



Planbureau voor de Leefomgeving

# TRENDS IN NEDERLANDSE VOETAFDRIJVEN

1995-2010

**Harry Wilting, Aldert Hanemaaijer, Mark van Oorschoot en  
Trudy Rood**

**16 september 2015**

PBL  
2015

## **Trends in Nederlandse voetafdrukken**

**1995-2010**

© PBL (Planbureau voor de Leefomgeving)

Den Haag, 2015

PBL-publicatienummer: 0707

### **Auteurs en eindredactie**

Harry Wilting, Aldert Hanemaaijer, Mark van Oorschot, Trudy Rood

### **Met dank aan**

Durk Nijdam

### **Redactie figuren**

Durk Nijdam, Filip de Blois, Allard Warrink

### **Supervisie**

Frank Dietz

### **Contact**

harry.wilting@pbl.nl

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

Wilting, H.C. et al. (2015), *Trends in Nederlandse voetafdrukken*, Den Haag: PBL.

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

# Inhoud

<b>Inhoud</b>	<b>3</b>
<b>Samenvatting</b>	<b>5</b>
<b>1 Inleiding</b>	<b>9</b>
1.1 Wat is de voetafdruk precies?	9
1.2 Individuele en samengestelde voetafdrukindicatoren	11
1.3 Andere dan nationale voetafdrukindicatoren	12
1.4 Methoden en modellen	12
1.5 Voetafdruk en beleid	13
1.6 Leeswijzer	13
<b>2 Koolstofvoetafdruk</b>	<b>15</b>
2.1 Inleiding	15
2.2 Methode	15
2.3 Resultaten; totaal Nederland	16
2.4 Verdeling naar consumptie categorie, bedrijfstak en regio	18
2.5 Vergelijking met uitkomsten van andere studies	20
2.6 CO <sub>2</sub> -voetafdruk volgens de SNAC methode	21
<b>3 Landvoetafdruk</b>	<b>23</b>
3.1 Inleiding	23
3.2 Methode en data	23
3.3 Resultaten	24
3.4 Landgebruik naar productgroepen en regio's	25
3.5 Landvoetafdruk volgens het MRIO-model	26
3.6 Vergelijking met andere studies	28
<b>4 Biodiversiteitsvoetafdruk</b>	<b>29</b>
4.1 Inleiding	29
4.2 Methode	29
4.3 Resultaten: trend in de biodiversiteitsvoetafdruk	30
4.4 Effecten van broeikasgasemissies	31
4.5 Biodiversiteitsverlies in verschillende regio's	32
4.6 Vergelijking van biodiversiteitsverlies en landgebruik	33
4.7 Vergelijking met andere biodiversiteitsindicatoren	34
4.7.1 De MSA-indicator in relatie tot het uitsterven van soorten	35
4.7.2 Vergelijking MSA met de ecologische voetafdruk	35
4.7.3 ReCiPe	35
4.7.4 Red List species index	36
<b>5 Andere voetafdrukken</b>	<b>37</b>
5.1 Grondstoffenvoetafdruk	37

5.1.1	Inleiding	37
5.1.2	Methode	38
5.1.3	Resultaten	38
5.1.4	Discussie	39
5.2	Watervoetafdruk	40
5.2.1	Inleiding	40
5.2.2	Methode	41
5.2.3	Resultaten	41
5.2.4	Relatie met waterschaarste	41
5.2.5	Discussie	42
5.3	Stikstofvoetafdruk	43
5.3.1	Inleiding	43
5.3.2	Methode	43
5.3.3	Resultaten	43
5.3.4	Discussie	44
5.4	Ecologische voetafdruk	44
<b>6</b>	<b>Internationale vergelijking</b>	<b>46</b>
6.1	Inleiding	46
6.2	Methode	46
6.3	Resultaten voor de koolstof- en landvoetafdruk	46
6.4	Vergelijking met omliggende landen	48
6.5	Vergelijking voor andere voetafdrukken	50
6.6	Discussie	51
<b>7</b>	<b>Bruikbaarheid voor beleid</b>	<b>52</b>
7.1	Inleiding	52
7.2	Welke inzichten leveren nationale voetafdrukindicatoren?	52
7.3	Diversiteit in methoden en uitkomsten	53
7.4	Indicatoren voor beleid	53
7.5	Tot slot	55
	<b>Literatuur</b>	<b>56</b>

# Samenvatting

## Inleiding

Al enkele decennia is er in nationale en internationale beleidsstudies aandacht voor de milieudruk die wordt veroorzaakt door consumptie, ook wel de voetafdruk genoemd. Zowel de Europese Commissie (Resource Efficiency strategie), de OESO (Groene Groei strategie) als de Nederlandse overheid (Duurzaamheidsagenda) besteden aandacht aan deze milieudruk. De voetafdruk gaat over grenzen heen; hij maakt de milieudruk en impacts in het buitenland zichtbaar die het gevolg zijn van consumptie in Nederland. Dit in tegenstelling tot nationale milieustatistiek die gaan over de milieudruk van bedrijven en huishoudens binnen de landsgrenzen.

Voor mondiale vraagstukken – zoals klimaatverandering, landgebruik, verlies van biodiversiteit en beschikbaarheid van grondstoffen – zijn zowel de binnenlandse als de buitenlandse gevolgen van consumptie van belang. Een internationale visie is noodzakelijk. Immers: als bijvoorbeeld de productie van bedrijven naar het buitenland verplaatst wordt, kunnen wel de broeikasgasemissies in een land afnemen, maar neemt niet de klimaatverandering af. Met een voetafdrukindicator kunnen alle milieueffecten langs de hele productieketen van consumptiegoederen worden weergegeven; zo kunnen gevolgen van keuzes in productie of consumptie voor milieu en natuur zichtbaar worden gemaakt. Verder past de voetafdruk bij het streven naar een wereldeconomie die past in de 'milieugebruiksruimte', waarbij de zogenoemde *planetary boundaries* niet worden overschreden.

## Afzonderlijke voetafdrukken maken afruïl inzichtelijk

Deze notitie gaat over voetafdrukindicatoren op nationale schaal, dat wil zeggen dat ze de milieudruk in binnen- en buitenland van de totale Nederlandse consumptie in kaart brengen. Er zijn ook voetafdrukken te berekenen van producten en bedrijven maar die vallen buiten de scope van deze notitie.

De term voetafdruk is bekend geworden door de zogenoemde ecologische voetafdruk die consumptie relateert aan de draagkracht van de aarde. Dit is een samengestelde indicator waarin milieudrukken zijn gewogen. De indicator bevat naast landgebruik onder andere een virtuele landgebruikscomponent in de vorm van de hoeveelheid groeiend bos ter compensatie van de CO<sub>2</sub>-emissies van het fossiele energiegebruik tijdens de productie van consumptiegoederen.

Het gebruik van een samengestelde indicator vergemakkelijkt de communicatie over de voetafdruk (zoals 'we gebruiken drie keer de aarde'). Inzicht in de afzonderlijke milieudrukken blijft echter van belang om de gevolgen van beleid en keuzes in kaart te brengen. Het naast elkaar presenteren van afzonderlijke indicatoren maakt afwenteling en afruïl inzichtelijk. Vervanging van fossiele energie door bio-brandstoffen leidt bijvoorbeeld veelal tot een lagere koolstofvoetafdruk maar ook tot een hogere landvoetafdruk.

## Naast koolstof- en landvoetafdruk zijn er ook andere voetafdrukken

Voor verschillende milieuthema's zijn voetafdrukindicatoren ontwikkeld. De meest gangbare zijn de voetafdrukken voor broeikasgassen, landgebruik, grondstoffen en water. De zogenoemde koolstofvoetafdruk betreft de mondiale uitstoot van broeikasgassen als gevolg van Nederlandse consumptie. De landvoetafdruk geeft de hoeveelheid land weer die wereldwijd nodig is om producten en diensten voor de Nederlandse consumptie te produceren. De grondstoffenvoetafdruk is nog het minst ver in ontwikkeling, maar komt met de aandacht voor resource efficiency en circ-

laire economie meer in beeld. Bij de watervoetafdruk is niet alleen de hoeveelheid water als gevolg van consumptie van belang, maar ook of de locatie van watergebruik waterschaarste kent.

Het PBL berekent al geruime tijd tijdreeksen voor de koolstofvoetafdruk en de landvoetafdruk en daarnaast ook voor de biodiversiteitsvoetafdruk. De laatste is een samengestelde voetafdrukindicator die de impacts van meerdere milieudrukken op de biodiversiteit weergeeft. Deze indicatoren zijn te vinden in het Compendium voor de Leefomgeving ([www.clo.nl](http://www.clo.nl)).

### Trends in koolstof-, land- en biodiversiteitsvoetafdruk

De koolstofvoetafdruk nam licht toe in de periode 1995-2011. Maar hoewel het binnenlandse deel van de koolstofvoetafdruk kleiner werd, namen de emissies in het buitenland toe. Een aanzienlijk deel van de toename vond plaats in de Chinese regio.

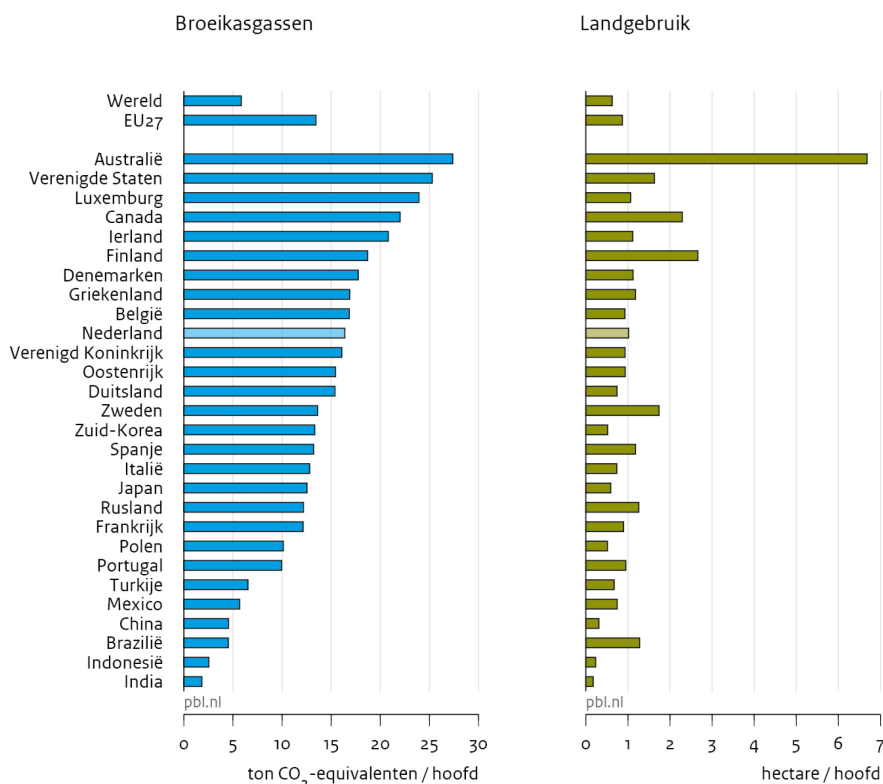
De landvoetafdruk is sinds het begin van dit millennium gedaald, vooral als gevolg van minder landgebruik voor houtproducten en papier. Een groot deel van de voetafdruk betreft landbouwarealen in West-Europa en Zuid-Amerika voor akkerbouw en veeteeltproducten. Dat areaal is relatief constant gebleven, doordat bij een toenemende consumptie het voedsel steeds intensiever wordt geproduceerd.

De biodiversiteitsvoetafdruk neemt sinds 2000 af, vooral als gevolg van een lager hout- en papiergebruik. Vanwege de intensievere productie heeft de landbouw een relatief groot aandeel in deze voetafdruk. In de biodiversiteitsvoetafdruk is geen rekening gehouden met het biodiversiteitsverlies door uitstoot van broeikasgassen omdat dit deel van de methode nog in ontwikkeling is. Effecten van huidige broeikasgasemissies op het mondiale klimaatsysteem en het daaruit voortvloeiende biodiversiteitsverlies treden pas na verloop van tijd op.

### Voetafdrukken per Nederlander zijn relatief hoog

Uit een internationale vergelijking blijkt dat per Nederlander zowel de koolstof- als de landvoetafdruk ruim boven het wereldgemiddelde ligt. Dit is vooral het gevolg van het Westerse consumptiepatroon van de Nederlandse bevolking. Binnen de EU staat Nederland veelal in de top 10 van lidstaten met de hoogste voetafdruk per persoon. Alleen voor grondstoffen is dit niet het geval. Verder onderzoek naar de factoren die bijdragen aan de voetafdruk en de verschillen hierin tussen landen kan bijdragen aan het vinden van oplossingsrichtingen voor het verlagen van de milieudruk.

## Broeikasgasemissies en landgebruik door consumptie per regio, 2007



Bron: Wilting, 2014

## Verschillende modellen leiden tot consistente conclusies

Diverse instituten en studies rapporteren over voetafdrukken voor Nederland. Hieruit blijkt dat er voor een bepaalde indicator in een specifiek jaar verschillende waarden worden gerapporteerd. De verschillen worden veelal veroorzaakt door een verschil in berekeningsmethode (bijvoorbeeld *bottom-up* versus *top-down*), door een andere afbakening van het systeem (bijvoorbeeld extensief grasland wel of niet meegenomen) of door andere aannames of weging in de berekening van de voetafdruk (bijvoorbeeld in de koolstofvoetafdruk andere waarden voor de bijdrage van uitstoot van verschillende broeikasgassen aan het klimaateffect). Hoewel dit verwarrend kan zijn, neemt dit niet weg dat de onderliggende informatie wel degelijk zinvol kan zijn bijvoorbeeld voor prioritering. Ondanks verschillen in methoden leiden berekeningen vaak tot dezelfde conclusies in termen van producten, sectoren of regio's die een belangrijk aandeel in de voetafdruk voor een bepaald milieuthema hebben. Ook gaan trends vaak in dezelfde richting; ze leveren daarmee consistente informatie, bijvoorbeeld over het gevoerde beleid.

## Keuze voor indicator hangt af van toepassing

Bij het zoeken van geschikte indicatoren voor beleid moet bedacht worden dat de keuze afhangt van het dossier, de integraliteit daarvan en het schaalniveau (nationaal, internationaal of mondiaal beleid). Wanneer het doel is om de eigen invloed van nationale consumptie te laten zien, wordt aanbevolen om met daadwerkelijke opbrengstcijfers (*local yields*) te rekenen. Op deze manier wordt inzichtelijk wat de effecten van specifieke maatregelen in verschillende landen zijn, waar verbetering mogelijk is, en waar mogelijke milieueffecten zullen liggen. Dat zal per land heel anders kunnen zijn. Bij mondiale vraagstukken, bijvoorbeeld verdelingsvraagstukken, kan het gebruik van mondiale gemiddelden (*global yields*), zoals bij de ecolo-

gische voetafdruk het geval is, de voorkeur hebben, omdat het een beter beeld geeft van verschillen in welvaart. Afhankelijk van het beleidsdossier, de ruimtelijke schaal en de beleidsvraag kan een relevante indicator of set van voetafdrukindicatoren worden gekozen.

