



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

## **Het effect van de Nederlandse zorg op het milieu**

Methode voor milieuvoetafdruk en  
voorbeelden voor een goede  
zorgomgeving

RIVM-rapport 2022-0127  
M.A. Steenmeijer et al.





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

## **Het effect van de Nederlandse zorg op het milieu**

Methode voor milieuvoetafdruk en voorbeelden voor een goede  
zorgomgeving

RIVM-rapport 2022-0127

## Colofon

© RIVM 2022

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

DOI 10.21945/RIVM-2022-0127

M.A. Steenmeijer (auteur), RIVM

L.I. Pieters (auteur), RIVM

N. Warmenhoven (auteur), RIVM

E.H.W. Huiberts (auteur), RIVM

M. Stoelinga (auteur), RIVM

M.C. Zijp (auteur), RIVM

R. van Zelm (auteur), RIVM en Radboud Universiteit Nijmegen

S.L. Waaijers-van der Loop (auteur), RIVM

Contact:

Susanne L. Waaijers-van der Loop

Centrum Duurzaamheid, Milieu en Gezondheid/ Duurzaamheid,

Drinkwater en Bodem

[susanne.waaijers@rivm.nl](mailto:susanne.waaijers@rivm.nl)

Dit onderzoek werd verricht in opdracht van het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport (VWS) in het kader van Programma Duurzame Zorg, opdracht V/060439/22/.

Dit is een uitgave van:

**Rijksinstituut voor Volksgezondheid  
en Milieu**

Postbus 1 | 3720 BA Bilthoven

Nederland

[www.rivm.nl](http://www.rivm.nl)

## Publiekssamenvatting

### **Het effect van de Nederlandse zorg op het milieu. Methode voor milieuvoetafdruk en voorbeelden voor een goede zorgomgeving**

Klimaatverandering heeft grote gevolgen voor de gezondheid en het milieu. Het is dan ook belangrijk om alle bronnen die aan klimaatverandering bijdragen in beeld te hebben. Een daarvan is de zorgsector. Het ministerie van VWS wil daarom weten wat de effecten van de Nederlandse zorgsector op het milieu zijn. Van alle sectoren in Nederland draagt de zorgsector voor zo'n 7 procent bij aan de totale uitstoot van broeikasgassen. Dit is zowel uitstoot in Nederland als in het buitenland. Dit bevestigt eerdere schattingen uit onderzoek van anderen, en is nu beter onderbouwd.

Het RIVM ontwikkelde een methode om de effecten op het milieu te berekenen. Hiermee is de wetenschappelijke kennis over meerdere effecten van de Nederlandse zorg op het milieu voor het eerst in kaart gebracht. Daarnaast is naar voorbeelden in de praktijk gezocht die de gezondheid verbeteren.

De methode berekent zowel de effecten van medische handelingen, zoals het gebruik van narcosemiddelen bij operaties (die sterke broeikasgassen kunnen zijn), als de effecten van de productie van goederen en diensten die in de zorg worden gebruikt. De voetafdruk is berekend voor meer dan alleen klimaatverandering (de uitstoot van broeikasgassen). De berekening is ook gemaakt voor het gebruik van water en grondstoffen (metalen en mineralen), het landgebruik en de hoeveelheid afval. Zo nodig kunnen aan de methode meer effecten worden toegevoegd.

Grofweg veroorzaakt de productie van chemische producten, waaronder geneesmiddelen en producten als zeep en oplosmiddelen, het grootste deel (ongeveer 40 procent) van de uitstoot van broeikasgassen en het grondstoffengebruik door de zorg. Het is nog niet precies duidelijk welke producten en processen die uitstoot en dat gebruik veroorzaken. Daarvoor is meer onderzoek nodig.

Met verschillende zorgsectoren, zoals ziekenhuizen, ouderenzorg en de geestelijke gezondheidszorg (GGZ), is gezocht naar de praktijkvoorbeelden. Het gaat om voorbeelden die mensen in zorginstellingen, zoals ouderen en mensen met een beperking, gezond houden, bijvoorbeeld door hen gezond eten te geven en door planten en bomen aan te leggen. Zo'n gezonde 'zorgomgeving' kan helpen ziekte te voorkomen, en draagt bij aan goede en duurzame zorg.

RIVM doet aanbevelingen om de methode om de effecten op het milieu te berekenen te verbeteren. Zo kan bijvoorbeeld een plan worden gemaakt om de situatie zoals die nu is te bepalen, en de ontwikkeling ervan in de toekomst te kunnen volgen. Ook wordt aangeraden om meer praktijkvoorbeelden te verzamelen, omdat zorgprofessionals daar veel behoefte aan hebben.

Kernwoorden: milieuvoetafdruk, duurzame zorg, gezondheidsbevorderende leefomgeving, impact van geneesmiddelen, klimaatverandering, circulaire economie, biodiversiteit, milieu en gezondheid, milieueffecten, duurzaamheid

## Synopsis

### **The impact of Dutch healthcare on the environment. Environmental footprint method, and examples for a healthy care environment**

Climate change is having a major impact on health and the environment. That makes it important to have an overview of all the sources that contribute to climate change. One of these sources is the healthcare sector. The Ministry of Health, Welfare and Sports, therefore, wants to know the effects of the Dutch care sector on the environment. Among other things, it turns out that the care sector is responsible for about 7 percent of the total emission of greenhouse gases of all sectors in the Netherlands. This includes emissions both within the Netherlands and abroad. This number confirms previous estimates and is now better substantiated.

RIVM has developed a method to calculate the environmental impact of healthcare. This is the first time that scientific knowledge about multiple effects of healthcare on the environment has been mapped out for the Netherlands. Next to the method development, practical examples were gathered on how to support good health for clients and patients in health care facilities.

The method calculates the environmental effects of medical procedures, such as the use of anaesthetics (that can be greenhouse gases) in operations, as well as the effects of the production of goods and services used in health care. The footprint has been calculated for more than just climate change (emissions of greenhouse gases). It has also been calculated for the use of water and raw materials (metals and minerals), for land use and for the amount of waste produced. If required, more effects can be added to the method.

Roughly speaking, the production of chemical products such as pharmaceuticals, soaps and solvents causes most - about 40 percent - of the greenhouse gas emissions and the use of raw materials by the healthcare sector. Exactly which products and processes cause this is not yet clear and requires more research.

Additionally, various care organisations were interviewed, such as hospitals, geriatric care and mental health care (GGZ) institutes, to look for practical examples of how to improve a health promoting environment in and around health care provider facilities. The examples concern practices that keep people in care institutions - such as the elderly and disabled - healthy, for example by giving them healthier food and by planting greenery. Such a healthy 'care environment' can help to prevent illness and contributes to good and sustainable health care.

RIVM makes recommendations to further improve the environmental footprint method. For example, a plan can be made on how to determine the present situation and how to monitor future developments.

Collecting more practical examples is also recommended, because these are very much asked for by healthcare professionals.

Keywords: sustainable healthcare, environmental footprint, health promoting care environment, impact of pharmaceuticals, climate change, circular economy, biodiversity, environment and health, environmental impact, sustainability



## Inhoudsopgave

### **Samenvatting — 9**

#### **1 Introductie — 11**

1.1 Green Deal Duurzame Zorg (GDDZ) en kennisbasis — 11

1.2 Leeswijzer — 13

#### **2 De milieuvoetafdruk van de Nederlandse zorgsector — 15**

2.1 Introductie — 15

2.2 Methode — 16

2.2.1 Sectorale voetafdrukberekening met EE-IOA voor Nederland — 17

2.2.2 Toevoegen zorgsector-specifieke effectberekeningen — 28

2.2.3 Van milieustressoren naar effecten — 35

2.2.4 Onzekerheidsanalyse — 36

2.3 Resultaten milieuvoetafdruk Nederlandse zorgsector — 37

2.3.1 De zorguitgavenvector — 37

2.3.2 Resultaat voetafdruk totaal — 39

2.3.3 De opbouw van de milieuvoetafdruk — 40

2.4 Discussie milieuvoetafdruk Nederlandse zorgsector — 43

2.4.1 Vergelijken van resultaten — 44

2.4.2 Beperkingen — 50

2.4.3 Gebruik van de methode en aanbevelingen — 53

2.4.4 Conclusie milieuvoetafdruk Nederlandse zorgsector — 54

#### **3 Verdieping chemieproducten, waaronder geneesmiddelen — 57**

3.1 literatuurverkenning milieuvoetafdruk chemieproducten — 57

3.1.1 Inleiding — 57

3.1.2 Methode — 58

3.1.3 Resultaten — 58

3.1.4 Discussie, conclusie en aanbevelingen — 70

3.2 Machine learning: methodes om de milieudruk van chemieproducten, waaronder geneesmiddelen, te voorspellen — 75

3.2.1 Inleiding — 75

3.2.2 Verkenning machine learning-methoden voor chemieproducten — 75

3.2.3 Discussie — 81

3.2.4 Conclusie — 82

#### **4 Een goede zorgomgeving: onderzoek en praktijkvoorbeelden — 83**

4.1 Methode Achtergronddocumenten en Wat Werkt Dossiers — 83

4.2 Methode praktijkvoorbeelden — 84

4.3 Uitkomsten — 84

4.4 Conclusies en aanbevelingen voor een gezondheidsbevorderende zorgomgeving — 90

#### **5 Generieke discussie, conclusie en aanbevelingen — 91**

5.1 Discussie — 91

5.1.1 De milieuvoetafdruk en monitoring — 91

5.1.2 Van overzicht naar handelingsperspectieven — 92

5.1.3 Betrouwbaarheid en onzekerheden — 94

5.2 Conclusie & aanbevelingen — 95

<b>6</b>	<b>Verklarende woordenlijst, begrippen en afkortingen — 99</b>
<b>7</b>	<b>Dankwoord — 105</b>
<b>8</b>	<b>Referenties — 107</b>
	<b>Bijlage A — 117</b>
	<b>Bijlage B — 118</b>
	<b>Bijlage C — 119</b>
	<b>Bijlage D — 121</b>
	<b>Bijlage E — 122</b>
	<b>Bijlage F — 124</b>
	<b>Bijlage G — 130</b>
	<b>Bijlage H — 141</b>
	<b>Bijlage I — 143</b>
	<b>Bijlage J — 145</b>
	<b>Bijlage K — 148</b>

## Samenvatting

Klimaatverandering heeft grote gevolgen voor de gezondheid en het milieu. Net als andere sectoren kan ook de zorgsector bijdragen aan het verminderen van klimaatverandering en andere milieueffecten, door duurzamere producten en diensten te leveren. Het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport heeft RIVM daarom de opdracht gegeven een methode te ontwikkelen en toe te passen om de milieueffecten - inclusief klimaatverandering - van de Nederlandse zorgsector in te schatten. De methode heeft als doel onderwerpen te identificeren die meer aandacht nodig hebben. Er is voor de voetafdruk specifiek gekeken naar de volgende milieueffecten: broeikasgasemissies (ook wel de klimaatvoetafdruk), zoetwaterconsumptie, gebruik van abiotische grondstoffen en landgebruik. Daarnaast is de totale afvalproductie bekeken. Indien gewenst kunnen in de toekomst meer effecten worden toegevoegd.

In dit rapport is een eerste landelijke milieuvoetafdruk berekend voor de zorg. Van alle sectoren in Nederland draagt de zorgsector voor zo'n 7 procent bij aan de totale uitstoot van broeikasgassen. Dit is zowel uitstoot in Nederland als in het buitenland. Dit komt overeen met eerder gepubliceerde schattingen. Om de landelijke milieuvoetafdruk te kunnen berekenen, is gewerkt met de meest recente beschikbare data en kengetallen. Door generieke analyses (input-outputanalyse) te combineren met specifieke analyses (levenscyclusanalyses), is de basis gelegd voor een toekomstige nulmeting. We zien dat chemieproducten (waaronder verbruiksartikelen en geneesmiddelen) een grote bijdrage leveren aan milieueffecten van de zorg. Het is nog niet mogelijk om het volledige beeld te krijgen van welke producten of onderdelen van de keten precies verantwoordelijk zijn voor welk aandeel van de berekende effecten. Om bijvoorbeeld de milieueffecten van geneesmiddelen beter te specificeren, moet er meer data beschikbaar komen, zoals via levenscyclusanalyses (LCA). Dan kunnen productspecifieke gegevens en analyses bijdragen aan de sectorbrede effectberekeningen.

Verder zijn in dit onderzoek voorbeelden verzameld in literatuur en de praktijk over een gezondheidsbevorderende zorgomgeving. In het literatuuronderzoek zijn interventies voor een gezondheidsbevorderende zorgomgeving onderzocht, en hiervan zijn achtergronddocumenten en 'Wat Werkt Dossiers' gemaakt.

Daarnaast is gekeken naar de praktijk, en zijn concrete verduurzamingsvoorbeelden verzameld voor de thema's natuur, architectuur en voeding. Deze thema's zijn van belang voor een gezondheidsbevorderende zorgomgeving. We hebben positieve effecten gezien van aanpassingen in de zorgomgeving, die het welbevinden van patiënten, bezoekers en medewerkers verbeteren én kunnen bijdragen aan gezondheid en verduurzaming. Er is een sterke behoefte aan meer praktijkvoorbeelden voor de gezondheidsbevorderende zorgomgeving, en ook voor het klimaat en de circulaire economie. Dit komt onder meer naar voren in webinars en in interviews die zijn gehouden, en deze wens komt overeen met bevindingen in het eerdere RIVM-rapport 'Verkenning

Monitoringsopties Green Deal Duurzame Zorg' (2021). Er is specifiek ook een vraag naar meer voorbeelden uit en voor de langdurige zorg, zoals de geestelijke gezondheidszorg. Opvallend is dat bijna alle professionals aangeven dat een instelling een visie over een gezonde leef- en werkomgeving zou moeten hebben. Voor het succes en de continuïteit van de initiatieven is steun van het management belangrijk. Wetenschappelijke onderbouwing en het structureren van praktijkvoorbeelden leidt tot concrete en effectieve praktijkvoorbeelden. Deze zijn dan betrouwbaarder en makkelijker te vinden voor verschillende zorgorganisaties, waardoor zij ook makkelijker zelf kunnen bijdragen aan verduurzaming van de zorg.

Om de methode en inzichten te verbeteren, en om bij te dragen aan concrete handelingsperspectieven voor zowel beleid als praktijk, zijn aanbevelingen voor het ministerie en betrokken partijen geformuleerd. Eén van de aanbevelingen is om een aanpak uit te werken voor een nulmeting en vervolgmonitoring van de milieuvoetafdruk van de zorg in Nederland. Dit rapport vormt hiervoor een eerste kennisbasis. Met een nulmeting kan het ministerie van Volksgezondheid, Welzijn en Sport ook voldoen aan één van de commitments aan de 26<sup>e</sup> United Nations Climate Change Conference of the Parties (COP26) van 2021 in Glasgow, en tevens de voortgang van de doelstellingen op het gebied van circulaire economie volgen.

Met de milieuvoetafdruk van de zorg in Nederland is te zien waar aandacht en acties nodig zijn om behandelingen, producten of diensten te verduurzamen. Dit zal leiden tot minder emissies in de keten, en dit zal bijdragen aan een betere volksgezondheid en een beter klimaat. Duurzame zorg zorgt niet alleen voor de patiënten van nu, maar ook voor het milieu en de volksgezondheid in de toekomst.

# 1 Introductie

## 1.1 Green Deal Duurzame Zorg (GDDZ) en kennisbasis

Klimaatverandering heeft grote gevolgen voor de gezondheid en het milieu.<sup>1</sup> Instellingen en dienstverleners in de zorgsector worden dan ook geconfronteerd met de effecten die klimaatverandering heeft op de volksgezondheid. Toenemende emissies van broeikasgassen zorgen namelijk voor meer vastgehouden warmte in de atmosfeer. Deze opwarming zorgt voor veranderingen in het klimaat, zoals zachtere winters, warmere zomers en meer weersextremen, waaronder hittegolven en extreme neerslag. Deze veranderingen kunnen bijvoorbeeld leiden tot meer hittestress, langere en intensere hooikoortsseizoenen en uitbraken van (nieuwe) ziekten en plagen (Figuur 1).<sup>2</sup> Daarnaast is extra druk op het internationale zorgsysteem ontstaan door verschillende uitdagingen, zoals grondstoffenschaarste, afgenomen leveringszekerheid en de COVID-19 pandemie.<sup>3</sup>

Net als andere sectoren veroorzaakt de zorg tegelijkertijd door het leveren van producten en diensten zelf ook milieueffecten, waaronder klimaatverandering (Figuur 1). Zo schatten eerdere studies in dat de zorgsector in Nederland voor 6 tot 8% bijdraagt aan de nationale klimaatvoetafdruk.<sup>4-6</sup> Het tegengaan of voorkomen van klimaat- en milieueffecten draagt bij aan de volksgezondheid en leefomgeving, nu en op langere termijn.<sup>7</sup> De zorg kan dus ook een flinke bijdrage leveren aan het behalen van de nationale klimaatdoelen<sup>8</sup> en de doelstellingen op het gebied van de circulaire economie.

Om de milieudruk - inclusief broeikasgasemissies - van de zorgsector te verminderen en samenwerking en kennisdeling daarover tussen zorginstellingen te verbeteren, is in 2015 een eerste Nederlandse Green Deal Duurzame Zorg (GDDZ) opgesteld, in 2018 gevolgd door een tweede.<sup>9</sup> Deze deals zijn ondertekend door verschillende partijen, zoals zorgverleners, leveranciers en patiëntenorganisaties. In het najaar van 2022 wordt een derde convenant verwacht. De afspraken in de GDDZ (2018-2022) zijn op dit moment nog ingedeeld in thema's: klimaat, circulair werken, verminderen van medicijnresten in het oppervlaktewater, en de gezondheidsbevorderende zorgomgeving. Bij dit laatste thema gaat het over welke omgeving het voor bewoners, medewerkers en gebruikers van zorginstellingen mogelijk maakt om zich gezond te gedragen. Daarnaast heeft de toenmalige minister van VWS, Hugo de Jonge, zich in 2021 op de internationale VN-klimaatop COP26 in Glasgow gecommitteerd aan emissiereductie-acties voor de zorgsector. Daaronder valt het regelmatig monitoren van de ecologische voetafdruk (ook wel milieuvoetafdruk), het ondersteunen van de zorgsector bij het leveren van duurzame zorg, en het faciliteren van de ontwikkeling van duurzame en koolstofemissie-arme aanbodketens voor de zorg.<sup>10</sup>

Om in kaart te brengen wat de huidige druk van de Nederlandse zorgsector op het milieu is, en waar hotspots en kennislacunes zitten, heeft het ministerie van VWS het RIVM opdracht gegeven om hier een

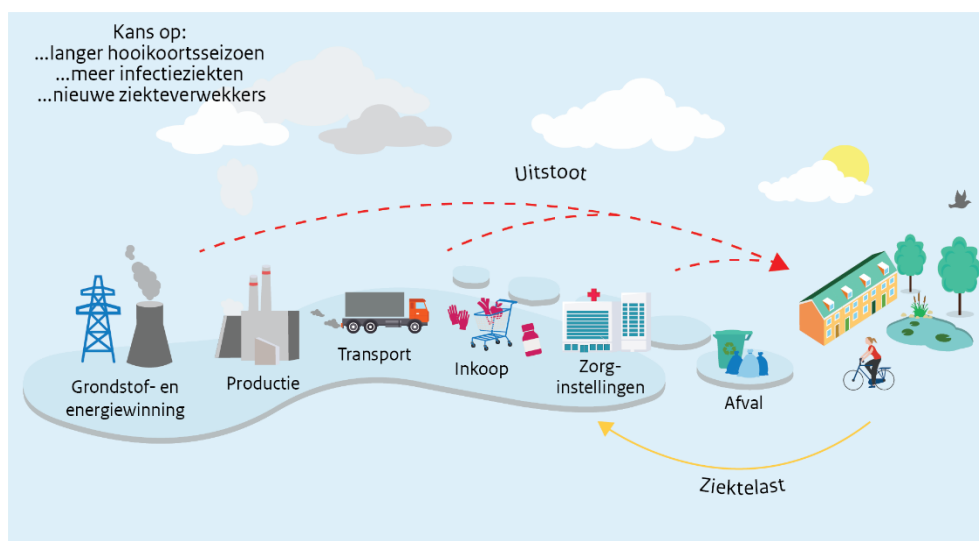
methode voor te kiezen, en die waar nodig verder te ontwikkelen. Die methode, 'Kennisbasis Green Deal Duurzame Zorg' geheten, draagt bij aan een kennisbasis over duurzame zorg. Ze heeft als doel onderwerpen te identificeren die meer aandacht nodig hebben, en ondersteuning te bieden bij het maken van keuzes of prioritering.<sup>11,12</sup> De zorgsector komt immers onder steeds meer druk te staan, en middelen en tijd moeten daarom doelgericht worden gependend.<sup>13,14</sup> Dit rapport richt zich voornamelijk op de ontwikkeling van de methode, en het in kaart brengen van milieueffecten - of milieuvoetafdruk - van de Nederlandse zorgsector. De voetafdruk is berekend voor de volgende milieueffecten: klimaatverandering (de uitstoot van broeikasgassen), het gebruik van zoetwater, het gebruik van grondstoffen (metalen en mineralen), het landgebruik en hoeveelheid geproduceerd afval. Als dat nodig is, kunnen in vervolgonderzoek meer effecten worden toegevoegd.

Deze methode is een reflectie op de totale Nederlandse situatie vanuit een macro-economisch overzicht en daardoor is hij algemeen. Een sectorbrede milieuvoetafdrukberekening helpt om sturing te geven aan verduurzaming van de zorg, door:

- te begrijpen hoe de milieueffecten van de zorgsector zijn opgebouwd;
- aandachtsgebieden voor verduurzaming van de zorg te identificeren;
- inzicht te krijgen in welke data er is of mist;
- structuur te geven aan het verzamelen van nieuwe data;
- bij te dragen aan geharmoniseerd woordgebruik en methodiek;
- de verduurzaming van de zorgsector in Nederland in de toekomst generiek te monitoren.

De komende jaren kan de methode worden uitgebreid en aangevuld voor deelsectoren, productgroepen en diensten. De methode is een aanvulling op de bestaande CO<sub>2</sub>-routekaarten voor vastgoed in care en cure, ontworpen door het Expertisecentrum Verduurzaming Zorg (EVZ).<sup>15, 16</sup> Deze methode is algemener (landelijk), maar kijkt wel naar meerdere milieueffecten en onderwerpen. Ze geeft dus geen inzichten voor specifieke instellingen of producten, maar kan wel helpen bij het opstellen van jaar- of beleidsplannen, doordat belangrijke thema's zijn geïdentificeerd.<sup>12</sup> Daarnaast is een apart hoofdstuk gewijd aan praktijkvoorbeelden van duurzame zorg, met de thema's natuur, voeding en architectuur, wat bijdraagt aan meer concrete handelingsperspectieven.<sup>17</sup>

Het doel van dit rapport is dat het bijdraagt aan wetenschappelijke, kwalitatieve en kwantitatieve kennis over milieueffecten van de zorg. Het doel is ook dat deze kennis, samen met kwaliteit van zorg en sociaal-economische aspecten, een completer beeld geeft van duurzame en hoogwaardige zorg, nu en op de lange termijn. De resultaten dragen daarmee ook bij aan de kennis die nodig is om de (inter)nationale doelstellingen op de gebieden van klimaat en circulaire economie te behalen.



Figuur 1 Schematische weergave van de milieuoetafdruk van een keten, met de zelfversterkende effecten op volksgezondheid en leefomgeving. Instellingen en dienstverleners in de zorgsector worden geconfronteerd met de effecten van klimaatverandering op de volksgezondheid. Toename van emissies van broeikasgassen en fijnstof zorgen namelijk voor meer vastgehouden warmte in de atmosfeer. Deze opwarming zorgt voor klimaatverandering, die weer leidt tot bijvoorbeeld meer hittestress, langer durende hooikoortsseizoenen, en het ontstaan van nieuwe ziektes en plagen.<sup>1, 2</sup>

## 1.2 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit verschillende onderdelen. Die bouwen op elkaar voort, maar kunnen ook onafhankelijk van elkaar kunnen worden gelezen.

Het grootste onderdeel van dit project betrof het (door)ontwikkelen van een technische methode. Hoofdstuk 2 en 3 zijn daarom ook geschreven voor experts in het veld, zoals industriële ecologen. De andere hoofdstukken zijn breder toegankelijk. Ze zijn ook geschreven voor lezers met enige achtergrondkennis over duurzaamheid, milieueffecten en de zorgsector, die geïnteresseerd zijn in het in kaart brengen van de milieueffecten van de zorg in Nederland, de gezondheidsbevorderende zorgomgeving en aanbevelingen om de methodiek te verbeteren en die beter te verbinden met de praktijk.

### Hoofdstuk 2 De milieuoetafdruk van de Nederlandse zorgsector

De nadruk van dit rapport ligt op dit hoofdstuk. Het levert het grootste aandeel aan dit kennisbasisproject. De methode voor het bepalen van de milieuoetafdrukberendingen voor de zorg in Nederland wordt uitgelegd. Het gaat om een hybride aanpak, waarin input-outputanalyse is gecombineerd met aanvullende milieueffecten. Hiervoor zijn nationale statistieken gebruikt. Deze zijn aangevuld met data voor anesthesiegassen, dosis-aerosolen en individuele reisbewegingen. De resultaten voor de volgende milieueffecten worden besproken: broeikasgasemissies (ook wel de klimaatvoetafdruk genoemd), zoetwaterconsumptie, extractie van abiotische grondstoffen, en landgebruik. Daarnaast is de totale afvalproductie bekeken. De resultaten van het model op het gebied van de klimaatvoetafdruk worden vergeleken met de resultaten van bestaande studies. De

resultaten van de opbouw van de voetafdruk worden gepresenteerd om de sectorbrede milieueffecten van de zorgsector te begrijpen.

### **Hoofdstuk 3 Verdieping van de milieuvoetafdruk van chemieproducten, waaronder geneesmiddelen**

In Hoofdstuk 3 wordt de categorie (productgroep) uitgediept die volgens de resultaten van Hoofdstuk 2 het meest bijdraagt aan milieueffecten. Dit zijn de chemieproducten, waaronder geneesmiddelen. In het generieke, landelijke overzicht van de milieuvoetafdruk (Hoofdstuk 2) is het nog niet mogelijk om het aandeel van geneesmiddelen precies te berekenen. Daarom gaat Hoofdstuk 3 specifiek over geneesmiddelen en over wat er bekend is over hun milieueffecten, met de focus op dezelfde milieueffecten als berekend in Hoofdstuk 2. We kijken wat er in de literatuur bekend is over levenscyclusanalyses, en welke mogelijkheden er zouden kunnen zijn om de effecten met behulp van *machine learning* te schatten. Bij deze analyse is het doel niet alleen om te proberen de effecten uit de landelijke milieuvoetafdruk te specificeren, maar ook om in te gaan op de uitdagingen van het samenvoegen van de verschillende data, om zo tot een overzicht te kunnen komen.

### **Hoofdstuk 4 Achtergrond bij het onderzoek en praktijkvoorbeelden van de gezondheidsbevorderende zorgomgeving**

In dit hoofdstuk wordt verslag gedaan van hoe praktijkvoorbeelden over de gezondheidsbevorderende zorgomgeving uit het eerdere RIVM-project 'Interventies Duurzame Zorg' zijn verzameld. Naast de kennis uit de meer technische milieueffectenanalyses, is in dat project een eerste begin gemaakt met het verzamelen en delen van praktijkvoorbeelden over de gezondheidsbevorderende zorgomgeving, met de nadruk op de thema's klimaat en circulaire economie (Hoofdstuk 2 en 3). De praktijkvoorbeelden zelf zijn te vinden op de RIVM-website<sup>17</sup>. Dit hoofdstuk gaat in op de aanpak om de voorbeelden kwalitatief te onderbouwen, en deze zo toegankelijk en concreet mogelijk te maken. Generieke inzichten worden besproken. Het doel hiervan is om zorgprofessionals handelingsperspectieven te bieden, door voorbeelden over inspirerende duurzame initiatieven uit de praktijk te delen en structureren. Daarnaast wordt kort stilgestaan bij gerelateerde activiteiten en mogelijkheden om de voorbeelden te verbinden en uit te breiden.

### **Hoofdstuk 5 Generieke discussie, conclusie en aanbevelingen**

Hoofdstuk 5 bestaat uit een generieke discussie, een conclusie en aanbevelingen voor zowel de milieuvoetafdruk van de zorg in Nederland, als voor de aanpak en verbinding van praktijkvoorbeelden. Er wordt ook specifiek ingegaan op de mogelijkheden om deze studie verder in te zetten voor een landelijke monitor. Deze methode kan dan ook worden gebruikt om te voldoen aan één van de toezeggingen die het ministerie van VWS heeft gedaan naar aanleiding van de VN-klimaattop COP26, namelijk het monitoren van de ecologische voetafdruk van de zorgsector in Nederland.



## 2 De milieuvoetafdruk van de Nederlandse zorgsector

In dit hoofdstuk is beschreven hoe de milieueffecten van de zorgsector in kaart worden gebracht. Hiervoor wordt een sectorbrede voetafdrukmethode gebruikt, die ook in bestaande relevante studies wordt toegepast. Naast de interpretatie van de resultaten, wordt aan het eind van dit hoofdstuk ook besproken hoe de resultaten kunnen worden gebruikt en hoe het model kan worden verbeterd.

Een deel van de beschrijving van het onderzoek is tevens ingediend bij een wetenschappelijk peer-reviewed tijdschrift ([link](#)).

### 2.1 Introductie

De afgelopen jaren zijn meerdere studies gepubliceerd waarin de milieueffecten van de Nederlandse zorgsector worden berekend. Volgens deze studies draagt de Nederlandse zorgsector tussen de 6 en 8% bij aan de nationale klimaatvoetafdruk.<sup>4-6</sup> Deze studies pasten allemaal 'met-milieu-uitgebreide' (*environmentally extended*) input-outputanalyse (EE-IOA) toe, of maakten gebruik van EE-IOA-data. EE-IOA is een methode om de totale milieueffecten (de voetafdruk) voor een sector of een regio in te schatten. De studie van Gupta Strategists<sup>5</sup> is specifiek gericht op de Nederlandse zorgsector, en de studies van Pichler et al.<sup>4</sup> en Arup & HCWH<sup>6</sup> presenteren een globale voetafdrukmethode voor het berekenen van de klimaatvoetafdruk van een nationale zorgsector. In de afgelopen jaren zijn ook voor een aantal andere landen klimaatvoetafdrukstudies van de nationale zorgsector gepubliceerd, waarbij EE-IOA als primaire methode is gebruikt: Japan<sup>18</sup>, Australië<sup>19</sup>, de VS<sup>20</sup>, Canada<sup>21</sup>, Oostenrijk<sup>22</sup>, China<sup>23</sup>, en Engeland<sup>24</sup>.

De genoemde studies richtten zich op klimaatverandering als enige effectcategorie, terwijl EE-IOA ook waardevol kan zijn voor bredere duurzaamheidsanalyses. De relaties tussen economie, milieu en socio-economische factoren staan er namelijk in één consistent kader.<sup>25</sup> Het belang van meerdere milieueffecten wordt vaak aangetoond door voetafdrukanalyses op product- of procesniveau, zogenaamde levenscyclusanalyses (LCA). LCA-studies bestrijken vaak meerdere effectcategorieën, die kunnen worden meegewogen in een vergelijking tussen twee producten of processen.

Lenzen et al.<sup>26</sup> nemen als eersten extra effecten (d.w.z. fijnstof, luchtverontreinigende stoffen, malariarisico, reactieve stikstof in water, en schaars watergebruik) op in een voetafdrukanalyse van de zorgsector, waarbij Nederland een van de geanalyseerde 189 landen is. Hun wereldwijde studie kwantificeert de voetafdruk per land of wereldregio, om zo vergelijkingen tussen landen mogelijk te maken. Voor een nauwkeurigere voetafdrukberekening wordt echter aangeraden de kwaliteit van de gegevens te verbeteren, door gebruik te maken van nationale statistieken.<sup>27</sup> Daarnaast kan de voetafdrukberekening worden

<sup>1</sup> [The Environmental Footprint of the Dutch Healthcare Sector: Beyond Climate Impact by Michelle A. Steenmeijer, João F.D. Rodrigues, Michiel Christiaan Zijp, Susanne Laura Waaijers-van der Loop :: SSRN](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=4081076)

verbeterd door aanvullende, voor de zorgsector relevante, milieueffecten op te nemen; de studies voor Engeland<sup>24</sup> en Oostenrijk<sup>22</sup> en de studie van Gupta Strategists<sup>5</sup> voegen extra bronnen van milieueffecten toe, om de voetafdruk completer te maken. Gupta Strategists<sup>5</sup> geeft aan dat individuele reisbewegingen, wanneer ze worden meegenomen in de berekening, een groot deel uitmaken van de totale klimaatvoetafdruk. De studies voor Engeland en Oostenrijk nemen ook individuele reisbewegingen mee. Daarnaast worden ook specifiek de effecten van anesthesiegassen en dosis-aerosolen (verstuivers) toegevoegd.

Alhoewel de huidige resultaten waardevol zijn voor voetafdrukberekeningen voor Nederland, bieden deze nog niet voldoende basis voor de voetafdrukstudie voor de Nederlandse zorgsector. De studie van Gupta Strategists<sup>5</sup> gebruikt voor de EE-IOA-berekeningen effectcoëfficiënten voor Engeland, maar voegt ook specifiekere informatie toe, zoals de reisbewegingen. Terwijl de globale aanpak in Lenzen et al.<sup>26</sup>, Arup & HCWH<sup>6</sup> en Pichler et al.<sup>4</sup> wel EE-IOA-data voor Nederland gebruikt, is dit niet aan de hand van nationale statistieken gespecificeerd, en missen hier specifieke relevante bronnen van milieueffecten voor deze sector. Omdat EE-IOA wel de mogelijkheid biedt om de milieueffecten voor andere, voor de GDDZ relevante effectcategorieën te berekenen, zal deze methode worden gebruikt om de effecten van de zorgsector ook voor andere effectcategorieën (naast klimaatverandering) in kaart te brengen.

Tegelijkertijd is EE-IOA als macro-economische methode niet-specifiek en kan ze maar tot een bepaald niveau duiding geven aan de resultaten. EE-IOA zal alleen inzicht geven in hoe verschillende productgroepen op macroniveau bijdragen aan de voetafdruk, en kan daarmee helpen met prioriteren tussen deze productgroepen. De resultaten bieden echter geen details over effecten binnen de productgroep zelf. Om die te krijgen, kan data over het effect van specifieke producten binnen de productgroep worden verzameld. In de studie voor Oostenrijk is dit bijvoorbeeld gedaan voor een aantal *core goods and services directly purchased by healthcare*, waaronder energie, medische handschoenen en enkele veelgebruikte geneesmiddelen.<sup>22</sup> Voor productspecifieke data zal een meer diepgaande analyse met bijvoorbeeld levenscyclusanalyses (LCA's) nodig zijn.

Het doel van Hoofdstuk 2 is om de zorgsector te ondersteunen met de ontwikkeling van een voetafdrukmodel, om zo de effecten van de zorgsector op het milieu - breder dan alleen de bijdrage aan klimaatverandering middels broeikasgasemissies - te kunnen benaderen en begrijpen. In paragraaf 2.2 worden het model en de gebruikte data toegelicht. De resultaten van de berekening worden besproken in paragraaf 2.3. Ten slotte wordt in paragraaf 2.4 gereflecteerd op de resultaten, en wordt er gekeken naar de kennis en/of data die nodig is om de berekening in de toekomst te verbeteren.

## 2.2 Methode

Dit hoofdstuk beschrijft het ontwikkelen van het model voor de milieuvoetafdrukberekening voor de Nederlandse zorgsector. Het model

en verwijzingen naar de gebruikte data zijn te vinden op de Github-pagina van het RIVM ([link](#)).

In deze methodiekbeschrijving wordt het model toegelicht door de volgende vragen te beantwoorden:

- De sectorale milieuvoetafdruk met EE-IOA (paragraaf 2.2.1): wat is de basis voor de berekening en hoe (en met welke data) wordt deze uitgevoerd?
- Toevoegen zorgsector-specifieke effectberekeningen (paragraaf 2.2.2); welke zorgsector-specifieke effecten worden nu niet gevangen in de EE-IOA-voetafdruk, en hoe worden deze berekend voor Nederland?;
- Karakterisatie van milieustressoren (paragraaf 2.2.3): hoe worden de resultaten van de EE-IOA en de aanvullende zorgsector-specifieke effectberekeningen gekarakteriseerd naar dezelfde effectcategorieën als de aanvullende schattingen voor zorgspecifieke milieueffecten?;
- Onzekerheden in model en data (paragraaf 2.2.4): Wat kan er worden gezegd over de nauwkeurigheid en betrouwbaarheid van de resultaten op basis van de gebruikte methodiek en data?

### 2.2.1 Sectorale voetafdrukberekening met EE-IOA voor Nederland

In deze paragraaf wordt de voetafdrukberekening met EE-IOA beschreven. In paragraaf 2.2.1.1 wordt een korte uitleg gegeven over EE-IOA voor lezers die niet bekend zijn met het onderwerp. De rest van paragraaf 2.2.1 is gericht op input-outputanalisten. Paragraaf 2.2.1.2 legt eerst de basis voor de sectorale voetafdrukberekening, en introduceert dan de terminologie die in de rest van het hoofdstuk wordt gebruikt. Vervolgens bespreekt paragraaf 2.2.1.3 de EE-IOA data en de opgenomen effectcategorieën. Tenslotte behandelt paragraaf 2.2.1.4 de stappen die worden genomen om de nationale zorguitgaven te vertalen naar de gewenste input voor de EE-IOA berekening.

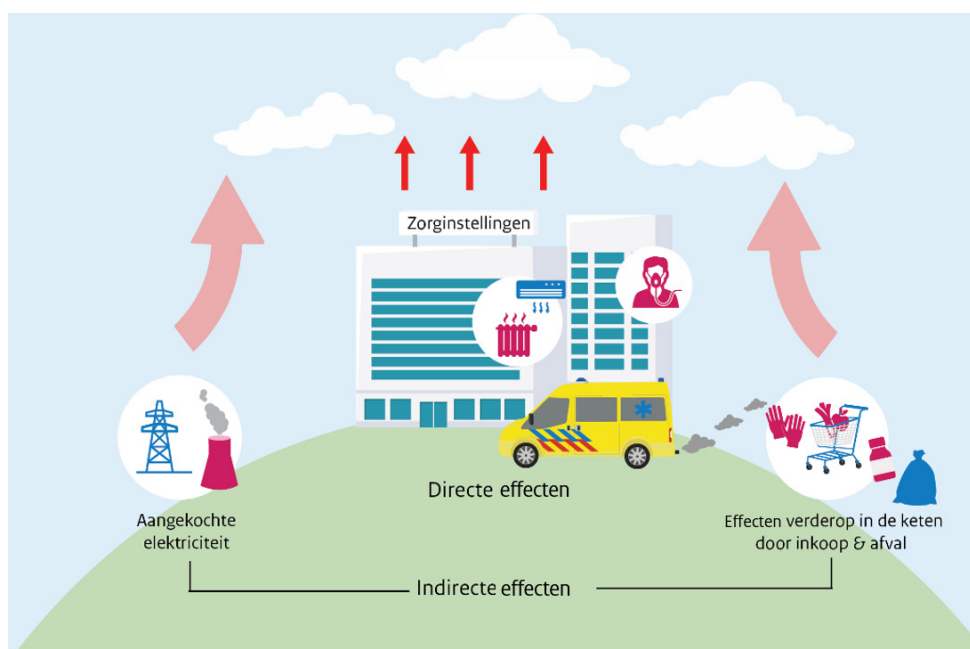
#### 2.2.1.1 Korte achtergrond EE-IOA

Input-outputanalyse (IOA) is een macro-economische rekenmethode, waarmee koppelingen tussen industrieën kunnen worden geanalyseerd. Ten grondslag aan IOA ligt de input-outputtabel (IO-tabel). Dit is een matrix waarin de onderlinge transacties tussen verschillende sectoren zijn samengevoegd, oftewel een manier om het netwerk van alle sectoren in kaart te brengen. IOA wordt gebruikt om te berekenen hoeveel economische activiteit vanuit alle sectoren in een keten nodig is om een bepaalde output te genereren. Dus, bij een vraag naar een product of dienst; hoeveel is er door alle industrieën bijgedragen om dit mogelijk te maken? In deze berekening is de economische activiteit van alle industrieën die een rol spelen in de keten meegenomen, op basis van intermediaire transacties in de IO-tabel.

Economische activiteiten (productie en consumptie van goederen en diensten) hebben vaak een relatie met het milieu. Bij een economische activiteit worden grondstoffen onttrokken aan het milieu (b.v. grondstoffenextractie, landgebruik) en worden stoffen in het milieu afgezet (b.v. broeikasgasemissies, fijnstof). Deze stressoren kunnen per sector worden toegevoegd aan de IO-tabel, op dezelfde manier als productiefactoren als 'toegevoegde waarde' door de sector of 'aantal werknemers' in de sector. Men spreekt dan van een *environmentally*

*extended* IO-tabel, ofwel EE-IO. Net zoals de totale economische activiteit vanuit alle sectoren voor een bepaalde output kan worden berekend, kan ook het totaal aan milieustressoren vanuit die sectoren worden berekend. Deze milieustressoren kunnen vervolgens worden gekarakteriseerd naar effecten, zoals het omrekenen van kg methaangas naar kg CO<sub>2</sub>-equivalent - ook geschreven als CO<sub>2</sub>-eq - welke de effecten op klimaatverandering weergeven. Omdat een IO-tabel op land en sectorniveau is opgebouwd, kan EE-IOA worden toegepast om de voetafdruk van een economie (bijvoorbeeld een nationale voetafdruk) en/of een deel van een economie (bijvoorbeeld een economische sector) te berekenen.

Voor verdere uitleg over de basis van (EE-)IOA-berekening wordt verwezen naar het fundamentele werk van Leontief<sup>28</sup> en Miller & Blair<sup>29</sup>.



*Figuur 2 Visualisatie van de directe en indirecte milieueffecten door de zorgsector.*

De milieuvoetafdruk voor een sector is de som van effecten uit de operationele fase (direct effect, bv. van uitlaatgassen van ambulances) en de productie- en afvalverwijderingsfasen (indirect effect, effecten die optreden in de waardeketen van ingekochte goederen en diensten), zoals geïllustreerd in Figuur 2. Het directe milieueffect is hetzelfde als scope 1 in het Greenhouse Gas Protocol (GHGP)<sup>30</sup> een bekende boekhoudstandaard voor broeikasgasemissies voor organisaties. Alhoewel het protocol alleen voor broeikasgasemissies is opgezet, kan het ook worden toegepast op andere milieueffecten. De indirecte milieueffecten zijn vergelijkbaar met scope 2 en 3 samen, waarbij het in GHGP-scope 2 gaat over de indirecte effecten door inkoop van warmte en elektriciteit, en in scope 3 over inkoop van alle andere goederen en diensten. Een voorbeeld: in het geval van afvalproductie valt het afval gegenereerd door de sector zelf, zoals afval geproduceerd in de operatiekamers, onder scope 1. Al het afval gegenereerd in de keten

voor productie van ingekochte goederen en diensten daarentegen valt onder scope 2 en 3.

### 2.2.1.2 Basis voor de berekening

#### *De zorguitgavenvector*

De indirecte effecten worden berekend aan de hand van wat in deze studie de *zorguitgavenvector* wordt genoemd. Bij nationale consumptievoetafdrukberendingen is dit vergelijkbaar met de *finale vraag-vector*. Met deze vector kan worden berekend hoeveel economische activiteit in de gehele wereldwijde waardeketen nodig is om een gegeven product - in dit geval zorgdiensten en -producten - te leveren.

#### *Wiskundige basis*

De sectorvoetafdruk wordt berekend met de volgende matrixberekening:

$$\mathbf{f} = \mathbf{C}(\mathbf{B}\mathbf{L}\mathbf{y} + \mathbf{r})$$

waarvoor:

- kolomvector  $\mathbf{f}$  ( $M \times 1$ ): de totale voetafdruk  $f$  voor de  $M$  geselecteerde effectcategorieën;
- matrix  $\mathbf{C}$  ( $M \times K$ ): karakterisatiefactoren om de totale milieustressoren om te rekenen naar effect voor de geselecteerde effectcategorie, waarbij  $K$  het aantal milieustressoren is;
- $\mathbf{B}\mathbf{L}\mathbf{y}$ : de berekening van de totale indirecte milieustressoren, waarvoor:
  - matrix  $\mathbf{B}$  ( $K \times N$ ): de directe stressorintensiteit, waarbij  $N$  het aantal industrieën;
  - matrix  $\mathbf{L}$  ( $N \times N$ ): de Leontief-inverse;
  - kolomvector  $\mathbf{y}$  ( $1 \times N$ ): de zorguitgavenvector;
- kolomvector  $\mathbf{r}$  ( $K \times 1$ ): de directe milieustressoren vanuit de sector.

In de volgende paragraaf (paragraaf 2.2.1.3) wordt de keuze voor de EE-IOA-data gemaakt (nodig voor  $\mathbf{B}$ ,  $\mathbf{L}$  en  $\mathbf{r}$ ), en wordt de set aan effectcategorieën ( $K$ ) geselecteerd. In paragraaf 2.2.1.4 wordt de zorguitgavenvector ( $\mathbf{y}$ ) opgezet, en de karakterisatiefactoren ( $\mathbf{C}$ ) worden behandeld in paragraaf 2.2.3. Deze berekening beschouwt alleen de effecten door bedrijfsactiviteiten, en behandelt geen activiteiten door huishoudens, zoals woon-werkverkeer. Voor een deel is effect door huishoudens later aan deze studie toegevoegd (zie paragraaf 2.2.2) om het in de systeemgrenzen en de resultaten mee te kunnen nemen.

#### *De twee perspectieven*

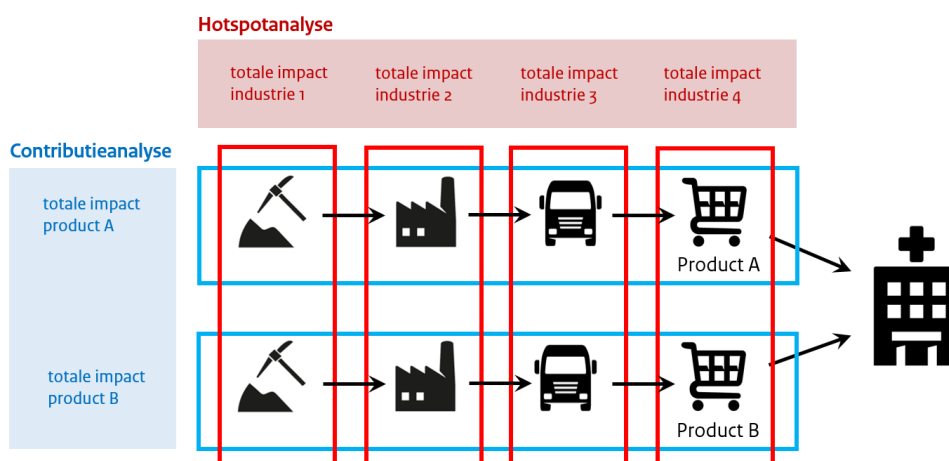
In deze studie zijn de indirecte effecten in de voetafdruk op twee manieren ontleed. Dit kan door  $\mathbf{B}\mathbf{L}\mathbf{y}$  in de voetafdrukberending op twee manieren te diagonaliseren (diagonalisatie aangeduid met  $\hat{\ }^{\wedge}$ ; illustrerende uitleg in Figuur 3):

- een zogenaamde contributieanalyse, met  $\mathbf{B}\mathbf{L}\hat{\mathbf{y}}$ . In andere studies wordt dit ook de 'voetafdruk vanuit het consumptieperspectief' genoemd (niet te verwarren met de consumptievoetafdruk). Bij een contributieanalyse wordt het indirecte effect berekend aan de hand van de ingekochte goederen of diensten (het ingebedde

effect van de totale waardeketen per product). De contributieanalyse is vergelijkbaar met het totaalresultaat van een LCA;

- een zogenaamde hotspotanalyse, met  $\widehat{BLy}$ . In andere studies wordt dit ook de 'voetafdruk vanuit het productieperspectief' genoemd (niet te verwarren met de productievoetafdruk). Met een hotspotanalyse wordt het indirecte effect berekend voor de plaats (sector en/of geografie) waar het effect zich fysiek voordoet. Een hotspotanalyse is vergelijkbaar met de *process-based contributions* in LCA.

In beide gevallen resulteert de berekening in een  $M \times N$  matrix, wanneer deze ook is gekarakteriseerd met  $C$ .



