



Planbureau voor de Leefomgeving

ACTUALISERING MONETAIRE MILIEUSCHADE

Een verkenning naar de welvaartsverliezen door milieuvervuiling in Nederland in 2022

Sander de Bruyn (PBL)
Herman Vollebergh (Tilburg University)
Joukje de Vries (CE Delft)

Juni 2025

PBL

Colofon

Actualisering monetaire milieuschade

Een verkenning naar de welvaartsverliezen door milieuvervuiling in Nederland in 2022

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2025

PBL-publicatienummer: 5537

Contact

sander.debruyn@pbl.nl

Auteurs

Sander de Bruyn (PBL), Herman Vollebergh (Tilburg University), Joukje de Vries (CE Delft)

Met dank aan

Onze dank gaat uit naar collega's Astrid Martens, Bert Tieben, Corjan Brink, Gerben Geilenkirchen, Marco Hekkert, Jaco Stremler en Winand Smeets voor hun commentaar op een eerdere versie.

In memoriam:

Ter nagedachtenis van Eric Drissen († 2021) die coauteur was van de pilotstudie *Monetaire Milieuschade in Nederland: een verkenning* uit 2018.

Redactie figuren

Beeldredactie PBL

Eindredactie en productie

Simone Langeweg

Toegankelijkheid

Het PBL hecht veel waarde aan de toegankelijkheid van zijn producten. Mocht u problemen ervaren bij het lezen ervan, dan kunt u contact opnemen via info@pbl.nl. Vermeld daarbij s.v.p. de naam van de publicatie en het probleem waar u tegenaan loopt.

Delen uit deze publicatie mogen worden overgenomen op voorwaarde van bronvermelding:

Bruyn, S.M. de, et al. (2025), *Actualisering monetaire milieuschade: Een verkenning naar de welvaartsverliezen door milieuvervuiling in Nederland in 2022*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) is het nationale instituut voor strategische beleidsanalyses op het gebied van milieu, natuur en ruimte. Het PBL draagt bij aan de kwaliteit van de politiek-bestuurlijke afweging door het verrichten van verkenningen, analyses en evaluaties waarbij een integrale benadering vooropstaat. Het PBL is vóór alles beleidsgericht. Het verricht zijn onderzoek gevraagd en ongevraagd, onafhankelijk en wetenschappelijk gefundeerd.

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	5
1.1 Maatschappelijke aanleiding	5
1.2 Doel van en relatie met vorige studie	6
1.3 Leeswijzer en afbakening	6
2 Methodiek monetaire milieuschade	7
2.1 Het waarderen van milieuschade in geld	7
2.2 Bepalen van de emissies in Nederland	7
2.3 Bepalen van de schade van emissies	10
2.3 Milieuprijzen voor Nederland	13
2.4 Nieuwe schatting milieuschade	16
3 Monetaire milieuschade in 2022	19
3.1 Verdeling naar stoffen	19
3.2 Verdeling naar sectoren	22
3.3 Verdeling naar subsectoren	24
4 Gevoeligheidsanalyse	26
4.1 Onzekerheid	26
4.2 Bepaling van broeikasgasemissies	28
4.3 Beperkingen in volledigheid	29
5 Vergelijking met studie uit 2018	31
5.1 Verandering in emissies 2015-2022	31
5.2 Verandering in milieuprijzen 2015-2022	32
5.3 Verandering in milieuschade 2015-2022	36
6 Conclusies en duiding	40
7 Referenties	43
Bijlagen	47
Bijlage A Getallenbijlage	47
A.1 Emissies naar lucht	47
A.2 Emissies naar water	50
A.3 Emissies naar bodem	51
A.4 Verbijzondering milieuprijzen	52
Bijlage B Sectorale indeling	53
Bijlage C Sectorale verdieping	55
C.1 Milieuschade door de landbouw	55
C.2 Milieuschade door de industrie	55
C.3 Milieuschade door verkeer en vervoer	57

Samenvatting

Milieuvervuiling veroorzaakt schade aan de gezondheid van mensen, ecosystemen en materialen. Deze schade vormt een direct welvaartsverlies voor Nederland. Wanneer deze schade in geld wordt uitgedrukt, heet dit monetaire milieuschade. In 2018 schatte het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) deze schade voor Nederland op 31 miljard euro voor de emissies uit 2015, oftewel 4,5 procent van het bruto binnenlands product (bbp). Die schade is gestegen tot ruim 46 miljard euro, oftewel 4,6 procent van het bbp, in 2022, zo blijkt uit de voorliggende geactualiseerde berekening. Het grootste deel van deze milieuschade (26 miljard euro) wordt veroorzaakt door de uitstoot van broeikasgassen. Maar ook luchtverontreiniging door fijnstof, stikstofoxiden, ammoniak, zwaveloxiden en niet-methaan vluchtige organische stoffen (NMVOS) draagt hier fors aan bij (19,5 miljard euro). De voornaamste schadepost als gevolg van deze luchtverontreinigende stoffen is schade voor de menselijke gezondheid. Emissies van diverse stikstofhoudende stoffen (nitraat naar water en bodem, en emissies van diverse stikstofhoudende stoffen naar de lucht) leiden in totaal tot 16,5 miljard euro schade.

Als aandeel van het bbp is de monetaire milieuschade licht gestegen ten opzichte van 2015. Dit terwijl klimaat- en milieubeleid er juist voor zorgen dat de emissies dalen. De stijging heeft vooral te maken met verbeterde data en analysemethoden en de hogere waardering die mensen hebben voor een schoon milieu. Daarnaast speelt de vergrijzing een rol omdat oudere mensen kwetsbaar zijn voor de effecten van luchtverontreiniging.

De monetaire milieuschade verschilt per sector. De sectoren mobiliteit (13,7 miljard euro) en landbouw (12,7 miljard euro) zijn verantwoordelijk voor de grootste monetaire milieuschade in 2022. Het wegverkeer is binnen de mobiliteit de belangrijkste bron, gevolgd door de zeescheepvaart en mobiele werktuigen. Binnen de landbouw gaat het vooral om schade door emissies ten gevolge van de veeteelt. Ook de industrie levert met 9,6 miljard euro een belangrijke bijdrage aan de monetaire milieuschade in Nederland. Binnen deze sector gaat het vooral om emissies door de chemische industrie, raffinaderijen en de basismetaal.

Bij het berekenen van de schade van milieuvervuiling moeten veel aannames worden gemaakt. Naast de hoeveelheid emissies die jaarlijks in Nederland wordt uitgestoten, gaat het hierbij om een inschatting van hoe deze emissies zich door het milieu verspreiden en welke effecten ze uiteindelijk hebben op de menselijke gezondheid, de natuur en het door mensen geproduceerde kapitaal, zoals gebouwen en machines. Tot slot moet worden bepaald hoe erg mensen deze effecten vinden. Dat doen we door ze in geld uit te drukken en een inschatting te maken van de mate waarin mensen bereid zijn te betalen (betalingsbereidheid) om deze schade te voorkomen.

Uit een gevoeligheidsanalyse op basis van de nu bekende monetaire schade blijkt dat de milieuschadekosten variëren van 24 tot 61 miljard euro als rekening wordt gehouden met onzekerheid over de waardering van de effecten van milieuvervuiling. Maar niet alle schade aan mens en natuur laat zich makkelijk in geld uitdrukken. Dat geldt met name voor de waardering van de milieuschade aan de natuur. Ook is de kennis over de milieuschadelijke effecten van stoffen voortdurend in ontwikkeling. Effecten die veel chemische stoffen op mensen en natuur hebben, zijn bijvoorbeeld vaak nog onvoldoende onderzocht. De schade zoals berekend in deze studie moet daarom worden gezien als een ondergrens.

1 Inleiding

1.1 Maatschappelijke aanleiding

Milieuvervuiling heeft negatieve gevolgen voor mensen en andere levende organismen. Door milieuvervuiling worden mensen ziek of komen ze voortijdig te overlijden. De European Environment Agency (EEA) schat dat er in Nederland jaarlijks bijna 8.000 mensen vroegtijdig overlijden door luchtvervuiling (EEA 2023). Ook zorgt milieuvervuiling ervoor dat de kwaliteit en veerkracht van ecosystemen wordt aangetast. Deze aantasting levert diverse welvaartsverliezen op, bijvoorbeeld doordat soorten in aantal achteruitgaan (Dasgupta 2021).

In 2018 heeft het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) deze milieuschade in kaart gebracht en in geld uitgedrukt (Drissen & Vollebergh 2018). In dat onderzoek zijn de emissies in Nederland gewaardeerd aan de hand van de milieuprijzen van CE Delft voor 2015 (CE Delft 2017).¹ Door de tijd heen veranderen echter zowel de emissies als de milieuprijzen waartegen deze gewaardeerd worden. In 2023 heeft CE Delft een nieuw *Handboek milieuprijzen* gepubliceerd. Daarom is het zinvol om nu opnieuw te bepalen wat de actuele monetaire milieuschade is.

Inzicht in de waarde van de milieuschade is van belang omdat deze een direct welvaartsverlies voor de maatschappij oplevert. Milieuschade bestaat uit de niet-betaalde kosten van onze manier van produceren en consumeren. De standaard economische theorie laat zien dat de welvaart verhoogd kan worden als deze ‘externe kosten’ in rekening worden gebracht bij producenten en consumenten. Het *polluter pays principle* staat dan ook centraal in het Europese milieubeleid – ook al wordt dit thans nog niet volledig toegepast (Mottershead et al. 2021; European Court of Auditors 2021).

Een adequate milieubeprijzing wordt ook gezien als een randvoorwaarde om te komen tot ‘groene groei’ (Baarsma 2022). De Wereldbank (2017) ziet beprijzing van koolstofdioxide (CO₂) als een onmisbaar onderdeel van een strategie om de Parijs-doelstelling van 1,5-2 graden temperatuurstijging in deze eeuw te realiseren. Daarnaast kan inzicht in de milieuschade ook voor de overige schadelijke stoffen worden gebruikt om al dan niet bestaande groene belastingen te analyseren op de keuze van de grondslagen en de hoogte van de tarieven (Vollebergh et al. 2014; 2017) of de hoogte van fossiele subsidies (Brink et al. 2023).

De omvang van de monetaire milieuschade staat ook in de belangstelling van de politiek. Zo is hieraan de nodige aandacht besteed in de Miljoenennota 2019. In de Miljoenennota’s over 2024 en 2025 geven de bijlagen een overzicht van de mate waarin klimaatbeprijzing wordt toegepast in relatie tot de externe kosten (Brink & Vollebergh 2024). In 2024 heeft de Eerste Kamer de motie-

¹ Milieuprijzen zijn kengetallen die de maatschappelijke waarde voor het ontstaan van milieuvervuiling berekenen en uitdrukken in euro’s per kilogram vervuilende stof. Milieuprijzen geven de welvaartsverliezen weer die optreden indien er één extra kilogram van de stof in het milieu terecht komt (CE Delft 2023).

Koffeman aangenomen (Eerste Kamer 2024), die het kabinet oproept om de monetaire milieuschade opnieuw te onderzoeken. Deze studie kan worden gezien als de invulling van dat verzoek.

1.2 Doel van en relatie met vorige studie

In de studie van 2018 heeft het PBL een eerste aanzet gegeven tot de inschatting van de monetaire milieuschade. In die studie analyseerden de auteurs de milieuschade van de emissies van meer dan honderd stoffen naar lucht, water en bodem. De conclusie was dat de totale milieuschade in Nederland, in 2015, 31 miljard euro bedroeg. Verkeer en vervoer was de grootste vervuilende sector, gevolgd door de landbouw.

Het doel van de huidige studie is om na te gaan hoe groot de monetaire milieuschade in Nederland nu is, hoe deze over de diverse sectoren van de economie is verdeeld en in hoeverre deze schade is toe- of afgenomen in vergelijking met 2015 en wat daar de oorzaken van zijn.

1.3 Leeswijzer en afbakening

In hoofdstuk 2 geven we de theoretische achtergrond die nodig is om in deze studie de monetaire milieuschade te bepalen. In hoofdstuk 3 presenteren we vervolgens de berekende omvang van de monetaire milieuschade, zowel voor Nederland als geheel als voor individuele sectoren. In hoofdstuk 4 bespreken we de onzekerheid, volledigheid en gevoeligheid van de resultaten voor de uitgangspunten van de berekeningen. In hoofdstuk 5 vergelijken we vervolgens de resultaten van deze studie met die van die uit 2018 (Drissen & Vollebergh 2018). In hoofdstuk 6 tot slot trekken we enkele conclusies en geven we duiding aan de rol die monetaire milieuschade in het beleid kan spelen. In bijlagen A-C staat nadere achtergrondinformatie over de berekeningen en resultaten daarvan.

Deze studie gaat over de milieuschade van emissies in Nederland in 2022. Alle bedragen in deze studie worden vermeld in het prijspeil van 2022 tenzij expliciet anders vermeld. Alle emissies in deze studie betreffen directe emissies (Scope 1) en dus geen ketenemissies.

2 Methodiek monetaire milieuschade

2.1 Het waarderen van milieuschade in geld

Milieuschade is de schade die wordt toegebracht aan de fysieke leefomgeving van de mens (Drissen & Vollebergh 2018). Een belangrijke oorzaak van die schade is dat milieuschadelijke stoffen in het milieu terechtkomen, zoals emissies naar bodem, water en lucht. Deze hebben gevolgen voor de gezondheid van de mens, zoals een verlies aan gezonde levensjaren, en voor de natuur, waardoor onder andere een verlies aan biodiversiteit optreedt.

Wat precies de effecten van emissies op het milieu zijn, hangt vaak af van waar de emissie plaatsvindt en van de mate waarin deze lokaal effect sorteert. Zo is de emissie van luchtverontreinigende stoffen vlak bij dichtbevolkte gebieden veel schadelijker voor de gezondheid dan die in dunbevolkte gebieden. Ook kunnen emissies in eerste aanleg lokaal zijn, maar vanwege de verspreiding in het milieu uiteindelijk ook effecten op heel andere plaatsen veroorzaken. Denk aan de verspreiding via waterwegen, waardoor milieuschadelijke stoffen niet alleen lokaal voor overlast zorgen maar uiteindelijk zelfs tot diep in de oceaan verantwoordelijk zijn voor vervuiling, die zich vervolgens in de voedselketen ophoopt en daar schade veroorzaakt voor mens en dier.

Deze studie gaat over milieuschade die wordt veroorzaakt door de emissie van stoffen. Onder de term 'emissies' verstaan we de uitstoot of lozing van kleine deeltjes verontreinigende stoffen in het milieu (lucht, water, bodem). Andere effecten van menselijke activiteiten die schadelijk zijn voor mens en dier, zoals geluidshinder, horizonvervuiling, aantasting van het landschap, bodemaantasting of schadelijke afvalresiduen, blijven buiten beschouwing (Drissen & Vollebergh 2018).

In deze studie rekenen we de milieuschade door emissies om naar een direct welvaartsverlies voor de maatschappij in monetaire eenheden. Daartoe drukken we de waarde van de milieuschade uit in geld. In essentie gaat het dan om het vaststellen van de hoeveelheid milieuschadelijke stoffen die in het milieu terecht komt (water, bodem en lucht) en uiteindelijk verantwoordelijk is voor negatieve effecten op de menselijke gezondheid, ecosystemen, gebouwen en materialen. Deze negatieve effecten waarderen we vervolgens in geld als monetaire schade. In het vervolg van dit hoofdstuk lichten we kort beide dimensies van de waarderingssom toe. Ook gaan we in op hoe we deze hebben toegepast in deze studie.

2.2 Bepalen van de emissies in Nederland

Emissies zijn verontreinigende deeltjes die vrijkomen vanaf een bepaalde bron en die terechtkomen in het milieu (bodem, water en lucht). De eerste stap bij de bepaling van de monetaire milieuschade is om na te gaan hoeveel emissies naar bodem, water en lucht plaatsvinden en waar in het economisch proces het om welke emissies gaat. In het economisch proces worden ruwe grondstoffen en energie omgezet naar intermediaire materialen, halffabricaten en, uiteindelijk, eindproducten. De eindproducten komen vervolgens bij huishoudens en bedrijven terecht en uiteindelijk in de afvalfase. Bij al deze stappen in het economisch proces komen emissies vrij die het milieu vervuilen.

In deze studie kijken we uitsluitend naar de emissies die worden uitgestoten vanaf Nederlands grondgebied. We hanteren dus geen ketenperspectief (zoals in een levenscyclusanalyse) of inwonerperspectief (zoals in de Nationale Rekeningen). Om vast te stellen wat de fysieke omvang is van de relevante emissie van milieuschadelijke stoffen naar bodem, water en lucht, hebben we in deze studie gebruik gemaakt van de Emissieregistratie (RIVM et al. 2024).² De Emissieregistratie geeft de emissie naar lucht, oppervlaktewater en bodem van honderden milieuschadelijke stoffen in Nederland en op het Nederlands continentaal plat.³

Voor het bepalen van de emissies hanteert de Emissieregistratie een bottom-upmethode, dat wil zeggen een methode die uitgaat van het meten en berekenen van emissies bij installaties van bedrijven en andere instellingen. Hierdoor kunnen emissies worden opgeteld tot het totaal voor Nederland, en tot totalen voor 'sectoren'. Sektoren, in de definitie van de Emissieregistratie, zijn de actoren waarop het beleid zich richt. Vroeger werden dit doelgroepen genoemd. Deze 'doelgroepen' komen ongeveer overeen met de bedrijfssectoren, aangevuld met een 'sector' consumenten en een sector verkeer en vervoer. In deze laatste sector zijn, naast bedrijfsmatige activiteiten, ook vervoersactiviteiten door consumenten ondergebracht.⁴ In totaal onderscheidt de Emissieregistratie dertien sectoren, die overigens in zowel economische als milieuschadelijke omvang sterk van elkaar verschillen. Deze sectoren kunnen worden weer verder onderverdeeld in subsectoren en activiteiten.

Voor deze studie hebben we deze dertien sectoren verder onderverdeeld naar sectoren zoals het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) die heeft gebruikt bij de Emissieraming Lucht (PBL & RIVM 2025). In bijlage B vermelden we de relatie tussen sectoren in deze studie en die in de Emissieregistratie.

Broeikasgasemissies worden in de Emissieregistratie zowel vermeld via de eigen methodiek als via de methodiek van het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Het belangrijkste verschil tussen de twee methodieken is dat volgens de IPCC-voorschriften kortcyclische emissies (door biomassa), emissies uit de natuur en emissies door de internationale luchtvaart en zeescheepvaart in principe niet aan een land worden toegerekend. Daarnaast worden in de IPCC-richtlijnen emissies door motorbrandstoffen bepaald op basis van de brandstofafzet. Bij de Emissieregistratie gaat het daarentegen om alle emissies die op Nederlands grondgebied plaatsvinden, inclusief kortcyclische emissies en emissies uit de natuur. De sectoren lucht- en zeevaart worden meegenomen als de emissies ontstaan op Nederlands grondgebied (inclusief het Nederlandse deel van het continentale plat van de Noordzee).

² De Emissieregistratie wordt uitgevoerd in opdracht van het ministerie van Infrastructuur en Waterstaat (IenW) en het ministerie van Klimaat en Groene Groei (KGG). De uitvoering gebeurt door een samenwerkingsverband van vijf kennisinstellingen: het Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu (RIVM), het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL), het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), Wageningen University and Research (WUR) en Deltares. Het RIVM heeft de regie en stuurt de Emissieregistratie aan.

³ Emissies in het Caribisch Nederland vormen geen onderdeel van de berekende monetair milieuschade in deze studie.

⁴ De emissies van de verschillende vervoersmiddelen worden namelijk niet toegekend aan de doelgroep die het vervoersmiddel gebruikt, en apart als doelgroep 'verkeer en vervoer' gerapporteerd.

Net als in de eerdere studie (Drissen & Vollebergh 2018: 11), hebben we de monetaire milieuschade van de broeikasgasemissies bepaald via de IPCC-methode; alleen de emissies door transport vormen hierop een uitzondering. De IPCC-methodiek geeft in principe de standaard voor veel rapportageverplichtingen van landen en bedrijven. Maar voor verkeer geeft de aanpak van de Emissieregistratie, die gebaseerd is op het daadwerkelijk verreden aantal kilometers, in principe een beter beeld van de in Nederland geëmitteerde stoffen dan de aanpak van de IPCC, die gebaseerd is op de verkochte brandstof in een land (zie ook paragraaf 4.2).⁵

Een andere reden waarom er in de studie van 2018 voor gekozen is om de verkeersemisssies te bepalen via de methodiek van de Emissieregistratie, is dat deze ook informatie bevat over de emissies van de zeescheepvaart vanaf Nederlands grondgebied (inclusief continentaal plat) en emissies van de luchtvaart van vertrekkende en landende vluchten op de Nederlandse luchthavens tot een hoogte van 900 meter. Hoewel deze niet meetellen voor de (inter)nationale klimaatdoelstellingen, stoten de zee- en luchtvaart wel veel andere milieuschadelijke stoffen uit. Daarbij moet worden opgemerkt dat de emissies van de luchtvaartsector in de Emissieregistratie dus niet de volledige milieubelasting van vliegen omvatten, omdat het merendeel van de emissies van een vlucht wordt uitgestoten boven de 900 meter en buiten het grondgebied van Nederland.

Doordat we uitgaan van de IPCC-methode om de broeikasgasemissies voor de andere sectoren te bepalen, hebben we ook de emissies van landgebruik, veranderingen in landgebruik en bosbouw meegenomen. Dit zijn de broeikasgassen CO₂, N₂O, CH₄) en CO₂-verwijderingen die Nederland rapporteert in het kader van de LULUCF (Land Use, Land Use Change and Forestry). Dit is een verandering ten opzichte van de studie uit 2018, toen de Emissieregistratie nog geen emissies uit landgebruik meenam.⁶

Voor de emissies naar water hebben we de categorie ‘belasting naar oppervlaktewater’ meegenomen. Deze geeft de daadwerkelijke belasting van het watermilieu weer en bestaat uit diverse bronnen, zoals directe emissies naar water waarmee het oppervlaktewater direct belast wordt en overdrachten vanuit andere compartimenten, zoals de overloop van riolen, depositie van emissies vanuit de lucht op het oppervlaktewater of uit- en afspoeling van landbouw- en natuurbodems. In totaal verkrijgen we via de Emissieregistratie voor het jaar 2022 informatie over de emissies van 171 milieugevaarlijke stoffen of stofgroepen naar de lucht, 49 naar de bodem en 329 naar water.⁷

⁵ Conform deze IPCC-methodiek tellen ook alle bunkerbrandstoffen mee die in Nederland zijn opgeslagen. De emissies die hiermee gemoeid zijn, komen niet alleen voor rekening van de Nederlandse ingezetenen. Tegelijk is de beperking van de Emissieregistratie weer dat Nederlandse ingezetenen juist ook emissies veroorzaken buiten het Nederlands Continentaal Plat en boven 900 meter (zie ook Drissen & Vollebergh 2018).

