naar verwachting zal dalen. De verwachte daling over de gehele periode is dit jaar kleiner dan vorig jaar werd gerapporteerd. Enerzijds komt dit door het toepassen van het landgebruik uit de LGN2020 informatie (zie paragraaf 6.1) en het gebruik van de geactualiseerde chemiekaarten (zie paragraaf 6.3), die beide in 2030 gemiddeld voor Nederland een lichte daling laten zien. Anderzijds komt dit door de geactualiseerde ruimtelijke verdeling en sectorale toekenning voor het buitenland (zie paragraaf 6.2), die zorgen voor een iets hogere gemodelleerde depositie in 2030.

⁷ De rapportage uit 2021 vermeldde een daling van 310 mol/ha. Dit was echter de waarde exclusief meetcorrectie. Inclusief meetcorrectie bedroeg de daling 280 mol/ha. De genoemde verschillen in de huidige rapportage zijn allemaal inclusief meetcorrectie.



Figuur 5.2 Verschil grootschalige stikstofdepositie tussen 2018 en 2030, beide met langjarige meteorologie. Een negatief getal betekent dat de stikstofdepositie daalt. De 2018- en 2030-kaarten zijn gebaseerd op langjarig gemiddelde meteorologie en een langjarig gemiddelde kalibratiekaart. Voor 2018 zijn de meest recente officiële emissiecijfers gebruikt; voor 2030 de ramingen met vastgesteld beleid.

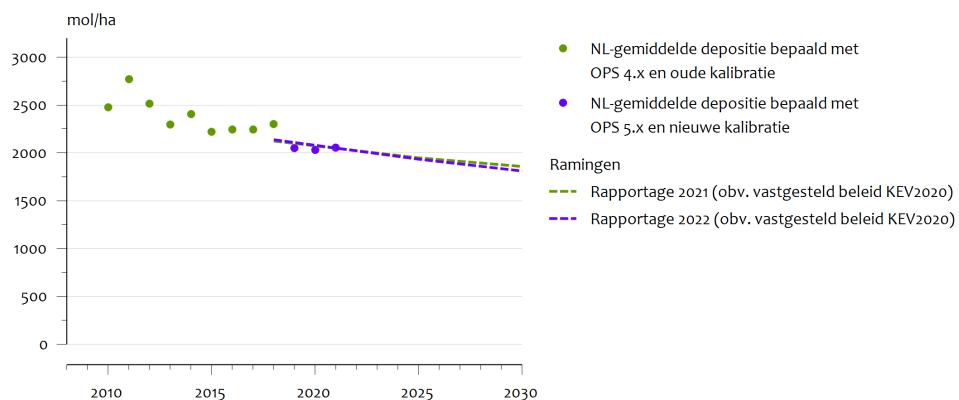
In figuur 5.2 is het ruimtelijke beeld van de verwachte daling van de stikstofdepositie in 2030 ten opzichte van 2018 weergegeven. Er is voor het jaar 2018 gekozen, omdat de emissieramingen voor 2030 consistent zijn met de emissiereeks die eindigt in 2018. De stikstofdepositie laat over deze periode een landelijk gemiddelde daling van circa 240 mol/ha zien. Er zijn echter grote lokale en regionale verschillen. Zo daalt de depositie aan de westflank van de Veluwe (Foodvalley) met meer dan 400 mol/ha, terwijl de daling langs de kust en in het noorden veelal minder is dan 200 mol/ha. De verschillen komen vooral door de ligging van de bronnen waarvoor emissemaatregelen worden verwacht. Daarnaast kunnen terreinkenmerken als ruwheid van het oppervlak lokaal een grote rol spelen.

5.1.2 Potentieel-zuurdepositie

Verzuring ontstaat als gevolg van verontreiniging van de lucht met de stoffen zwaveldioxide, ammoniak en stikstofoxiden. Deze gassen reageren met elkaar, en worden omgezet in onder meer salpeterzuur en zwavelzuur. Deze stoffen kunnen leiden tot verzuring van bodem en water, en kunnen planten en materialen aantasten. Daarom is het van belang om de depositie van deze potentieel verzurende componenten te monitoren. Veranderingen in de stikstofdepositie vertalen zich grotendeels direct door naar veranderingen in de depositie van potentieel zuur. In figuur 5.3 is de ontwikkeling van de potentieel

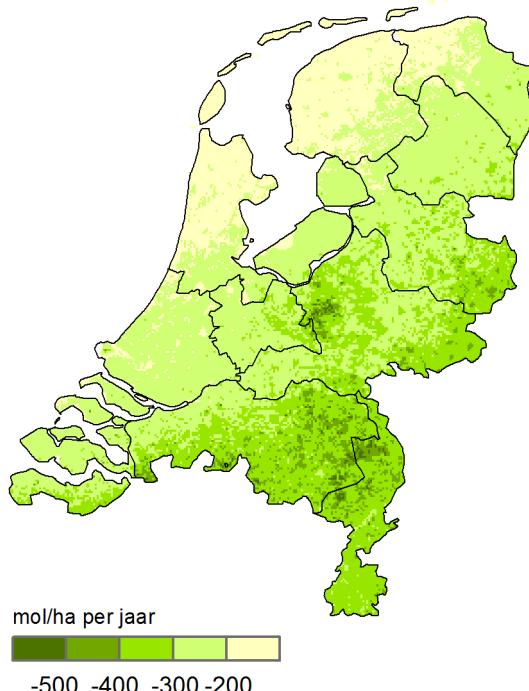
zuurdepositie gemiddeld over het Nederlandse landoppervlak weergegeven.

Grootschalige depositie van potentieel zuur



Figuur 5.3 Ontwikkeling grootschalige depositie van potentieel zuur. De depositie, gemiddeld over Nederland, voor GCN2022. Voor potentieel zuurdepositie zijn geen bandbreedtes voor de prognoses berekend.

Grootschalige potentieel zuur depositie verschil 2030 - 2018



Figuur 5.4 Verschil grootschalige depositie van potentieel zuur tussen 2018 en 2030, beide met langjarig gemiddelde meteorologie. Een negatief getal betekent dat de potentieel zuurdepositie daalt. De 2018- en 2030-kaarten zijn gebaseerd op langjarig gemiddelde meteorologie en een langjarig gemiddelde kalibratiekaart. Voor 2018 zijn de meest recente officiële emissiecijfers gebruikt; voor 2030 de ramingen met vastgesteld beleid.

In figuur 5.4 is de verwachte daling van de potentieel zuurdepositie in 2030 ten opzichte van 2018 weergegeven. In de figuur is zichtbaar dat de verwachte deposities in 2030 gemiddeld met ongeveer 260 mol/ha dalen. Ook hier zijn echter grote lokale verschillen.

5.2

Opbouw stikstofdepositie en potentieel zuurdepositie

De stikstofdepositie en potentieel zuurdepositie in Nederland zijn opgebouwd uit bijdragen van verschillende sectoren in Nederland, van de omliggende landen (België, Duitsland, Frankrijk, Groot-Brittannië), van het overige buitenland en van de internationale scheepvaart. De opbouw is weergegeven over het totale benoemde landoppervlak. Er is dus geen selectie gemaakt op natuurgebieden of stikstofgevoelige gebieden.

In tabel 5.1 en 5.2 is weergegeven welke sectoren in 2021 het meest bijdroegen aan de gemiddelde stikstofdepositie in heel Nederland en in de verschillende provincies. In tabel 5.1 is de bijdrage weergegeven in mol/ha/jr, en in tabel 5.2 als percentage van de totale gemodelleerde bijdrage (dus zonder meetcorrecties). De meetcorrectie (dit is de som van het effect van alle kalibraties) varieert flink tussen de diverse provincies. Dit komt vooral door de ruimtelijke kalibratie van de NH₃-concentraties (Wichink Kruit et al., 2020). In tabel 5.3 en 5.4 is de absolute respectievelijk relatieve opbouw van de potentieel zuurdepositie weergegeven.

Tabel 5.5 laat de totale verandering in de stikstofdepositie en de verandering per sector tussen 2018 en 2030 zien. Bijna tweederde van de verwachte daling in de stikstofdepositie komt doordat de depositie vanuit het buitenland lager wordt. In de tabellen voor de provincies is duidelijk zichtbaar dat de daling van de buitenlandse emissies de meeste impact heeft in de provincies Limburg en Noord-Brabant.

Tabel 5.1 Opbouw van de stikstofdepositie (mol/ha/jr) in 2021¹

	Nederland	Groningen	Friesland	Drenthe	Overijssel	Gelderland	Utrecht
Industrie	20	15	10	10	15	15	20
Raffinaderijen	0	0	0	0	0	0	5
Energiesector	5	5	5	5	5	5	10
Afvalverwerk.	5	5	5	5	5	5	5
Wegverkeer	85	45	40	60	75	110	165
Overig verkeer	45	30	30	35	40	55	70
Landbouw	760	720	685	775	985	970	835
Huishoudens	70	50	40	60	60	75	115
HDO ² /Bouw	25	15	15	20	25	30	40
Int. scheepvaart	65	65	95	40	30	35	60
België	120	35	40	50	65	105	105
Duitsland	160	205	85	250	285	225	100
Frankrijk	65	40	40	45	55	65	70
Gr.-Brittannië	60	50	65	50	50	50	60
Overig buitenl.	35	40	35	40	40	35	35
Meetcorrectie	5	-55	0	-60	-170	-165	-40
Totaal	1525	1265	1190	1385	1565	1615	1655

	Noord-Holland	Zuid-Holland	Zeeand	Noord-Brabant	Limburg	Flevoland
Industrie	25	20	25	20	30	15
Raffinaderijen	0	5	0	0	0	0
Energiesector	5	10	5	5	5	5
Afvalverwerk.	5	5	5	5	5	5
Wegverkeer	100	120	35	105	85	85
Overig verkeer	50	65	30	50	35	45
Landbouw	460	495	435	905	770	705
Huishoudens	105	120	35	75	65	60
HDO ² /Bouw	30	35	15	30	25	20
Int. scheepvaart	130	120	135	45	15	60
België	55	115	280	265	250	65
Duitsland	70	75	60	135	265	105
Frankrijk	60	80	120	85	85	55
Gr.-Brittannië	80	75	75	55	45	60
Overig buitenl.	35	30	30	35	40	35
Meetcorrectie	140	125	395	45	90	80
Totaal	1350	1495	1680	1860	1810	1400

1. De getallen zijn afgerond op het dichtstbijzijnde vijftal.

2. HDO = handel, diensten en overheid.

Tabel 5.2 Opbouw van de stikstofdepositie in percentage van de berekende depositie voor 2021¹

	Nederland	Groningen	Friesland	Drenthe	Overijssel	Gelderland	Utrecht
Industrie	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Raffinaderijen	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Energiesector	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Afvalverwerking	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Wegverkeer	6%	3%	3%	4%	4%	6%	10%
Overig verkeer	3%	2%	2%	2%	2%	3%	4%
Landbouw	50%	55%	58%	54%	57%	54%	50%
Huishoudens	5%	4%	3%	4%	3%	4%	7%
HDO ² /Bouw	2%	1%	1%	1%	1%	2%	2%
Int. scheepvaart	4%	5%	8%	3%	2%	2%	4%
België	8%	3%	3%	3%	4%	6%	6%
Duitsland	11%	15%	7%	17%	16%	12%	6%
Frankrijk	4%	3%	4%	3%	3%	4%	4%
Gr.-Brittannië	4%	4%	5%	4%	3%	3%	4%
Overig buitenland	2%	3%	3%	3%	2%	2%	2%