### Voetafdrukindicatoren bieden handvatten voor beleid

Voetafdrukindicatoren genereren aanvullende informatie over de gevolgen van de milieudruk die wordt veroorzaakt door Nederlandse consumptie. Ze zijn er in eerste instantie op gericht om bedrijven en consumenten bewuster te maken van hun ketenverantwoordelijkheid. Daarnaast biedt de voetafdruk inzicht in de orde van grootte van aan te pakken problemen. Het is mogelijk om beleid te voeren op de oorzaken die bijdragen aan de voetafdruk, zoals het verminderen van de milieueffecten van grondstofproductie, het verbeteren van efficiency bij het verwerken van grondstoffen, en het veranderen van consumptiepatronen. Voetafdrukindicatoren kunnen een geschikt monitoringsinstrument zijn.

Met de geschikte en relevante indicatoren kunnen de effecten van stappen die gezet worden op verschillende beleidsterreinen zichtbaar gemaakt worden, en kunnen verschuivingen en afwentelingen in beeld worden gebracht.



# 1 Inleiding

Traditioneel worden het gebruik van natuurlijke hulpbronnen en de uitstoot van stoffen naar het milieu gerapporteerd voor de verschillende gebruikers cq. vervuilers in een land. Dit is de zogenoemde territoriale milieudruk. Het traditionele nationale milieubeleid is hierop gebaseerd. Het nationale beleid richt zich hiermee op de actoren die de emissies veroorzaken binnen de eigen landgrenzen. In toenemende mate is er echter ook aandacht bij bedrijven, beleid en burgers voor de milieudruk die door binnenlands grondstofgebruik en eigen consumptie buiten de landsgrenzen wordt veroorzaakt. Er verschijnen ook meer studies waarin de milieudruk wordt toegerekend aan de eindgebruiker van goederen en diensten: de consument. Deze zogenoemde op consumptie gebaseerde milieudruk heeft onder andere als doel om bewustwording en ketenverantwoordelijkheid bij de consument op te wekken, omdat de milieudruk deels buiten de landgrenzen en daardoor buiten het zicht ligt. De op consumptie gebaseerde benadering laat zien dat een land buiten zijn landsgrenzen milieudruk veroorzaakt, namelijk middels import van consumptiegoederen en grondstoffen. De voetafdruk (*footprint*) is een populaire naam voor deze op consumptie gebaseerde milieudruk en geïntroduceerd door Wackernagel en Rees (1996) bij de presentatie van de door hen ontwikkelde indicator – de ecologische voetafdruk (*ecological footprint*).

Ook het PBL besteedt al geruime tijd aandacht aan voetafdrukken en berekent voetafdrukindicatoren. De voetafdrukindicatoren zijn te vinden in het Compendium voor de Leefomgeving (CBS *et al.*, 2015). Deze indicatoren zijn ook opgenomen in diverse PBL-publicaties (Duurzaamheidsverkenning, Natuurbalans, Milieubalans, Balans voor de Leefomgeving) en onderbouwende studies (Rood *et al.*, 2004; Van Oorschot *et al.*, 2012). Ook worden voetafdrukindicatoren opgenomen in publicaties waaraan het PBL meewerkt zoals de Monitor Duurzaam Nederland (CBS, 2014a).

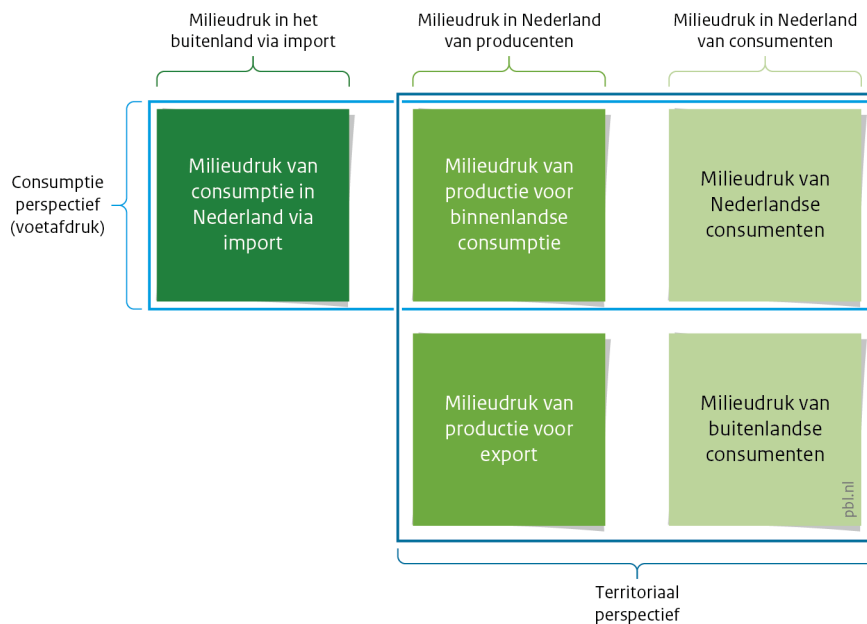
Deze notitie is een achtergrondnotitie bij het Compendium en de genoemde publicaties. Zij geeft een beeld van de voetafdrukindicatoren en is een verantwoording van berekeningen. De op het moment van schrijven meest actuele tijdreeksen voor de koolstof-, land- en biodiversiteitsvoetafdruk worden gepresenteerd. Daarnaast wordt een aantal gangbare voetafdrukindicatoren voor andere thema's besproken, te weten de grondstoffenvoetafdruk, de watervoetafdruk, de stikstofvoetafdruk en de ecologische voetafdruk. In een internationale vergelijking worden voor Nederland berekende voetafdrukken vergeleken met die in andere landen. Tenslotte wordt ingegaan op mogelijke beleidsmatige toepassingen van de beschikbare informatie over voetafdrukindicatoren. Het beschikken over trends maakt het mogelijk om ontwikkelingen te volgen en interventies te evalueren.

## 1.1 Wat is de voetafdruk precies?

Figuur 1.1 geeft voor verschillende economische activiteiten op nationaal niveau schematisch de milieudruk weer vanuit een territoriaal en een consumptieperspectief. De milieudruk vanuit territoriaal perspectief is de milieudruk zoals die in Milieustatistieken wordt gepresenteerd en betreft de totale milieudruk op Nederlands grondgebied. De op consumptie gebaseerde milieudruk omvat de milieudruk langs alle productieketens van door Nederlandse eindgebruikers geconsumeerde goederen en diensten inclusief de milieudruk van de eindgebruikers zelf. Deze milieudruk vindt zowel in Nederland als (via importen) in het buitenland plaats. Tot het eindgebruik behoort zowel de particuliere consumptie, bijvoorbeeld van huishoudens, als de publieke overheidsconsumptie, zoals gezondheidszorg, infrastructuur,

defensie en politie. De milieudruk van de eindgebruikers zelf wordt ook wel directe milieudruk genoemd.

### Nederlandse voetafdruk



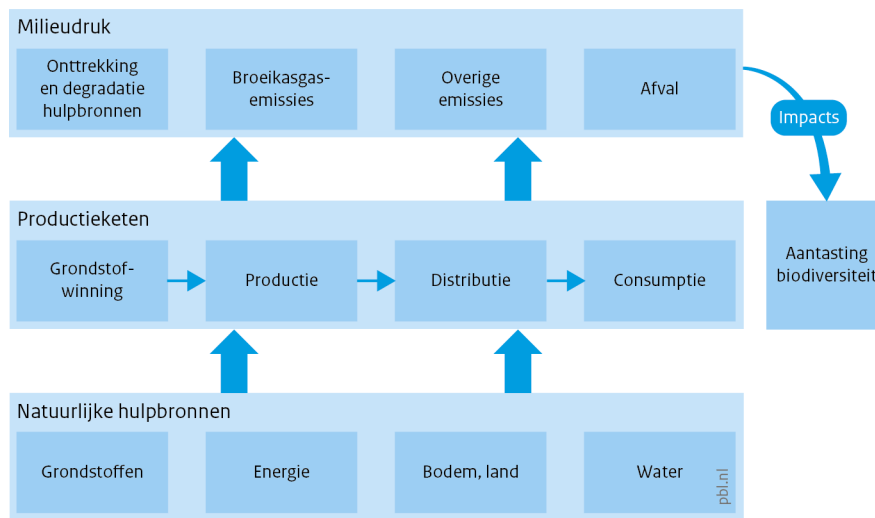
Bron: Giljum et al. 2013, bewerking PBL

Figuur 1.1 Consumptieperspectief versus territoriaal perspectief op nationaal niveau samengesteld vanuit economische activiteiten van producenten en consumenten.

Naast de territoriale en de op consumptie gebaseerde aanpak is er nog een derde manier om milieudruk te registreren in zwang: de aanpak zoals die bijvoorbeeld in de Milieurekeningen van het CBS wordt gebruikt. Hier wordt milieudruk toegekend aan de actoren in de Nationale Rekeningen: Nederlandse bedrijven en huishoudens. Dit wordt wel de op 'productie' gebaseerde milieudruk genoemd. Uitgangspunt voor de milieudruk in de Milieurekeningen is de milieudruk vanuit territoriaal perspectief. Hieraan is de directe milieudruk buiten Nederland van Nederlandse bedrijven en consumenten toegevoegd en de milieudruk van niet-ingezetenen in Nederland afgetrokken. De op deze manier gerapporteerde milieudruk komt hierdoor niet één op één overeen met de territoriale milieudruk in Nederland omdat bijv. Nederlandse transportbedrijven en vakantiegangers emissies buiten Nederland hebben.

Het concept voetafdruk is gebaseerd op een ketenbenadering. De voetafdruk van nationale consumptie geeft de milieudruk en het gebruik van natuurlijke hulpbronnen weer in alle volledige productieketens die bijdragen tot die consumptie (zie figuur 1.2). De productieketens kunnen consumptiegoederen voortbrengen, maar ook diensten zoals een vliegticket of de levering van internet. In elk van de schakels van een productieketen (inclusief de consumptiefase) worden natuurlijke hulpbronnen gebruikt en vindt milieudruk plaats. Het gebruik van natuurlijke hulpbronnen en de milieudruk in de schakels wordt gerapporteerd in CBS Milieustatistieken. De voetafdruk wordt op basis daarvan bepaald met modelberekeningen. Daarbij wordt de milieudruk over alle schakels in de productieketens die bijdragen aan nationale consumptie gesommeerd en toegekend aan die consumptie.

## Ketenbenadering



Bron: PBL

Figuur 1.2 Relatie van consumptie en productie met het gebruik van natuurlijke hulpbronnen, milieudruk en biodiversiteitsverlies.

## 1.2 Individuele en samengestelde voetafdrukindicatoren

De op consumptie gebaseerde indicatoren worden berekend voor diverse natuurlijke hulpbronnen en milieudrukken. De meest gangbare zijn emissies van CO<sub>2</sub> en andere broeikasgassen (*carbon footprint*, koolstofvoetafdruk), gebruik van land (bijv. voor hernieuwbare biotische grondstoffen), gebruik van grondstoffen en materialen (fossiele energie, metalen, minerale grondstoffen en biomassa) en gebruik van water. Combinaties van verschillende individuele thema-indicatoren worden ook wel als groep gepresenteerd als zogenoemde families van voetafdrukindicatoren. Galli *et al.* (2012) bijvoorbeeld gebruikt de ecologische voetafdruk in een set van drie voetafdrukindicatoren (naast de koolstof- en watervoetafdruk). Giljum *et al.* (2011) en Tukker *et al.* (2014) presenteren de vier thema's (broeikasgassen, land, grondstoffen en water) als familie van voetafdrukindicatoren.

Op basis van de individuele thema-indicatoren zijn ook samengestelde indicatoren ontwikkeld. Deze betreffen bijvoorbeeld de relatie tussen consumptie en de impact op biodiversiteit. De impacts van verschillende milieudrukken en het gebruik van natuurlijke hulpbronnen op biodiversiteit worden dan vertaald in een biodiversiteitsvoetafdruk. Dit vraagt wel om een weging van de afzonderlijke thema-indicatoren. Voorbeelden zijn de ecologische voetafdruk (zie hoofdstuk 5), de ReCiPe methode (verlies aan soorten; zie hoofdstuk 4) en de PBL-biodiversiteitsvoetafdruk op basis van *Mean Species Abundance* (MSA; zie hoofdstuk 4). Het PBL pleit er voor om niet alleen de samengestelde 'impact' indicatoren te presenteren. Het PBL beveelt aan om ook de voetafdrukindicatoren voor de individuele thema's afzonderlijk te presenteren. Het presenteren van verschillende indicatoren naast elkaar maakt afruil, bijvoorbeeld tussen emissies en landgebruik, inzichtelijk. Dat is bijvoorbeeld nuttig bij het beoordelen van de milieueffecten van biobrandstoffen. Afhankelijk van de te beantwoorden vraag wordt voor een relevante set van indicatoren gekozen.

### 1.3 Andere dan nationale voetafdrukindicatoren

Deze notitie geeft een overzicht van voetafdrukindicatoren op nationaal niveau. Het concept van de voetafdruk wordt daarnaast ook op andere schaalniveaus toegepast, zoals bedrijven of producten. Het is verder ook mogelijk om voetafdrukken te berekenen van bijvoorbeeld groepen consumenten of huishoudens (naar inkomen of huishoudgrootte), instellingen (bijv. gemeentes, universiteiten), steden of bedrijfstakken. In alle gevallen is het van belang om duidelijke systeemgrenzen te definiëren. Betreft de voetafdruk van een gemeente het bestuurlijk orgaan zelf of de consumptie van alle inwoners en bedrijven in de gemeente? Een ander aandachtspunt is de optelbaarheid van uitkomsten: is de som van de voetafdrukken van alle economische sectoren in een land gelijk aan de voetafdruk van dat land of zijn er dan dubbeltellingen, omdat de sectoren allerlei producten en halffabricaten aan elkaar leveren? In het algemeen geldt voor alle toepassingen dat de voetafdruk de totale milieudruk in de toeleverende keten inclusief het land of bedrijf zelf betreft ongeacht of deze milieudruk in binnen- of buitenland plaatsvindt.

### 1.4 Methoden en modellen

Voetafdrukindicatoren worden berekend met rekenmodellen waarin milieudruk in productieketens wordt gekoppeld aan consumptie. Deze modellen kunnen worden onderscheiden in zogenoemde *bottom-up* en *top-down* modellen. In de *bottom-up* benadering wordt gerekend vanuit gedetailleerde fysieke informatie van individuele producten. Bij de landvoetafdruk betreft dit bijvoorbeeld informatie over de plaats van de productie van grondstoffen en producten voor Nederlandse consumptie, in combinatie met specifieke regio-opbrengsten van gewassen of dierlijke producten. De uitkomsten voor individuele producten worden vervolgens op basis van de totale consumptie in een land gesommeerd om de nationale voetafdruk te berekenen. Bij de *top-down* benadering daarentegen wordt gerekend vanuit geaggregeerde economische gegevens en milieudrukken op mondiaal niveau. Op basis van leveringen tussen sectoren en landen in monetaire eenheden wordt de milieudruk of het grondstofgebruik toegerekend aan nationale consumptie. Meestal worden hier economische multi-regionale input-output (MRIO) gegevens voor gebruikt. Veel gebruikte MRIO-databases zijn Eora (Lenzen *et al.*, 2013b), Exiobase (Tukker *et al.*, 2013), GTAP (Narayanan *et al.*, 2012) en WIOD (Timmer, 2012).

Als belangrijkste nadeel van de *bottom-up* benadering wordt gezien dat ketens niet volledig worden doorgerekend, maar op een bepaald punt worden afgekapt. Bijvoorbeeld het energiegebruik tijdens de productie van kunstmest wordt nog wel meegeteld, maar het energiegebruik voor het bouwen van de kunstmestfabriek niet meer. Dit kan leiden tot een onderschatting van de milieudruk. In de *top-down* benadering kunnen prijsverschillen van goederen of diensten, bijv. tussen binnenlandse consumptie en exporten, er voor zorgen dat deze monetaire stromen niet goed de werkelijke fysieke stromen weergeven. Ook kan het hogere aggregatieniveau in *top-down* modellen een verklaring zijn voor verschillen met uitkomsten van *bottom-up* modellen.