⁶ Voor CO₂ is toen in een gevoeligheidsanalyse wel aangegeven hoe groot de milieuschade zou zijn als deze wel was meegenomen.

⁷ Emissies naar de bodem worden niet langer gerapporteerd op de website van Emissieregistratie en zijn aan ons verstrekt door het RIVM. Stofgroepen zijn bijvoorbeeld NMVOS, waarin stoffen met verschillende chemische samenstellingen kunnen zitten.

2.3 Bepalen van de schade van emissies

De tweede stap bij het bepalen van de monetaire schade is het in monetaire termen, dus in geld, waarderen van de schade die de emissies veroorzaken. Vervuiling van het milieu door emissies doet afbreuk aan de welvaart: door luchtverontreiniging worden mensen ziek, moeten ramen vaker worden gewassen en wordt de natuur (ecosystemen en biodiversiteit) aangetast. Het gaat hierbij dus om een direct verlies aan welvaart ('nut') als gevolg van door anderen veroorzaakte inbreuk op eigendom of welbevinden. We spreken daarom van schade. Deze schade kan in geld worden uitgedrukt door te kijken naar wat mensen bereid zijn te betalen om de milieuschade te voorkomen. Dit kan een inschatting vormen van het monetaire welvaartsverlies door milieuvervuiling.

Belangrijk daarbij is te beseffen dat deze schadekosten niet noodzakelijk samenvallen met de *financiële* schade van milieuverontreiniging. De financiële schade omvat de schade aan bijvoorbeeld bestaande activa (zoals een gebouw) of de kosten van een behandeling van een door milieuvervuiling opgelopen ziekte (zoals medicijnen tegen astma). De welvaartsverliezen van milieuvervuiling zijn echter groter omdat ze daarnaast ook rekening houden met de verliezen die de getroffen individuen zelf beleven. Neem bijvoorbeeld een door milieuvervuiling veroorzaakte astma-aanval. In financiële termen bestaat de schade uit de kosten van het medicijn, maar deze medicijnen kunnen de astma-aanval niet altijd volledig wegnemen en hebben bijwerkingen. De bijkomende ziektelast en het bijbehorende ongemak maken dat het ervaren welvaartsverlies groter is dan de kosten van medicijnen alleen. Deze redenering is nog gemakkelijker te begrijpen wanneer zij wordt toegepast op voortijdig overlijden: het is evident dat het welvaartsverlies voor de overledene en nabestaanden meer omvat dan de kosten van de uitvaart alleen.

De schade van emissies wordt daarom normaliter uitgedrukt via zogeheten schaduw prijzen. Schaduw prijzen zijn berekende prijzen voor goederen die in principe niet via de markt worden verhandeld en waarvan de prijs dus niet (direct) via een ruilwaarde kan worden vastgesteld. Daarom moeten deze prijzen op een andere manier worden bepaald. Via verschillende methodes kan het welvaartsverlies van emissies in een prijs worden uitgedrukt (Vollebergh et al. 2014; CE Delft 2023). De meest gebruikte manieren zijn de preventiekostenbenadering en de schadekostenbenadering.⁸

De *preventiekostenbenadering* neemt de kosten om emissies te reduceren als uitgangspunt en bepaalt de hoogte van de schaduw prijs aan de hand van emissiereductiedoelen. Met behulp van een (bottom-up) kostencurve kunnen de reductiekosten bij verschillende niveaus van emissiereductie worden bepaald. Vervolgens kan een te bereiken emissiereductiedoel worden gebruikt om de hoogte van de schaduw prijs te bepalen. De schaduw prijs voor schade door de emissie van een stof is dus gelijk aan de kosten van de duurste techniek die nodig is om de emissies van deze stof zo ver terug te dringen dat het doel wordt gerealiseerd.⁹

⁸ Andere benaderingen zijn de herstelkostenmethode, die voorschrijft dat alle schade hersteld moet worden (voor een bespreking van die methode, zie CE Delft 2023: 76-77) en een normatieve methode, die uitgaat van, bijvoorbeeld, rechtvaardigheidsprincipes.

⁹ De marginale kosten om het doel te behalen worden meestal gehaald uit bottom-up-kostencurves die de kosten van alle maatregelen bevatten die nodig zijn om een gegeven doel te behalen.

De schaduwprijs volgens de preventiekostenbenadering kan worden geïnterpreteerd als een inschatting van de maatschappelijke schade van (meer) emissies. Ten eerste kunnen de door de politiek vastgestelde doelen worden gezien als maatschappelijke preferentie voor het voorkomen van de schade die door emissies wordt veroorzaakt. De (marginale) kosten kunnen dan worden geïnterpreteerd als een inschatting van de door de maatschappij gewenste reductie van de emissies in relatie tot de kosten om dat te doen. Ten tweede kunnen preventiekosten worden opgevat als de daadwerkelijke kosten die de samenleving moet maken als de doelen vaststaan. Als de doelen vaststaan, moet de extra emissie die doelbereik in de wegstaat immers worden gecompenseerd door extra emissiereductie. De kosten van deze extra reductie per kilogram emissies vormen de schaduwprijs.

Bij de *schadekostenbenadering* wordt de schaduwprijs bepaald aan de hand van onderzoek naar de waardering die individuen geven aan de effecten van milieuvervuiling, zoals de waarde die zij hechten aan gezondheidsschade ('bereidheid tot betalen'), of aan de hand van verschillen in marktprijzen tussen vervuilde en niet-vervuilde locaties ('hedonische methode'). In de schadekostenmethode is de waardering van de schade dus uiteindelijk afhankelijk van de wijze waarop *individuen* die schade waarderen. Als de door de overheid gekozen doelstelling overeenkomt met individuele voorkeuren van de burgers, leveren de schadekosten- en preventiekosten-methodiek dezelfde waarden op (CE Delft 2017).

In de verdere uitwerking van de schadekostenbenadering, zoals gevolgd in het *Handboek milieuprijzen*, wordt een expliciete relatie gelegd tussen emissies, de fysieke effecten daarvan op zogeheten *endpoints* en de subjectieve waardering van de verandering van die effecten (zie CE Delft 2023). De term 'endpoints' komt uit de milieukunde en moet worden gezien als de uiteindelijke effecten voor mens en natuur die worden veroorzaakt door emissies. Het gaat hierbij om een breed scala aan effecten op het gebied van menselijke gezondheid, ecosysteemdiensten, door mensen geproduceerd kapitaal en grondstofuitputting. Het zijn deze *endpoints* die van belang zijn voor de welvaart en die vervolgens worden gewaardeerd.

De relatie tussen de emissies van een specifieke bron en de fysieke effecten daarvan in de vorm van *endpoints* wordt in het *Handboek milieuprijzen* gelegd in zogeheten *impact-pathway-analyses* (Rabl et al. 2014). Dit is een modelmatige benadering die de keten van effecten van emissies op de uiteindelijke welvaart vormgeeft. In deze benadering wordt allereerst via verspreidingsmodellen bepaald hoe emissies zich vanuit deze bron door het milieu bewegen en welke chemische reacties ze in dit traject aangaan met andere stoffen. Door verspreiding worden emissies uiteindelijk vertaald naar concentratiehoeveelheden op een specifieke plaats en tijd. Deze verspreidingsmodellen zijn stof-specifiek. Vervolgens worden via dosis-responserelaties de effecten van die concentraties aan milieugevaarlijke stoffen vertaald naar effecten voor de menselijke gezondheid, ecosystemen en gebouwen en materialen. Uiteindelijk worden deze effecten uitgedrukt in geld. Daarvoor zijn in de milieueconomie diverse waarderingsmethoden ontwikkeld, zoals hedonische prijzen of 'contingent valuation' (Perman et al. 2011); deze waarderingsmethoden worden ook gebruikt in maatschappelijke kosten-batenanalyses (Romijn & Renes 2013). Door deze geldelijke waardering van de diverse effecten bij elkaar op te tellen en te relateren aan de emissies kan uiteindelijk een schaduwprijs per kilogram emissie worden afgeleid.

Schaduw prijzen, voor zowel de preventiekostenbenadering als de schadekostenbenadering, zijn in principe 'marginale' prijzen: ze zijn bepaald door te bepalen wat de kosten zijn van de verandering die (kleine) hoeveelheden emissies hebben op doelstellingen of schadekosten. Deze praktijk is

leidend in dit onderzoeksveld. Belangrijk is daarbij te beseffen dat alle prijzen die we wel waarnemen, in supermarkten, van auto's, van huizen, ook marginale prijzen zijn – omdat de prijs op de markt wordt bepaald door de marginale veranderingen in vraag en aanbod. Door ook emissies met marginale prijzen te waarderen, verkrijgen we een schatting die vergelijkbaar is met de manier waarop de welvaart door consumptie wordt gemeten in het bruto binnenlands product (bbp) (Muller & Mendelsohn 2007).¹⁰ Daarom kan de berekende milieuschade direct worden vergeleken met gangbaarder economische kengetallen zoals het bbp.

De monetaire milieuschade wordt uiteindelijk verkregen door de emissies te vermenigvuldigen met de schaduw prijzen. Deze aanpak kan als volgt worden samengevat. Van alle n relevante milieuschadelijke stoffen Q_i (met $i = 1, \dots, n$) wordt nagegaan naar welk compartimenten deze wordt uitgestoten. Het gaat dan om de compartimenten bodem, water en lucht ($j = 1, 2, 3$). Voor elke stof die in een bepaald compartiment is uitgestoten, wordt vervolgens nagegaan wat de verschillende milieueffecten ($k = 1, \dots, m$) zijn. Deze effecten, zoals de verandering in menselijke gezondheid of ecosysteemdiensten, zijn per combinatie van stof en compartiment verschillend en worden gewaardeerd door middel van de eerder genoemde schaduw prijzen. Deze schaduw prijzen $P_{i,j,k}$ (met $i = 1, \dots, n$ en $j = 1, 2, 3$ en $k = 1, \dots, m$) geven per compartiment de monetaire welvaartsverliezen weer als gevolg van de n verschillende door de emissies veroorzaakte milieuschades k .

De formule voor het bepalen van de schade S voor elke afzonderlijke stof i in compartiment k is dan als in (1).

$$S_{i,j} = \sum_k Q_{i,j,k} * P_{i,j,k} \quad (1)$$

De schade door emissies van stof i wordt dus gevormd door de effecten in compartiment j van de emissies van stof i vermenigvuldigd met de milieuprijs voor deze emissie i in compartiment j . Wanneer dit voor alle effecten is bepaald, kan de totale waarde van de milieuschade van alle stoffen worden bepaald zoals in (2).

$$\text{Totale monetaire milieuschade} = \sum_{i,j} S_{i,j} = \sum_{i,j,k} Q_{i,j,k} * P_{i,j,k} \quad (2)$$

¹⁰ Daarbij kan er discussie zijn of de waardering met marginale prijzen een juiste inschatting is van de daadwerkelijke schade. Impliciet wordt dan immers verondersteld dat deze prijs geldt over de hele reikwijdte van vervuiling. Met andere woorden, de marginale schadekosten worden op deze wijze impliciet constant verondersteld. Er zijn echter volop aanwijzingen dat bij vervuiling ook zogenoemde niet-marginale effecten kunnen optreden, zoals drempel effecten of hysteresis – het verschijnsel waarbij de reactie van een systeem afhankelijk is van de richting waarin de oorzaak verandert – in ecologische systemen. Voor sommige stoffen neemt de relatieve schadelijkheid toe als de concentratie van die stoffen in het milieu lager wordt, voor andere stoffen neemt deze (versneld) af. Daarbij ontbreekt kennis over hoe deze schade zich precies zal ontwikkelen. Dit vormt een argument om de schadelijkheid van milieugevaarlijke stoffen om de zoveel tijd opnieuw te bepalen.

2.4 Milieuprijzen voor Nederland

2.4.1 Waardering volgens de Handboeken milieuprijzen

De waardering van de milieuschade – dus de P's in formule (2) – wordt, net als in de studie uit 2018, gebaseerd op de zogeheten milieuprijzen die CE Delft voor Nederland heeft bepaald (CE Delft 2017; 2023). Milieuprijzen zijn kengetallen die het maatschappelijke welvaartsverlies van milieuvervuiling berekenen en uitdrukken in euro's per kilogram vervuilende stof. Het zijn marginale prijzen die de extra schade weergeven voor mensen, ecosystemen en door de mens geproduceerd kapitaal als er één kilogram extra emissie van een stof in het milieu terecht komt. Milieuprijzen worden veelvuldig gebruikt in maatschappelijke kosten-batenanalyses waarmee een inschatting wordt verkregen van het welvaartsverlies door milieuvervuiling door bijvoorbeeld de aanleg van een weg.¹¹

In de studie *Monetaire milieuschade* uit 2018 is gebruik gemaakt van de milieuprijzen voor Nederland uit het *Handboek milieuprijzen* uit 2017 (CE Delft 2017). Dit handboek geeft milieuprijzen als prijzen voor een emissie van een stof in 2015, uitgestoten vanaf een gemiddelde locatie, uitgedrukt in het prijspeil van 2015. Maar de milieuschadekosten zijn niet voor altijd gegeven en variëren in de tijd en naar plaats. Hierbij spelen diverse factoren een rol (zie hoofdstuk 5 voor een uitgebreide analyse). Sinds 2023 is er een nieuw *Handboek milieuprijzen* met geactualiseerde gegevens van de schadekosten (CE Delft 2023) voor een emissie uit 2019, uitgedrukt in het prijspeil van 2021.

In dit nieuwe handboek staan voor meer dan 3.000 milieugevaarlijke stoffen de schadekosten van emissies naar lucht, water of bodem. Deze schadekosten zijn berekend via verschillende modellen (*impact-pathway*-analyses, zie hierboven) die de relatie leggen van emissies, via verspreiding door het milieu naar welvaartseffecten. Deze welvaartseffecten worden vervolgens gewaardeerd via een geharmoniseerd waarderingsraamwerk op basis van de beschikbare literatuur, zoals we hiervoor in algemene zin uiteengezet hebben. Voor elke berekende milieuprijs worden uiteindelijk drie waarden weergegeven: een onderwaarde die de *minimale* waardering voor dat effect weergeeft, een middenwaarde die de meest *waarschijnlijke* uitkomst weergeeft, en een bovenwaarde die het gemiddelde weergeeft van de *maximale* waarden voor een effect die in de literatuur worden gevonden.

2.4.2 De verschillende onderscheiden welvaartseffecten

De milieuprijzen van CE Delft geven de schadekosten voor emissies van een gemiddelde locatie in Nederland op een gemiddelde uitstoothoogte. Bij de berekening van deze prijzen wordt rekening gehouden met verschillende welvaartseffecten, in het bijzonder de effecten van emissies op de menselijke gezondheid, natuur/ecosysteemdiensten en gebouwen/materialen. Uiteindelijk worden deze effecten gemonetariseerd en bij elkaar opgeteld. Hieronder lichten we de verschillende onderscheiden welvaartseffecten en de monetarisering daarvan in het *Handboek milieuprijzen* beknopt na-der toe.

¹¹ Daarnaast wordt het *Handboek milieuprijzen* ook gebruikt in de wetenschappelijke literatuur rondom levenscyclusanalyses en in rapportages van bedrijven en instellingen over hun maatschappelijke impact, onder andere Philips (zie CE Delft 2023: 20).

Menselijke gezondheid

Bij de effecten op de menselijke gezondheid gaat het om voortijdig overlijden en ziekte door milieuvuiling. Deze worden in het *Handboek milieuprijzen* verkregen via een *impact-pathway*-benadering (CE Delft 2023: 219-232). De monetaire waarde van gezondheidsschade hangt daarbij mede af van de waarde van een verloren levensjaar (*Value of a Life Year*, VOLY). Voor de waardering van een verloren levensjaar sluit het handboek aan bij de waardering die in MKBA's gebruikelijk is (SEO, 2016). Deze waarden zijn aangepast aan de inflatie en aan een factor die de toegenomen vraag naar gezondheid ten gevolge van een hoger beschikbaar inkomen weergeeft (inkomenselasticiteit). In het *Handboek milieuprijzen* wordt daarbij een centrale waarde gehanteerd van een VOLY van 85.000 euro, met een onzekerheidsmarge van 57.500 euro aan de onderkant en 128.000 euro aan de bovenkant.

Hierbij moet worden benadrukt dat de onzekerheid over dergelijke waarderingen groot is. In het Verenigd Koninkrijk wordt een VOLY gebruikt van 50.600 pond – ongeveer 58.000 euro – per jaar (Birchby et al., 2023).¹² Maar in de Europese berekeningen van milieuschadetekosten van de industrie hanteert de EEA (2024) een VOLY van 111.470 euro voor de lage waardering en een hogere schatting met een *Value of Statistical Life* (VSL) van 4,2 miljoen euro. Dit laatste leidt tot gezondheidsschadetekosten die ongeveer drie keer hoger zijn dan in de berekening op basis van een VOLY. Toch zijn er de nodige bedenkingen bij het hanteren van een VSL voor milieuvuiling zonder daar een gewicht voor de leeftijd van overlijden aan te verbinden. Milieuvuiling is zelden de primaire doodsoorzaak maar levert een negatieve bijdrage aan de algehele gezondheid. Daarom zijn het vooral ouderen en mensen met een zwakkere gezondheid die aan de gevolgen van milieuvuiling komen te overlijden (comorbiditeit). Het toepassen van een VSL zonder leeftijdsgewichten leidt er dan toe dat de waardering voor de gewonnen levensjaren van diegene die aan milieuvuiling komen te overlijden, worden overschat (Hammit 2023; CE Delft 2023: 215).

Ecosysteemdiensten

Voor de waardering van ecosystemen wordt in het *Handboek milieuprijzen* gebruik gemaakt van de waardering van het verlies aan biodiversiteit door milieuvuiling en de schade aan landbouwgewassen door effecten op de bodem en op de huidmondjes van gewassen. Het gebruik van biodiversiteit als proxy voor de intrinsieke en extrinsieke waarde van ecosystemen kan worden gerechtvaardigd vanwege de essentiële rol die biodiversiteit heeft voor de kwaliteit van ecosystemfuncties (Dasgupta 2021). Biodiversiteit wordt daarbij gezien als een proxy-indicator voor een breed scala aan ecosystemdiensten. De waarde voor biodiversiteit die in het *Handboek milieuprijzen* gebruikt wordt, is gebaseerd op een meta-analyse van diverse studies die biodiversiteitsverlies koppelt aan de waardering voor natuur (studies met name op het gebied van recreatie). Daarbij wordt de verkregen waarde voor deze beperkte meta-analyse geschaald op de totale waarde aan ecosystemdiensten zoals die mondiaal in de internationale literatuur is gerapporteerd (Costanza et al. 2014). Deze benadering kent de nodige beperkingen en levert daarom maar een zeer indirecte waardering op voor het verlies aan biodiversiteit. De schade aan landbouwgewassen wordt geëvalueerd tegen marktprijzen.

¹² Daarbij dient te worden opgemerkt dat de waardering in Ricardo (2023) is gebaseerd op één studie van meer dan twintig jaar geleden. Over het algemeen vinden recentere studies hogere waarden voor een VOLY.

Gebouwen en materialen

Tot slot veroorzaakt milieuvervuiling ook schade aan gebouwen (cultureel erfgoed) en materialen. Hierbij gaat het om een veelvoud aan effecten die vaak maar zeer beperkt zijn onderzocht. In het *Handboek milieuprijzen* worden in de centrale waarde slechts twee effecten gemonetariseerd: de effecten op cultureel erfgoed en de schoonmaakkosten van gebouwen door milieuvervuiling. De schade aan gebouwen en materialen is over het algemeen beperkt in vergelijking met de schade aan menselijke gezondheid en ecosysteemdiensten.

2.4.3 De milieuprijs voor broeikasgassen

Net zoals is gedaan in eerdere studies van het PBL (zie Vollebergh et al. 2021; Brink & Vollebergh 2024), verdienen de gebruikte schaduw prijzen voor broeikasgassen een afzonderlijke vermelding. In theorie kan de schade door emissies van broeikasgassen ook via een *impact-pathway*-benadering worden berekend, maar de onzekerheid van deze route is relatief groot. Dit komt enerzijds doordat er een lange tijd zit tussen emissie en impact in de vorm van klimaatverandering. Anderzijds is ook de onzekerheid van schadekostenschattingen groot vanwege de complexe interacties in het klimaatstelsel (Botzen & Van den Bergh 2015; Tol 2023).

Daarom wordt de klimaatschade in Nederland meestal bepaald aan de hand van de eerdergenoemde zogeheten preventiekostenbenadering: de kosten om door de politiek vastgesteld doelstellingen te halen (CE Delft 2010; Werkgroep Discontovoet 2015; Aalbers et al. 2016; CE Delft 2023). Daarbij wordt gekeken naar de kosten om CO₂ via allerlei technieken te reduceren om daarmee een bepaalde doelstelling – bijvoorbeeld 95 procent reductie in 2050 – te halen (zie paragraaf 2.2 over de preventiekostenbenadering). De waardering voor de overige broeikasgassen wordt daarvandaan afgeleid aan de hand van de *Global Warming Potentials* van het IPCC.

Doordat de doelstellingen door de tijd heen zijn aangescherpt, zijn de CO₂-prijzen in de diverse edities van het *Handboek milieuprijzen* steeds hoger geworden. In tabel 2.1 staan de prijzen voor het broeikasgas CO₂ met de daarbij behorende doelstellingen zoals die de afgelopen vijftien jaar in MKBA's zijn gehanteerd. Hieruit blijkt dat de schaduw prijs voor CO₂-emissies is gestegen van 31 euro in 2008 tot 130 euro in 2021. Dit is overigens een fenomeen dat in de literatuur óók kan worden gevonden op basis van de schadekostenbenadering. Zo laat Tol (2023) in een meta-analyse zien dat de *Social Cost of Carbon* in tien jaar tijd flink is gestegen. Dit komt enerzijds doordat onderzoekers een lagere discontovoet hanteren, en anderzijds doordat in betere studies meer schades van klimaatverandering worden geïdentificeerd. In paragraaf 5.3 leggen we uit dat het fenomeen dat betere studies tot hogere schades leiden niet beperkt is tot het klimaatdomein, maar ook voor andere milieuproblemen geldt.

De milieuprijzen voor toekomstige broeikasgasemissies stijgen daarbij elk jaar verder doordat het steeds kostbaarder wordt om de doelstellingen te halen. Het PBL publiceert elk jaar een actueel overzicht hiervan in het rapport *Klimaatverandering in de prijzen* (Brink & Vollebergh 2024a, 2024b). Daarin wordt met de milieuprijzen de waardering van de externe kosten berekend.