Om twee redenen worden beide perspectieven toegepast. Ten eerste bieden de twee perspectieven meer inzicht in hoe de voetafdruk is opgebouwd (waar het effect plaatsvindt én door welke producten). Ten tweede kunnen de resultaten worden vergeleken met die van andere studies die een van de twee perspectieven hanteren. De studie van Gupta Strategists<sup>5</sup> past bijvoorbeeld een contributieanalyse toe, en de studie van HCWH & Arup<sup>6</sup> geeft de resultaten weer als een hotspotanalyse. Dit is niet de enige methode om de opbouw van de voetafdruk te analyseren. Een *structural path analysis* (SPA)<sup>31</sup> zou hiervoor ook kunnen worden gebruikt. Met deze netwerkanalyse worden de individuele ketens - oftewel de paden - die bijdragen aan de voetafdruk blootgelegd. Dit hebben wij in deze studie echter niet gedaan.

### 2.2.1.3 Gebruikte IOA data en effectcategorieën *EE-IO datasets*

Er is een aantal EE-IO datasets beschikbaar waarmee een (sectorale) milieuvoetafdruk kan worden berekend, maar onderling kunnen deze sterk verschillen. In het artikel van Dawkins et al.<sup>27</sup> worden de meest

bekende EE-IO datasets met elkaar vergeleken, en is een overzicht van fundamentele verschillen gemaakt, te zien in Bijlage A.

Om in de hotspotanalyse een beeld te krijgen van waar het effect geografisch plaatsvindt, wordt gebruik gemaakt van een *multi regional* IO-tabel (MRIO). Een MRIO levert ten opzichte van een *single region* IO-tabel (SRIO), zoals de nationale rekeningen van het CBS, meer inzicht in de regio waar het effect als gevolg van activiteit in een bepaalde bronregio plaatsvindt (de ontvangende regio). Hiermee kan de opbouw van de voetafdruk beter worden begrepen.

Als basis voor de berekeningen is gekozen voor de *industry-by-industry* EE-MRIO Exiobase v3. De ontwikkeling van Exiobase v3 is beschreven door Stadler et al.<sup>32</sup> Ten tijde van het ontwikkelen van het voetafdrukmodel voor deze RIVM-studie was 2016 het meest recente beschikbare jaar. Deze keuze voor Exiobase v3 is gebaseerd op de volgende redenen: ten eerste is Exiobase een geharmoniseerde database, met een relatief hoge resolutie.<sup>27</sup> De MRIO is verdeeld over 163 sectoren voor 49 landen en regio's. Omdat EE-IOA een niet-specifieke methode is, kan het lastig zijn om de voetafdruk te verklaren. Dit probleem wordt groter wanneer het detailniveau van de MRIO lager wordt. Het relatief hogere detail in sectoren van Exiobase ten opzichte van andere geharmoniseerde MRIO's maakt de voetafdruk inzichtelijker. Daardoor is een uitgebreidere analyse, zoals een *structural path analysis*<sup>31</sup>, minder noodzakelijk om het effect te begrijpen. Hoewel de volledige versie van Eora, een andere veelgebruikte EE-MRIO, een nog hogere sectorresolutie heeft, is deze in tegenstelling tot Exiobase niet geharmoniseerd en alleen tegen betaling beschikbaar. Daarnaast biedt Exiobase v3 de meeste milieuextensies (662 categorieën grondstoffenextractie en materiaalgebruik, 417 emissiecategorieën).<sup>27</sup> Aan de MRIO kunnen vanuit de hybride (d.w.z. een database met mix van monetaire en fysieke IO waarden) Exiobase v3 *multi regional supply use* tabel (MRSUT)<sup>33</sup> meer milieuextensies worden toegevoegd, zoals onder meer afvalproductie en vermeden emissies. Ten slotte is er in november 2020 een uitbreiding van de tijdreeks uitgebracht.<sup>34</sup> De macro-economische data en handelsgegevens zijn bijgewerkt tot en met het jaar 2018. Extensies zijn geüpdatet waar mogelijk, en bij gebrek aan gegevens is het effect op lineaire wijze 'ge-nowcast' (geëxtrapoleerd naar het heden), waarbij stressorintensiteiten constant blijven. Dit betekent dat Exiobase als EE-MRIO het meest recente jaar en de langste tijdreeks biedt. Ook biedt Exiobase tijdreeksen van 2019 t/m 2022, gebaseerd op prognoses van het Internationaal Monetair Fonds (IMF).

Het model dat wordt gepresenteerd in dit rapport kan ook worden gebruikt met een andere EE-MRIO. Deze keuze zal wel invloed hebben op de beschikbaarheid van milieu-extensies, omdat deze tussen de datasets sterk verschillen.

Data van nationale statistiekbureaus worden over het algemeen verkozen boven data van een MRIO, omdat MRIO-data meer bewerkt kunnen zijn (harmonisatie), met alle onzekerheden van dien. Bovendien zijn nationale rekeningen van hogere kwaliteit en worden ze regelmatig onderhouden. De nationale rekeningen vanuit statistiekbureaus zijn echter voornamelijk *single region* data, waardoor in- en uitvoer onder

'rest van de wereld' vallen. Eerder is door Dawkins et al.<sup>27</sup> aangetoond dat de combinatie van een MRIO met nationale statistieken een praktische manier is om multiregionale resultaten te krijgen bij een voetafdrukanalyse. Een aantal datapunten van het Nederlandse MRIO-deel worden vervangen door statistieken van het CBS. Zo worden de directe broeikasgasemissies vanuit de zorgsector, zoals gerapporteerd in Exiobase, vervangen door recentere data van het CBS (beschreven verderop in deze paragraaf), en wordt ook de zorguitgavenvector gebaseerd op de gerapporteerde zorguitgaven van het CBS (paragraaf 2.2.1.4).

### *Effectcategorieën*

In deze studie worden de volgende effectcategorieën bestreken: klimaatverandering (broeikasgasemissies, ook wel de klimaatvoetafdruk), zoetwaterconsumptie, extractie van abiotische grondstoffen (d.w.z. extractie van mineralen en metalen), en landgebruik. Daarnaast is de totale afvalproductie (de som van afval uit economische activiteiten en afval uit grondstofvoorraden in de maatschappij) toegevoegd vanuit de extensie van de hybride Exiobase v3 MRSUT<sup>33</sup>. Deze uitbreiding van effecten heeft betrekking op verschillende milieuthema's, namelijk het tegengaan van klimaatverandering, en het bevorderen van circulariteit en biodiversiteit (zie Figuur 4). De uitbreiding is om praktische redenen beperkt tot een set van vijf. In vervolgonderzoek zouden deze effecten kunnen worden uitgebreid, indien gewenst. In elk geval is de bijdrage aan de klimaatverandering (de klimaatvoetafdruk) noodzakelijk voor de vergelijking met de andere studies, die in de meeste gevallen alleen de klimaatvoetafdruk voor de zorgsector berekenen. Voor zover wij weten, is er voor de andere effectcategorieën buiten het werk van het RIVM nog geen voetafdrukstudie gedaan naar de Nederlandse zorgsector.

Deze lijst van vijf is niet alomvattend voor alle milieueffecten die kunnen ontstaan vanuit de zorgsector. De emissies van stoffen (anders dan broeikasgassen) in het milieu en hun ecotoxicologische risico's en gevolgen zijn in deze studie bijvoorbeeld buiten beschouwing gelaten.

#### **Effectcategorieën**

- Broeikasgassen } Klimaatverandering
- Extractie abiotische grondstoffen }
- Afvalproductie } Circulaire economie
- Zoetwaterconsumptie }
- Landgebruik } Biodiversiteit

*Figuur 4 Milieuthema's op basis van effectcategorieën.*

### *Directe emissies uit nationale rekeningen*

De operationele broeikasgasemissies, oftewel de directe broeikasgasemissies vanuit de zorgsector, uit Exiobase zijn vervangen door gegevens uit de milieurekeningen van CBS<sup>35</sup>. Deze milieurekeningen worden jaarlijks samengesteld, en daarbij zijn milieueffecten - net als in Exiobase - gekoppeld aan economische



activiteiten. De sectorcategorie *Q Gezondheids- en welzijnszorg* komt overeen met de sectorcategorie *Health and social work* in Exiobase v3. De broeikasgassen omvatten alleen de gassen CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O, en hierbij zijn gassen voor medisch gebruik niet meegerekend. Voor de andere effectcategorieën zijn de directe milieueffecten wegens het gebrek aan data niet vervangen door nationale statistieken, en worden de directe effecten vanuit Exiobase overgenomen.

Alleen de directe emissiedata vanuit de zorgsector zijn vervangen, en die voor de andere sectoren niet. Het CBS rapporteert 1,58 Mt CO<sub>2</sub>-eq voor 2016, grofweg het dubbele dat Exiobase rapporteert bij toepassing van dezelfde karakterisatiefactoren (van 1, 25 en 298 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg voor respectievelijk CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O). De karakterisatiefactoren zijn verder toegelicht in paragraaf 2.2.3. Zoals eerder aangegeven zijn de CBS-data het meest nauwkeurig en het meest regelmatig bijgewerkt, en dat zou dit verschil kunnen verklaren.

Voor de andere milieueffectcategorieën zijn geen nauwkeurigere data beschikbaar, dus blijven de directe milieueffecten zoals gerapporteerd in Exiobase.

#### 2.2.1.4 Constructie zorguitgavenvector

Deze paragraaf beschrijft de stappen om de nationale zorguitgaven te vertalen naar de gewenste input voor de EE-IOA-berekening (de zorguitgavenvector).

Stap 1: Verkenning uitgaven van de zorgsector

Stap 2: Data-inventarisatie voor koppeling zorguitgaven en MRIO

Stap 3: Koppelen zorguitgaven aan MRIO-sectorclassificatie

Stap 4: Berekenen van zorguitgavenvector

##### **Stap 1: Verkenning zorguitgaven**

Als er wordt gesproken over het berekenen van de voetafdruk van de zorgsector, dan wordt er in IOA-begrippen gesproken over de voetafdruk die ontstaat om te voldoen aan een 'vraag naar zorgdiensten of zorggoederen', oftewel het effect van zorguitgaven door huishoudens en overheden. Het CBS houdt deze uitgaven bij volgens het classificatiesysteem *System of Health Accounts (SHA)*, ontwikkeld door de OESO, WHO en Eurostat.<sup>36,37</sup> Het SHA categoriseert uitgaven vrijwel geheel op functie (b.v. geneeskundige of preventieve zorg) of op zorgaanbieders (b.v. ziekenhuizen, verzorgingstehuizen). De financiering van de uitgaven betreft zowel directe uitgaven door huishoudens als betalingen via financieringsregelingen, zoals zorgverzekeringen.

Het CBS rapporteert de gegevens over de uitgaven voor de zorgsector volgens twee scopes (overzicht van uitgaven staat in Bijlage B):

- Gezondheidszorg: waarbij alle SHA-categorieën worden behandeld;
- Zorg en welzijn: een uitgebreidere scope, waarbij gezondheidszorg en welzijnsdiensten zijn gecombineerd. Hierbij worden extra categorieën toegevoegd, bovenop de bestaande SHA-categorieën. De welzijnsdiensten omvatten welzijnszorg, maatschappelijke dienstverlening, kinderopvang en jeugdzorg.

De uitgaven voor deze scopes worden opnieuw verstrekt voor twee definities:

- Internationaal vergelijkbaar: alle zorguitgaven voor ingezetenen, ongeacht of de dienst in eigen land wordt verleend (alle zorguitgaven aan Nederlandse ingezetenen in binnen- en buitenland);
- Uitgaven in de brede zin: alle zorguitgaven voor ingezetenen en niet-ingezetenen meegenomen in Nederland (alle uitgaven aan de Nederlandse zorgsector).

De zorguitgaven worden op zorgfunctie uitgesplitst in tientallen typen diensten (zoals preventieve zorg, thuiszorg), met uitzondering van twee productcategorieën; 'Geneesmiddelen, verbruiksartikelen', en 'Therapeutische hulpmiddelen'. De zorguitgaven worden gesimplificeerd door ze uit te splitsen in drie hoofdgroepen uitgaven aan zorgdiensten en zorgproducten (aangevuld met informatie uit de SHA handleiding<sup>31</sup>):

1) Zorgdiensten:

- o Gezondheidszorgdiensten (SHA: HC 1-4, 6, 5, 9):
  - Geneeskundige zorg; revalidatiezorg; langdurige zorg voor de gezondheid; ondersteunende diensten; bestuur, stelsel en financiële administratie; gezondheidszorg n.e.g. (niet eerder genoemd);
- o Welzijnsdiensten (niet-SHA categorieën):
  - Welzijnszorg,
  - Maatschappelijke dienstverlening,
  - Kinderopvang
  - Jeugdzorg;

Medische producten (HC 5 – niet uitsplitsbaar naar functie; extramurale uitgaven, retail):

- 2) Geneesmiddelen en medische verbruiksartikelen (SHA: HC 51). Hieronder vallen receptplichtige geneesmiddelen (generiek en gepatenteerd); generieke en gepatenteerde zelfzorggeneesmiddelen; medische verbruiksartikelen (zelfzorg en voorgeschreven), waaronder verbanden, injectiespuiten, EHBO-sets, kompressen, medische kousen, condooms en andere mechanische voorbehoedsmiddelen. Producten voor in-vitro diagnose (IVDs) vallen binnen deze classificatie ook onder medische verbruiksartikelen;
- 3) Therapeutische hulpmiddelen (HC 52). Hieronder vallen brillen, lenzen en toebehoren; gehoorapparaten en toebehoren; orthopedische apparatuur en protheses; overige medische apparatuur voor langdurig gebruik.

Op basis van de beschikbare uitgavedata is er binnen de genoemde productgroepen HC 51 en HC 52 geen verder uitsplitsing te maken. Wel is voor HC 51 te stellen dat de uitgaven grotendeels naar geneesmiddelen gaan, omdat de uitgaven aan extramurale geneesmiddelen vanuit alleen al de zorgverzekeringswet in 2016 4.532 miljoen euro bedroegen<sup>38</sup>, ten opzichte van de totale extramurale uitgave aan geneesmiddelen & verbruiksartikelen van 5.639 miljoen euro (zie Bijlage B, beide uitgaven uitgedrukt in marktprijs).

Vanaf nu wordt er gerefereerd naar deze 3 typen zorguitgaven als 1) zorgdiensten, 2) geneesmiddelen & verbruiksartikelen (HC 51) en 3) therapeutische hulpmiddelen (HC 52), en wordt de som van de categorieën aangegeven als de zorg of zorgsector.

### **Stap 2: Data-inventarisatie voor koppeling zorguitgaven en MRIO**

Om de zorguitgavenvector te kunnen construeren, moeten de zorguitgaven worden gekoppeld aan Exiobase-sectorcategorieën. Dit vereist een conversie van de marktprijzen (*purchaser prices*) naar de basisprijs (*basic prices*). De MRIO wordt namelijk in basisprijzen gerapporteerd, terwijl de Nederlandse zorguitgaven in marktprijzen worden gerapporteerd. Het verschil tussen de basisprijs en de marktprijs is de som van transportkosten, handelsmarges, belastingen en subsidies.<sup>39</sup> Deze conversie is afgeleid uit de Supply tabel van de nationale rekeningen<sup>40</sup>. Uit deze tabel is voor alle sectoren de gemiddelde conversie naar basisprijs berekend door de totale basisprijs (*supply at basic price*) te delen door de totale marktprijs ( $Total = 'supply at basic prices + trade and transport margins + taxes on products - subsidies on products$ ). Tenslotte moet ook rekening worden gehouden met de importverhoudingen, die niet worden meegegeven in de uitgavendata. Omdat het onwaarschijnlijk is dat de productgroepen geneesmiddelen & verbruiksartikelen en therapeutische hulpmiddelen vanuit één enkel land worden afgenomen, wordt er uit de MRIO een importverhouding afgeleid als proxy.

### **Stap 3: Koppelen zorguitgaven aan MRIO sectorclassificatie**

Deze drie datasets (de zorguitgaven, de conversies vanuit de nationale rekeningen en Exiobase) moeten dus aan elkaar worden gekoppeld. In de nationale rekeningen worden sectoren ingedeeld met de sectorclassificatie NACE Rev. 2, en Exiobase gebruikt de oudere versie van deze classificatie, NACE Rev. 1.1, waardoor de sectorcategorieën onderling niet volledig overeenkomen.<sup>41</sup> Bij het koppelen van de twee classificaties aan de zorguitgaven blijkt het volgende:

- Zorgdiensten: In de nationale rekeningen zijn er twee categorieën voor zorgdiensten (*Human health activities* en *Residential care and social work*), terwijl in Exiobase zorgdiensten volledig valt onder *Health and social work*;
- Geneesmiddelen & verbruiksartikelen: in de nationale rekeningen is er een geschikte sectorcategorie (*Manufacturing of pharmaceutical products and preparation*) voor geneesmiddelen, maar in Exiobase is er een bredere sectorcategorie, namelijk *Chemicals not elsewhere classified (n.e.c.)*. Dit betekent dat deze sectorcategorie onder meer productie van geneesmiddelen betreft, maar ook allerlei andere chemieproducten. In Exiobase v3 houdt het in dat deze categorie alle chemieproducten bevat, exclusief plastic en rubberen producten of halffabricaten en kunstmest. Het is niet bekend wat de verdeling is tussen de verschillende producten binnen een geaggregeerde productgroep (zoals bijvoorbeeld de verhouding tussen bulkchemicaliën en geneesmiddelen onder *Chemicals n.e.c.*);
- Voor zorguitgaven aan therapeutische hulpmiddelen bevat Exiobase op zijn beurt weer een geschiktere categorie (*Medical precision and optical instruments, watches and clocks*) dan de

breder sectorcategorie die wordt aangeboden in de nationale rekeningen (*Computer, electronic and optical products*).

Tabel 1 toont de gemaakte koppeling tussen de drie classificaties.

*Tabel 1 Koppeling van de zorguitgaven met de gebruikte sectorcategorieën in Exiobase en in de nationale rekeningen.*

Zorguitgavencategorieën volgens System of Health Accounts <sup>26</sup>	Exiobase sectorcategorieën	Sectorcategorieën in de nationale rekeningen
<b>HC 1-9 excl. HC 5 - Zorgdiensten</b>	85. Health and social work	83. Human health activities
<b>Rest: Welzijnsdiensten (niet-SHA)</b>		84. Residential care and social work
<b>HC 51. Geneesmiddelen &amp; medische verbruiksartikelen</b>	62. (Manufacture) of chemicals n.e.c.	28. Manufacture of pharmaceutical products and preparation
<b>HC 52. Therapeutische hulpmiddelen</b>	33. (Manufacture of) medical precision and optical instruments, watches and clocks	33. Manufacture of computer, electronic and optical products

Naar aanleiding van deze koppeling is ervoor gekozen om met de uitgaven in de brede zin en voor de ruimere scope (zorg en welzijn) te rekenen. Deze keuze voor deze scope is pragmatisch, om aan te sluiten bij de definitie in Exiobase en zo integratie en interpretatie te vergemakkelijken. In Exiobase is de gezondheidszorg geaggregeerd met de sector maatschappelijke dienstverlening/welzijnsdiensten (*Health and social work*). De definitie 'uitgaven in de brede zin' is gekozen omdat het effect door de zorg voor ingezetenen en niet-ingezetenen niet afzonderlijk wordt gerapporteerd. Dit kan wel het geval zijn voor berekeningen met IOA, waar ook de in- en uitvoer van zorgdiensten wordt behandeld, maar bij het verzamelen van bottom-up informatie (om de voetafdruk aan te vullen, zie paragraaf 2.2.2) is dit niet het geval. Bovendien is het vanuit het doel van het voetafdrukmodel - namelijk het vaststellen van de milieueffecten van de Nederlandse zorgsector - niet interessant om de effecten van de invoer van zorg (zorg ontvangen door ingezetenen in het buitenland) en de uitvoer van zorg (Nederlandse zorg ontvangen door niet-ingezetenen) te verdisconteren.

#### **Stap 4: Berekenen zorguitgavenvector**

In Tabel 2 staan de gegevens waarmee de omrekenfactor (marktprijs naar basisprijs) voor de drie type zorguitgaven is berekend, volgens de koppeling in Tabel 1. Door het geringe verschil tussen de basisprijs en marktprijs van de zorgdiensten is de omrekenfactor verwaarloosbaar (d.w.z. gelijk aan 1). In Tabel 3 wordt deze omrekenfactor toegepast op de gerapporteerde zorguitgaven, zodat deze te gebruiken zijn in de berekening met Exiobase.

Tabel 2 De berekende omrekeningsfactor voor de drie verschillende typen zorguitgaven voor 2016, berekend door de aanbodbasisprijs van de sector te delen door de marktprijs, aan de hand van de supply-tabel in de nationale rekeningen.

Type zorguitgaven	Sectorcategorieën in de nationale rekeningen	Sector supply in nationale rekeningen, marktprijs (miljoen euro)	Sector supply in nationale rekeningen, basisprijs (miljoen euro)	Omrekenfactor marktprijs naar basisprijs
<b>Zorgdiensten</b>	83. Human health activities + 84. Residential care and social work	(44.635 + 36.223 =) 70.858	(44.463 + 36.223 =) 70.686	geen conversie
<b>Geneesmiddelen &amp; medische verbruiksartikelen</b>	28. Manufacture of pharmaceutical products and preparation	24.452	16.447	0,67
<b>Therapeutische hulpmiddelen</b>	33. Manufacture of computer, electronic and optical products	109.444	92.962	0,85

Tabel 3 De drie typen zorguitgaven in 2016, de gerapporteerde uitgaven in marktprijzen en de zorguitgaven in basisprijs door deze uitgaven te vermenigvuldigen met de bijbehorende omrekeningsfactor uit Tabel 2.

Zorguitgaven	Zorguitgaven in marktprijs (miljoen euro)	Omrekenfactor marktprijs naar basisprijs (uit Tabel 2)	Zorguitgaven in basisprijs (miljoen euro)
<b>Zorgdiensten</b>	86.096	geen conversie	86.096
<b>Geneesmiddelen &amp; medische verbruiksartikelen</b>	5.639	0,67	3.778
<b>Therapeutische hulpmiddelen</b>	3.107	0,85	2.641
<b>Totale uitgaven</b>	94.842		92.515

In paragraaf 2.2.1.2 is toegelicht dat er een contributie- en hotspotanalyse wordt uitgevoerd. De contributieanalyse geeft weinig detail op basis van de huidige zorguitgaven; de voetafdruk is dan namelijk opgedeeld in de drie uitgavecategorieën. Om meer inzicht te geven in de producten en diensten die een hoge bijdrage leveren aan de voetafdruk, zijn de uitgaven aan zorgdiensten 'exogeen' gemaakt. Dat wil zeggen dat het intermediair gebruik (de inkoop of input) vanuit de zorgdiensten wordt gebruikt voor de zorguitgavenvector, in plaats van de totale uitgave aan zorgdiensten.

Met de huidige gekozen scope, definitie en perspectieven is de zorguitgavenvector de som van de volgende drie elementen:

1. het intermediair gebruik van zorgdiensten, aangedreven door de uitgaven aan zorgdiensten;
2. de uitgaven voor geneesmiddelen & verbruiksartikelen;
3. de uitgaven voor therapeutische hulpmiddelen.

Voor de uitgaven voor zorgdiensten (1) is de kolom van de *inter-industry* matrix (ook bekend als de Z-matrix of transactiematrix) voor Exiobase's *Health and social work* voor Nederland overgenomen. Deze vector is vervolgens geschaald met de verhouding die wordt berekend door de uitgaven aan zorgdiensten te delen door de totale input vanuit de zorgsector. De totale input is de som van het totale intermediaire gebruik (inkoop/input) en de productiefactoren (de toegevoegde waarde) van een sector. Er is geen sprake van een conversie van marktprijs naar basisprijs (zie Tabel 2).

Voor de uitgaven aan geneesmiddelen & verbruiksartikelen (2) en de uitgaven aan therapeutische hulpmiddelen (3) wordt gebruik gemaakt van de naar basisprijs omgerekende waarden uit Tabel 3. Deze waarden worden vervolgens verdeeld over een vector voor Exiobase's *Chemicals n.e.c.* en *Medical precision and optical instruments, watches and clocks*, volgens de importverdelingen in de totale Nederlandse finale vraag voor diezelfde Exiobase sectoren (zie Bijlage C). Dus wanneer bijvoorbeeld 10% van de in Nederland geconsumeerde *Chemicals n.e.c.* is geïmporteerd uit Duitsland, wordt ook aangenomen dat 10% van de consumptie van geneesmiddelen & verbruiksartikelen Duitse import betreft.

## 2.2.2 Toevoegen zorgsector-specifieke effectberekeningen

In deze paragraaf wordt onderzocht welke zorgsector-specifieke effecten nu niet worden gevangen in de EE-IOA-voetafdruk. Vervolgens worden waar mogelijk schattingen gemaakt van de aanvullende effectbronnen, om aan de EE-IOA voetafdruk toe te voegen. Zo ontstaat er een completer beeld van het totale effect door de zorgsector.

### 2.2.2.1 Aanvullende berekeningen in bestaande studies

Eerdere studies naar de klimaatvoetafdruk voor de zorgsector wijzen erop dat de top-downberekeningen met EE-IOA moeten worden aangevuld met extra bottom-up schattingen, omdat belangrijke zorgsector-specifieke effecten anders worden gemist. Naast de volgende drie aanvullende bronnen van milieueffecten - namelijk individuele reisbewegingen, anesthesiegassen en gebruik van dosis-aerosolen - worden er in de literatuur geen andere aangehaald, alhoewel deze in de werkelijkheid wel kunnen bestaan. Dit wordt verder toegelicht in de discussie van dit hoofdstuk; paragraaf 2.4.2.

Klimaatvoetafdrukstudies voor Engeland<sup>24</sup> en Oostenrijk<sup>22</sup> en de studie van Gupta Strategists<sup>5</sup> voor Nederland hebben privé-reisbewegingen opgenomen in hun *carbon footprint*-berekeningen, waarbij de geschatte bijdrage ervan significant is (respectievelijk 10%, 12%, en 22%). Het effect van individuele reisbewegingen van werknemers, patiënten en bezoekers wordt niet berekend in de sectorale voetafdruk met EE-IOA, aangezien individuele reisbewegingen in de nationale statistieken aan huishoudens wordt toegerekend. Toch is het belangrijk om het effect van individuele reisbewegingen bij de voetafdrukberekening te betrekken, omdat de zorgsector een aanzienlijke invloed kan hebben op individuele reisbewegingen, bijvoorbeeld door regionalisering van de zorg of door het aanmoedigen van bijvoorbeeld OV-gebruik. Bovendien is woon-werkverkeer opgenomen in scope 3 van het *Greenhouse Gas Protocol*.<sup>30</sup>

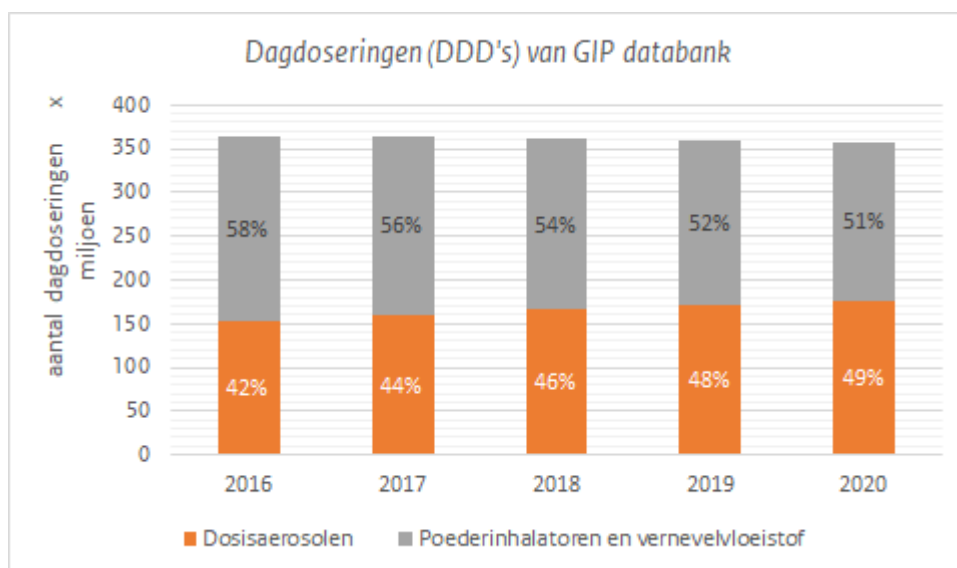
Uit gesprekken met de sector en uit literatuur blijkt ook dat het gebruik van dosisaerosolen (inhalatiemedicatie zoals 'puffertjes') en anesthesiegassen (narcosegassen) belangrijke zorgsector-gerelateerde klimaateffecten oplevert. In de sectorale voetafdrukberkening met EE-IOA wordt de emissie van drijfgassen uit dosisaerosolen niet meegerekend, omdat deze emissies bij thuisgebruik plaatsvinden (dus worden gezien als consumptieve emissies door huishoudens). De bijdrage van de emissie van drijfgassen aan respectievelijk de mondiale<sup>6</sup>, Oostenrijkse<sup>22</sup> en Engelse<sup>24</sup> klimaatvoetafdruk van de zorgsector wordt geschat op 0,35%, 0,4% en 3,4%. Ten slotte wordt het vrijkomen van anesthesiegassen, die operationele emissies zijn, in verschillende studies vaak apart geraamd, wegens het ontbreken van emissiegegevens van medische gassen in de koolstofrapportage. In studies voor Oostenrijk<sup>22</sup> en Engeland<sup>24</sup> wordt de bijdrage van deze gassen aan de klimaatvoetafdruk geschat op respectievelijk 0,3% en 2%.

In de volgende paragrafen worden de schattingen beschreven voor de uitstoot door het gebruik van dosisaerosolen (paragraaf 2.2.2.2) en de milieueffecten door individuele reisbewegingen (paragraaf 2.2.2.3). Daarnaast blijkt uit paragraaf 2.2.1.3 dat medische gassen in de nationale rekeningen niet zijn meegenomen in de broeikasgassen, dus worden ook de effecten van anesthesiegassen apart toegevoegd aan de voetafdrukberkening (paragraaf 2.2.2.4). De (geschatte) milieueffecten van deze drie bronnen worden als laatste stap in de voetafdrukberkening toegevoegd aan de sectorale voetafdruk zoals berekend met EE-IOA.

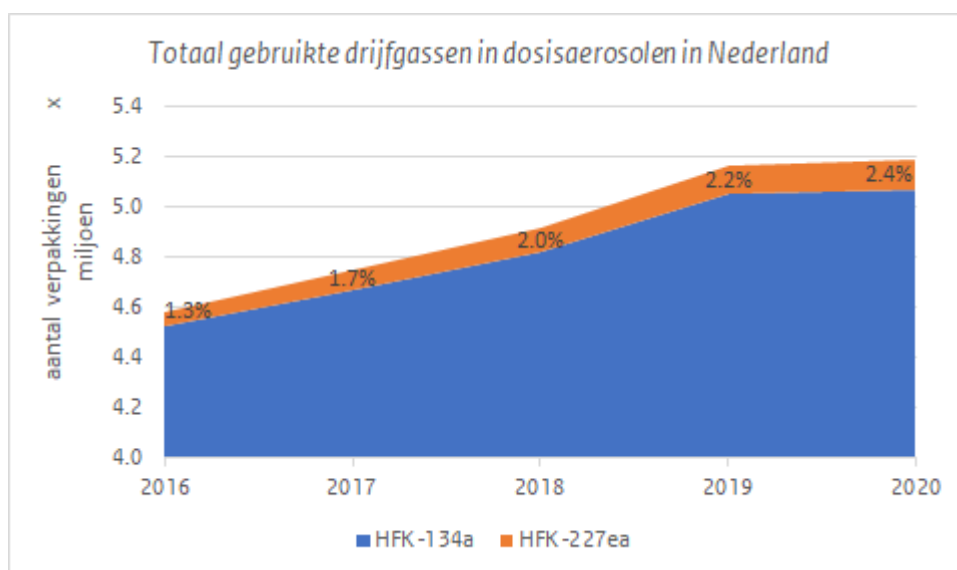
#### 2.2.2.2 Emissie door gebruik dosisaerosolen

De uitstoot van broeikasgas tijdens het gebruik van dosisaerosolen wordt berekend door een combinatie van het aantal uitgegeven verpakkingen van dosisaerosolen, zoals berekend uit de GIPdatabank<sup>42</sup>, en de drijfgasinhoud per verpakking (*canister*), zoals verstrekt door het College ter Beoordeling van Geneesmiddelen (CBG). Zie Bijlage E voor de lijst met openbaar beschikbare gegevens.

In de periode 2016-2020 nam het gebruik van dosisaerosolen ten opzichte van droogpoederinhalatoren jaarlijks toe (zie Figuur 5). Ook het aantal verstrekkingen van verpakkingen met drijfgashoudende dosisaerosolen steeg. Deze drijfgassen hebben een sterk aardopwarmingsvermogen (GWP). In de meeste dosisaerosolen zit norfluraan (HFK-134a) met een GWP van 1.549 (met *climate-carbon feedbacks*, d.w.z. zelfversterkende veranderingen in de koolstofkringloop door een opwarmend klimaat)<sup>43</sup>. Een kleiner aantal dosisaerosolen bevat heptafluorpropan (HFK-227ea), met een nog sterker GWP van 3.860 (met *climate-carbon feedbacks*)<sup>43</sup>. Het aantal verpakkingen van dosisaerosolen met het sterke broeikasgas heptafluorpropan (HFK-227ea) is tussen 2016 en 2020 toegenomen van 1,3% tot 2,4% van de totale hoeveelheid verstrekte dosisaerosolen (zie Figuur 6).



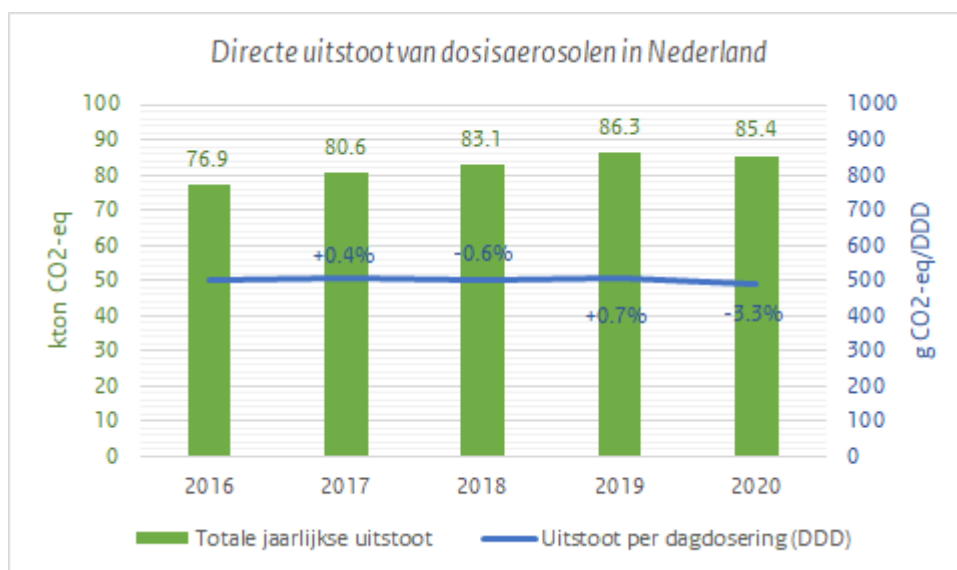
Figuur 5 Ontwikkeling in het aantal aan Nederlandse patiënten uitgeleverde dagdoseringen (DDD's) van dosisaerosolen en droogpoederinhalatoren en vernevelaars tussen 2016 en 2020.



Figuur 6 Gebruik van verschillende typen drijfgassen in dosisaerosolen in Nederland. Figuur op basis van cijfers van aantal verstrekte verpakkingen (canisters) van GIPdatabank. HFK-134a = norfluraan. HFK-227ea = heptafluorpropan.

Waar het totaal aantal gedefinieerde dagdoseringen (DDD's) van inhalatoren in de loop van de jaren licht afnam, nam het aantal gebruikte verpakkingen van dosisaerosolen in dezelfde periode toe. Daarmee is ook de uitstoot van dosisaerosolen toegenomen (zie respectievelijk Figuur 5, Figuur 6, en Figuur 7). Tussen 2016 en 2020 steeg de totale directe uitstoot van dosisaerosolen met 11,1% (zie Figuur 7). Aan de andere kant nam de uitstoot per DDD tussen 2019 en 2020 met 3,3% af, mogelijk door het gebruik van zuinigere dosisaerosolen, die minder drijfgas bevatten per dosis.





*Figuur 7 Ontwikkeling in de totale directe uitstoot van dosisaerosolen en de uitstoot per dagdosering dosisaerosol. De berekeningen voor deze figuur zijn gedaan op basis van gegevens over verpakkingaantallen van GIPdatabank. De hoeveelheden drijfgas per type dosisaerosol zijn afkomstig van het College ter Beoordeling van Geneesmiddelen (CBG) en het gebruikte aardopwarmingsvermogen is van ReCiPe 2016<sup>43</sup>.*

De berekende directe uitstoot van dosisaerosolen uit het jaar 2016 (76,9 kton CO<sub>2</sub>-eq) is gebruikt voor het berekenen van het basisjaar van de voetafdruk van de Nederlandse zorgsector. Dit resultaat wordt opgeteld bij de klimaatvoetafdruk berekend met EE-IOA. Er worden geen andere milieueffecten dan klimaatverandering aan het thuisgebruik van dosisaerosolen toegewezen. De klinische toepassing van duurzame inhalatiemedicatie en de situatie wereldwijd worden verder besproken door Wichers & Pieters in het Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde<sup>80</sup>.

### 2.2.2.3 Effect door individuele reisbewegingen

#### *Aanpak*

De aanpak voor de berekening van de totale afgelegde afstand per vervoerswijze door werknemers, patiënten en bezoekers is overgenomen van Tennison et al.<sup>24</sup>, en is eerder ook toegepast in de studie van Gupta Strategists<sup>5</sup>. De schattingen voor de afgelegde afstanden worden gekoppeld aan de overeenkomstige activiteiten in de *lifecycle database* Ecoinvent v3.7<sup>44</sup> om de totale effecten te berekenen. De meest geschikte activiteiten geven informatie in persoon\*km en berekenen het effect tot en met de gebruiksfase.

Het effect van individuele reisbewegingen wordt berekend aan de hand van LCA-data, en heeft dus betrekking op zowel de directe effecten (gebruiksfase; effecten die plaatsvinden tijdens vervoer zoals uitlaatemissies) als op de indirecte effecten elders in de keten. De effectresultaten van individuele reisbewegingen worden opgesplitst in een direct effect en een indirect effect. Het indirecte effect wordt toegevoegd aan de hotspotanalyse, zonder verdere specificatie van de afkomstige sector of regio, aangezien het te omslachtig zou zijn om de

classificaties van Exiobase en Ecoinvent te overbruggen. Deze extra stap is niet nodig voor de contributieanalyse.

#### *Afgelegde afstand woon-werkverkeer*

Het CBS geeft aan dat in 2016 gemiddeld 1.220.750 mensen werkzaam waren in de gezondheidszorg en welzijnsdiensten (inclusief kinderopvang).<sup>45</sup> Voor zover bekend is er over het gemiddelde aantal woon-werk reisbewegingen per week geen specifieke informatie beschikbaar voor werknemers in de zorgsector. Voor deze schatting wordt gebruik gemaakt van de deeltijdfactor ('De relatieve arbeidsduur van de baan ten opzichte van een voltijdbaai in hetzelfde bedrijf of in dezelfde bedrijfssector'<sup>46</sup>); in 2016 was deze gemiddeld 0,68 voor de sector zorg en welzijn (inclusief kinderopvang).<sup>47</sup> Bij gebrek aan gegevens zijn de resultaten voor fulltime werkweken (36 uur/week) gebruikt in combinatie met de deeltijdfactor. Hieruit is berekend dat  $(0,68 * 36 \text{ uur/week} =) 24,5$  uur per week worden gewerkt. Dat betekent op jaarbasis gemiddeld 159 werkdagen, en gecombineerd met een aanname van 21 dagen betaald verlof (inclusief officiële feestdagen), is het eindresultaat 138 werkdagen per jaar. Dat wil zeggen dat er  $(138 \text{ d/j} * 1.220.750 \text{ werknemers} =)$  168 miljoen reisbewegingen plaatsvonden in 2016.

Ook presenteert het CBS de verdeling van het gemiddeld aantal verplaatsingen van en naar werkadres en de gemiddelde bijbehorende afstand per vervoerwijze per persoon per jaar.<sup>48</sup> Deze cijfers gaan niet specifiek over de zorgsector. Het totaal aantal kilometers voor 'overige vervoerwijzen' wordt herverdeeld naar rato, omdat over deze vervoerwijzen geen nadere informatie beschikbaar is. Vervolgens wordt de nieuwe verdeling per verplaatsing vermenigvuldigd met de gemiddelde afgelegde afstand per vervoerwijze, gecombineerd met de verwachte reisbewegingen voor woon-werkverkeer, om de totale afgelegde afstand per vervoerwijze te berekenen (zie Tabel 4).

*Tabel 4 De verdeling van het aantal verplaatsingen per vervoerwijze voor woon-werkverkeer en de gemiddelde afstand per verplaatsing, zoals verstrekt door het CBS, om een schatting te maken voor de afgelegde afstand per vervoerwijze door zorgmedewerkers in 2016.*

Vervoerwijze	Aantal verplaatsingen per persoon per jaar	% van aantal verplaatsingen	% van aantal verplaatsingen herverdeeld	Afstand per verplaatsing per persoon	Totale afstand voor 168 miljoen reisbewegingen in mln km
<b>Auto (bestuurder)</b>	86	53,4%	54,3%	25,30	2.280
<b>Auto (passagier)</b>	6	3,7%	3,8%	26,33	166
<b>Trein</b>	7	4,3%	4,4%	39,49	280
<b>Bus/tram/metro</b>	7	4,3%	4,4%	13,70	100
<b>Brom-/snorfiets</b>	4	2,5%	2,5%	7,74	32
<b>Fiets</b>	41	25,5%	25,9%	4,68	201
<b>Lopen</b>	7	4,3%	4,4%	2,83	21
<b>Overige vervoerwijzen</b>	3	1,9%	Proportioneel herverdeeld	-	-

#### 2.2.2.4 Afgelegde afstand patiënten en bezoekers

Gupta Strategists paste 150 km/persoon/jaar toe voor de afgelegde afstand voor privéreizen als patiënt of bezoeker voor alle Nederlandse inwoners, een cijfer dat ook is overgenomen uit dezelfde NHS-gegevens van Tennison et al.<sup>24</sup>. In tabel S10 van de studie Tennison et al. blijkt dat de gemiddelde afgelegde afstand per inwoner voor persoonlijke medische zaken in Engeland in 2016 159 km (99 mijl) was. Een soortgelijk cijfer bestaat niet voor Nederland; het CBS rapporteert niet over een reismotief voor zorg. Er is niet onderzocht of de dichtheid van Engeland en Nederland qua medische voorzieningen vergelijkbaar is. Als dit cijfer voor Nederland wordt overgenomen, resulteert het in totaal in 2,7 miljard afgelegde reiskilometers door patiënten en bezoekers in 2016 (159 km/persoon/jaar \* 16.980.000 inwoners). Er wordt uitgegaan van de verdeling van de totale reizigerskilometers per vervoerswijze voor Nederland in 2016<sup>49</sup>, zie Tabel 5.

*Tabel 5 De verdeling van de totale reizigerskilometers per vervoerswijze, verstrekt door het CBS, om een schatting te maken voor de afgelegde afstand per vervoerswijze voor individuele reisbewegingen van patiënten en bezoekers.*

Vervoerswijze	mld km reizigerskilometers in 2016	% van totale reizigerskilometers	% van totale reizigerskilometers herverdeeld	Totaal mln km (totaal = 2,7 miljard km)
<b>Auto (bestuurder)</b>	97,7	50,2%	52,9%	1.429
<b>Auto (passagier)</b>	43,1	22,1%	23,3%	630
<b>Trein</b>	16,9	8,7%	9,2%	247
<b>Bus/tram/metro</b>	5,9	3,0%	3,2%	86
<b>Brom-/snorfiets</b>	1,1	0,6%	0,6%	16
<b>Fiets</b>	14,6	7,5%	7,9%	213
<b>Lopen</b>	5,3	2,7%	2,9%	76
<b>Overige vervoerswijzen</b>	10,2	5,2%	Proportioneel herverdeeld	-

#### *Koppelen Ecoinvent-processen aan vervoerswijze*

Er wordt aangenomen dat de vervoerswijzen Auto (passagier) en Lopen geen effect hebben. Het effect van de reisbewegingen met de auto wordt gealloceerd aan de bestuurder, omdat er geen informatie is over het (gemiddelde) aantal passagiers dat meerijdt. Vervolgens zijn de andere vijf vervoerswijzen gekoppeld aan overeenkomstige Ecoinvent v3.7 activiteiten (zie Tabel 6).

Voor de effecten van het reizen per trein was er geen geschikte activiteit voor passagierstreinen in Nederland beschikbaar in Ecoinvent. Als het aandeel geëlektrificeerde spoorwegen door de jaren heen wordt vergeleken, komt de Belgische activiteit voor passagierstreinen het dichtst bij de situatie in Nederland. De NS stelt dat in 2016 75% van alle elektrische treinen werd aangedreven door windenergie. Het Planbureau voor de Leefomgeving schat dat het totale geïnstalleerde windenergievermogen in Nederland voor 2015 bestaat uit ongeveer 10,5% offshore en 89,5% onshore. De activiteit wordt aangepast door

de procesinputs te vervangen door gegevens van Nederlandse aanbieders, de waarden voor de elektriciteit te actualiseren, en de elektriciteit uit offshore en onshore windenergie toe te voegen (ervan uitgaande dat het in beide gevallen turbines van 1-3 MW zijn). De totale afgelegde afstand met bus/tram/metro is niet nader gespecificeerd. Op basis van beschikbare geschikte activiteiten is uitgegaan van een aandeel van 50% afgelegde kilometers met *Transport, tram (GLO)* en 50% *Transport, regular bus (GLO)*.

Voor zover bekend zijn er geen betrouwbare bronnen voor het aandeel elektrische scooters en brommers in 2016. Een nieuwsartikel waarin de opkomst van elektrische scooters wordt besproken, suggereert dat het aandeel ruwweg 2-3% was. Voor de effecten van vervoer met scooters/brommers is daarom uitgegaan van een aandeel van 3% elektrische scooters. Het effect per afgelegde kilometer is berekend met een samenstelling van 97% *Transport, passenger, motor scooter (GLO)* en 3% *Transport, passenger, electric scooter (GLO)*. Voor het aandeel elektrische fietsen in 2016 zijn geen gegevens gevonden. Daarom wordt alleen het effect van *Transport, passenger, bicycle (GLO)* beschouwd.

Tabel 6 De geselecteerde Ecoinvent-activiteiten om de vervoerswijze te vertegenwoordigen.

Vervoerswijze	Corresponderende Ecoinvent activiteiten
<b>Auto (bestuurder)</b>	<i>Transport, passenger car, medium size, petrol, EURO 5 (RER)</i>   <i>Cut-off, U</i>
<b>Auto (passagier)</b>	Geen effect
<b>Trein</b>	<i>Transport, passenger train (BE)</i>   <i>processing</i>   <i>Cut-off, U</i> , aangepast voor NL
<b>Bus/tram/metro</b>	50% <i>Transport, tram (GLO)</i>   <i>market for</i>   <i>Cut-off, U</i> en 50% <i>Transport, regular bus (GLO)</i>   <i>market for</i>   <i>Cut-off, U</i>
<b>Brom-/snorfiets</b>	97% <i>Transport, passenger, motor scooter (GLO)</i>   <i>market for</i>   <i>Cut-off, U</i> en 3% <i>Transport, passenger, electric scooter (GLO)</i>   <i>market for</i>   <i>Cut-off, U</i>
<b>Fiets</b>	<i>Transport, passenger, bicycle (GLO)</i>   <i>market for</i>   <i>Cut-off, U</i>
<b>Lopen</b>	Geen effect
<b>Overige vervoerswijzen</b>	-

#### 2.2.2.5

Emissie door toedienen anesthesiegassen

Recentelijk is door Venema et al.<sup>50</sup> een bottom-up inventarisatie gemaakt van het gebruik van anesthesiegassen in Nederlandse ziekenhuizen. Zij schatten dat het gebruik van anesthesiegassen goed is voor ongeveer 13,2 kt CO<sub>2</sub>-eq (4.189 ton CO<sub>2</sub>-eq door gebruik van sevofluraan en desfluraan, en grofweg 9.000 ton CO<sub>2</sub>-eq door gebruik van lachgas). Op basis van de voetafdrukberendingen van Gupta Strategists zou dit 0,1% van de uitstoot door de zorg bedragen.<sup>50</sup>

Er zijn geen andere schattingen voor Nederland beschikbaar. Er zijn in studies wel schattingen gemaakt voor andere regio's, die meestal verschillende scopes, zorgdefinities en jaartallen gebruiken (overzicht geconsolideerd in Bijlage D). Uit de studie voor Engeland<sup>24</sup>, die een

tijdreeks van 1990-2019 rapporteert, is een waarde voor 2016 afgeleid voor dezelfde scope en definitie die in deze studie worden toegepast. Uit de Engelse voetafdrukberekening blijkt dat 1,78% van de klimaatvoetafdruk voor zorg en welzijn, exclusief emissies door individuele reisbewegingen en gebruik van dosisaerosolen, wordt veroorzaakt door anesthesiegassen. Als dit getal zou worden overgenomen voor de Nederlandse situatie, is dat fors hoger dan de verwachte 0,1% in de studie van Venema et al. Volgens de auteurs is dit verschil te verklaren door minder lachgasverbruik en/of een lager gebruik van isofluraan en desfluraan. In deze studie is er vanwege de fijnmazigere studie die specifiek gericht is op Nederland voor gekozen om te werken met de bottom-up inventarisatie van Venema et al., ook al was het peiljaar 2019 en niet 2016. Voor de andere effectcategorieën zijn er geen directe effecten die verband houden met het toedienen van anesthesiegassen.