Afhankelijk van de vraagstelling kan gekozen worden voor één van beide benaderingen. *Bottom-up* methoden zijn vooral van nut bij het berekenen van de voetafdruk van specifieke producten en productgroepen. *Top-down* modellen zijn meer geschikt om de voetafdruk van verschillende landen te berekenen en te vergelijken. Op het schaalniveau van één land ontmoeten beide benaderingen elkaar. Eén van de eerste stappen bij het beantwoorden van een vraag over de voetafdruk moet een verantwoorde keuze voor een bepaalde benadering zijn. En die is afhankelijk van het doel waarvoor een berekening wordt gedaan (bijvoorbeeld verbeteringen binnen een keten of benchmarking van landen).

## 1.5 Voetafdruk en beleid

In internationale en nationale beleidsdiscussies is aandacht voor het belang van indicatoren voor de op consumptie gebaseerde milieudruk, ofwel de voetafdruk. Voor mondiale vraagstukken als klimaatverandering, toekomstig landgebruik, verlies van biodiversiteit en beschikbaarheid van grondstoffen is dit ook logisch. Indien immers de productie gerelateerde broeikasgasemissies in een land afnemen, maar door verplaatsing van de productie de consumptie gerelateerde emissies in het buitenland sneller toenemen, dan is het klimaat daar niet bij gebaat. Zo neemt de OESO in haar Green Growth strategie (OESO, 2011) nadrukkelijk de broeikasgasemissies door consumptie mee en richt de Europese Commissie zich in haar Resource Efficiency strategie op macro-indicatoren voor materialen, land, water en koolstof gericht op productie en consumptie.

In diverse nationale beleidsstukken wordt concreet gesproken over het reduceren van de voetafdruk, zoals in de nota duurzaam voedsel en het beleidsprogramma biodiversiteit. Het is daarin geformuleerd als een algemeen streven, dus zonder specifieke of kwantitatieve doelen. Meer concrete doelen en ambities die doorwerken naar de voetafdruk van Nederland staan wel in dossiers als Resource Efficiency, Duurzame energie en Duurzame handelsketens.. Deze dossiers dragen ook bij aan de oplossingen die onder Groene Groei vallen. Voor een meer compleet overzicht zie (Van Oorschot *et al.*, 2012).

De overheid zet via het verduurzamen van handelsketens in op het verminderen van de effecten van de voetafdruk elders in de wereld. In zowel het Beleidsprogramma Biodiversiteit (2008), de Duurzaamheidsagenda, de Grondstoffennotitie als de Focusbrief voor Ontwikkelingssamenwerking (alle uit 2011) worden duurzame ketens als speerpunt of prioriteit benoemd. Het verduurzamen van ketens heeft daarbij een breder blikveld dan enkel het verkleinen van de voetafdruk. Uit de nota's zijn namelijk de volgende beleidsambities te destilleren: de aanvoer van grondstoffen naar Nederland veilig stellen, het op een verantwoorde manier laten plaatsvinden van de productie elders en het bijdragen aan een duurzame sociaal-economische ontwikkeling elders via duurzame productieprocessen. Beleid gericht op het verduurzamen van handelsketens leidt dan ook niet zonder meer tot een verkleining van de voetafdruk (Van Oorschot *et al.*, 2012).

Inzichten in voetafdrukken bevorderen bewustwording en wekken ketenverantwoordelijkheid op bij bedrijven en consumenten. Daarnaast geeft het een beeld van de orde van grootte van aan te pakken problemen. In hoofdstuk 7 wordt geschetst welke rol inzicht in voetafdrukken kan spelen in concreet beleid om deze problemen aan te pakken.

## 1.6 Leeswijzer

Deze notitie geeft een overzicht van de bij het PBL beschikbare tijdreeksen voor verschillende voetafdrukken van de totale (private en publieke) consumptie in Nederland. Dit betreft de koolstofvoetafdruk (hoofdstuk 2), de landvoetafdruk (hoofdstuk 3) en de biodiversiteitsvoetafdruk (hoofdstuk 4). Recent zijn diverse internationale studies verschenen met daarin ook cijfers voor voetafdrukindicatoren voor Nederland (Nederland in een internationale context). Bij de bespreking van de voetafdrukken zullen de door het PBL berekende waarden per hoofdstuk gerelateerd worden aan de uitkomsten uit andere studies. In hoofdstuk 5 wordt ingegaan op een aantal andere gangbare voetafdrukindicatoren: de grondstoffenvoetafdruk, watervoetafdruk, stikstofvoetafdruk en ecologische voetafdruk. Deze worden niet door het PBL zelf berekend. In hoofdstuk 6 worden de voetafdrukken van Nederlandse consumptie gepositioneerd ten opzichte van voetafdrukken van consumptie

in andere landen. Is de Nederlandse voetafdruk vergelijkbaar met die van buitenlandse consumenten? In hoofdstuk 7 wordt tenslotte ingegaan op het potentiële gebruik van nationale voetafdrukindicatoren voor beleidsmakers. Hierbij wordt ook aandacht besteed aan hoe om te gaan met geconstateerde verschillen in de uitkomsten van verschillende studies.

# 2 Koolstofvoetafdruk

## 2.1 Inleiding

De koolstofvoetafdruk (*carbon footprint*) van consumptie is een indicator die weer-geeft hoeveel broeikasgassen worden uitgestoten in de hele productieketen. In dit hoofdstuk wordt dit gedaan voor de totale Nederlandse consumptie, zowel die van huishoudens (particuliere consumptie) als die van de overheid (publieke consumptie). De broeikasgassen die in beschouwing zijn genomen zijn koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>), methaan (CH<sub>4</sub>) en distikstofoxide (N<sub>2</sub>O). Dit zijn de belangrijkste broeikasgassen. De uitstoot van deze drie gassen wordt bij elkaar opgeteld op basis van Global Warming Potentials die per gas het relatieve effect op klimaatverandering weergeven (in CO<sub>2</sub>-equivalenten).

## 2.2 Methode

De koolstofvoetafdruk is berekend met een multiregionaal input-output (MRIO) model. Een MRIO-model gaat uit van mondiale totalen in productie en emissies en is daarmee een *top-down* model. In een MRIO-model wordt consumptie in een bepaalde regio via leveringen tussen economische sectoren (zoals die in nationale rekeningen worden opgesteld) en internationale handelsstromen gekoppeld aan productieactiviteiten waar ook ter wereld. Door vervolgens gegevens over gebruik van natuurlijke hulpbronnen en milieudruk te koppelen aan de productieactiviteiten in elk van deze sectoren kunnen voetafdrukken worden berekend. Hierbij worden hulpbronnen en milieudruk over de hele leveringsketen heen getraceerd en opgeteld. De emissies in de productiesectoren als gevolg van consumptie worden ook wel de 'indirecte' emissies van consumptie genoemd. Door vervolgens hierbij de 'directe' broeikasgasemissies bij consumenten, bijv. bij verwarming en het gebruik van de auto, op te tellen wordt de koolstofvoetafdruk van consumptie bepaald. Door gebruik te maken van een MRIO-model wordt rekening gehouden met de herkomst van importen en de regio-specifieke productietechnologieën en efficiency van productie. Tevens kan met een MRIO-model worden aangegeven in welke regio's en bedrijfstakken emissies als gevolg van Nederlandse consumptie daadwerkelijk plaats vinden

Een MRIO-model moet worden gevoed met economische en milieudrukgegevens. De economische gegevens betreffen nationale input-output tabellen en bilaterale handelsstromen. Voor de berekening van de koolstofvoetafdruk van Nederlandse consumptie is de World Input-Output Database (WIOD) de belangrijkste gegevensbron voor het gebruikte MRIO-model (Timmer, 2012). WIOD bevat consistente MRIO tabellen voor de periode 1995-2011. Voor meer recente jaren is deze database nog niet geactualiseerd. In WIOD worden 41 landen en 35 bedrijfstakken per land onderscheiden. In WIOD is de landbouwsector één geaggregeerde sector. Voor sommige milieudrukken zoals niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen en landgebruik is dit te grof. Daarom is in het gebruikte MRIO-model deze bedrijfstak verder opgedeeld met de GTAP-database (Narayanan *et al.*, 2012), die specifiek is gericht op de landbouw. Voor gegevens over broeikasgasemissies is WIOD aangevuld met gegevens van de EDGAR-emissiedatabase (JRC/PBL, 2011, 2012), GTAP en de UNFCCC (UNFCCC, 2013). In de berekening van de koolstofvoetafdruk zijn alle broeikasgasemissies die optreden bij het gebruik van fossiele energie en in industriële processen (bijvoor-

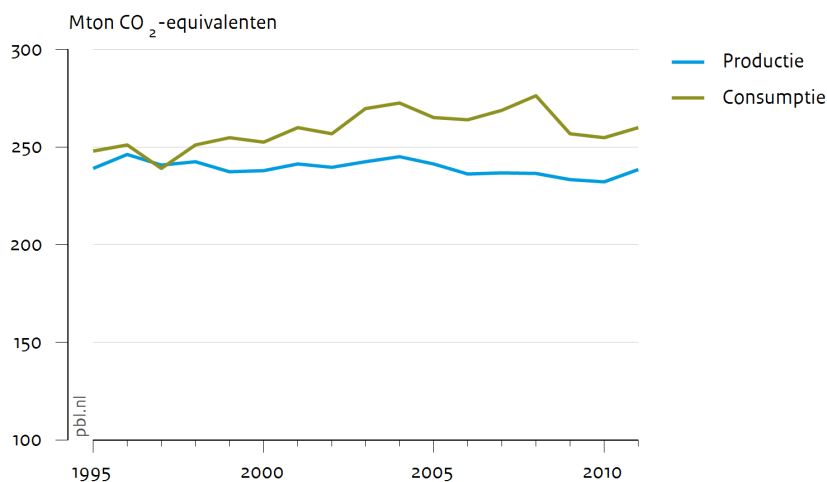


beeld bij de productie van cement) opgenomen. Broeikasgasemissies als gevolg van verbranding en afbraak van biomassa (bijvoorbeeld door bosbranden en bij veen- gronden) zijn buiten beschouwing gelaten. In de koolstofvoetafdruk zijn de emissies van verschillende broeikasgassen opgeteld op basis van hun aardopwarmingsver- mogen (*Global Warming Potential* – GWP). De GWP-waarde van een broeikasgas geeft de mate waarin het gas kan bijdragen aan klimaatverandering. Voor een ver- dere beschrijving van model en data zie Wilting (2014).

## 2.3 Resultaten; totaal Nederland

De koolstofvoetafdruk (van de Nederlandse consumptie) nam in de periode 1995-2008 geleidelijk toe van 248 tot 276 Megaton (Mt) CO<sub>2</sub>-equivalenten (figuur 2.1). Vanaf 2009 bleef de koolstofvoetafdruk op een 6 tot 8 procent lager niveau vanwege de economische crisis. Het is interessant om inzicht te hebben in ontwikkelingen in de koolstofvoetafdruk (van Nederlandse consumptie) vergeleken met ontwikke- lingen in de directe broeikasgasemissies van producenten en consumenten in Ne- derland vanuit een productieperspectief (figuur 2.1). De broeikasgasemissies van producenten en consumenten in Nederland zijn in de periode 1995-2009 licht afge- nomen. Rond 1997 lagen de koolstofvoetafdruk en de emissies in Nederland nog op hetzelfde niveau. In de jaren daarna tor 2003 zijn ze uit elkaar gaan lopen. Dit be- tekent dat de emissies in het buitenland via importen in die periode sneller zijn toe- genomen dan de emissies in Nederland voor exporten.

### Broeikasgasemissies in Nederland: productie- versus consumptieperspectief



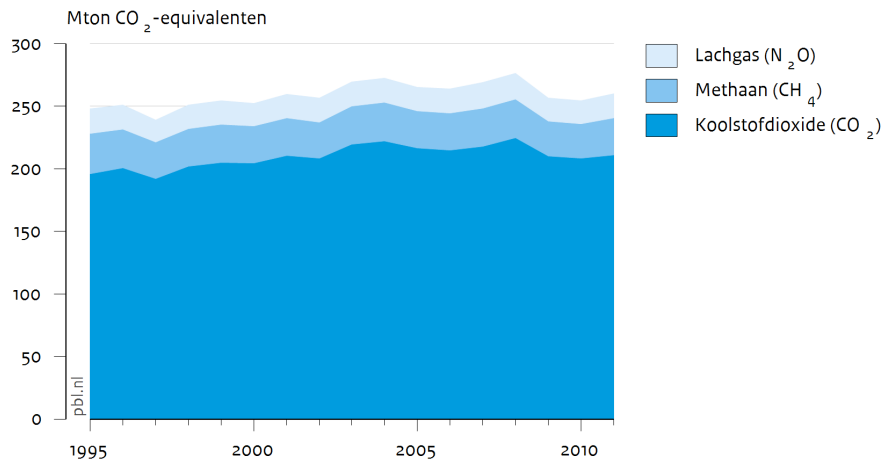
Bron: PBL

*Figuur 2.1 Broeikasgasemissies (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O) in Nederland vanuit een consumptie- en productieperspectief. De emissies in het productieperspectief in deze figuur zijn de gegevens die in de modelberekeningen voor de koolstofvoetafdruk in het MRIO-model zijn gebruikt (gebaseerd op WIOD). Deze hebben kleine verschillen met de door het CBS gerapporteerde emissies in de Milieurekeningen (CBS, 2013).*

Het verloop van de koolstofvoetafdruk van de Nederlandse consumptie is niet voor alle broeikasgassen hetzelfde. Waar de emissies van CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O licht afnamen, nam in de periode 1995-2009 de CO<sub>2</sub>-voetafdruk met ongeveer een half procent toe (figuur 2.2).



### Broeikasgasemissies door Nederlandse consumptie per broeikasgas

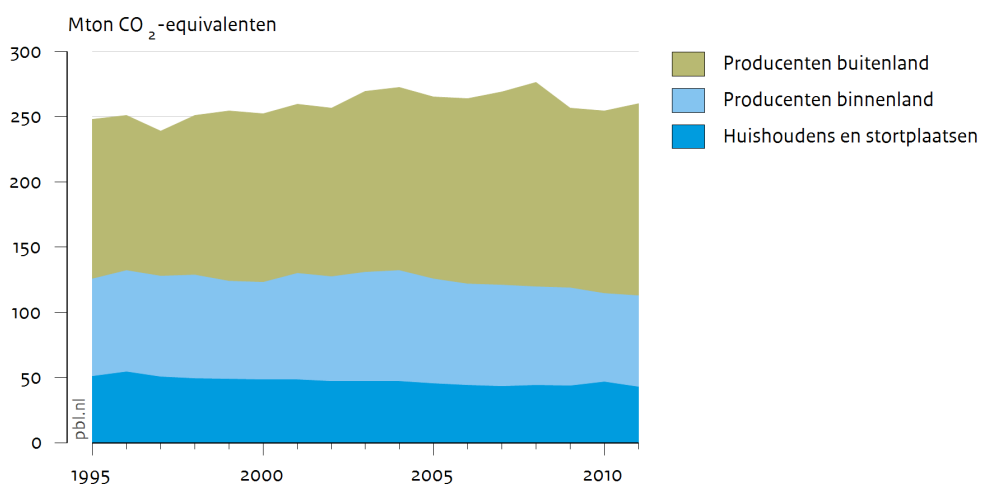


Bron: Wilting, 2014

Figuur 2.2 Aandelen van individuele broeikasgassen in de koolstofvoetafdruk van Nederlandse consumptie.