Tabel 2.1

Ontwikkeling CO₂ schaduw prijzen, in prijzen 2021, op basis van diverse handboeken van CE Delft

	Onder- waarde	Centraal	Boven- waarde	Doelstelling centrale waarde
Handboek Schaduw prijzen 2010	.	31	.	20% reductie in 2020 t.o.v. 1990
Handboek Milieuprijzen 2017^a	15,5	63	103	40% reductie in 2030 t.o.v. 1990
Handboek Milieuprijzen 2023	50	130	160	Klimaatneutraal 2050

a) De waarde vermeld bij Centraal is de waarde die in Drissen & Vollebergh (2018) werd gebruikt. Feitelijk geeft CE Delft (2017) twee prijsranges voor CO₂-emissies weer (2030-beleid en 2050-beleid) met verschillende toepassingen. De bovenwaarde in deze tabel komt overeen met de centrale waarde van het 2050-beleid, (80 euro exclusief btw in het prijspeil van 2015).

Bron: CE Delft (2010, 2017, 2023), alle prijzen zijn omgerekend naar prijspeil 2021 op basis van het geharmoniseerde prijsindexcijfer van het CBS.

2.3 Nieuwe schatting milieuschade

Om de monetaire milieuschade in Nederland te berekenen, is het uiteindelijk noodzakelijk dat voor elke door de Emissieregistratie geïnventariseerde stof ook een milieuprijs beschikbaar is in het *Handboek milieuprijzen*. Het blijkt dat voor 189 stoffen zowel emissies als milieuprijzen beschikbaar zijn; deze zijn meegenomen bij de bepaling van de monetaire milieuschade. Sommige stoffen kennen emissies naar zowel de lucht, de bodem als het water. Tabel 2.2 geeft het overzicht van de aantallen stoffen waarvoor de milieuschade is berekend, en een vergelijking daarvan met het aantal stoffen die in de Emissieregistratie worden gerapporteerd. Voor emissies naar lucht en bodem zijn ongeveer twee derde van de stoffen berekend op hun milieuschade, voor water is dat de helft. In vergelijking met de studie uit 2018 hebben we voor emissies naar lucht en water ruim tweemaal zoveel stoffen meegenomen.

Tabel 2.2

Aantal stoffen waarvoor milieuschade is berekend

	Lucht	Bodem	Water ^a
Totaal aantal stoffen in de ER met emissies	171	49	329
Waarvan milieuschade berekend in deze studie	113	33	166
Aantal stoffen waarvoor milieuschade is berekend in studie 2018	59	38 ^b	74

a) Betreft uitsluitend belasting van oppervlaktewater.

b) Dit is inclusief stoffen die via het compartiment lucht een vervuiling op de bodem veroorzaken die in deze studie buiten beschouwing zijn gelaten; zie toelichting in tekst.

Hoewel we dus een groter aantal stoffen hebben meegenomen om de monetaire milieuschade in Nederland te bepalen, was dat niet mogelijk voor alle milieuschadelijke stoffen waarvoor emissies worden gerapporteerd. Voor 40 procent van de milieuschadelijke stoffen die via de Emissieregistratie worden gerapporteerd, konden we geen milieuprijzen vinden. Het gaat hierbij onder meer om

alle bio-accumulatieve stoffen die niet of nauwelijks vervallen of worden afgebroken, zoals PFAS. Het *Handboek milieuprijzen* geeft daarvoor geen prijzen en stelt dat in dat geval beter kan worden gewerkt met risicobeoordelingen in plaats van schadeschattingen omdat deze stoffen niet afbreken, waardoor de toekomstige gezondheidsrisico's niet goed zijn in te schatten. Daarbij zijn de effecten ook afhankelijk van nog te ontwikkelen wetenschappelijke inzichten die niet te voorspellen zijn. Ook van een aantal bestrijdingsmiddelen (waaronder diverse neonicotinoïdenhoudende bestrijdingsmiddelen) zijn de effecten op de langere termijn voor de gezondheid en het ecosysteem nog onvoldoende bekend. Dit wil dus niet zeggen dat deze stoffen niet tot een welvaartsverlies leiden, maar wel dat het welvaartsverlies (nog) niet berekend kan worden en in monetaire cijfers kan worden uitgedrukt.

Voor de berekening van de milieuschade hebben we in deze studie gebruik gemaakt van de *centrale waarde* van de milieuprijs. Daarnaast onderzoeken we, net als in de studie uit 2018, wat de invloed op de ingeschatte milieuschade is als de onder- of bovenwaarde van de milieuprijs als uitgangspunt zou worden genomen, om zodoende een bandbreedte te ontwikkelen die een aantal onzekerheden reflecteert (zie hoofdstuk 4).

De milieuprijzen in het *Handboek milieuprijzen* betreffen het prijsniveau voor het jaar 2021. Deze hebben we omgerekend naar een prijsniveau voor het jaar 2022 door alle prijzen op te hogen met de inflatie.¹³ De prijs voor broeikasgassen is daarnaast extra opgehoogd met het stijgingspercentage voor klimaatschade het handboek (CE Delft 2023). Dit leidt tot externe kosten van 149 euro per ton voor CO₂ in het jaar 2022. Deze prijs wordt ook gebruikt in andere publicaties, zoals Brink en Vollebergh (2024a).

Milieuprijzen, zoals berekend door CE Delft (2023), zijn gemiddelde prijzen voor een uitstoot in Nederland. Zoals we hiervoor al hebben aangegeven, kan de concentratie of depositie, en daarmee de schade, lokaal hoger of lager zijn. Dit is met name relevant als de emissie bijvoorbeeld plaatsvindt in een dicht- of juist dunbevolkt gebied. Maar voor een gemiddelde emissie in Nederland heeft dit geen gevolgen. Een uitzondering zijn de emissies door de zeescheepvaart. Deze vinden voor een deel plaats op het continentaal plat op de Noordzee en veroorzaken daar minder schade omdat er weinig mensen verblijven. In deze actualisering waarderen we deze emissies daarom lager dan de gemiddelde milieuprijzen uit het handboek. Op basis van de resultaten uit het Europese *Handbook of External Costs of Transport* (European Commission 2020) hebben we berekend wat de factor is van de schadelijkheid van emissies op de Noordzee ten opzichte van die van emissies vanaf Nederlands grondgebied op land en in de binnenwateren (inclusief de 12-mijlszone). Deze staan in bijlage A.

De schadelijkheid kan ook afhangen van de bron van uitstoot. Voor de meeste luchtverontreinigende stoffen geldt dat de schadelijkheid voor de menselijke gezondheid groter is als de uitstoot

¹³ Dit geeft een inschatting van de milieuprijs voor 2022. De diverse componenten in de milieuprijzen veranderen namelijk ook door de tijd heen: gezondheidseffecten dienen te worden aangepast aan het inkomensniveau en ecosysteemdiensten stijgen met een autonome stijging van 1 procent per jaar conform Koetse et al. (2017). Doordat het reëel beschikbare mediane inkomen in 2022 iets lager lag dan in 2021 (door de inflatie), zouden de milieuprijzen ook lager moeten zijn. Echter, door de autonome prijsstijging van ecosysteemdiensten zouden de milieuprijzen weer iets hoger moeten zijn. Deze twee effecten strepen elkaar in 2022 grotendeels weg, waardoor we voor deze studie alleen een aanpassing met de inflatie voldoende achten.

dicht bij de grond plaatsvindt, in vergelijking met de uitstoot uit hoge schoorstenen door de industrie. Dit geldt met name voor de uitstoot van fijnstof (PM_{2.5}) en dan in het bijzonder voor de uitstoot van het wegverkeer, die immers ook vaak in dichtbevolkte gebieden plaatsvindt. Daarom hebben we in deze studie de hogere prijs voor PM_{2.5} van het wegverkeer gebruikt. Voor de andere bronnen is juist een lagere PM_{2.5} prijs gebruikt dan het gemiddelde zodat de totale schadelast van PM_{2.5} voor het nationale totaal gelijk blijft.¹⁴

Net als in de studie uit 2018, hebben we in deze studie geen emissies uit de natuur meegenomen. Dat heeft ermee te maken dat deze emissies (deels) onafhankelijk van menselijke ingrepen ontstaan.

Tot slot hebben we een correctie doorgevoerd op emissies die zich van het ene milieucompartiment naar het andere verplaatsen, zoals emissies uit de lucht die neerslaan op de bodem. Bij de luchtemissies is de schadelijkheid namelijk al in de milieuprijzen verdisconteerd. Bijvoorbeeld: in de schadekosten van ammoniak (NH₃) en stikstofoxiden (NO_x) zit al het effect dat optreedt bij depositie op de bodem. In dit geval dienen de emissies die vanuit de lucht neerslaan op de bodem, en als dusdanig in de Emissieregistratie worden vermeld, niet worden meegenomen bij de uiteindelijke bepaling van de schadekosten. Dan zou immers een dubbeltelling optreden.

¹⁴ Een deel van de fijnstofemissies bevat elementair koolstof of ultrafijne deeltjes (PM_{0.1}). Beide categorieën van fijnstof leveren extra schadekosten op (zie CE Delft 2023: 135-137) die moeten worden opgeteld bij de schadekosten van fijnstof (PM_{2.5}). Door ontbrekende emissiegegevens was dat in deze studie echter niet mogelijk. Daarom vormt de schadeschatting voor fijnstof een onderschatting van de daadwerkelijke schade.

3 Monetaire milieuschade in 2022

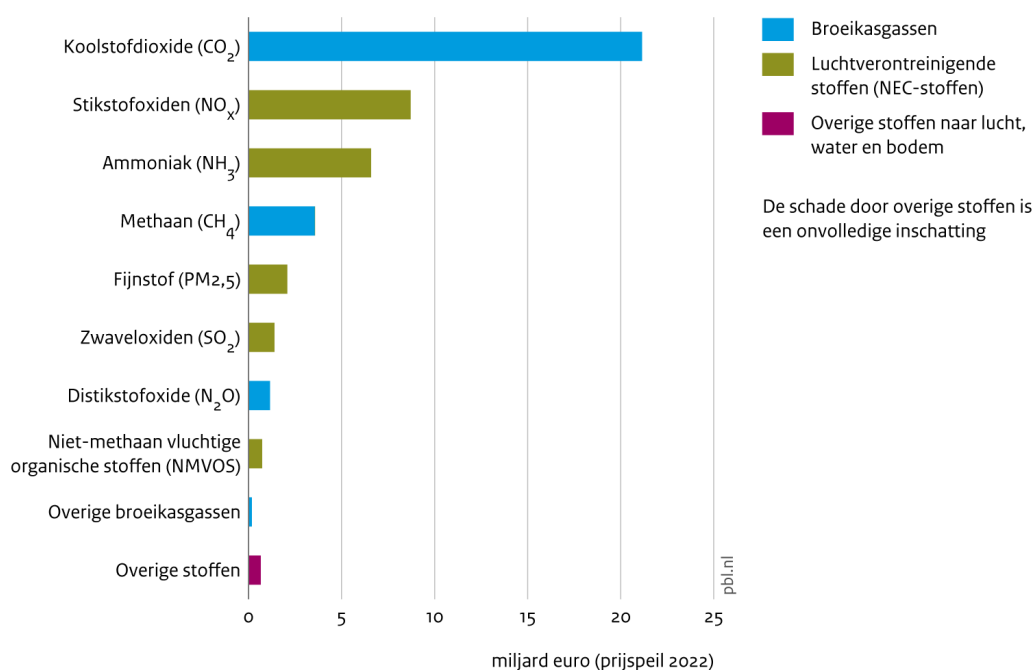
In dit hoofdstuk presenteren we de milieuschade in Nederland voor het jaar 2022. We kijken naar de diverse stoffen die verantwoordelijk zijn voor de milieuschade (paragraaf 3.1) en naar de sectoren (paragraaf 3.2) en subsectoren (paragraaf 3.3) waar deze het meest voorkomen. Alle bedragen die in deze paragraaf worden vermeld, zijn uitgedrukt in het prijspeil van 2022.

3.1 Verdeling naar stoffen

De voor 2022 berekende milieuschade in Nederland bedraagt ruim 46 miljard euro. Figuur 3.1 laat zien dat de grootste schade ontstaat door de uitstoot van koolstofdioxide, gevolgd door stikstofoxiden en ammoniak. De emissies van koolstofdioxide (CO_2) dragen bij aan het versterkte broeikas-effect, net zoals de emissies van distikstofoxiden (N_2O) en methaan (CH_4).¹⁵ Emissies van stikstofoxiden (NO_x) en ammoniak (NH_3) dragen zowel bij aan gezondheidsschade als aan schade aan ecosystemen. Emissies van acht stoffen (CO_2 , NO_x , NH_3 , SO_2 , $\text{PM}_{2,5}$, N_2O , NMVOS naar lucht) zijn verantwoordelijk voor meer dan 98 procent van de bekende en berekende milieuschade van de 189 stoffen waarvoor we de milieuschade konden bepalen.

Figuur 3.1

Monetaire milieuschade per veroorzakende stof, 2022



Bron: Berekeningen PBL op basis van data RIVM en CE Delft

¹⁵ Methaan geeft daarnaast ook nog een klein effect op luchtverontreiniging (<0,5 procent van de schadekosten).

De overige 181 stoffen uit de Emissieregistratie waarvoor milieuprijzen beschikbaar zijn, vormen in totaal dus slechts 2 procent van de berekende milieuschade in Nederland. Zoals uit tabel 3.1a tot en met tabel 3.1e en bijlage A valt op te maken, gaat het dan om de emissie van zware metalen naar lucht, bodem en water. De schaduw prijzen voor deze emissies zijn weliswaar hoog, maar omdat de emissies zelf erg laag zijn, is de totale milieuschade door deze emissies minder groot dan op basis van de schaduw prijzen verwacht zou worden. Gericht beleid in het verleden heeft bovendien een aantal emissiebronnen (met name zware metalen naar lucht en water) aangepakt waardoor de emissies nu veel lager zijn. Overigens zijn dergelijke emissies vaak verbonden aan een bepaalde industriële of economische activiteit en kunnen deze lokaal wel veel schade veroorzaken.

Naast de berekende milieuschade is er ook milieuschade die onvoldoende bekend is of niet berekend kon worden. Zo zijn er voor moeilijk of niet-afbreekbare stoffen, zoals PFAS, geen milieuprijzen bekend, terwijl deze wel milieuschade veroorzaken. Voor de stoffen waarvoor wel milieuprijzen beschikbaar zijn, zijn bij de bepaling van de milieuschade mogelijkwerwijs niet alle bekende effecten meegenomen (zie paragraaf 4.3). Daarom is het aannemelijk dat de totale milieuschade hoger uitvalt dan de hier berekende 46,2 miljard euro. Daarnaast is het aannemelijk dat het grootste deel van deze niet-berekende schade zich bevindt in de categorie 'overige stoffen', die vooral chemische stoffen bevat. De stoffen waarvan de emissievracht hoog is, zijn namelijk veel beter onderzocht op hun schadelijke effecten.

In totaal is ruim 56 procent van de berekende milieuschade afkomstig van broeikasgassen (26 miljard euro). Meer dan 80 procent van de door broeikasgassen veroorzaakte milieuschade wordt veroorzaakt door CO₂ (21,1 miljard euro). Ruim 42 procent van de milieuschade (19,5 miljard euro) wordt veroorzaakt door de zogeheten NEC-stoffen: stoffen die luchtvervuiling veroorzaken en onder de Europese NEC-richtlijn vallen (*national emission ceilings*). De milieuschade van deze stoffen wordt vooral veroorzaakt door gezondheidsschade. De gezondheidsschade van PM_{2.5} is gerelateerd aan primair fijnstof, terwijl SO₂, NO_x, NH₃ en in mindere mate NMVOS verantwoordelijk zijn voor secundair fijnstof. Fijnstof is verantwoordelijk voor ademhalings- en cardiovasculaire ziekten en zorgt voor een lagere levensverwachting. Daarnaast zorgt NO_x ook apart nog voor gezondheidsschade doordat een overmaat van NO₂ in de lucht leidt tot schade aan de luchtwegen en andere klachten. Tot slot dragen NO_x en NMVOS ook bij aan het bestaan van ozon op leefniveau, wat tot acuut hartfalen en andere gezondheidsklachten kan leiden.

Er is discussie mogelijk over de vraag of secundair fijnstof minder schadelijk is dan primair fijnstof. Het empirische bewijs daarvoor wordt door de WHO (2013) van onvoldoende kwaliteit geacht om onderscheid te maken tussen de twee. Daarom gebeurt dit ook niet in het *Handboek milieuprijzen*. Daarnaast is het zo dat primair fijnstof juist schadelijker is dan secundair fijnstof omdat een deel van het fijnstof ultrafijnstof (PM_{0.1}) bevat. CE Delft (2023: 136) berekende voor ultrafijnstof een schadekost die bijna vier keer hoger is dan voor PM_{2.5} en opgeteld moet worden bij de schatting voor PM_{2.5}. Ook omvat fijnstof voor een deel elementair koolstof, dat eveneens schadelijker is dan gewone fijnstof (afhankelijk van de bron van uitstoot). De milieuprijzen voor ultrafijnstof en elementair koolstof zijn in deze studie niet gebruikt vanwege een gebrek aan emissiedata. Daarom vormt de gezondheidsschade door PM_{2.5} in deze studie (1,9 miljard euro) een ondergrens van de werkelijke schadekosten (zie ook paragraaf 4.3).

Tabel 3.1a

Broeikasgassen: emissie, milieuprijs (middenwaarden) en monetaire milieuschade in 2022

	Emissie (ton)	Milieuprijs €/kg ^a	Milieuschade €mln
Koolstofdioxide	141.800.240	0,149	21.149,4
Methaan	662.750	5,4 ^b	3.573,8
Distikstofoxide	25.729	44,7	1.151,3
HFK-134a (1,1,1,2-tetrafluorethaan)	316	231,8	73,2
HFK-125 (pentafluorethaan)	68	550,7	37,7
HFK-23 (trifluormethaan)	10	2.066,3	21,6
Zwavelhexafluoride	5	3.890,5	20,8
HFK-143a (1,1,1-trifluorethaan)	25	821,5	20,3
HFK-32 (difluor-methaan)	42	121,6	5,1

- a) Dit betreft de milieuprijs van CE Delft (2023) aangepast aan inflatie en klimaatprijsstijging, zie paragraaf 2.5.
- b) Methaan veroorzaakt ook ozon op leefniveau, deze (kleine) schade zit in de milieuprijs voor methaan verdisconteerd en is alleen aangepast met de inflatie.

Tabel 3.1b

Luchtverontreiniging, NEC stoffen: emissie, milieuprijs (middenwaarden) en monetaire milieuschade in 2022

	Emissie (ton)	Milieuprijs €/kg ^a	Milieuschade €mln
Stikstofoxiden (als NO ₂)	297.294	32,9 ^b	8.710,6
Ammoniak	121.365	54,2	6.581,6
Fijnstof (PM _{2,5})	16.844	133,1 ^b	2.086,2
Zwaveloxiden (als SO ₂)	23.298	63,3 ^b	1.393,9
NMVOs	245.104	3,0 ^b	734,9

- a) Dit betreft de milieuprijs aangepast aan inflatie, zie paragraaf 2.5.
- b) Prijs betreft de ongedifferentieerde prijs naar bron van uitstoot, zie bijlage A voor gedifferentieerde prijzen

Tabel 3.1c

Luchtverontreiniging, overige stoffen: emissie, milieuprijs (middenwaarden) en monetaire milieuschade in 2022

	Emissie (ton)	Milieuprijs €/kg ^a	Milieuschade €mln
Loodverbindingen (als Pb)	5	31.986	144,5
Cadmiumverbindingen (als Cd)	1	188.246	131,9
Koperverbindingen (als Cu)	105	1.110	116,6
Koolstofmonoxide	414.557	0,09	37,2
Benzo(a)Pyreen	2	6.274	10,4
Kwikverbindingen (als Hg)	1	16.858	8,9
Tetrachlooretheen	492	11,6	5,7
Folpet	54	95,4	5,1
Mancozeb	86	52,0	4,5
Naftaleen	211	15,1	3,2
Arseenverbindingen (als As)	0,28	11.369	3,2

Etheen	4.342	0,7	3,1
Overige 102 stoffen naar lucht	7.241	varia	18,9

a) Dit betreft de milieuprijs aangepast aan inflatie, zie paragraaf 2.5.

Tabel 3.1d

Stoffen naar water: emissie, milieuprijs (middenwaarden) en monetaire milieuschade in 2022

	Emissie (ton)	Milieuprijs €/kg^a	Milieuschade €mln
N - Totaal	19.902	4,7	92,6
Arseenverbindingen (als As)	8	3.617	29,0
P - Totaal	2.575	6,1	15,7
Overige 163 stoffen naar water	1.173	varia	2,6

b) Dit betreft de milieuprijs aangepast aan inflatie, zie paragraaf 2.5.

Tabel 3.1e

Stoffen naar bodem: emissie, milieuprijs (middenwaarden) en monetaire milieuschade in 2022

	Emissie (ton)	Milieuprijs €/kg^a	Milieuschade €mln
Arseenverbindingen (als As)	71	252	17,9
N - Totaal	2.155	2,0	4,3
Overige 31 stoffen naar bodem	664	varia	3,4

c) Dit betreft de milieuprijs aangepast aan inflatie, zie paragraaf 2.5.

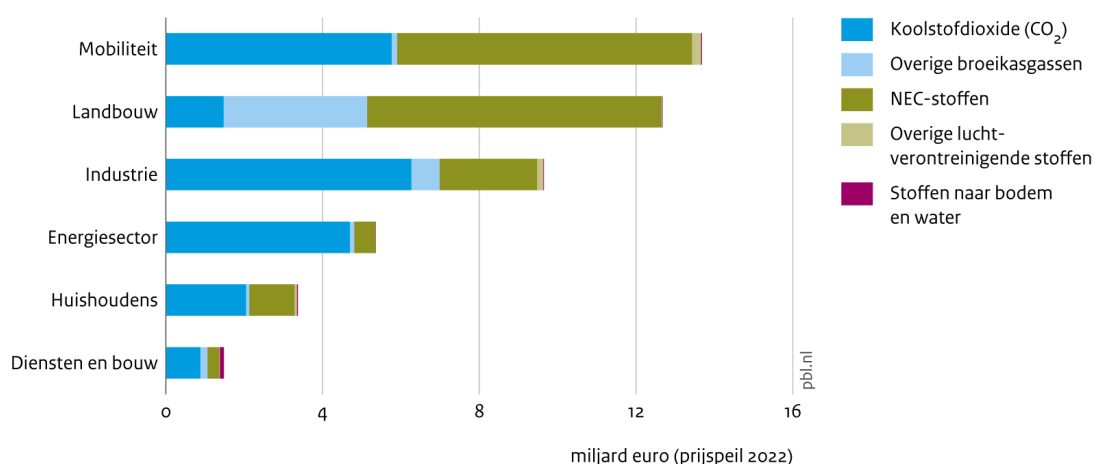
Met deze gegevens kan ook worden berekend wat de totale milieuschade is door stikstofuitstoot in Nederland. Stikstof in Nederland zorgt voor milieuschade via de lucht, via het water en via de bodem. Als we alle emissies van stikstofgerelateerde stoffen (NO_x, NH₃, N₂O en N-totaal naar bodem en water) bij elkaar optellen, komen we tot een schadelast van 16,5 miljard euro in het jaar 2022.