### 2.2.3 *Van milieustressoren naar effecten*

Een van de laatste stappen in de voetafdrukberekening is het omrekenen van hoeveelheden stressoren (emissies en grondstofextracties) naar effecten, door middel van zogenoemde karakterisatiefactoren. Aangezien de EE-IOA-voetafdruk wordt gecombineerd met LCA-resultaten is het nodig om beide resultaten naar dezelfde effectcategorieën om te rekenen. Als uitgangspunt zijn de midpoints van de life-cycle impact methode ReCiPe 2016 (H)<sup>43</sup> gebruikt voor de LCA-resultaten, naast de karakterisatietabel van project DESIRE FP7<sup>51</sup> voor de EE-IOA. Hieronder wordt voor elke effectcategorie beschreven hoe de resultaten zijn gekarakteriseerd. De broeikasgasemissies ten gevolge van het gebruik van PMDI zijn al gekarakteriseerd met ReCiPe 2016 (H). Ten slotte hebben we, ter wille van de consistentie, de schattingen van de broeikasgasemissies voor anesthesiegassen omgerekend naar ReCiPe 2016 (H), wat resulteert in 14,6 kt CO<sub>2</sub>-eq.

#### *Klimaatverandering in kg CO<sub>2</sub>-eq (de klimaatvoetafdruk)*

Uitgaande van de gekarakteriseerde stressoren voor klimaatverandering in DESIRE FP7 verschilt deze met ReCiPe 2016 (H) op de karakterisatie van NMVOC en SF<sub>6</sub>. In DESIRE FP7 wordt NMVOC gekarakteriseerd (0,04521 kg CO<sub>2</sub>-eq per kg), maar in ReCiPe 2016 (H) niet. Daarnaast heeft SF<sub>6</sub> een karakterisatiefactor van 22.800 kg CO<sub>2</sub>-eq per kg in DESIRE FP7 en 26.087 in ReCiPe 2016 (H). Voor de harmonisatie van de resultaten worden de karakterisatiefactoren voor NMVOC en SF<sub>6</sub> in DESIRE FP7 aangepast om overeen te komen met ReCiPe 2016 (H). Zie Bijlage F.1 voor de karakterisatiefactoren voor klimaatverandering van de milieustressoren in Exiobase v3.

#### *Abiotische grondstoffenverbruik in kt (de grondstoffenvoetafdruk)*

Er bestaat nog geen consensus over de manier waarop het gebruik van grondstoffen moet worden gewogen.<sup>52,53</sup> DESIRE FP7 maakt gebruik van *mass-based accounting* en drukt metaalextractie uit in ertsen. ReCiPe 2016 maakt gebruik van *surplus ore potential*, en drukt dat uit in koperequivalent (Cu-eq). Voor de berekening van de voetafdruk in deze studie is gekozen voor *mass-based accounting*, aangezien het minder ingewikkeld is om de LCA-midpointresultaten om te zetten naar massa

dan om een karakterisatietabel op te zetten om de stressoren in Exiobase uit te drukken in Cu-eq.

Voor de conversie van koper (Cu) naar kopererts-equivalenten is gebruik gemaakt van een door Impact World+<sup>52</sup> verstrekte conversie (8.674 kg onttrokken koper/kt kopererts). Dit gehalte (0,87% koperertsgehalte) is in overeenstemming met het gemiddelde koperertsgehalte van de afgelopen jaren, dat ongeveer 0,9% bedraagt<sup>54</sup>. Om de LCA-resultaten om te zetten naar koperertsequivalent, wordt 1 kg Cu-eq dus geconverteerd naar ~0,00012 kt koperertsequivalent.

Vanuit DESIRE FP7 is de *Domestic Extraction* categorie (zonder de *Unused Domestic Extraction*) gebruikt, maar deze is aangepast door de karakterisatiefactoren voor alle biotische materialen (fossiel en niet-fossiel) te verwijderen. Zie Bijlage F.2 voor de karakterisatiefactoren voor het grondstoffenverbruik van de milieustressoren in Exiobase v3.

#### *Zoetwaterverbruik in Mm<sup>3</sup> (de zoetwatervoetafdruk)*

Zoetwaterverbruik wordt in ReCiPe 2016 (H) en DESIRE FP7 op dezelfde manier uitgedrukt; *Water consumption in m<sup>3</sup>* in ReCiPe, en *Water Consumption Blue – Total in Mm<sup>3</sup>*. De resultaten voor de LCA zijn met 1.000.000 gedeeld om ook op Mm<sup>3</sup> uit te komen.

Zie Bijlage F.3 voor de karakterisatiefactoren voor zoetwaterverbruik van de milieustressoren in Exiobase v3.

#### *Landgebruik in km<sup>2</sup>*

In ReCiPe 2016 (H) wordt landgebruik vertaald naar *m<sup>2</sup> annual crop equivalents* (m<sup>2</sup>a), terwijl DESIRE FP7 alleen het oppervlak (in km<sup>2</sup>) beschouwt, ongeacht de toepassing. Het landgebruik kan worden uitgedrukt in zowel km<sup>2</sup> als m<sup>2</sup>a. Ook hier is ervoor gekozen de LCA-resultaten om te rekenen naar km<sup>2</sup>, omdat dit een simpelere conversie is. Volgens tabel 11.1 in de ReCiPe 2016 documentatie<sup>43</sup> is 1 m<sup>2</sup>a *crop equivalent* gelijk aan 1 m<sup>2</sup> landgebruik. Zie Bijlage F.4 voor de karakterisatiefactoren voor landgebruik van de milieustressoren in Exiobase v3.

#### *Afvalproductie in kt*

Voor de afvalproductie, waarvoor geen LCA-midpoint bestaat, zijn alle afvalfracties uit de extensies van de hybride MRSUT van Exiobase v3 samengeteld, zonder verdere karakterisatie.

*Eind 2022 begint de update van ReCiPe, waarbij ook een karakterisatietabel wordt ontwikkeld voor IO tabellen, waaronder Exiobase. In 2023 verwachten we de eerste versie van deze karakterisatietabel.*

## 2.2.4

### *Onzekerheidsanalyse*

In tegenstelling tot bijvoorbeeld Eora<sup>26</sup> zijn Exiobase en de gebruikte data van het CBS niet voorzien van onzekerheidsgegevens, zodat een statistische analyse (zoals een Monte Carlo-analyse) niet mogelijk is. Het valt buiten de scope van het project om zelf onzekerheidsgegevens te verzamelen. Een andere studie<sup>55</sup>, waarbij gebruik werd gemaakt van geschatte onzekerheden voor een andere EE-MRIO, GTAP, vond een lage onzekerheid uit de Monte Carlo-analyse voor de Nederlandse

consumptieve klimaatvoetafdruk. De onzekerheid groeide wel zodra verder werd ingezoomd op de sectoren. Daarbij is de onzekerheid voornamelijk hoog voor landbouwsectoren, maar voor een niet-landbouwsector scoorde *Public Administration, Defence, Education and Health* een relatief hoge onzekerheid. Het is dan lastig te zeggen welke rol de zorgsector daarin speelt, omdat deze is geaggregeerd met openbaar bestuur, onderwijs en defensie.

Tussen verschillende EE-MRIO's kunnen er aanzienlijke verschillen bestaan in de resultaten voor de nationale consumptieve klimaatvoetafdruk.<sup>56,57</sup> Volgens Rodrigues et al.<sup>57</sup> toont de Nederlandse consumptieve klimaatvoetafdruk de hoogste variatie ten opzichte van de voetafdruk van andere landen, wanneer deze is berekend met diverse MRIO's. De milieuextensies verschillen tussen de MRIO's, maar zelfs als deze verschillen zijn gecorrigeerd, wijken de resultaten van elkaar af door de verschillen in economische data.<sup>56</sup> Ook wijkt volgens Giljum et al.<sup>58</sup> de Nederlandse consumptievoetafdruk voor grondstoffengebruik sterk af tussen de verschillende MRIO's, en is die ten opzichte van andere landen wederom een van de hoogste. Volgens deze studie komt de onzekerheid voornamelijk voort uit de toelevering van de grondstoffenwinning naar de fossiele en chemische sector en de publieke sector (inclusief de zorgsector). Er is nog niet specifiek onderzocht wat de rol van de verschillende MRIO's is in de onzekerheid voor de resultaten voor de zorgsector. Ook zijn er geen studies die de onzekerheden van de consumptievoetafdruk van zoetwater en afvalproductie onderzoeken.

Voor de aanvullende effectschattingen zijn er onvoldoende vergelijkbare gegevensbronnen beschikbaar voor de sectorbrede bijdragen van anesthetica en dosisaerosolen. Bovendien levert de ruwe schatting voor het aantal totaal afgelegde afstanden per vervoerwijze voor individuele reisbewegingen waarschijnlijk meer onzekerheid op dan de LCA-data. Zo is bijvoorbeeld de voor persoonlijk medische doeleinden afgelegde 159 km per jaar overgenomen uit een Engelse studie, en is het niet zeker of deze afstand ook representatief is voor Nederland.

## 2.3 Resultaten milieuvoetafdruk Nederlandse zorgsector

Deze paragraaf presenteert de resultaten van de sectorale voetafdruk, berekend met de methode die is uiteengezet in paragraaf 2.2. Eerst presenteert paragraaf 2.3.1 hoe de zorguitgavenvector grofweg is opgebouwd. Vervolgens komt aan bod wat het totale effect van de zorgsector voor de geselecteerde effectcategorieën is, en in welke mate het bijdraagt aan de nationale voetafdruk (paragraaf 2.3.2). Daarna bestudeert paragraaf 2.3.3 de opbouw van de voetafdruk.

### 2.3.1 De zorguitgavenvector

In Tabel 7 staat een geaggregeerd overzicht van de opgestelde zorguitgavenvector. De daadwerkelijke zorguitgavenvector is 7.987 rijen lang (163 sectoren x 49 regio's). De volledige resultaten zijn te vinden op de Github-pagina van het RIVM ([link](#)). De tabel bevat voor een deel de consumptie-uitgaven aan geneesmiddelen & verbruiksartikelen en aan therapeutische hulpmiddelen. De andere uitgaven zijn productie-uitgaven (inkoop/intermediair gebruik) vanuit de zorgdiensten, die

overgenomen en geschaald zijn vanuit Exiobase v3. De absolute getallen zijn erbij vermeld, maar er moet rekening mee worden gehouden dat deze cijfers zijn gebaseerd op bewerkte IO-data, en dus kunnen afwijken van de werkelijke uitgaven voor het jaar 2016. Voor de volledigheid staan de productiefactoren vanuit de zorgdiensten er ook bij, maar deze wordt niet meegenomen in de zorguitgaven. Hier zijn dus geen effecten aan toegekend.

Uit de tabel is af te lezen dat 72% van de zorguitgaven naar productiefactoren gaat, dus (voornamelijk) loonkosten, belastingen, kapitaalkosten en mogelijke winst. Het is geen verrassend resultaat dat een groot deel van de uitgaven binnen de zorg naar loonkosten gaat. In Nederland werkten in 2016 immers ongeveer 1,2 miljoen mensen in de zorgsector, ofwel ongeveer 16% van de totale beroepsbevolking.<sup>45</sup> De zorguitgaven leiden tot inkoop van 19,9 miljard goederen en diensten vanuit de zorgdiensten, naast de consumptieve uitgaven aan geneesmiddelen & verbruiksartikelen en therapeutische hulpmiddelen. Diensten (11%) zijn hierbij de grootste uitgave. Daarnaast wordt ongeveer 6% aan geneesmiddelen en andere chemieproducten besteed, waarvan tweederde door consumptieve uitgaven. Ook therapeutische hulpmiddelen zijn met 4% een grote kostenpost, waarvan ook tweederde consumptieve uitgaven.

*Tabel 7 De grove opbouw van de zorguitgaven in de zorguitgavenvector. De productiefactoren vallen weg in de daadwerkelijke zorguitgavenvector.*

<b>Uitgaven</b>	<b>mln euro</b>	<b>%</b>
<b>Productiefactoren</b>	66.232	72
<b>Diensten</b>	10162	11
<b>Geneesmiddelen en andere chemieproducten</b>	5.386	6
<i>Waarvan consumptieve uitgaven aan geneesmiddelen &amp; verbruiksartikelen</i>	3.778	
<b>Medische apparatuur</b>	4.065	4
<i>Waarvan consumptieve uitgave aan therapeutische hulpmiddelen</i>	2.641	
<b>Voeding en catering</b>	1.948	2
<b>Anders</b>	5.128	6
<b>Totaal</b>	92.515	100



### 2.3.2 Resultaat voetafdruk totaal

Tabel 8 Totale milieuvoetafdruk, uitgesplitst naar de uitgavencategorieën voor de EE-IOA berekening en de aanvullende effectschattingen.

	Zorguitgaven (mln euro basisprijs)	Klimaatver- andering (kt CO <sub>2</sub> -eq)	Abiotische grondstof- fenextractie (kt)	Zoetwater- consumptie (Mm <sup>3</sup> )	Landge- bruik (km <sup>2</sup> )	Afvalpro- ductie (kt)
<b>Totaal</b>	92.515 (100%)	17.575 (100%)	33.801 (100%)	394 (100%)	23.845 (100%)	4.803 (100%)
<b>EE-IOA berekening</b>						
Zorgdiensten	86.096 (93%)	10.779 (61%)	14.715 (44%)	218 (55%)	13.748 (58%)	2.811 (59%)
Geneesmiddelen & verbruiks- artikelen	3778 (4,1%)	4.909 (28%)	18.261 (54%)	169 (43%)	9.744 (41%)	1.780 (37%)
Therapeutische hulpmiddelen	2.641 (2,9%)	864 (4,9%)	783 (2,3%)	6,6 (1,7%)	351 (1,5%)	212 (4,4%)
<b>Aanvullende berekeningen</b>						
Emissie van anesthe- siegasen	n.v.t.	15 (0,083%)	-	-	-	-
Emissie van drijfgassen dosisaerosolen	n.v.t.	77 (0,44%)	-	-	-	-
Individuele reisbewegingen	n.v.t.	932 (5,3%)	42 (0,12%)	0,29 (0,074%)	2,7 (0,011%)	-

Tabel 8 toont het resultaat voor de top-down EE-IOA berekening o.b.v. de drie zorguitgaven en de aanvullende effectschattingen. Het blijkt dat de uitgaven voor zorgdiensten (93% van de totale uitgaven) ongeveer de helft van de effecten (44-61%) van de verschillende effectcategorieën veroorzaken. Geneesmiddelen & verbruiksartikelen leveren ook een grote bijdrage aan de verschillende effectcategorieën (28-54%), terwijl de uitgaven gering zijn (4%). Het aandeel van therapeutische hulpmiddelen is laag voor alle effectcategorieën (1-5%), evenals het aandeel van de uitgaven (3%). De uitstoot van anesthesiegassen en drijfgassen van dosis-aerosolen is goed voor respectievelijk 0,08% en 0,4% van de totale milieuvoetafdruk. Het effect van individuele reisbewegingen is significant voor de milieuvoetafdruk (5%) en klein (<1%) voor de andere effectcategorieën.

Worden de resultaten vergeleken met de nationale consumptievoetafdruk (zie Tabel 9), dan blijkt dat de zorgsector verantwoordelijk is voor 7,3% van de nationale voetafdruk. Het aandeel voor afvalproductie is kleiner (4,2%) en voor grondstoffenextractie groter (13,0%), terwijl het verbruik van zoetwater en landgebruik dicht bij elkaar liggen (respectievelijk 7,5% en 7,2%).

Tabel 9 Totale voetafdruk van de Nederlandse zorgsector in relatie tot de nationale consumptievoetafdruk.

Effectcategorie	Voetafdruk van de zorgsector	Nationale consumptievoetafdruk	Aandeel zorgsector in nationale consumptievoetafdruk
<b>Klimaatverandering (kt CO<sub>2</sub>-eq)</b>	17.575	241.358	7,3%
<b>Abiotische grondstoffengebruik (kt)</b>	33.801	259.060	13,0%
<b>Zoetwaterconsumptie (Mm<sup>3</sup>)</b>	394	5.226	7,5%
<b>Landgebruik (km<sup>2</sup>)</b>	23.845	329.537	7,2%
<b>Afvalproductie (kt)</b>	4.803	113.826	4,2%

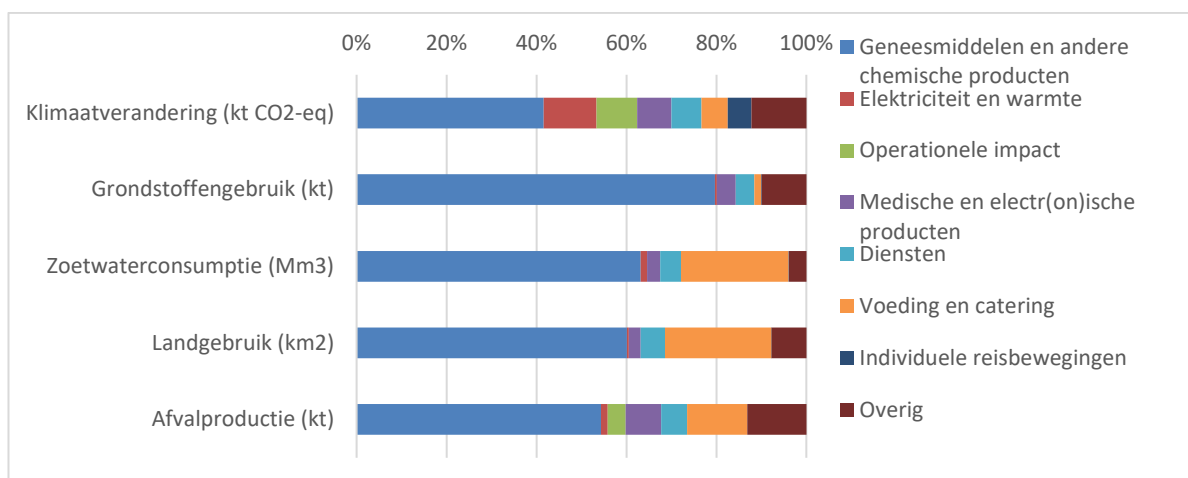
### 2.3.3

#### *De opbouw van de milieuvoetafdruk*

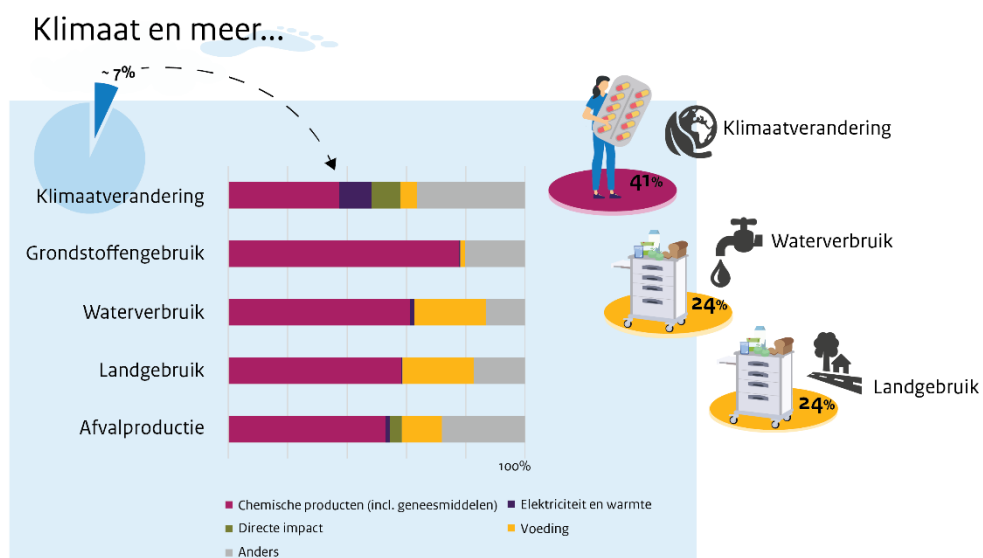
Om de voetafdruk beter te begrijpen, is de opbouw van de voetafdruk vanuit de twee verschillende perspectieven gepresenteerd (d.m.v. de contributie- en hotspotanalyse). Deze resultaten zijn berekend met het detailniveau van Exiobase v3, voor 163 sectoren in 49 landen en regio's. Om de resultaten makkelijker te communiceren via figuren, worden de resultaten echter op een hoog aggregatieniveau gepresenteerd. In de bijlagen zijn de resultaten gepresenteerd op een lager aggregatieniveau (in Bijlage G de bijbehorende aggregatietabel). Voor de niet-geaggregeerde resultaten wordt verwezen naar de Github-pagina van het RIVM ([link](#)).

#### *Contributieanalyse*

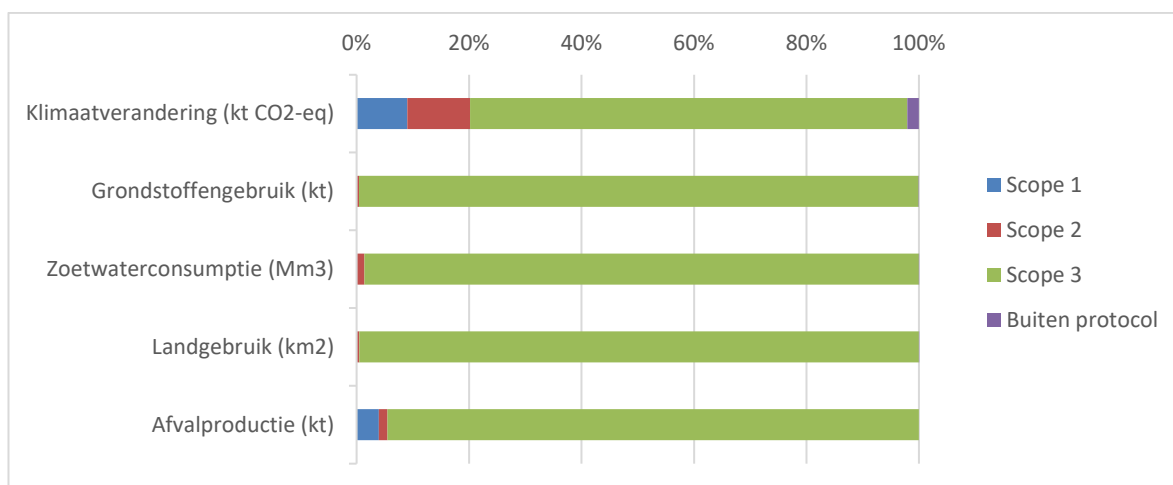
Uit de contributieanalyse van de voetafdruk blijkt dat de bijdrage aan de klimaatverandering meer gespreid is over de verschillende productgroepen, terwijl de andere effectcategorieën vooral door twee groepen worden bepaald: Geneesmiddelen en andere chemieproducten en Voeding & catering (Figuur 8; onderliggende gegevens in Bijlage H). Uit Figuur 9 blijkt ook dat de effecten van scope 1 en 2 een groter probleem vormen voor klimaatverandering, en minder voor de andere effectcategorieën. De belangrijkste overeenkomst tussen de effectcategorieën in de contributieanalyse is dat Geneesmiddelen en andere chemieproducten de grootste bijdrage leveren.



Figuur 8a Contributieanalyse van de milieuoetafdruk van de zorgsector voor de geselecteerde effectcategorieën. Resultaten geaggregeerd in 7 groepen, die ten minste voor 85% alle effectcategorieën dekken. De rest is gecombineerd in Overig. De onderliggende gegevens staan in Bijlage H.



Figuur 8b Vereenvoudigde weergave van de contributieanalyse (figuur 8a) van de milieuoetafdruk van de zorgsector voor de geselecteerde effectcategorieën. De resultaten zijn geaggregeerd in 5 groepen. De rechter plaatjes laten de bijdragen (gevolgen) zien van respectievelijk Chemische producten op Klimaatverandering (41%), Voeding op Waterverbruik (24%) en Voeding op Landgebruik (24%). De onderliggende gegevens staan in Bijlage H.



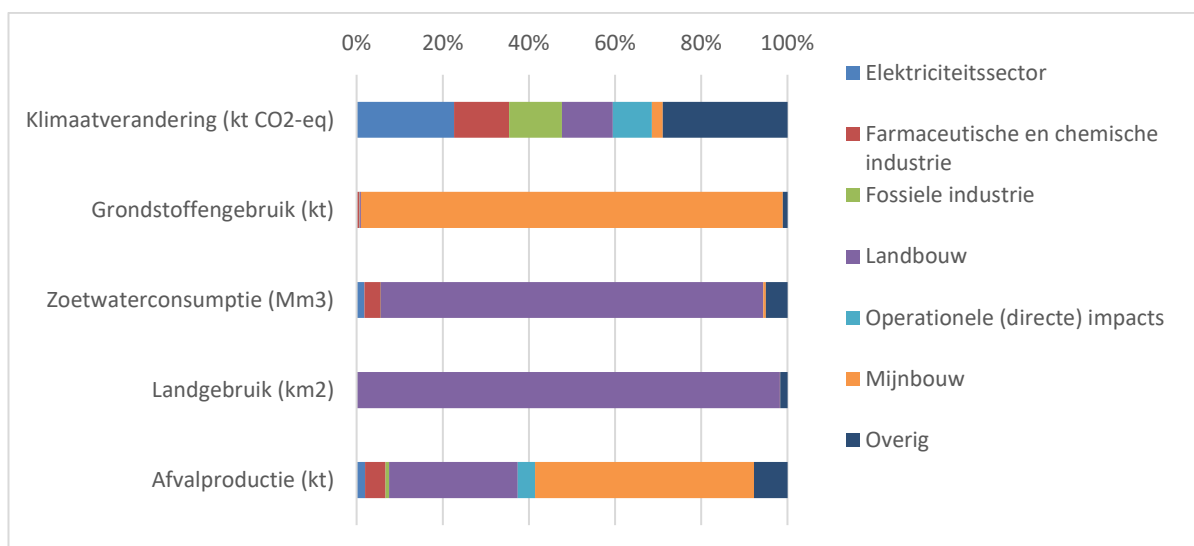
Figuur 9 Contributieanalyse van de milieuvoetafdruk van de zorgsector, verdeeld over de scopes volgens het Greenhouse Gas Protocol<sup>30</sup>. De onderliggende gegevens staan in Bijlage H.

### Hotspotanalyse

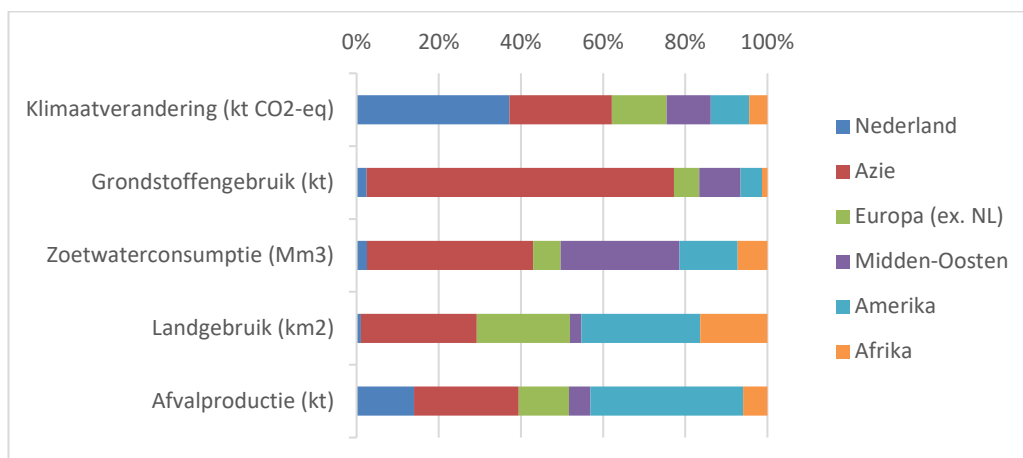
Met de hotspotanalyse van de voetafdruk voor de geselecteerde effectcategorieën is te zien in welke sectoren de effecten zich voordoen (Figuur 10; onderliggende gegevens in Bijlage I). Ook hier is de spreiding het grootst voor klimaatverandering. Voor de andere effectcategorieën geldt – logischerwijs – dat de mijnbouwsector vooral bijdraagt aan grondstoffenverbruik, en dat de landbouw grotendeels bijdraagt aan het zoetwater- en landgebruik. Bovendien leveren beide sectoren de grootste bijdrage aan de afvalproductie. Hoewel het niet verrassend is dat de mijnbouwsector en de landbouw dominant zijn voor de andere effectcategorieën, blijkt hieruit wel het contrast met de klimaatvoetafdruk, waarbij de mijnbouw- en de landbouwsector slechts goed zijn voor respectievelijk 2,6% en 11,8%.

Figuur 11 toont de hotspotanalyse voor de geografische spreiding van de voetafdruk (onderliggende gegevens in Bijlage J). Hieruit blijkt dat de broeikasgasemissies vooral in Nederland plaatsvinden (35%), terwijl de materiaalwinning vooral in Azië plaatsvindt (75%). Landgebruik en afvalproductie vinden vooral plaats in Noord- en Zuid-Amerika, Europa en Azië. Bovendien speelt zowel Azië als het Midden Oosten (Oost Azië) een belangrijke rol in het zoetwaterverbruik van de zorgsector.

Wanneer de verschillende perspectieven worden gecombineerd, blijkt dat geneesmiddelen en andere chemieproducten het meest bijdraagt aan de geselecteerde milieueffectcategorieën, hoewel de categorie in vergelijking met de andere effectcategorieën minder dominant is in de klimaatvoetafdruk. De broeikasgasemissies van de klimaatvoetafdruk zijn meer verdeeld over de verschillende stappen van de waardeketens, en vinden voor een groter deel plaats in Nederland. Dit is anders dan bij de andere effectcategorieën, waar de effecten zich vooral voordoen in de mijnbouw- en landbouwsector, en voor het grootste deel in het buitenland.



Figuur 10 Sectorale hotspotanalyse van de milieuoetafdruk van de zorgsector voor de geselecteerde effectcategorieën. De resultaten zijn geaggregeerd in zes groepen die 9% of meer bijdragen aan een van de effectcategorieën, de rest is gecombineerd in Overig. Het indirecte effect van individuele reisbewegingen is evenredig verdeeld over alle groepen. De onderliggende gegevens staan in Bijlage I.



Figuur 11 Geografische hotspotanalyse van de milieuoetafdruk van de zorgsector voor de geselecteerde effectcategorieën, geaggregeerd in zes regio's wereldwijd. Het indirecte effect van individuele reisbewegingen is evenredig verdeeld over alle groepen. De onderliggende gegevens staan in Bijlage J.

## 2.4 Discussie milieuoetafdruk Nederlandse zorgsector

In paragraaf 2.4.1 worden de resultaten van dit rapport vergeleken met soortgelijke voetafdrukberendingen voor de Nederlandse zorgsector en met internationale studies. Daarna behandelt paragraaf 2.4.2 de huidige beperkingen van de data en de methode, en gaat paragraaf 2.4.3 in op hoe deze in vervolgonderzoek kunnen worden aangepakt. Paragraaf 2.4.4 sluit het hoofdstuk af door de relevantie van deze studie te bespreken.

#### 2.4.1

##### *Vergelijken van resultaten*

##### *Voetafdrukberendingen voor de Nederlandse zorgsector*

De resultaten voor deze voetafdrukberending kunnen alleen worden vergeleken met soortgelijke studies voor de effectcategorie klimaatverandering. Voor de milieueffecten grondstoffengebruik, zoetwaterverbruik, landgebruik en afvalproductie zijn geen andere studies voor de Nederlandse zorgsector beschikbaar. De eerder gepubliceerde studies die de klimaatvoetafdruk voor de Nederlandse zorgsector berekenen, verschillen in gebruik van MRIO, beschikbare milieuentensies, definities van zorg, en/of referentiejaar. In Tabel 10 staat een overzicht van al deze verschillen. Deze verschillen maken het lastig om de verschillende zorgsectorvoetafdrukstudies te vergelijken voor Nederland, maar maken het ook lastiger om de resultaten te vergelijken met die voor andere landen.

Tabel 10 Overzicht van de verschillen tussen de modellen die de klimaatvoetafdruk van Nederlandse zorgsector hebben berekend. BKG = broeikasgassen. De SHA (System of Health Accounts) hanteert een internationaal vergelijkbare definitie van gezondheidszorg, voorgesteld door de OESO, die rekening houdt met de gezondheidszorgverlening aan ingezetenen. Voor de resultaten uit de studie van Lenzen et al. (2020) is de afgeleide nationale consumptievoetafdruk vrij hoog ten opzichte van de andere berekeningen. Daarom is ook de nationale consumptievoetafdruk toegevoegd zoals opgehaald van de Eora 'footprint explorer'.

	<b>RIVM, 2022 (deze studie)</b>	<b>Gupta Strategists, 2019</b>	<b>HCWH &amp; Arup, 2019</b>	<b>Pichler et al., 2019</b>	<b>Lenzen et al., 2020</b>
<b>MRIO</b>	Exiobase v3 (2018)	MRIO <sup>a</sup> voor Engeland (2004)	WIOD (2016)	Eora volledige versie (2018)	Eora volledige versie (2018)
<b>Jaar</b>	2016	2017	2014	2014	2015
<b>Meegewogen milieustressoren</b>	Alle BKG volgens ReCiPe 2016	Alle BKG volgens IPCC (2007)	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	Alle BKG volgens IPCC (2007)
<b>Milieudata</b>	Exiobase milieuentensies	BKG Emissieintensiteiten (effect/euro) voor Engeland (2009)	CO <sub>2</sub> : WIOD-milieuentensie; N <sub>2</sub> O en CH <sub>4</sub> : PRIMAP	Eora milieuentensies	Eora milieuentensies
<b>Karakterisatie</b>	ReCiPe 2016 (H)	IPCC (2007)	IPCC (2007)	-	IPCC (2007)
<b>Gebruikte definitie voor de zorgsector</b>	Brede definitie <sup>b</sup> , zorg en welzijn	Brede definitie <sup>b</sup> , gezondheidszorg	Internationaal vergelijkbaar <sup>c</sup> , gezondheidszorg (definitie zorg SHA)	Internationaal vergelijkbaar <sup>c</sup> , gezondheidszorg (definitie zorg SHA)	Internationaal vergelijkbaar <sup>c</sup> , zorg en welzijn (definitie zorg SHA)
<b>Toegevoegde schattingen aan voetafdrukberekening</b>	Individuele reisbewegingen van medewerkers (scope 3) en patiënten & bezoekers (buiten scope), drijfgassen van dosisaerosolen (scope 3), en anesthesiegassen (scope 1)	Individuele reisbewegingen van medewerkers (scope 3), en patiënten & bezoekers (buiten scope)	-	-	-

	<b>RIVM, 2022 (deze studie)</b>	<b>Gupta Strategists, 2019</b>	<b>HCWH &amp; Arup, 2019</b>	<b>Pichler et al., 2019</b>	<b>Lenzen et al., 2020</b>
<b>Berekening scope 1 (directe effect)</b>	Directe CO <sub>2</sub> -eq emissies van de zorgsector (Zorg en welzijn) zoals gerapporteerd door het CBS.	Schatting gemaakt van totale gasverbruik vanuit bottom-up benadering o.b.v. jaarverslagen van Nederlandse zorginstellingen, vervolgens gekoppeld aan CO <sub>2</sub> -emissieintensiteiten.	De studie heeft alle SHA-uitgavecategorieën gekoppeld aan de gerelateerde WIOD-sectorcategorieën. Deze zijn vervolgens gekoppeld aan de OESO-gezondheidszorgstatistieken. De scope 1-emissies zijn berekend door de directe emissieintensiteit voor de gerelateerde zorgsectoren te vermenigvuldigen met de zorguitgaven.	Geen directe emissies; de voetafdruk wordt benaderd vanuit de consumptie van zorgdiensten en -goederen (aangenomen dat geen directe effecten gemoeid zijn met consumptie).	Geen directe emissies; de voetafdruk wordt benaderd vanuit de consumptie van huishoudens (aangenomen dat geen directe effecten gemoeid zijn met consumptie).
<b>Berekening scope 2 (indirecte effect door inkoop warmte en elektriciteit)</b>	Indirecte emissies op basis van inkoop aan energie en warmte (onder Exiobase i40.11, i40.12, i40.13, i40.3; zie Bijlage G) vanuit <i>Health and social work</i> sector in Exiobase, geschaald o.b.v. uitgaven aan zorgdiensten van CBS.	Schatting gemaakt van totale energie- en warmteinkoop vanuit bottom-up benadering o.b.v. jaarverslagen van Nederlandse zorginstellingen, vervolgens gekoppeld aan CO <sub>2</sub> -emissieintensiteiten.	De studie heeft alle SHA-uitgavecategorieën gekoppeld aan de gerelateerde WIOD-sectorcategorieën. Deze zijn vervolgens gekoppeld aan de OESO-gezondheidszorgstatistieken. Op basis van de SPA het effect berekend voor WIOD-categorie <i>Electricity, gas, steam and air conditioning supply</i> .	De studie heeft alle SHA-uitgavecategorieën gekoppeld aan de gerelateerde EORA sectorcategorieën. Deze zijn gekoppeld aan de OESO-gezondheidszorgstatistieken. Er is geen onderscheid gemaakt tussen scope 2 en 3.	Voetafdrukberekening voor consumptie van <i>Health and social work services</i> vanuit de finale vraag in EORA (dus alleen effect van zorgdiensten). Er is geen onderscheid gemaakt tussen scope 2 en 3 voor Nederland specifiek (alleen globaal).



	<b>RIVM, 2022 (deze studie)</b>	<b>Gupta Strategists, 2019</b>	<b>HCWH &amp; Arup, 2019</b>	<b>Pichler et al., 2019</b>	<b>Lenzen et al., 2020</b>
<b>Berekening scope 3 (indirecte effect door inkoop anders dan warmte en elektriciteit)</b>	Indirecte emissies berekend voor de totale inkoop (ex scope 2 categorieën, cel hierboven) vanuit zorgdiensten, en de consumptie Geneesmiddelen & verbruiksartikelen en Therapeutische hulpmiddelen door de CBS-zorguitgaven te koppelen aan Exiobase.	Inkoopuitgaven overgenomen van Engeland, geschaald met de verhouding van zorguitgaven tussen NL en Engeland - uitgezonderd grootste inkoopcategorieën (>5% van totaal), vervangen door Nederlandse uitgavedata.	Scope 3 = totaal - scope 1 - scope 2. De studie heeft alle SHA-uitgavecategorieën gekoppeld aan de gerelateerde WIOD-sectorcategorieën. Het totale effect is vervolgens berekend aan de hand van de aan de OESO-gezondheidszorgstatistieken.		
<b>Gebruikt perspectief opbouw voetafdruk</b>	Contributie- en hotspotanalyse	Contributieanalyse	SPA, maar gesimplificeerd naar hotspotanalyse per GHGP-scope	Contributieanalyse, alleen globaal niveau	SPA, alleen globaal niveau
<b>Voetafdruk zorgsector total (Mt CO<sub>2</sub>--eq)</b>	17,6	11	13,3	15,8	13,4
<b>Resultaat scope 1 (Mt CO<sub>2</sub>--eq)</b>	1,6	4,2	1,6	-	-
<b>Resultaat scope 2 (Mt CO<sub>2</sub>--eq)</b>	2,0		0,7	-	-
<b>Resultaat scope 3 (Mt CO<sub>2</sub>--eq)</b>	13,7	6,2	11	-	-

	<b>RIVM, 2022 (deze studie)</b>	<b>Gupta Strategists, 2019</b>	<b>HCWH &amp; Arup, 2019</b>	<b>Pichler et al., 2019</b>	<b>Lenzen et al., 2020</b>
<b>Buiten scope (Mt CO<sub>2</sub>- -eq)</b>	0,4	0,6	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
<b>Aandeel zorgsector in totale Nederlandse consumptievoetafdruk</b>	7,3%	7%	5,9%	8,1%	5,8% <sup>e</sup> / 4,0% <sup>d</sup>
<b>Nederlandse consumptievoetafdruk (Mt CO<sub>2</sub>-eq)</b>	241	163	225 <sup>f</sup>	195 <sup>f</sup>	231 <sup>e</sup> / 333 <sup>f</sup>

- a) Nationale rekeningen (single region) van het Britse Office for National Statistics (ONS) voor 2004, uitgebreid tot een MRIO met gegevens van Eurostat, GTAP, OESO en IDE-JETRO
- b) Exclusief invoer (verstrekking van zorg aan ingezetenen in het buitenland), inclusief uitvoer (verstrekking van zorg aan niet-ingezetenen)
- c) Inclusief invoer (verstrekking van zorg aan ingezetenen in het buitenland), exclusief uitvoer (verstrekking van zorg aan niet-ingezetenen)
- d) Zoals gerapporteerd door Lenzen et al. (2020)
- e) Voetafdruk op basis van of aandeel afgeleid uit de 'Eora Explorer' op de Eora-website
- f) Afgeleid uit de klimaatvoetafdruk en het aandeel in de nationale consumptievoetafdruk zoals gerapporteerd in de studie van Lenzen et al.

De onderliggende verschillen tussen de modellen worden duidelijker bij het vergelijken van de uitgesplitste voetafdruk, op zowel de absolute waarden als de opbouw van de zorgsectorvoetafdruk (zie laatste zeven rijen van Tabel 10). Uit de contributieanalyse van Gupta Strategists blijkt bijvoorbeeld dat energie (scope 1 en 2) met 38% de grootste bijdrage levert aan de klimaatvoetafdruk, terwijl dat in deze studie 11% is (het effect van ingekochte brandstoffen valt in onze studie onder scope 3 – zie Bijlage G). Uit de hotspotanalyse van HCWH & Arup blijkt dat Voeding, catering en accommodatie met 23% de grootste bijdrage leveren aan de klimaatvoetafdruk, terwijl dat in deze studie 6% is. Zoals beschreven in de onzekerheidsanalyse (zie paragraaf 2.2.4) kan het gebruik van verschillende MRIO's een groot effect hebben op de resultaten. Om de verschillen tussen de verschillende voetafdrukberekeningen nader te verklaren, zou grondig onderzoek nodig zijn naar verschillen in de modelkeuzes, gerapporteerde milieustressoren en de opzet van de MRIO's. Dit valt echter buiten de scope van dit project.

De MRIO, het peiljaar en de meegenomen broeikasgassen hebben ook invloed op de berekening van de nationale consumptievoetafdruk (zie laatste rij van Tabel 10). Vanwege de verschillen tussen de modellen is het interessant om naast de absolute waarden ook te kijken naar de bijdrage van de zorgvoetafdruk aan de totale Nederlandse consumptievoetafdruk volgens deze modellen, berekend met hun respectieve MRIO en voor de respectieve broeikasgassen. Het aandeel in de nationale klimaatvoetafdruk dat is berekend in deze studie (7%) valt binnen het bereik van de eerdere berekeningen (6-8%). Zo blijkt dat huidige verschillen in de systeemgrenzen, gezien vanuit het grotere geheel, weinig invloed hebben op het resultaat van de bijdrage van de zorgsector aan de nationale voetafdruk.

#### *Vergelijken nationale voetafdrukberekeningen zorgsector van andere landen*

In de studies van Pichler et al.<sup>4</sup>, Lenzen et al.<sup>26</sup>, HCWH & Arup<sup>6</sup> is uitvoerig besproken hoe de totale voetafdruk(ken) van zorgsectoren internationaal onderling van elkaar verschillen. De studies laten zien dat voor zogenaamde *high income countries* (zoals gedefinieerd door de World Bank<sup>59</sup>) een relatief hoge voetafdruk per capita geldt. De klimaatvoetafdruk per capita is sterk gecorreleerd aan de zorguitgaven, de nationale energiemix en de nationale energieintensiteit. Volgens de studie van Pichler et al. draagt de Nederlandse zorgvoetafdruk het meest bij aan de nationale consumptievoetafdruk ten opzichte van andere OESO-leden, en heeft Nederland na Luxemburg de hoogste zorgklimaatvoetafdruk per capita. Volgens de studie van HCWH & Arup is de Nederlandse zorgsector echter geen *top emitter* (top 5), maar een *major emitter*. De studie van HCWH & Arup is geen specifieke nationale studie zoals deze RIVM-studie. Daarom worden de resultaten voor de uitgesplitste klimaatvoetafdruk vergeleken met de uitgebreidere nationale studies die de afgelopen jaren voor andere landen zijn gemaakt.

Zo blijkt dat geneesmiddelen en andere chemieproducten ook in de contributieanalyse van de zorgvoetafdruk voor andere landen een grote rol speelt. In de contributieanalyse van de Japanse studie<sup>18</sup> draagt de

inkoop van geneesmiddelen het meest bij aan de klimaatvoetafdruk (18%), gevolgd door elektriciteit (17%). De contributieanalyse in de studie voor Oostenrijk<sup>22</sup> geeft aan dat geneesmiddelen (*Pharmaceuticals*) als productgroep ook het meeste bijdragen aan de totale voetafdruk (21%), gevolgd door medische verbruiksartikelen (17%). Ook in de studie voor de NHS in Engeland<sup>24</sup> levert de productgroep *Pharmaceuticals and chemicals* de grootste bijdrage aan de voetafdruk (20%). De studie voor China<sup>23</sup> laat zelfs zien dat geneesmiddelen voor 55% bijdragen aan de totale klimaatvoetafdruk voor de Chinese zorgsector. In de studie voor Australië<sup>19</sup> en Canada<sup>21</sup> wordt alleen de consumptie van geneesmiddelen apart gerapporteerd. De inkoop van geneesmiddelen zit geaggregeerd in het effect van de zorgdiensten. Wel wordt in de studie voor Australië aangegeven dat de effectintensiteit voor *Pharmaceuticals* en *Medication* fors hoger is dan de andere gebruikte effectintensiteiten. Ook dan is de directe consumptie van geneesmiddelen met 25% de grootste bijdrager aan de klimaatvoetafdruk van de Canadese zorgsector. Tenslotte laat Pichler et al.<sup>4</sup> zien dat *Pharmaceuticals/chemicals* zelfs wereldwijd verantwoordelijk zijn voor 20% van de klimaatvoetafdruk van de gecombineerde zorgvoetafdruk van de OESO-landen.

De bijdrage van geneesmiddelen en andere chemieproducten aan de totale klimaatvoetafdruk van de Nederlandse zorgsector blijkt met 38% dus relatief hoog voor een *high income country*. Niettemin draagt deze productgroep ook in al deze nationale studies in andere landen in vergelijking met andere goederen of diensten het meest bij aan de voetafdruk van de zorgsector.

#### 2.4.2 *Beperkingen*

Interessant is dat uit de berekeningen bleek dat de gezondheidszorg aanzienlijk meer bijdraagt aan de nationale voetafdruk voor abiotische materiaalwinning (13%) dan aan de klimaatvoetafdruk (7%). Verder onderzoek zou zich moeten richten op de vraag of dit bijvoorbeeld wordt veroorzaakt door een 'wegwerpcultuur' in de zorgsector, of juist door eventuele modelonzekerheden. Omgekeerd is bij bijdrage van afvalproductie aan de nationale voetafdruk kleiner (4%) dan de bijdrage van de klimaatvoetafdruk. Dit kan worden veroorzaakt doordat andere sectoren meer of minder dominant zijn in de nationale voetafdruk, maar er zijn nog veel meer onzekere factoren. Specifiek voor de afvalproductie is er een mismatch in de tijd; de afvaldata dateert uit 2011, de voetafdrukberekening is voor 2016. De onzekerheid kan echter ook worden veroorzaakt door mismatches bij de classificatie, onder meer door het aggregatieniveau of onzekerheid in de MRIO-data. Ten slotte is het niet zeker of de voetafdrukberekening volledig is.