Vooraf het buitenlandse deel van de koolstofvoetafdruk nam toe. Dit betekent dat een groter deel van de koolstofvoetafdruk via importen wordt gerealiseerd (figuur 2.3). Het effect van deze verplaatsing van emissies op de totale mondiale uitstoot is in deze studie verder niet onderzocht. Het aandeel van de directe broeikasgasemissies bij consumenten (privaat en publiek) is met meer dan 4 procentpunten afgenomen in de periode 1995-2011. Deze afname is vooral het gevolg van lagere methaanemissies van stortplaatsen (die ook in de directe emissies van consumenten zijn opgenomen). Dit is het gevolg van de verminderde hoeveelheid organisch afval in het gestorte afval, van het affakkelen van stortgas en van het gebruik van stortgas voor het opwekken van energie (RWS, 2015).

### Broeikasgasemissies door Nederlandse consumptie



Bron: Wilting, 2014

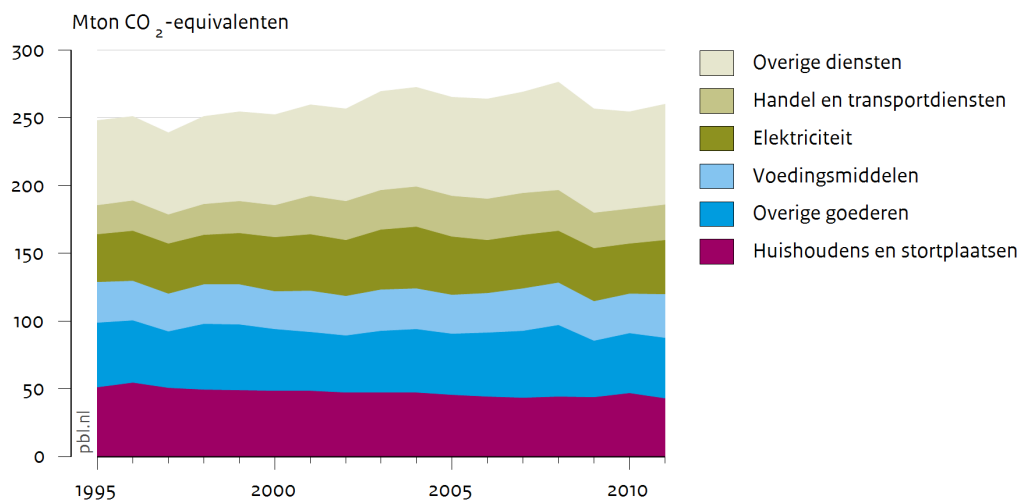
Figuur 2.3 Bijdragen van broeikasgasemissies in het buitenland (indirect via importen) en emissies in Nederland (indirect via productie en direct bij consumenten) in de koolstofvoetafdruk van Nederlandse consumptie.

## 2.4 Verdeling naar consumptiecategorie, bedrijfstak en regio

Er zijn verschillende manieren om de koolstofvoetafdruk meer in detail weer te geven. Enerzijds kan worden gekeken vanuit consumptie wat de bijdrage is van consumptie categorieën aan de totale koolstofvoetafdruk. Per consumptie categorie worden dan alle broeikasgasemissies in de volledige productieketen gesommeerd. Anderzijds kunnen de broeikasgasemissies ook worden toebedeeld aan de bedrijfstakken en landen waar de emissies plaats vinden.

In figuur 2.4 wordt de bijdrage van vijf geaggregeerde consumptie categorieën aan de koolstofvoetafdruk weergegeven. De zesde categorie betreft de emissies van huishoudens en stortplaatsen. De weergegeven emissies betreffen de emissies over de gehele productieketen. Overige diensten, zoals zakelijke diensten en gezondheidszorg, hebben de grootste bijdrage aan de koolstofvoetafdruk. Aangezien per uitgegeven euro de emissies van deze categorie relatief laag zijn is dit vooral een volume-effect. Uitgaven aan diensten maken namelijk een groot deel uit van de particuliere en publieke consumptie. Andere consumptie categorieën met relatief hoge ketenemissies zijn elektriciteit, voedingsmiddelen en overige goederen. Deze consumptie categorieën hebben relatief hoge emissie-intensiteiten ofwel hoge emissies per uitgegeven euro.

### Broeikasgasemissies door Nederlandse consumptie per eindproduct

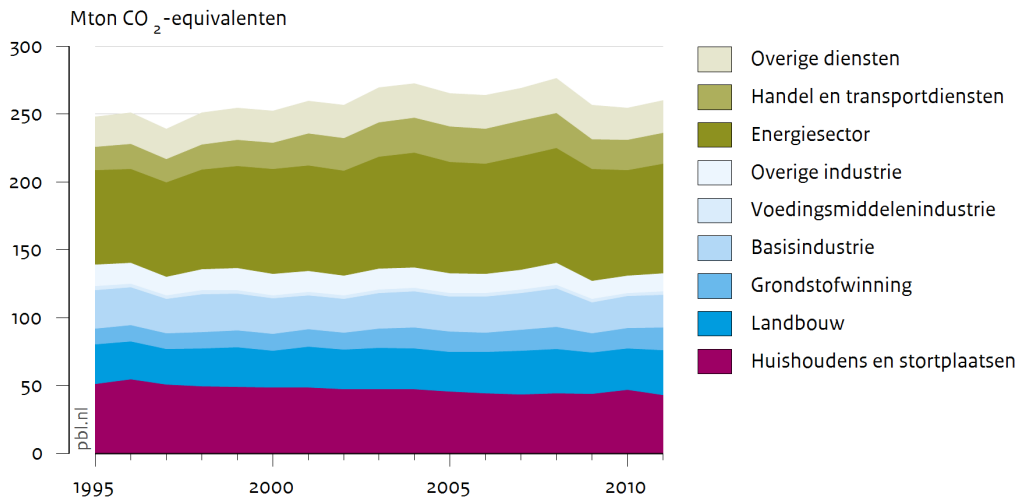


Bron: Wilting, 2014

Figuur 2.4 Bijdragen van eindproducten aan de koolstofvoetafdruk van Nederlandse consumptie.

De koolstofvoetafdruk kan ook worden opgedeeld naar bedrijfstak waar de broeikasgasemissies plaatsvinden. De energiesector heeft het grootste aandeel in de koolstofvoetafdruk (figuur 2.5), aangezien elektriciteit belangrijk is in veel productieprocessen. Het aandeel van de energiesector (in binnen- en buitenland) is in de periode 1995-2011 toegenomen met 3 procentpunten tot een aandeel van meer dan 30 procent. Het gaat hier bijvoorbeeld ook om de emissies in kolencentrales in China tijdens de productie van elektriciteit voor Chinese naaiateliers. Verder heeft ook de landbouw vanwege de uitstoot van niet-CO<sub>2</sub> broeikasgassen een aanzienlijk aandeel in de koolstofvoetafdruk, zoals die van methaan door de veestapel en stikstofdioxide bij het gebruik van kunstmest.

### Broeikasgasemissies door Nederlandse consumptie per sector

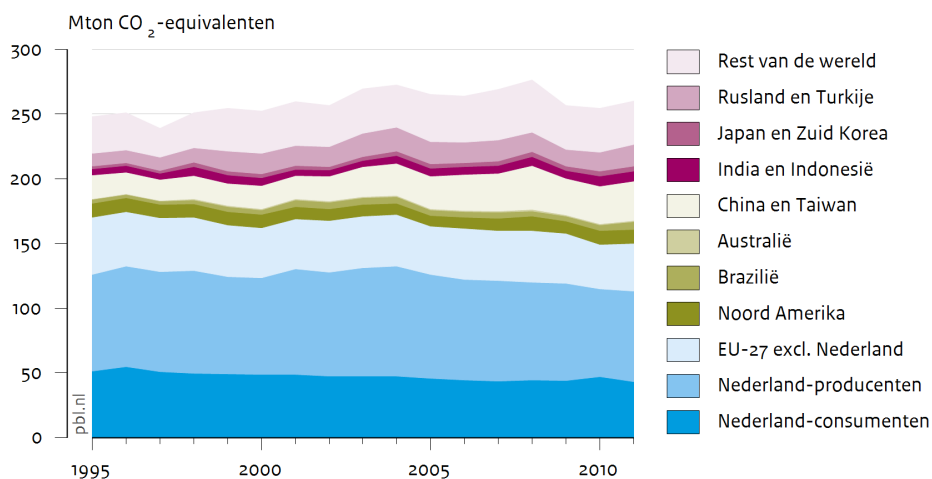


Bron: Wilting, 2014

*Figuur 2.5 Bijdrage van bedrijfstakken aan de koolstofvoetafdruk van Nederlandse consumptie. In deze bedrijfstakken vinden de emissies daadwerkelijk plaats zowel in binnen- als buitenland.*

Sinds 1999 betreft meer dan 50 procent van de koolstofvoetafdruk emissies in het buitenland. Deze worden uitgestoten bij de productie van goederen en diensten die geïmporteerd worden voor Nederlandse consumptie (zie figuur 2.1). Voor een belangrijk deel vinden deze emissies plaats in andere EU landen, China en de regio 'Rest van de wereld' (figuur 2.6). Met uitzondering van de EU namen de bijdragen van alle regio's toe in de periode 1995-2011. De broeikasgasemissies ten gevolge van Nederlandse consumptie verdubbelden bijna in Brazilië, Korea en Indonesië.

### Broeikasgasemissies door Nederlandse consumptie per regio

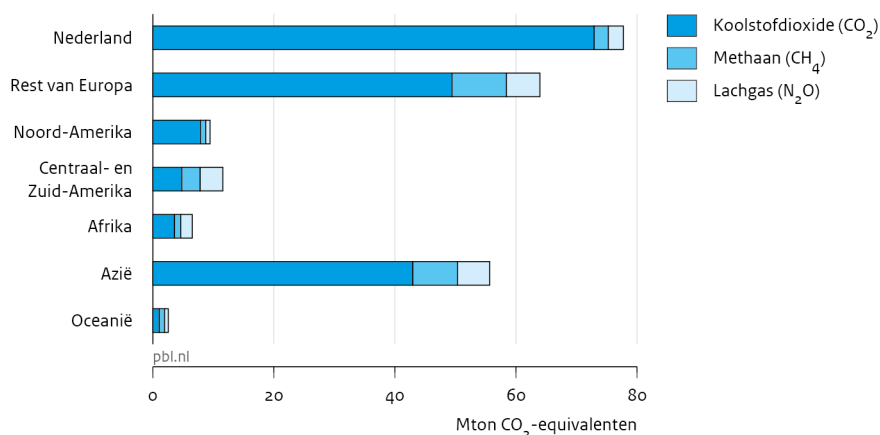


Bron: Wilting, 2014

*Figuur 2.6 Bijdrage van regio's aan de koolstofvoetafdruk van Nederlandse consumptie. In deze regio's vinden de emissies plaats. De emissies in Nederland zijn opgedeeld in directe emissies bij consumenten (huishoudens en stortplaatsen) en indirecte emissies bij de productie voor Nederlandse consumptie. De EU-27 betreft de EU zonder Kroatië.*

Figuur 2.6 laat zien dat ongeveer 25 procent van het import deel van de koolstofvoetafdruk broeikasgasemissies in de regio 'Rest van de Wereld' betreft. Dit is een heterogene regio die geheel Afrika en delen van onder andere Latijns Amerika en Azië omvat. Om meer inzicht te krijgen in de ruimtelijke verdeling van de broeikasgasemissies buiten Nederland is voor het jaar 2007 een berekening uitgevoerd waarin werelddelen zijn onderscheiden (figuur 2.7). Hieruit blijkt dat verreweg de meeste 'buitenlandse' broeikasgassen voor Nederlandse consumptie worden uitgestoten in Europa en Azië. Centraal- en Zuid-Amerika hebben een relatief groot aandeel in CH<sub>4</sub> en N<sub>2</sub>O emissies vanwege een hoog aandeel in de productie van landbouwproducten voor Nederlandse consumptie.

Broeikasgasemissies door Nederlandse consumptie per broeikasgas en regio, 2007



Bron: Wilting, 2014

Figuur 2.7 Koolstofvoetafdruk van Nederlandse consumptie per werelddeel van herkomst.

## 2.5 Vergelijking met uitkomsten van andere studies

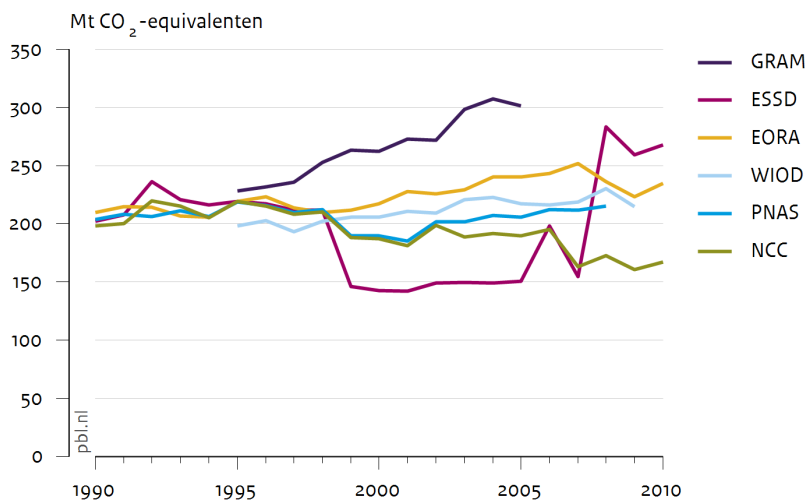
Voor de berekening van de tijdreeks van de Nederlandse koolstofvoetafdruk is de WIOD-database als uitgangspunt genomen met een verdere detaillering van de landbouw op basis van GTAP. WIOD is één van de mondiale MRIO-databases die de afgelopen jaren beschikbaar zijn gekomen. Andere databases zijn EXIOPOL, GTAP, EORA en OECD. Op basis van deze databases zijn verschillende studies verschenen waarin over het CO<sub>2</sub>-deel van de koolstofvoetafdruk wordt gerapporteerd. Figuur 2.8 geeft een overzicht van studies die rapporteren over de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van Nederlandse consumptie op basis van verschillende databases.

De WIOD-reeks in de figuur is berekend door JRC (Arto *et al.*, 2012). Deze reeks is vergelijkbaar met de uitkomsten voor de CO<sub>2</sub>-voetafdruk in figuur 2.2. In de PBL-berekeningen is de landbouwsector verder gedetailleerd, maar voor CO<sub>2</sub> heeft dit nauwelijks invloed op de uitkomsten. Opvallend in de figuur is dat er niet alleen verschillen zijn in het absolute niveau van de CO<sub>2</sub>-voetafdruk, maar ook in de trend. Waar in de meeste studies de CO<sub>2</sub>-voetafdruk van Nederlandse consumptie toeneemt, neemt deze in de NCC-studie (Peters *et al.*, 2012), die gebaseerd is op GTAP, juist af. Een analyse van de modeluitkomsten van de verschillende studies laat zien dat de verschillen vooral worden veroorzaakt door verschillen in de gebruikte CO<sub>2</sub>-emissiegegevens en in mindere mate door verschillen in de monetaire gegevens tussen de MRIO-databases (Inomata en Owen, 2014).