3.2 Verdeling naar sectoren

Net als in 2018 verdelen we de totale milieuschade naar sectoren. In de Emissieregistratie wordt een indeling naar 'sectoren' gehanteerd die deels afwijkt van de CBS-indeling naar bedrijfsmatige sectoren (zie paragraaf 2.2). In het verleden werden de sectoren van de Emissieregistratie 'doelgroepen' genoemd, een benaming die echter niet meer gehanteerd wordt door de Emissieregistratie zelf. In deze studie volgen we de onderverdeling naar sectoren uit de Emissieraming Lucht van het PBL (zie bijlage B voor de relatie tussen deze indeling naar sectoren en de Emissieregistratie).

Figuur 3.2 geeft een overzicht van de milieuschade per sector, gerangschikt in orde van belangrijkheid. Uit deze figuur blijkt dat de sector mobiliteit, met 13,7 miljard euro, van alle onderscheiden sectoren voor de grootste milieuschade zorgt. Dit komt voor meer dan de helft door de schade door luchtverontreiniging. De belangrijkste bron hierbij zijn de stikstofoxiden, die in de verkeerssector voor bijna 6 miljard euro aan schade veroorzaken. Fijnstof leidt tot 1,1 miljard euro schade. Zoals we in paragraaf 2.3.4 hebben beargumenteerd, worden de fijnstofemissies in deze sector hoger gewaardeerd omdat, door de lagere hoogte waarop de uitstoot plaatsvindt, een groter deel van de emissies in de longen van mensen terechtkomt en daar tot gezondheidsschade kan leiden.

Figuur 3.2
Monetaire milieuschade per sector, 2022



De afgelopen twintig jaar zijn, door Europees beleid, de emissies van de uitlaatgassen wel steeds verder teruggedrongen, zodat bij het wegverkeer de schadekosten door luchtverontreiniging thans lager zijn dan de schadekosten door broeikasgasemissies. Dit geldt evenwel niet voor de andere emissiebronnen van mobiliteit (zoals scheepvaart), waardoor de totale emissies toch sterker door luchtverontreinigende emissies worden bepaald dan door andere factoren (zie ook bijlage C). Hoewel minder belangrijk in de totale schadekosten, is de sector verkeer en vervoer in Nederland ook de belangrijkste sector als het gaat om overige soorten van luchtvervuiling, bijvoorbeeld door de uitstoot van zware metalen en polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's).

Ook in de landbouwsector zijn de schadekosten hoog (12,7 miljard euro). Hier zijn het vooral emissies van ammoniak en methaan die tot de berekende monetaire milieuschade leiden.¹⁶ Emissies van ammoniak veroorzaken schade aan de natuur en zorgen voor secundaire aerosolen, die tot gezondheidsschade kunnen leiden. Aanwezige ammoniak is daarbij ook een kritische stof, aangezien deze ervoor zorgt dat een groter deel van de NO_x- en SO₂-emissies reageren tot secundaire aerosolen (zie paragraaf 5.4). De broeikasgasemissies door landgebruik zijn in deze studie ook toegerekend aan de landbouwsector omdat deze sector volledig verantwoordelijk is voor die emissies (Koops et al. 2024).

Milieuschade door de industrie komt op de derde plaats (9,6 miljard euro). Hier zijn, net als bij de energiesector en de huishoudens, vooral de broeikasgassen dominant. Als we kijken naar de milieuschade van de industrie onderverdeeld in sectoren (2-digit), blijkt dat vooral de uitstoot in de chemische industrie tot milieuschade leidt, gevolgd door die van de raffinaderijen (zie bijlage C). Bij de diensten en bouw zijn ook schadekosten aan bodem en water te onderscheiden – deze worden

¹⁶ De emissies van de sector landbouw omvatten in de Emissieregistratie ook de emissies van hobbydieren gehouden door particulieren. Deze maken evenwel een klein deel uit van de totale emissies van de landbouwsector.

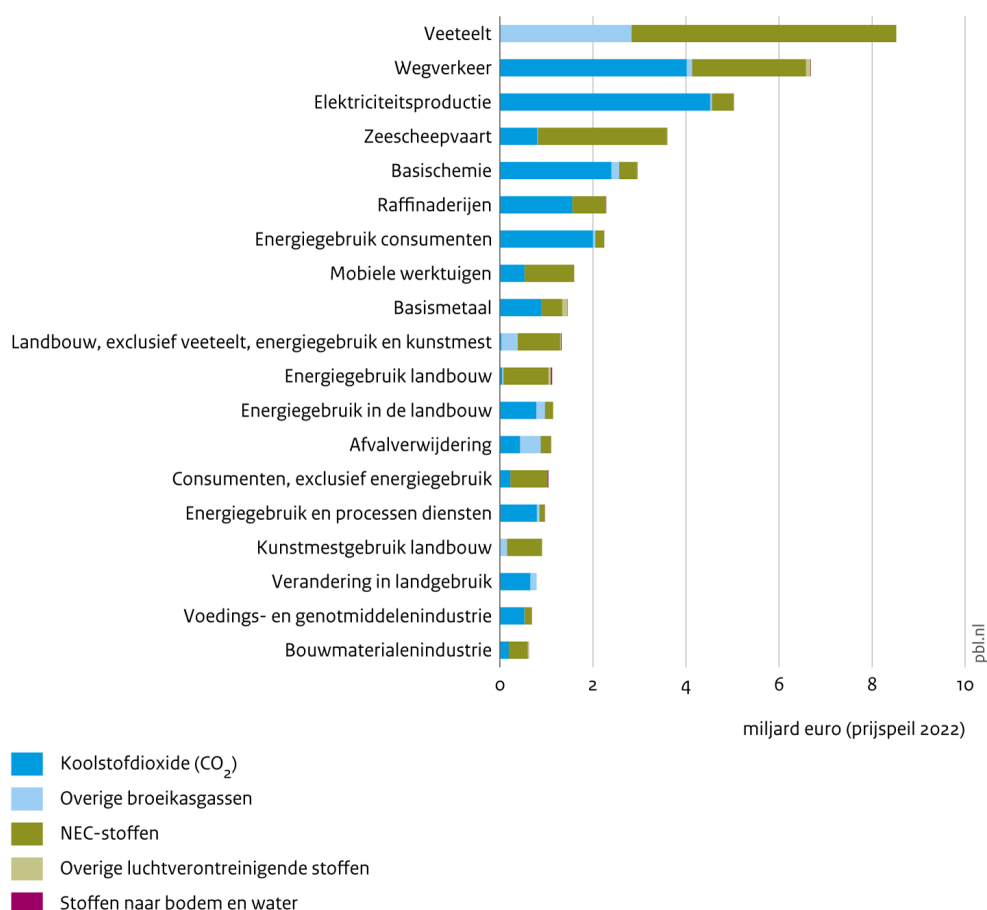
grotendeels veroorzaakt door de riolering en waterzuiveringsinstallaties. In totaal gaat het hierbij echter om een geringe bijdrage aan de totale milieuschadetekosten.

3.3 Verdeling naar subsectoren

Aan de hand van de Emissieregistratie is de milieuschade verder onder te verdelen naar subsectoren: dat is het activiteitsniveau waarop de vervuiling plaatsvindt. Het activiteitsniveau is in sommige gevallen vergelijkbaar met het niveau van de economische sectoren (SBI 3-, 4- of 5-digitniveau), maar staat daar in andere gevallen ook los van. Het is een zelfstandige indeling waarmee de Nederlandse emissies worden toebedeeld. Voor deze studie hebben we, net als in 2018, een aantal activiteiten samengevoegd tot een subsector (zie bijlage B). Figuur 3.3 presenteert alle sectoren met een milieuschade die groter is dan 0,5 miljard euro.

Figuur 3.3

Subsectoren met monetaire milieuschade groter dan 0,5 miljard euro, 2022



Bron: PBL-berekeningen op basis van data RIVM en CE Delft

Uit figuur 3.3 blijkt dat de veeteelt de grootste milieuschade veroorzaakt (8,5 miljard euro in 2022). Binnen deze subsector draagt het houden van rundvee het meest bij aan de milieuschade, maar ook de varkens- en pluimveehouderijen zijn belangrijke bronnen (zie bijlage C).¹⁷ De milieuschade door de veeteeltsector wordt vrijwel uitsluitend veroorzaakt door de emissies van ammoniak en methaan.

Na de veeteelt is het wegverkeer de subsector met de meeste milieuschade (6,7 miljard euro). Het grootste deel wordt veroorzaakt door emissies van CO₂ (4 miljard euro) en NO_x (1,9 miljard euro).

De elektriciteitsvoorziening resulteert in 5 miljard euro schade, die voornamelijk veroorzaakt wordt door de uitstoot van CO₂. Bij de zeescheepvaart is het juist luchtverontreiniging door de NEC-stoffen die tot de grootste schadekosten leidt. De emissies van de zeescheepvaart op het Nederlands continentaal plat (NCP) van de Noordzee worden daarbij lager gewaardeerd (zie paragraaf 2.3.4) omdat deze minder vaak in bewoond gebied terechtkomen. Desondanks is de uitstoot van de gehele sector aanzienlijk en domineert met name NO_x (2,1 miljard euro) de totale schadekosten. Naast emissies op het NCP zijn er ook belangrijke bronnen van emissies door de zeescheepvaart vanaf de Nederlandse wal en varende binnen de 12-mijlszone op Nederlands grondgebied (zie bijlage C). De emissies van deze bronnen zijn hier niet lager gewaardeerd omdat deze binnen de leefomgeving van de Nederlandse bevolking tot schade leiden.

Drie sectoren van de industrie zitten in de top 20: basischemie, raffinaderijen en basismetaal. Hier domineren ook de broeikasgassen, al is voor de basismetaal luchtvervuiling (bijna) net zo belangrijk. De basismetaal is ook de sector met de omvangrijkste bron van overige luchtvervuilende emissies, zoals zware metalen.

Andere belangrijke oorzaken van milieuschade zijn te vinden in het energiegebruik door consumenten, de landbouwsector en de dienstensector. Deze worden in de Emissieregistratie als aparte bronnen onderscheiden en zorgen elk voor een milieuschade van 1 miljard euro en meer.

Emissies door veranderingen in het landgebruik dragen bij aan een milieuschade van 0,8 miljard euro. Hierbij gaat het om emissies van broeikasgassen die door Nederland worden gerapporteerd als *Land Use, Land-Use Change and Forestry*-emissies (LULUCF). Dit zijn vooral emissies uit veenweidegebieden die ontstaan doordat de grondwaterstand is verlaagd voor de landbouw. Ook ontstaan emissies door het ploegen en bewerken van landbouwgrond (Koops et al. 2024). Daarom worden deze emissies toegerekend aan de landbouwsector.

Luchtvaartemissies vallen buiten deze figuur omdat de emissies in de Emissieregistratie zich beperken tot de emissies op Nederlands grondgebied tot 900 meter hoogte: de meeste emissies van een vlucht bevinden zich op een hoogte boven de 900 meter maar deze worden niet meegenomen in de Emissieregistratie (zie ook paragraaf 4.2).

In bijlage C duiden we de emissies per sector nader.

¹⁷ Emissies veroorzaakt door het houden van hobbyhuisdieren (voornamelijk paarden) worden in de sectorindeling van de Emissieregistratie ook tot de veeteeltsector gerekend. Het gaat hierbij echter, naar verhouding, om een zeer kleine bron van uitstoot.

4 Gevoeligheidsanalyse

In dit hoofdstuk geven we nadere duiding aan de in hoofdstuk 3 gepresenteerde berekening van de milieuschade. We doen dat door een analyse te geven op de onzekerheden die bij deze berekeningen spelen (paragraaf 4.1) en door in te gaan op de verschillende methoden om de omvang van de broeikasgasemissies te meten (paragraaf 4.2). Ook bespreken we de beperkingen en omissies in de huidige schattingen (paragraaf 4.3).

4.1 Onzekerheid

De milieuschade hebben we berekend op basis van de gerapporteerde emissies uit de Emissieregistratie en de centrale waarden uit het *Handboek milieuprijzen*. Er zit echter onzekerheid in deze berekening; die heeft zowel te maken met de emissiecijfers als met de bepaling van de milieuprijzen, dus zowel de P als de Q in formule (2) in het vorige hoofdstuk.

Emissies in Nederland worden berekend aan de hand van gegevens die bedrijven aanleveren, emissiefactoren, modellen en metingen. Deze schattingen zijn aan onzekerheid onderhevig. De Emissieregistratie kwantificeert elk jaar de onzekerheid van de emissiecijfers voor broeikasgassen en de emissies van NEC-stoffen naar de lucht (RIVM 2024). De onzekerheid is het kleinst bij de emissies van CO₂ (+/- 4 procent binnen een 95 procent betrouwbaarheidsinterval) en het grootst bij bronnen die niet volledig samenhangen met het brandstofverbruik, zoals NMVOS (+/- 48 procent binnen een 95 procent betrouwbaarheidsinterval). Omdat de emissies tegenwoordig met modellen worden ingeschat, spreken we hier van *modelonzekerheden*.

Ook zijn er grote onzekerheden bij de berekening van de milieuprijzen (zie CE Delft 2023: bijlage G). Hier moet een onderscheid worden gemaakt tussen de bepaling van de milieuprijs voor broeikasgassen en die voor de overige stoffen. Bij de bepaling van de milieuprijzen voor broeikasgassen zit de voornaamste onzekerheid bij de kostenontwikkeling van de technieken die worden ingezet om in 2050 klimaatneutraal te worden. CE Delft (2023) rapporteert een onzekerheidsmarge waarbij de onderwaarde ongeveer een factor 2,5 maal lager en de bovenwaarde bijna 25 procent hoger is dan de centrale waarde. Belangrijke factoren, naast de kostenontwikkeling van technieken, zijn 1) onzekerheid over de mate waarin de afvang en opslag van CO₂ (Carbon Capture and Storage, CCS) kan worden ingezet, 2) onzekerheid over de mogelijkheden van negatieve emissies en 3) onzekerheid over de mate van 'banking', waarmee emissiereducties kunnen worden uitgesteld totdat de kosten hiervan zijn gedaald (zie CE Delft 2023: 128).

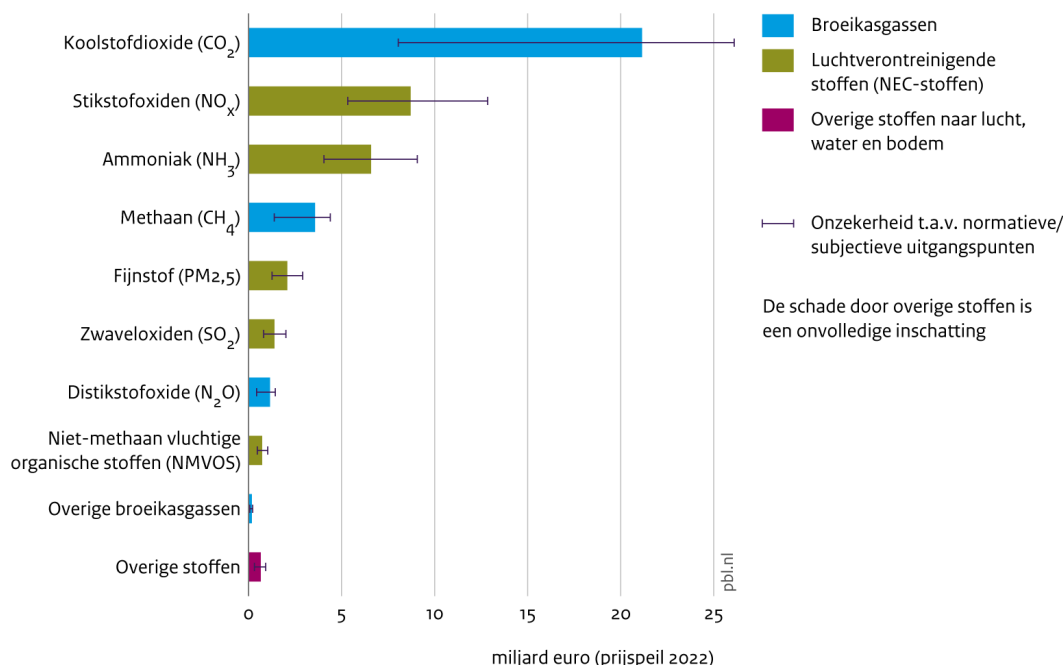
Bij de milieuprijzen van de niet-broeikasgassen spelen verschillende onzekerheidsfactoren een rol, waaronder:

- Onzekerheid over de manier waarop emissies zich verspreiden over de ruimte (lucht, water, bodem);
- Onzekerheid over de dosis-responserelaties waarmee de effecten worden ingeschat van concentraties van milieuschadelijke stoffen op de menselijke gezondheid, biodiversiteit, ecosysteemdiensten en gebouwen/materialen;
- Onzekerheid over de tijdshorizon die moet worden meegenomen bij de beschouwing van de schadelijke effecten (met name relevant bij bio-accumulatieve stoffen die zich op kunnen hopen in mensen, dieren en de natuur);
- Onzekerheid over de monetaire waardering van de schade.

De laatste twee categorieën van onzekerheid zijn in het *Handboek milieuprijzen* gebruikt om onder- en bovenwaarden van de milieuprijzen voor niet-broeikasgassen te berekenen, zoals voorgeschreven voor de maatschappelijke kosten-batenanalyses (MKBA's) van het overheidsbeleid. Uitgangspunt voor de onderwaarde is een tijdshorizon van twintig jaar en een gemiddelde van de laagste waarderingen die in de literatuur over dit effect zijn gevonden. Uitgangspunt voor de bovenwaarde is een tijdshorizon van honderd jaar en een gemiddelde voor de hoogste waarderingen die in de literatuur zijn gevonden (voor de precieze bepaling, zie CE Delft 2023: hoofdstuk 5 en bijlagen).¹⁸ Deze onder- en bovenwaarde geven een bandbreedte van de onzekerheid over de monetaire schadeberekeningen op het gebied van waardering en de beschouwde tijdshorizon. Ze worden hieronder de *waarderingsonzekerheid* genoemd. Deze waarderingsonzekerheid hebben wij gebruikt om de onzekerheid in de monetaire milieuschade te berekenen.

Figuur 4.1

Monetaire milieuschade in Nederland met onzekerheid, 2022



Figuur 4.1 laat zien hoe groot de monetaire milieuschade is als de waarderingsonzekerheid wordt meegenomen in de berekening. De milieuschade door CO₂-emissies, ruim 21 miljard euro in de centrale variant, varieert van 8 tot 26 miljard euro. De onzekerheidsmarge is hier dus scheef verdeeld, waarbij de schadekosten aan de onderkant duidelijk lager worden ingeschat. Omdat de waardering voor de overige broeikasgassen is afgeleid van de waardering van de CO₂-emissies, geldt deze onzekerheidsmarge ook bij de overige broeikasgassen.

¹⁸ Voor de meeste stoffen met een effect op humane toxiciteit en ecotoxiciteit is in het *Handboek milieuprijzen* een extra onzekerheidsmarge opgenomen die betrekking heeft op onzekerheid over de dosis-responserelaties. Dit is gedaan om tot uitdrukking te brengen dat dosis-effectrelaties van deze stoffen nog onzekerder zijn dan die van de stoffen die uitgebreid in de epidemiologische literatuur zijn onderzocht en waarvan meta-analyses zijn verschenen, zoals alle NEC-stoffen.

De NEC-stoffen hebben een waarderingsonzekerheidsmarge aan de boven- en onderkant van ongeveer +/-40 procent ten opzichte van de centrale waarde. De schadekosten van de overige stoffen hebben een nog grotere onzekerheidsmarge, namelijk ongeveer +/-50 procent ten opzichte van de centrale waarde. Als we de onzekerheidsmarges van alle stoffen bij elkaar optellen, blijkt dat de monetaire milieuschade kan variëren van 24 miljard euro in de ondergrens tot 61 miljard euro aan de bovengrens, met een centrale schatting van 46 miljard euro. Deze centrale waarde geeft, gegeven de onzekerheden, de best mogelijke inschatting van de omvang van de monetaire milieuschade van de onderzochte stoffen in Nederland over het jaar 2022.

4.2 Bepaling van broeikasgasemissies

Eerder hebben we aangegeven dat de Emissieregistratie en de IPCC andere methoden hanteren om de omvang van de broeikasgasemissies in Nederland te bepalen (zie paragraaf 2.2). In deze studie hebben we in principe de IPCC-methode gevolgd. Alleen voor de emissies door verkeer zijn de gegevens uit de Emissieregistratie genomen, dus inclusief de emissies van de binnen- en zeescheepvaart en de luchtvaart (tot 900 meter hoogte) op Nederlands grondgebied. Voor de Emissieregistratie worden de emissies van al het verkeer op Nederlands grondgebied bepaald op basis van de daadwerkelijk afgelegde kilometers en niet op basis van de verkochte brandstof.