	Noord-Holland	Zuid-Holland	Zeeland	Noord-Brabant	Limburg	Flevoland
Industrie	2%	2%	2%	1%	2%	1%
Raffinaderijen	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Energiesector	1%	1%	0%	0%	0%	1%
Afvalverwerking	1%	0%	0%	0%	0%	1%
Wegverkeer	8%	9%	3%	6%	5%	6%
Overig verkeer	4%	5%	2%	3%	2%	4%
Landbouw	38%	36%	34%	50%	45%	53%
Huishoudens	8%	9%	3%	4%	4%	5%
HDO ² /Bouw	2%	3%	1%	2%	2%	1%
Internationale scheepvaart	11%	9%	10%	2%	1%	5%
België	5%	8%	22%	15%	15%	5%
Duitsland	6%	5%	5%	7%	15%	8%
Frankrijk	5%	6%	9%	5%	5%	4%
Gr.-Brittannië	6%	5%	6%	3%	2%	5%
Overig buitenland	3%	2%	2%	2%	2%	3%

1. De percentages zijn afgerond op gehele getallen.

2. HDO = handel, diensten en overheid.

Tabel 5.3 Opbouw van de potentieel zuurdepositie (mol/ha/jr) in 2021¹

	Nederland	Groningen	Friesland	Drenthe	Overijssel	Gelderland	Utrecht
Industrie	40	35	20	25	25	40	55
Raffinaderijen	20	5	5	5	10	10	30
Energiesector	10	10	5	5	5	10	10
Afvalverwerk.	5	5	5	5	10	10	5
Wegverkeer	85	45	40	60	75	110	165
Overig verkeer	45	30	30	35	40	55	70
Landbouw	760	720	685	780	985	970	835
Huishoudens	75	50	40	60	60	75	115
HDO ² /Bouw	25	15	15	20	25	30	40
Int. scheepvaart	85	80	110	55	45	50	75
België	150	45	45	60	80	130	130
Duitsland	195	235	105	285	335	270	125
Frankrijk	75	45	45	50	60	75	80
Gr.-Brittannië	65	55	70	55	55	55	70
Overig buitenl.	45	50	40	50	45	45	40
Meetcorrectie	375	315	370	310	200	200	330
Totaal	2055	1740	1630	1860	2055	2135	2175

	Noord-Holland	Zuid-Holland	Zeeland	Noord-Brabant	Limburg	Flevoland
Industrie	70	55	35	40	50	35
Raffinaderijen	20	70	30	20	5	15
Energiesector	10	10	5	10	5	10
Afvalverwerk.	5	5	5	5	5	10
Wegverkeer	100	120	35	110	85	85
Overig verkeer	50	65	30	50	35	50
Landbouw	460	495	435	905	770	710
Huishoudens	105	120	35	75	65	65
HDO ² /Bouw	30	35	15	30	25	20
Int. scheepvaart	155	145	155	60	30	75
België	70	145	330	325	310	80
Duitsland	85	95	75	175	360	125
Frankrijk	65	95	150	100	95	65
Gr.-Brittannië	90	85	90	60	50	70
Overig buitenl.	40	40	35	40	45	40
Meetcorrectie	510	495	765	415	455	445
Totaal	1865	2075	2225	2420	2390	1900

1. De getallen zijn afgerond op het dichtstbijzijnde vijftal.

2. HDO = handel, diensten en overheid.

Tabel 5.4 Opbouw van de potentieel zuurdepositie in percentage van de berekende depositie in 2021¹

	Nederland	Groningen	Friesland	Drenthe	Overijssel	Gelderland	Utrecht
Industrie	2%	2%	2%	1%	1%	2%	3%
Raffinaderijen	1%	0%	1%	0%	0%	1%	2%
Energiesector	0%	1%	1%	0%	0%	0%	1%
Afvalverwerk.	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Wegverkeer	5%	3%	3%	4%	4%	6%	9%
Overig verkeer	3%	2%	2%	2%	2%	3%	4%
Landbouw	45%	51%	54%	50%	53%	50%	45%
Huishoudens	4%	4%	3%	4%	3%	4%	6%
HDO ² /Bouw	2%	1%	1%	1%	1%	2%	2%
Int. scheepvaart	5%	6%	9%	4%	2%	3%	4%
België	9%	3%	4%	4%	4%	7%	7%
Duitsland	12%	16%	8%	18%	18%	14%	7%
Frankrijk	5%	3%	4%	3%	3%	4%	4%
Gr.-Brittannië	4%	4%	6%	4%	3%	3%	4%
Overig buitenl.	3%	3%	3%	3%	3%	2%	2%

	Noord-Holland	Zuid-Holland	Zeeland	Noord-Brabant	Limburg	Flevoland
Industrie	5%	3%	2%	2%	3%	2%
Raffinaderijen	1%	5%	2%	1%	0%	1%
Energiesector	1%	1%	0%	0%	0%	1%
Afvalverwerk.	1%	0%	0%	0%	0%	1%
Wegverkeer	7%	8%	2%	5%	4%	6%
Overig verkeer	4%	4%	2%	2%	2%	3%
Landbouw	34%	31%	30%	45%	40%	49%
Huishoudens	8%	8%	3%	4%	3%	4%
HDO ² /Bouw	2%	2%	1%	1%	1%	1%
Int. scheepvaart	11%	9%	11%	3%	2%	5%
België	5%	9%	23%	16%	16%	6%
Duitsland	6%	6%	5%	9%	18%	9%
Frankrijk	5%	6%	10%	5%	5%	4%
Gr.-Brittannië	7%	5%	6%	3%	2%	5%
Overig buitenl.	3%	2%	2%	2%	2%	3%

1. De percentages zijn afgerond op gehele getallen.

2. HDO = handel, diensten en overheid.

Tabel 5.5 Verschil gemodelleerde stikstofdepositie (mol/ha) 2030 - 2018 met langjarige meteorologie en gebaseerd op de KEV 2020 en de bijbehorende ER-reeks 1990-2018¹

	Nederland	Groningen	Friesland	Drenthe	Overijssel	Gelderland	Utrecht
N-totaal 2018³	1585	1340	1280	1450	1580	1650	1705
N-totaal 2030³	1345	1145	1120	1230	1330	1380	1475
Verandering	-240	-195	-160	-220	-250	-270	-230
Industrie	1	0	1	0	1	1	1
Raffinaderijen	-1	0	0	0	0	-1	-1
Energiesector	-2	-3	-2	-2	-2	-2	-3
Afvalverwerk.	0	0	0	0	1	0	0
Wegverkeer	-19	-13	-12	-15	-20	-24	-32
Overig verkeer	-5	-4	-4	-5	-5	-6	-7
Landbouw	-59	-40	-34	-50	-80	-89	-59
Huishoudens	2	1	1	2	1	2	3
HDO ² /Bouw	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-3
Int. scheepvaart	-9	-9	-9	-8	-7	-7	-9
België	-31	-12	-12	-15	-19	-28	-28
Duitsland	-55	-73	-39	-79	-80	-69	-39
Frankrijk	-27	-17	-17	-20	-23	-28	-27
Gr.-Brittannië	-24	-24	-27	-24	-22	-22	-25
Overig buitenl.	-17	-18	-17	-18	-18	-18	-17

	Noord-Holland	Zuid-Holland	Zeeland	Noord-Brabant	Limburg	Flevoland
N-totaal 2018	1370	1580	1675	1885	1775	1530
N-totaal 2030	1200	1375	1445	1585	1460	1330
Verandering	-170	-205	-230	-300	-315	-200
Industrie	2	1	0	1	1	1
Raffinaderijen	-1	-2	-1	-1	0	-1
Energiesector	-3	-3	-1	-2	-1	-3
Afvalverwerk.	0	0	0	0	0	1
Wegverkeer	-21	-23	-8	-21	-17	-19
Overig verkeer	-6	-8	-4	-5	-4	-6
Landbouw	-24	-33	-31	-87	-79	-47
Huishoudens	3	3	1	2	1	2
HDO ² /Bouw	-2	-3	-1	-1	-1	-2
Int. scheepvaart	-13	-13	-13	-8	-5	-9
België	-16	-30	-59	-63	-62	-19
Duitsland	-32	-32	-27	-47	-78	-43
Frankrijk	-22	-30	-43	-36	-37	-23
Gr.-Brittannië	-29	-26	-27	-22	-18	-26
Overig buitenl.	-16	-16	-16	-17	-19	-17

1. De getallen voor de totalen zijn inclusief meetcorrectie en afgerond op het dichtstbijzijnde vijftal.

2. HDO = handel, diensten en overheid.

3. In mol/ha/jr.

5.3

Onzekerheden in depositiekaarten

Depositie bestaat uit een nat deel (regenwater) en een droog deel. De onzekerheden in het droge deel van de depositie hangen nauw samen met de onzekerheden in de berekende concentraties. Zie paragraaf 4.3 voor de belangrijkste ontwikkelingen in deze onzekerheden. Voor stikstofdepositie is een aantal nieuwe methoden in ontwikkeling om een completer beeld van de onzekerheid in diverse toepassingen te schatten. In de volgende paragraaf volgen daarvan de eerste resultaten.

5.3.1

Onzekerheid in de stikstofdepositie in een 1x1 km gridcel

De onzekerheid van de depositieberekening in een 1x1 km gridcel in een Natura 2000-gebied wordt geschat op tussen de 20 en 25% (1 sigma). Gemiddeld over grotere gebieden wordt de onzekerheid kleiner. Zo is de onzekerheid van de gemiddelde depositie in Nederland geschat op ongeveer 15% (1 sigma). De standaarddeviatie van 15% gebruiken we, in de figuren waar de trend in stikstofdepositie wordt getoond, als illustratie van de onzekerheid in de depositie voor gepasseerde jaren.

Deze onzekerheid is bepaald door een analyse van de onzekerheden in de diverse onderdelen van de depositie, te weten droge en natte depositie voor respectievelijk ammonium en nitraat. Voor de natte depositie is hierbij gekeken naar de vergelijking tussen de berekende natte deposities en de met de acht regenwatervangers van het Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit gemeten natte deposities over een aantal jaren (<https://www.rivm.nl/landelijk-meetnet-luchtkwaliteit>). Uit deze vergelijking komt zowel voor de nitraatcomponenten als voor de ammoniumcomponenten een onzekerheid met één standaarddeviatie (1 sigma) van ongeveer 15%. De spreiding tussen de gemeten en gemodelleerde droge depositie van ammoniak is na kalibratie aan de metingen ongeveer 20%. Hier moet opgemerkt worden dat:

- de metingen plaatsvinden in de lagere range van berekende waarden (tot ongeveer 1.000 mol/ha);
- er weinig meetpunten beschikbaar zijn over een langere tijdsperiode ten opzichte van de metingen van natte depositie;
- er geen (recente) droge depositiemetingen van NO_x zijn. Daarom is aangenomen dat de onzekerheid in de depositiesnelheid van NO_x vergelijkbaar is met die van ammoniak;
- er ook geen metingen zijn van droge depositie van het ammoniumaerosol. Hiervoor is een onzekerheid van 50% in de depositiesnelheid aangenomen.