#### *Aggregatieniveau in EE-MRIO*

EE-IOA is een methode waarbij snel een relatief complete voetafdrukberekening kan worden gemaakt voor een (deel van een) economie. Echter, omdat het een macro-economische methode is en de data op hoog niveau wordt geaggregeerd (sectoraal of gecombineerde sectoren), is EE-IOA niet subsector- of productspecifiek. Aggregatieproblemen zijn dus inherent aan EE-IOA berekeningen, en juist daarom zijn de resultaten het nuttigst voor het berekenen van de voetafdruk voor een land en/of sector, en niet zozeer voor één specifiek

product of een product(groep). Het aggregatieniveau van de sectoren is afhankelijk van de IO-tabel. Deze discussie bespreekt twee Exiobase-categorieën waarvan het aggregatieniveau grote invloed heeft op de berekening en de interpretatie ervan: *Health and social work* en *Chemicals n.e.c.*

Exiobase v3 voegt alle gezondheids- en welzijnsdiensten samen in één categorie (*Health and social work*). Hierdoor brengen de resultaten slechts algemene inzichten voor alle typen zorgdiensten, terwijl kosten en effecten kunnen verschillen tussen bijvoorbeeld ziekenhuizen en langdurige zorginstellingen. Voor sommige andere landen bestaat wel een onderscheid tussen verschillende zorgfuncties in de input-output-sectorcategorieën (zie tabel SI 2.1 en 2.2 van Lenzen et al.<sup>26</sup>). Op dezelfde manier worden de uitgaven voor Geneesmiddelen & verbruiksartikelen gedekt door Exiobase's *Chemicals n.e.c.*. Dit is een heterogene productgroep, die producten bevat met verschillende prijzen en volumes (bv. eenvoudige zeep versus farmaceutische producten). Hierdoor is het onduidelijk hoe representatief de berekende impact, de grootste bijdrage aan de voetafdruk voor alle impactcategorieën, voor deze productgroep is. Naast de zogenaamde *aggregation bias*, waardoor het onduidelijk is of een specifiek product binnen een productgroep juist wordt gerepresenteerd, is er ook een classificatiemismatch, omdat niet alle geneesmiddelen als chemisch product kunnen worden beschouwd.

Voor toekomstige analyses is het aan te bevelen om een deel van de sectorgegevens uit te splitsen, te beginnen met categorieën *Health and social work* en *Chemicals n.e.c.*. *Health and social work* zou kunnen worden uitgesplitst naar verschillende soorten zorgaanbieders, op basis van verzamelde inkoopgegevens. Een dergelijk bruikbaar overzicht van inkoopgegevens door de verschillende type zorgaanbieders bestaat nog niet. Het wordt op dit moment ontwikkeld als onderdeel van de kennisbasisontwikkeling. Voor *Chemicals n.e.c.* zou moeten worden onderzocht hoe deze categorie in specifiekere subcategorieën kan worden opgesplitst, met ten minste één subcategorie specifiek voor geneesmiddelen. *Chemicals n.e.c.* is namelijk een heterogene groep, die producten bevat met verschillende prijzen en geleverd volume (bv. eenvoudige zeep versus farmaceutische producten). Daardoor is het onduidelijk hoe representatief het berekende effect voor de uitgavencategorie is. Uit een studie begeleid door het RIVM<sup>60</sup> blijkt dat het effect per euro van in Nederland geproduceerde *Basic pharmaceuticals and pharmaceutical preparations* 3 en 7 keer kleiner is dan dat van in Nederland geproduceerde *Chemicals and chemical products* voor respectievelijk de klimaatvoetafdruk en de abiotische grondstoffenvoetafdruk. Dit is berekend met de SNAC-Exiobase, waarbij in de MRIO-tabel alleen voor het Nederlandse deel onderscheid is gemaakt tussen de twee typen producten. Er wordt echter verwacht dat het grootste deel van de geneesmiddelen wordt geïmporteerd. Volgens Exiobase werd in 2016 2,4% van de geconsumeerde *Chemicals n.e.c.* geïmporteerd (zie Bijlage C). De waarden voor Nederland hebben waarschijnlijk weinig effect op het gewogen gemiddelde milieueffect per euro voor *Chemicals n.e.c.*. Wanneer deze cijfers ook voor andere producerende landen bekend zijn, kan een nauwkeurigere analyse worden uitgevoerd; niet alleen van het effect van geneesmiddelen, maar ook van de totale voetafdruk, omdat geneesmiddelen daar een groot

deel van uitmaken. In de MRIO WIOD<sup>61</sup> is er bijvoorbeeld wel een categorie voor *Basic pharmaceuticals and pharmaceutical preparations*, beschikbaar voor alle regio's, maar WIOD kent trade-offs, zoals een lagere sectorresolutie en minder beschikbare milieustressoren (zie paragraaf 2.2.1.3). Voor een nog nauwkeuriger resultaat, en voor inzicht in hoe verschillende geneesmiddelen en/of chemieproducten bijdragen aan dit effect, is een productspecifiek analyse nodig, zoals een levenscyclusanalyse (zie hoofdstuk 3).

Disaggregatie van de twee genoemde Exiobase-categorieën helpt om specifiek inzicht te krijgen in wat handelingsperspectieven kunnen zijn voor verschillende subsectoren van de zorgsector, en zou de resultaten voor producten onder de noemer 'chemieproducten' nauwkeuriger maken. Daarnaast zou het helpen om voor de uitgaven aan consumptieve zorgproducten (Geneesmiddelen & verbruiksartikelen en Therapeutische hulpmiddelen) meer onderscheid te maken tussen de verschillende producten in deze uitgavencategorieën. Dit zijn immers twee categorieën waar een grote verscheidenheid aan producten onder valt. Wanneer er verdere uitsplitsing is tussen geneesmiddelen en verbruiksartikelen naar bijvoorbeeld papier, textiel, plastic en andere chemische verbruiksartikelen, valt de voetafdruk voor Geneesmiddelen & verbruiksartikelen beter te bepalen.

#### *Onzekerheden in EE-MRIO*

In toekomstige studies is het ook aanbevolen om de onzekerheid van de resultaten te onderzoeken met een statistische analyse, met name voor de minder geanalyseerde effectcategorieën. De variatie in resultaten door gebruik van verschillende EE-MRIO's kan in de toekomst worden tegengegaan door een meer structureel geüpdatete en internationaal aanbevolen MRIO toe te passen, beschikbaar gesteld door een grote internationale organisatie als de ICIO-database van de OESO of FIGARO van Eurostat.<sup>62</sup> Nu is niet gekozen voor een dergelijke MRIO vanwege de lage huidige sectorale resolutie en het beperkte aantal milieustressoren. Ten slotte is het ook mogelijk om binnen Exiobase de IO data voor Nederland te vervangen door een speciaal daarvoor opgezette database van het CBS.<sup>63</sup> Dit heet een *Single-country National Accounts Consistent MRIO* (SNAC-MRIO). In dit onderzoek wordt de SNAC Exiobase niet gebruikt, omdat deze minder milieuentensies (alleen broeikasgassen en grondstoffenextractie) biedt dan de originele Exiobase. Bovendien is de openbare SNAC-MRIO op een hoger sectorniveau geaggregeerd, vanwege mogelijk gevoelige informatie voor bepaalde industrietakken.

#### *Volledigheid van de voetafdrukberkening*

Het gebruik van EE-IOA voor de berekening van de sectorale voetafdruk gaat gepaard met een beperking van de systeemgrenzen. Bij de berekening van de sectorale voetafdruk wordt geen rekening gehouden met het effect van de thuisconsumptie van zorgdiensten of -producten. In de MRIO worden alle door huishoudens veroorzaakte milieustressoren (zoals emissies die vrijkomen bij stoken op gas, autorijden, etc.) samengevoegd, zodat de precieze bron van de stressor niet kan worden vastgesteld. Er is één bron toegevoegd van milieueffecten van thuisconsumptie, namelijk het vrijkomen van drijfgassen bij gebruik van dosis-aerosolen. Het zou waardevol zijn om verder onderzoek te doen naar andere milieueffecten die nog niet zijn opgenomen, bijvoorbeeld

door thuisbehandelingen. Ook de milieueffecten van kapitaalinvesteringen door de zorgsector zijn in de huidige aanpak niet meegenomen, omdat Exiobase de bruto-investeringen in vaste activa (*gross fixed capital formation*) van alle sectoren op één rekening zet, als onderdeel van de finale vraag. Aangezien duurzaamheidsstrategieën ook investeringen voor langetermijneffecten omvatten, moet in de toekomst voor de volledigheid worden nagegaan of effecten die verband houden met investeringen in de zorgsector (bv. de bouw van zorgfaciliteiten) aan de voetafdrukresultaten kunnen worden toegevoegd. Hiervoor kunnen schattingen worden gemaakt, bijvoorbeeld op basis van spenddata en/of een bottom-up onderzoek zoals LCA.

### 2.4.3 *Gebruik van de methode en aanbevelingen*

#### *Aanvullen EE-IOA resultaten met LCA-data*

In deze studie zijn productspecifieke gegevens, waaronder LCA-resultaten, gebruikt om de EE-IOA milieuvoetafdrukresultaten aan te vullen en daarmee te verbeteren. Bij de integratie van dergelijke gegevens in de EE-IOA-resultaten moet op een aantal zaken worden gelet. De beschikbare bottom-up effectdata omvatten niet altijd dezelfde fasen van de levenscyclus als de EE-IOA, noch worden resultaten voor dezelfde effectcategorieën gerapporteerd of worden dezelfde karakterisatiefactoren gebruikt. Effectcategorieën die minder gestandaardiseerd zijn, zoals het abiotisch grondstoffenverbruik, vereisen aandacht om ervoor te zorgen dat de gegevens overeenkomen met de EE-IOA-effectcategorieën, terwijl afvalstromen helemaal niet worden meegenomen in een LCA. Om de huidige data makkelijker te integreren in toekomstig werk, kunnen de EE-IOA-resultaten met een veelgebruikte LCA-karakterisatie worden omgezet naar effecten. Een top-downstudie als deze kan als leidraad dienen voor toekomstige bottom-up-schattingen. Wanneer dezelfde effectcategorieën, karakterisering en levenscyclusfasen worden gekozen, kunnen bottom-up-schattingen immers gemakkelijker in de top-down voetafdruk worden verwerkt. Bovendien kunnen nieuwe bottom-up schattingen makkelijker in perspectief worden geplaatst, door te kunnen meten hoeveel deze ongeveer aan de nationale zorgsectorvoetafdruk bijdragen.

#### *Monitoring*

In deze studie is een 'snapshot'-berekening gemaakt van de milieuvoetafdruk van de zorgsector in 2016, maar deze methode is in principe toepasbaar op alle jaren waarvoor MRIO-data beschikbaar is. Er is ten tijde van het schrijven ook data beschikbaar gekomen waarmee de voetafdruk voor de jaren tussen 2016 en 2022 kan worden berekend. Bij deze berekeningen zouden op basis van de macro-economische handelsdata in de MRIO dan opnieuw de jaarafhankelijke effect-per-euro cijfers (de effectintensiteiten) worden berekend, welke vervolgens worden gebruikt voor de voetafdrukberekening van dat jaar. Men moet er dan rekening mee houden dat het effect van verduurzaming niet altijd zichtbaar is in de resultaten voor de nieuwe jaren, mocht die in werkelijkheid hebben plaatsgevonden. Met EE-IOA alleen kan geen onderscheid worden gemaakt in duurzame(re) inkoop binnen één productgroep, bijvoorbeeld binnen (*Manufacturing of*) *office machinery and equipment*. Er zal in alle gevallen met dezelfde gemiddelde effectintensiteit worden gerekend, ongeacht of het bijvoorbeeld een 'groenere' printer is of niet. Bij EE-IOA wordt ervan uitgegaan dat het

effect lineair is aan de uitgaven. Een duurder, duurzamer alternatief kan in effect dus zelfs hoger uitvallen. Om het effect van een duurzaamheidsstrategie - waarbij het duurzamere alternatief in dezelfde MRIO-productgroep valt als het standaardproduct - op de voetafdruk te bepalen, is dan een bottom-up studie nodig.

#### *Scenarioanalyse*

Ten slotte vormt deze EE-IOA-voetafdrukberekening een basis voor scenarioanalyses. EE-IOA is een geschikte methode om grofkorrelig 'wat als'-scenario's door te rekenen voor duurzame<sup>64</sup> en circulaire<sup>65</sup> transitie. Ten opzichte van LCA kan EE-IOA de effecten door veranderingen (diep) in de keten makkelijker doorrekenen. Naast het effect van 'directere' strategieën (zoals verminderen van voedselverspilling), kan het zo bijvoorbeeld dus ook de door het International Energy Agency<sup>66</sup> voorspelde effecten van de wereldwijde energietransitie op de voetafdruk van de zorgsector doorrekenen, zoals is gedaan door HCWH & Arup<sup>67</sup>.

#### 2.4.4 *Conclusie milieuvoetafdruk Nederlandse zorgsector*

Deze studie presenteert de eerste sectorbrede voetafdrukstudie voor de Nederlandse zorgsector waarin meerdere milieu-effectcategorieën worden beoordeeld, en die is bedoeld om duurzaamheidsstrategieën of -doelstellingen mee te formuleren. Hiermee is aangetoond dat een set van milieu-effectcategorieën breder dan klimaatverandering (met abiotische grondstoffenextractie, zoetwaterverbruik, landgebruik en afvalproductie) een uitgebreider inzicht geeft in het effect van de zorgsector op het milieu. EE-IOA, de primaire methode die in deze studie is gebruikt, is een geschikte methode gebleken om de totale milieuvoetafdruk te berekenen, sectorale hotspots aan het licht te brengen en een consistente vergelijking tussen verschillende milieueffectcategorieën mogelijk te maken. Ook worden de resultaten gepresenteerd vanuit twee perspectieven, namelijk met een contributie- en hotspotanalyse. Hiermee is voor het eerst inzichtelijk gemaakt welke producten en activiteiten bijdragen aan verschillende milieueffectcategorieën, en waar deze effecten ontstaan. De resultaten laten ook zien dat de broeikasgasemissies en afvalproductie ten opzichte van andere milieueffect categorieën meer operationeel en binnen Nederland plaatsvinden, en daarom directe handelingsperspectieven bieden om meer klimaatneutraal te werken en afval te verminderen. Voor de andere effectcategorieën blijkt dat de effecten zich voornamelijk voordoen in de keten van ingekochte goederen en diensten. Dit vereist andere duurzaamheidsstrategieën, zoals groen inkopen of samenwerking in de waardeketen.

Voor de huidige studie is gebruik gemaakt van de meest recente nationale statistieken in combinatie met de MRIO Exiobase, is de brede definitie van de zorg (zorg en welzijn) gebruikt om overeen te komen met de zorgsector in de MRIO, en zijn zorgsector-specifieke effecten aan de voetafdruk toegevoegd. Onze aanpak verschilt daarom van die van andere studies voor de Nederlandse zorgsector, wat het waargenomen verschil tussen de resultaten voor de klimaatvoetafdruk mede verklaart. Desondanks is het geaggregeerde resultaat voor de klimaatvoetafdruk vergelijkbaar met de andere studies, wanneer wordt gekeken naar de bijdrage van de zorgsector aan de nationale consumptieve voetafdruk



(6-8%). Ook blijkt uit de contributieanalyse, net zoals in andere studies (voor Nederland en andere landen), dat het effect van geneesmiddelen en andere chemieproducten als productgroep het meeste bijdraagt aan de klimaatvoetafdruk. Ook blijkt dat deze productgroep een groter aandeel in de andere effectcategorieën inneemt. Vanwege het hoge aggregatieniveau in de MRIO-data en de zorguitgaven wordt het effect van geneesmiddelen en andere chemieproducten met een bottom-up analyse onderzocht in hoofdstuk 3.

Kortom, de *state-of-the-art* milieuvoetafdruk die in deze studie wordt gepresenteerd, maakt milieueffecten van de Nederlandse zorgsector meer inzichtelijk: welke productgroepen dragen bij, waar vinden de impacts plaats en hoe verschilt dit per milieueffectcategorie? Het model dient als startpunt om inzichten verder te verbeteren met stappen van disaggregatie en aanvullende bottom-up data, en kan worden gebruikt voor scenariomodellering om het effect van duurzaamheidsstrategieën te schatten. Deze studie is relevant voor zowel beleidsmakers als zorgorganisaties die willen werken aan klimaatmitigatie, samen met andere maatschappelijke uitdagingen als de transitie naar een circulaire economie (materiaalwinning en afvalproductie), het voeden van de groeiende wereldbevolking (zoetwaterverbruik en landgebruik) en biodiversiteit (idem), voor een gezonde toekomst voor iedereen. Een algemene reflectie, discussie en verdere aanbevelingen staan in hoofdstuk 5.



### 3 Verdieping chemieproducten, waaronder geneesmiddelen

Uit Hoofdstuk 2 blijkt dat de Nederlandse zorgsector een significante milieuvoetafdruk heeft, die verder gaat dan alleen klimaatverandering. Driekwart van de klimaatvoetafdruk komt van goederen en diensten die de Nederlandse zorgsector inkoopt. Chemieproducten - waarbij het grootste deel van de uitgaven wordt besteed aan geneesmiddelen - dragen van alle ingekochte producten en diensten het meest bij aan klimaatverandering, grondstoffenextractie, waterverbruik, landgebruik en afvalproductie (zie Figuur 8 in Hoofdstuk 2).

Om een stap te kunnen zetten naar maatregelen om te verduurzamen, is beter zicht nodig op de milieueffecten van chemieproducten. Hiervoor is het nodig om te weten welke individuele chemieproducten of geneesmiddelen precies de grootste effecten hebben, en in welk deel van de levenscyclus deze milieudruk plaatsvindt. Dit hoofdstuk beschrijft hoe op twee verschillende manieren meer inzicht is verkregen in milieueffecten van chemieproducten, en wat er verder nodig is om dit inzicht te vergroten of effecten te kunnen voorspellen. De ene aanpak is een bottom-up benadering, waarbij gegevens over levenscyclusanalyses (LCA's) van farmaceutische producten uit bestaande literatuur zijn verzameld en beoordeeld (zie paragraaf 3.1). Als tweede is een verkenning uitgevoerd naar het voorspellen en schatten van levenscycluseffecten met behulp van kunstmatige intelligentie (zie paragraaf 3.2).

#### 3.1 literatuurverkenning milieuvoetafdruk chemieproducten

##### 3.1.1 *Inleiding*

Zoals in hoofdstuk 2 beschreven, hebben geneesmiddelen en andere chemieproducten een groot aandeel in de milieuvoetafdruk van de Nederlandse zorgsector. De gerapporteerde klimaatvoetafdruk van deze productgroep is ook in andere landen hoog. De inkoop van geneesmiddelen en andere chemieproducten draagt 20% bij aan van de klimaatvoetafdruk van de zorgsector van alle OESO-landen.<sup>4</sup> Maar ook studies naar zorgsectoren van individuele landen rapporteren een hoge bijdrage van chemieproducten, waaronder geneesmiddelen, zoals Japan (18%)<sup>18</sup>, Oostenrijk (21%)<sup>22</sup>, Engeland (20%)<sup>24</sup> en China (55%)<sup>23</sup>. Verdieping in de milieuvoetafdruk van chemieproducten, waaronder geneesmiddelen, is dus niet alleen relevant om de voetafdruk van de Nederlandse zorgsector omlaag te brengen. Beter inzicht in deze voetafdruk biedt andere landen ook perspectief om de milieudruk van hun zorgsector te verlagen.

Door details over chemieproducten toe te voegen aan de nationale milieuvoetafdruk van de zorgsector, ontstaat een hybride voetafdrukanalyse. Met hybride voetafdrukanalyse wordt het combineren van generieke landelijke data (berekend met input-outputanalyse; IOA) en specifieke data (berekend met LCA) bedoeld, zoals in dit rapport is gedaan. Voor geneesmiddelen worden idealiter statistieken over het verstrekken van medicatie en LCA-gegevens gecombineerd. In deze LCA-gegevens wordt onderscheid gemaakt

tussen voorraadgegevens (*inventory data*, zoals emissies, grondstoffengebruik en energieconsumptie) en effecten (het gekwantificeerde effect veroorzaakt door de emissies en grondstofwinning).

Een verkenning naar beschikbare LCA-data van geneesmiddelen laat zien of het een haalbare route is om voetafdrukberendingen uit de literatuur te combineren met nationale statistieken over medicatie. Daarnaast is verkend of er in de literatuur duurzame alternatieven zijn. Communicatie hierover draagt tenslotte bij aan een grotere bewustwording over duurzaam gebruik van geneesmiddelen en chemieproducten in de zorg.

Het doel van dit hoofdstuk is om te verkennen hoe LCA-studies kunnen bijdragen aan een gedetailleerdere nationale milieuvoetafdruk van chemieproducten in de zorg. Deze informatie kan uiteindelijk worden gebruikt om een beter inzicht te geven in de milieueffecten van geneesmiddel(groep)en als onderdeel van de totale, nationale milieuvoetafdruk van de zorgsector. Die informatie dient om een overzicht te krijgen van waar en waardoor milieueffecten van geneesmiddelen plaatsvinden (hotspots), wat de mogelijkheden voor het verkleinen van de milieueffecten zouden kunnen zijn, of welke onderwerpen moeten worden geprioriteerd om te kunnen verduurzamen.

### 3.1.2 *Methode*

Met behulp van de zoekmachines PubMed, Scopus en Google Scholar is gezocht naar LCA's van geneesmiddelen en chemicaliën in de zorg. Er is gebruik gemaakt van combinaties van zoektermen als 'Life Cycle Assessment/Analysis', 'LCA', 'medicines', 'chemicals', 'pharmaceuticals', 'API', 'health care', 'hospitals', 'footprint', 'green deal' en 'production'. De focus lag op het productieproces en de gebruiksfase van geneesmiddelen en chemicaliën in de zorg, maar de einde-levensfase valt ook binnen de scope.

Daarnaast is contact gezocht met verschillende belanghebbenden uit de sector. Met het doel de zoekopdracht te verfijnen en meer (primaire) LCA's op te halen, is gesproken met medewerkers van farmaceutische bedrijven (AstraZeneca en Johnson & Johnson), met wetenschappers van de Universiteit Gent in België en met experts op het gebied van duurzaamheid of farmaceutische producten (RIVM).

Nationale statistieken over geneesmiddelgebruik zijn afkomstig van GIPdatabank. Het Zorginstituut Nederland verzamelt verstrekingscijfers per type medicatie in GIPdatabank. Zorgverzekeraars leveren deze statistieken jaarlijks aan. Zelfzorggeneesmiddelen zijn niet in deze statistieken opgenomen.

### 3.1.3 *Resultaten*

Uit de verzamelde literatuur blijkt dat het meeste onderzoek is gedaan naar middelen voor anesthesie<sup>68-71</sup>, inhalatoren bij astma en COPD<sup>72-74</sup> en pijnstillers.<sup>22,75,76</sup> Ook naar de klimaatvoetafdruk van antibiotica is onderzoek gedaan.<sup>22</sup> Deze studies worden daarom gebruikt voor de

verdere interpretatie naar geschiktheid voor een voetafdrukberekening van het Nederlandse geneesmiddelgebruik.

De scope van de onderzochte LCA's ligt bij een aantal onderzoeken alleen op het productiegedeelte van de levenscyclus (*cradle-to-gate*, vaak grondstofwinning tot en met fabriek/poort). In andere studies ligt de focus op de gehele levenscyclus, van wieg tot graf (*cradle-to-grave*). Cradle-to-grave-studies nemen naast de milieueffecten uit het productieproces ook de gebruiksfase en de einde-levensfase (afval) voor het product mee. Ook afbakeningen als *gate-to-gate* (alleen in een fabriek bijvoorbeeld) of *cradle-to-cradle* (tweede of meer levenscycli) zijn mogelijk. De laatste is hier minder van toepassing. Er werden weinig gegevens gevonden over andere manieren van afvalverwerking dan afvalwaterzuivering. Ten slotte werd er vaak alleen over de klimaatvoetafdruk (in CO<sub>2</sub>-equivalenten) gerapporteerd, en niet over andere milieueffectcategorieën.

#### 3.1.3.1 Anesthetica

Uit een *cradle-to-grave*-LCA van Sherman et al.<sup>71</sup> naar vier anesthesiegassen bedoeld voor inhalatie (desfluraan, sevofluraan, isofluraan en distikstofmonoxide) en één voor intraveneuze (IV) toediening (propofol), blijkt dat er duurzamere keuzes gemaakt kunnen worden in manieren om te verdoven. Desfluraan is wat betreft broeikasgasemissies het meest schadelijk voor het klimaat, gevolgd door sevofluraan en isofluraan. Propofol is het meest klimaatvriendelijke alternatief. Er zijn daarnaast ook andere niet-inhalatie verdovingstechnieken die minder milieubelastend zijn, zoals intraveneuze anesthesie en neuraxiale of perifere zenuwblokkade.<sup>71</sup> De broeikasgasemissies namen voor alle dampvormige anesthetica significant toe wanneer deze werden toegediend met een combinatie van zuurstof en distikstofmonoxide (N<sub>2</sub>O, ofwel lachgas). N<sub>2</sub>O is een standaard draaggas voor inhalatie-anesthetica in een klinische toepassing. Dit gas heeft een zeer sterk aardopwarmingsvermogen over een periode van 100 jaar (de gangbare periode). Met een GWP100 van 298 is 1 kg N<sub>2</sub>O dus net zo belastend voor het klimaat als 298 kg CO<sub>2</sub>.<sup>70</sup>

Een duurzamere toedieningsvorm is een combinatie van zuurstof met lucht.<sup>71</sup> De onderzoekers raden aan om desfluraan en distikstofmonoxide alleen te gebruiken wanneer het de morbiditeit (ziektcijfer) en mortaliteit (sterftcijfer) verlaagt ten opzichte van de alternatieven. Daarnaast is het advies om voor alle inhalatie-anesthetica het gebruik van onnodig hoge gasstroomsnelheden te vermijden.

Uit een Britse *cradle-to-grave* studie uit 2021 naar inhalatie-anesthetica en intraveneuze verdoving, komt inderdaad naar voren dat het inhalatiegas sevofluraan een vergelijkbare klimaatvoetafdruk kan hebben als propofol wanneer het met de traagst mogelijke gasstroomsnelheid wordt toegediend, met zuurstof en lucht als draaggassen in plaats van distikstofmonoxide, en wanneer er bij het toedienen gebruik wordt gemaakt van afvangtechnieken (*vapour capture technology*, VCT).<sup>69</sup>

Door anders toe te dienen kan de anesthesist de klimaatvoetafdruk van inhalatie-anesthetica dus verkleinen. De onderzoekers benoemen echter dat VCT een nog weinig toegepaste techniek is. Daarnaast benoemen ze

dat propofol weer significant lagere broeikasgasemissies zal hebben dan inhalatie-anesthetica met VCT, als het middel met hernieuwbare energie wordt geproduceerd.

Dat er klimaatvriendelijkere alternatieve middelen voor anesthesie bestaan, blijkt ook uit een studie van Parvatker et al.<sup>68</sup>. In deze studie is een cradle-to-gate-LCA uitgevoerd met twintig verschillende injecteerbare middelen voor anesthesie in bulkverpakking, en is gekeken naar bijbehorende broeikasgasemissies. De effecten van de middelen op het klimaat verschillen flink, en vallen binnen een bereik van 11 kg CO<sub>2</sub>-equivalent (succinylcholine) tot ongeveer 3.000 kg CO<sub>2</sub>-equivalent (dexmedetomidine) per kg werkzame stof (*active pharmaceutical ingredient*, API). De wetenschappers suggereren dat deze verschillen mogelijk te maken hebben met het aantal synthesestappen van elke stof. Dit baseren ze op een zwakke positieve trend ( $R^2=0,39$ ) tussen de broeikasgasemissies van de anesthetica en het aantal synthesestappen van elke stof.

In een literatuuronderzoek van McGain et al.<sup>70</sup> naar duurzaamheidsaspecten van anesthetica in *critical care* (niet verder gedefinieerd) wordt aanbevolen om het gebruik van anesthesiegassen met een hoog aardopwarmingsvermogen, uitgedrukt in *global warming potential* (GWP), te vermijden, en het gebruik van anesthesiegassen in zijn geheel te verminderen.

### 3.1.3.2 Inhalatiemedicatie bij astma en COPD

Klachten bij astma en COPD (*chronic obstructive pulmonary disease*) kunnen worden verlicht door gebruik van dosisaerosolen. Dosisaerosolen worden ook wel 'dosisinhalatoren' of 'puffertjes' genoemd.

Tabel 11 geeft een overzicht van de verschillende studies naar klimaat-effect in de levenscyclus van inhalatoren. De tabel laat zien dat de typen dosisaerosolen die op de markt zijn tijdens hun levenscyclus een verschillende klimaatvoetafdruk hebben. De Proventil® dosisaerosol uit Goulet et al.<sup>73</sup> gebruikt bijvoorbeeld 60% minder norfluraan (HFC134a) dan de marktstandaard. Volgens Jeswani & Azapagic<sup>74</sup> is het effect van deze inhalator vergelijkbaar met een ander type dosisaerosol met minder drijfgas, Airomir®. Een andere verklaring voor de verschillen zijn de gebruikte berekeningen voor het aardopwarmingsvermogen. Wilkinson et al.<sup>77</sup> nemen voor HFC134a een aardopwarmingsvermogen (GWP) van 1.300, terwijl Jeswani & Azapagic<sup>74</sup> een GWP van 1.550 (inclusief *climate-carbon feedback*, de aanname dat koolstofreservoirs aanzienlijk zwakker worden bij klimaatopwarming) gebruiken. Eén dosis is gedefinieerd als twee inhalaties/*actuations* met een dosisaerosol en slechts één inhalatie met een droogpoederinhalator.<sup>78</sup> Jeswani & Azapagic<sup>74</sup> geven aan dat de aanbevolen dosering bij dosisinhalatoren varieert van één pufje (bij milde klachten) tot 4 pufjes (bij zware klachten) per dosis.

Tabel 11 Overzicht van de resultaten uit de literatuur van het klimaateffect voor dosisaerosolen en poederinhalatoren.

Bron	g CO <sub>2</sub> -eq / dosis HFC-134a pMDI	g CO <sub>2</sub> -eq / dosis HFC-227ea pMDI	g CO <sub>2</sub> -eq / dosis DPI	Productnaam	Opmerkingen
<b>Jeswani &amp; Azapagic<sup>74</sup></b>	263	697	9	DPI: Diskus inhaler	Voorzetkamers bij pMDI niet meegenomen. Cradle-to-grave.
<b>Wilkinson et al.<sup>77</sup></b>	260-394	590	-	HFC134a: ICS/LABA zoals Fostair® HFC227ea: ICS/LABA zoals Flutiform®	Via o.a. FDA-rapport, patenten. Scope niet duidelijk.
<b>Goulet et al.<sup>73</sup></b>	97	-	-	HFC134a: Proventil®	Proventil® inhaler die al 60% minder drijfgas gebruikt dan vergelijkbaar. Cradle-to-use phase, zonder verpakking en transport.
<b>UNEP<sup>78</sup></b>	200-300	600-800	8-60	Niet gespecificeerd	Emissies door productie en gebruik
<b>Orion Pharma<sup>79</sup></b>	-	-	3,05 – 9,53	DPI: Easyhaler®	6 typen Easyhaler poederinhalatoren, cradle-to-grave. Industriedata.
<b>Fulford et al.<sup>72</sup></b>	-	-	1,54 – 15,77	DPI: Breezhaler®	Breezhaler® 90 day & 30 day poederinhalator die IND/MF of IND/GLY/MF levert. 1 capsule per dag = 1 dosis. Cradle-to-grave, met capsuleproductie, maar zonder API.

\* HFC: Hydrofluorocarbon; HFC134a: 1,1,1,2-tetrafluoroethane; HFC227ea: 1,1,1,2,3,3,3-heptafluoropropane. Eén dosis = 2 inhalaties (pufjes) uit de dosisinhalator of 1 inhalatie met een poederinhalator. DPI: droogpoederinhalator. ICS: Inhaled Corticosteroids; LABA: Long-Acting Beta-Antagonists. Indacaterol acetate (IND), glycopyrronium bromide (GLY) en mometasone furoate (MF) zijn vervangers als inhalatiesteroiden en beta-antagonisten niet goed werken.

De drijfgassen in deze inhalatoren hebben een aanzienlijk aardopwarmingsvermogen.<sup>74</sup> Zoals de voetafdrukberekening in hoofdstuk 2 laat zien, leidt het gebruik van dosisaerosolen tot een bijdrage van bijna 0,4% aan de klimaatvoetafdruk van de Nederlandse zorg. Alternatieven met een lager klimaateffect zijn droogpoederinhalatoren<sup>74</sup> en elektrische vernevelaars<sup>73</sup>. Voor de productie van één type droogpoederinhalator, de Diskus, zijn echter meer grondstoffen nodig dan voor dosisaerosolen.<sup>74</sup> Een kanttekening die door Wichers & Pieters<sup>80</sup> bij deze studie wordt gemaakt, is dat de productie van de voorzetkamer niet is meegenomen bij dosisaerosolen. Voorzetkamers zijn bij het gebruik van de dosisaerosol nodig om goed te kunnen inhaleren. Patiënten van elke leeftijd moeten een voorzetkamer gebruiken om voldoende inhalatiecorticosteroiden binnen te krijgen. Het hogere grondstoffengebruik van de Diskus droogpoederinhalator ten opzichte van de dosisaerosol leidt volgens Jeswani & Azapagic<sup>74</sup> tot een toename in milieueffecten bij de productie van de Diskus, waaronder toxiciteit voor mensen, mariene eutrofiëring en uitputting van fossiele bronnen. De milieueffecten worden door Jeswani & Azapagic<sup>74</sup> verder niet met elkaar afgewogen.

### 3.1.3.3 Pijnstillers

Er zijn LCA-studies te vinden van vijf typen werkzame stoffen in pijnstillers: morfine, ibuprofen, naproxen, paracetamol en acetylsalicylzuur (aspirine). Een aantal van deze stoffen wordt niet alleen gebruikt voor pijnstilling, maar ook bij andere indicaties. Een voorbeeld daarvan is het gebruik van acetylsalicylzuur als tromboseremmer. De toepassing en mogelijke voetafdruk bij deze indicaties wordt hier ook besproken.

Uit een cradle-to-gate-LCA naar de productie van IV-morfine (100 mg/100 ml) blijkt dat de productie van 100 mg finaal verpakte morfine 204 g CO<sub>2</sub>-eq bijdraagt aan klimaatverandering.<sup>76</sup> Hiervan wordt het merendeel (90%) veroorzaakt door de laatste productiestappen: steriliseren en verpakken. De onderzoekers geven aan dat daar mogelijk ook opties voor verduurzaming liggen, aangezien het steriliseren en verpakken van farmaceutische producten universeel is, en zich niet alleen beperkt tot morfine. De productie van één dosis morfine wordt in het onderzoek wat CO<sub>2</sub>-emissies betreft vergeleken met het rijden van één kilometer in een gemiddelde Australische auto of het eenmalige gebruik van een plastic anesthesie *drug tray*.

De onderzoekers adviseren de farmaceutische industrie om hun klimaatvoetafdruk te verkleinen door efficiënter om te gaan met energie en gebruik te maken van hernieuwbare energie, door in te zetten op recycling van onder meer PVC-plastic, en door het verpakken van stoffen te verbeteren (verduurzamen).

In de eerdergenoemde studie van Parvatker et al.<sup>68</sup> naar verschillende anesthesiemiddelen is ook naar morfine gekeken. Met een klimaateffect van 1.506 kg CO<sub>2</sub>-eq/kg morfine voor de synthetische productie van morfine verschilt dit van de door McAlister et al.<sup>76</sup> berekende 240 kg CO<sub>2</sub>-eq voor 1 kg morfine in bulkvorm. Parvatker et al.<sup>68</sup> verklaren het verschil tussen deze bevindingen door een verschil in het syntheseproces. Het blijkt dat de synthetische productie van morfine



een groter effect heeft op het klimaat dan wanneer het hoofdbestanddeel van morfine wordt geproduceerd met natuurlijke opium uit papaver.<sup>68</sup>

Siegert et al.<sup>75</sup> voerden een volledige cradle-to-grave-LCA uit naar de volgende milieueffectcategorieën van ibuprofen-tabletten: klimaatverandering, toxiciteit voor mensen (zowel kankerverwekkend als niet-kankerverwekkend), ecotoxiciteit en consumptie van abiotische grondstoffen. De geografische scope was Duitsland, en ook verpakking en distributie van de tabletten is meegenomen. De onderzoekers concludeerden dat de productiestap (fabricage van de werkzame stof, galenische formulering en verpakking) van dit middel de grootste bijdrage levert aan alle milieueffecten in de levenscyclus, terwijl de milieueffecten van de gebruiksfase en de einde-levensfase verwaarloosbaar klein zijn. De distributie draagt voor iets meer dan 25% bij aan de totale klimaatvoetafdruk.<sup>75</sup> De onderzoekers plaatsen wel de kanttekening dat nog weinig bekend is over de milieueffecten van ibuprofen-metabolieten. Ibuprofen komt waarschijnlijk op de prioritaire stoffenlijst van de Kaderrichtlijn Water.<sup>81</sup> Dan gaan er Europese normen gelden, wat kan leiden tot de noodzaak om rioolwaterzuiveringsinstallaties aan te passen. Ook dat kost energie en materialen.

Een studie van Weisz et al.<sup>22</sup> onderzocht het effect van de Oostenrijkse zorgsector op het klimaat. Er werd hiervoor onder meer gekeken naar de klimaateffecten van vier verschillende pijnstillers. De uitstoot voor pijnstillers is berekend met een stoichiometrische benadering, gebaseerd op de chemische reacties van het API-syntheseprocess, waarbij emissiefactoren (afkomstig uit Ecoinvent database v3.2) werden gezocht bij afzonderlijke API-componenten van elke pijnstiller. Andere componenten (hulpstoffen) en productiestappen (bijvoorbeeld sterilisatie, verpakking en vervoer) zijn bij deze berekening buiten beschouwing gelaten. Naproxen, ibuprofen, aspirine en paracetamol dragen respectievelijk voor 2,3; 3,1; 4,9 en 7,8 gram CO<sub>2</sub>-equivalent per gram werkzame stof bij aan klimaatverandering. De onderzoekers benoemen daarnaast dat de pijnstillers ondanks hun in verhouding tot bijvoorbeeld antibiotica lage emissie-intensiteit (in g CO<sub>2</sub>-eq/g API), wel een grote jaarlijkse bijdrage leveren aan de totale uitstoot door medicatiegebruik, vanwege de grote volumes waarin deze geneesmiddelen gebruikt worden. In 2014 zorgden de vier typen pijnstillers in Oostenrijk voor 0,69 kiloton CO<sub>2</sub>-eq uitstoot. In de volgende alinea's wordt de Nederlandse uitstoot van pijnstillers berekend op basis van de emissiefactoren van Weisz et al.<sup>22</sup>.

Acetylsalicylzuur (aspirine) staat op nummer 8 in de top-500 van geneesmiddelen op basis van het aantal gedefinieerde dagdoseringen (*defined daily doses*, DDD's) in Nederland, als het wordt voorgeschreven als trombocytenaggregatieremmer (ATC-code B01AC06).<sup>82</sup> Een DDD is bedoeld als rekeneenheid om geneesmiddelen te vergelijken op basis van dosis-equivalente hoeveelheden. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) stelt deze vast voor geneesmiddelen bij bepaalde (hoofd)indicaties. Het gewicht van een DDD van een geneesmiddel is beschikbaar via de WHO-database en het Farmacotherapeutisch Kompas.<sup>83</sup> Het jaarlijkse aantal DDD's in Nederland van de pijnstillers

die Weisz et al.<sup>22</sup> hebben beschreven, is te vinden in Tabel 12 en Bijlage K. Ook combinatiepreparaten met de pijnstillers zijn in de tabel opgenomen.

De gegevens in Tabel 12 betreffen alleen middelen die bij zorgverzekeraars zijn gedeclareerd. Acetylsalicylzuur als pijnstiller (ATC-code N02BA01) komt slechts in kleine aantallen voor op de lijst, omdat alleen een klein aantal parenteraal toegediende doses is gedeclareerd. De hoeveelheden orale toediening komen niet in de lijst voor, omdat 'een aspirientje' ook bij de drogist wordt verkocht, en dan niet wordt meegenomen in de gegevens van zorgverzekeraars. Als een geneesmiddel niet wordt vergoed vanuit de Zorgverzekeringswet, wordt er niet over in GIPdatabank gerapporteerd. Omdat de jaarlijkse DDD's van zelfzorggeneesmiddelen (over-the-counter, OTC-geneesmiddelen) niet voorkomen in de statistieken van GIPdatabank, kan de milieudruk van waarschijnlijk een groot deel van de pijnstillers nu niet worden berekend.

Opvallend is dat de samenstelling van paracetamol tot een relatief hoge uitstoot van 23,4 g CO<sub>2</sub>-eq/DDD leidt. Paracetamol wordt verkregen door reactie van 4-aminophenol met azijnzuuranhydride. Deze reactie vormt een amidebinding en levert azijnzuur op als bijproduct. De productie van azijnzuuranhydride heeft een relatief hoge klimaatvoetafdruk.<sup>22</sup>

Tabel 12 laat alleen de klimaatvoetafdruk van grondstoffen voor de werkzame stof zien. Dit is slechts een deel van de effecten uit de hele keten van deze middelen. Ter vergelijking: het klimaateffect over de hele levenscyclus van ibuprofen in Siegert et al.<sup>75</sup> is met 36,25 g CO<sub>2</sub>-eq/g API meer dan tien keer groter dan de berekening van Weisz et al. in Tabel 12. Ook de formulering van ibuprofen-tabletten met hulpstoffen heeft een grote milieudruk.<sup>84</sup> Het is dus te verwachten dat de grootste klimaateffecten voor deze middelen in de formulerings- en distributiestappen plaatsvinden. Ook zijn andere milieueffecten, zoals toxiciteit of waterverbruik, door Weisz et al.<sup>22</sup> niet meegenomen. Er kan op basis van deze tabel dus nog geen afweging tussen geneesmiddelen worden gemaakt. De tabel laat wel zien hoe de dosering en toediening effect kunnen hebben op de klimaatvoetafdruk van grondstoffen van de werkzame stof. Men kan zien welke werkzame stof verder moet worden bekeken om te zien hoe en waar in de keten deze kan worden verduurzaamd. Deze gegevens kunnen ook worden gebruikt in vervolgonderzoek over de gehele levenscyclus, met meerdere (milieu)effecten.

Tabel 12 Het aantal dagdoseringen (DDD's) in 2020 via GIPdatabank en emissiefactoren van grondstoffen voor de werkzame stof van acetylsalicylzuur, ibuprofen, naproxen en paracetamol en combinatiepreparaten via Weisz et al.<sup>22</sup> (2020). Let op dat het hier alleen om de klimaatvoetafdruk van een deel van de levenscyclus gaat, en dat er ook geen andere milieueffecten zijn meegenomen, zoals landgebruik, afval of ecotoxiciteit. Op basis van deze tabel kan dus nog niet worden gezegd dat het ene geneesmiddel bij gebruik duurzamer is dan het andere. Zelfzorggeneesmiddelen zijn niet meegerekend.

ATC-code, werkzame stoffen (merknaam)	DDD in 2020	g API /DDD	Toediening	g CO <sub>2</sub> -eq /g API	g CO <sub>2</sub> -eq /DDD
<b>B01AC06</b> Acetylsalicylzuur (Aspirine protect ®)	211.497.137	0,1	O	4,9	0,49
<b>B01AC30</b> Clopidogrel/ acetylsalicylzuur	44.536	0,075	O	4,9	0,37
<b>N02BA01</b> Acetylsalicylzuur	1.151	1	P	4,9	4,9
<b>N02BA51</b> Acetylsalicylzuur combinatie- preparaten	44.181	2,7	O	4,9	13,23
<b>M01AE01</b> Ibuprofen	10.211.585	1,2	O,P,R	3,1	3,72
<b>M01AE02</b> Naproxen	36.748.218	0,5	O,R	2,3	1,15
<b>M01AE52</b> Naproxen met esomeprazol	100.870	0,5	O	2,3	1,15
<b>N02BE01</b> Paracetamol	.	3	O,P,R	7,8	23,4
<b>N02AJ13</b> Tramadol met paracetamol	7.275.684	3	O	7,8	23,4

Toediening: O = oraal, P = parenteraal, R = rectaal

Eén DDD van acetylsalicylzuur als trombocytenaggregatieremmer (ATC-code B01AC06)<sup>83</sup> is vastgesteld op één tablet. Omdat de WHO de DDD niet verder specificeert, gaan we uit van 100 mg als het merk Aspirine Protect ® wordt gebruikt.<sup>85</sup> In het jaar 2020 was het aantal DDD's voor dit middel 211.497.137. De uitstoot in CO<sub>2</sub>-eq in Nederland in het jaar 2020 wordt dan geschat op 211.497.137 DDD's x 0,1 g x 4,9 g CO<sub>2</sub>-eq = 0,1 kiloton CO<sub>2</sub>-eq (zie ook Tabel 13). Het gewicht per DDD ligt hoger wanneer acetylsalicylzuur als pijnstillers wordt gebruikt. De dagdosering is dan 3 gram bij oraal en rectaal gebruik, en 1 gram voor parenterale toediening (dan uitgedrukt als lysine acetylsalicylate; ATC-code N02BA01).<sup>83</sup>

Tabel 13 toont een overzicht van de klimaatvoetafdruk van de grondstoffen van de werkzame stoffen aspirine, ibuprofen, naproxen en

paracetamol(combinaties). Van 2016 tot 2018 was de berekende klimaatvoetafdruk van deze middelen stabiel tussen de 1,1 en 1,4 kiloton CO<sub>2</sub>-eq per jaar. De cijfers van 2019 en 2020 geven een lager beeld van de totale uitstoot van deze vier typen pijnstillers, omdat er toen niet over DDD's van paracetamol als enkelvoudig actief ingrediënt is gerapporteerd.

Een kanttekening is ook dat Weisz et al.<sup>22</sup> de emissiefactor alleen voor de productie van de bestanddelen van de werkzame stof hebben berekend. De formulering tot farmaceutisch product, het gebruik van hulpstoffen, het transport, de verpakking, de gebruiksfase en de eindelevensfase vallen niet onder deze emissiefactor. Dit leidt tot een onderschatting van de totale klimaatvoetafdruk van de finale producten. De emissies van een volledige levenscyclus van pijnstillers zullen daarom hoger liggen.

*Tabel 13 Nederlandse klimaatvoetafdruk van grondstoffen voor de werkzame stoffen acetylsalicylzuur, ibuprofen, naproxen en paracetamol in kiloton CO<sub>2</sub>-eq op basis van verstrekingscijfers van GIPdatabank en emissiefactoren Weisz et al.<sup>22</sup>. Let op dat het hier alleen om de klimaatvoetafdruk van een deel van de levenscyclus gaat, en dat zelfzorggeneesmiddelen niet zijn meegerekend.*

<b>Werkzame stof (ATC-codes)</b>	<b>kt CO<sub>2</sub>- eq in 2016</b>	<b>kt CO<sub>2</sub>- eq in 2017</b>	<b>kt CO<sub>2</sub>- eq in 2018</b>	<b>kt CO<sub>2</sub>- eq in 2019</b>	<b>kt CO<sub>2</sub>- eq in 2020</b>
<b>Acetylsalicylzuur, alle combinaties (BA01AC06, BA01AC30, N02BA01, N02BA51)</b>	0,11	0,11	0,11	0,11	0,10
<b>Ibuprofen (M01AE01)</b>	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04
<b>Naproxen, alle combinaties (M01AE02, M01AE52)</b>	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
<b>Paracetamol, alle combinaties (N02BE01, N02AJ13)</b>	0,93	1,02	1,15	0,18	0,17
<b>Totaal</b>	1,13	1,23	1,35	0,37	0,35

Deze berekeningen zijn een voorbeeld van hoe bottom-up-gegevens kunnen bijdragen aan de berekening van de totale nationale milieuvoetafdruk voor de zorg. Een nadeel van deze berekening is dat de emissiefactoren slechts stoichiometrisch zijn berekend, en dat de gegevens van GIPdatabank alleen medicatie betreffen die door zorgverzekeraars wordt vergoed. De klimaatvoetafdruk van pijnstillers die bij de drogist of supermarkt zijn gekocht, worden niet met deze gegevens meegenomen. Hierdoor wordt de klimaatvoetafdruk van deze middelen waarschijnlijk onderschat.

## 3.1.3.4 Antibiotica

Weisz et al.<sup>22</sup> hebben ook een ruwe schatting gemaakt voor een emissiefactor voor het antibioticum amoxicilline, op basis van het directe energieverbruik tijdens het productieproces. Het gaat om amoxicilline die door Sandoz in Oostenrijk met de Oostenrijkse energiemix is geproduceerd. De geschatte emissiefactor is met 14,3 g CO<sub>2</sub>-eq/g API een stuk hoger dan voor pijnstillers. Weisz et al.<sup>22</sup> geven geen verklaring voor dit grote verschil. Het gebruik van amoxicilline resulteerde in 2014 in Oostenrijk in een klimaatvoetafdruk van 0,3 kiloton CO<sub>2</sub>-eq.