Tabel 4.1

Vergelijking monetaire milieuschade in Nederland in 2022 volgens diverse berekeningswijzen van broeikasgassen (in mln euro)

	Dit rapport UNFCC m.u.v. verkeer en vervoer volgens ER ^b	Volgens IPCC Excl. int. bunkers	Volgens IPCC incl. int. bunkers	Volgens ER Alle gegevens incl. kortcyclisch ^c
Kooldioxide	€ 21.149	€ 19.700	€ 26.439	€ 23.286
Methaan^a	€ 3.574	€ 3.567	€ 3.595	€ 3.376
Distikstofoxide	€ 1.119	€ 1.119	€ 1.174	€ 1.179
HFK's	€ 158	€ 158	€ 158	€ 172
Zwavelhexafluoride	€ 21	€ 21	€ 21	€ 23
PFK's	€ 0	€ 0	€ 0	€ 1
Totaal	€ 26.021	€ 24.565	€ 31.387	€ 28.036
- vv int. luchtvaart	€ 0,11	0	€ 1,44	€ 0,11
- vv int. scheepvaart	€ 0,82	0	€ 5,39	€ 0,82

a) Methaan veroorzaakt ook ozon op leefniveau, deze (kleine) schade zit in de milieuprijs voor methaan verdisconteerd en is hierbij opgenomen voor alle categorieën, dus ook voor de bunkers.

b) In vergelijking met de IPCC-methode is er bij de berekening in deze studie rekening gehouden met emissies van luchtvaart (tot 900m), zeescheepvaart op het Nederlands grondgebied (inclusief Nederlands deel continentale plat) en zijn de broeikasgasemissies door het wegverkeer op basis van verreden kilometers gedaan in plaats van op getankte brandstof volgens de IPCC-richtlijnen.

c) Exclusief emissies uit de natuur

Net als in Drissen en Vollebergh (2018), geven we hier een overzicht van wat er gebeurt met de schadekosten als de broeikasgasemissies in 2022 op basis van andere definities worden bepaald. In de eerste kolom van tabel 4.1 staat de schade door de broeikasgasemissies die we in deze studie tot uitgangspunt hebben genomen: 26,0 miljard euro. Deze emissies zijn bepaald aan de hand van op Nederlands grondgebied uitgestoten emissies. Emissies van de internationale zeescheepvaart en luchtvaart tellen dan mee als ze op Nederlands grondgebied uitgestoten worden. Voor de internationale rapportageverplichtingen aan de United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC) tellen deze echter niet mee voor de Nederlandse emissies.

De milieuschade van de aan Nederland toegerekende broeikasgasemissies volgens de internationale rapportageverplichtingen van het UNFCC bedragen 24,6 miljard euro. Dat is ongeveer 1,5 miljard euro minder dan volgens de Emissieregistratie. In dit cijfer zijn geen emissies opgenomen van de internationale zeescheepvaart, binnenvaart en luchtvaart, hoewel Nederland de emissies van de in Nederland getankte brandstoffen voor internationaal vervoer wel aan het UNFCC rapporteert. Zouden deze emissies wél aan Nederland worden toegerekend, dan stijgt de milieuschade door broeikasgasemissies tot 31,4 miljard euro. In de centrale schatting zou de totale milieuschade in Nederland dan 51,6 miljard euro bedragen.

De milieuschade van alle broeikasgassen die boven Nederlands grondgebied worden uitgestoten, kan worden berekend door voor alle sectoren de Emissieregistratiegegevens te gebruiken en niet voor de sector verkeer en vervoer alleen. In dat geval zou de milieuschade door broeikasgasemissies 28 miljard euro bedragen, 2 miljard euro meer dan in dit rapport berekend. Het gaat hierbij met name om de CO₂-uitstoot van kortcyclische emissiebronnen, zoals biomassa. Hoewel de verbranding van biomassa tot CO₂-uitstoot leidt, is deze CO₂ elders onttrokken aan de atmosfeer. De vraag of er netto CO₂ vrijkomt bij de verbranding van biomassa, is zeer contextspecifiek en kan daarom niet eenvoudig worden beantwoord (Strengers et al. 2024).

4.3 Beperkingen in volledigheid

Naast de bovenstaande onzekerheden en definitiekwesties kent de berekening van de milieuschade ook beperkingen *qua volledigheid*. Diverse categorieën van schade zijn namelijk niet meegenomen of kennen sterke beperkingen bij het bepalen van de monetaire waarde daarvan. Hier onderscheiden we drie soorten beperkingen.

Beperkingen in emissiebepaling

De Emissieregistratie geeft geen volledig beeld van alle stoffen die van belang zijn voor de milieuschade. Zo wordt bijvoorbeeld ultrafijnstof (PM_{0.1}) niet gemeten terwijl er in de epidemiologische literatuur wel ziektelasten gevonden worden die alleen voor PM_{0.1} gelden (CE Delft 2023: 136-137). Deze zouden moeten worden opgeteld bij de schadekosten van PM_{2.5}. Maar omdat PM_{0.1} niet wordt gerapporteerd in de Emissieregistratie, weten we niet welk aandeel van PM_{2.5} in werkelijkheid PM_{0.1} is. Daarmee vormt de inschatting van de schadelijkheid van fijnstof in deze studie een onderschatting.

Dit geldt eveneens voor andere vervuilende stoffen. Er komen duizenden gevaarlijke chemische stoffen in het milieu terecht, maar niet alle stoffen worden gemeten in de Emissieregistratie. Microplastics in huishoudelijk afvalwater (wasmachine) of emissies door zwerfafval zijn voorbeelden van zaken die daarin onvolledig worden meegenomen.

Beperkingen in milieuprijzen

Ook het gebruik van milieuprijzen kent beperkingen. Allereerst zijn van veel milieugevaarlijke stoffen uit de Emissieregistratie geen milieuprijzen bekend. Dit komt onder meer omdat, zoals eerder gesteld, kennis ontbreekt over dosis-effectrelaties. Ook voor moeilijk of niet-afbreekbare stoffen in het milieu zijn geen prijzen berekend omdat deze gedurende een heel lange tijd effecten kunnen hebben en wetenschappelijke inzichten over schadelijkheid zich in de loop van de tijd kunnen ontwikkelen. In het *Handboek milieuprijzen* wordt beargumenteerd dat bij beleidsafwegingen dergelijke stoffen, zoals alle PFAS, beter met een risicoanalyse kunnen worden meegenomen dan met milieuprijzen. In totaal zijn van ongeveer 40 procent van de stoffen die in de Emissieregistratie worden gerapporteerd, geen milieuprijzen bekend.

Van belang is verder dat in het *Handboek milieuprijzen* uitgegaan wordt van een ‘conservatieve’ benadering bij de keuze om de dosis-effectrelaties al dan niet mee te nemen. Uitgangspunt hierbij is dat in voldoende studies moet zijn bewezen dat een stof schade veroorzaakt aan de menselijke gezondheid. Studies die gebruik maken van dierproeven, worden bijvoorbeeld niet meegenomen. Daarnaast gaat het handboek in principe alleen uit van schades die door meta-analyses zijn aangetoond. Stoffen waarvan in slechts één of enkele studies schadelijke effecten zijn gerapporteerd, worden terzijde geschoven. Zo is, bijvoorbeeld, bij emissies van cadmium naar de lucht wel de kans op het verkrijgen van kanker meegenomen, maar niet de effecten ervan op chronische nierfunctiestoornis, osteomalacie, acuut hartfalen, secundaire hypertensie en atherosclerose: allemaal effecten die ook in de literatuur zijn aangetoond maar waarvan nog geen meta-analyses zijn verschenen.

Ook de waardering van ecosysteemdiensten kent de nodige beperkingen in het *Handboek milieuprijzen*. In beginsel is deze gebaseerd op een marginale waardering, dus een waardering voor een kleine verandering in vervuiling die een effect geeft op ecosysteemdiensten. De waardering van grote veranderingen en kantelpunten is daarbij niet meegenomen. Dat geldt ook voor cruciale ‘ecosysteemdiensten’, zoals bestuiving.

Beperkingen in soorten milieuschade

Tot slot ontstaat niet alle milieuschade door emissies van milieugevaarlijke stoffen. Vink & van Hinsberg (2019) laten bijvoorbeeld zien dat het terugdringen van de verdroging en de versnippering van natuur, naast stikstofreductie, ook een belangrijke bijdrage kan hebben aan het natuurherstel in Nederland. Geluidsbelasting kent dan weer wel belangrijke gezondheidseffecten maar deze wordt hier niet meegenomen (CE Delft 2023).

5 Vergelijking met studie uit 2018

In Drissen en Vollebergh (2018) hebben we de monetaire milieuschade van de emissies uit 2015 bepaald op ruim 31 miljard euro (prijspeil van 2015). Dit bedrag was berekend door de emissies uit de Emissieregistratie uit 2015 te waarderen met milieuprijzen uit het *Handboek milieuprijzen* uit 2017 (CE Delft 2017). Ten opzichte van die studie is de milieuschade in 2022 dus toegenomen met 15 miljard euro, namelijk tot 46 miljard euro. Deze toename is de resultante van de verandering in de omvang van de emissies en de verandering in de milieuprijzen. In dit hoofdstuk gaan we dieper in op beide veranderingen. Daarmee geven we inzicht in de verschillen tussen de twee berekeningen.

5.1 Verandering in emissies 2015-2022

Zoals we hebben aangegeven, geeft de voorliggende studie een nieuwe berekening van de omvang van de milieuschade in Nederland, en wel voor de emissies in het jaar 2022. Een eerste belangrijk verschil met de studie uit 2018 zit vanzelfsprekend in de hoeveelheid emissies (de Q in formule 2). De emissiedata zijn immers aangepast naar het jaar 2022 voor alle emissies naar lucht, water en bodem. De verandering in de emissies ten opzichte van Drissen en Vollebergh (2018) kent twee oorzaken:

1. De emissies zijn door de tijd heen veranderd omdat deze voor de Emissieregistratie op een andere manier worden gemeten;
2. De emissies zijn door de tijd heen veranderd als gevolg van beleid of andere veranderingen in de economie.

Beide veranderingen zijn van belang om de uiteindelijke verandering in de monetaire milieuschade juist te interpreteren. Tabel 5.1 geeft de emissies weer in 2015 en 2022 voor de acht stoffen die 98 procent van de milieuschade uitmaken (zie hoofdstuk 3). In de eerste kolom van de tabel staan de emissies uit 2015, zoals deze zijn gerapporteerd in Drissen en Vollebergh (2018). De gegevens uit die studie zijn afkomstig uit de Emissieregistratie van november 2017. Als we de emissies uit 2015 nu opnieuw uit de Emissieregistratie zouden halen, worden alle emissies, met uitzondering van SO_2 , nu hoger ingeschat. Tussen 2017 en 2024 zijn er namelijk diverse aanpassingen gedaan in de manier waarop de Emissieregistratie de emissies inschat. Zo zijn de berekeningswijzen voor landbouwemissies aangepast, hetgeen tot hogere ammoniakemissies heeft geleid (Van der Zee et al. 2023). Ook worden diverse emissiebronnen van consumenten thans anders ingeschat. Voor NMVOS zijn er diverse bronnen toegevoegd, waaronder emissies uit mestmanagement, landbouwbodems en desinfectiemiddelen. Voor broeikasgasemissies rapporteert de Emissieregistratie nu wel emissies die het gevolg zijn van veranderingen in landgebruik.¹⁹ Dit leidt tot herberekeningen die ook van toepassing zijn op de emissiegegevens uit het verleden.

De inschatting van de emissies uit 2015 met het huidige kennisniveau is weergegeven in de tweede kolom van tabel 5.1. Een vergelijking met de eerste kolom laat zien dat de emissies van alle stoffen

¹⁹ In de studie uit 2018 werden deze niet meegenomen in de standaardberekening omdat de Emissieregistratie deze nog niet rapporteerde. Wel zijn zij in die studie meegenomen in een gevoeligheidsanalyse.

is toegenomen met uitzondering van zwaveloxiden, die nu lager worden ingeschat. Met name voor NMVOS hebben nieuwe inzichten tot fors hogere emissies geleid.

Tabel 5.1
Emissies in Nederland in 2022 en 2015 volgens de Emissieregistratie nu en zoals gerapporteerd in PBL (2018), in kt voor de acht stoffen met de hoogste milieuschade

Jaar van emissie	2015	2015	2022	Vergelijking 2022 t.o.v. 2015	Vergelijking 2022 t.o.v. 2015
Bron emissiegegevens:	PBL (2018) ^a	ER (2024) ^b	ER (2024) ^b	PBL (2018) ^a	ER (2024) ^a
Broeikasgassen					
- Koolstofdioxide (CO ₂)	171.913	175.570	141.800	-18%	-19%
- Methaan (CH ₄)	737	742	663	-10%	-11%
- Distikstofoxide (N ₂ O)	29	30,6	25,7	-11%	-16%
Luchtverontreiniging					
- Ammoniak (NH ₃)	128	130	121	-5%	-7%
- Fijnstof (PM _{2,5})	17	21,1	16,8	-1%	-20%
- NMVOS	144	260	245	70%	-6%
- Stikstofoxiden (als NO ₂)	355	363	297	-16%	-18%
- Zwaveloxiden (als SO ₂)	44	42,5	23,3	-47%	-45%

- a) PBL 2018 betreft Drissen & Vollebergh, 2018. De emissiegegevens van 2015 in deze studie waren gebaseerd op gegevens uit de Emissieregistratie in 2017
- b) Gegevens uit de Emissieregistratie, oktober 2024.

De derde kolom presenteert de emissies uit 2022 (met het huidige kennisniveau). Hieruit valt af te leiden dat de meeste emissies sinds 2015 flink zijn gedaald, zoals ook in de Emissieramingen Lucht (PBL & RIVM 2025) werd geconstateerd. Als we uitgaan van de nieuwste cijfers, dan blijken alle emissies tussen 2015 en 2022 te zijn afgenomen, het minst voor NMVOS (-6 procent) en het meest voor SO₂ (-45 procent). De afname ten opzichte van de vorige studie is echter minder groot, omdat de emissies uit 2015 thans hoger worden ingeschat.

Voor een goed begrip van de veranderingen in de totale monetaire milieuschade is het dus van belang te realiseren dat de inschatting van de monetaire milieuschade uit de vorige studie met de huidige gegevens hoger zou zijn geweest. Zouden de emissies uit 2015 met de huidige inzichten zijn bepaald, dan gaat het voor deze stoffen om ruim 1 miljard euro extra schade. De totale schade van de emissies uit 2015 zou dan op ruim 32 miljard euro uitkomen (prijspeil van 2015).

5.2 Verandering in milieuprijzen 2015-2022

Lagere emissies zouden in principe tot lagere schadekosten moeten leiden. Volgens formule (1) uit hoofdstuk 3 werken lagere hoeveelheden direct door in het waardebedrag, tenzij tegelijkertijd ook de prijzen veranderen. Precies dat is het geval. De nieuwe berekeningen van de monetaire milieuschade zijn bepaald met behulp van het nieuwe *Handboek milieuprijzen* uit 2023, die vaak hoger liggen dan voorheen (zie paragraaf 2.4).

Tabel 5.1 geeft de milieuprijzen die zowel in de studie uit 2018 als in de huidige studie zijn

gehanteerd, wederom voor de emissies die het belangrijkste aandeel hebben in de hier berekende monetaire milieuschade. De studie uit 2018 gebruikte de milieuprijzen zoals gerapporteerd in het *Handboek milieuprijzen* (CE Delft 2017). Dit waren prijzen voor een gemiddelde emissie van een stof in 2015, uitgedrukt in het prijspeil van 2015. Allereerst is het vanzelfsprekend dat milieuprijzen worden gecorrigeerd voor inflatie. Als het algemene prijspeil stijgt, dan heeft dat geen invloed op de reële waarde van een goed, ook niet van externe effecten zoals milieuschade. Tussen 2015 en 2022 stegen de prijzen, gemeten via de geharmoniseerde consumentenprijsindex, met ruim 21 procent (CBS). De tweede kolom in tabel 5.2 geeft de voor inflatie gecorrigeerde waarden uit Drissen en Vollebergh (2018), die dus ruim 21 procent hoger zijn geworden.

In het nieuwe *Handboek milieuprijzen* (CE Delft 2023) zijn alle milieuprijzen opnieuw berekend en uitgedrukt in het prijspeil van 2021. Deze informatie hebben we gebruikt om de prijzen in het jaar 2022 uit te rekenen (zie hieronder). Tabel 5.2 laat zien dat de milieuprijzen voor de meeste stoffen thans een stuk hoger zijn dan de voor inflatie gecorrigeerde prijzen uit het oude handboek, met uitzondering van de prijzen voor NO_x.

Tabel 5.2

Gemiddelde schadekosten in euro per kilogram emissie voor de acht stoffen met de hoogste milieuschade vanaf Nederlands grondgebied voor 2015 en 2022, in verschillende prijspeilen.

Milieuprijs voor het jaar	2015	2015	2022 ^a
Prijspeil	2015	2022	2022
Broeikasgassen			
- Koolstofdioxide (CO ₂)	0,057	0,069	0,149
- Methaan (CH ₄)	1,7	2,1	5,4
- Distikstofoxide (N ₂ O)	15	18,2	44,7
Luchtverontreiniging			
- Ammoniak (NH ₃)	30,5	37,0	54,2
- Fijnstof (PM _{2,5})	79,5	96,5	133
- NMVOS	2,1	2,6	3,0
- Stikstofoxiden (NO _x) ^b	34,7 ^b	42,1	32,9
- Zwaveloxiden (als SO ₂)	24,9	30,2	63,3

a) Dit betreft een omrekening van de waarden voor het jaar 2021 uit CE Delft (2023) waarbij gecorrigeerd is voor de inflatie in 2022 en de autonome prijsstijging van broeikasgasemissies.

b) De schadekosten van NO_x zijn later bijgesteld naar 25,1 euro omdat er betere informatie beschikbaar kwam over de langetermijnschadelijkheid van NO₂ (zie CE Delft 2021).

Bronnen: CE Delft, 2017; 2023, eigen berekeningen.

Uit de laatste kolom van tabel 5.2 valt af te leiden dat de milieuprijzen zoals berekend in het nieuwe *Handboek milieuprijzen* veel hoger liggen dan in 2015; alleen de prijzen voor NO_x vormen hierop een uitzondering.

Deze stijging heeft diverse oorzaken. Voor broeikasgasemissies heeft de prijsstijging te maken met de strengere doelstellingen van het beleid ten opzichte van 2015. Hierdoor stijgen de kosten om aan de doelstellingen te voldoen (zie de discussie in paragraaf 2.4.3).

Voor luchtverontreinigende emissies door NEC-stoffen is de oorzaak van de prijsstijging drieledig: veranderingen in de bevolkingsomvang en -samenstelling, nieuwe wetenschappelijke inzichten en verandering in preferenties. Hieronder lichten we deze aspecten kort toe.

Verandering in bevolking

Allereerst is met name gezondheidsschade gevoelig voor vergrijzing. Milieuvervuiling leidt tot schade aan de menselijke gezondheid: mortaliteit (voortijdig overlijden) en morbiditeit (ziektes zoals luchtwegproblemen, cardiovasculaire ziektes, longkanker). Voortijdig overlijden vanwege luchtvervuiling moet echter primair worden gezien als comorbiditeit: een bijkomende doodsoorzaak. Wel treft voortijdig overlijden door luchtvervuiling vooral ouderen en mensen met een zwakke gezondheid. Omdat de bevolking steeds verder vergrijst, neemt de kans op voortijdig overlijden door luchtvervuiling toe. Daarnaast zijn de schadekosten ook (ietsje) hoger door de bevolkingsgroei.

Verandering in wetenschappelijke kennis

Een tweede factor die een rol speelt bij de toegenomen schade per kilogram emissies, hangt samen met de ontwikkeling van de kennis over de schadelijke effecten van milieuvervuiling. Door de jaren heen is er steeds meer kennis vergaard over de dosis-effectrelaties en de verspreiding van stoffen door het milieu. De milieugevolgen van veel chemische stoffen, zoals PFAS, waren tien jaar geleden nog nauwelijks in kaart gebracht terwijl deze nog langer geleden als relatief onschuldig werden afgedaan. Dat speelt niet alleen bij relatief onbekende stoffen, ook bij de bekende luchtvervuilende stoffen, zoals fijnstof, wordt de schadelijkheid thans hoger ingeschat dan twintig jaar geleden (Chen & Hoek 2020). Op basis hiervan heeft de WHO (2021) recent de luchtkwaliteitsrichtlijnen aanzienlijk aangescherpt. Dit verklaart de hogere milieuprijs voor PM_{2.5}.

De hogere waarde voor SO₂ hangt samen met nieuwe modelberekeningen met betrekking tot de vorming van zogenoemde secundaire aerosolen. Een deel van de schade van NH₃, NO_x en SO₂ ontstaat doordat deze stoffen in de lucht reageren tot deze secundaire aerosolen. Dit is fijnstof die volgens de huidige stand van de wetenschap (zie bijvoorbeeld WHO 2013) even schadelijk zijn als de meeste primaire aerosolen (directe uitstoot van fijnstof). Ammoniak is hierbij een cruciale katalysator, omdat deze zowel met de aanwezige NO_x als met de aanwezige SO₂ kan reageren tot secundair fijnstof. Daarom wordt reductie van de ammoniumemissies uit de landbouw wel gezien als een cruciale factor om de luchtkwaliteit te verbeteren (Megaritis et al. 2013; Kiesewetter & Amann 2014). Als de emissies van ammoniak minder afnemen dan die van NO_x en SO₂, zoals in Nederland het geval is (PBL 2025), dan zal juist de schadelijkheid van de overgebleven emissies van NO_x en SO₂ toenemen doordat een hoger aandeel van deze emissies zal reageren tot secundaire aerosolen (PM_{2.5}). Dit verklaart waarom SO₂-emissies in het nieuwe *Handboek milieuprijzen* hogere schadekosten kennen dan in 2015.²⁰

Voor NO_x wordt in het nieuwe handboek juist uitgegaan van een lagere waarde dan in 2017. Dit is het gevolg van een grote overzichtsstudie door het Britse Committee on the Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP 2018) die de gelijktijdige effecten van NO₂ en PM_{2.5} probeerde in te schatten. Uit deze studie kwam een nauwkeuriger inschatting van de schadelijkheid van NO₂, los van de

²⁰ Daarnaast is het ook zo dat de schadelijkheid van SO₂-emissies in het nieuwe *Handboek milieuprijzen* is ingeschat met een ruimtelijk verfijnder model dan in het handboek uit 2017.

schadelijkheid van PM_{2.5} (zie voor verdere toelichting CE Delft 2023: 144). Hieruit blijkt dat het belangrijk is de berekening van de schadekosten periodiek te vernieuwen.

Verandering in vraag en preferenties

Bij de vertaling van fysieke effecten naar de monetaire waardering daarvan, is het ook van belang hoe mensen dit soort effecten waarderen. Naarmate mensen rijker worden, zullen ze meer te besteden hebben. Daarom zal voor de meeste goederen de vraag naar dat goed stijgen wanneer het inkomen hoger wordt. Dat geldt ook voor milieukwaliteit. Voor gezondheid is dit uitgebreid empirisch aangetoond (zie bijvoorbeeld Ljindhelm et al. 2011). In het *Handboek milieuprijzen* wordt, op basis van een literatuuronderzoek, gerekend met een inkomenselasticiteit van 0,65. Dat wil zeggen dat de milieuprijzen worden opgehoogd met een percentage dat gelijk is aan 0,65 van de stijging van de inkomens tussen 2015 en 2022 (zie CE Delft 2023).²¹ Ook voor de waardering voor natuur en biodiversiteit geldt dat deze toeneemt met de stijging van het inkomen. (Koetse et al. 2017; Drupp et al. 2024). Als mensen rijker worden en de hoeveelheid natuur groeit niet mee met hun bestedingsmogelijkheden, zal die natuur relatief schaarser en dus steeds meer waard worden. Doordat de natuur en de natuurwaarden wereldwijd nog steeds afnemen, geldt dat de waardering voor natuur in sterkere mate stijgt dan die voor gezondheid.