Tukker *et al.* (2014) presenteert geen tijdreeks, maar presenteert de koolstofvoetafdruk voor Nederland voor 2007. De berekende voetafdruk komt met een verschil van 2 procent redelijk overeen met de waarde die eerder in dit hoofdstuk door het PBL is berekend. Ook hier zijn de verschillen in de uitkomst vooral te verklaren door verschillen in inputgegevens van de gebruikte modellen, te weten broeikasgasemissies per regio en per sector.

Bovenstaande leert dat er momenteel nog geen eenduidige keuze is gemaakt wat betreft het gebruik van gegevens en methode voor het berekenen van de koolstofvoetafdruk. Dit leidt tot een grote variatie in uitkomsten. Hoewel dit verwarrend kan zijn, neemt dit niet weg dat de onderliggende informatie wel degelijk zinvol kan zijn bijvoorbeeld voor prioritering. Ondanks verschillen in methoden leiden berekeningen van de voetafdruk voor een bepaald milieuthema vaak tot dezelfde conclusies in termen van producten, sectoren of regio's die daarin een belangrijk aandeel hebben. Ook liggen trends vaak in dezelfde richting en leveren daarmee consistente informatie.

### CO<sub>2</sub>-voetafdruk van Nederlandse consumptie in verschillende studies



Bron: Edens en Hoekstra, 2013

Figuur 2.8 De Nederlandse CO<sub>2</sub>-voetafdruk in verschillende studies berekend. De WIOD-reeks is vergelijkbaar met de PBL-reeks.

Bronnen: PNAS (*Proceedings of National Academy of Sciences*) - (Peters *et al.*, 2011); NCC (*Nature Climate Change*) - (Peters *et al.*, 2012); ESSD (*Earth System Science Data*) - (Le Quéré *et al.*, 2013); EORA - [www.worldmrio.org](http://www.worldmrio.org); GRAM - Wiebe *et al.* (2012); WIOD - [www.wiod.org](http://www.wiod.org); N.B. Data verzameld door Glen Peters (CICERO).

## 2.6 CO<sub>2</sub>-voetafdruk volgens de SNAC methode

Alle in paragraaf 2.5 genoemde studies maken gebruik van mondiale MRIO-databases. De gegevens in deze databases zijn afkomstig van vele verschillende bronnen waaronder nationale statistische bureaus. Om een consistente MRIO-tabel te krijgen zijn deze gegevens uit onderliggende bronnen bewerkt. Bijvoorbeeld de gegevens voor Nederland hebben hun oorsprong bij het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS), maar komen niet meer overeen met de originele data vanwege databewerkingen om op wereldschaal de gegevens van internationale handelsstromen met elkaar in overeenstemming te brengen. Om hieraan tegemoet gekomen hebben CBS en het PBL in 2013 gewerkt aan een methode om de voetafdruk te berekenen waarin rekening wordt gehouden met de 'officiële' economische cijfers

voor Nederland. Deze methode wordt de *Single-country National Accounts Consistent* (SNAC) methode genoemd (Edens *et al.*, te verschijnen). Deze methode is vooral bedoeld om de voetafdruk voor een specifiek land te berekenen en minder voor landenvergelijkingen.

Een voorlopige berekening van de CO<sub>2</sub>-voetafdruk met de SNAC-methode voor het jaar 2009 laat zien dat deze binnen de range van eerdere schattingen ligt (Milieurekeningen, 2012). In 2009 is de CO<sub>2</sub>-voetafdruk op basis van de SNAC-methode ongeveer 4 procent lager dan de eerder berekende waarde voor Nederland in figuur 2.2 (202 Megaton versus 210 Megaton). Het verschil wordt vooral verklaard door lagere emissies als gevolg van importen. In de SNAC-berekening is gedetailleerde informatie van de internationale handelsstatistieken gebruikt om onder andere de wederuitvoer beter te kunnen scheiden van importen en exporten. Uit de vergelijking van de SNAC-uitkomsten met die van PBL in dit hoofdstuk blijkt dat met name voor landen met een relatief grote wederuitvoer (zoals Nederland) het van belang is dat deze goed wordt weergegeven. De wederuitvoer beïnvloedt namelijk zowel het binnenlandse deel van de voetafdruk als de emissies via importen. Verder onderzoek naar de bruikbaarheid en toepasbaarheid van de SNAC-methode is daarmee gewenst.

# 3 Landvoetafdruk

## 3.1 Inleiding

Bij een groeiende wereldbevolking en toenemende welvaart stijgt de vraag naar landbouwgrond voor bijvoorbeeld voedselproductie en bouwgrond voor bijvoorbeeld infrastructuur en woningbouw. Uitbreiding van de hoeveelheid landbouwgrond en bebouwd areaal gaat ten koste van de natuur en zorgt meestal voor extra broeikasgasemissies. In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de hoeveelheid land die in binnen- en buitenland nodig is voor de Nederlandse consumptie.

Binnen Nederland bestaat ruim 60 procent van het landoppervlak uit landbouwgrond. Een groot deel van de producten van deze landbouwgrond is niet voor Nederlandse consumptie maar wordt geëxporteerd; bijna de helft (45 procent) van de oppervlakte van Nederland wordt gebruikt voor exportproducten. Van de Nederlandse consumptie bestaat een deel uit geïmporteerde producten of is geproduceerd met geïmporteerde grondstoffen (bijvoorbeeld vlees waarvoor veevoer is geïmporteed). Voor de Nederlandse consumptie is daarom land nodig elders in de wereld. De landvoetafdruk brengt in beeld hoeveel oppervlakte land nodig is in zowel Nederland als daarbuiten voor de Nederlandse consumptie.

## 3.2 Methode en data

De landvoetafdruk is berekend met een *bottom-up* methode en niet *top-down* zoals de koolstofvoetafdruk in het vorige hoofdstuk. De berekening is gebaseerd op informatie over de plaats van de productie van grondstoffen en producten voor Nederlandse consumptie, in combinatie met specifieke regio-opbrengsten. De landvoetafdruk is berekend met het LUC (*Land Use for Consumption*) model van het PBL. Hierin worden gegevens over consumptie gecombineerd met opbrengsten van gewassen in de akkerbouw en bosbouw en van dierlijke producten in de veehouderij (Rood *et al.*, 2004). Om tot de landvoetafdruk van nationale consumptie te komen worden de uitkomsten van het landgebruik voor individuele producten gesommeerd. Voor sommige producten zijn fysieke gegevens over de consumptie van consumenten bekend. Voor producten waarvoor dit niet bekend is wordt de *apparent consumption* benadering gebruikt om de Nederlandse consumptie te bepalen: binnenlandse productie plus invoer minus uitvoer minus voorraadverandering. Ook hier wordt zo veel mogelijk gebruik gemaakt van fysieke eenheden: kilo's, aantallen, etc. Het totale landbeslag wordt berekend door de hoeveelheid netto geconsumeerde goederen te combineren met de opbrengstcijfers in verschillende wereldregio's. Wanneer een gewas of dier meerdere producten voortbrengt (bijvoorbeeld sojaolie en sojaschroot uit sojabonen) wordt gerekend met de zogenoemde economische allocatie: het aandeel dat een product heeft in de totale monetair opbrengst van het gewas of dier wordt gebruikt om het aandeel van het totale areaal van het gewas of dier aan het deelproduct (bijvoorbeeld sojaschroot) toe te kennen. Om dubbeltellingen te voorkomen is het landgebruik toegekend aan de eerste gebruiker van een product. Gerecycled materiaal heeft daardoor geen landgebruik (zoals gerecycled papier of sloophout in elektriciteitscentrales).

De consumptieomvang en de gegevens om de consumptieomvang te berekenen zijn afkomstig van LEI en CBS (2014) en Probos (2014). Voor de herkomst van

producten is gebruik gemaakt van internationale handelsstatistieken (CBS, 2014b). De regio specifieke opbrengsten zijn afkomstig van de FAO (2014).

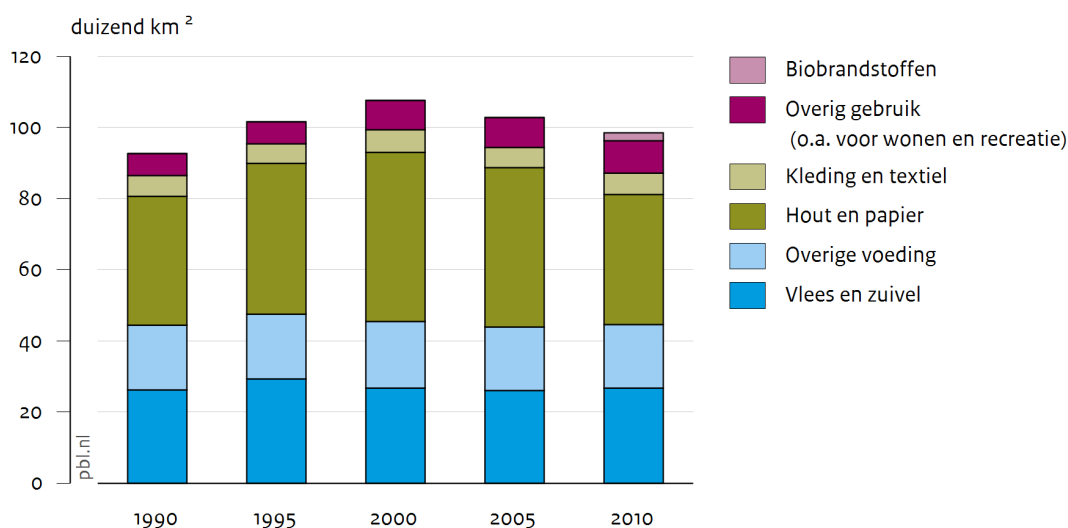
Er is maar beperkt zicht op de import- en exportstromen van kant-en-klare producten zoals meubels en verpakkingen. Monitoring van deze stromen is belangrijk voor berekening van de voetafdruk. Met name bij producten van hout kan dit om een relatief grote stroom gaan die nu niet in de berekeningen van de voetafdruk wordt meegenomen. Ook voor het opnemen van een nieuwe ontwikkeling als de inzet van biomassa in de voetafdrukberekening is data nodig, zoals de monitoringgegevens over de inzet van biomassa voor energieopwekking en de duurzaamheid daarvan (RVO, 2014). De import en inzet van houtpellets als bijstook in energiecentrales wordt wel bijgehouden, maar hierbij is niet duidelijk wat de oorsprong van deze stroom is (resthout, afval- of primair hout) en dat maakt uit of het meetelt voor de voetafdruk. Zo wordt bijvoorbeeld bij gerecycled materiaal zoals papier de voetafdruk alleen berekend van de inzet van primaire grondstof en niet van het hergebruik daarvan. Dit zoals gezegd om dubbeltellingen te voorkomen.

### 3.3 Resultaten

Na een gestage toename in de jaren negentig is sinds 2000 de landvoetafdruk van de Nederlandse consumptie gedaald (figuur 3.1). De voetafdruk van de categorie voedsel is min of meer constant gebleven. Hier is sprake van twee trends die uiteindelijk zorgen voor een min of meer constante voetafdruk. Enerzijds neemt de consumptie toe en anderzijds worden in de landbouw hogere opbrengsten gerealiseerd waardoor minder land nodig is voor de voedselproductie. De voetafdruk voor houtgebruik (inclusief papier) nam in de jaren negentig toe, maar daalt sinds 2000. De daling komt door diverse factoren. Deels is minder land nodig door de toenemende inzet van hoogproductieve plantages voor houtproductie en door een verschuiving naar andere bouwmaterialen als gevolg van de verslechterde reputatie van hout als veroorzaker van ontbossing. Vermoedelijk vindt ook een verschuiving plaats van geïmporteerd hout (halffabricaten) naar eindproducten die niet in de houtverbruik statistieken zijn opgenomen (zoals meubels, verpakkingen en boeken). De daling na 2005 is ook deels te wijten aan de economische crisis, die met name een groot effect heeft gehad op de bouwsector, waardoor het gebruik van timmerhout is afgenomen (Probos, 2010). Deze invloed van de crisis in de bouw is ook in andere Europese landen te zien (UNECE, 2014). De bijdrage van de afzonderlijke factoren aan de afname van de landvoetafdruk is niet bekend.



### Mondiaal landgebruik door Nederlandse consumptie, 1990 - 2010



Bron: PBL

*Figuur 3.1 Landvoetafdruk als gevolg van Nederlandse consumptie.*

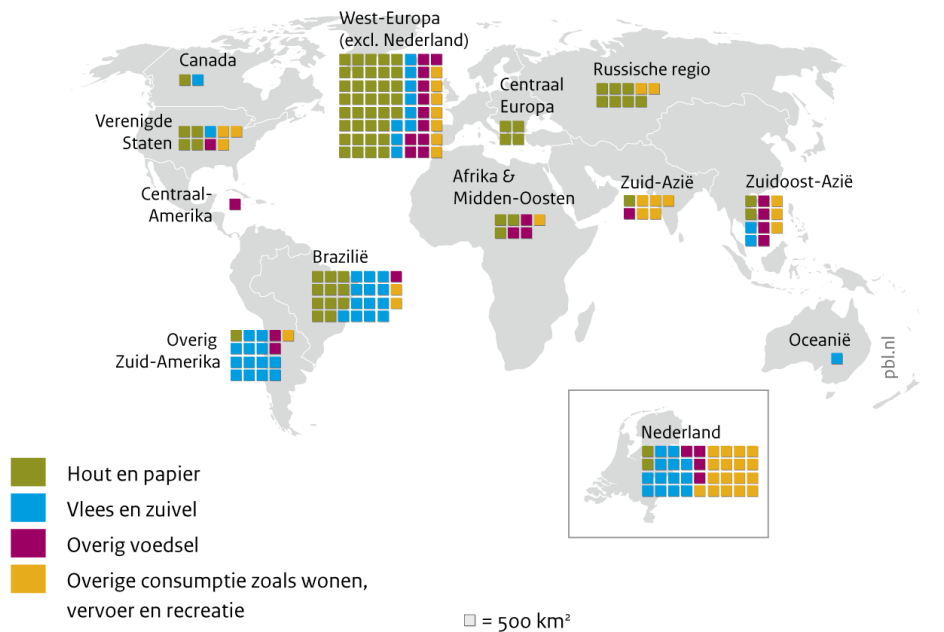
Een relatief nieuwe ontwikkeling is het gebruik van biobrandstoffen, dat ook beslag op landoppervlak legt. De verplichte bijmenging van biobrandstoffen voor verkeer leidde tot meer landgebruik voor landbouwgewassen (als grondstof voor ethanol en biodiesel). De huidige inzet van bio-energie voor transportbrandstoffen is nog relatief beperkt. Als het beleidsdoel voor duurzame biobrandstoffen met landbouwgewassen zal worden gerealiseerd (20 procent van alle brandstoffen), zal de landvoetafdruk van deze categorie verder toenemen. Ook wordt vaste biomassa ingezet voor energieopwekking in centrales. De effecten op biodiversiteit hangen sterk af van het soort biomassa dat zal worden ingezet (voedselgewassen, houtpellets uit primaire bronnen, of afvalhout en reststromen uit land- en bosbouw en de verwerkende sectoren), de daarbij gebruikte teeltmethoden, en de locatiekeuze.

### 3.4 Landgebruik naar productgroepen en regio's

De belangrijkste productgroepen in de landvoetafdruk zijn voedsel en papier en hout (figuur 3.1). Voedsel is de belangrijkste categorie binnen de groep landbouwproducten: 41 procent van de landvoetafdruk is voor voedsel. Binnen voedsel zijn vlees en zuivel belangrijke categorieën. Zij beslaan zo'n 27 procent van de landvoetafdruk (in 2010). Papier en hout beslaan 37 procent van de landvoetafdruk. De overige 21 procent is voor diverse doeleinden, zoals kleding, huisdiervoeding en bebouwing.