Amoxicilline wordt in Nederland in verschillende geneesmiddelen gebruikt. Als zelfstandig geneesmiddel is de dagdosering van amoxicilline (ATC-code J01CA04) 1,5 g bij oraal gebruik, en 3 g bij parenterale toediening.<sup>83</sup> In combinatie met een betalactamaseremmer (amoxicilline/clavulaanzuur) is de dagdosering hetzelfde. De DDD's gesplitst per toedieningsvorm zijn gegeven in Tabel 14 en Bijlage K. In combinatie met protonpompremmers (pantoprazol/claritromycine/amoxicilline) is de dagdosering vastgesteld op 6 tabletten van 40 mg, dus 0,2396 gram per dag voor alle toedieningsvormen.<sup>85</sup> Belangrijk om te realiseren is dat het in Tabel 14 alleen gaat om de klimaatvoetafdruk van een deel van de levenscyclus, en dat er geen andere milieueffecten zijn meegenomen, zoals landgebruik, afval of ecotoxiciteit. Op basis van deze tabel kan dus nog niet worden gezegd dat het ene geneesmiddel bij gebruik duurzamer is dan het andere. Wel kan men zien welke werkzame stof verder moet worden bekeken om te zien hoe en waar in de keten deze kan worden verduurzaamd. Deze gegevens kunnen ook worden gebruikt in vervolgonderzoek over de gehele levenscyclus, met meerdere (milieu)effecten.

*Tabel 14 Het aantal dagdoseringen (DDD's) in 2020 via GIPdatabank en geschatte emissiefactoren voor de productie van amoxicilline via Weisz et al.<sup>22</sup>. Let op: het gaat hier alleen om de klimaatvoetafdruk van een deel van de levenscyclus en ook zijn er geen andere milieueffecten meegenomen, zoals landgebruik, afval of ecotoxiciteit. Op basis van deze tabel kan dus nog niet worden gezegd dat het ene geneesmiddel bij gebruik duurzamer is dan het andere.*

ATC code, werkzame stof (merknaam)	DDD's (2020)	g API /DDD	Toe-diening	g CO <sub>2</sub> -eq /g API	g CO <sub>2</sub> -eq /DDD
<b>J01CA04 Amoxicilline</b>	5.858.768	1,5	O	14,3	21,45
<b>J01CA04 Amoxicilline</b>	11.357	3	P	14,3	42,9
<b>A02BD04 Pantoprazol amoxicilline en claritromycine</b>	129.893	0,2396	O	14,3	3,43
<b>J01CR02 Amoxicilline met betalactamaseremmer</b>	4.862.614	1,5	O	14,3	21,45
<b>J01CR02 Amoxicilline met betalactamaseremmer</b>	2.185	3	P	14,3	42,9

Toedieningsvorm: O = oraal, P = parenteraal, R = rectaal.

De uitstoot van de productie van amoxicilline in combinatie met protonpompremmers is van alle amoxicilline-combinaties het laagst, omdat zowel het aantal DDD's per jaar als het vastgestelde gewicht met

40 mg per DDD relatief laag is. Bij combinatiepreparaten kan de uitstoot van de overige werkzame bestanddelen van de middelen die in combinatie met amoxicilline worden toegediend nog niet worden meegenomen.

In Tabel 15 laten onze berekeningen zien dat de klimaatvoetafdruk van amoxicilline-productie voor de Nederlandse markt jaarlijks resulteert in ongeveer 0,2-0,5 kiloton CO<sub>2</sub>-eq uitstoot. Tussen 2018 en 2020 daalde het amoxicillinegebruik, en daarmee ook de geschatte jaarlijkse uitstoot.

*Tabel 15 Nederlandse klimaatvoetafdruk voor productie van het antibioticum amoxicilline in verschillende combinaties in kiloton CO<sub>2</sub>-eq, op basis van verstrekingscijfers van GIPdatabank en emissiefactoren Weisz et al.<sup>22</sup>. Let op: het gaat hier alleen om de klimaatvoetafdruk van een deel van de levenscyclus (productie).*

<b>ATC-code, werkzame stof (merknaam)</b>	<b>kt CO<sub>2</sub>-eq in 2016</b>	<b>kt CO<sub>2</sub>-eq in 2017</b>	<b>kt CO<sub>2</sub>-eq in 2018</b>	<b>kt CO<sub>2</sub>-eq in 2019</b>	<b>kt CO<sub>2</sub>-eq in 2020</b>
<b>J01CA04 Amoxicilline</b>	0,26	0,24	0,26	0,16	0,13
<b>A02BD04 Pantoprazol amoxicilline en claritromycine</b>	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>J01CR02 Amoxicilline met betalactamaseremmer</b>	0,19	0,18	0,18	0,12	0,10
<b>Totaal</b>	0,45	0,42	0,44	0,28	0,23

### 3.1.3.5

Milieueffecten van de synthese: complexiteit chemicaliën

Het idee van Parvatker et al.<sup>68</sup> dat milieuprofielen mogelijk zijn gerelateerd aan het aantal syntheseschappen van een API, werd eerder al genoemd door Wernet et al.<sup>86</sup>. Zij voerden een cradle-to-gate LCA-studie uit naar de milieuvoetafdruk van de productie van meer complexe farmaceutische chemicaliën, en vergeleken die met de milieuvoetafdruk van basischemicaliën. Hieruit bleek dat de productie van farmaceutische chemicaliën meer effect had op het milieu dan de productie van basischemicaliën, met een 20 maal grotere cumulatieve energievraag (CED) en een 25 keer zo groot aardopwarmingsvermogen (GWP).<sup>86</sup> De onderzoekers suggereerden dat de grotere milieuvoetafdruk van farmaceutische producten wordt veroorzaakt door de hogere mate van complexiteit van deze stoffen, en door de extra transformatie- en zuiveringsstappen in het productieproces. Daarbij komt dat de productiewijze van API's volgens de wetenschappers vaak nieuwer is, en daardoor minder verfijnd of geoptimaliseerd dan bij eenvoudige chemicaliën. API's worden bovendien ook in kleinere volumes geproduceerd. Energieproductie en -gebruik droegen het meest bij aan de milieubelasting tijdens de productie van API's.<sup>86</sup>

3.1.3.6 Milieueffecten van de synthese: hulpstoffen voor de formulering  
Wang et al.<sup>84</sup> wijzen erop dat bij het maken van geneesmiddelen ook rekening moet worden gehouden met de duurzaamheidsaspecten van de hulpstoffen om API's geschikt te maken voor toediening (de formulering van het farmaceutische product). Deze hulpstoffen leveren volgens hun onderzoeksresultaten een even grote bijdrage aan het milieuprofiel van geneesmiddelen als de API zelf. In deze cradle-to-gate LCA-case study maakten Wang et al.<sup>84</sup> gebruik van ibuprofen als model-API. Ze onderzochten verschillende samenstellingen van ibuprofen (F1 en F2), met elk andere hulpstoffen. Zo werd er in F1 onder meer vaker gebruik gemaakt van lactose en voorverstijfseld zetmeel, terwijl F2 meer ruw zetmeel bevatte. Dit verschil was bijvoorbeeld zichtbaar in het elektriciteitsverbruik voor het droogproces, dat voor F2 bijna 20% hoger was dan voor F1. Volgens de onderzoekers was er als gevolg van een grotere hoeveelheid ruw zetmeel meer water nodig bij het mixen van het poeder, waardoor de duur van het droogproces werd verlengd.

3.1.3.7 Milieueffecten van de synthese: oplosmiddelen  
Oplosmiddelen zijn chemische stoffen die andere materialen kunnen oplossen, absorberen of extraheren om synthese mogelijk te maken. Hierbij verandert het oplosmiddel of de behandelde stof chemisch meestal niet. Het oplosmiddel neemt niet deel aan de synthese, waardoor het na productie overblijft. Bij de synthese van geneesmiddelen hebben oplosmiddelen verschillende functies. Soms leveren ze moleculen om geneesmiddelen mee te maken of fungeren ze als reactiemiddel. Voor andere geneesmiddelen worden oplosmiddelen gebruikt om extractie- en zuiveringsstappen te kunnen uitvoeren.

Voor de productie van een werkzaam farmaceutisch bestanddeel (API) bestaat gemiddeld 80 tot 90% van het benodigde gewicht aan gebruikte grondstoffen uit oplosmiddelen.<sup>87,88</sup> Specifiek voor de farmaceutische industrie zijn er tien veelgebruikte organische oplosmiddelen: Acetone, Acetonitrile, Diethyl ether, Ethanol, Hexane, IPA, MeOH, THF, Toluene en een generiek oplosmiddel. Deze zijn in de Verenigde Staten vergeleken in een LCA met gegevens van Pfizer, Bristol-Myers Squibb en Novartis.<sup>87</sup> Vanwege de grote relatieve massa van oplosmiddelen wordt hergebruik ervan gezien als een belangrijke bijdrage aan de beperking van de milieueffecten van geneesmiddelen.<sup>87</sup> Hergebruik van oplosmiddelen is bovendien goedkoper, wanneer het systeem voor verschillende stromen oplosmiddelen kan worden ingezet. Hoewel zuivering en hergebruik van afvalstromen van oplosmiddelen in een klein volume niet economisch haalbaar bleken, lieten Savelski et al.<sup>88</sup> zien dat terugwinning van oplosmiddelen in een groter systeem in één productiefaciliteit zowel betaalbaar als milieuvriendelijk kan zijn.

3.1.3.8 Milieueffecten van de synthese: het proces  
Enerzijds laten bovenstaande literatuurresultaten zien dat er binnen de zorg verduurzaming kan plaatsvinden door te selecteren op duurzamere alternatieve (hulpstoffen voor) API's. Anderzijds laten Henderson et al.<sup>89</sup> zien dat ook het syntheseproces zelf duurzamer zou kunnen, door gebruik te maken van een biocatalytische synthese met enzymen in plaats van een chemische synthese. In deze studie is een vergelijking gemaakt tussen de verschillende manieren van synthese voor 7-*aminocephalosporic acid* (7-ACA). Dit is een basisstof voor verschillende

antibiotica. Bij de chemische manier van synthetiseren van 7-ACA zijn er meer schadelijke stoffen en is er 25% meer energie nodig in vergelijking met het enzymatische proces. Wordt vervolgens gekeken naar de cradle-to-gate-LCA, en wordt de chemische route vergeleken met de enzymatische route, dan is er voor de chemische route 60% meer energie nodig, net als 16% meer massa (excl. water). Daarnaast is de klimaatvoetafdruk twee keer zo groot, en zijn de effecten door ozonvormende stoffen en verzuring 30% hoger dan bij de enzymatische route.<sup>89</sup> Wanneer gebruik gemaakt wordt van de biocatalytische route zijn voor de synthese van 7-ACA bovendien minder stappen nodig.

#### 3.1.3.9 Milieueffecten van verschillende productieprocessen

Dat er verschillen kunnen zijn in milieuprofielen van eenzelfde stof die op verschillende manieren wordt geproduceerd, zoals hierboven beschreven, wordt onderstreept door een studie van Muñoz et al.<sup>90</sup>. Deze studie vergelijkt twee productieprocessen van chitosan in India en in Europa. Chitosan wordt gemaakt van chitine, dat voorkomt in schelpen van onder andere garnalen en krabben. De productie van chitosan in India vindt plaats voor gebruik in de landbouw, terwijl de productie in Europa volledig is gericht op toepassingen in de medische sector. Uit de studie is niet vast te stellen of het type markt waarop men zich richt uitmaakt voor de kwaliteits- en veiligheidsstappen in het productieproces. Uit de LCA-analyses blijkt dat het productieproces in India minder effect heeft op klimaatverandering, watergebruik en de geschatte ecotoxiciteit dan het Europese productieproces. Hierbij is het belangrijk om te realiseren dat ecotoxiciteit in LCA op een andere manier wordt meegenomen dan bij een risicobeoordeling voor het ecosysteem op lokaal niveau, en dit dus ook niet gebeurt volgens regulatoire richtlijnen die milieurisico's als gevolg van ecotoxiciteit bepalen. Het Europese productieproces heeft daarentegen een kleiner effect op bodemverzuring, omdat chitosan in Europa niet wordt gecomposteerd. De wetenschappers concluderen dat de reden voor het grotere effect van het Europese productieproces van chitosan is gerelateerd aan de cumulatieve energievraag (CED), met een hoog fossiel brandstofgebruik.<sup>90</sup> Er is vier keer zoveel primaire hernieuwbare en fossiele energie nodig voor het Europese productieproces als voor dat in India.

#### 3.1.4 *Discussie, conclusie en aanbevelingen*

##### 3.1.4.1 Discussie

Met de kennis dat chemieproducten (inclusief geneesmiddelen) de grootste bijdrage leveren aan milieueffecten als klimaatverandering ten opzichte van andere onderzochte product- en dienstengroepen, onderstreept deze literatuurverkenning het belang van het doen van onderzoek naar de milieuvoetafdruk van chemicaliën en geneesmiddelen in de zorg. Zo kan worden gekeken waar(door) effecten plaatsvinden en welke mogelijke oplossingen de milieudruk van deze producten kunnen verkleinen.

In paragraaf 3.1 is ingegaan op het gebruik van LCA's voor bottom-up voetafdrukberekeningen. LCA's vormen daar een mooi begin voor, maar - zoals beschreven in het hoofdstuk - kan er nog steeds veel variatie tussen LCA's van dezelfde producten bestaan. Dat is afhankelijk van methodologische keuzes, aannames, en de opbouw van de



voorraadgegevens, zoals emissies, grondstoffen- en energieconsumptie in de *life cycle inventory* (LCI). De emissiefactoren die zijn overgenomen van Weisz et al.<sup>22</sup> zijn gebaseerd op verschillende systeemgrenzen. Resultaten over de geschatte klimaatvoetafdruk van geneesmiddelen kunnen hierdoor niet tegen elkaar worden afgewogen, maar geven een indicatie van de grootte van die klimaatvoetafdruk. Het gebruik van LCA's op een bottom-up manier, waarbij wordt geëxtrapoleerd naar nationaal niveau, kan de onzekerheid en onvolledigheid van LCA's uitvergroten. Men zou dus voorzichtiger moeten zijn met het gebruik van LCA's in hybride voetafdrukanalyses dan met een LCA waarin alleen op productniveau naar twee alternatieven wordt gekeken.

Belangrijk is dat men zich realiseert dat duurzaamheid een thema is met verschillende en vaak samenhangende onderwerpen, en ook dat de omstandigheden en effecten met de tijd kunnen veranderen (zie ook Hoofdstuk 5). Naast het milieu spelen er bovendien andere thema's, zoals individuele patiënt-gerelateerde zaken (bijvoorbeeld medicatietrouw of bijwerkingen), en ook sociaaleconomische aspecten (bijvoorbeeld cultuur of leveringszekerheid). Het is daarom vaak lastig om verschillende geneesmiddelen met elkaar te vergelijken. Sommige aspecten zijn ook tegenstrijdig. Alleen vanuit milieuoogpunt zijn er al veel onzekerheden. Een beter afbreekbaar geneesmiddel kan bijvoorbeeld zorgen voor minder medicijnresten, maar moet gekoeld worden vervoerd en bewaard om de stabiliteit te bewaren. Dat leidt tot een hogere klimaatvoetafdruk. Wel kunnen de resultaten uit deze studie direct worden gebruikt om te kijken welke aandachtsgebieden er zijn, zoals het ontbreken van data over het begin van de productieketen. Ook geven de resultaten aan dat vervolgonderzoek - met producenten en andere partijen in de keten - nodig is om te kijken wat er mogelijk is om bepaalde (actieve) stoffen duurzamer te produceren of te leveren.

De literatuurverkenning laat zien dat er in de meeste studies geen geharmoniseerde methode wordt toegepast om LCA's uit te voeren. Standaardisatie is echter wel mogelijk, en dat vergroot ook de vergelijkbaarheid van studies. Een voorbeeld van een standaardisatie voor geneesmiddel-LCA's wordt door Siegert et al.<sup>90</sup> beschreven. Siegert et al.<sup>90</sup> schreven concept productcategorie-regels (PCR) voor voetafdrukonderzoek naar geneesmiddelen. Tot deze regels behoren vastgestelde methodologische vereisten, afspraken over het detailniveau en de inhoud van een LCA. De voorgestelde PCR is gebaseerd op de ISO 14044 standaard voor levenscyclusanalyses, maar meer toegespitst op de productcategorie geneesmiddelen. Een voorbeeld is een verplichte cradle-to-grave-scope voor LCA's over farmaceutische producten (dat zijn finale, verpakte producten) en cradle-to-gate-systeemgrenzen voor LCA's over farmaceutische processen (zoals de productie van een API, inclusief afvalstromen die vrijkomen tijdens de productie).

Voor farmaceutische producten wordt in de concept-PCR een effect-gebaseerde functionele eenheid (*functional unit*, FU) aanbevolen met gespecificeerd patiënttype, medische indicatie, geografie en tijdsduur van de behandeling. Bijvoorbeeld 'de behandeling van één volwassene in Nederland met astma voor de duur van 1 jaar'. Volgens de PCR moet zo'n FU worden toegepast wanneer hotspots in kaart moeten worden gebracht of voor productoptimalisatie.<sup>90</sup> Zo'n FU kan waarschijnlijk ook

worden gebruikt als er een afweging tussen behandelingen moet worden gemaakt, omdat de functie hier het therapeutische effect heeft. Dit moet verder worden onderzocht, zoals bijvoorbeeld in een verkenning naar de mogelijkheden voor een afwegingskader over gezondheid, milieu en sociale- en economische effecten bij de levenscyclus van geneesmiddelen.

Farmaceutische processen kunnen verder op basis van gebruiksvolume worden georganiseerd om beter inzicht te krijgen in de milieuvoetafdruk. Siegert et al.<sup>90</sup> schrijven in hun PCR dat de functionele eenheid in LCA's voor farmaceutische processen in gewicht moet worden uitgedrukt (een zogenoemde massa-gebaseerde FU). Dat kan volgens de PCR zowel in kg API als in DDD's gebeuren. Een massa-gebaseerde FU kan dezelfde toepassingen hebben als een effect-gebaseerde FU (processen vergelijken, optimaliseren), maar zou in principe ook kunnen worden gebruikt om een sectorale of nationale milieuvoetafdruk in kaart te brengen.

Voor Nederlandse LCA's naar geneesmiddelen hebben we in dit rapport laten zien dat het mogelijk is te beginnen met de meest gebruikte geneesmiddelen op basis van dagdoseringen (DDD) via GIPdatabank. De DDD kan worden omgerekend naar massa-eenheden met behulp van de DDD-index tool van de WHO of het Farmacotherapeutisch Kompas. Wanneer de emissiefactor per kg API van het finale product bekend is, kan die op die manier met de beschikbare DDD's meteen worden doorberekend naar nationaal milieueffect. Een voorwaarde is wel dat er onderscheid moet kunnen worden gemaakt tussen DDD's per toedieningsvorm, omdat de werkzame stof bij bijvoorbeeld intraveneuze toediening een hogere dagdosering heeft dan bij oraal gebruik.

Een groot aantal van de besproken studies laat alleen cradle-to-gate analyses zien. Dat geeft een vertekend beeld van het daadwerkelijke effect, omdat er in de gebruiksfase en de einde-levensfase (afvalverwerking) meer en mogelijk schadelijke emissies kunnen plaatsvinden.<sup>90</sup> Dit wordt verschillende keren benoemd als onderwerp voor verder onderzoek.<sup>90</sup>

Geneesmiddelen als hormonen en antibiotica kunnen ook ecotoxiciteit veroorzaken, zoals hormoonverstorende stoffen (*endocrine disruptors*). Bij antibiotica speelt ook antibioticumresistentie een rol. Beide stofgroepen zijn nog niet opgenomen in LCA-methodes om de milieueffecten te bepalen (zoals ReCiPe), en deze resultaten zien we dus ook nog niet terug in de LCA-studies uit deze literatuurverkenning. Er zijn echter wel karakterisatiemodellen beschikbaar voor geneesmiddelen met hormoonverstorende stoffen.<sup>91</sup> Ook voor antibioticumresistentie zijn voor geneesmiddelen midpoint-indicatoren voor karakterisatie beschikbaar.<sup>92</sup>

Daarnaast zijn toxiciteit en ecotoxiciteit wel effecten die vaker worden meegenomen in LCA-studies, maar het is belangrijk om te realiseren dat dit niet hetzelfde is als een risicobeoordeling. Een ecologische (ecotoxicologische) of humane (toxicologische) risicobeoordeling kijkt naar de blootstelling, de effecten en vervolgens de risico's voor bijvoorbeeld waterleven of een bevolkingsgroep. Neem bijvoorbeeld de

effecten die kunnen optreden voor het waterleven door resten van geneesmiddelen die na gebruik door patiënten in het oppervlaktewater belanden. Voor een dergelijke risicobeoordeling wordt gebruik gemaakt van specifieke, lokale gegevens zoals plaatselijke vervuiling, de hoeveelheid blootstelling en de gevoeligheid ervoor van verschillende organismen. Dit is belangrijke aanvullende informatie op een LCA. Risicobeoordelingen berusten vaak op nationale of internationale wettelijke beoordelingskaders, waarin is afgesproken wat precies nodig is om milieu- en gezondheidsrisico's zo betrouwbaar mogelijk in te schatten, en waarin ook maximale waarden kunnen zijn afgesproken. Bepaalde (eco)toxiciteitseffecten kunnen dus onderdeel van een LCA zijn, maar een LCA is niet toereikend om een milieu- of gezondheidsrisicoanalyse te doen. Daarvoor is aanvullende informatie nodig, net als een aparte methodiek.<sup>91</sup>

#### 3.1.4.2 Conclusie

In dit hoofdstuk is in de literatuur verkend hoe berekeningen van de milieuvoetafdruk van chemicaliën en geneesmiddelen op productniveau kunnen bijdragen aan een nationale milieuvoetafdruk van de zorgsector met meer detailniveau.

In de literatuurverkenning is beschreven dat er voor een beperkte groep actieve ingrediënten van geneesmiddelen LCA's beschikbaar lijken te zijn. Eerste berekeningen met emissiefactoren voor de productie van (grondstoffen voor) werkzame stoffen van pijnstillers en antibiotica laten zien hoe bottom-up-gegevens kunnen bijdragen aan de verfijning van de totale nationale milieuvoetafdruk voor de zorg. Uit de berekeningen blijkt dat een nationale voetafdrukberekening voor een deel van producten mogelijk is, maar dat de uitvoering nog wel beperkingen heeft. Zo zijn er meer gegevens nodig om het jaarlijkse totaal van dagdoseringen per toedieningsvorm te kunnen specificeren, en moet in de emissiefactor de volledige levenscyclus van grondstofwinning tot afval (cradle-to-grave) worden meegenomen om te kunnen bijdragen aan volledig beeld van de nationale milieuvoetafdruk van de zorgsector. Ook de onzekerheden uit LCA's moeten bij extrapolatie naar nationaal niveau goed worden onderzocht en gecommuniceerd. De literatuur geeft aan dat bij het berekenen van de milieuvoetafdruk op productniveau in elk geval aandacht nodig is voor het energieverbruik tijdens de productie en voor het syntheseproces, waaronder het gebruik van oplosmiddelen en hulpstoffen bij de formulering.

In de besproken studies worden soms mogelijkheden tot verduurzaming in de zorg en handelingsperspectieven genoemd. Zo kan er worden gekeken naar duurzamere alternatieve (hulpstoffen voor) API's. Voorbeelden daarvan zijn intraveneuze anesthesie in plaats van dampvormige, of het gebruik van zuurstof en lucht in plaats van lachgas als hulpstof bij dampvormige anesthetica. Ook kan worden gekeken naar duurzamere manieren van synthetiseren (biocatalytisch met enzymen in plaats van chemisch). Dit is in deze literatuurverkenning niet uitvoerig onderzocht. Hier is meer onderzoek voor nodig.

De studies die er zijn, verschillen van elkaar wat betreft de afbakening, aanpak en kwaliteit van de data. Dit bemoeilijkt ook de vergelijkbaarheid en toepassing van deze studies. Door de beperkte

omvang van de literatuurverkenning is het dus nog te vroeg om algemene conclusies te trekken uit de selectie die in deze rapportage staat. In vervolgonderzoek van het RIVM wordt verder gekeken naar levenscyclusanalyses van farmaceutische producten.

Het gebrek aan voldoende en betrouwbare informatie laat zien dat het op dit moment het erg lastig is om ofwel precies te zien hoe productieketens kunnen verduurzamen (aanbieder, industrie), ofwel om te kunnen kiezen tussen verschillende milieuprofielen van geneesmiddelen (afnemer, zorgsector). Hiernaar wordt ook verder onderzoek verricht in het EU-project TransPharm (2022-2026). Meer kennis over de milieuvoetafdruk van individuele stappen in het productieproces kan ook meer opties creëren voor verduurzaming, toegespitst op specifieke medicatie.

#### 3.1.4.3 Aanbevelingen

Het blijkt nog niet mogelijk om op basis van de huidige beschikbare data een hotspotanalyse uit te voeren naar farmaceutische producten met de grootste milieuvoetafdruk. Voor vervolgonderzoek raden we toekomstige uitvoerders van LCA's met geneesmiddelen het volgende aan:

1. Werk aan een *life cycle inventory* dataset met gegevens over grondstofgebruik, energieverbruik, waterverbruik, transportafstanden en afval van geneesmiddelproductie. Belangrijke grondstoffen om op te focussen zijn oplosmiddelen, hulpstoffen en werkzame stoffen (actieve ingrediënten);
2. Gebruik de geharmoniseerde LCA-regels voor chemicaliën van Siegert et al. (2019) om de vergelijkbaarheid en onderzoekstructuur te standaardiseren op basis van *product category rules* (PCR);

Voor een goede uitvoering van LCA's is ook de volgende wetenschappelijke verdieping nodig voor LCA's van chemieproducten, waaronder geneesmiddelen:

3. Beter uitwerken van de milieueffecten, in het bijzonder toxiciteit, van de einde-levensfase van geneesmiddelen;
4. Verder onderzoek naar de invulling van effectcategorieën die te maken hebben met toxiciteit van geneesmiddelen, zoals hormoonverstoring. Daarnaast zou ook antibioticumresistentie meegenomen moeten worden bij milieueffecten van antibiotica.

Voor het uitvoeren van een volledige LCA zijn veel gegevens en tijdsintensieve analyses nodig. Een mogelijke alternatieve aanpak voor het uitvoeren van een volledige cradle-to-grave LCA is het doen van een hotspotanalyse met behulp van kunstmatige intelligentie (*artificial intelligence*, AI). Dit kan mogelijk worden bewerkstelligd door informatie te verwerken in een computermodel. Hiervoor is het wel noodzakelijk dat er trainingsdata voor het model beschikbaar worden gesteld. Paragraaf 3.4 verkent de mogelijkheden om levenscycluseffecten te voorspellen en in te schatten met behulp van kunstmatige intelligentie.

## 3.2 **Machine learning: methodes om de milieudruk van chemieproducten, waaronder geneesmiddelen, te voorspellen**

### 3.2.1 *Inleiding*

Het doel van de RIVM Kennisbasis Green Deal Duurzame Zorg is onder meer om de zorgsector te ondersteunen bij het maken van keuzes of prioritering<sup>11,12</sup>, en om de zorgsector te ondersteunen bij het benaderen en begrijpen van de eigen milieuvoetafdruk. Voor prioritering is beter inzicht nodig in de voetafdruk van chemieproducten, waaronder geneesmiddelen, omdat deze het grootste deel uitmaken van de milieuvoetafdruk van de Nederlandse zorgsector (Hoofdstuk 2). Tegelijkertijd laat de literatuurstudie naar geneesmiddelen-LCA's zien dat er nog te weinig (gedetailleerde en volledige) studies zijn naar de individuele geneesmiddelen, API's en hulpstoffen om de nationale milieueffecten beter te duiden.

Hoe kunnen we toch inzicht krijgen in de milieuvoetafdruk van geneesmiddelen, wanneer er niet voldoende gegevens zijn voor een gedetailleerde LCA? Hier kan kunstmatige intelligentie mogelijk bij helpen door schattingen van de milieudruk te maken. Eerder in deze rapportage (paragraaf 3.2) werd al besproken dat het bepalen van de milieuvoetafdruk op basis van het aantal syntheseschappen een mogelijkheid kan zijn.<sup>86</sup> Als de syntheseschappen bekend zijn, kunnen deze kennis leveren over (een stuk van) de milieuvoetafdruk van chemicaliën.

Door een computermodel te trainen met LCA-gegevens van farmaceutische producten, kan er met hulp van voorspelvariabelen mogelijk een inschatting worden gemaakt van de milieubelasting van geneesmiddelen. In deze paragraaf (3.2) is verkend wat er in de literatuur bekend is over het schatten en voorspellen van milieueffecten van chemicaliën met behulp van verschillende modellen die kunstmatige intelligentie gebruiken.

### 3.2.2 *Verkenning machine learning-methoden voor chemieproducten*

Een manier om milieueffecten te voorspellen is met *quantitative structure-activity relationship* (QSAR) modellen. Traditionele QSAR's zijn vaak gebaseerd op lineaire modellen, die werken met voorspel- en responsvariabelen. Het verband tussen deze variabelen kan worden gebruikt om de effecten van nieuwe of niet-geteste chemicaliën te voorspellen. Sinds kort is de focus voor effectvoorspellingen aan het verschuiven naar meer complexe, non-lineaire modellen, zoals veel machine learning-modellen. Modellen voor machine learning (ook 'machinaal leren' of 'automatisch leren' genoemd) zijn een specifieke vorm van kunstmatige intelligentie die algoritmes gebruikt waarmee computers zelf kunnen leren. De reden voor de verschuiving naar non-lineaire modellen is dat er steeds meer (complexe) data beschikbaar komt en er ook steeds betere computers zijn die met non-lineaire modellen kunnen werken. Mits er voldoende data is om mee te trainen, kunnen dit soort typen modellen accuratere voorspellingen doen dan lineaire regressiemodellen zoals QSAR's.<sup>92</sup> Bovendien blijken QSAR's soms lastig uit te voeren voor geneesmiddelen, omdat die vaak bestaan uit polaire stoffen en heel specifieke werkingsmechanismen hebben.

Er bestaan verschillende machine learning-modellen die worden toegepast om de milieuvoetafdruk van chemicaliën te voorspellen. Een in de literatuur veel aangehaald voorbeeld van een screeningsmethode om de effecten over de gehele levenscyclus van chemicaliën te voorspellen, is die met behulp van neurale netwerken (*artificial neural networks*, ANN).<sup>92-96</sup> Neurale netwerken zijn modellen voor machine learning op basis van regressie. Een ANN lijkt op het biologische zenuwstelsel (zoals de hersenen) in de manier waarop het informatie verwerkt. Het ANN bestaat uit meerdere lagen. De voorspelvariabelen (inputs) zitten in de eerste laag, de antwoorden (outputs) vormen de laatste laag. Tussen de in- en outputlagen bevinden zich verborgen lagen, die door 'neuronen' met elkaar zijn verbonden.

Een ANN-model zoekt ('leert') patronen tussen de inputvariabelen en de outputvariabelen in een database. Zodra deze patronen zijn gevonden, kan het ANN-model worden toegepast om patronen te zoeken in nieuwe data, en op basis daarvan voorspellingen te doen. ANN-modellen zijn toepasbaar op grootschalige datasets, zoals bij geneesmiddelen en andere chemicaliën, en het is een relatief snelle methode om verschillende stoffen te kunnen beoordelen.<sup>94</sup>

Wernet et al.<sup>93,97</sup> ontwikkelden FineChem, een software-instrument dat draait in de programmeertaal R. Het kan het gebruik van grondstoffen en de milieueffecten van petrochemische productie schatten op basis van de molecuulstructuur. De tool is ook voor geneesmiddelen gebruikt, onder meer om de cumulatieve energievraag (CED) van een duur geneesmiddel tegen kanker van Sanofi te schatten<sup>98</sup>, en om de CED van vier bestanddelen van Viagra™ te bepalen.<sup>99</sup> FineChem is een *molecular structure based model* (MSM) met één verborgen laag, gebaseerd op neurale netwerken (ANN), en is in staat de directe correlatie te schatten tussen moleculaire structuren en een aantal belangrijke productie- en emissieparameters. Volgens ontwikkelaars kan een MSM niet de gebruikelijke inventarisatie in een LCA vervangen, maar is het een screeningsinstrument ter ondersteuning van LCA-uitvoerders.<sup>93</sup> De life cycle inventory (LCI) kan in FineChem worden afgeleid door het gebruik van tien chemische kenmerken<sup>97</sup>:

1. Molecuulgewicht [g/mol]
2. Aantal stikstofatomen [N]
3. Aantal halogeenatomen (Fluorine [F], Chlorine [Cl], Bromine [Br])
4. Aantal ringen (zowel aromatische als alifatische ringen)
5. Aantal tertiaire en quaternaire koolstofatomen
6. Aantal heteroatomen in de ringen
7. Aantal unieke substituenten op aromatische ringen.
8. Aantal functionele groepen
9. Aantal zuurstofatomen in carbonylgroepen (keto en aldehyde)
10. Aantal zuurstofatomen, behalve die in carbonylgroepen

FineChem is in staat om de cumulatieve energievraag (CED) en het aardopwarmingsvermogen (uitgedrukt in GWP) per kg geanalyseerde stof te analyseren. De tool is getraind met gegevens van massa- en energiestromen van de petrochemische productie van 338 chemicaliën, variërend van basischemicaliën tot meer complexe chemicaliën. Door de

inputdata 30 keer willekeurig te scheiden in trainings- en testsets, bevatte elke testset 51 willekeurige chemicaliën (15% van de data). Hierna zijn 30 neurale netwerken gebouwd met de 30 testsets.<sup>97</sup> Wernet et al.<sup>97</sup> hebben de kwaliteit van hun tool vervolgens beoordeeld met de determinatiecoëfficiënt ( $q^2$ ), die bepaalt in hoeverre de testgegevens de voorspellingen van het model beïnvloeden. Voor het GWP-model (n=338) was de determinatiecoëfficiënt lager ( $q^2=0.41$ ) dan voor CED (n=338,  $q^2=0.58$ ), vanwege de meer heterogene inputdata voor broeikasgasuitstoot dan voor energiegebruik. De 30 netwerken die het best presteerden bij de 30 testsets zijn vervolgens geselecteerd voor het uiteindelijke model.

Hoewel de voorspellingen van de CED vrij nauwkeurig waren, presteerde het GWP-model minder goed. Het CED-model had een gemiddelde relatieve fout van 29,1%. Gezien de onzekerheid van ruwweg 20% in de oorspronkelijke trainingsgegevens is dit een overtuigend resultaat. Het GWP-model had een gemiddelde relatieve fout van 58,2% op een gemiddelde standaarddeviatie van 40%, te verwachten door de lagere determinatiecoëfficiënten en een hogere variatie in de originele data.<sup>97</sup> Omdat de voorspelfouten in de meeste gevallen toch significant kleiner zijn dan het onzekerheidsbereik uit de modellen, concluderen Wernet et al.<sup>97</sup> dat hun tool in het bijzonder geschikt is om eigenschappen van meer complexe chemicaliën te kunnen voorspellen. De tool is in later onderzoek dan ook gebruikt voor geneesmiddelen.<sup>98,99</sup> Op basis van de molecuulstructuur lijkt er met behulp van een *molecular structure model* dus een redelijke schatting te kunnen worden gemaakt van het directe energieverbruik voor de productie van de geanalyseerde stof. Hiervoor zijn wel de molecuuleigenschappen van alle gebruikte chemicaliën nodig.

Cespi et al.<sup>99</sup> gebruikten de FineChem tool van Wernet om tot meer complete life cycle inventories (LCI) te komen voor katalysatorstoffen bij de synthese van sildenafil, ook bekend als Pfizer's Viagra<sup>TM</sup>. Het gaat hier dus niet de werkzame stof (API) zelf. Hiermee presenteerden ze een praktische benadering om een LCI aan te leggen op basis van patenten en gegevens uit de literatuur. Waar Wernet al.<sup>97</sup> een directe correlatie aantoonde tussen molecuulstructuur en productie- en emissiekenmerken zoals CED, vonden Cespi et al.<sup>99</sup> een directe correlatie tussen de molecuulcomplexiteit (uitgedrukt in verschillende syntheseschappen) en de procesmassa-intensiteit (PMI, uitgedrukt in kg ruwe grondstoffen inputs/kg API). Door middel van deze snelle effectscreening van hulpstoffen bij de synthese van een API, toonden de onderzoekers aan dat het belangrijk is om stroomafwaarts uitbestede processen, zoals de productie van reagemiddelen, mee te nemen in de LCA voor het geneesmiddel.<sup>99</sup>

Volgens Song et al.<sup>94</sup> wordt de voorspelkracht van het enkellaagse FineChem MSM beperkt, omdat er geen nauwkeurig omschreven modeltrainingsprocedures zijn. Ook ontbreekt een karakterisering van onzekerheden van de output voor nieuwe chemische stoffen. Song et al.<sup>94</sup> gebruikten daarom een uitgebreider, meerlaags ANN om voor chemicaliën een aantal milieu-effectcategorieën (3 midpoints: cumulatieve energievraag (CED), klimaatverandering berekend met het aardopwarmingsvermogen (GWP100), verzuring; 2 endpoints: menselijke gezondheid, ecosysteemkwaliteit en de methode eco-

indicator 99) te kunnen bepalen op basis van informatie over hun moleculaire structuur. Voor de opzet van het ANN verzamelden de onderzoekers trainingsdata van 166 *unit process data* sets voor organische chemicaliën uit de LCI-database Ecoinvent v3.01. Vervolgens deelden ze de gegevens over chemicaliën op in drie groepen om het model verder te ontwikkelen: voor training, validatie en testen. Molecuulkenmerken (*molecular descriptors*, bijvoorbeeld het molecuulgewicht of percentage N-atomen) die werden berekend met softwareprogramma Dragon 7 fungeerden als de input voor het ANN-model. De output van het ANN bestaat uit gekarakteriseerde milieueffecten, die zijn gecontroleerd met validatiedata. Dragon 7 gaf zo'n 4.000 moleculaire descriptoren per chemische stof, waaronder topologische descriptoren en structuur- en ringdescriptoren. Om overschattingen te voorkomen, is het aantal dimensies beperkt en is een informatieve subset van kenmerken herleid tot een kleinere dataset met een *Principal Component Analysis (PCA)*. Song et al.<sup>94</sup> hebben vervolgens drie modelopties bestudeerd: (1) alle molecuulkenmerken afkomstig van Dragon 7 (3.839 kenmerken); (2) kenmerken geselecteerd met filter-gebaseerde methodes (58 kenmerken); en (3) met PCA geselecteerde kenmerken, waarbij 95% van de variantie in de oorspronkelijke descriptorsets is behouden (60 kenmerken). Song et al.<sup>94</sup> concludeerden dat van de drie onderzochte opties een PCA met 95% variantiebehoud van de oorspronkelijke dataset de meest nauwkeurige voorspellingen maakt. De voorspelkracht wordt uitgedrukt in  $R^2$ : het percentage correct voorspelde waarden op basis van de werkelijke waarden. Het ANN-model had een grotere voorspelkracht voor verzuring ( $R^2$  van 0,73), menselijke gezondheid ( $R^2$  van 0,71) en eco-indicator 99 ( $R^2$  van 0,87) dan voor het klimaatveranderingseffecten over een periode van 100 jaar (GWP100 met een  $R^2$  van 0,48).

De resultaten van het ANN-model suggereren dat de chemicaliën met grotere effectwaardes ook grotere voorspellingsfouten laten zien, omdat er minder trainingsgegevens met effectwaardes van complexe chemicaliën als geneesmiddelen beschikbaar zijn.<sup>94</sup> Dezelfde onderzoekers karakteriseerden vervolgens de mate van betrouwbaarheid van de resultaten van het ANN-model aan de hand van het concept *Applicability Domain (AD)*; een model kan immers geen dingen voorspellen waarvoor het niet is getraind. Zij pasten dit voor het eerst toe in de context van *predictive LCA*.

Op het onderdeel geneesmiddelen gaan Song et al.<sup>94</sup> nog specifiek verder. Zo vallen chemische stoffen met zeer hoge gekarakteriseerde effecten (in het bijzonder CED) volgens Song et al.<sup>94</sup> meestal in de categorie geneesmiddelen (bijvoorbeeld pyrazool). Deze groep laat dus grotere voorspelfouten zien. Verder benoemen ze dat bij geneesmiddelen niet alleen de molecuulstructuur een effect heeft, maar dat ook het productieproces voor een groot deel bijdraagt aan de milieubelasting (zoals energie-intensiteit), met name door de strenge selectiviteits- en zuiverheidseisen voor geneesmiddelen.

Verdere voorspellingen over het productieproces van geneesmiddelen kunnen worden gedaan door middel van zogenoemde synthetrajectkenmerken (*synthesis pathway descriptors*). Song et al.<sup>94</sup> benoemen dit type eigenschappen naast molecuulkenmerken als



een waardevolle toevoeging aan een ANN-model, om meer zicht te krijgen op het chemische productieproces. De Soete et al.<sup>100</sup> hebben vijftien van dit soort mogelijke voorspelvariabelen onderzocht om te bepalen welke gegevens uit de synthese van geneesmiddelen bepalend zijn voor het schatten van hun milieueffect. De drie belangrijkste voorspelvariabelen voor het effect van geneesmiddelen zijn:

1. de hoeveelheid gebruikte organische oplosmiddelen (in L/mol);
2. molaire efficiëntie (in mol/mol);
3. de duur van de syntheseschappen ( $\Delta t$ , in s/mol).

Procesgerichte grondstofindicatoren (nummer 1 & 2) en de operationele procesparameter (nummer 3) hadden de meest significante bijdrage aan de voorspelling. Apparatuurparameters, zoals het aantal drogers in het proces, en scheikundige parameters als de toevoeging per mol in een syntheseschapp, droegen niet bij aan de voorspelling van de gekozen milieudruk-indicator *cumulative exergy extracted from the natural environment* (CEENE). CEENE is een integrale methode voor lifecycle impact assessment (LCIA) (effectanalyse) voor de berekening van grondstoffenreserves. Wernet et al.<sup>86</sup> suggereren dat het grondstoffengebruik en de daaraan gerelateerde emissies bij een cradle-to-gate syntheseproces van een API de grootste bijdrage aan milieubelasting van geneesmiddelproductie leveren. De Soete et al.<sup>100</sup> geven aan dat een vergelijkbare correlatie met syntheseschappkenmerken mogelijk is voor andere effectcategorieën dan CEENE in de levenscyclus, zoals klimaatverandering of aantasting van de ozonlaag.

Een andere benadering om milieubelasting van chemicaliën te schatten met ontbrekende data, is met behulp van alternatieven met een vergelijkbare molecuulstructuur. Zhu et al.<sup>95</sup> hebben (in navolging van Song et al.) met molecuulkenmerken en PCA gekeken hoe duurzame chemische alternatieven kunnen worden gescreend met een ANN-model. De onderzoekers gebruikten Eco-indicator 99 (EI99) en ReCiPe endpoints als LCIA-methodes om de belasting op het ecosysteem, de menselijke gezondheid en grondstoffen te bepalen. De voorspelkracht van het neurale netwerk van Zhu et al.<sup>95</sup> blijkt hoog te zijn. De gecombineerde EI99 endpoints ( $R^2 = 0,8356$ ) en het totaal van ReCiPe endpoints ( $R^2 = 0,883$ ) laten de meest nauwkeurige voorspelwaarden zien in vergelijking met de individuele endpoints die voor het effect werden bepaald. Van de afzonderlijke effectcategorieën had EI99 voor grondstoffen ( $R^2 = 0,622$ ) de laagste voorspelkracht. Een stappenplan van dataverzameling tot LCIA-voorspellingen is te vinden in Figuur 12.

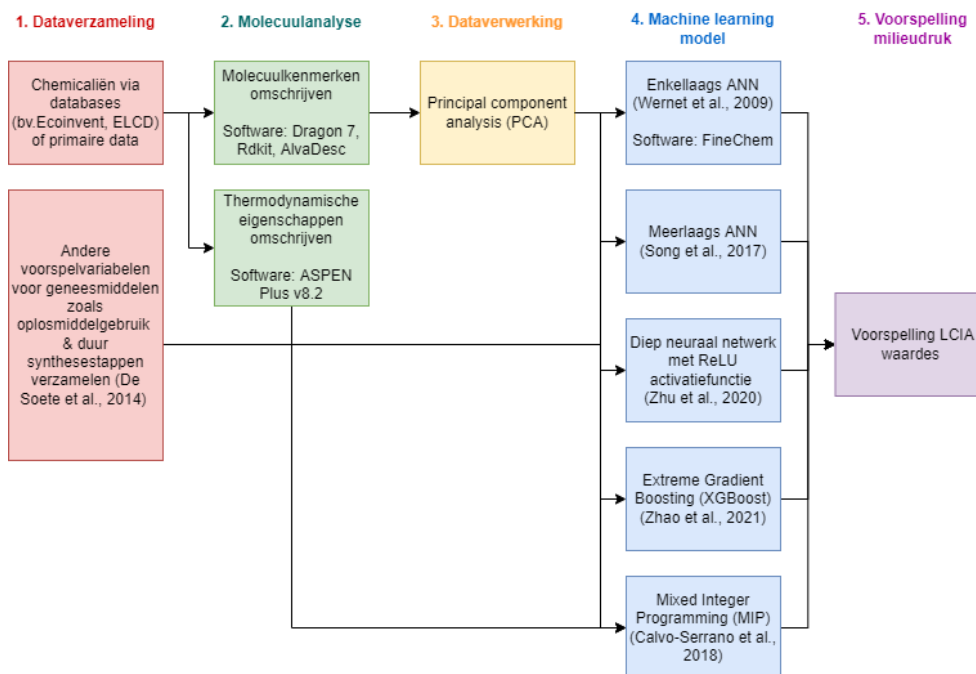
De methode van Zhu et al.<sup>95</sup> geeft voor geneesmiddelen het probleem aan dat er in Ecoinvent bijna geen gegevens staan over de milieueffecten van geneesmiddelen die kunnen dienen als trainingsdata. Maar deze methode biedt wellicht wel een mogelijkheid om andersom te screenen: op basis van bekende data in Ecoinvent en gepubliceerde geneesmiddel-LCA's kunnen vergelijkbare geneesmiddelen worden bepaald op basis van de vergelijkbaarheid in molecuulstructuur. De vergelijkbaarheid van moleculen kan bijvoorbeeld worden bepaald met de Euclidische afstand. Daarmee meet men de afstand in de descriptorruimte van het molecuul van de gezochte chemische stof tot

het gemiddelde van de trainingsdataset, om zo een meest gelijkende stof te bepalen.

Calvo-Serrano et al.<sup>101</sup> nemen eveneens molecuulkenmerken mee om de cradle-to-gate milieueffecten van chemicaliën (in dit geval hoofdzakelijk organische oplosmiddelen) te bepalen. Ze baseren zich op de moleculaire descriptors uit het model van Wernet et al.<sup>93</sup>, maar voegen daarnaast thermodynamische eigenschappen (bv. kooktemperatuur van de stof) toe, om via *mixed-integer programming* (MIP) een voorspelling te kunnen doen over het effect tijdens de levensduur van chemische stoffen. Een MIP is een optimaliseringskader waarmee systematisch versnelde voorspellende modellen van levenscycluseffecten worden geconstrueerd. De thermodynamische eigenschappen zijn geschat met behulp van het Peng-Robinson *thermodynamic package* in de software Aspen Plus v8.2. Er werden 83 chemicaliën geselecteerd uit de originele dataset van Wernet et al.<sup>93</sup> (een kleine dataset met voornamelijk organische oplosmiddelen en andere veelgebruikte organische verbindingen in de industrie). Dezelfde 17 molecuulkenmerken als uit Wernet et al.<sup>93</sup> en 15 toegevoegde thermodynamische eigenschappen zijn gebruikt om de cradle-to-gate milieudruk van organische chemische stoffen te voorspellen met negen effectcategorieën, waaronder klimaatverandering (uitgedrukt in GWP). De effectcategorieën zijn met deze dataset volgens de auteurs voldoende nauwkeurig te bepalen om een standaard-LCA uit te kunnen voeren. Hoewel niet specifiek op farmaceutische chemicaliën gericht, wordt de benadering van Calvo-Serrano et al.<sup>101</sup> door Parvatker et al.<sup>68</sup> benoemd om het milieueffect van geneesmiddelen te kunnen schatten.

Ook Zhao et al.<sup>96</sup> hebben een machine learning-model gemaakt om ontbrekende life cycle inventory (LCI) data te kunnen schatten. Ze richtten zich daarbij op het schatten van gegevens wanneer afzonderlijke proceseenheden ontbreken (zogenoemde *unit process data*), waarbij ze Ecoinvent v3.1 *unit process data sets* (UPR) gebruikten als trainingset. Dit model hebben ze op de hele Ecoinvent-database toegepast, dus niet alleen op chemicaliën. De studie vergelijkt vier verschillende machine learning-methoden: ANN, Random Forests (RF), Support Vector Machine (SVM) & Extreme Gradient Boosting (XGBoost). De laatste methode classificeert beslisbomen op basis van trainingsgegevens, en voorspelt door gewogen gemiddelden te berekenen. Deze studie ziet dat van de vier methodes XGBoost het snelst en krachtigst is om unit process data voor LCA's te voorspellen. Zhao et al.<sup>92</sup> geven aan dat hun methode kan helpen bij een eerste inzicht in de milieubelasting van nieuwe materialen en technologieën, waarvan nog maar een deel van de LCI-gegevens bekend is. Een dergelijke methode kan daarom ook bijdragen aan een eerste inzicht van milieueffecten van geneesmiddelen die niet in LCI's voorkomen.