Als bovenstaande onzekerheden worden gecombineerd, dan is de gemiddelde onzekerheid van de depositieberekening in een 1x1 km gridcel in een Nederlands Natura 2000-gebied in de range van 20-25% (1 sigma). Dit is de onzekerheid van berekeningen die zijn gekalibreerd aan de metingen. De grootte van de kalibratie is ook van belang, want een grote kalibratie betekent dat het model ter plekke meer afwijkt van de metingen. Met de kalibratie kan wel het effect op de depositie worden gecorrigeerd, maar een grote kalibratie kan betekenen dat er meer onzekerheid is in bijvoorbeeld de herkomst van de stikstofdepositie. Het

kalibratie-effect, en dus de mogelijke onzekerheid in de herkomst, is relatief groot in de kustgebieden.

Op basis van de huidige kennis wordt de onzekerheid in de Nederlandse gemiddelde depositie geschat op circa 15% (1 sigma). Deze onzekerheidsresultaten zijn nog in ontwikkeling, en zullen binnenkort worden gepubliceerd (Hoogerbrugge 2022). Voor ramingen is nog geen onzekerheidsschatting beschikbaar.

6 Modelverbeteringen en innovaties

De berekeningen van de concentraties en depositie van luchtverontreinigende stoffen zijn complex. Er zijn geregeld verbeteringen en innovaties aan de invoerkant, het modelsysteem zelf en aan de uitvoerkant. Op deze manier worden de berekeningen *state-of-the-art* gehouden. In de huidige GCN-ronde is een aantal gegevens vernieuwd en zijn verbeteringen en innovaties aangebracht. De belangrijkste worden in dit hoofdstuk kort toegelicht. Door de verbeteringen neemt in het algemeen de nauwkeurigheid van de berekeningen toe. Het betekent ook dat de modelresultaten veranderen ten opzichte van de resultaten die eerder zijn gerapporteerd. Het effect van veranderingen is gepresenteerd per aanpassing. Het effect is afhankelijk van het jaar waarvoor het wordt berekend. De effecten van wijzigingen kunnen elkaar beïnvloeden. Ook worden de effecten beïnvloed door de kalibratie aan de metingen.

6.1 Vernieuwde gegevens: Landgebruik en ruwheid

Landgebruik en ruwheid (de terreineigenschappen) zijn belangrijke invoergegevens voor concentratie- en depositierekening voor GCN/GDN, AERIUS en het NSL.

De landgebruiks- en ruwheidskaarten die worden gebruikt voor deze berekeningen zijn geactualiseerd. Hierdoor wordt in de berekeningen nu rekening gehouden met recente ontwikkelingen in het landgebruik. De ruwheidskaarten zijn afgeleid van de landgebruikskaarten. Daarnaast is de methode om ruwheid te bepalen in stedelijk gebied bijgesteld, om zo onverwachte effecten van de actualisatie van de kaarten te ondervangen.

Rol in het model

De ruwheid van een landschap beïnvloedt de intensiteit van wervelingen in de luchtlag boven het oppervlakte. Deze wervelingen zorgen voor verticaal stoftransport en menging met hogere luchtlagen. Bij een hogere ruwheid neemt de turbulentie van de luchtstroom toe, waardoor meer verticaal transport en menging plaatsvindt. Dit geeft een verdunnend effect, en daardoor is er een lagere concentratie van stoffen in de lucht aanwezig dan wanneer de ruwheid lager zou zijn.

Droge depositie is het proces waarbij stoffen door luchtbewegingen naar het oppervlak worden getransporteerd, en daar worden opgenomen. Voor depositie van bijvoorbeeld stikstof beïnvloedt de ruwheid zowel de concentratie als de depositesnelheid. Depositie omvat ook natte depositie. Natte depositie vindt plaats doordat stoffen oplossen in druppels in de lucht, en bij regen weer naar beneden komen.

Biologische en fysieke kenmerken van het oppervlak bepalen hoe makkelijk de stoffen in de lucht uiteindelijk worden opgenomen door het oppervlak, of zich eraan hechten. Denk daarbij bijvoorbeeld aan oplossen in water, transport naar het inwendige van planten of het

afvangen van stof aan het bladoppervlak. Meer hierover staat in de documentatie van OPS⁸. De ruwheid en het landgebruik bepalen in het model het gemak waarmee droge depositie plaatsvindt. Dit is de zogenoemde depositiesnelheid. Hoe ruwer het oppervlak, hoe hoger de depositiesnelheid en hoe meer depositie plaatsvindt bij dezelfde concentratie.

Tot slot heeft de depositie ook weer effect op de concentratie. Als een luchtpakket een lange weg over terrein met een hoge depositiesnelheid aflegt, neemt de concentratie in de lucht sneller af dan over terrein met een lage depositiesnelheid.

De ruwheid op een rekenpunt hangt af van het landgebruik in de omgeving. Stedelijk gebied en bos hebben een hoge ruwheid. Grasland heeft een lage ruwheid en water is vaak zelfs glad te noemen.

Wat en waarom geactualiseerd

Het landgebruik en de ruwheid zijn afgeleid van de bestanden van het Landelijk Grondgebruik Nederland (LGN) van Wageningen Environmental Research, en voor buiten Nederland van het Corine Land Cover (CLC) van het Europees Milieuagentschap. De landgebruiks- en ruwheidskaarten zijn geactualiseerd, omdat nieuwe landgebruikskaarten beschikbaar zijn gekomen. Door gebruik te maken van de nieuwe kaarten sluiten de concentratie- en depositieberekeningen dus beter aan bij de huidige situatie in Nederland en daarbuiten. Sinds 2015 werd gebruik gemaakt van LGN7 en CLC2006. Deze kaarten beschreven het landgebruik in 2013 binnen Nederland en in 2006 daarbuiten. Deze kaarten zijn nu geactualiseerd naar LGN2020 en CLC2018. Deze beschrijven de situatie in 2020 in Nederland en in 2018 daarbuiten. De nieuwe LGN2020 kaart is volgens een andere systematiek vervaardigd dan LGN7. Het productieproces is aangepast, zodat de kaarten jaarlijks en meer geautomatiseerd kunnen worden gemaakt. Verder is de ruimtelijke resolutie vergroot, is de classificatie in natuur verbeterd door nieuwe *remote sensing*-gegevens te gebruiken en is het aantal landgebruiksklassen op de kaart verhoogd.⁹

Om de effecten van de nieuwe gegevens en systematiek inzichtelijk te maken, zijn verschillende analyses gedaan. Een groot verschil ten opzichte van de vorige kaart is te zien in de gebouwde omgeving, waar veel meer groen (zoals gras) op de kaart staat dan voorheen. Dit kan leiden tot onrealistisch lage ruwheden in zulke gebieden. De procedure om de ruwheid te bepalen is op dat punt dan ook bijgesteld. Daarbij wordt nu rekening gehouden met bebouwing in de nabije omgeving. Als dit meer dan 20% is, worden gras, bos en kale grond als onderdeel van de gebouwde omgeving beschouwd. Hieraan wordt dan de ruwheid van gebouwd gebied toegekend.

De nieuwe LGN-kaarten zijn beschikbaar op een resolutie van 5x5 m en geaggregeerde versies op onder meer 25x25 m. De methode voor het

⁸ <https://www.rivm.nl/operationele-prioritaire-stoffen-model/modelbeschrijving/depositie>

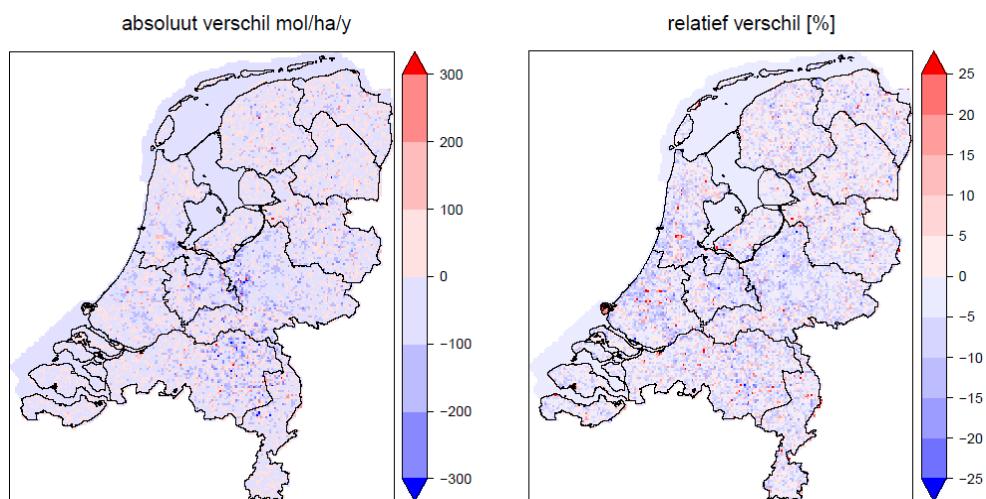
⁹ <https://www.wur.nl/en/Research-Results/Research-Institutes/Environmental-Research/Facilities-Tools/Kaarten-en-GIS-bestanden/Land-use-database-of-the-Netherlands/What-is-the-LGN-database.htm>

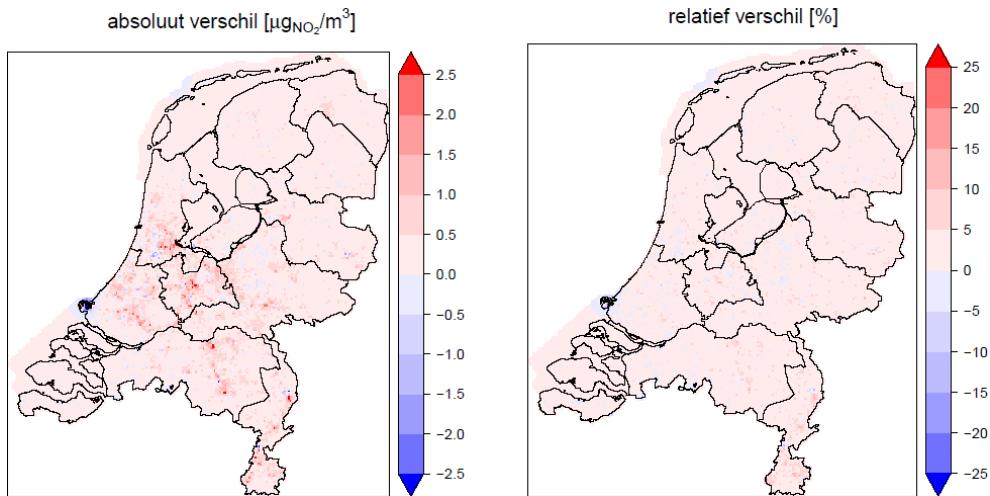
bepalen van de ruwheid is niet geschikt voor kleine oppervlakte-eenheden, ofwel toepassing binnen zeer heterogeen dan wel complex terrein. De hogere resolutie van de nieuwe kaarten is daarom niet geschikt voor het afleiden van de ruwheidskaart voor heel Nederland. Om deze reden wordt gebruik gemaakt van de 25x25 m geaggregeerde LGN-kaart. Dit zorgt ervoor dat kleine elementen op de kaart opgaan in het grotere geheel, dat gewenst is in de context van het bepalen van de ruwheid voor heel Nederland. Dit betreft bijvoorbeeld individuele bomen of smalle wegen.