De verandering in de vraag naar milieukwaliteit kan ook komen doordat de preferenties veranderen. In langjarig onderzoek (Den Ridder et al. 2024) naar de oordelen van mensen over hun eigen leven en over de samenleving komen zorgen over klimaat en milieu nu als veel prominenter naar voren dan in 2015. In 2015 rapporteerde 5 procent van de geënquêteerden ‘klimaat en milieu’ als één van de grootste problemen van ons land, als laagste van de acht onderscheiden categorieën. Na de coronacrisis in 2022 en 2023 steeg dit aandeel naar rond de 25 procent; daarmee waren klimaat en milieu opgeklommen tot de vierde tot zesde belangrijkste categorie. Het is samen met wonen en verkeer het onderwerp waarover de zorgen het meest zijn gestegen. Daarbij kan ook een rol spelen dat de Nederlandse bevolking hoger opgeleid is. Uit onderzoek blijkt ook dat een hoger inkomen en een hogere opleiding correleren met een grotere zorg voor klimaat en milieu (De Kluizenaar et al. 2025).

Indirect werkt dit ook door bij de milieuprijs voor klimaat. De zorgen over het klimaat vinden hun weerslag in de bereidwilligheid van de politiek om strengere doelen af te spreken. Dit leidt dan weer tot hogere preventiekosten en dus tot hogere milieuschade voor de broeikasgasemissies.

Overige veranderingen in toepassing milieuprijzen

Tot slot zijn er in de toepassing van de milieuprijzen in deze studie twee veranderingen doorgevoerd ten opzichte van de studie uit 2018, die een effect hebben op de ontwikkeling van de milieuschade. Allereerst zijn in het *Handboek milieuprijzen 2023* meer emissies uit de Emissieregistratie van een milieuprijs voorzien. Dit zijn evenwel emissies die een kleine uitstoot kennen (vooral naar water), waardoor de schadekosten (ietsje) worden hoger. En in deze actualisering hebben we de schadelijkheid van emissies naar de lucht door de zeescheepvaart op het Nederlands deel van het continentale plat lager ingeschat via een correctiefactor (zie paragraaf 2.5). Dit leidt ertoe dat de schadekosten in deze studie wat lager uitvallen.

²¹ De 0,65 geldt voor de centrale waarde van de schattingen. Voor de onderwaarden is de inkomenselasticiteit 0,3 en voor de bovenwaarden 1,0.

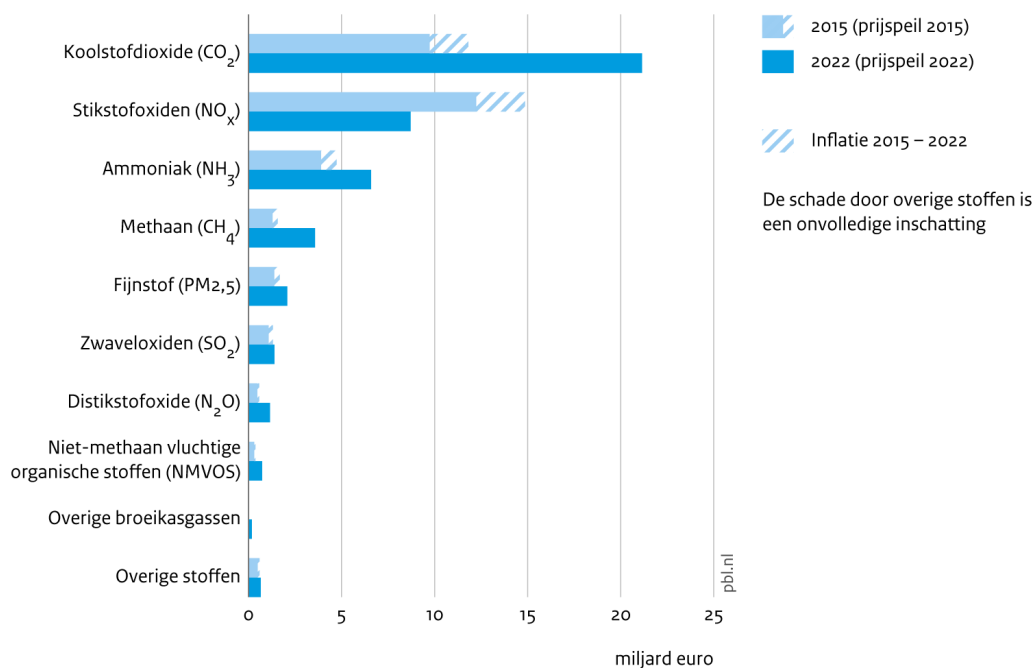
5.3 Verandering in milieuschade 2015-2022

De veranderingen in de emissies (paragraaf 5.1) en de milieuprijzen (paragraaf 5.2) verklaren gezamenlijk de verandering in de monetaire milieuschade. De uitkomsten in deze studie kunnen we nu op het niveau van stof, sector en subsector vergelijken met die in de studie uit 2018.

Op stofniveau

Figuur 5.1 geeft per stof inzicht in hoe de milieuschade uit de vorige studie zich verhoudt tot de huidige berekening van de milieuschade. De lichtblauwe balkjes in deze figuur geven de milieuschade uit 2015 weer per stof en in het prijspeil van 2015. Het gearceerde gedeelte daarachter geeft de invloed van de inflatie weer, waardoor de milieuschade ook wordt weergegeven in het prijsniveau van 2022. Het onderste balkje geeft de monetaire milieuschade weer die in deze studie is berekend voor 2022.

Figuur 5.1
Vergelijking monetaire milieuschade 2015 en 2022



Bron: Berekeningen PBL op basis van data RIVM en CE Delft

De figuur laat zien dat vooral de monetaire milieuschade door broeikasgassen flink is toegenomen. Bedroeg deze voor CO₂-emissies in 2015 nog 11,8 miljard euro (in het prijspeil van 2022), inmiddels is ze opgelopen tot ruim 21 miljard. Omdat de emissies zijn gedaald, komt deze stijging volledig voor rekening van de hogere milieuprijzen. Ook voor de andere stoffen, vooral methaan en ammoniak, geldt dat de milieuschade is toegenomen, terwijl deze voor NO_x juist gedaald is. Niet alleen geldt voor de emissies van NO_x een lagere milieuprijs, ook de emissies zelf zijn tussen 2015 en 2022 gedaald, met 16 procent.

Op niveau van sectoren

In hoofdstuk 3 zagen we dat verkeer en vervoer de sector is met de grootste milieuschade, gevolgd door de landbouw en de industrie (figuur 3.3). Dit was ook zo in de rapportage van 2018.

Tabel 5.3 presenteert de veranderingen van de milieuschade voor de sectoren. Hieruit blijkt dat de volgorde van sectoren naar milieuschadelijkheid precies dezelfde is gebleven. Wel is opvallend dat het verschil in schadekosten tussen verkeer en landbouw fors is verkleind. Terwijl de schadekosten van verkeer in 2018 nog bijna twee maal zo hoog waren als die van de landbouw, is dat verschil nu nog maar 8 procent. De reële schadekosten van verkeer, uitgedrukt in het prijspeil van 2022, zijn gedaald ten opzichte van 2015. Dit komt enerzijds door de lagere schadekosten voor de zeescheepvaart die in deze studie zijn gehanteerd (zie paragraaf 2.5). Maar ook de milieuprijs voor NO_x is nu lager dan in de eerdere studie. Daarnaast zijn de emissies in deze sector flink afgenomen (PBL 2025)

In de landbouw zijn de schadekosten daarentegen juist gestegen met 4,7 miljard euro. Het gaat hierbij niet alleen om de hogere milieuprijzen voor ammoniak en broeikasgassen, maar ook om het feit dat er in de Emissieregistratie thans meer emissiebronnen in de landbouw zijn geïdentificeerd, inclusief de emissies door landgebruiksveranderingen die in deze studie aan de landbouwsector worden toegerekend (zie paragraaf 3.3.). De berekende milieuschade door de industrie is gestegen met 3,6 miljard euro, oftewel bijna 50 procent. Dit komt vooral door de milieuprijzen van broeikasgassen, die veel sterker zijn gestegen dan de emissies in de industrie zijn gedaald. De bijdrage van de landbouwsector en de industrie in de totale milieuschade is daarmee gestegen van bijna 38 procent Drissen en Vollebergh (2018) naar ruim 48 procent in de voorliggende studie.

Tabel 5.3
Schadekosten in miljard euro in constante prijzen (2022) en het relatieve aandeel van sectoren in de totale milieuschadekosten

	Schadekosten 2015 ^a	Schadekos- ten 2022	Percentage van to- taal 2015	Percentage van totaal 2022
Mobiliteit	14,9	13,7	39,6%	29,6%
Landbouw	8,0	12,7	21,1%	27,4%
Industrie	6,3	9,6	16,7%	20,9%
Energiesector	5,1	5,4	13,5%	11,6%
Huishoudens	2,2	3,4	5,9%	7,3%
Diensten en bouw	1,2	1,5	3,1%	3,2%
Totaal	37,7	46,2	100%	100%

a) Betreft de nominale waarde van de schadekosten in prijspeil 2022.
Bron: Eigen berekeningen op basis van PBL (2018), Emissieregistratie (2024) en CE Delft (2023).

De milieuschadekosten van de energiesector en de dienstensector (inclusief bouw) is tussen 2015 en 2022 slechts licht gestegen. Ondanks de stijging van de milieuprijzen van met name broeikasgasemissies, zijn de emissies in deze sectoren heel fors gedaald. De dienstensector en de energiesector hadden in 2022 dan ook een lager relatief aandeel in de milieuschade dan in 2015. Dat geldt niet voor de emissies door huishoudens als gevolg van productgebruik en ruimteverwarming. Hiervoor geldt dat de berekende milieuschade met meer dan 50 procent is gestegen. Het aandeel van de huishoudens in de berekende milieuschade (exclusief mobiliteit) is daarmee gestegen tot ruim 7 procent.

Op niveau van subsectoren

Tot slot vergelijken we de relatieve milieuschadelijkheid van de diverse activiteiten op subsectorniveau met die van de studie uit 2018. Zoals in paragraaf 3.2 vermeld, is het subsectorniveau in sommige gevallen een daadwerkelijke subsector, en in andere gevallen eerder een activiteit binnen een sector (zoals kunstmestgebruik in de landbouw). De indeling in subsectoren is gelijk aan die in de Drissen en Vollebergh (2018).

De bijdrage van de veeteeltsector (landbouwhuisdieren) aan de totale milieuschade is met 2,9 miljard euro in absolute zin het meest gestegen, gevolgd door die van de basischemie (1,3 miljard euro). Ook de raffinaderijen, het energiegebruik van consumenten en overige landbouwactiviteiten (waaronder indirecte emissies van broeikasgassen en particuliere landbouwactiviteiten) laten elk een stijging van de milieuschade zien van ongeveer 0,9 miljard euro. Daarentegen daalt de milieuschade van de zeescheepvaart fors. Dit komt door de lagere emissies maar ook doordat er in deze studie voor de scheepvaart op het Nederlands continentaal plat (NCP) lagere schades zijn toegekend.

In relatieve zin valt op dat het wegverkeer een lagere bijdrage heeft aan de milieuschade dan in 2015. Dat geldt evenwel niet voor de mobiele werktuigen, waarvan het belang juist is toegenomen.

Tabel 5.4

Schadekosten en relatieve bijdrage van subsectoren aan de monetaire milieuschade in 2015 en 2022

	Schade- kosten 2015	Schade- kosten 2022	Relatieve bijdrage 2015	Relatieve bijdrage 2022
Veeteelt	5,6	8,5	14,9%	18,4%
Wegverkeer	6,0	6,7	15,8%	14,5%
Opwekking elektriciteit	4,7	5,0	12,3%	10,9%
Zeescheepvaart	5,8	3,6	15,4%	7,8%
Basischemie	1,7	3,0	4,5%	6,4%
Raffinaderijen	1,4	2,3	3,6%	4,9%
Energiegebruik Consumenten	1,4	2,3	3,7%	4,9%
Mobiele werktuigen	1,1	1,6	3,0%	3,5%
Basismetaal	1,0	1,5	2,5%	3,1%
Overig landbouw	0,4	1,3	1,0%	2,9%
Energiegebruik in de landbouw	1,0	1,1	2,5%	2,4%
Afvalverwijdering	0,7	1,1	1,8%	2,5%
Binnenscheepvaart	1,3	1,1	3,5%	2,4%
Overig consumenten	0,8	1,0	2,2%	2,2%
Energiegebruik dienstensector	0,8	1,0	2,1%	2,1%
Kunstmestgebruik landbouw	1,0	0,9	2,6%	2,0%
Verandering in landgebruik	N.v.t. ^a	0,8	N.v.t. ^a	1,7%
Voedings- en genotmiddelenindustrie	0,4	0,7	1,2%	1,5%
Bouwmaterialenindustrie	0,4	0,6	1,2%	1,3%

a) Was niet in de hoofdberekening opgenomen, alleen in een gevoeligheidsanalyse o.b.v. CBS-data.
Bron: Eigen berekeningen op basis van Drissen & Vollebergh (2018), Emissieregistratie (2024) en CE Delft (2023).

6 Conclusies en duiding

In 2018 berekende het Planbureau voor de Leefomgeving (PBL) dat de monetaire milieuschade van emissies uit 2015 31 miljard euro bedroeg (Drissen & Vollebergh 2018). In deze actualisering hebben we berekend dat de milieuschade van emissies uit het jaar 2022 is toegenomen met 15 miljard euro ten opzichte van die studie. De stijging van de milieuschadekosten ten opzichte van 2015 is opvallend omdat milieu- en klimaatbeleid ertoe hebben geleid dat de emissies van de meeste stoffen zijn afgenomen. Maar zoals uit de analyse in hoofdstuk 5 blijkt, zijn met name de schadekosten per kilogram emissies sterk gestegen. Dit heeft te maken met demografische ontwikkelingen, nieuwe wetenschappelijke inzichten en een toegenomen vraag vanuit de samenleving naar een schoon milieu.

De berekende milieuschade zorgt voor een direct jaarlijks welvaartsverlies voor Nederland als geheel. Doordat we dit verlies in geld hebben uitgedrukt, kan het direct worden vergeleken met andere maatstaven die van belang zijn voor onze welvaart, zoals de berekening van het nationaal inkomen via het bruto binnenlands product (bbp). In 2022 bedroeg het bbp in lopende prijzen 993 miljard euro. De monetaire milieuschade bedraagt dus 4,6 procent van het bbp. Dit welvaartsverlies is vergelijkbaar, of zelfs iets hoger, dan in de vorige rapportage, toen de schade 4,5 procent van het bbp bedroeg. De monetaire milieuschade is dus in gelijke mate met het bbp gegroeid. Er is dus weliswaar sprake van ontkoppeling tussen fysieke emissies en de groei van de economie, maar niet van het welvaartsverlies door emissies en de groei van het bbp.

Relevantie monetaire milieuschade voor beleid

De resultaten uit deze studie zijn van belang voor het beleid waarin concepten als groene groei (Baarsma 2022) en brede welvaart een rol spelen. Groene groei die de welvaart bevordert, moet daarom meer doen dan de fysieke emissies omlaag brengen: het moet de emissies omlaag brengen met een reductiepercentage dat hoger is dan het toegenomen welvaartsverlies als gevolg van emissies.

In de economische literatuur wordt alom geaccepteerd dat het bbp een beperkte maatstaf is voor welvaart (Stiglitz et al. 2009; Hoekstra 2019). Al lange tijd worden diverse voorstellen gedaan om vanuit het bbp tot een betere maatstaf daarvoor te komen (zie bijvoorbeeld Hueting 1980; Daly & Cobb 1989). Door de hier berekende milieuschade af te trekken van het bbp, is het mogelijk het bbp te corrigeren voor milieuschade (Slycken & Bleys 2024). Niet alleen op nationaal niveau, maar ook op sectoraal niveau kan de monetaire milieuschade bijdragen aan beleidsdiscussies. Door de bijdrage van specifieke sectoren aan het bbp te vergelijken met de door die sector veroorzaakte milieuschade, ontstaat bijvoorbeeld een beter beeld van wat zo'n sector nou echt bijdraagt aan de welvaart in een land. Dit kan behulpzaam zijn bij de maatschappelijke discussie over de wenselijkheid van bepaalde activiteiten in Nederland, zoals nu speelt in het kader van arbeidsmigratie (zie bijvoorbeeld Adviesraad Migratie 2024).

Ook kan de monetaire milieuschade een rol spelen bij overheidsregelingen in bijvoorbeeld het (groene) belastingdomein. De milieuschade impliceert een marginaal welvaartsverlies dat momenteel niet in de marktprijzen is verdisconteerd. Daarom is het zinvol om met name bestaande belastingen en subsidieregelingen systematisch te analyseren in relatie tot de daarmee veroorzaakte vervuiling (Vollebergh et al. 2021). Zo ontstaat inzicht in waar precies schade ontstaat en of de vervuiler daarvoor ook daadwerkelijk betaalt.

Tot slot kan de informatie uit deze studie worden gebruikt om maatschappelijke risico's te beoordelen. De Inspectie Leefomgeving en Transport (ILT) doet dit bijvoorbeeld in de ILT-brede risicobeoordeling (ILT 2023). Daarin maakt zij een inschatting van de wetsovertredingen die tot de meeste maatschappelijke schade kunnen leiden. Uit die analyse komen de milieurisico's naar voren als zeer belangrijk.

Overigens moet bij het gebruik van monetaire milieuschade wel in ogenschouw worden genomen dat de hier beschouwde omvang van de milieuschade onvolledig is. Allereerst is voor ongeveer 40 procent van de stoffen die in de Emissieregistratie worden gerapporteerd, geen milieuprijzen bekend. Ten tweede is ook de schade voor mens en milieu van veel stoffen onvolledig in kaart gebracht (zie ook hieronder).

Toekomstige ontwikkelingen

Schadelijkheid van milieuvervuilende stoffen is een onderzoeksveld dat continu in ontwikkeling is. Met verbeterde databestanden en modellen worden nu meer gezondheidseffecten aan milieuvervuiling gekoppeld dan vroeger – gezondheidseffecten die dertig jaar geleden vaak nog niet bekend waren of waarvan de effecten veel minder ernstig werden ingeschat dan nu het geval is. Daarom heeft de WHO recentelijk bijvoorbeeld de grenswaarden voor de concentratie van luchtvervuilende stoffen flink aangescherpt (WHO 2021; Hoffman et al. 2021). Dit leidt bovendien tot een toenemend bewustzijn bij burgers die zich zorgen maken over milieuvervuiling van de leefomgeving.

En deze ontwikkeling is nog lang niet voorbij. Ander recent onderzoek laat bijvoorbeeld zien dat er sterke vermoedens zijn dat Alzheimer, een ziekte met verstrekken gevolgen voor de maatschappij en betrokkenen, verband lijkt te houden met fijnstofconcentraties (Peters et al. 2019). Hetzelfde lijkt te spelen bij sommige bestrijdingsmiddelen, terwijl de effecten van veel bio-accumulatieve stoffen en microplastics nog maar zeer beperkt of helemaal onbekend zijn.

Ook de reële waarde van broeikasgasemissies blijft stijgen door de alsmaar toenemende schade als gevolg van klimaatverandering en de stijgende kosten die nodig zijn om de emissies te reduceren. De waarde van 149 euro per ton CO₂ die in deze studie als uitgangspunt is genomen, stijgt elk jaar verder. In de studie *Klimaatverandering in de prijzen* uit 2024 werd berekend dat de schade in 2023 al 162 euro per ton CO₂ bedroeg (Brink & Vollebergh 2024b). Omdat de reële waarde van de prijzen elk jaar toeneemt, betekent dit dat ook de monetaire milieuschade door de tijd zal toenemen als de broeikasgassen niet flink afnemen.

Tot slot zal de waarde van natuur door de tijd heen blijven stijgen. De vraag ernaar neemt immers toe terwijl het aanbod door het voortdurende biodiversiteitsverlies afneemt (Schenau et al. 2022; Drupp et al. 2024).

In het Europese, nationale en lokale beleid gaat terecht aandacht uit naar de schade door milieuvervuiling. Door gericht beleid zijn de emissies van veel stoffen het afgelopen decennium gedaald. Bij dat beleid kan monetarisering een hulpmiddel zijn omdat hiermee de omvang van de problematiek in kaart kan worden gebracht en kan worden onderzocht of de schade afneemt. Het is goed dat de bepaling en waardering van de schade door de tijd heen nauwkeuriger wordt, met name voor luchtverontreinigende emissies en broeikasgassen. Maar dat de schade toeneemt terwijl de hoeveelheid emissies daalt, is een teken aan de wand. Temeer omdat er steeds weer nieuwe stoffen bijkomen waarvoor geldt dat de kennis over de schadelijke effecten achterloopt. Het is daarom van

groot belang dat de overheid zorg draagt voor een beleid dat nog sterker inzet op het verder reduceren van milieuschadelijke stoffen, het verminderen van (deels nog onbekende) risico's van milieuvervuiling en bijdraagt aan de kennisontwikkeling over de gezondheids- en ecologische effecten van stoffen die in het milieu worden gebracht.

7 Referenties

Aalbers, R., G. Renes & G. Romijn (2016), *WLO-klimaatscenario's en de waardering van CO₂-uitstoot in MKBA's*, Den Haag: Centraal Planbureau Planbureau voor de Leefomgeving.

Adviesraad Migratie (2024), *Afgewogen arbeidsmigratie: gericht arbeidsmigratiebeleid voor brede welvaart*, Den Haag: Adviesraad Migratie.

Baarsma, B. (2022), *Groene Groei: Over de (on)zin van economische groei*. Uitgeverij Pluim.

Bergh, J. van den & W. Botzen (2015), 'Monetary valuation of the social cost of CO₂ emissions : A critical survey', *Ecological Economics*, 114(C): 33-46.

Birchby, D., J. Sendall & J. Stedman (2023), *Air Quality damage cost update 2023 – FINAL Report. Report for Defra ECM_61369*. Ricardo Energy & Environment.

Brink, C., A. Trinks, H. Vollebergh & P. Zwanveld (2023), *Afschaffing fossiele energiesubsidies: eerder een hersenkraker dan een no-brainer*, Den Haag: Centraal Planbureau en Planbureau voor de Leefomgeving.

Brink, C. & H. Vollebergh (2024a), *Klimaatverandering in de prijzen in 2022 met een doorkijk naar 2030*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Brink, C. & H. Vollebergh (2024b), *Klimaatverandering in de prijzen in 2023*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

CE Delft (2010), *Handboek Schaduw prijzen : Waardering en weging van emissies en milieueffecten*, Delft: CE Delft.