Mogelijke stappen voorspelling milieudruk chemieproducten, waaronder geneesmiddelen, met machine learning (Wernet et al., 2009; De Soete et al., 2014; Song et al., 2017; Calvo-Serrano et al., 2018; Zhu et al., 2020; Zhao et al., 2021)



Figuur 12 Visuele samenvatting van mogelijke aanpakken en stappen om met machine learning-modellen de milieudruk van geneesmiddelen te voorspellen.

### 3.2.3

#### Discussie

Hoewel machine learning-modellen veel worden gebruikt voor voorspellingen over milieueffecten van chemicaliën, heeft de methode een aantal zwakke punten. Ten eerste kan machine learning leiden tot interpretatieproblemen. Veel modellen, zoals ANN, zijn een *black box*, want er is geen zicht op de verbanden binnen het model. Dit maakt het model niet transparant, wat de toegankelijkheid en interpreteerbaarheid van de gegevens bemoeilijkt. Het ontbreken van een onderliggende inventarisatie maakt interpretatie van de milieueffecten moeilijk.<sup>102</sup> Aan de andere kant kan er door een *black box*-model te gebruiken eenvoudiger gebruik worden gemaakt van vertrouwelijke productiegegevens.<sup>97</sup>

Ten tweede is de weging van en het omgaan met overlappende data een belangrijk aandachtspunt wanneer er met machine learning-modellen wordt gewerkt. Bij ANN-modellen zijn de onzichtbare lagen bijvoorbeeld met elkaar verbonden op basis van gewichten, maar deze moeten door middel van training goed worden afgesteld.

Ten derde vereist zulke training van het model een nauwkeurige begeleiding. Het trainingsproces heeft genoeg voorspelvariabelen en trainingsdoelen nodig. Voor geneesmiddelen zijn die gegevens waarschijnlijk niet direct beschikbaar in een database of in de literatuur. Het is dus de vraag of er genoeg data beschikbaar is om er de modellen mee te kunnen trainen en valideren. Bovendien is het in het algemeen zo dat onzekerheid op onzekerheid in het model wordt gebouwd als voorspelde (of andere onnauwkeurige) data als input voor een machine

learning-model wordt gebruikt. Hierdoor neemt de kans op verkeerde voorspellingen toe.

Als laatste kan een ANN-model niet worden gebruikt ter vervanging van een risicobeoordeling. Net als een LCA bevat een ANN-model niet voldoende informatie om het risico van chemische stoffen te bepalen. Ecotoxiciteitskenmerken zoals beschreven door Hou et al.<sup>92</sup> kunnen dus wel ondersteunen in een LCA, maar zijn niet voldoende om de gezondheids- en milieurisico's te kunnen beoordelen.

#### 3.2.4 *Conclusie*

Er zijn manieren om duurzaamheid van medicatie te schatten op basis van voorspellers en kunstmatige intelligentie. Ook hiervoor geldt dat er voldoende kwalitatieve en betrouwbare informatie over een deel van de geneesmiddelen beschikbaar moet zijn om de modellen hiervoor te trainen en te valideren. Dit is een interessante route om verder te onderzoeken, omdat met kunstmatige intelligentie mogelijk een eerste milieudruk van geneesmiddelen kan worden geschat, zonder dat alle data beschikbaar hoeft te zijn.

Kortom, machine learning kan een manier zijn om milieueffecten van geneesmiddelen sneller te kunnen screenen, naarmate er steeds meer data beschikbaar komt. Het is nu echter niet duidelijk of er voldoende trainings- en validatiedata beschikbaar zijn. Naast molecuulbeschrijvingen zijn er gegevens over de synthese van chemicaliën nodig om een zo volledig mogelijke schatting van het milieueffect van geneesmiddelen te hebben. Hiervoor is wel molecuulinformatie van alle betrokken chemicaliën bij de synthese van een API nodig, evenals de formulering. De industrie kan hierbij helpen. Ook is er wellicht een mogelijkheid om andersom te screenen op chemicaliën met een vergelijkbare molecuulstructuur, met geneesmiddelen uit Ecoinvent als LCI-database, om sneller tot een ruwe effectschatting te komen.

Als uit inventarisatie van ruwe data en LCA-studies voor training en validatie blijkt dat er genoeg data beschikbaar zijn, dan zou machine learning kunnen worden ingezet om sneller schattingen te maken van de milieuvoetafdruk van geneesmiddelen. De mogelijkheden om milieueffecten van geneesmiddelen te schatten, wordt verder uitgewerkt in onder meer het EU-Horizonproject TransPharm 2022-2026.

## 4 Een goede zorgomgeving: onderzoek en praktijkvoorbeelden

Een van de pijlers van de Green Deal Duurzame Zorg 2.0 is de Gezondheidsbevorderende Zorgomgeving, ofwel een goede zorgomgeving. In opdracht van VWS heeft het RIVM vanaf 2018 inzichten en voorbeelden verzameld over hoe een duurzame goede zorgomgeving eruitziet. Dit is gedaan door literatuur onderzoek en het verzamelen van voorbeelden uit de praktijk. Het gaat niet zozeer - zoals de rest van dit rapport - over de *milieueffecten* van de zorg, maar over de mogelijkheden om een zorgomgeving te creëren waar patiënten, bewoners, medewerkers en bezoekers zich prettig voelen en uitgenodigd worden tot gezond gedrag. Een gezondheidsbevorderende leef- en zorgomgeving, nu en in de toekomst, valt ook onder duurzame zorg, en staat via de drie hoofdthema's natuur, architectuur en voeding in verbinding met milieu en klimaat.

Het doel van de verzamelde inzichten en praktijkvoorbeelden is om bestuurders, managers, zorgprofessionals en beleidsmakers concrete handelingsperspectieven te bieden. Dit is gedaan door:

- kennis te verzamelen uit de literatuur en deze toegankelijk te maken in zogenaamde achtergronddocumenten;
- op basis hiervan Wat Werkt Dossiers (een overzicht van de werkzaamheid van verschillende interventies) op te stellen;
- inspirerende, kwalitatief onderbouwde voorbeelden over duurzame initiatieven uit de praktijk te delen en toegankelijk te maken.

In januari 2022 is het project 'Interventies Duurzame Zorg' samengevoegd met de 'Kennisbasis Green Deal Duurzame Zorg'. In dit hoofdstuk is een beknopt overzicht gepresenteerd van de resultaten van het project vanaf 2018 tot en met mei 2022. Het doel van dit rapport is niet om uitputtend in te gaan op de achtergrond van het onderzoek, maar om een kort overzicht te geven van de belangrijkste gegevens en eerste inzichten. Op de RIVM-website Green Deal Duurzame Zorg<sup>17</sup> worden genoemde achtergronddocumenten gepresenteerd, evenals de Wat Werkt Dossiers. Er wordt daarin aangegeven wat de wetenschappelijke onderbouwing is voor de relatie tussen natuur, architectuur en voeding enerzijds en gezondheid anderzijds. Daarnaast zijn verzamelde praktijkvoorbeelden op genoemde website gestructureerd en openbaar toegankelijk gemaakt.

Naast de achtergronddocumenten, de Wat Werkt Dossiers en de praktijkvoorbeelden zijn drie webinars georganiseerd, en heeft uitwisseling en samenwerking plaatsgevonden met verschillende belanghebbenden op dit terrein.

### 4.1 Methode Achtergronddocumenten en Wat Werkt Dossiers

Voor de drie achtergronddocumenten over natuur, architectuur en voeding is een literatuurreview uitgevoerd, waarin gebruik is gemaakt van zowel nationale als internationale literatuur. Op basis van deze achtergronddocumenten zijn Wat Werkt Dossiers opgesteld. In de

dossiers wordt aangegeven in hoeverre - volgens de literatuur - bepaalde maatregelen of aanpassingen bijdragen aan het welbevinden en de gezondheid van patiënten, bewoners, medewerkers en bezoekers van zorginstellingen. 'Wat werkt' geeft aan dat er voldoende (hoogwaardig) onderzoek met positieve effecten is. 'Wat werkt waarschijnlijk' betekent dat er gebrek is aan voldoende onderzoek, maar dat de studies die voorhanden waren positieve effecten laten zien. Met 'wat werkt niet' wordt bedoeld dat uit het merendeel van de gevonden studies blijkt dat een element niet leidt tot positieve effecten. 'Wat is onzeker of onbekend' wil zeggen dat er gebrek is aan (hoogwaardige, consistente) literatuur over dit onderwerp.

## 4.2 Methode praktijkvoorbeelden

De praktijkvoorbeelden zijn tot stand gekomen via websearch en door RIVM-contacten met (koepels van) zorginstellingen. Daarnaast konden zorginstellingen met een inspirerend voorbeeld zich melden via de mailbox [duurzamezorg@rivm.nl](mailto:duurzamezorg@rivm.nl). Er is daarna achterhaald of het voorbeeld past bij onze pijler en de daarbij gestelde eisen. In telefonische interviews is vervolgens de volgende informatie opgehaald:

- De aanpak van de aanpassing, maatregel of activiteit (hoe is men te werk gegaan);
- Het doel en de doelgroep van de aanpassing, maatregel of activiteit (bijvoorbeeld patiënten, bewoners (of een deel van hen), medewerkers of bezoekers);
- De werking (wat heeft de maatregel of activiteit opgeleverd; is hier eigen onderzoek naar gedaan). Daarbij wordt ook verwezen naar wat bekend is uit de literatuur en de Wat Werkt Dossiers;
- Aansluiting met andere Green Deal-doelen: draagt de maatregel of activiteit gericht op gezondheidsbevordering bijvoorbeeld ook bij aan het verminderen van broeikasgasemissies (bijvoorbeeld door meer groen binnen en buiten de instelling te realiseren), of aan de circulaire economie (bijvoorbeeld doordat in een moestuin groenten en fruit voor eigen gebruik worden verbouwd);
- Aandachtspunten bij de uitvoering, waar moet op worden gelet? (randvoorwaarden, succesfactoren en leerpunten);
- Meer informatie (verwijzing naar de website van de instelling of andere bronnen, e-mailadres).

Op basis van de interviews is een concepttekst voor de website gemaakt. Vervolgens is deze getoetst bij de instelling, verder bewerkt en voorzien van foto's en/of video's en op de website geplaatst. De praktijkvoorbeelden die tot nu toe zijn opgehaald, zijn (net als de achtergronddocumenten en Wat Werkt Dossiers) ondergebracht in drie hoofdcategorieën: natuur, architectuur en voeding. Daarbinnen is onderscheid gemaakt tussen de sectoren:

- Ziekenhuizen en Universitair Medische Centra (UMC's);
- Verpleging en verzorging;
- Geestelijke gezondheidszorg (GGZ);
- Gehandicaptenzorg.

## 4.3 Uitkomsten

In deze paragraaf worden de belangrijkste uitkomsten van het project Gezondheidsbevorderende Zorgomgeving gepresenteerd. De uitkomsten

van het literatuuronderzoek zijn te vinden in de drie achtergronddocumenten over natuur, architectuur en voeding. Op basis van deze achtergronddocumenten zijn Wat Werkt Dossiers opgesteld. Deze Wat Werkt Dossiers zijn hier weergegeven voor Gezondheid en: Natuur (Tabel 16), Architectuur (Tabel 17), en Voeding (Tabel 18). In de dossiers wordt aangegeven in hoeverre bepaalde maatregelen of aanpassingen bijdragen aan het welbevinden en de gezondheid van patiënten, bewoners, medewerkers en bezoekers van zorginstellingen.

*Tabel 16 Overzicht van het Wat Werkt Dossier Natuur en Gezondheid. Een uitgebreide beschrijving is te vinden in het achtergronddocument<sup>103</sup>.*

### **Wat Werkt – Natuur en Gezondheid**

#### **Wat werkt?**

- Patiënten in ziekenhuizen zijn meer tevreden met een ruimte waarin planten staan dan met een ruimte zonder planten.
- Planten dragen bij aan stressreductie en positieve emoties.
- Ook posters van planten of andere natuurafbeeldingen dragen bij aan stressverlaging en meer tevredenheid bij patiënten en werknemers in de zorg.
- Een groene omgeving heeft positieve effecten voor werknemers, omdat groen onder meer bijdraagt aan het herstel van een stressvolle werkomgeving. Daarbij gaat het om natuur in de directe omgeving van de zorginstelling, zoals een tuin, dakterras of bos.
- Natuurgeluiden, zoals van vogels, zachte wind of water, dragen bij aan stressverlichting bij patiënten in ziekenhuizen.
- Uitzicht op natuur kan het herstel na een operatie bevorderen.

#### **Wat werkt waarschijnlijk?**

- Binnenplanten hebben een positieve invloed op de fysieke gezondheid van patiënten in ziekenhuizen. Zo zijn er positieve effecten op bloeddruk, pijn, vermoeidheid en ligduur in het ziekenhuis.
- Binnenplanten kunnen bij patiënten in ziekenhuizen bijdragen aan positieve emoties, kalmte, minder stress en een verhoogd ervaren welzijn.
- Het kijken van natuurfilms kan bij patiënten het herstel van een stressvolle gebeurtenis bevorderen en de bloeddruk verlagen.
- Een groene omgeving (zoals tuin, dakterras, bos) in een verpleeghuis voor mensen met dementie kan de mentale gezondheid van de inwoners bevorderen. Daarbij gaat het om een vermindering van agitatie, een positievere stemming en een verbeterde kwaliteit van leven.
- Natuurgeluiden kunnen leiden tot meer positieve gevoelens bij patiënten in ziekenhuizen, verminderde angst en agitatie, een lagere bloeddruk, minder pijn en minder postoperatief trauma.

#### **Wat is onzeker of onbekend?**

- Het is niet bekend wat de effecten van de binnenplanten op de gezondheid en beleving van werknemers en bezoekers in verschillende settings in de zorg zijn.
- Het is nog onzeker welke factoren precies meespelen bij de positieve gezondheidseffecten van binnenplanten op patiënten in ziekenhuizen. Daarbij gaat het onder meer om de soort planten, hoe opvallend de planten in de ruimte staan, de tijd van blootstelling, de duur van de effecten en het type doelgroep.

- De relatie tussen binnenplanten en de kans op het ontwikkelen van infecties of allergische reacties is nog niet voldoende onderzocht.
- Hoewel er relatief veel bekend is over de positieve effecten van een groene omgeving (zoals tuin, dakterras, bos) op de gezondheid van mensen, kan er nog meer onderzoek worden gedaan naar het gebruik van een groene omgeving binnen zorgomgevingen.
- In sommige onderzoeken zijn zowel de effecten van natuur als van andere gezondheidsbevorderende factoren gecombineerd. Er is meer onderzoek nodig naar het geïsoleerde effect van natuur en de onderliggende mechanismen om aspecten als de mate van blootstelling (locatie, duur, etc.) beter te begrijpen.

*Tabel 17 Wat Werkt Dossier Architectuur en Gezondheid. Een uitgebreide beschrijving is te vinden in het achtergronddocument<sup>104</sup>.*

### **Wat Werkt – Architectuur en Gezondheid**

#### **Wat werkt?**

- Uitzicht op de natuur heeft een positief effect op gezondheid en welzijn van patiënten en zorgpersoneel. Zie ook Tabel 16.
- Daglicht en helder kunstlicht hebben een positief effect op gezondheid en welzijn van zowel patiënten als personeel.
- Het gebruik van geluidreducerende materialen heeft een positief effect op het welzijn van zowel patiënten als personeel.

#### **Wat werkt waarschijnlijk?**

- Een eenpersoonskamer heeft voor veel patiënten positieve effecten op welzijn, zoals verminderde stress, meer privacy en betere slaap. Voor sommige patiënten is een kamer met meerdere patiënten juist goed voor het herstel.
- Het gebruik van eenpersoonskamers kan voor het zorgpersoneel leiden tot een lagere werktevredenheid, verminderd overzicht van de behoeften van de patiënt en bezorgdheid over de (sociale) isolatie van de patiënt.
- Het gebruik van ruimtes waar families bijeen kunnen komen lijkt de ervaren sociale steun van patiënten te verhogen.
- Een betere oriëntatie in het gebouw verhoogt de tevredenheid van het (zorg)personeel. Een overzichtelijke indeling van de werkvloer of plattegrond kan daarbij helpen. Hierbij valt ook te denken aan meer patiënten op een kamer of een uniforme indeling van eenpersoonskamers.
- Frisse lucht of gefilterde lucht is gerelateerd aan minder infecties.
- Bij de architectuur kunnen ook duurzaamheidsaspecten worden meegenomen, zoals de toepassing van hergebruikte materialen.

#### **Wat is onzeker?**

- Over het algemeen blijkt het lastig om onderzoek te doen naar het effect van omgevingsfactoren op gezondheid en welzijn. Dit komt omdat de effecten van de architectuur van een gebouw moeilijk te isoleren zijn van de effecten van andere omgevingsfactoren.
- De effecten van de architectuur zijn afhankelijk van het type gebruiker (patiënt, bezoeker of medewerker) en de mate waarin de gebruiker hieraan wordt blootgesteld.



*Tabel 18 Wat Werkt Dossier Voeding en Gezondheid. Een uitgebreide beschrijving is te vinden in het achtergronddocument<sup>105</sup>.*

## **Wat Werkt – Voeding en Gezondheid**

### **Wat werkt?**

- Bij patiënten in ziekenhuizen of bewoners van verpleeg- of verzorgingshuizen helpt flexibiliteit in menukeuze en eetmomenten om ondervoeding te voorkomen. Daarnaast heeft dit een positief effect op de energie- en eiwitinname van patiënten en bewoners. Dit verkleint ook de kans op voedselverspilling.
- Bij patiënten in ziekenhuizen of bewoners van verpleeg- en verzorgingshuizen draagt de inzet van voedingsassistenten voor hulp bij menukeuze bij aan een hogere voedsel-, energie- en eiwitinname.
- Meerdere kleine (al dan niet verrijkte) maaltijden en/of extra (verrijkte) tussendoortjes hebben een positief effect op de energie- en eiwitinname van patiënten in ziekenhuizen of bewoners van verpleeg- en verzorgingshuizen.
- Gecombineerde leefstijlinterventies met veranderingen in de omgeving die uitnodigen tot gezonde voeding en bewegen helpen onder meer om overgewicht terug te dringen bij bewoners van GGZ-instellingen en in de gehandicaptenzorg.
- Bij bewoners van GGZ-instellingen en in de gehandicaptenzorg ondersteunt actieve inbreng en deelname van het behandelend team aan de interventie het effect op onder meer het lichaamsgewicht.
- Gebruik van 'priming nudges' helpt medewerkers en bezoekers van zorginstellingen om gezondere keuzes te maken. Het gaat daarbij om kleine aanpassingen in de omgeving die de zichtbaarheid, toegankelijkheid en beschikbaarheid van gezonde producten verbeteren.

### **Wat werkt waarschijnlijk?**

- De inzet van (getrainde) vrijwilligers om te assisteren bij de maaltijd draagt bij aan het voorkomen van ondervoeding bij patiënten in ziekenhuizen of bewoners van verpleeg- en verzorgingshuizen.
- Een andere manier van opdienen (family-style, buffet-style, restaurant-style) helpt ondervoeding te voorkomen bij patiënten in ziekenhuizen of bewoners van verpleeg- en verzorgingshuizen.
- Een huiselijke omgeving draagt bij aan het voorkomen van ondervoeding bij patiënten in ziekenhuizen of bewoners van verpleeg- en verzorgingshuizen.
- Sturen van gezonde keuzes door bijvoorbeeld labeling of etikettering van gezonde producten, zoals een kleurcodering, stimuleert gezonde voeding bij medewerkers en bezoekers van zorginstellingen.

### **Wat werkt niet?**

- Instellen van beschermde eettijden (niet storen tijdens maaltijden) voorkomt ondervoeding niet bij patiënten in ziekenhuizen of bewoners van verpleeg- en verzorgingshuizen, als het als enige maatregel wordt ingezet.

### **Wat weten we nog niet?**

- Het is nog onbekend of het gebruik van contrastrijk servies voor het serveren van eten ondervoeding helpt te voorkomen bij

patiënten in ziekenhuizen of bewoners van verpleeg- en verzorgingshuizen, als het als enige maatregel wordt ingezet.

- Het is nog onbekend of het afspelen van muziek tijdens het eten ondervoeding helpt te voorkomen bij patiënten in ziekenhuizen of bewoners van verpleeg- en verzorgingshuizen, als het als enige maatregel wordt ingezet.
- Het is ook nog niet bekend of het verbeteren van de geur en/of smaak van voedingsmiddelen helpt bij het voorkomen van ondervoeding bij patiënten in ziekenhuizen of bewoners van verpleeg- en verzorgingshuizen.

Naast de Wat Werkt Dossiers zijn in totaal 54 praktijkvoorbeelden verzameld. In de eerste maanden van 2022 is een start gemaakt met het actualiseren en aansprekender presenteren van de eerste praktijkvoorbeelden uit 2020. Daarbij werd bijvoorbeeld teruggekeken door de geïnterviewden te vragen hoe het nú gaat met de activiteit, en wat het resultaat is geweest.

De praktijkvoorbeelden zijn zeer divers wat betreft doelstelling, doelgroep, aanpak en scope. Een aantal dingen valt op:

- Verreweg de meeste praktijkvoorbeelden zijn gericht op de bewoners/cliënten. Soms worden medewerkers en bezoekers ook meegenomen in de initiatieven en activiteiten, maar zij zijn minder vaak de hoofddoelgroep.
- De meeste omschreven praktijkvoorbeelden zijn initiatieven en activiteiten in ziekenhuizen/UMC's en in de verpleging en verzorging zoals GGZ, gehandicaptenzorg en revalidatiezorg.
- De professionals met wie is gesproken, geven bijna allemaal aan dat het belangrijk is dat een instelling een visie heeft waarin staat wat zij belangrijk vindt op het gebied van een gezonde leef- en werkomgeving. Daarbij draagt steun van het management bij aan het succes en de continuïteit van de initiatieven.
- Voor de implementatie van maatregelen en aanpassingen aan een gebouw of in het beleid is het van groot belang te communiceren met deskundigen op het terrein van gezonde leefomgeving en welbevinden, met de patiënten/bewoners zelf en met medewerkers en bezoekers. Zo sluit een initiatief aan op wat zij nodig hebben en op hun wensen. Meer mensen steunen de invoering van maatregelen dan.
- Uit de interviews en de praktijkvoorbeelden blijkt duidelijk dat het welbevinden van bewoners (en medewerkers) altijd al een belangrijk aandachtspunt voor zorginstellingen is geweest, en dit nog steeds is. Dit geldt zeker voor instellingen waar mensen langer verblijven, zoals in de ouderenzorg en gehandicaptenzorg. Welbevinden leidt niet alleen tot betere gezondheid, maar is voor bestuur en management van de instelling een belangrijke graadmeter voor het goed functioneren van de instellingen.

De RIVM-website over duurzame zorg wordt inmiddels goed gevonden. Zie Tabel 19.

*Tabel 19 Bezoekersaantal RIVM-website duurzame zorg in de maanden oktober 2021 t/m maart 2022, inclusief RIVM'ers. In deze periode bezochten zo'n 1.600 mensen per maand de website.*

Bezoekers RIVM-website Duurzame Zorg <sup>¥</sup>		Gezondheid bevorderen <sup>#</sup>	Sub secties
Aantal totaal	10.330	5.850	
Gemiddeld per week	341	93	
		34	<i>architectuur</i>
		27	<i>natuur</i>
		57	<i>voeding</i>

<sup>¥</sup> [www.rivm.nl/green-deal-duurzame-zorg](http://www.rivm.nl/green-deal-duurzame-zorg)

<sup>#</sup> Meerdere pagina's onder [www.rivm.nl/green-deal-duurzame-zorg/gezondheid-bevorderen-door-goede-leefomgeving-zorginstellingen](http://www.rivm.nl/green-deal-duurzame-zorg/gezondheid-bevorderen-door-goede-leefomgeving-zorginstellingen)

Uit de gesprekken, interviews en webinars blijkt dat er behoefte is aan meer wetenschappelijk onderbouwde praktijkvoorbeelden voor verschillende pijlers of thema's, zoals circulair werken en klimaat(mitigatie), en aan het leggen van verbinding tussen de verschillende pijlers of thema's. Dit komt overeen met eerdere bevindingen, gepubliceerd in RIVM-briefrapport 'Verkenning Monitoringsopties Green Deal Duurzame Zorg'.<sup>12</sup>

Naast de voorbeelden op de RIVM-website, hebben organisaties ook zelf voorbeelden verzameld over een goede zorgomgeving, net als over de andere thema's van de Green Deal Duurzame Zorg. Deze zijn wisselend toegankelijk voor anderen buiten een organisatie, dus niet altijd openbaar.<sup>12</sup> Specifiek voor het thema medicijnresten is er een website met voorbeelden en meer informatie over de Ketenaanpak Medicijnresten uit Water ([www.medicijnresten.org](http://www.medicijnresten.org)).

Naast het doorgaan met het structureren en delen van wetenschappelijk onderbouwde voorbeelden, is er nog meer nodig. Er zijn initiatieven en samenwerkingen nodig om (kleinere) instellingen te helpen bij het inzetten, monitoren en evalueren van duurzame interventies. In samenwerking met de andere instellingen en kennispartners kunnen tools en instrumenten worden gedeeld en op maat worden ontwikkeld, zodat alle instellingen effectiever duurzame én gezonde interventies kunnen uitvoeren.<sup>12,106</sup>

#### *Overige activiteiten*

Naast de achtergronddocumenten, Wat Werkt Dossiers en praktijkvoorbeelden zijn er ook andere activiteiten geweest om het veld te inspireren en kennis omtrent de gezondheidsbevorderende zorgomgeving te delen. In juni en november 2021 en in februari 2022 vonden in samenwerking met VWS drie webinar-*specials* plaats over achtereenvolgens Natuur, Architectuur en Voeding in de context van duurzame zorg. Bij Natuur en Architectuur waren ruim 200 deelnemers aanwezig, bij voeding ca. 350. De deelnemers waren voornamelijk bestuurders en professionals in de zorg, en beleidsmakers. Het plenaire gedeelte bestond uit presentaties over onderzoek en ervaringen rondom een van de thema's en over voorbeelden uit de praktijk. Bij de webinars Architectuur & Duurzame Zorg en Voeding & Duurzame Zorg was er daarnaast ook een paneldiscussie met experts. Bij de webinars Natuur & Duurzame Zorg en Architectuur & Duurzame Zorg was er na het plenaire

gedeelte gelegenheid om in *break-out rooms* per sector na te praten. Ook hier bleek er naast uitwisseling van ervaringen steeds veel behoefte te zijn aan concrete informatie en onderbouwing.

Daarnaast is er uitwisseling van kennis geweest met partijen als ZonMw, Vilans, Eten+Welzijn, Alliantie Gezonde Voeding, duurzaamheidscoördinatoren van de academische ziekenhuizen en andere belanghebbenden in de zorg, architectuur en voedingssector.

#### **4.4 Conclusies en aanbevelingen voor een gezondheidsbevorderende zorgomgeving**

Er blijkt behoefte te zijn aan kennis, inzichten en praktijkvoorbeelden over een goede zorgomgeving. Alle instellingen gaven aan dat zij gemotiveerd zijn om voor hun patiënten/cliënten, medewerkers en bezoekers een omgeving te creëren waarin zij zich goed voelen, gezond kunnen verblijven, kunnen bewegen, en gezond kunnen eten en drinken. Geïnterviewden gaven verder over hun eigen initiatieven aan dat de aanpassingen, maatregelen of activiteiten hebben bijgedragen aan positieve effecten, zoals smaakvoller voedsel en minder restafval. Ook zijn er verschillende activiteiten in gang gezet waarbij patiënten of bewoners actiever en zelfstandiger zijn geworden.

Juist de behoefte om een gezonde omgeving te creëren voor bewoners, bezoekers en medewerkers maakt dat men een goede afweging wil maken met betrekking tot de te nemen maatregelen en de op te zetten activiteiten. Welke activiteiten of maatregelen zijn geschikt? Wat is een goede aanpak? Welke randvoorwaarden zijn nodig? De praktijkvoorbeelden en de onderbouwing zijn dan behulpzaam. Men wil van elkaar leren, en geld en tijd zo doelgericht en effectief mogelijk inzetten om te kunnen verduurzamen. Dit benadrukt het belang van wetenschappelijke onderbouwing en toegankelijkheid van de praktijkvoorbeelden.

Het verzamelen en verder structureren van meer wetenschappelijk onderbouwde praktijkvoorbeelden blijft nodig, met name voor de sectoren geestelijke gezondheidszorg (GGZ) en gehandicaptenzorg. Deze sectoren zijn nog onderbelicht, en juist daar verblijven bewoners vaak langdurig. De instelling is dan geen tijdelijke verblijfplaats maar een woonomgeving, waardoor een gezonde en prettige leefomgeving extra bepalend wordt. Ook zijn er voor alle zorgprofessionals meer voorbeelden nodig op het gebied van andere duurzaamheidsthema's, zoals circulariteit en klimaatmitigatie.

Naast meer voorbeelden zijn er initiatieven en samenwerkingen nodig om (kleinere) instellingen te helpen bij het inzetten, monitoren en evalueren van duurzame interventies.

## 5 Generieke discussie, conclusie en aanbevelingen

### 5.1 Discussie

#### 5.1.1 *De milieuvoetafdruk en monitoring*

In dit RIVM-rapport is een methode opgezet om de milieuvoetafdruk van de Nederlandse zorgsector te meten. Hiervoor was maatwerk nodig. De generieke voetafdruk is middels input-outputanalyse (top-down) berekend met de meest recente beschikbare data en kengetallen. Het resultaat is aangevuld met specifieke (bottom-up) gegevens, zoals effecten van drijfgassen in inhalatiemedicatie. Hierna is met een bottom-up analyse verdieping aangebracht in de productgroep die het meest bijdraagt aan de berekende milieuvoetafdruk van de zorgsector: chemieproducten, waar geneesmiddelen en medische verbruiksartikelen onder vallen. Met deze hybride aanpak, waarbij de generieke top-down analyse en de bottom-up analyse samenkomen, is de basis gelegd voor een nulmeting van de milieuvoetafdruk van de Nederlandse zorgsector. Ook is verkend welke data er nog ontbreken, meer moeten worden gespecificeerd of betere duiding vragen in vervolgonderzoek.

Om daadwerkelijk een nulmeting te kunnen vaststellen, is het nodig een analyse te doen naar wat daar de minimaal vereiste data voor zijn, te kijken of al deze data beschikbaar zijn en te bepalen wat de onzekerheden zijn. Daarna is het van belang om te kijken wat de mogelijkheden zijn om data en kengetallen representatief en actueel te houden, en wat een zinvolle frequentie voor monitoring zou zijn. Op deze manier kan dan een nulmeting worden opgezet, met een plan van aanpak voor monitoring van de landelijke ontwikkelingen van de milieuvoetafdruk van de zorg. Hiermee kan ook worden voldaan aan één van de commitments die het ministerie van VWS heeft gemaakt op de VN-klimaatconferentie COP26.<sup>10</sup> Het is belangrijk om samen met VWS en bij de zorg betrokken organisaties te kijken welke doelen een monitor precies moet dienen of ondersteunen, zodat die waar nodig kunnen worden aangepast. In vervolgonderzoek kunnen bijvoorbeeld ook meer milieueffecten worden meegenomen, zoals eutrofiëring en verzuring van de bodem, en relevante effecten voor respectievelijk biobased materialen (vaak ingezet voor duurzame plastics) en duurzame voeding.<sup>107,108</sup> Daarnaast kunnen aandachtsgebieden of hotspots ook worden opgepakt in lokale, nationale en internationale beleidsambities.

Met een milieuvoetafdruk en een monitor kunnen de huidige status van en de veranderingen in milieueffecten worden bijgehouden. Dit helpt om onderwerpen die aandacht vereisen bij het verduurzamen van de zorg te kunnen identificeren, prioriteren en volgen. Partijen in de zorgsector, zoals producenten, leveranciers, brancheverenigingen en zorginstellingen, kunnen zelf aan de slag door bijvoorbeeld in jaarplannen te sturen op onderwerpen die (tijdelijk) meer aandacht nodig hebben.<sup>7</sup> Betrokkenen kunnen de milieuvoetafdrukresultaten ook gebruiken bij de Ketenaanpak Medicijnresten uit Water<sup>109</sup> en het nationale convenant Green Deal Duurzame Zorg<sup>10</sup>, om overzicht te krijgen en om er onderdelen uit op te pakken. Zo is in dit rapport aangetoond dat chemicaliën, verbruiksartikelen en geneesmiddelen

gezamenlijk voor een groot aandeel van de milieueffecten zorgen. Daarom is het belangrijk dat producenten van geneesmiddelen, medische hulpmiddelen en verbruiksartikelen meer gegevens openbaar delen voor duurzaamheidsanalyses. Dit kunnen data zijn over het productieproces zoals gegevens over grondstofgebruik, energieverbruik, waterverbruik, maar ook informatie over transportafstanden en productsamenstelling is nodig om een beter beeld te krijgen van hoe chemicaliën en geneesmiddelen duurzamer gemaakt kunnen worden. Daarbij is het waardevol dat resultaten van uitgevoerde duurzaamheidsstudies zoals levenscyclusanalyses openbaar worden gedeeld. Daarnaast kan duurzame voeding in de zorg een belangrijke bijdrage leveren aan de vermindering van milieueffecten.

Door de complexiteit van de transitie naar een duurzame maatschappij zijn directe lokale effecten (milieu en gezondheid) nu nog moeilijk te meten. Concrete tussendoelen van verduurzaming van de zorg kunnen al wel voor alle pijlers worden geformuleerd, samen met de lange termijn ambities. Dit kan op basis van de aankomende Green Deal Duurzame Zorg 3.0 of de internationale duurzame ontwikkelingsdoelen<sup>117</sup>. In de vorm van transitie- of actiemonitoring kunnen dan verschillende praktijkvoorbeelden en lopende acties voor alle pijlers gestructureerd in kaart worden gebracht en gevolgd.<sup>25</sup> Dit geeft een eerste beeld van hoe de verduurzaming van de zorg verloopt en welke richting deze op gaat.<sup>12</sup> In een monitor voor de milieuvoetafdruk op nationale schaal kunnen daarnaast de meer kwantitatieve effecten in kaart worden gebracht, en kan worden gewerkt aan kennisontwikkeling. Hierbij worden belangrijke thema's als broeikasgasemissies, grondstoffengebruik, afval en meer in kaart gebracht en gemonitord. Door in de loop der jaren zowel naar effecten als acties te kijken, kan kennis effectiever worden gedeeld en kan er beter worden gestuurd op verduurzaming in de zorg.<sup>12</sup>

### 5.1.2 *Van overzicht naar handelingsperspectieven*

Een generiek overzicht voor Nederland is een noodzakelijke aanpak, omdat het praktisch niet mogelijk is van elk product in elke toepassing een eigen levenscyclus- of individuele effectanalyse te maken. Dit kost nu te veel tijd en middelen, en daarbij is het op die manier lastiger om overzicht te krijgen en trends te ontdekken.

De komende jaren is het noodzakelijk om deze basisanalyse uit te werken naar een hoger detailniveau, om zo meer onderscheid te kunnen gaan maken in verschillende diensten en productgroepen, zoals voor chemicaliën, wegwerpproducten en geneesmiddelen. Specifieke analyses kunnen gericht bepaalde informatie boven tafel krijgen, zoals de in deze studie behandelde betere metingen van de effecten van pijnstillers en antibiotica op de milieuthema's. Hiervoor is ook transparantie (data) en betrokkenheid (samenwerkingen) nodig van partijen in de keten, zoals geneesmiddelen- en verpakkingsproducenten.

Naast duurzaamheidsanalyses moeten vaak ter aanvulling risicoanalyses worden gedaan, bijvoorbeeld voor oppervlaktewater<sup>110,111</sup>, omdat voor de bepaling van ecotoxiciteit een (wettelijke) lokale beoordeling nodig kan zijn en een methode als LCA hiervoor niet toereikend is.

Omdat de praktijk en handelingsperspectieven van verschillende instellingen heel kunnen anders zijn, bijvoorbeeld in de gehandicaptenzorg of in een ziekenhuis, is het waardevol om onderscheid te maken in verschillende deelsectoren in de zorg. Hiermee kan de milieuvoetafdruk, inclusief de hotspots, beter worden bepaald. Analyses en praktijkvoorbeelden voor deze verschillende instellingen zijn nodig om zorgprofessionals lokaal te helpen verduurzamen en te evalueren.<sup>12</sup> Ook kunnen deze praktijkvoorbeelden verder worden uitgewerkt en onderbouwd om klimaatadaptatie en -mitigatie, milieukwaliteit en volksgezondheid beter met elkaar te verbinden. Zo ziet het RIVM dat vergroening van de zorgomgeving niet alleen een bijdrage kan leveren aan klimaatmitigatie en -adaptatie, maar ook aan het welbevinden van patiënten en medewerkers.<sup>103</sup>

De milieuvoetafdruk van de Nederlandse zorgsector en de acties van alle verschillende zorgprofessionals die hier aan werken, kunnen zorgen voor verbinding met andere sectoren en dienen als voorbeeld. Zo wordt er door de ministeries van Economische Zaken en Klimaat (EZK), Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit (LNV) en Infrastructuur en Waterstaat (IenW) ook met voetafdrukgegevens gewerkt. Hoewel afzonderlijke ministeries al kijken naar indirecte uitstoot door inkoop van producten, is er nog geen beleid voor minder uitstoot van broeikasgassen in de hele keten, evenmin als voor de andere milieueffecten die in deze studie zijn bekeken. Bovendien kijken de departementen nog niet gezamenlijk naar ketenemissies.<sup>114</sup> Het in kaart brengen van deze uitstoot is van belang om een beter beeld te geven van de gevolgen voor gezondheid en milieu (nu en op langere termijn), en voor het bieden van handelingsperspectieven. Het kijken naar meerdere milieueffecten tegelijk is ook van belang om win-win kansen te kunnen zien en afwenteling van bijvoorbeeld klimaatverandering naar andere milieueffecten te voorkomen. De in dit rapport gepresenteerde aanpak, waarbij in opdracht van VWS de directe milieueffecten en de indirecte (keten)effecten zijn berekend voor een hele sector, kan bijdragen aan het delen van kennis tussen sectoren en departementen, en zorgen voor meer samenhang.

Het omrekenen van effecten naar kosten (en baten), zoals in een maatschappelijke kosten-batenanalyse<sup>115</sup>, kan een manier zijn om uitkomsten van milieueffecten makkelijker te vergelijken en besluitvorming te ondersteunen. Een andere methode is het omrekenen van om de effecten naar gezondheidsverlies, waarvoor *disability-adjusted life years* (DALYs) kunnen worden gebruikt. Een DALY is een verloren levensjaar door overlijden of ziekte en wordt bijvoorbeeld gebruikt bij ziektebelastberekeningen. Omdat klimaatverandering kan leiden tot gezondheidseffecten, kan de uitstoot van broeikasgassen en fijnstof worden omgerekend naar DALY voor de bevolking, om de effecten op langere termijn in gezondheidsverlies uit te kunnen drukken. Dit geeft een indicatie van de mate waarin gezondheid is gekoppeld aan klimaatverandering, dan wel luchtkwaliteit.<sup>116</sup> Zo zou bijvoorbeeld kunnen worden gekeken hoeveel emissies vrijkomen bij bepaalde behandelingen, en wat daarvan de bijkomende toekomstige ziektelast in DALY is. In deze studie is daar bewust niet voor gekozen, omdat de relatie met volkgezondheid nog niet kan worden geschat voor veel milieueffecten (zoals van pathogenen, zwerfafval of microplastics).

Het is niet onderdeel van deze studie geweest om te kijken voor welke milieueffecten een DALY kan worden uitgerekend en welke niet en hoe representatief of volledig dit zou zijn. Ook gaat het in dit onderzoek in eerste instantie om de intrinsieke vraag hoe groot de milieueffecten zijn en waar ze vandaan komen, om vervolgens te kunnen zien of deze effecten kunnen worden verminderd en voorkomen. Het doel van deze studie was niet om het ene (milieu)effect te wegen tegenover het andere, iets waarbij naast gezondheid en milieu ook maatschappelijke, economische, politieke en ethische aspecten komen kijken. Resultaten van deze studie - of onderdelen ervan - kunnen in vervolgonderzoek indien gewenst en relevant verder worden uitgewerkt voor maatschappelijke kosten-batenanalyses of worden omgerekend naar DALY.

Nu is al inzichtelijk geworden, ook zonder omzetting naar DALY of kosten en baten, dat zorgprofessionals en beleidsmakers kunnen bijdragen aan het behalen van de doelen op het gebied van klimaat en circulaire economie, en daarbij ook kunnen bijdragen aan de volkgezondheid op de langere termijn. Als maatregelen worden genomen om behandelingen, producten of diensten te verduurzamen, met minder emissies in de keten, dan wordt daarmee ook de ziektelast in de toekomst verlaagd. Duurzame zorg baat dus niet alleen de patiënten en bewoners van nu, maar ook het milieu en de volkgezondheid in de toekomst.

### 5.1.3 *Betrouwbaarheid en onzekerheden*

Een beter inzicht in de levenscyclus van apparatuur, productgroepen, zoals verbruiksartikelen, hulpmiddelen en beschermingsmiddelen, helpt om zowel in beleid als op de werkvloer te kunnen zien welke producten waar in de levenscyclus duurzamer moeten worden.<sup>22</sup> Dit helpt ook bij het maken van keuzes of stellen van prioriteiten, zodat tijd en middelen zo effectief mogelijk kunnen worden ingezet om te verduurzamen. Een (landelijke) onafhankelijke kennisbank met openbare data voor milieueffectanalyses kan extra effectief zijn om dergelijke kennis breed te ontwikkelen, delen en harmoniseren. Hierbij moet onderscheid worden gemaakt in primaire of ruwe *data* (bijvoorbeeld data over de grondstoffen die zijn gebruikt bij de productie van geneesmiddelen of een zogeheten lifecycle inventory (LCI) dataset) of *resultaten* van bijvoorbeeld levenscyclusanalyses. Essentieel is dat dan ook wordt gekeken naar kwaliteit en transparantie (bijvoorbeeld CRED<sup>112</sup>), naar toepassing van het concept 'FAIR data' (*Findability Accessibility Interoperability Reusability*), en naar mogelijkheden om bestaande databases aan te passen of uit te breiden (zoals bijvoorbeeld het Grondstoffen Informatie Systeem<sup>113</sup> en/of DigiMV).<sup>12</sup>

Een ander voorbeeld van een kennisbank met meer primaire data is [www.co2emissiefactoren.nl](http://www.co2emissiefactoren.nl). Een samenwerking van Milieu Centraal, Stimular, SKAO, Connekt en de Rijksoverheid zorgt elk jaar voor een geactualiseerde lijst van Nederlandse broeikasgasemissiefactoren (CO<sub>2</sub>-eq) van diverse productgroepen, op basis van het oordeel van een breed panel van experts en de meest recente inzichten. De database Milieubelasting Van Voedingsmiddelen<sup>108</sup> is een voorbeeld van een kennisbank met resultaten van LCA-studies waarin de milieueffecten zijn berekend voor voedsel. Het gaat om broeikasgasemissies, vermisting



van zout- en zoet water, verzuring van de bodem, landgebruik en irrigatie/waterverbruik. Een dergelijke openbare kennisbank met data en/of resultaten kan zowel lokaal als nationaal bijdragen aan verbetering van voetafdrukberendingen en aan gezamenlijke taal en definities. Dit is belangrijk omdat verschillende studies en resultaten dan beter te valideren en vergelijken zijn.

Voor de huidige sectorbrede milieuvoetafdrukberending zijn de meest representatieve en actuele data en methoden gebruikt. Aan de gebruikte data en het model zit echter altijd een onzekerheid. Daarbij zijn de specifieke bijdragen van de afzonderlijke product(groepen) of andere bronnen van milieueffecten op het gebruikte generieke niveau onzeker. Het combineren van generieke (top-down) en specifieke (bottom-up) data en methodes geeft inzicht in optimale modellen en uitkomsten wat variatie en onzekerheden betreft. Waar generieke top-down resultaten in het model vanwege het hoge aggregatieniveau meer onzekerheden bevatten, kunnen specifieke modellen meer onzekerheden bevatten in data. Ook zijn data niet zomaar te extrapoleren naar (of van) andere landen, andere jaren of individuele instellingen of personen, omdat het vaak gemiddelden betreft en situaties lokaal kunnen verschillen. Veranderingen in de werkelijkheid kunnen er dan ook voor zorgen dat data of kengetallen niet meer representatief zijn. Ook kunnen onzekerheden in een specifieke vergelijking nog acceptabel zijn, maar bij extrapolatie van de specifieke vergelijking naar een grotere hoeveelheid schalen deze onzekerheden mee, waardoor de gegevens niet meer even representatief of bruikbaar zijn. Denk bijvoorbeeld aan extrapolatie van een vergelijking van twee producten naar twee hele productgroepen voor heel Nederland. Het is daarom belangrijk dat vervolg onderzoek zich blijft inzetten voor het verbeteren van deze hybride aanpak door toe te werken naar een hoger detail niveau (beter onderscheid voor product groepen bijvoorbeeld) en de mate van onzekerheid en gevoeligheid (variatie in tijd en ruimte bijvoorbeeld) van de aanpak verder in kaart brengt.

De vergelijkingen met de voetafdrukresultaten van verschillende studies en de literatuurstudie naar geneesmiddelen-LCA's laten zien dat in de diverse schattingen veel verschillen ten grondslag liggen (in scope, data, methode en resultaten). Maar er zijn ook overeenkomsten tussen de resultaten, bijvoorbeeld in orde-grootte, waardoor een vorm van validatie soms wel mogelijk is. Dit helpt om voor een aantal productgroepen te kunnen zien waar in de levenscyclus duurzamere aanpak nodig is en ook waar meer informatie nodig is. Deze studie laat verder zien dat het gebruik van een eenduidige methode om de milieuvoetafdruk te bepalen belangrijk is om variatie te verminderen en studies vergelijkbaar te maken.

## 5.2 Conclusie & aanbevelingen

In dit rapport is een eerste landelijke milieuvoetafdruk voor de zorg berekend, die breder is dan klimaatverandering. Voor het onderzoek is de generieke input-outputanalyse (top-down) uitgevoerd met de meest recente beschikbare data, en is de berekende voetafdruk gecombineerd met aanvullende (specifieke) gegevens uit levenscyclusanalyses. De milieueffectcategorieën die in deze studie zijn onderzocht, zijn

broeikasgasemissies, zoetwaterconsumptie, extractie van abiotische grondstoffen (mineralen en metalen), landgebruik en de totale afvalproductie. Het onderzoek toont dat chemieproducten (waar ook verbruiksartikelen en geneesmiddelen onder vallen) een grote bijdrage leveren aan de milieueffecten van de zorg. Uit het bottom-up onderzoek blijkt dat het nog niet mogelijk is om volledig in beeld te krijgen welke producten of onderdelen in de keten van chemieproducten verantwoordelijk zijn voor de berekende effecten. Er zijn betere data nodig om bijvoorbeeld het specifieke aandeel van geneesmiddelen in de categorie chemieproducten te kunnen berekenen. Met deze aanpak is de basis gelegd voor een nulmeting van de milieuvoetafdruk van de Nederlandse zorgsector. Dit kan vervolgens gebruikt worden om de milieuvoetafdruk de komende jaren te monitoren.

Ook is een verkenning gedaan om te kijken of *machine learning*, naast andere methodes als levenscyclusanalyse, kan bijdragen aan het schatten van extra bottom-up data voor de milieueffecten van geneesmiddelen. Op dit moment is het nog onbekend of er genoeg bestaande en betrouwbare data beschikbaar zijn om machine learning te kunnen inzetten.

Daarnaast is gekeken naar de praktijk en daaruit voorbeelden verzameld hoe een goede zorgomgeving kan worden bevorderd binnen de thema's natuur, architectuur en voeding. Dit is gedaan door middel van literatuur onderzoek en interviews. De eerste positieve effecten zijn te zien van aanpassingen in de zorgomgeving die het welbevinden van patiënten, bezoekers en medewerkers verbeteren. Van een aantal praktijkvoorbeelden zijn de positieve (gezondheids)effecten aangetoond door middel van wetenschappelijk onderzoek. Daarnaast zijn er aanwijzingen dat een deel van de praktijkvoorbeelden bijdraagt aan verduurzaming. Bij verschillende voorbeelden blijkt dit ook uit onderzoek door de instellingen zelf (bijvoorbeeld door het terugdringen van voedselverspilling).