Ruim 80 procent van de landvoetafdruk ligt in het buitenland (figuur 3.2). De landvoetafdruk is vooral in West-Europa, Brazilië en Zuidoost-Azië. De hoeveelheid land die nodig is om te voorzien in de Nederlandse consumptie van burgers en overheid besloeg in 2010 ongeveer drie keer het landoppervlak van Nederland.

## Mondiaal landgebruik door Nederlandse consumptie, 2010



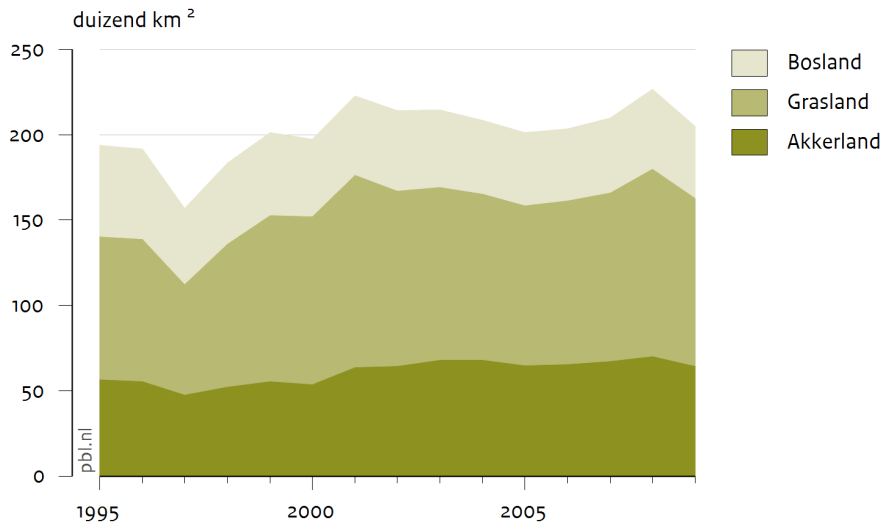
Bron: PBL

Figuur 3.2. Landgebruik in binnen- en buitenland als gevolg van Nederlandse consumptie.

## 3.5 Landvoetafdruk volgens het MRIO-model

Voor de berekening van de landvoetafdruk is het LUC-model gebruikt (*bottom-up*). Het in hoofdstuk 2 voor de koolstofvoetafdruk gebruikte MRIO-model bevat ook gegevens over het landgebruik per regio en bedrijfstak. Dit geeft de mogelijkheid de landvoetafdruk te berekenen op eenzelfde manier als de koolstofvoetafdruk (*top-down*). Met het MRIO-model is een tijdreeks berekend voor de landvoetafdruk als gevolg van Nederlandse consumptie voor de periode 1995-2009 (figuur 3.3). Het landgebruik is berekend voor akkerland, grasland (exclusief extensief grasland) en bossen. Voor een beschrijving van het model en de gebruikte modeldata zie Wilting (2014).

### Mondiaal landgebruik door Nederlandse consumptie, 1995-2009



Bron: Wilting, 2014

*Figuur 3.3 Landvoetafdruk van Nederlandse consumptie berekend met een MRIO-model.*

De landvoetafdruk berekend met het MRIO-model ligt bijna een factor twee hoger dan de reeks die met het LUC-model is berekend. Met name het landgebruik in het buitenland is aanzienlijk hoger waardoor het aandeel van importen in de landvoetafdruk ook hoger is dan het aandeel berekend met het LUC-model. Volgens het MRIO-model werd in 2007 zo'n 95 procent van de landvoetafdruk veroorzaakt door importen. Ook het feit dat in de MRIO-berekening het directe landgebruik voor wonen en infrastructuur in Nederland ontbreekt, is een verklaring voor het hogere aandeel van importen. In de MRIO-berekening levert grasland de belangrijkste bijdrage aan de landvoetafdruk; in de LUC-berekening is dit bos. De productie op zeer extensief grasland (zoals een koe of geit in een woestijnachtig landschap met her en der een pol gras) is in beide berekeningen buiten beschouwing gelaten omdat de productie zeer laag is en nauwelijks wordt geëxporteerd. Ook de berekende trend verschilt per model. De landvoetafdruk berekend met het LUC-model neemt in de periode 1995-2010 licht af. De met het MRIO-model berekende reeks laat daarentegen geen daling zien.

Er zijn diverse verklaringen voor de verschillen in uitkomsten voor de landvoetafdruk op basis van fysieke *bottom-up* modellen (zoals het LUC-model) en monetaire *top-down* modellen zoals MRIO-modellen (Bruckner *et al.*, 2015). In *top-down* modellen wordt het landgebruik toegerekend aan consumptie categorieën op basis van leveringen tussen sectoren en landen in monetaire eenheden. Prijsverschillen van goederen of diensten, bijvoorbeeld tussen binnenlandse consumptie en exporten, kunnen er voor zorgen dat deze monetaire stromen niet goed de werkelijke fysieke stromen weergeven. Verder is een deel van de economische activiteiten die landgebruik betreffen niet in de economie opgenomen, zoals landgebruik voor eigen gebruik in ontwikkelingslanden. Hierdoor wordt een te hoog landgebruik aan exporten toegekend. *Bottom-up* modellen kunnen beter gebruik maken van specifiekere data, zoals hogere opbrengsten voor export. Ook kan het hogere aggregatieniveau in *top-down* modellen een verklaring zijn voor de verschillen in uitkomsten. Als nadeel bij de *bottom-up* methode wordt gezien dat ketens niet volledig worden doorgerekend, maar op een bepaald punt worden afgekapt. Dit kan leiden tot een onderschatting van het landgebruik. Verder wordt voor *bottom-up* modellen een

onderschatting gemeld van het indirecte landgebruik voor diensten die consumenten afnemen. Tot slot kunnen kleine stromen over het hoofd worden gezien.

### 3.6 Vergelijking met andere studies

Veel internationale studies over de landvoetafdruk zijn gebaseerd op MRIO-modellen. Ook tussen de uitkomsten van deze *top-down* berekeningen komen nog grote verschillen voor (zie tabel 3.1). Verschillen in uitkomsten van de verschillende MRIO-studies worden vooral veroorzaakt door enerzijds verschillen in gegevens van het landgebruik per sector en regio en anderzijds door verschillen in het volume en de structuur van consumptie en internationale handelsstromen. De verschillen in de landvoetafdruk tussen de studies van Arto *et al.* (2012), Tukker *et al.* (2014) en het PBL zijn vooral terug te voeren op het eerste aspect: verschillen in inputgegevens (landgebruik per bedrijfstak en regio). In de MRIO-berekening van het PBL wordt bijvoorbeeld de extensieve begrazing op savannes niet meegeteld. Dit gaat bijvoorbeeld in Afrika om een paar koeien en schapen die vele hectares begrazen. Deze worden niet gehouden voor exportproducten naar Nederland. Verder is in de MRIO-berekening van het PBL uitgegaan van lagere inschattingen van bosarealen voor bosbouw. Tukker *et al.* (2014) en Arto *et al.* (2012) kennen namelijk het totale mondiale bosareaal inclusief alle natuurlijke bossen toe aan de bosbouwsector. Ook zijn er op detailniveau nog verschillen. In Arto *et al.* (2012) is bijvoorbeeld gerekend met één geaggregeerde landbouwsector. Dit heeft eveneens effecten op de toerekening van het landgebruik.

Tabel 3.1 Landvoetafdruk van Nederlandse consumptie (hectare per persoon) uit verschillende studies.

	Methode	IO database	Jaar	Ha/cap
Arto <i>et al.</i> (2012)	MRIO	WIOD	2008	2,0
Lugschitz <i>et al.</i> (2011)	MRIO	GTAP	2004	1,8
Rood <i>et al.</i> (2004)	Bottom-up		2010	0,6
Tukker <i>et al.</i> (2014)	MRIO	Exiobase	2007	3,1
Wilting (2014)	MRIO	WIOD+GTAP	2007	1,0

# 4 Biodiversiteitsvoetafdruk

## 4.1 Inleiding

De biodiversiteitsvoetafdruk geeft het Nederlandse aandeel weer in het mondiale verlies aan biodiversiteit, als gevolg van de binnenlandse consumptie. Het mondiale biodiversiteitsverlies in een bepaald jaar wordt berekend met het GLOBIO-biodiversiteitsmodel op basis van verschillende milieudrukken (Stehfest *et al.*, 2014). Het biodiversiteitsverlies in het GLOBIO-model wordt uitgedrukt in de *Mean Species Abundance* (MSA) indicator, die wordt uitgedrukt in een kwaliteit gewogen oppervlakte (MSA-areaal = areaal x biodiversiteitskwaliteit; Alkemade *et al.* (2009)). De biodiversiteitskwaliteit is een maat die de nog aanwezige biodiversiteit uitdrukt ten opzichte van een ongestoorde, natuurlijke situatie.

De biodiversiteitsvoetafdruk wordt berekend door een deel van het verlies in elke wereldregio toe te kennen aan Nederland. Dat wordt gedaan door van elke milieudrukfactor in een regio het aandeel te bepalen dat, via handel, gekoppeld kan worden aan de Nederlandse consumptie. Als bijvoorbeeld 5 procent van het areaal met intensieve landbouwproductie in een regio (direct of indirect) bestemd is voor de Nederlandse consumptie, wordt ook 5 procent van het met die intensieve landbouw samenhangende biodiversiteitsverlies aan Nederland toegekend. Dat wordt gedaan met de uitkomsten van het in hoofdstuk 3 beschreven LUC-model voor landgebruik, dat gebruik maakt van de handelsbalans van fysieke stromen. Ook het Nederlandse aandeel in milieudrukken zoals stikstofdepositie (grotendeels het gevolg van landbouw) en infrastructuur zijn gebaseerd op het deel van het landgebruik in een regio van verschillende sectoren (landbouw, veeteelt, bosbouw) dat met de Nederlandse consumptie samenhangt. Het biodiversiteitsverlies veroorzaakt door klimaatverandering kan op een vergelijkbare manier worden bepaald met het aandeel van de Nederlandse koolstofvoetafdruk in de totale mondiale broeikasgasemissies. Dit verlies wordt hier alleen indicatief gepresenteerd, omdat de invloed via klimaatverandering niet zomaar aan een specifiek jaar kan worden toegekend. De effecten spelen namelijk op een langere termijn.

## 4.2 Methode

Het mondiale biodiversiteitsverlies wordt in GLOBIO berekend met behulp van een aantal milieudrukken waarvan duidelijk is dat die belangrijk zijn voor het mondiale biodiversiteitsverlies. Dat zijn het landgebruik voor land- en bosbouw, broeikasgasemissies en stikstofdepositie (Sala *et al.*, 2000). Daarnaast zijn er verschillende effecten die met infrastructuur samenhangen. Verder wordt met behulp van wegenkaarten en de ligging van landbouwgebieden de ruimtelijke fragmentatie van habitats bepaald, en de mate waarin er druk op natuur van menselijke bewoning buiten steden is (ook wel aangeduid met *encroachment*). Een uitgebreidere beschrijving van het GLOBIO-model is te vinden in de IMAGE-modelbeschrijving (Stehfest *et al.*, 2014).

De maat waarin het biodiversiteitsverlies wordt uitgedrukt is de zogenoemde *Mean Species Abundance* (MSA; Alkemade *et al.* (2009)). Eenvoudig gezegd geeft deze indicator de mate van natuurlijkheid van een gebied weer. Het is een index tussen 0 en 1. Deze wordt berekend aan de hand van de in een gebied voorkomende soorten, en in hoeverre dat overeenkomt met een ongestoorde situatie (door de mens niet veranderd). Daarin worden zowel de aan- of afwezigheid van een soort (*presence/absence*), als de mate waarin die soort aanwezig is (abundantie of populatiegrootte) meegenomen.

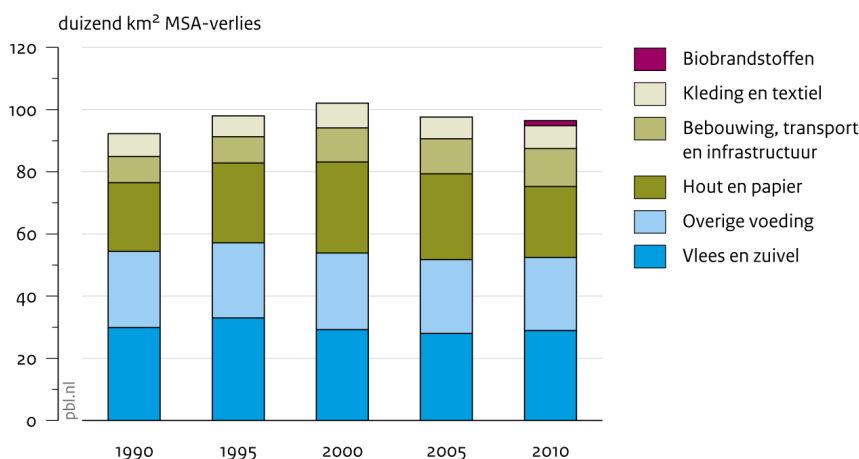
De berekening van MSA in het GLOBIO-model kan vereenvoudigd gezien worden als de gebruikte of beïnvloede oppervlakte maal de daar geldende natuurlijkheidswaarde. Dat komt ook tot uiting in de eenheid van deze indicator:  $MSA \times km^2$ . De indicator wordt ook vaak in een relatieve en dimensieloze waarde uitgedrukt ( $\%MSA = MSA \times km^2 / km^2$ ). Door deze eenvoudige opzet is het ook mogelijk om de waarden van lokale situaties op te tellen naar hogere schaalniveaus (als som van de lokale biodiversiteitswaarden die gewogen naar oppervlakte worden opgeteld).

### 4.3 Resultaten: trend in de biodiversiteitsvoetafdruk

De totale Nederlandse biodiversiteitsvoetafdruk is vanaf 1990 tot 2000 toegenomen met 11 procent (figuur 4.1), en daarna weer afgenomen met 6 procent in de periode tot 2010 (percentages relatief ten opzichte van de voetafdruk in 1990). Het jaar 2010 is het laatste jaar waarvoor integrale resultaten beschikbaar zijn.

De productgroep die het merendeel van de stijging en daling in deze trend bepaalt is die van hout en papier. De daling sinds 2000 wordt verder veroorzaakt door een afnemend landgebruik voor voeding en textiel (zie ook hoofdstuk 3). Een nieuwe productgroep is die van agrarische biobrandstoffen, die in 2010 iets meer dan 1 procent van het totale landgebruik uitmaakt. Het aandeel van hout en papier is tot aan 2000 gestegen. De redenen daarvoor zijn beschreven in hoofdstuk 3.

#### Mondiaal biodiversiteitsverlies door Nederlandse consumptie



Bron: PBL 2014

Figuur 4.1 De biodiversiteitsvoetafdruk als gevolg van Nederlandse consumptie. In deze trend is geen rekening gehouden met de impacts van broeikasgasemissies (zie 4.4).