CE Delft (2017), *Handboek Milieuprijzen: Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieuimpacts*, Delft: CE Delft.

CE Delft (2021), *Toelichting gebruik milieuprijzen in tool Schone Lucht Akkoord*, Delft: CE Delft.

CE Delft (2023), *Handboek Milieuprijzen: Methodische onderbouwing van kengetallen gebruikt voor waardering van emissies en milieu-impacts*, Delft: CE Delft.

Chen, J. & G. Hoek (2020), 'Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis', *Environment International*, Volume 143: 105874.

COMEAP (2018), *Associations of long-term average concentrations of nitrogen oxide with mortality*, Chilton: Committee on the Medical Effects of Air Pollutants (COMEAP).

Costanza, R., R. de Groot & P. Sutton (2014), 'Changes in the global value of ecosystem services', *Global Environmental Change*, Volume 26: 152-158.

Daly, H.E. & J.B. Cobb Jr. (1989), *For the Common Good: Redirecting the Economy toward Community, the Environment, and a Sustainable Future*, Boston: Beacon Press.

- Dasgupta, P. (2021), *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*, London: HM Treasury.
- Drissen, E. & H. Vollebergh (2018), *Monetaire milieuschade in Nederland. Een verkenning*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Drupp, M.A., M.C. Hänsel, E.P. Fenichel, M. Freeman, C. Gollier, B. Groom, G.M. Heal, P.H. Howard, A. Millner, F.C. Moore, F. Nesje, M.F. Quaas, S. Smulders, T. Sterner, C. Traeger & F. Venmans (2024), 'Accounting for the increasing benefits from scarce ecosystems', *Science* 383:1062-1064. doi:[10.1126/science.adk2086](https://doi.org/10.1126/science.adk2086)
- EEA (2023), *Harm to human health from air pollution in Europe: burden of disease 2023*, Briefing no. 23/2023, European Environmental Agency.
- EEA (2024), *Estimating the external costs of industrial air pollution: Trends 2012-2021. Technical note on the methodology and additional results*, Version 2: 29/4/2024, European Environmental Agency.
- Eerste Kamer der Staten Generaal (2024), *Gewijzigde Motie Van Het Lid Koffeman Ter Vervanging Van De Motie Gepubliceerd Onder De Letter H*, 2 April 2024, Eerste Kamer der Staten-Generaal I Vergaderjaar 2023 – 2024. Den Haag.
- European Commission (2020). *Handbook on the external costs of transport. Version 2019*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- European Court of Auditors (2021), *The Polluter Pays Principle: Inconsistent application across EU environmental policies and actions*, Special Report 12/2021, Luxembourg.
- Hammingh P., M.R. Holland, G.P. Geilenkirchen, J.E. Jonson & R.J.M. Maas (2012), *Assessment of the environmental impacts and health benefits of a nitrogen emission control area in the North Sea*, The Hague/Bilthoven: Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Hammit, J.K. (2023), 'Consistent valuation of a reduction in mortality risk using values per life, life year, and quality-adjusted life year', *Health Economics*, 32(9): 1964-1981.
- Hoekstra, R., 2019. *Replacing GDP by 2030*, Cambridge Books, Cambridge University Press
- Hoffmann, B., et al. (2021), 'WHO Air Quality Guidelines 2021-Aiming for Healthier Air for all: A Joint Statement by Medical, Public Health, Scientific Societies and Patient Representative Organisations', *International Journal Public Health*, 66: 1604465. doi: 10.3389/ijph.2021.1604465.
- Hueting, R. (1980), *New scarcity and economic growth*, Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- ILT (2023), *ILT-brede risicoanalyse (IBRA) 2023*, Utrecht: Inspectie Leefomgeving en Transport.
- Kiesewetter, G. & M. Amann (2014), *Urban PM_{2.5} levels under the EU Clean Air Policy Package*, TSAP Report #12, International Institute for Applied Systems Analysis IIASA.
- Kluizenaar, Y. de, G. ten Berge & J. Iedema (2025), *Klimaat en Samenleving: Burgerperspectieven*, Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau.

Koetse, M.J., G. Renes, A. Ruijs & A.J. de Zeeuw (2017), *Relatieve prijsstijging voor natuur en ecosysteem-diensten in de MKBA*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Koops, O., P. Bogaart & K. Geertjes (2024), *Emissies van de Nederlandse landbouw naar productgroepen*, Den Haag: Centraal Bureau voor de Statistiek. <https://www.cbs.nl/nl-nl/longread/aanvullende-statistische-diensten/2024/emissies-van-de-nederlandse-landbouw-naar-productgroepen-erratum>, geraadpleegd op 2-5-2025.

Lindhjem, H., S. Navrud, N. Braathen & V. Biaisque (2011), 'Valuing mortality risk reductions from environment, transport and health policies: A global meta-analysis of stated preference studies', *Risk Analysis*, 31(9): 1381-1407.

Megaritis, A.G., C. Fountoukis, P.E. Charalampidis, C. Pilinis & S.N. Pandis (2013), 'Response of fine particulate matter concentrations to changes of emissions and temperature in Europe', *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(6): 3423-3443. <https://doi.org/10.5194/acp-13-3423-2013>, 2013

Mottershead, D., et al. (2021), *Green taxation and other economic instruments: internalizing environmental costs to make the polluter pay*. European Commission Directorate-General for Environment.

Muller, N. & R. Mendelsohn (2007), 'Measuring the Damages of Air Pollution in the United States' *Journal of Environmental Economics and Management*, 54(1): 1-14.

Perman, R.J., Y. Ma, M. Common, D. Maddison & J.W. McGilvray (2011), *Natural resource and environmental economics* (4th ed.), Pearson College Div.

PBL & RIVM (2025), *Emissieramingen luchtverontreinigende stoffen 2025. Rapportage bij de Klimaat- en Energieverkenning 2024*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Rabl, A., J.V. Spadaro & M. Holland (2014), *How Much Is Clean Air Worth?: Calculating the Benefits of Pollution Control*, Cambridge: Cambridge University Press.

Ridder, J. den, L. van 't Hul & J. Broere (2024) *Burgerperspectieven bericht 1 2024*, Den Haag: Sociaal en Cultureel Planbureau.

RIVM, PBL, WUR, Deltares & CBS (2024), *Emissieregistratie: Alle emissiegegevens op één plek*, Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu, Planbureau voor de Leefomgeving, Wageningen University & Research, Deltares, Centraal Bureau voor de Statistiek. <https://www.emissieregistratie.nl/>

RIVM (2024) *Informative Inventory Report 2024: Emissions of transboundary air pollutants in the Netherlands 1990–2022*, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

Romijn, G & G. Renes (2013), *Algemene leidraad voor maatschappelijke kosten-batenanalyse*, Den Haag: Centraal Planbureau, Planbureau voor de Leefomgeving.

Schenau, S., J. van Berkel, P. Bogaart, C. Blom, C. Driessen, L. de Jongh, R. de Jong, E. Horlings, R. Mosterd, L. Hein & M. Lof (2022), 'Valuing ecosystem services and ecosystem assets for The Netherlands', *One Ecosystem* 7: e84624. <https://doi.org/10.3897/oneeco.7.e84624>

SEO, 2016. *Werkwijzer voor kosten-batenanalyse in het sociale domein*, Stichting Economisch onderzoek, Amsterdam, juni 2016.

Slycken, J. van der & B. Bleys (2024), 'Is Europe faring well with growth? Evidence from a welfare comparison in the EU-15 (1995-2018)', *Ecological Economics*, Volume 217:108054.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2023.108054>.

Stiglitz, J.E., A. Sen & J.-P. Fitoussi (2009), *Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress*, Parijs: Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress.

Strengers, B., R. Matthews, G. Berndes, A. Cowie, J. Laganière (2024), *On the Science of Carbon Debt*, The Hague: Netherlands Environmental Assessment Agency.

Tol, R.S.J. (2023), 'Social cost of carbon estimates have increased over time', *Nature Climate Change*, 13(6): 532-536.

Vink en Van Hinsberg (2019), *Stikstof in perspectief*, Den Haag: PBL. Het Planbureau voor de Leefomgeving.

Vollebergh, H., Drissen, E., Geilenkirchen, G. & Eerens, H., (2014), *Milieubelastingen en Groene Groei, Deel II: Evaluatie van belastingen op energie in Nederland vanuit milieuperspectief*. Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Vollebergh, H., Dijk, J., Drissen, E., Eerens, H. & Vrijburg, H., (2017), *Fiscale Vergroening: Belastingverschuiving van Arbeid naar Grondstoffen, Materialen en Afval*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Vollebergh, H., Brink, C. & Drissen, E., (2021), *Klimaatverandering in de Prijzen? Analyse van de Beprijzing van Broeikasgasemissies in Nederland in 2018*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

Zee, T.C. van der, et al. (2023), *Methodology for the calculation of emissions from agriculture: Calculations for methane, ammonia, nitrous oxide, nitrogen oxides, non-methane volatile organic compounds, fine particles and carbon dioxide emissions using the National Emission Model for Agriculture (NEMA)*, RIVM report 2023-0041, Bilthoven: Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu.

Wereldbank (2017), *Report of the High-Level Commission on Carbon Prices*, Washington, DC: World Bank.

Werkgroep Discontovoet (2015), *Rapport Werkgroep Discontovoet 2015*, Den Haag: Ministerie van Financiën.

WHO (2013), *Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter, ozone and nitrogen dioxide*, Geneva: World Health Organization (WHO).

WHO (2021), *Global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*, Geneva: World Health Organization (WHO).

Bijlagen

Bijlage A Getallenbijlage

In deze getallenbijlage kan informatie over de milieuschade van diverse stoffen worden gevonden. Alleen de milieuschade van stoffen groter dan 0,01 miljoen euro zijn in de tabellen verwerkt. De stoffen die een lagere milieuschade kenden worden vervolgens onder de tabel geduid. Alle emissies zijn afkomstig uit de Emissieregistratie (2024), terwijl de gehanteerde milieuprijzen afkomstig zijn uit CE Delft (2023) die door ons zijn omgerekend naar het prijsniveau voor het jaar 2022 en de range aan schattingen voor de milieuschade.

A.1 Emissies naar lucht

Tabel A.1 geeft de emissies van broeikasgassen en de milieuschade volgens de lage, centrale ne hoge schatting.

Tabel A.1
Emissie (kg) en schattingen van de monetaire milieuschade in miljoenen euro's voor broeikasgassen en de centrale milieuprijs in euro's per kilogram emissie.

	Emissie (kg)	Lage schatting (mln €)	Centrale schatting (mln €)	Hoge schatting (mln €)	Centrale milieuprijs (€/kg)
Koolstofdioxide	141.800.240.053	8.134	21.149	26.030	0,149
Methaan	662.749.712	1.376	3.574	4.395	5,39
Distikstofoxide	25.729.318	443	1.151	1.429	44,7
HFK-134a (1,1,1,2-tetrafluorethaan)	315.886	28	73	90	232
HFK-125 (pentafluorethaan)	68.439	15	38	46	551
HFK-23 (trifluormethaan)	10.462	8	22	27	2.066
Zwavelhexafluoride	5.340	8	21	26	3.890
HFK-143a (1,1,1-trifluorethaan)	24.768	8	20	25	821
HFK-32 (difluor-methaan)	41.665	2	5	6	122
HFK-152a (1,1-difluorethaan)	5	0,00005	0,0001	0,0002	24,9

Tabel A.2

Emissie (kg) en schattingen van de monetaire milieuschade in miljoenen euro's voor emissies naar lucht en de centrale milieuprijs in euro's per kilogram emissie.

	Emissie (kg)	Lage schatting (mln €)	Centrale schatting (mln €)	Hoge schatting (mln €)	Centrale milieuprijs (€/kg)
Stikstofoxiden (als NO ₂)	297.294.059	5.331	8.711	13.400	32,9
Ammoniak	121.365.198	4.058	6.582	9.455	54,2
Fijnstof (PM _{2,5})	16.843.573	1.264	2.086	3.039	133
Zwaveloxiden (als SO ₂)	23.298.499	817	1.394	2.101	63,3
NMVOS	245.103.775	474	735	1.072	3,00
Loodverbindingen (als Pb)	4.517	98	144	227	31.986
Cadmiumverbindingen (als Cd)	701	89	132	207	188.246
Koperverbindingen (als Cu)	105.031	60	117	261	1.110
Koolstofmonoxide	414.557.363	23	37	53	0,090
Benzo(a)Pyreen	1.653	7	10	16	6.274
Kwikverbindingen (als Hg)	528	6	9	14	16.858
Tetrachlooretheen	492.356	4	6	9	11,6
Folpet	53.913	4	5	7	95,4
Mancozeb	86.305	3	4	6	52,0
Naftaleen	211.274	0	3	5	15,1
Arseenverbindingen (als As)	280	2	3	5	11.369
Etheen	4.342.111	2	3	4	0,705
1,1,1-trichloorethaan	73.120	1	3	4	38,3
Fluazinam	12.662	2	3	4	220
Tetrachloormethaan	885	1	2	3	2.006
Vinylchloride	17.650	1	1	2	77,9
Tolueen	2.700.728	1	1	2	0,479
Formaldehyde	1.968.056	1	1	2	0,572
Oxamyl	50.829	1	1	2	22,1
S-Metolachloor	7.659	0	1	1	128
Antimoonverbindingen (als Sb)	5.248	0,16	1	5	186
Nikkelverbindingen (als Ni)	4.263	0,48	1	2	209
Styreen	103.180	0,52	1	1	7,52
Benzeen	1.840.595	0,49	1	1	0,403
Esfenvaleraat	317	0,36	1	1	1.608
Dichloormethaan	114.535	0,26	0,4	1	3,31
Acrylonitril	2.669	0,12	0,2	0,3	65,7
MCPA	5.832	0,12	0,2	0,3	30,0
Chroomverbindingen (als Cr)	3.538	0,07	0,1	0,3	38,4
Prosulfocarb	75.453	0,08	0,1	0,1	1,44
Glyfosaat	30.843	0,06	0,1	0,1	2,77
Difenoconazool	3.846	0,00	0,1	0,1	21,8
Carfentrazone-ethyl	453	0,00	0,1	0,1	177
Metribuzin	1.676	0,05	0,1	0,1	45,1
Pentachloorfenol	2.132	0,05	0,1	0,1	32,8

<i>(vervolg tabel)_</i>	Emissie (kg)	Lage schatting (mln €)	Centrale schatting (mln €)	Hoge schatting (mln €)	Centrale milieuprijs (€/kg)
Captan	27.866	0,02	0,05	0,1	1,79
Prochloraz	469	0,01	0,05	0,1	103
Trichloormethaan	2.173	0,02	0,03	0,04	12,4
Propyzamide	699	0,00	0,03	0,04	38,6
Pendimethalin	32.010	0,02	0,02	0,03	0,675
Ethyleenoxide	754	0,01	0,02	0,03	24,4
Acronifen	3.335	0,01	0,02	0,02	5,43
Terbutylazine	3.915	0,01	0,02	0,02	4,36
Metazachloor	3.442	0,01	0,02	0,02	4,90
Chroom-VI-verbindingen (als Cr)	5	0,01	0,02	0,02	3,015
Dithianon	937	0,01	0,01	0,02	15,8
Azoxystrobine	2.545	0,01	0,01	0,02	5,07
Trichlooretheen	11.856	0,01	0,01	0,02	1,07
Fludioxonil	877	0,00	0,01	0,02	13,5
Fluorantheen	22.132	0,01	0,01	0,02	0,497
Seleenverbindingen (als Se)	191	0,01	0,01	0,02	57,2
Tebuconazool	1.441	0,01	0,01	0,01	6,44
Chloormequat	7.661	0,01	0,01	0,01	1,03
Kresoxim-methyl	225	0,00	0,01	0,01	34,4
Maleinehydrazide	23.875	0,00	0,01	0,01	0,251

Een aanzienlijk deel van de stoffen die in de emissieregistratie naar lucht worden gerapporteerd kennen evenwel een milieuschade van minder dan 0,01 miljoen euro in 2022. Het gaat dan om:

- Stoffen met een gerapporteerde emissie minder dan 100kg in 2022: 1-Naftylazijnzuur, 3-Indolylboterzuur, Azadirachtine-a, Deltamethrin, Dodine, Etridiazool, Fenoxaprop-p-ethyl, Hexachloorbenzeen, Hexythiazox, Imidacloprid, Indoxacarb, Isoxaflutool, Methoxyfenozide, Paclobutrazol, Pencycuron, Propiconazol, Propyleenoxide, Pyridaben, Pyriproxyfen, Rimsulfuron, Thiofanaat-methyl, Triclopyr, Triflusulfuron-methyl,
- Stoffen met een berekende milieuprijs van minder dan €2/kg emissie: Anthraceen, Asulam, Bentazon, Bifenox, Boriumverbindingen (als B), Bupirimaat, Clomazone, Cycloxydim, Cy-moxanil, Dichlobenil, Diflufenican, Dimethomorf, Dodemorf, Ethofumesaat, Fenmedifam, Fenol en Fenolaten, Fluazifop-p-butyl, Fluroxypyr, Mecoprop-p, Metalaxyl-m, Metaldehyde, Metamitron, Nicosulfuron, Pirimicarb, Pyridaat, Primethanil, Quinmerac, Tolclofos-methyl, Trinexapac-ethyl;
- Overige stoffen met een emissie tussen de 100 en 500kg en milieuprijzen tussen de 2 en 15 euro: Clopyralid, Daminozide, Dicamba, Ethefon, Imazalil, Penconazool

In zijn totaliteit dragen deze stoffen minder dan 0,05 miljoen euro bij aan de berekende milieuschade. Hierbij moet de kanttekening worden gemaakt dat de milieuprijzen uit CE Delft een conservatieve inschatting geven van de huidige effecten van milieuvervuiling en dat er veel kennislacunes zijn over de schadelijke effecten van milieuvervuiling.

A.2 Emissies naar water

Tabel A.3. geeft de emissies en milieuschade van de emissies naar water van stoffen die resulteren in een milieuschade van meer dan €0,01 miljoen.

Tabel A.3

Emissie (kg) en schattingen van de monetaire milieuschade in miljoenen euro's voor emissies naar water en de centrale milieuprijs in euro's per kilogram emissie.

	Emissie (kg)	Lage schatting (mln€)	Centrale schatting (mln €)	Hoge schatting (mln €)	Centrale milieuprijs (€/kg)
N - Totaal	19.901.584	50	92,6	187	4,65
Arseenverbindingen (als As)	8.028	2	29,0	143	3.617
P - Totaal	2.575.332	7	15,7	30	6,08
Koperverbindingen (als Cu)	145.658	1	0,8	1	5,62
Nikkelverbindingen (als Ni)	10.887	0,16	0,6	2	54,7
Loodverbindingen (als Pb)	38.690	0,04	0,5	3	13,6
Benzeen	60.018	0,08	0,1	0,2	2,08
Kwikverbindingen (als Hg)	58	0,0008	0,1	1	2.025
Tetrachlooretheen	10.512	0,06	0,1	0,1	7,88
Bariumverbindingen (als Ba)	6.965	0,02	0,1	0,2	9,11
Tetrachloormethaan	36	0,04	0,1	0,1	1.548
Molybdeenverb. (als Mo)	6.578	0,01	0,03	0,1	5,15
Caffeïne	3.044	0,00	0,02	0,03	8,17
Trichloormethaan	3.224	0,01	0,02	0,03	6,35
Pentachloorfenol	79	0,01	0,02	0,03	259
Antimoonverb. (als Sb)	541	0,01	0,02	0,07	35,6
Hexachloorbenzeen	2	0,01	0,02	0,03	6.775
S-Metolachloor	162	0,00	0,01	0,02	86,1
Oxazepam	701	0,01	0,01	0,02	17,9
Cadmiumverbindingen (als Cd)	229	0,00	0,01	0,05	47,5
Vanadiumverbindingen (als V)	388	0,00	0,01	0,04	27,9
Benzo(a)Pyreen	30	0,00	0,01	0,01	216
Hexachloorcyclohexaan	12	0,00	0,01	0,01	482
Pyreen	87	0,00	0,01	0,01	63,7
Di(2-Ethylhexyl)Ftalaat	943	0,00	0,01	0,01	5,32
Naftaleen	926	0,00	0,01	0,01	5,40
1,4-Dichloorbenzeen	1.008	0,00	0,00	0,01	4,13

De meeste emissies naar water hebben een milieuschade die lager is dan 0,01 miljoen euro. Het gaat dan om:

- Stoffen met een gerapporteerde emissie minder dan 100kg in 2022: 1,2-Dichlooretheen, 1-Naftylazijnzuur, 2,4-Dichloorfenoxiazijnzuur, 3-Indolylboterzuur, Acenaftheen, Acclonifen, Anthraceen, Asulam, Azadirachtine-a, Benfluralin, Benzo(a)Anthraceen, Berylliumverbindingen (als Be), Bifenox, Bromuconazool, Bupirimaat, Captan, Carbendazim, Carfentrazone-ethyl, Clomazone, Cycloxydim, Cymoxanil, Daminozide, Deltamethrin, dibenzo(ah)anthraceen, Dicamba, Difenconazool, Diflufenican, Dimethomorf, Dithianon,

- Diuron, Dodemorf, Dodine, Endosulfan, Esfenvaleraat, Ethefon, Ethylbenzeen, Etridiazool, Fenmedifam, Fenoxaprop-p-ethyl, Fipronil, Fluazifop-p-butyl, Fluazinam, Fludioxonil, Flufenacet, fluoreen, Folpet, Hexachloorbutadieen, Hexythiazox, Imazalil, Imidacloprid, Indoxacarb, Isopropylbenzeen, Isoproturon, Isoxaflutool, Kresoxim-methyl, Lambda-Cyhalothrin, Mancozeb, Mecoprop, Mecoprop-p, Metalaxyl-m, Metaldehyde, Metazachloor, Methoxyfenozone, Napropamide, Nicosulfuron, Nonylphenol, Paclobutrazol, Penconazool, Pencycuron, Pendimethalin, Pirimicarb, Prochloraz, Propiconazol, Propyzamide, Prosulfocarb, Pyridaat, Pyridaben, Pyriproxyfen, Rimsulfuron, Seleenverbindingen (als Se), Simazine, Styreen, Thalliumverbindingen (als Tl), Thiencarbazon-Methyl, Thiofanaat-methyl, Tolclofos-methyl, Tribenuron-Methyl, Triclopyr, Triflusaluron-methyl, Trimethoprim, Trinexapac-ethyl, Wolframverbindingen (als W), Xylenen (Totaal)
- Stoffen met een berekende milieuprijs van minder dan €2/kg emissie: Aluminiumverbindingen (als Al), Bentazon, Bisfenol A, Boriumverbindingen (als B), Chloormequat, Chromverbindingen (als Cr), Clopyralid, Cyclamaat, DEET (Diethyl-m-Toluamide), Dibutyltalaat, Dichlobenil, Dichloormethaan, Ethofumesaat, Fenol en Fenolaten, Fenolen (als totaal C), Fluroxypyr, Formaldehyde, Gabapentine, Glyfosaat, IJzerverbindingen (als Fe), Kobaltverbindingen (als Co), Magnesiumverbindingen (als Mg), Maleinehydrazide, Mangaanverbindingen (als Mn), Metamitron, Paracetamol, Pyrimethanil, Quinmerac, Saccharine, Siliciumverbindingen (als Si), Strontiumverb (als Sr), Tinverbindingen (als Sn), Titaanverbindingen (als Ti), Tolueen, Trichloorbenzenen, Trichlooretheen, Zineb;
 - Overige stoffen met emissies tussen de 100 en 1500 kg en milieuprijzen tussen de 2 en 23 euro/kg emissie: Azoxystrobine, Fenanthreen, Fluorantheen, Gemfibrozil, MCPA, Metribuzin, Oxamyl, Tebuconazool, Terbutylazine.