Dit onderzoek draagt bij aan de kennisbasis voor een duurzame zorg. Om de methode en inzichten te verbeteren, en om te kunnen bijdragen aan meer concrete handelingsperspectieven voor zowel beleid als de praktijk, doet het RIVM de volgende aanbevelingen aan ministeries, zorginstellingen, producenten en andere betrokken partijen:

- Gebruik minder energie en grondstoffen, omdat dit leidt tot een lagere milieubelasting. Concreet dragen bijvoorbeeld het beperken van onnodig geneesmiddelgebruik en inzetten op herbruikbare materialen hier direct aan bij;
- Producenten van geneesmiddelen, medische hulpmiddelen en verbruiksartikelen moeten meer gegevens openbaar delen, zodat deze beschikbaar zijn voor duurzaamheidsanalyses. Dit kunnen data zijn over het productieproces en de productsamenstelling, maar ook resultaten van uitgevoerde duurzaamheidsstudies zoals levenscyclusanalyses;
- Maak een gezamenlijk plan met zorginstellingen, brancheverenigingen, zorgverzekeraars, kennisinstellingen, het ministerie van VWS en andere belanghebbenden voor het openbaar delen en onderhouden van onafhankelijke en

- toegankelijke data, zoals via een kennisbank of een (bestaand) platform (bv. data over grondstoffen, samenstelling en gebruik);
- Producenten, leveranciers, transporteurs en zorgverleners moeten gezamenlijk aan de slag gaan om te zorgen voor meer samenwerking in (internationale) ketens. Hierbij moeten de thema's gezondheid, klimaatverandering, natuur en circulariteit worden verbonden, bijvoorbeeld door het maken van gezamenlijke afspraken over definities en doelstellingen en deze vast te leggen in beleidsambities en jaarplannen.
  - Betrokken ministeries als VWS, EZK, IenW en LNV kunnen meer samenwerken om de thema's gezondheid, klimaatverandering, natuur en circulariteit beter te verbinden, door bijvoorbeeld te sturen op harmonisatie van definities en methoden, en op een generieke, openbare en valide aanpak voor de sectorale voetafdrukberekening.
  - Laat een plan van aanpak uitwerken voor een nulmeting van de milieuvoetafdruk van de zorg in Nederland. Breng eisen, onzekerheden en frequentie voor het monitoren in kaart. Met een nulmeting en monitor kan ook worden voldaan aan één van de commitments aan de VN-klimaattop COP26, en kan de voortgang van de doelstellingen op het gebied van de circulaire economie worden gevolgd;
  - Faciliteer doorontwikkeling van de voetafdrukberekening, waarbij er beter onderscheid kan worden gemaakt in de milieuvoetafdruk voor producten en diensten, zoals chemicaliën, geneesmiddelen, verbruiksartikelen en mogelijk behandelingen;
  - Faciliteer vervolgonderzoek waarbij voor verschillende deelsectoren meer onderscheid in de milieuvoetafdruk wordt gemaakt, door dit in de input-outputanalyse te specificeren en onderscheid te maken tussen ziekenhuizen, verpleging en verzorging, geestelijke gezondheidszorg en gehandicaptenzorg;
  - Faciliteer meer wetenschappelijk onderbouwde praktijkvoorbeelden van diverse milieuthema's en van de gezondheidsbevorderende zorgomgeving voor de verschillende deelsectoren: ziekenhuizen, verpleging en verzorging, geestelijke gezondheidszorg en gehandicaptenzorg, met extra aandacht voor langdurige zorg. Kwantitatieve uitkomsten kunnen vervolgens worden gebruikt in het duurzaamheidsbeleid van de instellingen (als nieuwe standaard of als streven).



## 6 Verklarende woordenlijst, begrippen en afkortingen

### **Aardopwarmingsvermogen**

Zie: GWP – global warming potential

### **AD – applicability domain / toepasbaarheidsdomein**

De range van data waarop een model toepasbaar is. In dit geval de chemische informatie waarop de trainingsset van een model (zoals QSAR of ANN) is ontwikkeld. Dit geeft de ruimte aan waarbinnen voorspellingen over stoffelijke eigenschappen kunnen worden gemaakt.

### **AI – artificial intelligence / kunstmatige intelligentie**

Wetenschap die zich bezighoudt met het creëren van een kunstmatig, door mensen gemaakt verschijnsel dat een vorm van intelligentie vertoont.

### **API – active pharmaceutical ingredient / werkzame (farmaceutische) stof**

De stof die een geneesmiddel zijn werking geeft. Het is de stof die bijvoorbeeld maagzuur remt, helpt tegen hoofdpijn, klachten van hooikoorts helpt verminderen of de bloeddruk verlaagt. Naast de werkzame stof bevat een geneesmiddel ook hulpstoffen.<sup>1</sup>

### **ANN – artificial neural network / neuraal netwerk**

Model voor machine learning op basis van regressie. Een ANN lijkt op het biologische zenuwstelsel (zoals de hersenen) om informatie te verwerken en bestaat uit meerdere lagen.

### **Broeikasgas**

Zie: GHG – greenhouse gas

### **BUA – bottom-up analyse**

Een benadering of methode waarbij één onderdeel of enkele onderdelen van een geheel in detail onderzocht. Met detailniveau informatie wordt inzicht gegeven in grotere processen. Een BUA geeft extra inzicht in subcategorieën, doordat deze specifieker worden onderzocht.

### **Carbon footprint / klimaatvoetafdruk, koolstofvoetafdruk**

Geaggregeerde bijdrage van een product, dienst of sector aan klimaatverandering, veroorzaakt door de uitstoot van broeikasgassen over de gehele levenscyclus, en uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten.

### **CED – cumulative energy demand / cumulatieve energievraag**

Omvang van de behoefte aan primaire energie over de gehele levenscyclus van een product, dienst, of sector. Wordt gebruikt als effectindicator in LCA. CED wordt ook wel 'primary energy consumption' genoemd.

### **CEENE – cumulative exergy extracted from the natural environment**

LCIA-methode (Life Cycle Impact Assessment) die de aan natuurlijke ecosystemen "onttrokken" exergie over de gehele levenscyclus van een product, dienst, of sector kwantificeert. Wordt gebruikt als effectindicator in LCA.

### **Contributieanalyse**

Bij een contributieanalyse wordt het indirecte effect berekend aan de hand van de ingekochte goederen of diensten (het ingebedde effect van de totale waardeketen per product).

### **CO<sub>2</sub>-equivalenten (CO<sub>2</sub>-eq)**

Meeteenheid die wordt gebruikt om de emissies van verschillende broeikasgassen te vergelijken op basis van hun

aardopwarmingsvermogen (GWP), door de hoeveelheden van andere gassen om te rekenen naar de equivalente hoeveelheid kooldioxide met hetzelfde aardopwarmingsvermogen.<sup>1</sup>

**Cradle-to-gate / wieg-tot-poort**

Een gedeeltelijke levenscyclusbeoordeling van een product, van de winning van grondstoffen (wieg) tot de fabriekspoort. De gebruiks- en afvalfase vallen buiten de effectbeoordeling.

**Cradle-to-grave / wieg-tot-graf**

Een totale levenscyclusbeoordeling van een product, van de winning van grondstoffen (wieg), productie, het vervoer, het productgebruik en uiteindelijk de afvalverwerking.

**Cumulatieve energievraag**

Zie: CED – cumulative energy demand

**DDD – defined daily dose / gedefinieerde dagdosering**

Rekeneenheid om geneesmiddelen te vergelijken op basis van dosisequivalente hoeveelheden. De Wereldgezondheidsorganisatie (WHO) stelt deze dosering vast per geneesmiddel voor de behandeling van bepaalde (hoofd)indicaties.

**Dosisaërosol**

Zie: pMDI – pressurized metered dose inhaler

**DPI – dry powder inhaler / droogpoederinhalator**

Wordt gebruikt voor de toediening van inhalatiemedicatie tegen astma of COPD. Een poederinhalator bevat inhalatiepoeder, dat meestal bestaat uit een mengsel van kleine geneesmiddeldeeltes vermengd met lactose.

**GWP – global warming potential / aardopwarmingsvermogen**

Een relatieve maat die het broeikas effect over een bepaalde tijdsperiode weergeeft van het brengen van 1 kg van een stof in de atmosfeer t.o.v. het brengen van 1 kg CO<sub>2</sub> in de atmosfeer. De GWP's (global warming potentials) die momenteel het meest worden gebruikt, zijn berekend over een periode van 100 jaar.

**Endpoint indicatoren**

Getal dat de milieudruk aangeeft op het niveau van menselijke gezondheid, biodiversiteitsverlies en grondstoffengebruik.

**EE-IOA – environmentally extended input output analysis**

Een IOA uitgebreid met milieuentensies om milieueffecten van wereldwijde waardeketens te kunnen berekenen.

**Exiobase**

Een geharmoniseerde multiregionale environmentally extended input-output tabel te gebruiken in input-output analyse.

**FU – functional unit / functionele eenheid**

De basis (hoeveelheid en eenheid) waarop twee alternatieven in bijvoorbeeld een LCA kunnen worden vergeleken.

**Gedefinieerde dagdosering**

Zie: DDD – defined daily dose

**GHG – greenhouse gas / broeikasgas**

Gas dat bijdraagt tot de opwarming van de aarde en klimaatverandering doordat het warmte binnen de atmosfeer vasthoudt.

**Hotspotanalyse**

Met een hotspotanalyse wordt het indirecte effect berekend voor de plek (sector en/of geografie) waar het effect zich fysiek voordoet.

**Inventory data / voorraadgegevens**

Zie: LCI – life cycle inventory

**IOA – input output analysis**

Macro-economische rekenmethode waarmee het netwerk tussen industrieën kunnen worden geanalyseerd. IOA wordt gebruikt om te berekenen hoeveel productiewaarde nodig is vanuit verschillende industrieën in een waardeketen om een bepaalde output te genereren.

**Karakterisatie**

Het bepalen van de effecten op het milieu, verdeeld over verschillende effectcategorïen in midpoint of endpoint indicatoren.

**Karakterisatiefactoren**

Een factor die de mate bepaalt waarin een interventie bijdraagt aan een milieueffect.

**Klimaatvoetafdruk**

Zie: carbon footprint

**Kunstmatige intelligentie**

Zie: AI – artificial intelligence

**LCA – life cycle assessment/analysis / levenscyclusanalyse**

Een methode waarin de milieueffecten over de totale levenscyclus van een proces, product of materiaal wordt onderzocht.

**LCI – life cycle inventory**

De tweede stap in een LCA, een verzameling van alle milieu-interventies (emissies aan en onttrekkingen van het milieu) die voorkomen in een gedefinieerd systeem.

**LCIA – life cycle impact assessment**

De derde stap in een LCA, waarin milieu-interventies worden gekwantificeerd naar milieueffectscores (mid- en endpoints) aan de hand van zogenoemde karakterisatiefactoren.

**Machine learning**

Zie: ML – machine learning

**Midpoint indicator**

Getal dat de milieudruk aangeeft op het niveau van een individueel milieuprobleem, bijvoorbeeld klimaatverandering, verzuring en ecotoxiciteit. Een milieu-interventie, bijvoorbeeld het vrijkomen van een bepaalde stof in de lucht, kan meewegen in één of meerdere midpoints.

**Milieueffect**

Effecten van antropogene interventies, zoals economische activiteiten, op het milieu, waarbij wordt onttrokken aan het milieu (bijvoorbeeld grondstoffenextractie) of stoffen worden geëmitteerd naar het milieu (bijvoorbeeld uitstoot van broeikasgassen).

**Milieuvoetafdruk**

Geaggregeerde bijdrage van alle levenscycli van een product, dienst of sector aan 1 of meer milieueffecten.

**MIP – mixed-integer programming**

Rekenmethode waarbij de onbekende variabele gehele getallen (integers) moeten zijn. Wordt hier toegepast om de milieueffecten van chemicaliën te voorspellen.

**ML – machine learning / machinaal leren**

Onderzoeksveld binnen kunstmatige intelligentie gericht op de ontwikkeling van technieken computers kunnen leren.

**MSM – molecular-structure-based model**

Model waarin molecuulkenmerken bepalend zijn voor de uitkomsten (milieueffecten). Een voorbeeld van een MSM is de FineChem tool. Die kan milieueffecten van chemicaliën voorspellen op basis van molecuulkenmerken.

**Molecular descriptors / molecuulkenmerken, moleculaire descriptoren**

Een structuur of fysisch-chemische eigenschap van een molecuul of molecuuldeeltje, zoals het molecuulgewicht of percentage N-atomen.

**(EE) MRIO - (environmentally extended) Multiregional Input Output tabel**

Een input output tabel waarbij de economieën van verschillende (groepen) landen zijn samengesteld, anders dan een single-region tabel waarbij enkel één nationale economie is samengesteld

**Neuraal netwerk**

Zie: ANN

**OTC-geneesmiddelen / zelfzorggeneesmiddelen**

Over-the-counter-geneesmiddelen; zelfzorggeneesmiddelen verkrijgbaar bij de supermarkt en de drogist.

**PCA – principal component analysis / hoofdcomponentenanalyse**

Statistische analysemethode om een grote hoeveelheid gegevens te beschrijven met een kleiner aantal relevante grootheden, de hoofdcomponenten van de dataset.

**PCR – product category rule / productcategorieregel**

Standaardisatie van de aanpak om milieueigenschappen van een product in een bepaalde categorie te beoordelen en te vergelijken. Bijvoorbeeld afspraken over de gehanteerde functionele eenheid.

**pMDI – pressurized metered dose inhaler / dosisaërosol**

Spuitbussen met inhalatiemedicatie tegen astma of COPD. Een dosisaërosol bevat werkzame stoffen vermengd met een drijfgas.

**PMI – process mass intensity / procesmassa-intensiteit**

De benodigde massa om een proces te kunnen uitvoeren. Vaak uitgedrukt in kg ruwe grondstoffen / kg product uit het proces.

**Poederinhalator**

Zie: DPI – dry powder inhaler

**QSAR – quantitative structure-activity relationship modellen**

Een wiskundige relatie tussen een moleculaire descriptor van een chemische stof, en de toxische werking.

**ReCiPe**

Een veelgebruikte life cycle impact assessment methode (LCIA) met karakterisatiefactoren op midpoint en op endpoint niveau.

**SHA – System of Health Accounts**

Internationaal systeem om uitgaven aan zorggoederen en -diensten te classificeren.

**Synthesis pathway descriptors / synthesesetrajectkenmerken**

Kenmerken van het syntheseproces die gebruikt kunnen worden als voorspelvariabelen voor milieueffecten. Bijvoorbeeld de reactietemperatuur of duur van de synthese.

**Toepasbaarheidsdomein**

Zie: AD – applicability domain

**Top-down analyse**

Een benadering of methode waarbij eerst vanuit een groter geheel gekeken wordt (generiek) om daarna specifieker te worden.

**UPR – unit process data**

Een element in LCA waarbij de input en output voor een proces zijn gekwantificeerd.

**Voorraadgegevens**

Zie: LCI – life cycle inventory



**Wat-werkt dossier**

Een samenvatting van de, uit de wetenschappelijke literatuur bekende, werkzame elementen van een bepaalde aanpak of interventie m.b.t. een specifieke doelgroep, die kort aangeeft wat wel werkt, niet werkt, waarschijnlijk werkt en waarover nog onduidelijkheid is.

**Werkzame (farmaceutische) stof**

Zie: API – active pharmaceutical ingredient

**Zorguitgaven in de brede zin**

Alle uitgaven aan de Nederlandse zorgsector voor zorgverlening aan ingezetenen en niet-ingezetenen.



## 7 Dankwoord

De auteurs zijn João F.D. Rodrigues en Arnold Tukker (Universiteit Leiden, CML) dankbaar voor de waardevolle bijdragen en samenwerking aan de basis van de beschreven methodiek.

De auteurs bedanken Lisbeth Hall en Martijn van Bodegraven voor hun constructieve en kritische reflecties op het rapport.

Ook zijn de auteurs dankbaar voor het commentaar en de specialistische bijdragen van Pim Wassenaar, Jordi Minnema, Caroline Moermond, Bastiaan Venhuis, Reina Vellinga en Marieke van Bakel.

Daarnaast bedanken we Rosalie Hagens voor haar bijdrage vanuit haar stageonderzoek.



## 8 Referenties

1. Romanello M, McGushin A, Di Napoli C, Drummond P, Hughes N, Jamart L, et al. The 2021 report of the Lancet Countdown on health and climate change: code red for a healthy future. *The Lancet*. 2021;398(10311):1619-62.
2. Wuijts S, Vros C, Schets FM, Braks MAH. Effecten klimaat op gezondheid: Actualisatie voor de Nationale Adaptiestrategie (2016). 2014. RIVM-rapportnummer: 2014-044
3. Mughal F, Mallen CD, McKee M. The impact of COVID-19 on primary care in Europe. *The Lancet Regional Health – Europe*. 2021;6.
4. Pichler P-P, Jaccard IS, Weisz U, Weisz H. International comparison of health care carbon footprints. *Environmental Research Letters*. 2019;14:064004.
5. Gupta Strategists. Een stuur voor de transitie naar duurzame gezondheidszorg: Kwantificering van de CO<sub>2</sub>-uitstoot en maatregelen voor verduurzaming. 2019. Geraadpleegd van: [https://gupta-strategists.nl/storage/files/1920\\_Studie\\_Duurzame\\_Gezondheidszorg\\_DIGITAL\\_DEF.pdf](https://gupta-strategists.nl/storage/files/1920_Studie_Duurzame_Gezondheidszorg_DIGITAL_DEF.pdf)
6. Healthcare without Harm, Arup. How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. 2019. Geraadpleegd van: [https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint\\_092319.pdf](https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf)
7. Zijp MC, Velders G, Waaijers-van der Loop SL. Duurzame zorg komt dubbel tot zijn recht. *Medisch Contact*. 2020;47(18-21).
8. Rijksoverheid. Meer duurzaamheid in de zorg. 2022 Geraadpleegd van: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/duurzame-zorg/meer-duurzaamheid-in-de-zorg>.
9. RVO. C-226 Green Deal: duurzame zorg voor een gezonde toekomst. 2018. Geraadpleegd van: [https://open.overheid.nl/repository/ronl-883e0291-5965-4195-a8d2-15cad970e3ed/1/pdf/Pledges\\_Green\\_Deal\\_Duurzame\\_Zorg\\_met\\_ondertekening\\_oktober\\_2018.pdf](https://open.overheid.nl/repository/ronl-883e0291-5965-4195-a8d2-15cad970e3ed/1/pdf/Pledges_Green_Deal_Duurzame_Zorg_met_ondertekening_oktober_2018.pdf)
10. Rijksoverheid. Commitment COP26 - Nederland 2021 Geraadpleegd van: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/publicaties/2021/11/04/commitment-cop-26>.
11. RIVM. Nieuwsbrief RIVM Green Deal Duurzame Zorg. 2020. Geraadpleegd van: <https://www.rivm.nl/sites/default/files/newsletters/101500-979-61352.html>.
12. Waaijers-van der Loop SL, Steenmeijer MA, Zijp MC. Verkenning Monitoringsopties Green Deal Duurzame Zorg (GDDZ). 2021. RIVM-rapportnummer: 2021-0072
13. CBS. Meerderheid werknemers zorg meldt toename werkdruk. 2019 Geraadpleegd van: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/40/meerderheid-werknemers-zorg-meldt-toename-werkdruk>.

14. CBS. Personeelskosten drukken resultaat zorginstellingen. 2019 Geraadpleegd van: <https://www.cbs.nl/nl-nl/nieuws/2019/51/personeelskosten-drukken-resultaat-zorginstellingen>.
15. Expertisecentrum Verduurzaming Zorg. Care - Verduurzaming van zorgvastgoed. 2022 Geraadpleegd van: <https://www.expertisecentrumverduurzamingzorg.nl/care/>.
16. Expertisecentrum Verduurzaming Zorg. Cure - verduurzaming van zorgvastgoed. 2022. Geraadpleegd van: <https://www.expertisecentrumverduurzamingzorg.nl/cure/>.
17. RIVM. Gezondheid bevorderen door goede leefomgeving zorginstellingen. 2022 Geraadpleegd van: <https://www.rivm.nl/green-deal-duurzame-zorg/gezondheid-bevorderen-door-goede-leefomgeving-zorginstellingen>.
18. Nansai K, Fry J, Malik A, Takayanagi W, Kondo N. Carbon footprint of Japanese health care services from 2011 to 2015. *Resources, Conservation and Recycling*. 2020;152:104525.
19. Malik A, Lenzen M, McAlister S, McGain F. The carbon footprint of Australian health care. *The Lancet Planetary Health*. 2018;2(1):e27-e35.
20. Eckelman MJ, Huang K, Lagasse R, Senay E, Dubrow R, Sherman JD. Health Care Pollution And Public Health Damage In The United States: An Update. *Health Aff (Millwood)*. 2020;39(12):2071-9.
21. Eckelman MJ, Sherman JD, MacNeill AJ. Life cycle environmental emissions and health damages from the Canadian healthcare system: An economic-environmental-epidemiological analysis. *PLoS Med*. 2018;15(7):e1002623.
22. Weisz U, Pichler P-P, Jaccard IS, Haas W, Matej S, Bachner F, et al. Carbon emission trends and sustainability options in Austrian health care. *Resources, Conservation and Recycling*. 2020;160.
23. Wu R. The carbon footprint of the Chinese health care system: an environmentally extended input-output and structural path analysis study. *The Lancet Planetary Health*. 2019;3(10):e413-e9.
24. Tennison I, Roschnik S, Ashby B, Boyd R, Hamilton I, Oreszczyn T, et al. Health care's response to climate change: a carbon footprint assessment of the NHS in England. *The Lancet Planetary Health*. 2021;5(2):e84-e92.
25. Potting J. HA, Delahaye R., Ganzevles J., Hoekstra R., Lijzen J. Circulaire economie: wat we willen weten en kunnen meten. Systeem en nulmeting voor monitoring van de voortgang van de circulaire economie in Nederland. Den Haag: PBL; 2018.
26. Lenzen M, Malik A, Li M, Fry J, Weisz H, Pichler PP, et al. The environmental footprint of health care: a global assessment. *Lancet Planet Health*. 2020;4(7):e271-e9.
27. Dawkins E, Moran D, Palm V, Wood R, Björk I. The Swedish footprint: A multi-model comparison. *Journal of Cleaner Production*. 2019;209:1578-92.
28. Leontief W. Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach. *The Review of Economics and Statistics*. 1970;52(3):262-71.
29. Miller RE. Input-output analysis : foundations and extensions / Ronald E. Miller and Peter D. Blair. Blair PD, editor. Cambridge, UK ; New York: Cambridge University Press; 2009.

30. World Resources Institute WBCfSD. Greenhouse Gas Protocol: a corporate accounting and reporting standard. Revised edition. World Business Council for Sustainable Development, Geneva 2004 (Washington, DC: World Resources Institute).
31. Lenzen M. Structural path analysis of ecosystem networks. *Ecological Modelling*. 2007;200(3):334-42.
32. Stadler K, Wood R, Bulavskaya T, Södersten C-J, Simas M, Schmidt S, et al. EXIOBASE 3: Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables. *Journal of Industrial Ecology*. 2018;22(3):502-15.
33. Merciai S, Schmidt J. Methodology for the Construction of Global Multi-Regional Hybrid Supply and Use Tables for the EXIOBASE v3 Database. *Journal of Industrial Ecology*. 2018;22(3):516-31.
34. Stadler K, Wood, Richard, Bulavskaya, Tatyana, Södersten, Carl-Johan, Simas, Moana, Schmidt, Sarah, et al. EXIOBASE 3. In: Zenodo, editor. 2021.
35. CBS. Emissies naar lucht door de Nederlandse economie. Geraadpleegd van: <https://opendata.cbs.nl/#/CBS/nl/dataset/83300NED/table>
36. OECD, Eurostat en World Health Organization. A System of Health Accounts 2011: Revised edition. Paris: OECD Publishing; 2017.
37. CBS. Zorguitgaven internationaal vergelijkbaar; functies en financiering. 2021. Geraadpleegd van: <https://www.cbs.nl/nl-nl/cijfers/detail/84047NED?dl=272E>
38. GIPdatabank. Geneesmiddelen: uitgaven extramuraal. 2022. Geraadpleegd van: <https://www.staatvenz.nl/kerncijfers/geneesmiddelen-uitgaven-extramuraal>
39. OECD. Glossary of statistical terms. 2013 Geraadpleegd van: <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=189#:~:text=The%20basic%20price%20is%20the,invoiced%20separately%20by%20the%20producer.>
40. CBS. Supply- and use, input-output and sector accounts. 2020. Geraadpleegd van: <https://www.cbs.nl/en-gb/custom/2020/29/supply-and-use-input-output-and-sector-accounts>
41. Eurostat. NACE Rev. 2 Statistical classification of economic activities in the European Community. 2008.
42. Zorginstituut Nederland. Genees- en hulpmiddelen Informatie Project (GIP) databank: Aantal uitgiftes 2016-2020 voor ATC-subgroep R03: Middelen bij astma/COPD. March 24, 2021.
43. Huijbregts MAJ, Steinmann ZJN, Elshout PMF, Stam G, Verones F, Vieira M, et al. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2017;22(2):138-47.
44. Wernet G, Bauer C, Steubing B, Reinhard J, Moreno-Ruiz E, Weidema B. The Ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2016;21(9):1218-30.
45. CBS. Werknemers met een baan in de zorg en welzijn. 2022. Geraadpleegd van: <https://azwstatline.cbs.nl/#/AZW/nl/dataset/24062NED/table?ts=1655564347090>

46. CBS. Definitie deeltijdfactor 2022 Geraadpleegd van: <https://www.cbs.nl/nl-nl/achtergrond/2017/23/financien-van-werkende-twintigers-en-dertigers/deeltijdfactor>.
47. CBS. Werkgelegenheid in de zorg en welzijn; baankenmerken, regio. 2022. Geraadpleegd van: <https://azwstatline.cbs.nl/#/AZW/nl/dataset/24017NED/table?ts=1655977538182>
48. CBS. Personenmobiliteit; vervoerwijzen en reismotieven, regio's, 2010-2017. 2018.
49. CBS. Totale reizigerskilometers in Nederland; vervoerwijzen, regio's 2010-2017. 2018. Geraadpleegd van: <https://opendata.cbs.nl/statline/#/CBS/nl/dataset/83497NED/table?ts=1630504523920>
50. Venema PAHTF, Hans. J.; Kweekel, Dinemarie; Sarton, Elise Y.; Jansen, Frank Willem;. Een inventarisatie van het gebruik van inhalatieanesthetica en lachgas in Nederlandse ziekenhuizen. *Nederlands Tijdschrift voor Anesthesiologie*. 2022;35(2).
51. Van Bree T SA. Development of a System of Indicators for a Resource efficient Europe: D10.2 Final report with indicator framework, indicator set and implementation roadmap. 2016.
52. Bulle C, Margni M, Patouillard L, Boulay A-M, Bourgault G, De Bruille V, et al. IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2019;24(9):1653-74.
53. Berger M ST, Alvarenga R, Bach A, Cimprich A, Frischknecht R. Harmonizing the LCIA of mineral resource use. Poster presented at: Ecobalance 2018; October 2018; Tokyo.
54. Calvo G, Mudd G, Valero A, Valero A. Decreasing Ore Grades in Global Metallic Mining: A Theoretical Issue or a Global Reality? *Resources*. 2016;5(4):36.
55. Wilting HC. Sensitivity and uncertainty analysis in MRIO modelling; some empirical results with regard to the Dutch carbon footprint. *Economic Systems Research*. 2012;24(2):141-71.
56. Moran D, Wood R. Convergence between the Eora, WIOD, Exiobase, and openeu's consumption-based carbon accounts. *Economic Systems Research*. 2014;26(3):245-61.
57. Rodrigues JFD, Moran D, Wood R, Behrens P. Uncertainty of Consumption-Based Carbon Accounts. *Environmental Science & Technology*. 2018;52(13):7577-86.
58. Giljum S, Wieland H, Lutter S, Eisenmenger N, Schandl H, Owen A. The impacts of data deviations between MRIO models on material footprints: A comparison of Exiobase, Eora, and ICIO. *Journal of Industrial Ecology*. 2019;23(4):946-58.
59. Fantom NS, Umar;. The World Bank's Classification of Countries by Income. World Bank Group; 2016.
60. Hagenars R. The carbon and material footprint of the Dutch consumption of pharmaceuticals. 2022. Master thesis. Leiden: Leiden University 2018.
61. Timmer MP, Dietzenbacher E, Los B, Stehrer R, de Vries GJ. An Illustrated User Guide to the World Input-Output Database: The Case of Global Automotive Production. *Review of International Economics*. 2015;23(3):575-605.



62. Tukker A, de Koning A, Owen A, Lutter S, Bruckner M, Giljum S, et al. Towards Robust, Authoritative Assessments of Environmental Impacts Embodied in Trade: Current State and Recommendations. *Journal of Industrial Ecology*. 2018;22(3):585-98.
63. Walker AN, Zult, D, Hoekstra R, van den Berg M, Dingena G. Footprint Calculations using a Dutch National Accounts Consistent Exiobase. 2017.
64. de Koning A. Creating global scenarios of environmental impacts with structural economic models [PhD]. Leiden: Leiden University 2018.
65. Donati F, Aguilar-Hernandez GA, Sigüenza-Sánchez CP, de Koning A, Rodrigues JFD, Tukker A. Modeling the circular economy in environmentally extended input-output tables: Methods, software and case study. *Resources, Conservation and Recycling*. 2020;152:104508.
66. International Energy Agency. Energy Technology Perspectives 2020. 2020. Geraadpleegd van: [https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy\\_Technology\\_Perspectives\\_2020\\_PDF.pdf](https://iea.blob.core.windows.net/assets/7f8aed40-89af-4348-be19-c8a67df0b9ea/Energy_Technology_Perspectives_2020_PDF.pdf)
67. Health Care Without Harm Operation Zero. 2021 Geraadpleegd van: <https://noharm-europe.org/operation-zero>.
68. Parvatker AG, Tunceroglu H, Sherman JD, Coish P, Anastas P, Zimmerman JB, et al. Cradle-to-Gate Greenhouse Gas Emissions for Twenty Anesthetic Active Pharmaceutical Ingredients Based on Process Scale-Up and Process Design Calculations. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2019;7(7):6580-91.
69. Hu X, Pierce JMT, Taylor T, Morrissey K. The carbon footprint of general anaesthetics: A case study in the UK. *Resources, Conservation and Recycling*. 2021;167.
70. McGain F, Muret J, Lawson C, Sherman JD. Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. *Br J Anaesth*. 2020;125(5):680-92.
71. Sherman J, Le C, Lamers V, Eckelman M. Life cycle greenhouse gas emissions of anesthetic drugs. *Anesth Analg*. 2012;114(5):1086-90.
72. Fulford B, Mezzi K, Whiting A, Aumônier S. Life-Cycle Assessment of the Breezhaler® Breath-Actuated Dry Powder Inhaler. *Sustainability*. 2021;13(12).
73. Goulet B, Olson L, Mayer B. A Comparative Life Cycle Assessment between a Metered Dose Inhaler and Electric Nebulizer. *Sustainability*. 2017;9(10).
74. Jeswani HK, Azapagic A. Life cycle environmental impacts of inhalers. *Journal of Cleaner Production*. 2019;237.
75. Siegert M-W, Saling P, Mielke P, Czechmann C, Emara Y, Finkbeiner M. Cradle-to-grave life cycle assessment of an ibuprofen analgesic. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 2020;18.
76. McAlister S, Ou Y, Neff E, Hapgood K, Story D, Mealey P, et al. The Environmental footprint of morphine: a life cycle assessment from opium poppy farming to the packaged drug. *BMJ Open*. 2016;6(10):e013302.

77. Wilkinson AJK, Braggins R, Steinbach I, Smith J. Costs of switching to low global warming potential inhalers. An economic and carbon footprint analysis of NHS prescription data in England. *BMJ Open*. 2019;9(10):e028763.
78. UNEP. Report of the Medical Technical Options Committee (MTOC) 2014  
Assessment Report, UNEP Ozone Secretariat. 2014.
79. Product Footprint Executive Summary for Orion Pharma UK Ltd. Orion Pharma UK Ltd; 2021.
80. Wichers IM, Pieters LI. Milieu-impact van inhalatoren in Nederland en wereldwijd, de feiten op een rij (geaccepteerd). *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde*. 2022. <https://ntvg.nl/D6718>
81. Europese Commissie. WG Chemicals presentatie: Priority Substances Review - Next steps. 2022. Geraadpleegd van: [https://circabc.europa.eu/sd/a/97910629-048e-4b2b-90a2-fe520aab2adc/WGChem2020Jan\(7\)PrioritySubstancesReview-nextsteps.pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/97910629-048e-4b2b-90a2-fe520aab2adc/WGChem2020Jan(7)PrioritySubstancesReview-nextsteps.pdf)
82. GIPdatabank. Top 100 van geneesmiddelen o.b.v. het aantal DDD's in 2020. 2021 Geraadpleegd van: [https://www.gipdatabank.nl/databank?infotype=g&label=00-totaal&tabel\\_g\\_00-totaal=R\\_45\\_top100\\_atclaatst&geg=ddd&spec=&item=A](https://www.gipdatabank.nl/databank?infotype=g&label=00-totaal&tabel_g_00-totaal=R_45_top100_atclaatst&geg=ddd&spec=&item=A).
83. WHO Collaborating Centre for Drug Statistics Methodology. ATC/DDD Index 2022 2021 Geraadpleegd van: [https://www.whocc.no/atc\\_ddd\\_methodology/who\\_collaborating\\_centre/](https://www.whocc.no/atc_ddd_methodology/who_collaborating_centre/)
84. Wang D, Cheow WS, Amalina N, Faiezin M, Hadinoto K. Selecting optimal pharmaceutical excipient formulation from life cycle assessment perspectives: A case study on ibuprofen tablet formulations. *Journal of Cleaner Production*. 2021;292.
85. Zorginstituut Nederland. Farmacotherapeutisch Kompas. 2022 Geraadpleegd van: <https://www.farmacotherapeutischkompas.nl/>.
86. Wernet G, Conradt S, Isenring HP, Jiménez-González C, Hungerbühler K. Life cycle assessment of fine chemical production: a case study of pharmaceutical synthesis. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2010;15(3):294-303.
87. Raymond MJ, Slater CS, Savelski MJ. LCA approach to the analysis of solvent waste issues in the pharmaceutical industry. *Green Chemistry*. 2010;12(10).
88. Savelski MJ, Slater CS, Tozzi PV, Wisniewski CM. On the simulation, economic analysis, and life cycle assessment of batch-mode organic solvent recovery alternatives for the pharmaceutical industry. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2017;19(10):2467-77.
89. Henderson RK, Jiménez-González C, Preston C, Constable DJC, Woodley JM. EHS & LCA assessment for 7-ACA synthesis A case study for comparing biocatalytic & chemical synthesis. *Industrial Biotechnology*. 2008;4(2):180-92.
90. Muñoz I, Rodríguez C, Gillet D, Moerschbacher BM. Life cycle assessment of chitosan production in India and Europe. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2018;23(5):1151-60.

91. Udo de Haes HA, Sleeswijk AW, Heijungs R. Similarities, Differences and Synergisms Between HERA and LCA—An Analysis at Three Levels. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2006;12(3):431-49.
92. Hou P, Jolliet O, Zhu J, Xu M. Estimate ecotoxicity characterization factors for chemicals in life cycle assessment using machine learning models. *Environ Int*. 2020;135:105393.
93. Wernet G, Hellweg S, Fischer U, Papadokonstantakis S, Hungerbühler K. Molecular-structure-based models of chemical inventories using neural networks. *Environ Sci Technol*. 2008;42(17):6717-22.
94. Song R, Keller AA, Suh S. Rapid Life-Cycle Impact Screening Using Artificial Neural Networks. *Environ Sci Technol*. 2017;51(18):10777-85.
95. Zhu X, Ho C-H, Wang X. Application of Life Cycle Assessment and Machine Learning for High-Throughput Screening of Green Chemical Substitutes. *ACS Sustainable Chemistry & Engineering*. 2020;8(30):11141-51.
96. Zhao B, Shuai C, Hou P, Qu S, Xu M. Estimation of Unit Process Data for Life Cycle Assessment Using a Decision Tree-Based Approach. *Environ Sci Technol*. 2021;55(12):8439-46.
97. Wernet G, Papadokonstantakis S, Hellweg S, Hungerbühler K. Bridging data gaps in environmental assessments: Modeling impacts of fine and basic chemical production. *Green Chemistry*. 2009;11(11).
98. Ott D, Kralisch D, Dencic I, Hessel V, Laribi Y, Perrichon PD, et al. Life cycle analysis within pharmaceutical process optimization and intensification: case study of active pharmaceutical ingredient production. *ChemSusChem*. 2014;7(12):3521-33.
99. Cespi D, Beach ES, Swarr TE, Passarini F, Vassura I, Dunn PJ, et al. Life cycle inventory improvement in the pharmaceutical sector: assessment of the sustainability combining PMI and LCA tools. *Green Chemistry*. 2015;17(6):3390-400.
100. De Soete W, Debaveye S, De Meester S, Van der Vorst G, Aelterman W, Heirman B, et al. Environmental sustainability assessments of pharmaceuticals: an emerging need for simplification in life cycle assessments. *Environ Sci Technol*. 2014;48(20):12247-55.
101. Calvo-Serrano R, González-Miquel M, Papadokonstantakis S, Guillén-Gosálbez G. Predicting the cradle-to-gate environmental impact of chemicals from molecular descriptors and thermodynamic properties via mixed-integer programming. *Computers & Chemical Engineering*. 2018;108:179-93.
102. Meyer DE, Cashman S, Gaglione A. Improving the reliability of chemical manufacturing life cycle inventory constructed using secondary data. *J Ind Ecol*. 2021;25(1):20-35.
103. Kemper P, van der Linden MC, Stoelinga MEE, Zantinga EM. Achtergrond dossier Green Deal Duurzame Zorg: Natuur en de gezonde zorgomgeving. 2021. Geraadpleegd van: [https://www.rivm.nl/sites/default/files/2021-06/012882\\_Br%20A4%20Green%20deal%20Natuur%20en%20zorgomgeving\\_V4\\_TG.pdf](https://www.rivm.nl/sites/default/files/2021-06/012882_Br%20A4%20Green%20deal%20Natuur%20en%20zorgomgeving_V4_TG.pdf)

104. Kemper P, Rempelberg C, Stoelinga MEE, Zantinga EM. Achtergrond dossier Green Deal Duurzame Zorg: Architectuur en inrichting en de gezonde zorgomgeving. 2021. Geraadpleegd van: [https://www.rivm.nl/sites/default/files/2021-06/012883\\_Br%20A4%20Green%20deal%20Architectuur%20en%20zorgomgeving\\_V3\\_TG.pdf](https://www.rivm.nl/sites/default/files/2021-06/012883_Br%20A4%20Green%20deal%20Architectuur%20en%20zorgomgeving_V3_TG.pdf)
105. Kemper P, Rempelberg C, Stoelinga MEE. Achtergrond dossier Green Deal Duurzame Zorg: Voedingsinterventies in de zorg. 2021. Geraadpleegd van: [https://www.rivm.nl/sites/default/files/2021-06/012881\\_Br%20A4%20Green%20deal%20Voedingsinterventies%20zorg\\_V6\\_TG.pdf](https://www.rivm.nl/sites/default/files/2021-06/012881_Br%20A4%20Green%20deal%20Voedingsinterventies%20zorg_V6_TG.pdf)
106. Bureau Bartels. Eindrapport evaluatie Green Deal Duurzame Zorg. 2021. Geraadpleegd van: <https://open.overheid.nl/repository/ronl-103fee63df128367a757ab380a227e22721274ac/1/pdf/evaluatie-green-deal-duurzame-zorg.pdf>
107. Broeren MLM, Zijp MC, Waaijers-van der Loop SL, Heugens EHW, Posthuma L, Worrell E, et al. Environmental assessment of bio-based chemicals in early-stage development: a review of methods and indicators. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*. 2017;11(4):701-18.
108. RIVM. Milieubelasting van voedingsmiddelen 2022 Geraadpleegd van: <https://www.rivm.nl/voedsel-en-voeding/duurzaam-voedsel/database-milieubelasting-voedingsmiddelen>.
109. Moermond CTA, de Rooy, M. The Dutch chain approach on pharmaceuticals in water: stakeholders acting together to reduce the environmental impact of pharmaceuticals *British Journal of Clinical Pharmacology*, accepted for publication. 2022.
110. Moermond CTA, Smit CE, van Leerdam RC, van der Aa NGFM, Montforts MHMM. Geneesmiddelen en waterkwaliteit. RIVM; 2016. Contract No.: 2016-0111.
111. Moermond CTA, Montforts MHMM, Roex EWM, Venhuis BJ. Medicijnresten en waterkwaliteit: een update. 2020.
112. Moermond CTA, Kase R, Korkaric M, Ågerstrand M. CRED: Criteria for reporting and evaluating ecotoxicity data. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2016;35(5):1297-309.
113. van der Maas CWM, Ruysenaars PG, Rijksen EJT. Grondstoffen Informatie Systeem (GRIS) Verkenning. 2019. RIVM-rapportnummer: 2019-0206.
114. Pieters LI, Horlings E, Walker AN, Maas R, Lemmers O, van der Net L, de Valk E, van der Ree J, Gunnarsdóttir S, Zijp MC. Minder uitstoot broeikasgassen in de hele keten: verkenning voor beleid (nog niet gepubliceerd). 2022.
115. Rijksoverheid. Een kennismaking met de maatschappelijke kosten-batenanalyse (MKBA) - Handreiking voor beleidsmakers. 2012. Geraadpleegd van: <https://open.overheid.nl/repository/ronl-82a67f4ced8c6cd2e8596579cea9b8bc94f0d9f9/1/pdf/mkba-handreiking-voor-beleidsmakers.pdf>
116. Hollander A, Lijzen JPA, Zijp MC, van Zelm R. Levenscyclusanalyse waardevol voor actuele duurzaamheidsvraagstukken. *Milieu*. 2018:39 – 43
117. Duurzame Ontwikkelingsdoelstellingen - Verenigde Naties - Nederlands (unric.org) <https://unric.org/nl/duurzame-ontwikkelingsdoelstellingen/>; United Nations Sustainable

Development Goals (SDGs) (unric.org)  
<https://unric.org/en/united-nations-sustainable-development-goals/>

118. Zilliena C, van Loon C, Gülpen M, Tipateta K, Hanssen B, Beeltje H, Roex E, Oldenkamp R, Posthuma L, Ragas AMJ, Risk-management tool for environmental prioritization of pharmaceuticals based on emissions from hospitals. *Science of the Total Environment* 2019 (694): 133733 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133733>



## Bijlage A

Verschillende databases hebben verschillende afbakening in hun datasets en daarmee verschillende gegevens beschikbaar. Dawkins et al.<sup>27</sup> hebben ter illustratie hiervan in 2019 een tabel gemaakt waarin voor de databases Statistisches Bundesamt (SCB), Global Trade Analysis Project (GTAP), Eora; EXIOBASE, World Input-Output Database (WIOD) and the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) input-output Database, overeenkomsten en verschillen in kaart zijn gebracht. Hieronder een lijst van de mogelijke verschillende inhoud van de databases, deze kunnen verschillen in:

- Meest recente data & frequentie van updaten
- Tijd reeksen van data welke beschikbaar zijn
- Beschikbare milieu impact categorieën
- Data representatief voor bepaalde landen en/of regio's
- Type input-output tabellen en bronnen voor deze tabellen
- Bronnen en beschikbaarheid van de milieu extensies
- Product/ sector detail niveau
- Classificatie schema
- Toegankelijkheid (openbaar)

Voor de tabel en meer achtergrond informatie zie Dawkins et al.<sup>27</sup>

## Bijlage B

## Zorguitgaven 2016 (CBS)

<b>Financieringsregelingen zorg</b>	<b>Totaal alle financieringsregelingen</b>	<b>Totaal financiering van ingezetenen</b>	<b>Buitenland; uitvoer</b>
<b>Zorgfuncties</b>	<b>mln euro</b>	<b>mln euro</b>	<b>mln euro</b>
<b>Totaal uitgaven zorg en welzijn</b>	94842	94634	208
<b>Totaal uitgaven gezondheidszorg</b>	73032	72918	114
<b>HC1: Geneeskundige zorg</b>	34699	34616	83
<b>HC11: Intramurale geneeskundige zorg</b>	13024	12988	37
<b>HC12: Dagbehandeling geneeskundige zorg</b>	3685	3676	9
<b>HC13: Polikl./ambulante geneesk. zorg</b>	17399	17362	37
<b>HC14: Geneeskundige zorg aan huis</b>	590	590	0
<b>HC2: Revalidatiezorg</b>	3170	3170	0
<b>HC21: Intramurale revalidatiezorg</b>	1030	1030	0
<b>HC22: Dagbehandeling revalidatiezorg</b>	35	35	0
<b>HC23: Polikl./ambulante revalidatie</b>	2106	2106	0
<b>HC3: Langdurige zorg voor de gezondheid</b>	18896	18885	11
<b>HC31: Intramurale langdurige zorg</b>	14535	14524	11
<b>HC32: Dagbehandeling langdurige zorg</b>	148	148	0
<b>HC33: Ambulante langdurige zorg</b>	173	173	0
<b>HC34: Thuiszorg - langdurige zorg</b>	4040	4040	0
<b>HC4: Ondersteunende diensten</b>	1365	1364	1
<b>HC41: Medisch laboratoriumonderzoek</b>	641	641	0
<b>HC42: Medische beeldvorming</b>	104	104	0
<b>HC43: Ziekenvervoer</b>	620	619	1
<b>HC5: Genees- en hulpmiddelen</b>	8746	8727	19
<b>HC51: Geneesmiddelen, verbruiksartikelen</b>	5639	5620	19
<b>HC52: Therapeutische hulpmiddelen</b>	3107	3107	0
<b>HC6: Preventieve zorg</b>	2561	2561	0
<b>HC7: Bestuur, stelsel en fin. admin.</b>	2905	2905	0
<b>HC71: Gezondheidsbeleid en zorgver.</b>	847	847	0
<b>HC72: Organisatie van de financiering</b>	2058	2058	0
<b>HC9: Gezondheidszorg n.e.g.</b>	690	690	0
<b>Totaal gezondheidsverwante uitgaven</b>	9317	9317	0
<b>HCR1: Langdurige zorg (welzijn)</b>	8984	8984	0
<b>HCR11: Langdurige zorg, welzijn, in natura</b>	7079	7079	0
<b>HCR12: Langdurige zorg, uitkeringen</b>	1905	1905	0
<b>HCR2: Gezondheidsbevord., multisector</b>	333	333	0
<b>M1(HC): Overige zorg en welzijn</b>	12493	12399	94



## Bijlage C

Importverdeling van *Chemicals n.e.c.* en *Medical precision and optical instruments, watches and clocks* in de Nederlandse totale finale vraag in 2016. RoW = Rest of world.

<b>Land/regio</b>	<b>% voor Chemicals n.e.c.</b>	<b>% voor Medical precision and optical instruments, watches and clocks</b>
<b>Australia</b>	0,57	0,90
<b>Austria</b>	0,01	0,18
<b>Belgium</b>	0,63	0,61
<b>Brazil</b>	1,19	0,05
<b>Bulgaria</b>	0,05	0,06
<b>Canada</b>	0,55	0,23
<b>China</b>	4,46	2,39
<b>Croatia</b>	0,00	0,00
<b>Cyprus</b>	0,00	0,00
<b>Czech Republic</b>	0,46	0,17
<b>Denmark</b>	0,02	0,52
<b>Estonia</b>	0,00	0,00
<b>Finland</b>	0,01	0,10
<b>France</b>	0,07	5,52
<b>Germany</b>	0,39	10,62
<b>Greece</b>	0,00	0,02
<b>Hungary</b>	0,03	0,13
<b>India</b>	1,69	0,12
<b>Indonesia</b>	1,37	0,02
<b>Ireland</b>	0,58	0,93
<b>Italy</b>	0,01	1,16
<b>Japan</b>	0,81	0,00
<b>Latvia</b>	0,00	0,00
<b>Lithuania</b>	0,00	0,01
<b>Luxembourg</b>	0,00	0,00
<b>Malta</b>	0,00	0,01
<b>Mexico</b>	0,36	0,37
<b>Netherlands</b>	2,36	45,55
<b>Norway</b>	0,03	0,54
<b>Poland</b>	0,25	0,26
<b>Portugal</b>	0,00	0,06
<b>RoW Africa</b>	12,02	0,16
<b>RoW America</b>	1,33	1,85
<b>RoW Asia and Pacific</b>	36,82	2,16
<b>RoW Europe</b>	0,81	0,17
<b>RoW Middle East</b>	8,97	1,61
<b>Romania</b>	0,08	0,03
<b>Russia</b>	2,79	0,04
<b>Slovakia</b>	0,00	0,34

<b>Land/regio</b>	<b>% voor Chemicals n.e.c.</b>	<b>% voor Medical precision and optical instruments, watches and clocks</b>
<b>Slovenia</b>	0,12	0,04
<b>South Africa</b>	0,39	0,04
<b>South Korea</b>	0,49	0,00
<b>Spain</b>	0,06	0,50
<b>Sweden</b>	0,00	0,82
<b>Switzerland</b>	2,75	2,60
<b>Taiwan</b>	1,62	0,76
<b>Turkey</b>	0,21	0,03
<b>United Kingdom</b>	0,12	3,22
<b>United States</b>	15,54	15,09
<b>Totaal</b>	100	100

## Bijlage D

De tabel hieronder bevat de beschikbare gegevens uit bestaande studies over klimaatvoetafdrukberendingen voor nationale zorgsectoren in andere landen. Deze cijfers zijn berekend voor verschillende definities, regio's en jaren. De waarden voor de EU-schaal en de wereldschaal zijn waarschijnlijk een onderschatting wegens onvolledige gegevens<sup>6</sup>, en de waarde van Oostenrijk per ziekenhuisbed is waarschijnlijk laag wegens het hoogste aantal ziekenhuisopnamen, het hoogste aantal bedden en de langste duur van ziekenhuisverblijven in de EU<sup>22</sup>. De waarden van Tennison et al.<sup>24</sup> zijn berekend voor een voetafdruk waarin de impact van de uitstoot door dosisaerosolen en de impact van individuele reisbewegingen niet zijn meegenomen. Het *System of Health Accounts* (SHA; gedefinieerd door de OESO) biedt een internationaal vergelijkbare definitie voor gezondheidszorg, waarbij wordt gekeken naar de zorgverlening aan ingezetenen (lokaal of in het buitenland), exclusief welzijnsdiensten en zorgverlening aan niet-ingezetenen).