Effect

De grootste verschillen als gevolg van de nieuwe landgebruiks- en ruwheidskaarten en de aangepaste methode in de berekeningen treden op waar het landgebruik feitelijk is gewijzigd, zoals door uitbreidingen van steden. Daarnaast zijn er verschillen omdat de systematiek waarmee de gebruikte LGN-kaart is vervaardigd is gewijzigd. Verschillen ontstaan doordat andere landgebruiksklassen zijn toegekend en de nieuwe kaart meer differentiatie bevat. Analyses van de kaarten laten zien dat alle geëvalueerde wijzigingen verklaarbaar zijn, en dat er een plausibele ruwheid wordt berekend. De nieuwe kaarten leiden niet tot wezenlijk andere verschillen tussen berekende en gemeten concentraties op de meetstations.

De update resulteert in hogere ruweden op plekken waar bebouwing is toegenomen. Dit heeft daar lagere berekende concentraties en hogere berekende deposities tot gevolg. In stikstofgevoelige Natura 2000-gebieden zien we minder grote wijzigingen dan daarbuiten. Gemiddeld is de berekende ruwheid hier ongeveer gelijk gebleven, maar binnen deze gebieden komen zowel stijgingen als dalingen voor. Verschillen in de berekende depositie zijn in de meeste gevallen kleiner dan 5%, maar wijzigingen tot 20% en incidenteel groter komen voor.





Figuur 6.1 Effect van de update van de landgebruiks- en ruwheidskaart op de stikstofdepositie (boven) en NO₂-concentratie (onder) tussen LGN7/CLC2006 en LGN2020/CLC2018.

6.2 Vernieuwde gegevens: achtergrondconcentraties en chemische reactiesnelheden binnen OPS

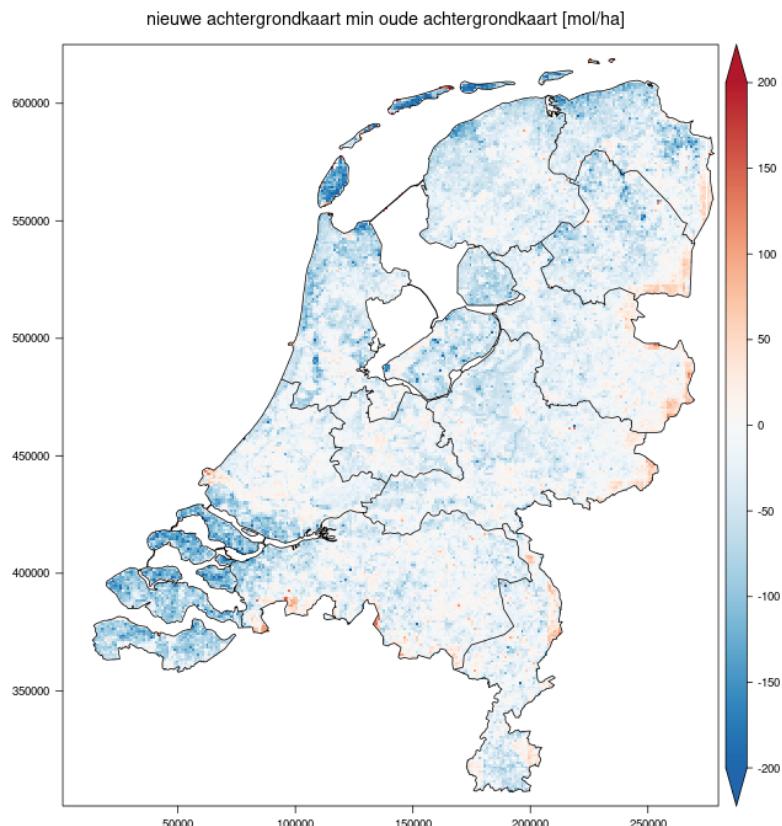
Het OPS-model gebruikt twee typen kaarten voor het berekenen van diverse processnelheden. Het eerste type bestaat uit informatie uit het EMEP-model, met conversiefactoren voor de directe omzetting van een stof in secundair materiaal. Naast de jaarlijkse actualisatie is de informatie uitgebreid met de data voor de jaren 2018 en 2022 tot en met 2030. Hierbij is telkens de emissie uit het specifieke jaar gecombineerd met gemiddelde weersomstandigheden. Het tweede type gebruikt achtergrondconcentraties voor het berekenen van uitwascoëfficiënten in de wolken van SO₂ en NO_x (natte depositie), en voor de berekening van een aantal parameters die zijn gerelateerd zijn aan de droge depositie van NO_x en NH₃, onder meer de gewasweerstand voor NO_x en de compensatiepunten voor NH₃ (Sauter et al., 2020). De achtergrondkaarten zijn vernieuwd.

De productie van nieuwe achtergrondkaarten is in principe een bekend proces, aangezien een achtergrondkaart niet wezenlijk verschilt van de kaart zoals die in het GCN/GDN-proces jaarlijks wordt gemaakt. Een verandering in de achtergrondkaart beïnvloedt echter het resultaat van de kaart weer, waardoor deze procedure een aantal keren moet worden herhaald. Deze herhaling maakt de berekening erg rekenintensief, hetgeen ertoe heeft geleid dat de update van de achtergrondkaart een aantal jaren is uitgesteld.

De achtergrondconcentraties hebben vooral invloed op de compensatiepunten voor NH₃. Hierbij geldt dat een hoger compensatiepunt ertoe leidt dat NH₃ minder makkelijk kan deponeren, en de depositiesnelheid dus afneemt. OPS gebruikt de NH₃-concentratie uit de achtergrondkaart om de compensatiepunten voor NH₃ voor heel Nederland te bepalen.

De impact van de nieuwe achtergrondconcentraties is vooral zichtbaar in de NH₃-concentraties en de NH_x-depositie. De effecten op de NO_x en

SO_x-componenten zijn zeer klein. In figuur 6.2 is het effect op de droge depositie van ammoniak weergegeven voor het jaar 2030. Het gemiddelde effect voor Nederland bedraagt ongeveer 30 mol (2,5%) op de gemodelleerde NH_x-depositie. Verschillen in de berekende depositie per provincie variëren van 8% in Zeeland (70 mol/ha/jr) tot 1% in Overijssel (14 mol/ha/jr).



Figuur 6.2 Effect van de aanpassing van de achtergrondkaart op de droge depositie van NH₃ voor het jaar 2030. De veranderingen zijn in mol/ha/jr weergegeven.

6.3

Verandering model input: ruimtelijke verdeling emissies buitenland

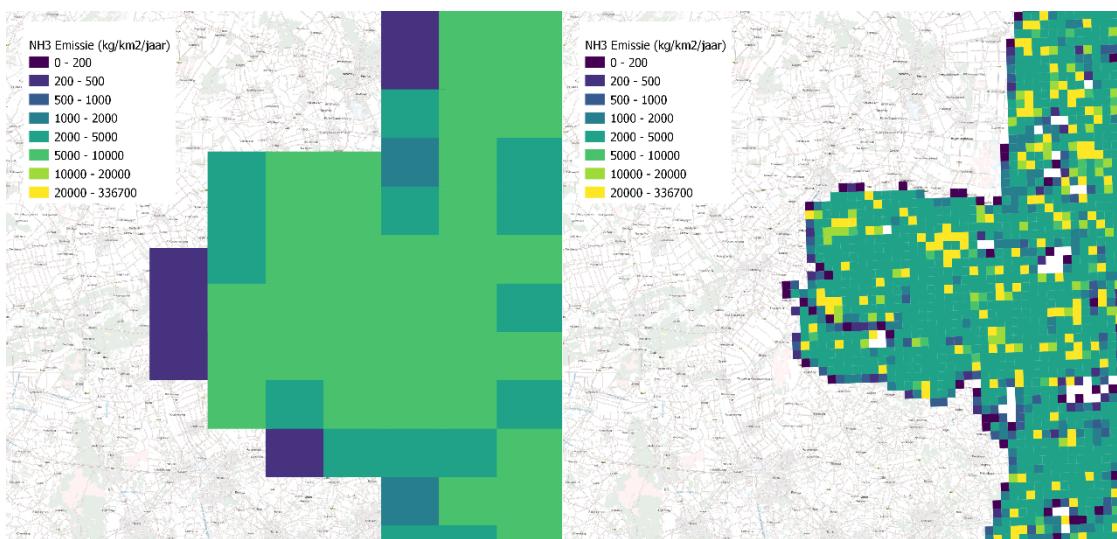
Een belangrijk onderdeel van concentratie- en depositierekeningen is de bijdrage die wordt veroorzaakt door buitenlandse bronnen. De locaties van emissies (de ruimtelijke verdeling) in het buitenland zijn geactualiseerd. Er wordt nu gebruik gemaakt van recentere gegevens uit de CAMS-database in een beter toepasbare sectorale indeling. Voor Duitsland zijn meer gedetailleerde gegevens van het Duitse Umwelt Bundesamt gebruikt. In de volgende ronde liggen ook voor België gedetailleerdere gegevens van de Vlaamse Milieu Maatschappij in het verschiet.

Sinds 2017 werd voor de ruimtelijke verdeling van emissies in het buitenland gebruik gemaakt van de MACC III-emissiedataset van TNO (met een resolutie van circa 7x7 km²), met verfijningen van 1x1 km² langs de grens met België en Duitsland. Deze verdeling is steeds hetzelfde gebleven, maar wel werden de emissietotalen elk jaar geactualiseerd om tot een zo actueel mogelijke buitenlandse bijdrage te komen. Dit jaar zijn echter ook de ruimtelijke emissieverdelingen geactualiseerd, omdat hier nieuwe gegevens voor beschikbaar zijn. Het betreft de emissies van de volgende stoffen: ammoniak (NH₃), stikstofoxiden (NO_x), zwaveldioxide (SO₂) en fijnstof (PM₁₀ en PM_{2,5}). Met deze actualisatie wordt overgegaan naar een emissieverdeling op basis van de emissiedatabase CAMS-REGv4.2¹⁰, de opvolger van MACC III. Deze dataset bevat emissies van het jaar 2000 tot en met 2017, op een resolutie van 0,1 x 0,05 graden (circa 6x6 km). Hiervan zijn de emissies uit het meest recente jaar 2017 gebruikt, en omgezet naar bronbestanden op GNFR-sectorniveau. GNFR staat voor *Gridded Nomenclature for Reporting*, en is een aggregaat van de standaardindeling die in bredere context door Europese landen wordt gebruikt in de rapportage van nationale emissies. De GNFR-indeling sluit dan ook beter aan bij de landenrapportages dan de hiervoor gebruikte sectorindeling SNAP.

Met name de emissies langs de grens hebben een grote invloed op concentraties en deposities in Nederland. Daarom is het van belang de emissielocaties zo gedetailleerd mogelijk te hebben. Voor Duitsland en België is er daarom voor gekozen een andere, meer gedetailleerde dataset te gebruiken. Voor Duitsland zijn de emissies uit de GRETA-emissietool van het Duitse Umwelt Bundesamt (UBA) gebruikt¹¹. Deze zijn op een resolutie van 1x1 km op GNFR-niveau beschikbaar, met 2019 als meest recente jaar. In figuur 6.3 is als voorbeeld de verfijning bij de grens van Drenthe/Overijssel met Duitsland geïllustreerd.

¹⁰ <https://essd.copernicus.org/preprints/essd-2021-242/>. Kuenen, J., Dellaert, S., Visschedijk, A., Jalkanen, J.-P., Super, I., and Denier van der Gon, H.: CAMS-REG-v4: a state-of-the-art high-resolution European emission inventory for air quality modelling, Earth Syst. Sci. Data Discuss. [preprint], <https://doi.org/10.5194/essd-2021-242>, in review, 2021.