## 4.4 Effecten van broeikasgasemissies

De effecten van broeikasgasemissies op het biodiversiteitsverlies zijn niet in figuur 4.1 opgenomen. De tijdschalen waarop de biodiversiteitseffecten van landgebruik en broeikasgasemissies zich laten gelden zijn namelijk niet direct vergelijkbaar en optelbaar. Het berekenen van broeikasgaseffecten op biodiversiteit is een stuk ingewikkelder dan het berekenen van die van landgebruik. Ze spelen zich af op een langere termijn, er treedt veel vertraging in de responsen op, en ze zijn vooral gebaseerd op modelberekeningen over nog te verwachten effecten. Toekomstige effecten van huidige emissies zijn veel onzekerder dan die van huidige veranderingen in landgebruik (Moritz en Agudo, 2013). Verdere methodeontwikkeling is daarom nodig.

De effecten van broeikasgasemissies zouden simpelweg op een vergelijkbare manier berekend kunnen worden als die van landgebruik. Als bijvoorbeeld op basis van de Nederlandse koolstofvoetafdruk in 2010 het aandeel in de dan opgetreden biodiversiteitseffecten door klimaatverandering wordt bepaald (zoals berekend met het GLOBIO-model), resulteert dat in een impact van ongeveer 23 duizend MSA km<sup>2</sup>. De biodiversiteitsvoetafdruk van de overige milieudrukken in dat jaar bedraagt bijna 100 duizend MSA km<sup>2</sup> (figuur 4.1). Dit is echter géén juiste weergave van de effecten van de Nederlandse koolstofvoetafdruk. Het mondiale klimaatstelsel reageert vrij traag op een stijging in broeikasgasemissies, en biodiversiteitseffecten zullen daar nog weer bij naijlen. De effecten in een bepaald jaar kunnen dus niet zomaar gerelateerd worden aan de koolstofvoetafdruk in dat jaar.

De huidige klimaateffecten zijn het gevolg van het historisch verloop in emissies. Langzaam veranderende leefomstandigheden (zoals temperatuur en neerslag) hebben gezorgd voor kleine verschuivingen in het vóórkomen van individuele soorten, en voor veranderingen in soortensamenstelling van de typen ecosystemen waarin soorten voorkomen (bepalend voor concurrentie). Veel soorten zullen zich waarschijnlijk nog langere tijd kunnen handhaven ook al zijn de omgevingscondities niet optimaal meer. Voor kwetsbare en zeldzame soorten kan dit weer anders zijn (Williams *et al.*, 2007).

Het is mogelijk om het historisch aandeel van de Nederlandse koolstofvoetafdruk in de mondiale emissies en de optredende klimaatverandering te bepalen, en de trend in dat aandeel bepalend te laten zijn voor het aandeel in de gerealiseerde biodiversiteitseffecten. Ter illustratie: het historisch aandeel van Nederland (volgens de territoriale benadering) in de totale broeikasgasemissies tussen 1990 en 2010 is ongeveer 0,5 procent (Den Elzen *et al.*, 2013). In de periode 1995-2010 is het aandeel van de Nederlandse koolstofvoetafdruk in de mondiale broeikasgasemissies ongeveer 0,6 procent.

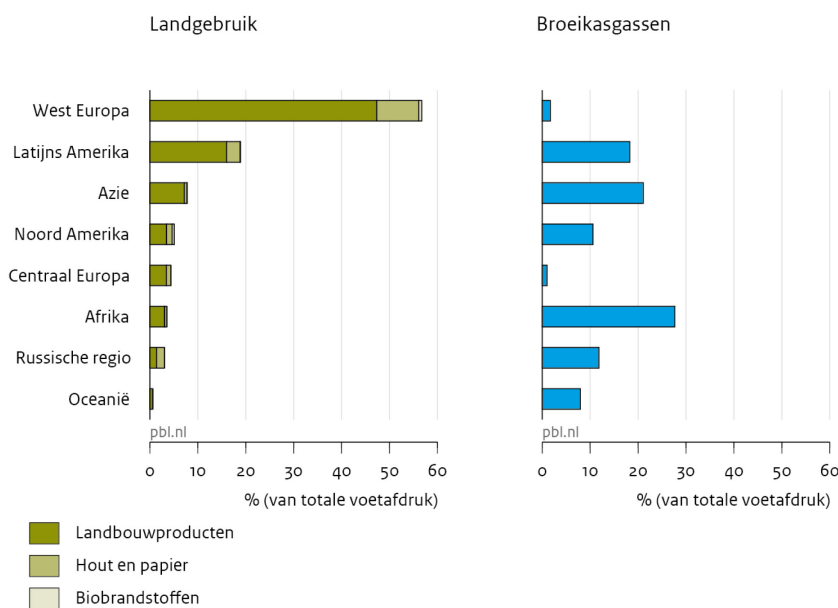
Voor verdere methodeontwikkeling is het dus eerst van belang om te bedenken wat het berekenen van de biodiversiteitseffecten van de koolstofvoetafdruk nu toevoegt. Het is bijvoorbeeld relevant om bij het gebruik van biomassa voor energiedoelinden aan te geven wat dat per saldo nu oplevert voor biodiversiteit. De verschillende tijdschalen en onzekerheden spelen daarbij een rol. Aan biobrandstoffen kan een vermeden toekomstig biodiversiteitsverlies worden toegekend, omdat er minder fossiele brandstoffen hoeven te worden ingezet. Daar staat tegenover dat er een grotere huidige impact op biodiversiteit is door het telen van deze gewassen. Deze twee effecten kunnen tegen elkaar afgezet worden. Uit vergelijking van de biodiversiteitseffecten blijkt dat het extra verlies door landgebruik pas na lange tijd (decennia) zal worden gecompenseerd door de over de jaren heen opgetelde vermeden broeikasgasemissies (Van Oorschot *et al.*, 2010). Deze 'terugverdientijd' van biobrandstoffen voor biodiversiteit, (vergelijkbaar met het concept van de *carbon debt* door landgebruiksemissies; Fargione *et al.* (2008), Searchinger *et al.* (2008)), hangt af van de keuze voor het type biomassa en de teelt daarvan, en van

de kans op het optreden van indirecte landgebruikseffecten (Dornburg *et al.*, 2010; Van Oorschot *et al.*, 2010).

## 4.5 Biodiversiteitsverlies in verschillende regio's

Het merendeel van de effecten van de Nederlandse landvoetafdruk op biodiversiteit ligt in West Europa (bijna 60 procent; linker figuur 4.2). Dat is ook de regio van waaruit Nederland historisch de meeste grondstoffen en producten voor consumptie betreft. Voedsel en landbouwproducten vormen daarvan de hoofdmoot. Bijna 20 procent van de biodiversiteitseffecten treedt op in Centraal- en Zuid-Amerika, en ook die zijn grotendeels het gevolg van de productie van voedsel.

**Regionaal biodiversiteitsverlies door verschillende milieudrukken, 2010**



Bron: PBL

*Figuur 4.2 Geografische verdeling van de Nederlandse biodiversiteitsvoetafdruk als gevolg van consumptie. Links de biodiversiteitseffecten gerelateerd aan landgebruik, en rechts de effecten van broeikasgasemissies (op basis van GLOBIO-uitkomsten).*

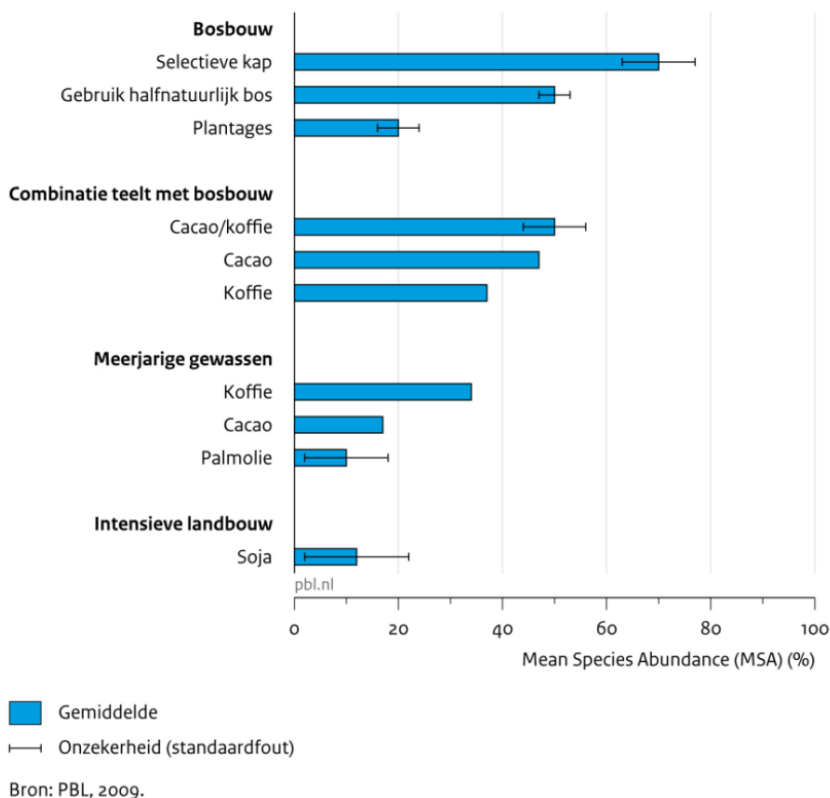
De te verwachten effecten van broeikasgassen zijn heel anders verdeeld over de wereldregio's dan die van het landgebruik (rechter figuur 4.2). Deze staan namelijk los van de locatie waar de emissies plaatsvinden (zoals berekend in hoofdstuk 2). Klimaatverandering is een mondiaal optredend fenomeen dat overal effecten heeft. De effecten zijn het grootst in regio's met een nog relatief groot areaal aan natuurlijke ecosystemen. Daarnaast kunnen ecosystemen verschillen in gevoeligheid (Alkemade *et al.*, 2009). De meeste effecten door klimaatverandering, zoals berekend met het GLOBIO-model voor het jaar 2010, zijn daarom merkbaar in Afrika, Azië en Centraal- en Zuid-Amerika.



## 4.6 Vergelijking van biodiversiteitsverlies en landgebruik

De figuur van de trend in de biodiversiteitsvoetafdruk (exclusief broeikasgassen) lijkt op die van het landgebruik dat nodig is om de goederen en producten te maken voor Nederlandse consumptie (hoofdstuk 3). Dat is niet verwonderlijk, aangezien landgebruik als de belangrijkste milieudrukfactor voor biodiversiteitsverlies en ontbossing wordt gezien (Kissinger *et al.*, 2012; Newbold *et al.*, 2014; Sala *et al.*, 2000). Toch geeft de biodiversiteitsvoetafdruk iets anders weer dan de landvoetafdruk. Aan de grootte van het landgebruik is namelijk niet te zien wat de biodiversiteitseffecten zijn van verschillende vormen en intensiteit van landgebruik en andere daarmee samenhangende milieudrukken, zoals die van infrastructuur. De biodiversiteitsvoetafdruk combineert dus de grootte (landgebruik) met de diepte (impact) van de voetafdruk, en wordt daarom ook wel aangeduid als biodiversiteit gewogen landgebruik (Van Oorschot *et al.*, 2012). Intensieve landbouw heeft lokaal een veel groter effect op de MSA dan het selectief oogsten van hout in half-natuurlijke bossen. In het eerste geval is de oorspronkelijke vegetatie omgezet naar een kunstmatig landbouwsysteem met nog nauwelijks oorspronkelijke soorten. In het tweede geval kan de oorspronkelijke vegetatie nog grotendeels intact zijn (Alkemade *et al.*, 2009).

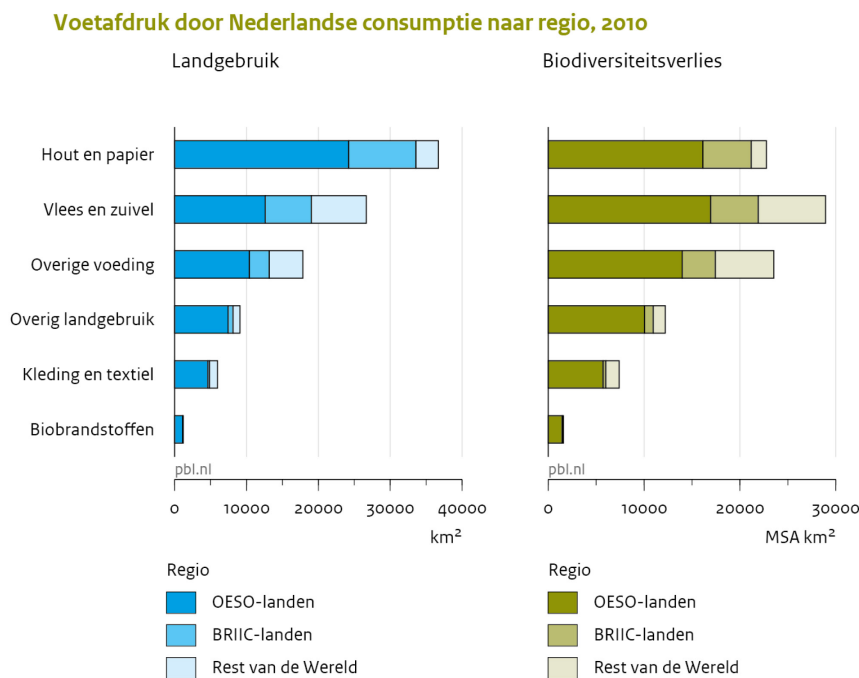
### Lokale biodiversiteit in productiesystemen ten opzichte van natuurlijke situatie



Figuur 4.3 MSA-indicator betreffende het biodiversiteitsverlies voor verschillende typen landgebruik (Alkemade *et al.*, 2009).

De effecten van landgebruik op biodiversiteit zijn het grootst bij intensief landgebruik, zoals voor de productie van plantaardig voedsel en dierlijke eiwitten (figuur 4.3). Ook zorgen intensieve productiemethoden voor milieudruk buiten de productiegebieden zelf, door onder andere stikstofemissie en -depositie, en de benodigde

infrastructuur om producten te vervoeren. Zo kost de productie van dierlijke eiwitten met veevoer, zoals soja en granen, relatief veel biodiversiteit. Alhoewel ook veel land nodig is voor de productie van papier en pulp, leidt dat tot relatief minder biodiversiteitsverlies (vergelijk linker met rechter figuur 4.4). Bossen veranderen wel bij dit soort landgebruik maar verdwijnen niet. In Zuid-Amerika is vrij veel land in gebruik voor onze consumptie. De productie van vlees in Zuid-Amerika is veelal minder intensief dan in Nederland, want kuddes grazen daar ook op semi-natuurlijke graslanden. Dat kost relatief meer landoppervlak, maar leidt tot minder biodiversiteitsverlies per hectare. Het onderscheid tussen landgebruik en biodiversiteitseffecten geeft daarmee een andere prioritering van de productgroepen die verantwoordelijk zijn voor de Nederlandse voetafdruk.



Bron: PBL

*Figuur 4.4 Vergelijking van de landvoetafdruk met de biodiversiteitsvoetafdruk. De laatste legt meer prioriteit bij intensievere vormen van landgebruik, zoals de productie van plantaardige producten en eiwitten.*

## 4.7 Vergelijking met andere biodiversiteitsindicatoren

Biodiversiteitsverlies is een minder eenduidig concept dan landgebruik of broeikasgasemissies, waarvoor algemeen geaccepteerde maten bestaan (km<sup>2</sup> en CO<sub>2</sub>-equivalenten). Dat komt omdat de definitie van biodiversiteit een veelheid aan organisatieniveaus omvat die niet eenvoudig ten opzichte van elkaar zijn te wegen of op te tellen (genen, soorten, ecosystemen, landschappen). Er zijn dan ook verschillende indicatoren in gebruik voor biodiversiteitseffecten. Hun toegevoegde waarde is dat ze een prioritering kunnen opleveren van verschillende vormen van milieudruk en de sectoren waar deze plaatsvinden. Hiermee kan vervolgens gericht beleid worden gevoerd. In deze paragraaf wordt ingegaan op de relatie van de MSA biodiversiteitsvoetafdruk met andere biodiversiteitsindicatoren. Een kwantitatieve vergelijking valt echter buiten de scope van deze notitie.