*Beschikbare gegevens voor anesthesiegassen uit bestaande studies over klimaatvoetafdrukberendingen voor nationale zorgsectoren in andere landen. SHA = System of Health Accounts.*

Bron	Gassen	Definitie zorgsector	Regio	Eenheid	Waarde	Jaar
<b>HCWH &amp; Arup, 2019</b>	N <sub>2</sub> O	Internationaal vergelijkbaar (SHA)	EU	Aandeel van klimaatvoetafdruk zorgsector	1%	2014
	N <sub>2</sub> O	Internationaal vergelijkbaar (SHA)	Wereld	Aandeel van klimaatvoetafdruk zorgsector	0,6%	2014
	N <sub>2</sub> O, F-gassen	Internationaal vergelijkbaar (SHA)	Wereld	Aandeel scope 1 broeikasgassen	2,5%	2014
<b>Weisz et al., 2020</b>	N <sub>2</sub> O, F-gassen	Internationaal vergelijkbaar (SHA)	Oostenrijk	Broeikasgassen per ziekenhuisbed	329 kg CO <sub>2</sub> -eq	2015
	N <sub>2</sub> O, F-gassen	Internationaal vergelijkbaar (SHA)	Oostenrijk	Aandeel van klimaatvoetafdruk zorgsector	0,3%	2014/2015
<b>Tennison et al., 2021</b>	N <sub>2</sub> O, F-gassen	Gezondheidszorg (NHS), brede definitie	Engeland	Aandeel van klimaatvoetafdruk zorgsector	2,24%	2016
	N <sub>2</sub> O, F-gassen	Gezondheidszorg (NHS) en welzijnsdiensten, brede definitie	Engeland	Aandeel van klimaatvoetafdruk zorgsector	1.78 %	2016

## Bijlage E

In de onderstaande tabel staan de inhalatiemedicatie waarvan gekeken is in dit rapport hoeveel van de drijfgassen broeikasgassen zijn. De doses variëren van ongeveer 50 tot 200 puffs per verpakking (preparaat teksten van Farmacotherapeutisch Kompas). En hoeveelheid drijfgas in gram per verpakking van de bekeken aerosolen in dit rapport varieert van ongeveer 5 gram tot ongeveer 18 gram. Drijfgas in gram per verpakking is bedrijfsvertrouwelijke informatie en kan daarom niet door het College ter Beoordeling van Geneesmiddelen (CBG) openbaar worden gedeeld.

<b>Productnaam</b>	<b>Doses (puffs) per verpakking via preparaatteksten van het Farmacotherapeutisch Kompas</b>
<b>AIROMIR AEROSOL 100MCG/DO</b>	200
<b>SALBUTAMOL AEROSOL 100MCG/DO</b>	200
<b>VENTOLIN AEROSOL 100MCG/DO</b>	200
<b>SEREVENT AEROSOL 25MCG/DO</b>	120
<b>ATIMOS AEROSOL 12MCG/DO</b>	100
<b>ATIMOS AEROSOL 12MCG/DO</b>	120
<b>FORADIL AEROSOL 12MCG/DO</b>	100
<b>AIRFLUSAL AEROSOL 25/125UG/DO</b>	120
<b>AIRFLUSAL AEROSOL 25/250UG/DO</b>	120
<b>SERETIDE AEROSOL 25/125MCG/DO</b>	120
<b>SERETIDE AEROSOL 25/250MCG/DO</b>	120
<b>SERETIDE AEROSOL 25/50MCG/DO</b>	120
<b>salmeterol/fluticason AEROSOL 25/125MCG/DO</b>	120
<b>salmeterol/fluticason AEROSOL 25/250MCG/DO</b>	120
<b>SYMBICORT AEROSOL 100/3UG/DO</b>	120
<b>SYMBICORT AEROSOL 200/6UG/DO</b>	120
<b>SYMBICORT AEROSOL 6/200MCG/DO</b>	120
<b>FORMODUAL AEROSOL 100/6UG/DO</b>	180
<b>FORMODUAL AEROSOL 6/100MCG/DO</b>	180
<b>FOSTER AEROSOL 100/6UG/DO</b>	180
<b>FOSTER AEROSOL 200/6UG/DO</b>	120
<b>FOSTER AEROSOL 6/100MCG/DO</b>	180
<b>FOSTER AEROSOL 6/200MCG/DO</b>	120
<b>FUTIFORM AEROSOL 10/250MCG/DO</b>	120
<b>FUTIFORM AEROSOL 125/5UG/DO</b>	120
<b>FUTIFORM AEROSOL 250/10UG/DO</b>	120
<b>FUTIFORM AEROSOL 5/125MCG/DO</b>	120
<b>FUTIFORM AEROSOL 5/50MCG/DO</b>	120
<b>BERODUAL AEROSOL 50/20MCG/DO</b>	200

<b>Productnaam</b>	<b>Doses (puffs) per verpakking via preparaatteksten van het Farmacotherapeutisch Kompas</b>
<b>TRIMBOW AEROSOL 87/5/9UG/DO</b>	120
<b>TRIMBOW AEROSOL 87/5/9UG/DO</b>	180
<b>QVAR AEROSOL 100MCG/DO</b>	200
<b>QVAR AEROSOL 50MCG/DO</b>	200
<b>beclometason AEROSOL 100MCG/DO</b>	200
<b>beclometason AEROSOL 250MCG/DO</b>	200
<b>beclometason AEROSOL 50MCG/DO</b>	200
<b>budesonide AEROSOL 200MCG/DO</b>	200
<b>FLIXOTIDE AEROSOL 125MCG/DO</b>	60
<b>FLIXOTIDE AEROSOL 125MCG/DO</b>	120
<b>FLIXOTIDE AEROSOL 250MCG/DO</b>	60
<b>FLIXOTIDE AEROSOL 250MCG/DO</b>	120
<b>FLIXOTIDE AEROSOL 50MCG/DO</b>	120
<b>fluticason AEROSOL 250MCG/DO</b>	120
<b>fluticason AEROSOL 125MCG/DO</b>	120
<b>ALVESCO AEROSOL 160MCG/DO</b>	60
<b>ALVESCO AEROSOL 160MCG/DO</b>	120
<b>ALVESCO AEROSOL 80MCG/DO</b>	60
<b>ALVESCO AEROSOL 80MCG/DO</b>	120
<b>ATROVENT AEROSOL 20MCG/DO</b>	200
<b>ipratropium AEROSOL 20MCG/DO</b>	200
<b>LOMUDAL AEROSOL 5MG/DO</b>	112
<b>TILADE AEROSOL 2MG/DO</b>	112

## Bijlage F

### Bijlage F.1 Karakterisatiefactoren voor klimaatverandering

Stressor	Eenheid	kg CO <sub>2</sub> -eq
CO <sub>2</sub> - combustion - air	kg	1
CH <sub>4</sub> - combustion - air	kg	25
N <sub>2</sub> O - combustion - air	kg	298
CH <sub>4</sub> - non-combustion - Extraction/production of (natural) gas - air	kg	25
CH <sub>4</sub> - non-combustion - Extraction/production of crude oil - air	kg	25
CH <sub>4</sub> - non-combustion - Mining of anthracite - air	kg	25
CH <sub>4</sub> - non-combustion - Mining of bituminous coal - air	kg	25
CH <sub>4</sub> - non-combustion - Mining of coking coal - air	kg	25
CH <sub>4</sub> - non-combustion - Mining of lignite (brown coal) - air	kg	25
CH <sub>4</sub> - non-combustion - Mining of sub-bituminous coal - air	kg	25
CH <sub>4</sub> - non-combustion - Oil refinery - air	kg	25
CO <sub>2</sub> - non-combustion - Cement production - air	kg	1
CO <sub>2</sub> - non-combustion - Lime production - air	kg	1
SF <sub>6</sub> - air	kg	26087
HFC - air	kg CO <sub>2</sub> -eq	1
PFC - air	kg CO <sub>2</sub> -eq	1
CH <sub>4</sub> - agriculture - air	kg	25
CO <sub>2</sub> - agriculture - peat decay - air	kg	1
N <sub>2</sub> O - agriculture - air	kg	298
CH <sub>4</sub> - waste - air	kg	25
CO <sub>2</sub> - waste - biogenic - air	kg	1
CO <sub>2</sub> - waste - fossil - air	kg	1

### Bijlage F.2 Karakterisatiefactoren voor abiotisch grondstoffengebruik

Stressor	Eenheid	kt
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Bauxite and aluminium ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Copper ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Gold ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Iron ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Lead ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Nickel ores	kt	1

<b>Stressor</b>	<b>Eenheid</b>	<b>kt</b>
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Other non-ferrous metal ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Metal Ores - PGM ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Silver ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Tin ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Uranium and thorium ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Metal Ores - Zinc ores	kt	1
Domestic Extraction Used - Non-Metallic Minerals - Building stones	kt	1
Domestic Extraction Used - Non-Metallic Minerals - Chemical and fertilizer minerals	kt	1
Domestic Extraction Used - Non-Metallic Minerals - Clays and kaolin	kt	1
Domestic Extraction Used - Non-Metallic Minerals - Gravel and sand	kt	1
Domestic Extraction Used - Non-Metallic Minerals - Limestone, gypsum, chalk, dolomite	kt	1
Domestic Extraction Used - Non-Metallic Minerals - Other minerals	kt	1
Domestic Extraction Used - Non-Metallic Minerals - Salt	kt	1
Domestic Extraction Used - Non-Metallic Minerals - Slate	kt	1

## Bijlage F.3 Karakterisatiefactoren voor zoetwaterconsumptie

<b>Stressor</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Mm<sup>3</sup></b>
Water Consumption Blue - Agriculture - rice	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - wheat	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - other cereals	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - roots and tubers	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - sugar crops	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - pulses	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - nuts	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - oil crops	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - vegetables	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - fruits	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - fibres	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - other crops	Mm3	1
Water Consumption Blue - Agriculture - fodder crops	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - dairy cattle	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - nondairy cattle	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - pigs	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - sheep	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - goats	Mm3	1

<b>Stressor</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Mm3</b>
Water Consumption Blue - Livestock - buffaloes	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - camels	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - horses	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - chickens	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - turkeys	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - ducks	Mm3	1
Water Consumption Blue - Livestock - geese	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Products of meat cattle	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Products of meat pigs	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Products of meat poultry	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Meat products n.e.c.	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - products of vegetable oils and fats	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Dairy products	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Processed rice	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Sugar	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Food products n.e.c.	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Beverages	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Fish products	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Tobacco products (16)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Textiles (17)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Wearing apparel; furs (18)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Leather and leather products (19)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Pulp	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Secondary paper for treatment, Re-processing of secondary paper into new pulp	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Paper and paper products	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Printed matter and recorded media (22)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Plastics, basic	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Secondary plastic for treatment, Re-processing of secondary plastic into new plastic	Mm3	1



<b>Stressor</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Mm3</b>
Water Consumption Blue - Manufacturing - N-fertiliser	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - P- and other fertiliser	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Chemicals n.e.c.	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Rubber and plastic products (25)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Glass and glass products	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Secondary glass for treatment, Re-processing of secondary glass into new glass	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Ceramic goods	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Bricks, tiles and construction products, in baked clay	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Cement, lime and plaster	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Ash for treatment, Re-processing of ash into clinker	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Other non-metallic mineral products	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Basic iron and steel and ferro-alloys and first products thereof	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Secondary steel for treatment, Re-processing of secondary steel into new steel	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Precious metals	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Secondary precious metals for treatment, Re-processing of secondary precious metals into new precious metals	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Aluminium and aluminium products	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Secondary aluminium for treatment, Re-processing of secondary aluminium into new aluminium	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Lead, zinc and tin and products thereof	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Secondary lead for treatment, Re-processing of secondary lead into new lead	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Copper products	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Secondary copper for treatment, Re-processing of secondary copper into new copper	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Other non-ferrous metal products	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Secondary other non-ferrous metals for treatment, Re-processing	Mm3	1

Stressor	Eenheid	Mm3
of secondary other non-ferrous metals into new other non-ferrous metals		
Water Consumption Blue - Manufacturing - Fabricated metal products, except machinery and equipment (28)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Machinery and equipment n.e.c. (29)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Office machinery and computers (30)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Electrical machinery and apparatus n.e.c. (31)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Radio, television and communication equipment and apparatus (32)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Medical, precision and optical instruments, watches and clocks (33)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Motor vehicles, trailers and semi-trailers (34)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Other transport equipment (35)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Manufacturing - Furniture; other manufactured goods n.e.c. (36)	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by coal	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by gas	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by nuclear	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by hydro	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by wind	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by petroleum and other oil derivatives	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by biomass and waste	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by solar photovoltaic	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by solar thermal	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by tide, wave, ocean	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity by geothermal	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - tower - Electricity n.e.c.	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by coal	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by gas	Mm3	1

<b>Stressor</b>	<b>Eenheid</b>	<b>Mm3</b>
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by nuclear	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by hydro	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by wind	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by petroleum and other oil derivatives	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by biomass and waste	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by solar photovoltaic	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by solar thermal	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by tide, wave, ocean	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity by geothermal	Mm3	1
Water Consumption Blue - Electricity - once-through - Electricity n.e.c.	Mm3	1
Water Consumption Blue - Domestic - domestic Water Consumption Blue	Mm3	1

## Bijlage F.4 Karakterisatiefactoren voor landgebruik

<b>Stressor</b>	<b>Unit</b>	<b>km2</b>
Cropland - Cereal grains n.e.c.	km2	1
Cropland - Crops n.e.c.	km2	1
Cropland - Fodder crops - Cattle	km2	1
Cropland - Fodder crops - Meat animals n.e.c.	km2	1
Cropland - Fodder crops - Pigs	km2	1
Cropland - Fodder crops -Poultry	km2	1
Cropland - Fodder crops - Raw milk	km2	1
Cropland - Oil seeds	km2	1
Cropland - Paddy rice	km2	1
Cropland - Plant-based fibres	km2	1
Cropland - Sugar cane, sugar beet	km2	1
Cropland - Vegetables, fruit, nuts	km2	1
Cropland - Wheat	km2	1
Forest area - Forestry	km2	1
Other land Use: Total	km2	1
Permanent pastures – Grazing - Cattle	km2	1
Permanent pastures – Grazing - Meat animals n.e.c.	km2	1
Permanent pastures – Grazing - Raw milk	km2	1
Infrastructure land	km2	1
Forest area - Marginal use	km2	1

## Bijlage G

## Aggregatietabel voor Exiobase v3

<b>Code</b>	<b>Name</b>	<b>Aggregate description</b>	<b>Aggregate description contribution analysis</b>	<b>Scope GHGP</b>	<b>Aggregate description hotspot analysis</b>
<b>i01.a</b>	Cultivation of paddy rice	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.b</b>	Cultivation of wheat	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.c</b>	Cultivation of cereal grains n.e.c.	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.d</b>	Cultivation of vegetables, fruit, nuts	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.e</b>	Cultivation of oil seeds	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.f</b>	Cultivation of sugar cane, sugar beet	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.g</b>	Cultivation of plant-based fibres	Textile	Other	Scope 3	Other
<b>i01.h</b>	Cultivation of crops n.e.c.	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.i</b>	Cattle farming	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.j</b>	Pig farming	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.k</b>	Poultry farming	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.l</b>	Meat animals n.e.c.	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.m</b>	Animal products n.e.c.	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.n</b>	Raw milk	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector

<b>Code</b>	<b>Name</b>	<b>Aggregate description</b>	<b>Aggregate description contribution analysis</b>	<b>Scope GHGP</b>	<b>Aggregate description hotspot analysis</b>
<b>i01.o</b>	Wool, silk-worm cocoons	Textile	Other	Scope 3	Other
<b>i01.w.1</b>	Manure treatment (conventional), storage and land application	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i01.w.2</b>	Manure treatment (biogas), storage and land application	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i02</b>	Forestry, logging and related service activities (02)	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i05</b>	Fishing, operating of fish hatcheries and fish farms; service activities incidental to fishing (05)	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i10</b>	Mining of coal and lignite; extraction of peat (10)	Coal and Petroleum	Other	Scope 3	Fossil fuel industry
<b>i11.a</b>	Extraction of crude petroleum and services related to crude oil extraction, excluding surveying	Coal and Petroleum	Other	Scope 3	Fossil fuel industry
<b>i11.b</b>	Extraction of natural gas and services related to natural gas extraction, excluding surveying	Natural gas and gaseous fuels	Other	Scope 3	Fossil fuel industry
<b>i11.c</b>	Extraction, liquefaction, and regasification of other petroleum and gaseous materials	Natural gas and gaseous fuels	Other	Scope 3	Fossil fuel industry
<b>i12</b>	Mining of uranium and thorium ores (12)	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals
<b>i13.1</b>	Mining of iron ores	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals
<b>i13.20.11</b>	Mining of copper ores and concentrates	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals
<b>i13.20.12</b>	Mining of nickel ores and concentrates	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals

<b>Code</b>	<b>Name</b>	<b>Aggregate description</b>	<b>Aggregate description contribution analysis</b>	<b>Scope GHGP</b>	<b>Aggregate description hotspot analysis</b>
<b>i13.20.13</b>	Mining of aluminium ores and concentrates	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals
<b>i13.20.14</b>	Mining of precious metal ores and concentrates	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals
<b>i13.20.15</b>	Mining of lead, zinc and tin ores and concentrates	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals
<b>i13.20.16</b>	Mining of other non-ferrous metal ores and concentrates	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals
<b>i14.1</b>	Quarrying of stone	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals
<b>i14.2</b>	Quarrying of sand and clay	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals
<b>i14.3</b>	Mining of chemical and fertilizer minerals, production of salt, other mining and quarrying n.e.c.	Minerals and Metals	Other	Scope 3	Mining of minerals and metals
<b>i15.a</b>	Processing of meat cattle	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i15.b</b>	Processing of meat pigs	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i15.c</b>	Processing of meat poultry	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i15.d</b>	Production of meat products n.e.c.	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i15.e</b>	Processing vegetable oils and fats	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i15.f</b>	Processing of dairy products	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i15.g</b>	Processed rice	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i15.h</b>	Sugar refining	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector

<b>Code</b>	<b>Name</b>	<b>Aggregate description</b>	<b>Aggregate description contribution analysis</b>	<b>Scope GHGP</b>	<b>Aggregate description hotspot analysis</b>
<b>i15.i</b>	Processing of Food products n.e.c.	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i15.j</b>	Manufacture of beverages	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i15.k</b>	Manufacture of fish products	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i16</b>	Manufacture of tobacco products (16)	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i17</b>	Manufacture of textiles (17)	Textile	Other	Scope 3	Other
<b>i18</b>	Manufacture of wearing apparel; dressing and dyeing of fur (18)	Textile	Other	Scope 3	Other
<b>i19</b>	Tanning and dressing of leather; manufacture of luggage, handbags, saddlery, harness and footwear (19)	Textile	Other	Scope 3	Other
<b>i20</b>	Manufacture of wood and of products of wood and cork, except furniture; manufacture of articles of straw and plaiting materials (20)	Furniture and timber	Other	Scope 3	Other
<b>i20.w</b>	Re-processing of secondary wood material into new wood material	Furniture and timber	Other	Scope 3	Other
<b>i21.1</b>	Pulp	Paper Products	Other	Scope 3	Other
<b>i21.2</b>	Re-processing of secondary paper into new pulp	Paper Products	Other	Scope 3	Other
<b>i21.w.1</b>	Paper	Paper Products	Other	Scope 3	Other
<b>i22</b>	Publishing, printing and reproduction of recorded media (22)	Paper Products	Other	Scope 3	Other
<b>i23.1</b>	Manufacture of coke oven products	Coal and Petroleum	Other	Scope 3	Fossil fuel industry

<b>Code</b>	<b>Name</b>	<b>Aggregate description</b>	<b>Aggregate description contribution analysis</b>	<b>Scope GHGP</b>	<b>Aggregate description hotspot analysis</b>
<b>i23.2</b>	Petroleum Refinery	Coal and Petroleum	Other	Scope 3	Fossil fuel industry
<b>i23.3</b>	Processing of nuclear fuel	Chemical	Pharmaceuticals and chemical products	Scope 3	Pharmaceutical and chemical industry
<b>i24.a</b>	Plastics, basic	Chemical	Pharmaceuticals and chemical products	Scope 3	Pharmaceutical and chemical industry
<b>i24.a.w</b>	Re-processing of secondary plastic into new plastic	Chemical	Pharmaceuticals and chemical products	Scope 3	Pharmaceutical and chemical industry
<b>i24.b</b>	N-fertiliser	Chemical	Pharmaceuticals and chemical products	Scope 3	Pharmaceutical and chemical industry
<b>i24.c</b>	P- and other fertiliser	Chemical	Pharmaceuticals and chemical products	Scope 3	Pharmaceutical and chemical industry
<b>i24.d</b>	Chemicals nec	Chemical	Pharmaceuticals and chemical products	Scope 3	Pharmaceutical and chemical industry
<b>i25</b>	Manufacture of rubber and plastic products (25)	Chemical	Pharmaceuticals and chemical products	Scope 3	Other
<b>i26.a</b>	Manufacture of glass and glass products	Non-metallic mineral products	Other	Scope 3	Other
<b>i26.a.w</b>	Re-processing of secondary glass into new glass	Non-metallic mineral products	Other	Scope 3	Other
<b>i26.b</b>	Manufacture of ceramic goods	Non-metallic mineral products	Other	Scope 3	Other
<b>i26.c</b>	Manufacture of bricks, tiles and construction products, in baked clay	Non-metallic mineral products	Other	Scope 3	Other
<b>i26.d</b>	Manufacture of cement, lime and plaster	Non-metallic mineral products	Other	Scope 3	Other
<b>i26.d.w</b>	Re-processing of ash into clinker	Non-metallic mineral products	Other	Scope 3	Other
<b>i26.e</b>	Manufacture of other non-metallic mineral products n.e.c.	Non-metallic mineral products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.41</b>	Manufacture of basic iron and steel and of ferro-alloys and first products thereof	Metal Products	Other	Scope 3	Other



<b>Code</b>	<b>Name</b>	<b>Aggregate description</b>	<b>Aggregate description contribution analysis</b>	<b>Scope GHGP</b>	<b>Aggregate description hotspot analysis</b>
<b>i27.41.w</b>	Re-processing of secondary steel into new steel	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.42</b>	Precious metals production	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.42.w</b>	Re-processing of secondary precious metals into new precious metals	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.43</b>	Aluminium production	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.43.w</b>	Re-processing of secondary aluminium into new aluminium	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.44</b>	Lead, zinc and tin production	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.44.w</b>	Re-processing of secondary lead into new lead, zinc and tin	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.45</b>	Copper production	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.45.w</b>	Re-processing of secondary copper into new copper	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.5</b>	Other non-ferrous metal production	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.a</b>	Re-processing of secondary other non-ferrous metals into new other non-ferrous metals	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i27.a.w</b>	Casting of metals	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i28</b>	Manufacture of fabricated metal products, except machinery and equipment (28)	Metal Products	Other	Scope 3	Other
<b>i29</b>	Manufacture of machinery and equipment n.e.c. (29)	General and special Machinery	Other	Scope 3	Other
<b>i30</b>	Manufacture of office machinery and computers (30)	General and special Machinery	Other	Scope 3	Other
<b>i31</b>	Manufacture of electrical machinery and apparatus n.e.c. (31)	Electrical, electronic and measuring equipment	Therapeutic, electrical equipment and machinery	Scope 3	Other

<b>Code</b>	<b>Name</b>	<b>Aggregate description</b>	<b>Aggregate description contribution analysis</b>	<b>Scope GHGP</b>	<b>Aggregate description hotspot analysis</b>
<b>i32</b>	Manufacture of radio, television and communication equipment and apparatus (32)	Electrical, electronic and measuring equipment	Therapeutic, electrical equipment and machinery	Scope 3	Other
<b>i33</b>	Manufacture of medical, precision and optical instruments, watches and clocks (33)	Electrical, electronic and measuring equipment	Therapeutic, electrical equipment and machinery	Scope 3	Other
<b>i34</b>	Manufacture of motor vehicles, trailers and semi-trailers (34)	Transport Equipment	Other	Scope 3	Other
<b>i35</b>	Manufacture of other transport equipment (35)	Transport Equipment	Other	Scope 3	Other
<b>i36</b>	Manufacture of furniture; manufacturing n.e.c. (36)	Furniture and timber	Other	Scope 3	Other
<b>i37</b>	Recycling of waste and scrap	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i37.w.1</b>	Recycling of bottles by direct reuse	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i40.11.a</b>	Production of electricity by coal	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.11.b</b>	Production of electricity by gas	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.11.c</b>	Production of electricity by nuclear	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.11.d</b>	Production of electricity by hydro	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.11.e</b>	Production of electricity by wind	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.11.f</b>	Production of electricity by petroleum and other oil derivatives	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.11.g</b>	Production of electricity by biomass and waste	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.11.h</b>	Production of electricity by solar photovoltaic	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector

Code	Name	Aggregate description	Aggregate description contribution analysis	Scope GHGP	Aggregate description hotspot analysis
<b>i40.11.i</b>	Production of electricity by solar thermal	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.11.j</b>	Production of electricity by tide, wave, ocean	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.11.k</b>	Production of electricity by Geothermal	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.11.l</b>	Production of electricity nec	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.12</b>	Transmission of electricity	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.13</b>	Distribution and trade of electricity	Electricity	Heat and electricity	Scope 2	Electricity sector
<b>i40.2</b>	Manufacture of gas; distribution of gaseous fuels through mains	Natural gas and gaseous fuels	Other	Scope 3	Fossil fuel industry
<b>i40.3</b>	Steam and hot water supply	Steam, hot water supply and water distribution	Heat and electricity	Scope 2	Other
<b>i41</b>	Collection, purification and distribution of water (41)	Steam, hot water supply and water distribution	Other	Scope 3	Other
<b>i45</b>	Construction (45)	Construction	Other	Scope 3	Other
<b>i45.w</b>	Re-processing of secondary construction material into aggregates	Construction	Other	Scope 3	Other
<b>i50.a</b>	Sale, maintenance, repair of motor vehicles, motor vehicles parts, motorcycles, motor cycles parts and accessoires	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i50.b</b>	Retail sale of automotive fuel	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i51</b>	Wholesale trade and commission trade, except of motor vehicles and motorcycles (51)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i52</b>	Retail trade, except of motor vehicles and motorcycles; repair of	Services	Services	Scope 3	Other

Code	Name	Aggregate description	Aggregate description contribution analysis	Scope GHGP	Aggregate description hotspot analysis
	personal and household goods (52)				
<b>i55</b>	Hotels and restaurants (55)	Food, tobacco and agricultural products	Food and food services	Scope 3	Agricultural sector
<b>i60.1</b>	Transport via railways	Transport	Other	Scope 3	Other
<b>i60.2</b>	Other land transport	Transport	Other	Scope 3	Other
<b>i60.3</b>	Transport via pipelines	Transport	Other	Scope 3	Other
<b>i61.1</b>	Sea and coastal water transport	Transport	Other	Scope 3	Other
<b>i61.2</b>	Inland water transport	Transport	Other	Scope 3	Other
<b>i62</b>	Air transport (62)	Transport	Other	Scope 3	Other
<b>i63</b>	Supporting and auxiliary transport activities; activities of travel agencies (63)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i64</b>	Post and telecommunications (64)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i65</b>	Financial intermediation, except insurance and pension funding (65)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i66</b>	Insurance and pension funding, except compulsory social security (66)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i67</b>	Activities auxiliary to financial intermediation (67)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i70</b>	Real estate activities (70)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i71</b>	Renting of machinery and equipment without operator and of personal and household goods (71)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i72</b>	Computer and related activities (72)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i73</b>	Research and development (73)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i74</b>	Other business activities (74)	Services	Services	Scope 3	Other

<b>Code</b>	<b>Name</b>	<b>Aggregate description</b>	<b>Aggregate description contribution analysis</b>	<b>Scope GHGP</b>	<b>Aggregate description hotspot analysis</b>
<b>i75</b>	Public administration and defence; compulsory social security (75)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i80</b>	Education (80)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i85</b>	Health and social work (85)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i90.1.a</b>	Incineration of waste: Food	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.1.b</b>	Incineration of waste: Paper	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.1.c</b>	Incineration of waste: Plastic	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.1.d</b>	Incineration of waste: Metals and Inert materials	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.1.e</b>	Incineration of waste: Textiles	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.1.f</b>	Incineration of waste: Wood	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.1.g</b>	Incineration of waste: Oil/Hazardous waste	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.2.a</b>	Biogasification of food waste, incl. land application	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.2.b</b>	Biogasification of paper, incl. land application	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.2.c</b>	Biogasification of sewage sludge, incl. land application	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.3.a</b>	Composting of food waste, incl. land application	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.3.b</b>	Composting of paper and wood, incl. land application	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.4.a</b>	Waste water treatment, food	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other

<b>Code</b>	<b>Name</b>	<b>Aggregate description</b>	<b>Aggregate description contribution analysis</b>	<b>Scope GHGP</b>	<b>Aggregate description hotspot analysis</b>
<b>i90.4.b</b>	Waste water treatment, other	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.5.a</b>	Landfill of waste: Food	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.5.b</b>	Landfill of waste: Paper	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.5.c</b>	Landfill of waste: Plastic	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.5.d</b>	Landfill of waste: Inert/metal/hazardous	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.5.e</b>	Landfill of waste: Textiles	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i90.5.f</b>	Landfill of waste: Wood	Waste management and disposal	Other	Scope 3	Other
<b>i91</b>	Activities of membership organisation n.e.c. (91)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i92</b>	Recreational, cultural and sporting activities (92)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i93</b>	Other service activities (93)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i95</b>	Private households with employed persons (95)	Services	Services	Scope 3	Other
<b>i99</b>	Extra-territorial organisations and bodies	Services	Services	Scope 3	Other

## Bijlage H

De contributieanalyse voor de vijf milieueffectcategorieën, ingedeeld volgens de terminologie van het GHGP. Scope 1 zijn directe effecten, scope 2 zijn de indirecte effecten door inkoop van energie (warmte en elektriciteit), terwijl scope 3 alle andere indirecte effecten betreft. De aggregatie van de 163 Exiobase-sectoren naar de gegroepeerde categorieën is te vinden in Bijlage G. Door afronding komt de som van de rijen mogelijk niet overeen met het totaal.

Scope	Source (grouped)	Global warming (kt CO <sub>2</sub> -eq)	Material extraction (kt)	Blue water consumption (Mm <sup>3</sup> )	Land use (km <sup>2</sup> )	Waste generation (kt)
<b>Scope 1</b>	Operational impacts by healthcare sector (incl anaesthetic gases)	1588 (9,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	190 (4,0%)
<b>Scope 2</b>	Electricity	1848 (10,5%)	135 (0,4%)	6 (1,5%)	108 (0,5%)	72 (1,5%)
	Steam and hot water supply	109 (0,6%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (0,0%)
<b>Scope 3</b>	Coal & petroleum	189 (1,1%)	71 (0,2%)	1 (0,3%)	37 (0,2%)	10 (0,2%)
	Construction	269 (1,5%)	755 (2,2%)	2 (0,5%)	172 (0,7%)	133 (2,8%)
	Electrical, electronic & measuring equipment	1336 (7,6%)	1408 (4,2%)	12 (3,0%)	620 (2,6%)	378 (7,9%)
	Food, tobacco & agricultural products	1018 (5,8%)	517 (1,5%)	94 (23,9%)	5645 (23,7%)	641 (13,3%)
	Furniture & timber	26 (0,1%)	20 (0,1%)	1 (0,3%)	225 (0,9%)	4 (0,1%)
	General and special machinery	182 (1,0%)	267 (0,8%)	2 (0,5%)	120 (0,5%)	75 (1,6%)
	Metal products	48 (0,3%)	83 (0,2%)	0 (0,0%)	16 (0,1%)	40 (0,8%)
	Minerals & metals	108 (0,6%)	1380 (4,1%)	1 (0,3%)	32 (0,1%)	162 (3,4%)
	Natural gas & gaseous fuels	108 (0,6%)	13 (0,0%)	0 (0,0%)	4 (0,0%)	1 (0,0%)
	Non-metallic mineral products	53 (0,3%)	242 (0,7%)	0 (0,0%)	17 (0,1%)	6 (0,1%)

Scope	Source (grouped)	Global warming (kt CO <sub>2</sub> -eq)	Material extraction (kt)	Blue water consumption (Mm <sup>3</sup> )	Land use (km <sup>2</sup> )	Waste generation (kt)
	Paper products	202 (1,1%)	195 (0,6%)	3 (0,8%)	849 (3,6%)	73 (1,5%)
	Pharmaceuticals & chemical products	7239 (41,2%)	26936 (79,7%)	249 (63,2%)	14326 (60,1%)	2609 (54,3%)
	pMDI propellant releases	77 (0,4%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
	Private travel by patients & visitors	573 (3,3%)	24 (0,1%)	0 (0,0%)	2 (0,0%)	0 (0,0%)
	Services	1176 (6,7%)	1397 (4,1%)	18 (4,6%)	1301 (5,5%)	279 (5,8%)
	Textile	76 (0,4%)	64 (0,2%)	2 (0,5%)	109 (0,5%)	11 (0,2%)
	Transport	647 (3,7%)	175 (0,5%)	2 (0,5%)	188 (0,8%)	46 (1,0%)
	Transport equipment	25 (0,1%)	34 (0,1%)	0 (0,0%)	17 (0,1%)	9 (0,2%)
	Waste management & disposal	276 (1,6%)	56 (0,2%)	1 (0,3%)	49 (0,2%)	58 (1,2%)
	Water distribution	42 (0,2%)	12 (0,0%)	0 (0,0%)	7 (0,0%)	3 (0,1%)
<b>Non-protocol</b>	Private travel by patients & visitors	359 (2,0%)	19 (0,1%)	0 (0,0%)	1 (0,0%)	0 (0,0%)
<b>Total</b>		17575 (100,0%)	33801 (100,0%)	394 (100,0%)	23845 (100,0%)	4803 (100,0%)



## Bijlage I

De hotspotanalyse voor de vijf milieueffectcategorieën. De aggregatie van de 163 Exiobase-sectoren naar de gegroepeerde categorieën is te vinden in Bijlage G. Door afronding komt de som van de rijen mogelijk niet overeen met het totaal.

Scope	Sector/source	Global warming (kt CO <sub>2</sub> -eq)	Material extraction (kt)	Blue water consumption (Mm <sup>3</sup> )	Land use (km <sup>2</sup> )	Waste generation (kt)
<b>Direct</b>	Operational impacts (incl anaesthetic gases)	1588 (9,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	190 (4,0%)
<b>Indirect</b>	Chemical	2174 (12,4%)	211 (0,6%)	15 (3,8%)	3 (0,0%)	229 (4,8%)
	Coal & petroleum	1636 (9,3%)	15 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (0,0%)	39 (0,8%)
	Construction	108 (0,6%)	13 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (0,0%)	119 (2,5%)
	Electrical, electronic & measuring equipment	555 (3,2%)	3 (0,0%)	4 (1,0%)	0 (0,0%)	11 (0,2%)
	Electricity	3969 (22,6%)	1 (0,0%)	7 (1,8%)	4 (0,0%)	95 (2,0%)
	Food, tobacco & agricultural products	2074 (11,8%)	92 (0,3%)	350 (88,8%)	23418 (98,2%)	1434 (29,9%)
	Furniture & timber	63 (0,4%)	0 (0,0%)	1 (0,3%)	78 (0,3%)	7 (0,1%)
	General & special machinery	21 (0,1%)	1 (0,0%)	1 (0,3%)	1 (0,0%)	6 (0,1%)
	Metal products	504 (2,9%)	9 (0,0%)	5 (1,3%)	2 (0,0%)	46 (1,0%)
	Minerals & metals	451 (2,6%)	33107 (97,9%)	2 (0,5%)	18 (0,1%)	2444 (50,9%)
	Natural gas & gaseous fuels	522 (3,0%)	18 (0,1%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
	Non-metallic mineral products	468 (2,7%)	23 (0,1%)	0 (0,0%)	1 (0,0%)	8 (0,2%)
	Paper products	114 (0,6%)	1 (0,0%)	2 (0,5%)	32 (0,1%)	72 (1,5%)
	pMDI propellant releases	77 (0,4%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)

Scope	Sector/source	Global warming (kt CO <sub>2</sub> -eq)	Material extraction (kt)	Blue water consumption (Mm <sup>3</sup> )	Land use (km <sup>2</sup> )	Waste generation (kt)
	Private travel	553 (3,1%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
	Private travel, occurring in other sectors (not distributed)	379 (2,2%)	42 (0,1%)	0 (0,0%)	3 (0,0%)	0 (0,0%)
	Services	412 (2,3%)	248 (0,7%)	2 (0,5%)	93 (0,4%)	21 (0,4%)
	Steam, hot water supply & water distribution	545 (3,1%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (0,0%)	5 (0,1%)
	Textile	115 (0,7%)	0 (0,0%)	4 (1,0%)	150 (0,6%)	6 (0,1%)
	Transport	844 (4,8%)	7 (0,0%)	0 (0,0%)	26 (0,1%)	3 (0,1%)
	Transport equipment	11 (0,1%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)	1 (0,0%)
	Waste management & disposal	391 (2,2%)	10 (0,0%)	0 (0,0%)	12 (0,1%)	67 (1,4%)
<b>Total</b>		17575 (100,0%)	33801 (100,0%)	394 (100,0%)	23845 (100,0%)	4803 (100,0%)

## Bijlage J

De geografische hotspotanalyse voor de verschillende landen en regio's in Exiobase voor de vijf milieueffectcategorieën. Door afronding komt de som van de rijen mogelijk niet overeen met het totaal.

		<b>Global warming (kt CO2- eq)</b>	<b>Material extraction (kt)</b>	<b>Blue water consumption (Mm3)</b>	<b>Land use (km2)</b>	<b>Waste generation (kt)</b>
<b>Africa</b>	<b>Rest of World Africa</b>	389 (2,2%)	298 (0,9%)	25,9 (6,6%)	3098 (13,0%)	191 (4,0%)
	<b>South Africa</b>	399 (2,3%)	159 (0,5%)	2,6 (0,7%)	812 (3,4%)	94 (2,0%)
<b>America</b>	<b>Brazil</b>	281 (1,6%)	299 (0,9%)	8,5 (2,2%)	1478 (6,2%)	432 (9,0%)
	<b>Canada</b>	106 (0,6%)	104 (0,3%)	0,4 (0,1%)	575 (2,4%)	45 (0,9%)
	<b>Mexico</b>	74 (0,4%)	104 (0,3%)	2,5 (0,6%)	145 (0,6%)	52 (1,1%)
	<b>USA</b>	839 (4,8%)	639 (1,9%)	33,5 (8,5%)	1780 (7,5%)	313 (6,5%)
	<b>Rest of World Americas</b>	362 (2,1%)	603 (1,8%)	10,8 (2,7%)	2905 (12,2%)	943 (19,6%)
<b>Asia and Pacific</b>	<b>Australia</b>	197 (1,1%)	416 (1,2%)	6,1 (1,5%)	2743 (11,5%)	291 (6,1%)
	<b>China</b>	2150 (12,2%)	7300 (21,6%)	37,4 (9,5%)	1198 (5,0%)	412 (8,6%)
	<b>Indonesia</b>	407 (2,3%)	912 (2,7%)	1,1 (0,3%)	630 (2,6%)	152 (3,2%)
	<b>India</b>	484 (2,8%)	16031 (47,4%)	52,6 (13,3%)	423 (1,8%)	130 (2,7%)
	<b>Japan</b>	156 (0,9%)	54 (0,2%)	0,2 (0,1%)	11 (0,0%)	6 (0,1%)
	<b>Korea</b>	104 (0,6%)	25 (0,1%)	0,3 (0,1%)	9 (0,0%)	7 (0,1%)
	<b>Taiwan</b>	186 (1,1%)	41 (0,1%)	0,1 (0,0%)	47 (0,2%)	0 (0,0%)
	<b>Rest of World Asia and Pacific</b>	766 (4,4%)	463 (1,4%)	61,5 (15,6%)	1673 (7,0%)	228 (4,7%)
<b>Europe</b>	<b>Austria</b>	15 (0,1%)	33 (0,1%)	0,1 (0,0%)	28 (0,1%)	6 (0,1%)
	<b>Belgium</b>	119 (0,7%)	113 (0,3%)	1,1 (0,3%)	36 (0,2%)	33 (0,7%)
	<b>Bulgaria</b>	11 (0,1%)	41 (0,1%)	0,2 (0,0%)	59 (0,2%)	13 (0,3%)

	<b>Global warming (kt CO2- eq)</b>	<b>Material extraction (kt)</b>	<b>Blue water consump- tion (Mm3)</b>	<b>Land use (km2)</b>	<b>Waste generation (kt)</b>
<b>Switzerland</b>	25 (0,1%)	97 (0,3%)	0,1 (0,0%)	22 (0,1%)	4 (0,1%)
<b>Czech Republic</b>	37 (0,2%)	29 (0,1%)	0,1 (0,0%)	30 (0,1%)	4 (0,1%)
<b>Germany</b>	317 (1,8%)	329 (1,0%)	1,6 (0,4%)	201 (0,8%)	70 (1,4%)
<b>Denmark</b>	27 (0,2%)	21 (0,1%)	0,1 (0,0%)	18 (0,1%)	6 (0,1%)
<b>Spain</b>	80 (0,5%)	70 (0,2%)	4,1 (1,1%)	273 (1,1%)	32 (0,7%)
<b>Estonia</b>	7 (0,0%)	4 (0,0%)	0,0 (0,0%)	38 (0,2%)	1 (0,0%)
<b>Finland</b>	13 (0,1%)	61 (0,2%)	0,1 (0,0%)	75 (0,3%)	12 (0,2%)
<b>France</b>	123 (0,7%)	174 (0,5%)	1,4 (0,4%)	190 (0,8%)	29 (0,6%)
<b>UK</b>	134 (0,8%)	91 (0,3%)	0,5 (0,1%)	96 (0,4%)	14 (0,3%)
<b>Greece</b>	28 (0,2%)	50 (0,1%)	0,6 (0,2%)	75 (0,3%)	8 (0,2%)
<b>Croatia</b>	6 (0,0%)	7 (0,0%)	0,0 (0,0%)	7 (0,0%)	0 (0,0%)
<b>Hungary</b>	19 (0,1%)	14 (0,0%)	0,2 (0,1%)	55 (0,2%)	5 (0,1%)
<b>Ireland</b>	73 (0,4%)	20 (0,1%)	0,4 (0,1%)	86 (0,4%)	22 (0,5%)
<b>Italy</b>	61 (0,3%)	70 (0,2%)	0,8 (0,2%)	60 (0,3%)	8 (0,2%)
<b>Lithuania</b>	9 (0,1%)	5 (0,0%)	0,0 (0,0%)	59 (0,2%)	2 (0,0%)
<b>Luxembourg</b>	9 (0,1%)	1 (0,0%)	0,0 (0,0%)	2 (0,0%)	1 (0,0%)
<b>Latvia</b>	6 (0,0%)	1 (0,0%)	0,0 (0,0%)	71 (0,3%)	1 (0,0%)
<b>Malta</b>	1 (0,0%)	1 (0,0%)	0,0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
<b>Norway</b>	58 (0,3%)	46 (0,1%)	0,1 (0,0%)	102 (0,4%)	6 (0,1%)
<b>Poland</b>	55 (0,3%)	150 (0,4%)	0,8 (0,2%)	86 (0,4%)	38 (0,8%)
<b>Portugal</b>	18 (0,1%)	47 (0,1%)	0,3 (0,1%)	21 (0,1%)	5 (0,1%)
<b>Romania</b>	33 (0,2%)	18 (0,1%)	2,1 (0,5%)	219 (0,9%)	15 (0,3%)
<b>Russia</b>	766 (4,4%)	361 (1,1%)	5,7 (1,4%)	2353 (9,9%)	151 (3,2%)
<b>Slovakia</b>	9 (0,1%)	7 (0,0%)	0,1 (0,0%)	20 (0,1%)	2 (0,0%)
<b>Slovenia</b>	5 (0,0%)	4 (0,0%)	0,0 (0,0%)	3 (0,0%)	1 (0,0%)

		<b>Global warming (kt CO<sub>2</sub>- eq)</b>	<b>Material extraction (kt)</b>	<b>Blue water consump- tion (Mm<sup>3</sup>)</b>	<b>Land use (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Waste generation (kt)</b>
	<b>Sweden</b>	22 (0,1%)	107 (0,3%)	0,2 (0,0%)	260 (1,1%)	40 (0,8%)
	<b>Rest of World Europe</b>	284 (1,6%)	101 (0,3%)	5,4 (1,4%)	861 (3,6%)	56 (1,2%)
<b>Middle East</b>	<b>Cyprus</b>	3 (0,0%)	3 (0,0%)	0,1 (0,0%)	6 (0,0%)	1 (0,0%)
	<b>Turkey</b>	49 (0,3%)	172 (0,5%)	4,6 (1,2%)	56 (0,2%)	14 (0,3%)
	<b>Rest of World Middle East</b>	1861 (10,6%)	3227 (9,5%)	109,3 (27,7%)	599 (2,5%)	237 (4,9%)
<b>The Nether- lands</b>	<b>The Netherlands, operational</b>	1588 (9,0%)	0 (0,0%)	0,0 (0,0%)	0 (0,0%)	190 (4,0%)
	<b>The Netherlands, not operational</b>	4420 (25,2%)	832 (2,5%)	9,9 (2,5%)	247 (1,0%)	482 (10,0%)
<b>All</b>	<b>Global</b>	379 (2,2%)	42 (0,1%)	0,3 (0,1%)	3 (0,0%)	0 (0,0%)
<b>Grand Total</b>		17575 (100,0%)	33801 (100,0%)	394,2 (100,0%)	23845 (100,0%)	4803 (100,0%)

## Bijlage K

Aantal dagdoseringen (DDD's) van acetylsalicylzuur, ibuprofen, naproxen en paracetamol van 2016-2020 via GIPdatabank.

ATC-code, werkzame stof (merknaam)	2016	2017	2018	2019	2020
<b>B01AC06</b> Acetylsalicylzuur ( <i>Aspirine protect</i> ®)	229.614.250	228.458.377	222.647.634	214.055.325	211.497.137
<b>B01AC30</b> Clopidogrel/ acetylsalicylzuur	3.652.600	3.086.300	2.556.300	2.326.400	44.536
<b>N02BA01</b> Acetylsalicylzuur	504	560	449	435	1.151
<b>N02BA51</b> Acetylsalicylzuur combinatie- preparaten	67.020	59.713	52.808	48.575	44.181
<b>M01AE01</b> Ibuprofen	13.683.339	13.002.748	12.476.929	11.122.066	10.211.585
<b>M01AE02</b> Naproxen	34.339.518	36.268.704	34.444.170	38.734.549	36.748.218
<b>M01AE52</b> Naproxen met esomeprazol	163.980	140.570	139.860	119.350	100.870
<b>N02BE01</b> Paracetamol	31.588.498	35.797.614	41.646.223	.	.
<b>N02AJ13</b> Tramadol met paracetamol	7.995.524	7.896.189	7.633.794	7.484.338	7.275.684

Aantal dagdoseringen (DDD's) van amoxicilline en combinatiepreparaten van 2016-2020 via GIPdatabank.

ATC code, werkzame stof (merknaam)	2016	2017	2018	2019	2020
<b>J01CA04 Amoxicilline</b>	11.861.520	11.346.147	11.847.568	7.555.534	5.858.768
<b>J01CA04 Amoxicilline</b>	15.240	20.628	19.959	9.107	11.357
<b>A02BD04 Pantoprazol amoxicilline en claritromycine</b>	155.401	132.146	186.238	189.666	129.893
<b>J01CR02 Amoxicilline met betalactamaseremmer</b>	8.813.606	8.463.926	8.462.251	5.609.649	4.862.614
<b>J01CR02 Amoxicilline met betalactamaseremmer</b>	2.385	2.544	2.382	2.302	2.185



**RIVM**

*De zorg voor morgen begint vandaag*