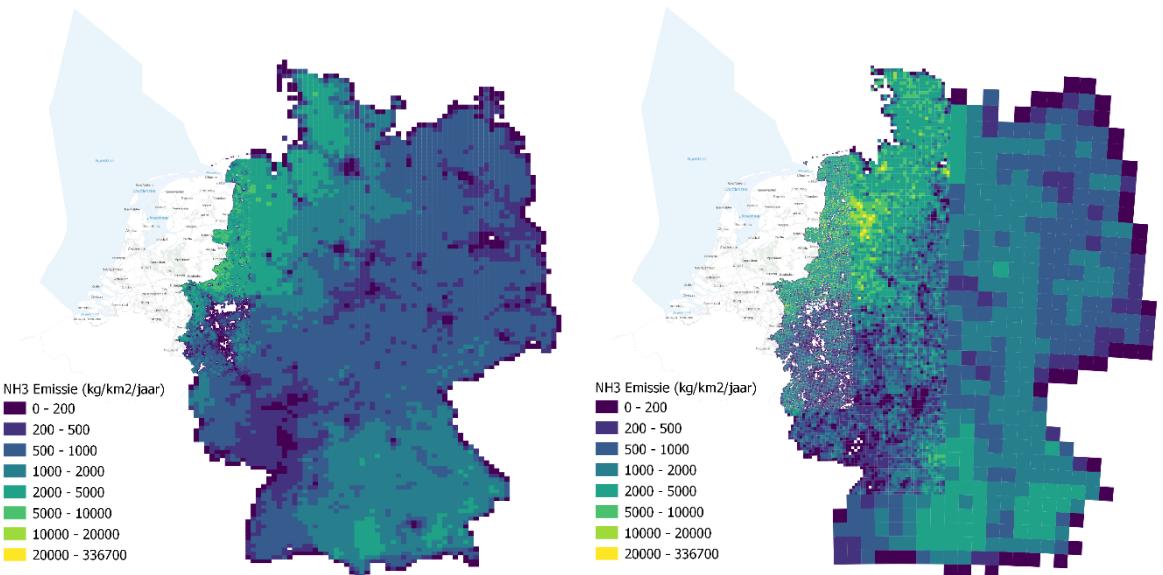
¹¹ <https://www.umweltbundesamt.de/deutschland-karten-zu-luftschadstoff-daten#undefined>



Figuur 6.3 Voorbeeld van het effect van de verfijning van de NH₃-emissies langs de grens met Duitsland. Links de dataset op 6x6 km² van CAMS, rechts de verfijnde set op 1x1 km² van UBA.

De Vlaamse Milieu Maatschappij (VMM) registreert de Belgische emissies op vergelijkbare wijze als de UBA voor Duitsland. De VMM gebruikt op dit moment nog een eigen emissie-indeling, die niet goed correspondeert met de GNFR-sectoren. Vanaf volgend jaar zijn de Belgische emissies echter wel op GNFR-sector niveau beschikbaar. Hierdoor is de verwachting dat we volgend jaar, net als voor Duitsland, voor België beschikken over een emissieverdeling met een resolutie van 1x1 km. In de tussentijd zal voor België nog de bestaande emissieverdeling worden gebruikt.

Om de rekentijd te beperken, zijn emissies op steeds grotere afstanden van Nederland geaggregeerd naar steeds grotere gridcellen. In figuur 6.4 is met een voorbeeld van Duitse ammoniakemissies uit de landbouw geïllustreerd hoe de emissieverdeling is gewijzigd ten opzichte van de verdeling van vorig jaar. De emissies volgens de nieuwe Duitse emissieverdeling zijn exacter, terwijl de emissies volgens de oude verdeling over een groter gebied waren verspreid (zie figuur 6.5).



Figuur 6.4 Voorbeeld van de ruimtelijke verdeling van ammoniakemissies van Duitsland uit de landbouwsector. Links de oude situatie en rechts de nieuwe situatie. Beide verdelingen hebben dezelfde totale emissie.



Figuur 6.5 Ingezoomd detail van figuur 6.4 op de grens tussen Drenthe en Duitsland, ten zuiden van Schoonebeek. De NH₃-emissies (in kg/km²/jaar) zijn tevens toegevoegd in de emissiecellen. Links de oude ruimtelijke verdeling en rechts de nieuwe. In dit voorbeeld is te zien dat de emissies in de nieuwe gegevens exacter zijn gelokaliseerd in de gele vlakken waarin ook de grote stalsystemen aanwezig zijn.

De effecten van deze actualisatie verschillen per stof. De grootste effecten in berekende concentraties en deposities vinden plaats vlak bij de grens met Duitsland. Er vinden zowel toenames als afnames plaats. De effecten voor NH₃ beperken zich met name tot dicht bij de Duitse grens (figuur 6.4, links). Landelijk gemiddeld leidt de actualisatie tot een toename in concentratie van 0,02 µg NH₃/m³, maar lokaal variëren de verschillen tussen -10 en +30 µg NH₃/m³. Het effect op NOx-concentraties reikt verder en blijkt voornamelijk een daling te zijn:

landelijk gemiddeld een daling van $0,14 \mu\text{g NO}_x/\text{m}^3$, met lokale verschillen tussen $-4,5$ en $+4 \mu\text{g NO}_x/\text{m}^3$. De actualisatie van de buitenland-emissieverdeling leidt verder tot een landelijk gemiddelde toename in stikstofdepositie van $7,9 \text{ mol}/\text{ha/jaar}$. Ook hiervoor geldt dat lokale verschillen langs de grens met Duitsland groter zijn.

De gridcellen met een verschil in stikstofdepositie van meer dan $1.000 \text{ mol}/\text{ha/jaar}$ zijn in detail bekeken. Deze grote depositieverschillen treden op in gridcellen die deels in het buitenland liggen, en waarin veel landbouwemissies plaatsvinden. Omdat de nieuwe gegevens de emissielocaties exacter beschrijven (figuur 6.5), geeft dit in de direct aangrenzende regio's grote verschillen omhoog en omlaag. Omdat de emissies exacter in beeld zijn, geeft dit een betere weergave van de concentratie en depositie. Daarnaast is de ligging van het buitenlandse emissiegrid iets verschoven, doordat een ander coördinatensysteem is gebruikt. Ook dit geeft op en tegen de grens veranderingen in berekende concentratie en depositie.

6.4 Kalibratiemethode: elementair koolstof (roet)

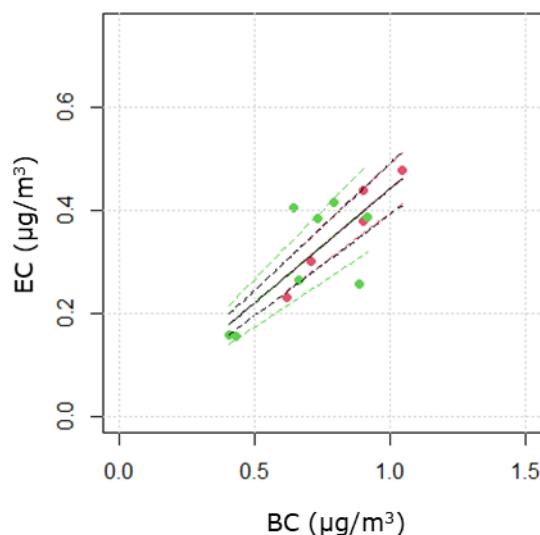
De berekende concentraties van elementair koolstof (EC; *elementary carbon*) worden dit jaar voor het eerst gekalibreerd aan metingen. De kalibratie vindt plaats op basis van metingen van zwarte koolstof (BC; *black carbon*), omdat de concentratie EC momenteel niet wordt gemeten in Nederland. Dit is mogelijk door de sterke correlatie tussen EC- en BC-concentraties. De concentratie BC wordt binnen het luchtmeetnet op zeventien achtergrondstations gemeten met *multi-angle absorption photometers* (MAAP).

In 2016 is op tien achtergrondstations over een periode van enkele maanden zowel BC (zoals gemeten door het MAAP-instrument) als EC (zoals gedefinieerd in het EUSAAR-protocol) gemeten. Daarnaast zijn BC en EC over de periode 2017-2019 gemeten op LML-station NL10644 nabij Cabauw (type regionale achtergrond). Figuur 6.6 toont de concentraties EC en BC van de meetcampagne in 2016, gemiddeld per station, en op station Cabauw, gemiddeld per jaar. Middels lineaire regressie door de oorsprong is een hellinggetal verkregen van $0,44$ (95% betrouwbaarheidsinterval: $0,39$ - $0,49$). Met andere woorden, het vermenigvuldigen van de gemeten BC-concentratie met een factor van $0,44$ geeft de beste schatting voor de EC-concentratie. De verkregen factor bleek niet significant te verschillen tussen regionale en stadsachtergrondstations. Daarnaast kon geen significante temporele trend worden gevonden in de verhouding EC:BC zoals gemeten op station Cabauw in 2017-2019. Gegeven de beschikbare data lijkt het vermenigvuldigen van de BC-concentratie met een factor van $0,44$ daarmee een robuuste methode voor het verkrijgen van EC-concentraties op Nederlandse achtergrondstations.

De geschatte EC-concentraties op de zeventien achtergrondstations waar momenteel BC wordt gemeten, zijn gebruikt om de berekende EC-concentraties te kalibreren. De prestatie van verschillende regressiemethoden is bepaald door middel van *leave-one-out* crossvalidatie. Hieruit blijkt dat voor zowel diagnosekaarten (1 jaar aan

model- en meetdata) als prognosekaarten (5 jaar aan data) een combinatie van een bijtelling en een correctiefactor het beste resultaat geeft (zie tabel 6.1, groene waarden). Uit deze analyse blijkt dat de onzekerheid van de gekalibreerde diagnosekaart gelijk is aan ongeveer $0,035 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (1 sigma). De gekalibreerde prognosekaart heeft een onzekerheid van ongeveer $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$. In deze onzekerheidsschattingen wordt geen rekening gehouden met eventuele systematische onzekerheden, bijvoorbeeld als gevolg van de hierboven besproken EC:BC-conversie.

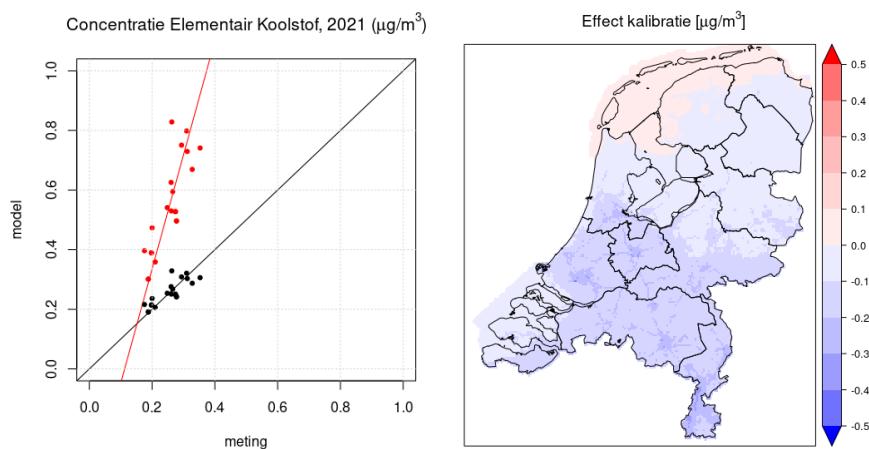
Figuur 6.7 toont het effect van de kalibratie op de GCN-kaart voor elementair koolstof voor 2021. Gemiddeld daalt de EC-concentratie met $0,20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ boven land als gevolg van de kalibratie. De concentratie in de EC-prognosekaart van 2030 daalt met gemiddeld $0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$ boven land.