In zijn totaliteit dragen deze stoffen minder dan 0,05 miljoen euro bij aan de berekende milieuschade. Hierbij moet wederom de kanttekening worden gemaakt dat de milieuprijzen uit CE Delft een conservatieve inschatting geven van de huidige effecten van milieuvervuiling en dat er veel kennislacunes zijn over de schadelijke effecten van milieuvervuiling.

A.3 Emissies naar bodem

Tabel A.4. geeft informatie over de milieuschade van emissies naar bodem voor de belangrijkste stoffen.

Tabel A.4

Emissie (kg) en schattingen van de monetaire milieuschade in miljoenen euro's voor emissies naar bodem en de centrale milieuprijs in euro's per kilogram emissie.

	Emissie (kg)	Lage schatting (mln €)	Centrale schatting (mln €)	Hoge schatting (mln €)	Centrale milieuprijs (€/kg)
Arseenverbindingen (als As)	71.090	2	18	94	252
N - Totaal	2.155.304	2	4	8	1,98
Bariumverbindingen (als Ba)	52.848	1	2	4	38,6
Cadmiumverbindingen (als Cd)	126	0,0	0,4	2,1	3354
Naftaleen	53.148	0,0	0,2	0,4	4,5
Loodverbindingen (als Pb)	5.713	0,0	0,2	1,0	34,8
P - Totaal	224.744	0,1	0,1	0,3	0,61
Nikkelverbindingen (als Ni)	2.063	0,0	0,1	0,9	65,2
Koperverbindingen (als Cu)	161.436	0,0	0,1	0,5	0,65
Antimoonverbindingen (als Sb)	3.407	0,0	0,1	0,4	28,9
Kwikverbindingen (als Hg)	19	0,00	0,01	0,04	420
Benzeen	1.651	0,00	0,00	0,01	2,23

Er zijn meer stoffen met milieuschade naar bodem, maar deze zijn kleiner dan €0,01 miljoen. Het gaat dan om:

- Stoffen met een gerapporteerde emissie minder dan 100kg in 2022: 1,4-Dichloorbenzeen, Benzo(a)Pyreen, Dibutylftalaat, Dichloormethaan, Fenol en Fenolaten, Hexachloorbenzeen, Hexachloorcyclohexaan, Pentachloorfenol, Seleenverbindingen (als Se), Tetrachloormethaan, Trichloorbenzenen, Trichloormethaan;
- Stoffen met een berekende milieuprijs van minder dan €2,5/kg emissie: Anthraceen, Benzo(a)Anthraceen, Chroomverbindingen (als Cr), Ethylbenzeen, Fenanthreen, Fluorantheen, Toluene, Vanadiumverbindingen (als V), Xylenen (Totaal),

In zijn totaliteit dragen deze stoffen minder dan 0,05 miljoen euro bij aan de berekende milieuschade. Hierbij moet de kanttekening worden gemaakt dat de milieuprijzen uit CE Delft een conservatieve inschatting geven van de huidige effecten van milieuvervuiling en dat er veel kennislacunes zijn over de schadelijke effecten van milieuvervuiling.

A.4 Verbijzondering milieuprijzen

Voor de NEC stoffen fijnstof, stikstofoxiden, zwaveloxiden en NMVOS zijn in deze studie gedifferentieerde prijzen voor een aantal sectoren gebruikt. Tabel A.5. geeft het overzicht.

Tabel A.5

Milieuprijzen gehanteerd in deze studie voor stoffen gedifferentieerd naar bron van uitstoot voor emissies in 2022.

	Gemiddeld NL	Zeescheepvaart NCP	Wegverkeer	Overige bronnen
Stikstofoxiden (als NO₂)	32,9	19,2		
Fijnstof (PM_{2,5})	133,1	55,4	255,2	89,9
Zwaveloxiden (als SO₂)	63,3	32,9		
NMVOs	3,0	2,5		

Bijlage B Sectorale indeling

Tabel B.1

De sectorale indeling in deze studie volgt de indeling van de Emissieraming Lucht, met als enige toevoeging de sector Landgebruik.

Sectorindeling rapportage		Sectorindeling emissieregistratie	
Subsector deze studie	Hoofdsector	Sector	Subsectoren/activiteiten (Bijlage C)
Bouw	Diensten en bouw	Bouw	Indirecte emissies broeikasgassen Bouw, Overig bouw, Productgebruik Bouw, Stofemissies bouwplaatsen
Drinkwatervoorziening	Diensten en bouw	Drinkwatervoorziening	Drinkwaterbedrijven, Overig drinkwater
Energiegebruik en processen diensten	Diensten en bouw	Handel, Diensten en Overheid (HDO)	Energiegebruik en processen Handel, Diensten en Overheid (HDO)
Overig diensten	Diensten en bouw	Handel, Diensten en Overheid (HDO)	Indirecte emissies broeikasgassen Handel, Diensten en Overheid (HDO), Productgebruik Handel, Diensten en Overheid (HDO)
Riolering en waterzuivering	Diensten en bouw	Riolering en waterzuiveringsinstallaties	Effluenten lozingen, Energiegebruik en processen, Riolering en waterzuiveringsinstallaties, Indirecte emissies broeikasgassen, Riolering en waterzuiveringsinstallaties, Ongezuiverd rioolwater
Olie- gaswinning	Energiesector	Energiesector	Olie- gaswinning continentaal plat, Olie- gaswinning land
Opwekking elektriciteit	Energiesector	Energiesector	Opwekking elektriciteit
Transport en distributie olie en gas	Energiesector	Energiesector	Transport en distributie olie en gas
Energiegebruik Consumenten	Huishoudens	Consumenten	Energiegebruik Consumenten
Overig consumenten	Huishoudens	Consumenten	Huishoudelijk afvalwater, Huishoudelijke processen, Indirecte emissies broeikasgassen Consumenten, Productgebruik Consumenten
Afvalverbranding	Industrie	Afvalverwijdering	AVI's
Afvalverwerking overig	Industrie	Afvalverwijdering	Composteren, Indirecte emissies broeikasgassen Afvalverwijdering, Overige afvalbedrijven, Overige processen, Storten

<i>Subsector deze studie</i>	<i>Hoofdsector</i>	<i>Sector</i>	<i>Subsectoren/activiteiten (Bijlage C)</i>
Basischemie	Industrie	Chemische Industrie	Chemische Industrie basisproducten, Chemische Industrie kunstmeststoffen
Basismetaal	Industrie	Overige industrie	Basismetaal, Corrosie roestvast staal Industrie
Bouwmaterialenindustrie	Industrie	Overige industrie	Bouwmaterialenindustrie
Chemie overig (fijnchemie)	Industrie	Chemische Industrie	Chemische Industrie bestrijdingsmiddelen, Chemische Industrie overig
Grafische industrie	Industrie	Overige industrie	Grafische industrie
Industrie overig	Industrie	Overige industrie	Houtbewerkende industrie, Industrie overig, Lederindustrie, Productgebruik Overige industrie, Textiel- en tapijtindustrie
Metaalelektro	Industrie	Overige industrie	Metaalelektro
Papierindustrie	Industrie	Overige industrie	Papier(waren)
Raffinaderijen	Industrie	Raffinaderijen	Raffinage en verwerking
Rubber en kunststof	Industrie	Overige industrie	Rubber- en kunststof
Voedings- en genotmiddelenindustrie	Industrie	Overige industrie	Voedings- en genotmiddelenindustrie
Energiegebruik in de landbouw	Landbouw	Landbouw	Energiegebruik Landbouw
Kunstmestgebruik	Landbouw	Landbouw	Kunstmest
Landbouwhuisdieren	Landbouw	Landbouw	Landbouwhuisdieren – algemeen, - overige dieren, - pluimvee, - rundvee, - varkens
Overig landbouw	Landbouw	Landbouw	Glastuinbouw afvalwater, Indirecte emissies broeikasgassen, Landbouwbedrijven, Meemesten sloten, Particuliere landbouwactiviteiten, Processen - bodem en gewas, Productgebruik
Landgebruiksveranderingen	Landbouw	Overig	Verandering in landgebruik
Binnenscheepvaart	Mobiliteit	Verkeer en vervoer	Binnenscheepvaart
Luchtvaart	Mobiliteit	Verkeer en vervoer	Luchtvaart
Mobiele werktuigen	Mobiliteit	Verkeer en vervoer	Mobiele werktuigen
Overig verkeer	Mobiliteit	Verkeer en vervoer	Smeermiddelengebruik-verkeer
Railverkeer	Mobiliteit	Verkeer en vervoer	Railverkeer
Recreatievaart	Mobiliteit	Verkeer en vervoer	Recreatievaart
Visserij	Mobiliteit	Verkeer en vervoer	Visserij
Wegverkeer	Mobiliteit	Verkeer en vervoer	Wegverkeer - niet uitlaatgassen, - uitlaatgassen
Zeescheepvaart	Mobiliteit	Verkeer en vervoer	Zeescheepvaart, - NCP (inclusief ankerliggers), - stilliggend, - varende op Nederlands grondgebied

Bijlage C: Sectorale verdieping

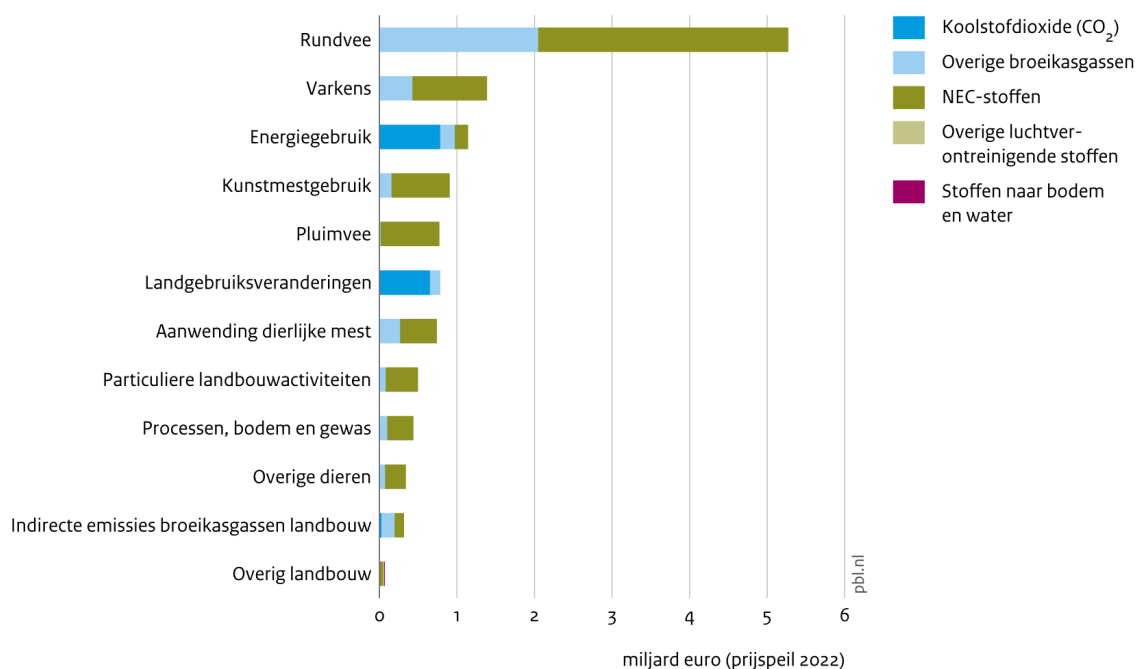
In deze appendix gaan we dieper in op de milieuschade bij de verschillende doelgroepen die in de Emissieregistratie worden onderscheiden. Ook geven we steeds kort aan hoe deze (sub)doelgroepen zich verhouden tot de productgroepen in het rapport over de rol van grondstoffen en materialen (zie Vollebergh et al. 2017) en de aldaar onderscheiden fasen van het economisch proces.

C.1 Milieuschade door de landbouw

Volgens onze berekening is de landbouw verantwoordelijk voor 12,7 miljard euro milieuschade. Binnen de landbouw wordt verreweg de meeste milieuschade veroorzaakt door de veeteelt. Binnen de veeteeltsector is meer dan de helft van de emissies afkomstig van de rundveehouderij. Het gaat hierbij voor meer dan 90 procent om schade door emissies van ammoniak en methaan. Ook varkens- en pluimveehouderijen zijn verantwoordelijk voor milieuschade. Het houden van hobbydieren, zoals paarden of schapen, door particulieren of kleine bedrijven wordt in de Emissieregistratie bij de landbouwsector geteld. In totaal maakt deze sector 4 procent uit van de totale milieuschade in de landbouw.

Figuur C.1

Monetaire milieuschade in landbouwsector, 2022



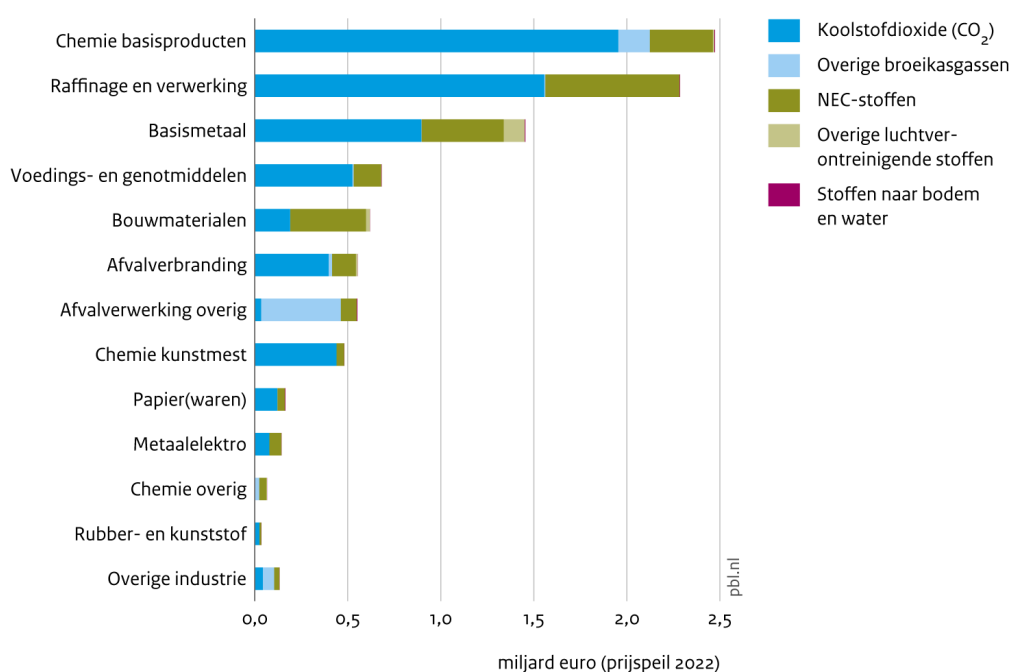
Bron: Berekeningen PBL op basis van data RIVM en CE Delft

C.2 Milieuschade door de industrie

De industrie is de op twee na belangrijkste sector als het gaat om milieuschade; alleen verkeer en vervoer en landbouw kennen een hogere milieuschade. In 2022 bedroeg de totale schade van de industrie, inclusief de afvalverwerkingssector, 9,65 miljard euro. Ten opzichte van Drissen en Vollebergh (2018) is het aandeel van de industrie in de monetaire milieuschade toegenomen.

Binnen de sector industrie is de basischemie nu de belangrijkste veroorzaker van milieuschade (2,5 miljard euro), op de voet gevolgd door raffinage (2,2 miljard euro). De sector basismetaleen is een sector waar de overige luchtverontreinigende stoffen nog een deel van de totale milieuschade uitmaken – dat geldt in mindere mate ook voor de bouwmaterialenindustrie. De bouwmaterialenindustrie is de enige sector waar de milieuschade door luchtverontreinigende emissies groter is dan de schade door broeikasgassen.

Figuur C.2
Monetaire milieuschade in sector industrie, 2022



Bron: Berekeningen PBL op basis van data RIVM en CE Delft

De afvalsector valt in deze studie onder de sector industrie. Afvalverbranding en de overige afvalverwerking kennen beiden vergelijkbare milieuschade van elk ruim 0,5 miljard in 2022. Overige broeikasgassen, en dan met name methaan uit stortplaatsen, zijn de belangrijkste schadekosten van het afval dat niet verbrand wordt. Bij afvalverbrandingsinstallaties levert koolstofdioxide de belangrijkste bijdrage aan de emissies. Dit is exclusief kortcyclische CO₂ die ontstaat door de verbranding van biogene afvalstromen.

De schade van de hele 'overige industrie' is beperkt. Deze bestaat onder meer uit de textiel- en tapijtindustrie, de houtbewerkende industrie en de grafische industrie. Ook zit hierin het productgebruik door de industrie die niet is toebedeeld aan een specifieke sector. Het gaat hierbij onder meer om HFK's en NMVOS die vrijkomen bij koelen, vriezen en aircogebruik en verder vooral bij het gebruik van hard isolatieschuim. De emissie door het gebruik van deze producten wordt in de Emisiesregistratie niet verder toegedeeld aan de verschillende industriële sectoren.

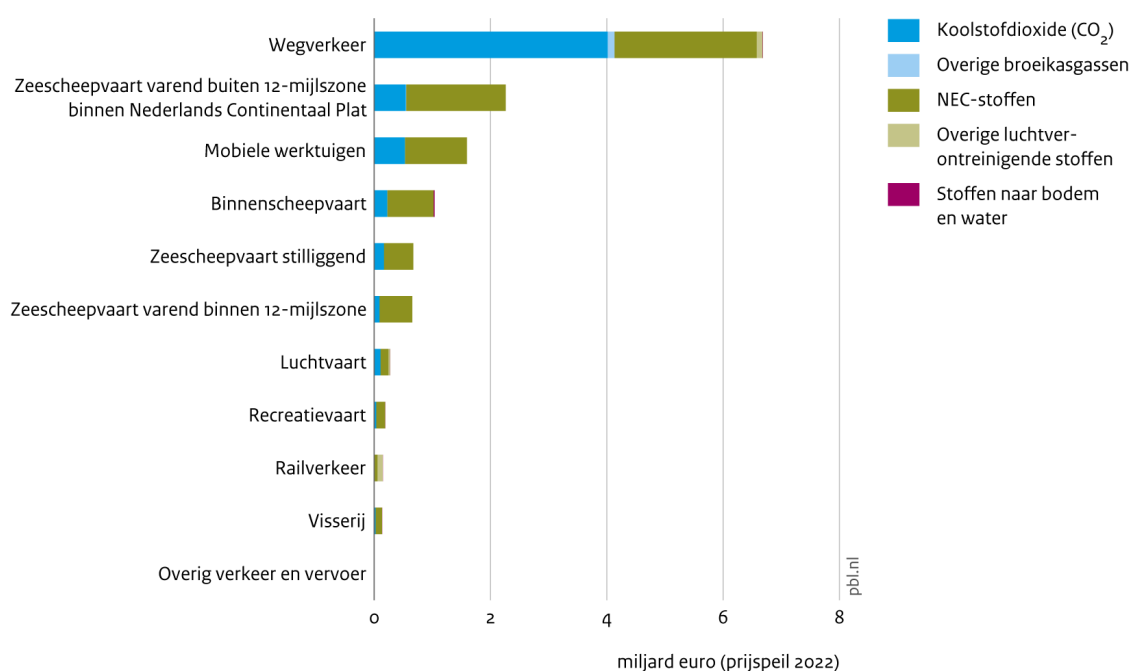
C.3 Milieuschade door verkeer en vervoer

Verkeer en vervoer is de doelgroep met de grootste milieuschade. De totale schade van deze doelgroep bedroeg in 2022 zo'n 13,7 miljard euro. Het wegverkeer is verantwoordelijk voor bijna de helft van deze schade. Hierbij is de schade door emissies van CO₂ de belangrijkste.

Voor de overige sectoren hebben vooral activiteiten die te maken hebben met de zeescheepvaart een grote milieuschade. De schade door de zeescheepvaart op het Nederlands Continentaal Plat speelt hierbij een belangrijk rol. De Noordzee is een van de drukste bevaarde zeeën en de luchtvervuiling door NEC-stoffen vormt een hotspot van vervuiling door schepen wereldwijd gezien (Hemmingh et al. 2012). Ondanks de lagere schadekosten per kilogram emissie voor deze emissies, bedragen ze toch 60 procent van de totale schadekosten door de zeescheepvaart op Nederlands grondgebied. Daarnaast is ook zeescheepvaart liggend in Nederlandse havens een bron van schadekosten, alsmede varende schepen binnen de 12-mijlszone. Het grootste deel van de schade door de zeescheepvaart wordt veroorzaakt door uitstoot van luchtverontreinigende stoffen die onder het NEC-protocol worden gereguleerd.

Figuur C.3

Monetaire milieuschade in sector verkeer en vervoer, 2022



Bron: Berekeningen PBL op basis van data RIVM en CE Delft

Naast scheepvaart zijn ook de binnenvaart en mobiele werktuigen belangrijke bronnen van milieuschade in Nederland. Bij beide bronnen is de schade door uitstoot van luchtverontreinigende stoffen (veel) groter dan de schade door de uitstoot van broeikasgassen. Luchtvaart telt in deze statistiek alleen mee voor zover er emissies zijn tot 900 meter. Emissies daarboven worden niet meegeteld in de Emissieregistratie. De schadekosten van emissies door de luchtvaart zijn klein in verhouding tot de totale schadekosten van de sector. De voornaamste gezondheidsschade door luchtvaart ontstaat door geluidshinder – maar geluidshinder is niet meegenomen in deze studie. Recreatievaart, railverkeer en visserij zijn verder kleine bronnen van milieuschadekosten.