Figuur 6.6 Jaargemiddelde concentraties zwarte koolstof (BC) en elementair koolstof (EC), gemeten op regionale - (groen) en stadsachtergrondstations (rood). De onderbroken lijnen geven de 95% betrouwbaarheidsintervallen van lineaire regressie door de oorsprong op basis van de subsets (rood en groen) en op basis van de gehele dataset (zwart).

Tabel 6.1 Prestatie van verschillende regressiemodellen in termen van Root Mean Squared Error (RMSE, lager is beter), op basis van 1 jaar (diagnosekaart) en op basis van 5 jaar (prognosekaart) aan metingen en modelruns. EC_{mod} en EC_{obs} zijn de gemodelleerde en gemeten concentraties elementair koolstof op de luchtmeetnetstations, en x en y geven de locatie van de metingen (RD-coördinaten). Parameters a , b , c en d zijn regressieparameters.

	RMSE ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			
	$EC_{obs} = a + b \cdot EC_{mod}$	$EC_{obs} = a + b \cdot EC_{mod} + cx + dy$	$EC_{obs} = b \cdot EC_{mod}$	$EC_{obs} = a + EC_{mod}$
1 jaar	0,035	0,040	0,045	0,110
5 jaar	0,050	0,051	0,057	0,111



Figuur 6.7 Het effect van de kalibratie op de concentraties elementair koolstof voor 2021. Links: in rood de ongekalibreerde modelresultaten en in zwart de gekalibreerde modelresultaten. Rechts: het verschil tussen ongekalibreerde en gekalibreerde resultaten. Een negatief getal betekent dat de gemodelleerde concentratie daalt na het toepassen van de kalibratie aan de metingen.

Literatuur

- Boulter, P.G. en T. Barlow (2002), 'Road traffic characteristics, driving patterns and emission factors for congested situations', TRL, Wokingham; Delft: TNO.
- Buijsman, E. (2008), 'De bijdrage van niet-gemodelleerde bronnen aan de verzurende en ver mestende depositie', PBL-rapport 550039001, Bilthoven: Planbureau voor de Leefomgeving.
- IIASA (2021), Amann *et al.*, REPORT FROM THE COMMISSION TO THE EURO EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS THE SECOND CLEAN AIR OUTLOOK, [EU Second Clean Air Outlook underpinned by analysis using IIASA's GAINS model - 2021 News - IIASA](#).
- CEIP (2021), 'UNECE/CEIP, WebDab emission database', www.ceip.at geraadpleegd in december 2021.
- Dröge, R., J.H.J. Hulskotte, A.J.H. Visschedijk, B.I. Jansen en D.C. Heslinga (2010), 'Verbetering en onderbouwing van de emissiekarakteristieken van individueel en collectief geregistreerde bronnen', TNO-rapport, TNO-034-UT-2010-01108_RPT-ML.
- Hammingh, P. *et al.* (2020), 'Klimaat en Energie Verkenning 2020', Den Haag: Planbureau voor de leefomgeving.
- Hoogerbrugge, R., P.L. Nguyen, J. Wesseling, M. Schaap, R.J. Wichink Kruit, V. Kamphuis, A.M.M. Manders, E.P. Weijers (2012), 'Assessment of the level of sea salt in PM10 in the Netherlands: Yearly average and exceedance days', RIVM Rapport 680704014, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Hoogerbrugge, R., G.P. Geilenkirchen, H.A. den Hollander, K. Siteur, W. Smeets, E. van der Swaluw, W.J. de Vries, R.J. Wichink Kruit (2021), 'Grootschalige concentratie- en depositiekaarten Nederland, Rapportage 2021', RIVM Rapport 2021-0068, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Hoogerbrugge, R., *et al.* (2022), 'Uncertainty estimates of the determination of the nitrogen deposition calculations in the Netherlands Status report 2022', RIVM Rapport, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Kuenen, J., Dellaert, S., Visschedijk, A., Jalkanen, J.-P., Super, I., and Denier van der Gon, H. (2021), 'CAMS-REG-v4: a state-of-the-art high-resolution European emission inventory for air quality modelling', Earth Syst. Sci. Data Discuss., <https://essd.copernicus.org/preprints/essd-2021-242/>, <https://doi.org/10.5194/essd-2021-242>, in review.
- Ligterink, N.E. en R. de Lange (2009), 'Refined vehicle and driving-behaviour dependencies in the VERSIT+-emission model', Toulouse, Frankrijk: ETTAP 2009 Symposium.
- Ligterink, N.E., G. Geilenkirchen, E. van Eijk & J.M. de Ruiter (2021), 'Emissiefactoren wegverkeer: wijzigingen en uitbreidingen 2021', Den Haag: TNO.
- LML, 'Landelijk meetnet luchtkwaliteit' (2021), Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

- MAN, 'Meetnet ammoniak in natuurgebieden' (2021), Bilthoven:
Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu,
<http://www.rivm.nl/man>.
- Matthijzen, J., H.M. ten Brink (2007), 'PM_{2.5} in the Netherlands,
Consequences of new European air quality standards', MNP-rapport
500099001, Bilthoven: Milieu- en Natuurplanbureau.
- PBL, TNO, CBS en RIVM (2021), 'Klimaat- en Energieverkenning 2021',
Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Ruyssenaars P.G., M.E. Gerlofs-Nijland, J. Hoekstra, M. Huitema, R.J.M.
Maas, W. de Vries (2022), 'Monitoringsrapportage Doelbereik
Schone Lucht Akkoord, Eerste voortgangsmeting', RIVM-rapport
2021-0114, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en
Milieu.
- Sauter, F., M. van Zanten, E. van der Swaluw, J. Aben, F. de Leeuw,
H. van Jaarsveld (2018), 'The OPS-model. Description of OPS
4.5.2', Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu,
<https://www.rivm.nl/media/ops/v4.5.2/OPS-model-v4.5.2.pdf>.
- Sauter, F., M. Sterk, E. van der Swaluw, R. Wichink Kruit, W. de Vries,
A. van Pul (2020), 'The OPS-model. Description of OPS 5.0.0.0',
Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu,
[Uitgebreide modelbeschrijving van OPS versie 5.0.0.0 | RIVM](#).
- Smeets, W., et al. (2020), 'Emissieramingen luchtverontreinigende
stoffen. Rapportage bij de Klimaat en Energieverkenning 2020,
Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Spreen, J.S., G. Kadijk, R.J. Vermeulen, V.A.M. Heijne, N.E. Ligterink, U.
Stelwagen, R.T.M. Smokers, P.J. van der Mark & G. Geilenkirchen
(2016), 'Assessment of road vehicle emissions: methodology of
the Dutch in-service testing programmes, Delft: TNO.
- Velders, G.J.M., J.M.M. Aben, B.A., G.P. Geilenkirchen, H.A. den
Hollander, E. van der Swaluw, W.J. de Vries, M.C. van Zanten
(2016), 'Grootschalige concentratie- en depositiekaarten
Nederland, Rapportage 2016', RIVM Rapport 2016-0068,
Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.
- Wichink Kruit, Roy, Miranda Braam, Ronald Hoogerbrugge, Addo van Pul
(2020) 'Implementation of a data fusion approach to assess the
concentration and dry deposition of ammonia in the Netherlands'
RIVM Rapport 2020-0076, Bilthoven: Rijksinstituut voor
Volksgezondheid en Milieu.

Bijlage 1 Nederlandse emissies in de scenario's

In de tabellen B1.1 tot en met B1.6 staan de Nederlandse emissies van NO_x, primair PM₁₀, PM_{2,5}, SO₂ en NH₃ zoals gebruikt in de diagnose en de verschillende scenario's.

Tabel B1.1 Nederlandse emissies (miljoen kilogram) voor 2020 zoals gebruikt voor de GCN-berekeningen voor de kaarten van 2021³

	NO_x	PM₁₀	PM_{2,5}	SO₂	NH₃
Industrie	21,4	6,3	3,5	9,2	1,6
Raffinaderijen	4,4	0,2	0,1	7,2	0,0
Energiesector	12,6	0,1	0,1	1,6	0,2
Afvalverwerking	3,5	0,1	0,0	0,3	0,6
Verkeer ¹	116,1	5,4	3,2	0,5	3,9
Landbouw	34,8	5,6	0,7	0,1	108,6
Huishoudens	7,7	7,5	7,2	0,4	6,6
HDO en bouw	3,4	2,1	0,6	0,1	3,0
Zeescheepvaart	107,2	2,7	2,6	3,5	0,0
Totaal²	204,0	27,2	15,4	19,4	124,4

1. Voor NO_x op basis van de gebruikte brandstof. Wijkt af van EU-definitie, omdat NO_x uit verkeer daarin is gebaseerd op de hoeveelheid verkochte brandstof.

2. Totaal van de NEC-categorieën, dus exclusief zeescheepvaart.

3. Bijdragen zijn gebaseerd op ER 2020, aangevuld met 18% extra toename voor luchtvaart (zie hoofdstuk 3).

Tabel B1.2 Nederlandse NO_x-emissies (miljoen kilogram) gebruikt in de scenario's

	Oude raming van GCN-2020	Huidige ramingen		
		Referentie Raming ²	Onderkant onzekerheid	Referentie -raming ²
2025				
Industrie	24,4			22,7
Raffinaderijen	3,4			3,5
Energiesector	9,8			12,9
Afvalverwerkin g	3,9			3,3
Verkeer	99,0			98,0
Landbouw ³	6,3			32,1
Huishoudens	5,4			7,0
HDO en bouw	3,1			3,4
Zeescheepvaart	85,6			91,4
Totaal¹	155,3			182,8
2030				
Industrie	23,6	19,0	22,3	25,1
Raffinaderijen	3,1	2,8	3,3	3,7
Energiesector	5,3	5,0	7,4	8,7
Afvalverwerkin g	3,9	2,8	3,3	3,7
Verkeer	78,7	73,7	84,2	97,7
Landbouw ³	6,3	29,9	31,7	32,4
Huishoudens	4,4	5,3	6,0	6,8
HDO en bouw	2,7	2,6	2,8	3,1
Zeescheepvaart	73,8	69,2	79,1	91,8
Totaal¹	128,0			161,0

1. Totaal van de NEC-categorieën, dus exclusief zeescheepvaart. Totalen zijn niet weergegeven voor de onder- en bovenkant, omdat die niet zonder meer kunnen worden opgeteld.

2. Inclusief vastgesteld beleid.

3. Exclusief natuurlijke emissies.

Tabel B1.3 Nederlandse primair PM₁₀-emissies (miljoen kilogram) gebruikt in de scenario's

	Oude raming van GCN-2020 Referentie- raming	Huidige ramingen		
		Onderkant onzekerheid	Referenti e-raming ²	Bovenkant onzekerheid
2025				
Industrie	7,5		7,1	
Raffinaderijen	0,2		0,2	
Energiesector	0,2		0,2	
Afvalverwerking	0,0		0,1	
Verkeer	5,0		5,0	
Landbouw	5,5		5,4	
Huishoudens ³	3,3		5,7	
HDO en bouw	2,2		2,3	
Zeescheepvaart	2,6		2,7	
Totaal¹	23,9		25,9	
2030				
Industrie	7,6	6,7	7,2	7,7
Raffinaderijen	0,2	0,2	0,2	0,2
Energiesector	0,0	0,1	0,1	0,1
Afvalverwerking	0,1	0,1	0,1	0,1
Verkeer	4,5	4,1	4,7	5,2
Landbouw	5,1	5,0	5,0	5,2
Huishoudens ³	3,1	4,8	5,2	5,7
HDO en bouw	2,3	2,1	2,2	2,4
Zeescheepvaart	2,5	2,2	2,5	2,8
Totaal¹	23,0		24,7	

1. Totaal van de NEC-categorieën, dus exclusief zeescheepvaart. Totalen zijn niet weergegeven voor de onder- en bovenkant, omdat die niet zonder meer kunnen worden opgeteld.

2. Inclusief vastgesteld beleid.

3. Inclusief condensables.

Tabel B1.4 Nederlandse primair PM_{2,5}-emissies (miljoen kilogram) gebruikt in de scenario's

Referentie- raming	Oude raming van GCN-2020	Huidige ramingen		
		Onderkant onzekerheid	Referenti- e-raming ²	Bovenkant onzekerheid
2025				
Industrie	4,0		3,8	
Raffinaderijen	0,2		0,2	
Energiesector	0,2		0,2	
Afvalverwerking	0,0		0,1	
Verkeer	3,1		2,4	
Landbouw	0,6		0,6	
Huishoudens ³	3,4		5,5	
HDO en bouw	0,7		0,7	
Zeescheepvaart	2,6		2,5	
Totaal¹	12,1		13,4	
2030				
Industrie	4,1	3,6	3,8	4,1
Raffinaderijen	0,2	0,2	0,2	0,2
Energiesector	0,0	0,1	0,1	0,1
Afvalverwerking	0,0	0,1	0,1	0,1
Verkeer	2,0	1,8	2,1	2,4
Landbouw	0,6	0,6	0,6	0,6
Huishoudens ³	3,0	4,6	5,0	5,5
HDO en bouw	0,7	0,6	0,7	0,8
Zeescheepvaart	2,3	2,0	2,4	2,7
Totaal¹	10,7		12,5	

1. Totaal van de NEC-categorieën, dus exclusief zeescheepvaart. Totalen zijn niet weergegeven voor de onder- en bovenkant, omdat die niet zonder meer kunnen worden opgeteld.

2. Inclusief vastgesteld beleid.

3. Inclusief condensables.

Tabel B1.5 Nederlandse SO₂-emissies (miljoen kilogram) gebruikt in de scenario's

	Oude raming van GCN-2020	Huidige ramingen		
		Onderkant onzekerheid	Referenti-e- rasing ²	Bovenkant onzekerheid
2025				
Industrie	11,0		10,3	
Raffinaderijen	11,1		10,0	
Energiesector	2,2		2,1	
Afvalverwerking	0,6		0,3	
Verkeer	0,5		0,6	
Landbouw	0,1		0,1	
Huishoudens	0,4		0,4	
HDO en bouw	0,2		0,2	
Zeescheepvaart	5,1		4,6	
Totaal¹	26,1		24,0	
2030				
Industrie	11,2	7,2	10,5	11,4
Raffinaderijen	11,1	7,1	10,4	11,2
Energiesector	0,9	0,6	0,9	1,1
Afvalverwerking	0,6	0,2	0,3	0,3
Verkeer	0,5	0,4	0,6	0,7
Landbouw	0,3	0,1	0,1	0,1
Huishoudens	0,4	0,4	0,4	0,4
HDO en bouw	0,1	0,1	0,2	0,3
Zeescheepvaart	5,1	3,4	4,5	5,3
Totaal¹	25,3		23,4	

1. Totaal van de NEC-categorieën, dus exclusief zeescheepvaart. Totalen zijn niet weergegeven voor de onder- en bovenkant, omdat die niet zonder meer kunnen worden opgeteld.

2. Inclusief vastgesteld beleid.

Tabel B1.6 Nederlandse NH₃-emissies (miljoen kilogram) gebruikt in de scenario's

	Oude raming van GCN-2020	Huidige ramingen		
		Onderkant onzekerheid	Referenti-e-raming ²	Bovenkant onzekerheid
2025				
Industrie	1,6		1,8	
Raffinaderijen	0,0		0,0	
Energiesector	0,0		0,1	
Afvalverwerking	0,5		0,5	
Verkeer	5,1		5,1	
Landbouw	103,8		104,4	
Huishoudens	10,6		7,1	
HDO en bouw	0,6		0,6	
Zeescheepvaart	0,0		0,0	
Totaal¹	122,2		122,7	
2030				
Industrie	1,6	1,7	1,9	2,1
Raffinaderijen	0,0	0,0	0,0	0,0
Energiesector	0,0	0,1	0,1	0,1
Afvalverwerking	0,5	0,6	0,6	0,6
Verkeer	5,6	4,8	5,5	6,6
Landbouw	101,0	94,0	102,0	105,8
Huishoudens	10,7	6,8	7,3	7,8
HDO en bouw	0,6	4,3	4,6	4,9
Zeescheepvaart	0,0	0,0	0,0	0,0
Totaal¹	120,1		122,0	

1. Totaal van de NEC-categorieën, dus exclusief zeescheepvaart. Totalen zijn niet weergegeven voor de onder- en bovenkant, omdat die niet zonder meer kunnen worden opgeteld.

2. Inclusief vastgesteld beleid.

Bijlage 2 SRM-emissiefactoren

TNO en het PBL (Planbureau voor de Leefomgeving) berekenen jaarlijks een set emissiefactoren voor het huidige en toekomstige wegverkeer in Nederland. Deze emissiefactoren worden vastgesteld en voor eenduidig gebruik op de website van de Rijksoverheid gepubliceerd. De emissiefactoren geven voor een gemiddelde verkeersstroom de uitstoot per gereden kilometer van een aantal luchtverontreinigende stoffen. Er worden emissiefactoren vastgesteld voor drie typen wegen: wegen binnen de bebouwde kom, snelwegen en overige wegen buiten de bebouwde kom (buitenwegen). Binnen die wegtypen wordt nader onderscheid gemaakt naar snelheidsregimes en niveaus van verkeersafwikkeling (doorstromend, stagnerend). De emissiefactoren worden berekend door weging van een groot aantal onderliggende emissiefactoren voor allerlei typen voertuigen. Deze onderliggende emissiefactoren worden door TNO berekend met het VERSIT+-model (Ligterink en De Lange, 2009), en zijn gebaseerd op meetprogramma's waarbij voertuigen op de weg worden getest. Dit wordt toegelicht in Spreen et al. (2016). De weging vindt plaats op basis van voertuigmileages per voertuigtype (als proxy voor de samenstelling van het verkeer op de weg), afkomstig van het CBS (realisaties) en uit de Klimaat- en Energieverkenning (prognoses).

De emissiefactoren dienen als invoer voor verspreidingsmodellen, waarmee de bijdrage van het wegverkeer aan de concentraties van luchtverontreinigende stoffen nabij verkeerswegen kan worden berekend. Conform de Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit 2007 worden de emissiefactoren jaarlijks vóór 15 maart openbaar gemaakt door het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW). De Regeling Beoordeling Luchtkwaliteit 2007 bevat twee standaardrekenmethoden (SRM1 en SRM2) voor de berekening van concentraties van luchtverontreinigende stoffen nabij verkeerswegen. Als implementatie van SRM1 en SRM2 zijn modellen ontwikkeld die de effecten berekenen van de emissies van het wegverkeer op de lokale luchtkwaliteit. Deze modellen maken gebruik van de emissiefactoren van TNO en PBL. De emissiefactoren worden daarom aangeduid als de SRM-emissiefactoren.

Deze bijlage beschrijft de SRM-emissiefactoren die in maart 2022 zijn gepubliceerd door het RIVM en IenW. De factoren zijn berekend door TNO en PBL. Net als vorig jaar zijn er emissiefactoren vastgesteld voor stikstofoxiden (NO_x), stikstofdioxide (NO_2)¹², fijnstof (PM_{10} en $\text{PM}_{2,5}$) en elementair koolstof (EC). Tevens zijn emissiefactoren vastgesteld voor ammoniak (NH_3), voor gebruik bij berekeningen van de stikstofdepositie.

In tegenstelling tot de GCN- en GDN-kaarten zijn de SRM-emissiefactoren van dit jaar gebaseerd op wagenparkprognoses uit de KEV 2021 (PBL et al., 2021). De KEV 2021 bevat geen nieuwe prognoses voor de uitstoot van luchtverontreinigende stoffen. Daarom zijn de GCN- en GDN-kaarten gebaseerd op de prognoses uit de KEV 2020. De KEV 2021 bevat echter

¹² De fractie van NO_x die rechtstreeks als NO_2 wordt geëmitteerd.

wel nieuwe prognoses voor de samenstelling van het wagenpark. Deze prognoses zijn gebaseerd op het vastgestelde beleid, zoals dat per 1 mei 2021 gold. Omdat deze prognoses actueler zijn dan die uit de KEV 2020, hebben PBL en TNO in overleg met de ministeries van IenW en LNV besloten deze wagenparkprojecties te gebruiken als basis voor de SRM-emissiefactoren van 2022. De onderliggende gegevensbasis van de SRM-emissiefactoren wijkt daarmee af van die van de GCN- en GDN-kaarten. Hieronder worden de belangrijkste verschillen in (beleids)uitgangspunten en resultaten toegelicht.

De KEV 2021 bevat naast de reguliere prognoses voor 2030 voor het eerst ook een indicatief beeld van de emissieontwikkeling tot 2040. Op basis van de wagenparkprojecties die onder deze doorkijk naar 2040 liggen, zijn dit jaar SRM-emissiefactoren voor 2035 en 2040 bepaald. Deze emissiefactoren hebben net als de emissietotalen voor die jaren een indicatief karakter. De ontwikkeling na 2030 wordt vooral door autonome of exogene ontwikkelingen bepaald. Er was op 1 mei 2021 nog weinig concreet beleid voor die periode.

De emissiefactoren van wegverkeer voor wegen binnen de bebouwde kom en buitenwegen (SRM1) worden gepresenteerd in tabel B2.1. De emissiefactoren van wegverkeer voor snelwegen (SRM2) worden gepresenteerd in tabel B2.2. De emissiefactoren kunnen worden gedownload via www.rivm.nl/gcn.

Wijzigingen ten opzichte van de vorige GCN-ronde

De SRM-emissiefactoren 2022 wijken op een aantal punten af van die van vorig jaar. De belangrijkste wijzigingen zijn:

- Nieuwe prognoses wagenpark: *de prognoses voor de toekomstige samenstelling van het wagenpark in Nederland zijn integraal overgenomen uit de KEV 2021, en zijn daarmee gebaseerd op het vastgestelde beleid per 1 mei 2021. In de KEV 2021 is - met name bij het bestel- en vrachtautoverkeer- een snellere instroom van elektrische voertuigen geraamd dan in de KEV 2020 was voorzien, onder meer omdat de in het Klimaatakkoord afgesproken invoering van milieuzones voor stadslogistiek in de KEV 2021 is meegenomen. Ook de instroom van elektrische bussen is hoger geraamd dan in 2020, omdat in meer concessies is voorzien in het gebruik van deze bussen (zie ook hieronder). Dit leidt ertoe dat de SRM-emissiefactoren voor de prognosejaren 2025 en 2030 lager uitvallen dan vorig jaar was berekend.*
- Veroudering Euro-6 benzineauto's: *uit onderzoek van TNO blijkt dat ook bij Euro-6 benzineauto's de NO_x-emissies na verloop van tijd toenemen door veroudering van de driewegkatalysator. Dit probleem was eerder al geconstateerd bij eerdere generaties benzineauto's. Door strengere regelgeving voor de levensduur van de technologie is het probleem bij Euro-6 auto's minder groot dan bij eerdere generaties, maar desalniettemin is er sprake van enige veroudering, en daarmee van hogere emissies bij lang gebruik (hoge kilometerstanden).*
- Vastgesteld beleid: *de SRM-emissiefactoren zijn gebaseerd op een beleidsvariant waarin alleen het vastgestelde beleid per 1 mei 2021 is meegenomen. De keuze om alleen vastgesteld beleid*

mee te nemen, heeft vooral invloed op de emissiefactoren voor autobussen en zwaar verkeer. In de KEV 2021 is in de beleidsvariant met voorgenomen beleid namelijk een sterke groei geraamd van elektrische lijnbussen. Deze groei is het gevolg van de afspraken uit het Bestuursakkoord Zero Emissie Busvervoer. Bij vastgesteld beleid zijn alleen de elektrische bussen meegenomen uit de per 1 mei 2021 reeds verleende concessies en de bestaande afspraken over inzet van elektrische bussen in de komende jaren. Ook de voorgenomen invoering van de vrachtautoheffing en bijbehorende terugsluizing van de opbrengsten ten behoeve van verduurzaming van de sector is niet verwerkt in de SRM-emissiefactoren. De instroom van elektrische vrachtauto's valt hierdoor lager uit dan bij voorgenomen beleid.

De KEV 2021 bevat nog geen beleidsvoorstellen uit het Fit-for-55 pakket van de Europese Commissie van juli 2021. In Ligterink et al. (2021) is een doorkijk gegeven van relevante (beleidmatige) ontwikkelingen voor de toekomstige SRM-emissiefactoren.

Tabel B2.1 Algemene emissiefactoren voor SRM1 (stads wegen)

	Licht wegverkeer personen- en bestelauto's en motoren				Middelzwaar wegverkeer vrachtauto's < 20 ton GVW, bussen				Zwaar wegverkeer vrachtauto's > 20 ton GVW, trekkers				Autobussen			
	Stad stagnerend ¹	Stad normaal ²	Stad door- stromend ³	Buitenweg ⁴	Stad stagnerend ¹	Stad normaal ²	Stad door- stromend ³	Buitenweg ⁴	Stad stagnerend ¹	Stad normaal ²	Stad door- stromend ³	Buitenweg ⁴	Stad stagnerend ¹	Stad normaal ²	Stad door- stromend ³	Buitenweg ⁴
NO_x in NO₂-equivalenten (g/km)																
2019	0,419	0,291	0,270	0,213	8,095	4,822	3,118	2,823	9,262	6,174	4,361	4,005	4,648	2,840	2,115	1,640
2025	0,293	0,235	0,223	0,189	4,667	2,418	1,595	1,191	5,249	4,322	3,418	2,906	2,710	1,634	1,243	0,978
2030	0,179	0,147	0,143	0,116	4,614	2,386	1,575	1,144	5,249	4,322	3,418	2,906	2,066	1,233	0,954	0,752
Fractie direct uitgestoten hoeveelheid NO₂																
2019	22%	22%	21%	22%	16%	15%	15%	13%	15%	17%	19%	22%	12%	12%	12%	13%
2025	22%	22%	22%	22%	32%	32%	31%	26%	35%	36%	36%	35%	12%	12%	13%	13%
2030	23%	23%	22%	23%	32%	32%	31%	27%	35%	36%	36%	35%	13%	13%	13%	14%
PM₁₀ verbranding + slijtage naar lucht (g/km)⁵																
2019	0,034	0,032	0,033	0,017	0,210	0,170	0,151	0,099	0,184	0,155	0,141	0,087	0,176	0,136	0,118	0,086
2025	0,030	0,029	0,030	0,015	0,152	0,139	0,133	0,078	0,162	0,142	0,132	0,077	0,141	0,119	0,109	0,072
2030	0,029	0,028	0,029	0,015	0,151	0,138	0,133	0,077	0,162	0,142	0,132	0,077	0,129	0,113	0,106	0,066
PM_{2,5} verbranding + slijtage naar lucht (g/km)																
2019	0,012	0,011	0,011	0,006	0,111	0,071	0,052	0,046	0,087	0,058	0,044	0,036	0,098	0,059	0,041	0,044
2025	0,008	0,008	0,008	0,004	0,052	0,039	0,033	0,026	0,066	0,046	0,036	0,026	0,064	0,042	0,032	0,029
2030	0,007	0,007	0,007	0,004	0,051	0,039	0,033	0,025	0,066	0,046	0,036	0,026	0,051	0,035	0,028	0,024

	Licht wegverkeer personen- en bestelauto's en motoren				Middelzwaar wegverkeer vrachtauto's < 20 ton GVW, bussen			Zwaar wegverkeer vrachtauto's > 20 ton GVW, trekkers			Autobussen					
	Stad stagnerend ¹	Stad normaal ²	Stad door- stromend ³	Buitenweg ⁴	Stad stagnerend ¹	Stad normaal ²	Stad door- stromend ³	Buitenweg ⁴	Stad stagnerend ¹	Stad normaal ²	Stad door- stromend ³	Buitenweg ⁴	Stad stagnerend ¹	Stad normaal ²	Stad door- stromend ³	Buitenweg ⁴
EC (g/km)																
2019	0,005	0,004	0,003	0,002	0,032	0,029	0,024	0,020	0,019	0,015	0,012	0,009	0,027	0,025	0,017	0,022
2025	0,002	0,002	0,001	0,001	0,010	0,008	0,007	0,006	0,008	0,005	0,004	0,003	0,016	0,015	0,011	0,013
2030	0,001	0,001	0,001	0,001	0,009	0,008	0,006	0,005	0,008	0,005	0,004	0,003	0,012	0,012	0,008	0,010
NH3 (g/km) voor gebruik bij de stikstofdepositie																
2019	0,022	0,022	0,022	0,025	0,043	0,043	0,043	0,041	0,076	0,070	0,074	0,072	0,009	0,009	0,009	0,009
2025	0,014	0,014	0,014	0,022	0,068	0,068	0,068	0,067	0,075	0,075	0,075	0,075	0,005	0,005	0,005	0,005
2030	0,010	0,010	0,010	0,021	0,067	0,067	0,067	0,067	0,066	0,075	0,075	0,075	0,094	0,004	0,004	0,004

1. 'Stagnerend stadsverkeer' (beschreven door een gewogen gemiddelde over de OSCAR1 F-, G1- en H2-ritcycli): stadsverkeer met een grote mate van congestie, een gemiddelde snelheid lager dan 15 kilometer per uur, gemiddeld ongeveer 10 stops per afgelegde kilometer. Voor een beschrijving van OSCAR-cycli, zie Boulter en Barlow (2002).

2. 'Normaal stadsverkeer' (beschreven door een gewogen gemiddelde over de OSCAR1 E- en D2-ritcycli): typisch stadsverkeer met een redelijke mate van congestie, een gemiddelde snelheid tussen de 15 en 30 kilometer per uur, gemiddeld ongeveer 2 stops per afgelegde kilometer.

3. 'Doorstromend stadsverkeer' (beschreven door OSCAR1 C-ritcyclus): stadsverkeer met weinig congestie en relatief veel free-flow rijgedrag, een gemiddelde snelheid tussen de 30 en 45 kilometer per uur, gemiddeld ongeveer 1,5 stop per afgelegde kilometer. Vanwege niet-significante verschillen met normaal stadsverkeer gelijk aan 2) verondersteld.

4. 'Buitenweg algemeen' (beschreven door de ritcyclus 'Average Dutch Rural'): typisch buitenwegverkeer, een gemiddelde snelheid van ongeveer 60 kilometer per uur, gemiddeld ongeveer 0,2 stops per afgelegde kilometer.

5. 100% van de PM₁₀-emissie uit uitlaatgassen wordt geëmitteerd naar de lucht.

Tabel B2.2 Emissiefactoren specifiek voor SRM2 (snelwegen)¹

	Licht wegverkeer: personen- en bestelauto's en motoren						Middelzwaar wegverkeer: vrachtauto's < 20 ton GVW, bussen		Zwaar wegverkeer: vrachtauto's > 20 ton GVW, trekkers	
	80 File⁴ km/uur + SH²		80 km/uur	100 km/uur	120 km/uur	130 km/uur	80 File⁴ km/uur³	80 File⁴ km/uur³		
NO_x in NO₂-equivalenten (g/km)										
2019	0,387	0,192	0,229	0,252	0,315	0,350	6,109	2,299	7,592	2,335
2020	0,264	0,171	0,192	0,198	0,227	0,242	4,685	0,960	5,760	1,390
2030	0,151	0,106	0,116	0,116	0,130	0,137	4,645	0,944	5,760	1,390
Fractie direct uitgestoten hoeveelheid NO₂										
2019	23%	22%	23%	23%	23%	23%	20%	14%	24%	21%
2020	23%	22%	23%	22%	23%	23%	33%	26%	36%	35%
2030	27%	21%	22%	22%	22%	23%	33%	26%	36%	35%
PM₁₀ (g/km)										
2019	0,033	0,020	0,020	0,021	0,021	0,022	0,186	0,098	0,171	0,085
2020	0,030	0,017	0,017	0,018	0,018	0,018	0,136	0,084	0,154	0,079
2030	0,029	0,017	0,017	0,017	0,017	0,017	0,135	0,083	0,154	0,079
PM_{2,5} (g/km)										
2019	0,011	0,008	0,009	0,009	0,010	0,010	0,090	0,037	0,078	0,029
2020	0,008	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,044	0,024	0,061	0,022
2030	0,007	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,043	0,023	0,061	0,022

	Licht wegverkeer: personen- en bestelauto's en motoren						Middelzwaar wegverkeer: vrachtauto's < 20 ton GVW, bussen		Zwaar wegverkeer: vrachtauto's > 20 ton GVW, trekkers	
	File ⁴	80 km/uur + SH ²	80 km/uur	100 km/uur	120 km/uur	130 km/uur	File ⁴	80 km/uur ³	File ⁴	80 km/uur ³
EC (g/km)										
2019	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005	0,020	0,013	0,011	0,006
2020	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,006	0,004	0,004	0,002
2030	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005	0,004	0,004	0,002
NH₃ (g/km) voor gebruik bij de stikstofdepositie										
2019	0,037	0,036	0,036	0,037	0,036	0,036	0,041	0,041	0,060	0,060
2020	0,041	0,040	0,041	0,041	0,041	0,041	0,063	0,063	0,076	0,076
2030	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,041	0,063	0,063	0,076	0,076

1. Snelheden staan voor de geldende maximumsnelheid voor het beschouwde wegvak.

2. Maximumsnelheid van 80 kilometer per uur met strenge handhaving.

3. Voor middelzware en zware voertuigen geldt dat de emissiefactoren voor de snelheidsklassen 100, 120 en 130 kilometer per uur gelijk zijn aan de emissiefactoren van de snelheidsklasse 80 kilometer per uur.

4. File is in dit geval gedefinieerd als een intensiteit-capaciteitsverhouding van 0,8 of meer.

RIVM

De zorg voor morgen begint vandaag