#### 4.7.1 De MSA-indicator in relatie tot het uitsterven van soorten

Een positief kenmerk van de MSA-indicator is dat de effecten van verschillende milieudrukken kunnen worden geïntegreerd in een uniforme maat (oppervlakte maal lokale kwaliteit). Via deze benadering kunnen de effecten van verschillende milieudrukken en op verschillende schaalniveaus eenvoudig worden gesommeerd en vergeleken (van km<sup>2</sup> tot land tot wereld). Ook kan het aandeel van Nederland in de mondiale ontwikkeling worden aangegeven. Dat is het gevolg van de definitie van MSA als een weergave van de relatieve lokale biodiversiteitskwaliteit.

De MSA-indicator geeft iets anders weer dan het uitsterven van soorten. Het lokaal verdwijnen van een soort ('extirpatie') zal pas leiden tot het echt compleet uitsterven van een soort als ook de laatste habitat waar een soort nog voorkomt voorgoed verdwijnt ('extinctie'). Verschillende soorten reageren heel anders in dit proces, onder andere afhankelijk van hun aanpassingsvermogen en hun mogelijkheden om andere geschikte leefgebieden te bereiken (Pimm en Raven, 2000; Thomas *et al.*, 2004). Ook is het proces van uitsterven niet lineair, dat wil zeggen dat bij het kleiner worden van geschikte leefgebieden in eerste instantie niet zo heel veel soorten verdwijnen (Loh *et al.*, 2005). Pas als het areaal flink is afgenomen zullen steeds meer soorten verdwijnen. Dat komt ook tot uiting in de kromlijnige vorm van de relatie tussen areaalgrootte en het aantal (theoretisch) voorkomende soorten (*species area curves*). De bijdrage van landen of producten aan het uitsterven van soorten is hierdoor ook niet zomaar aan te geven. Deze hangt af van de vraag in hoeverre een proces in zijn totaliteit al gevorderd is.

#### 4.7.2 Vergelijking MSA met de ecologische voetafdruk

Ook de ecologische voetafdruk wordt wel gerelateerd aan effecten op biodiversiteit (Hanafiah *et al.*, 2012). De ecologische voetafdruk geeft het beslag op het totale bioproductieve areaal dat mondiaal beschikbaar is (som over areaal x productiecapaciteit). Bij de ecologische voetafdruk worden alle consumptieve behoeften (inclusief energie en vis) omgerekend naar zogenoemde *global hectares*, gebruik makend van weegfactoren voor verschillende soorten landgebruik (zie paragraaf 5.4). Daarbij geldt dat bij intensiever gebruik van land de bioproductiviteit stijgt, maar tegelijk de biodiversiteit afneemt. In de ecologische voetafdruk krijgt intensiever landgebruik met meer ecologische effecten als gevolg dus een zwaarder gewicht. De ecologische voetafdruk kan op die manier dus ook als een proxy voor biodiversiteitsverlies gezien worden.

In een vergelijkende analyse van de ecologische voetafdruk en de MSA-biodiversiteitsvoetafdruk wordt geconcludeerd dat deze indicatoren verschillende vormen van milieudruk benadrukken, en dan met name het landgebruik ten opzichte van broeikasgasemissies (Hanafiah *et al.*, 2012). De MSA-methode geeft relatief meer effecten van landgebruik. De accenten op verschillende vormen van milieudruk zijn van belang als er afwegingen gemaakt worden tussen producten die op deze aspecten heel anders scoren, zoals bij de toepassing van biobrandstoffen. Het opnemen van een indicator waarin biodiversiteit expliciet is meegenomen wordt daarom als een waardevolle toevoeging aan de familie van voetafdrukindicatoren gezien, omdat het een andere blik geeft op afruilrelaties en op de prioriteiten voor actie en beleid.

#### 4.7.3 ReCiPe

Een andere in Nederland gebruikte methodiek voor het berekenen van biodiversiteitsverlies is die van ReCiPe (Goedkoop *et al.*, 2008; Huijbregts *et al.*, 2014). Deze methode gaat uit van de impact van verschillende vormen van milieudruk op de lokale soortenrijkdom, gecombineerd met de tijd die een systeem nodig heeft om te herstellen van een specifieke menselijke beïnvloeding. De eenheid bij deze benadering is *species.year*. Dit is dus een andere maat dan MSA, waarbij van een specifiek

moment de verandering in de abundantie van een soort (aantal individuen in de populatie) ten opzichte van een natuurlijke referentiesituatie het uitgangspunt vormt. De verandering in abundantie binnen een soort geeft een gevoeliger indicator voor milieudruk dan veranderingen in soortrijkdom (De Baan *et al.*, 2011). Een ander verschil tussen ReCiPe en GLOBIO is dat in ReCiPe meer vormen van milieudruk meegenomen worden, zoals effecten van een aantal chemische stoffen op basis van hun toxiciteit. Daarentegen neemt GLOBIO meerdere soorten en effecten van landgebruik mee, zoals fragmentatie en infrastructuur. De ReCiPe maat wordt vooral gebruikt in de milieugerichte levenscyclusanalyse van producten (LCA's) en is ook gebruikt voor het berekenen van de effecten van economische sectoren op het verlies aan biodiversiteit (Bergsma *et al.*, 2014). Beide methoden nemen het verlies van biodiversiteit op lokale schaal als uitgangspunt in de berekeningen.

#### 4.7.4 Red List species index

Een weer andere benadering is gevolgd door Lenzen *et al.* (2012b). In deze studie wordt consumptie via onderlinge sectorleveranties en handelspatronen gekoppeld aan de door IUCN opgestelde lijst met bedreigde soorten per land (*Red List species index*). De voor elke bedreigde soort meest relevante vorm van milieudruk wordt in deze benadering eerst toegekend aan de verantwoordelijke economische sectoren en daarmee aan producten die voor export zijn bedoeld. Met een multi-regionaal input-output-model is vervolgens aangetoond dat handel in landbouwproducten voor een groot aantal soorten een belangrijke oorzaak is voor hun bedreigde status. De verhandelde grondstoffen en producten zijn vooral bestemd voor consumenten in Westerse en welvarende landen.

# 5 Andere voetafdrukken

In de hoofdstukken 2, 3 en 4 zijn de koolstofvoetafdruk, de landvoetafdruk en de biodiversiteitsvoetafdruk uitgebreid besproken. Het PBL heeft modellen ontwikkeld om deze te berekenen. Ook voor andere milieuthema's zijn (buiten het PBL) voetafdrukindicatoren ontwikkeld of nog in ontwikkeling. Veel voorkomende thema's zijn (naast de hierboven genoemde): grondstoffen, water en stikstof. In dit hoofdstuk worden de grondstoffen-, water- en stikstofvoetafdruk besproken en worden kentallen voor Nederland uit de literatuur gepresenteerd. Daarnaast gaan we kort in op de ecologische voetafdruk.

## 5.1 Grondstoffenvoetafdruk

### 5.1.1 Inleiding

Eindige voorraden, milieuproblemen bij winning en geopolitieke afhankelijkheid zijn de belangrijkste redenen om efficiënter om te gaan met grondstoffen. Daarnaast werkt efficiënt grondstofgebruik ook kostenverlagend en draagt daarmee bij aan de vergroening van de economie. Voor het grondstoffen- en materiaalengebruik in een land zijn verschillende indicatoren ontwikkeld. Een veel gebruikte indicator voor grondstoffen- en materiaalengebruik in een land in fysieke termen is *Domestic Material Consumption* (DMC). Bij deze indicator wordt gekeken naar de totale massa aan grondstoffen en materialen die wordt ingezet in de economie van een land (de som van binnenlandse winning en de importen) en hier wordt vervolgens de export van grondstoffen en materialen weer van afgetrokken. De DMC wordt dus bepaald door: extractie binnenland + invoer – uitvoer. Deze berekeningsmethode wordt ook wel *apparent consumption* genoemd.

Het import- en exportdeel van de DMC beschrijft alleen de directe stromen van grondstoffen en materialen die een land binnenkomen en weer verlaten. In de DMC indicator wordt geen rekening gehouden met indirecte grondstofstromen bij winning in binnen- of buitenland en in de verwerking van grondstoffen in het buitenland. Wanneer in een land ijzererts wordt gewonnen en vervolgens staal wordt geproduceerd worden de grondstoffen meegeteld; wanneer staal wordt geïmporteerd worden de bijbehorende ertsen daarentegen niet geteld. De DMC is hiermee geen voetafdrukindicator zoals die oorspronkelijk door Wackernagel en Rees was bedoeld.

Een grondstoffenvoetafdruk geeft een beeld van de totale massa aan grondstoffen die als gevolg van consumptie in een land wordt gebruikt, gerekend over de gehele keten. Indicatoren die verder kijken dan alleen de directe grondstofstromen en die de effecten in de keten weergeven vanuit een consumptieperspectief zijn de *Raw Material Consumption* (RMC) en de *Total Material Consumption* (TMC) (tabel 1). Deze indicatoren houden rekening met indirecte grondstofstromen en maken het mogelijk om afwenteling naar het buitenland te traceren. Bij de RMC wordt het totale gebruik van grondstoffen weergegeven in de productieketens van materialen, halffabricaten en producten, dus bijvoorbeeld ook de ertsen die gebruikt zijn voor de productie van metalen. Grondstoffen die gewonnen zijn, maar die niet worden ingezet in het economische systeem worden niet meegeteld in de RMC. Bij de TMC worden naast de indirecte grondstofstromen, ook de grondstoffen meegenomen die

wel gewonnen zijn, maar uiteindelijk niet gebruikt zijn in het economische systeem. Dit betreft bijvoorbeeld deklagen en aarde bij mijnbouw en bijvangst in de visserij. Deze stromen zonder economische waarde worden ook wel verborgen stromen genoemd, aangezien ze niet direct zichtbaar zijn vanuit het perspectief van een bepaalde economie. Eigenlijk geven ze in zekere mate de impact van grondstofgebruik op het milieu weer. In deze notitie gebruiken we verder de RMC als indicator voor de grondstoffenvoetafdruk, mede ook omdat in de gegevens over de ongebruikte grondstoffen (in TMC) nog grote onzekerheden zitten.

Tabel 5.1 Macro-indicatoren voor grondstoffengebruik in een economie.

	directe stromen	directe + indirecte stromen	directe + indirecte + ongebruikte stromen
Productieperspectief	DMC		
Consumptieperspectief		RMC	TMC

### 5.1.2 Methode

Er zijn verschillende methoden voor het berekenen van de grondstoffenvoetafdruk (RMC) in gebruik. Het CBS, dat binnen Nederland het grondstoffengebruik monitort, start vanuit de DMC en gebruikt zogenoemde *raw material equivalent* (RME) kentallen om aan de invoerstromen ook het indirecte grondstofgebruik toe te kennen (Delahaye, 2012). Deze RME-factoren worden afgeleid uit input-output analyses aangevuld met LCA (Life Cycle Assessment) gegevens (IFEU, 2012). Andere onderzoekers gebruiken economische MRIO-modellen, aangevuld met fysieke gegevens over gewonnen grondstoffen afkomstig uit materialendatabases (bijvoorbeeld Lutter *et al.* (2014)). Via internationale handelsstromen en leveringen tussen sectoren die in de MRIO-tabellen worden beschreven worden grondstoffen uiteindelijk aan consumptie in een bepaald land toegerekend.

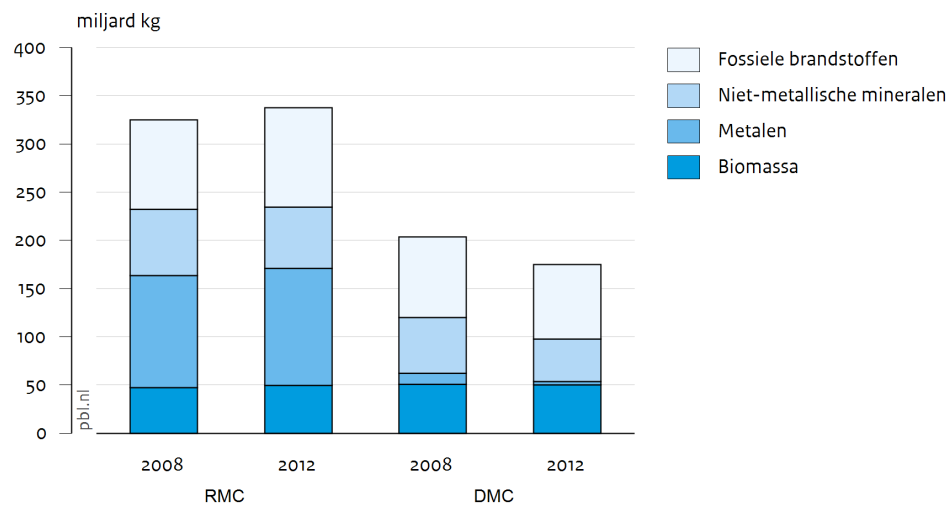
Het heeft weinig zin om één geaggregeerde grondstoffenvoetafdruk voor een land te presenteren, aangezien grondstoffen nogal sterk kunnen verschillen in hun effecten op het milieu. Voor een ton goud zijn deze heel anders dan voor een ton zand en het is daarom niet zinvol deze ongewogen op te tellen. In publicaties worden de grondstoffen vaak opgedeeld in vier hoofdgroepen: biomassa, metalen, overige (niet-metaal) mineralen en fossiele energiedragers, maar het is uiteraard ook mogelijk om een voetafdruk te bepalen voor een specifieke grondstof. Een speciaal geval van de grondstoffenvoetafdruk is de energievoetafdruk, uitgedrukt in Joules, die het totale energiegebruik als gevolg van consumptie weergeeft.

### 5.1.3 Resultaten

Voor de *Raw Material Consumption* heeft het CBS inmiddels berekeningen voor Nederland uitgevoerd voor de jaren 2008 en 2012 (CBS, 2014a). Per inwoner bedroeg de grondstoffenvoetafdruk in 2008 19,8 ton en in 2012 20,2 ton (figuur 5.1). Deze beperkte toename wordt vooral veroorzaakt door een toename in het gebruik van fossiele brandstoffen.

Ter vergelijking staat in figuur 5.1 ook de *Domestic Material Consumption* weergegeven. De RMC voor Nederland was in 2008 ongeveer 60 procent hoger dan de DMC. Waar de RMC in de periode 2008-2012 is toegenomen met ongeveer 4 procent is de DMC juist afgenomen. Dit duidt er op dat grondstofintensieve producten steeds vaker in het buitenland worden geproduceerd (CBS, 2014a).

## De grondstoffenvoetafdruk (RMC) vergeleken met het directe materialenverbruik (DMC)



Bron: CBS (2014)

Figuur 5.1 De RMC houdt ook rekening met indirecte grondstofstromen.

Ten opzichte van andere landen is het aandeel fossiel in Nederland hoog. Omdat in Nederland onderhoud van infrastructuur dominant is ten opzichte van het aanleggen van nieuwe infrastructuur is het aandeel van mineralen relatief laag ten opzichte van andere ontwikkelde landen en zich ontwikkelende landen.

In internationale studies wordt ook gerapporteerd over de RMC van Nederland (tabel 5.2). Verschillen in de uitkomsten zijn te verklaren uit verschillen in methode (bottom-up versus top-down) en bij de MRIO-modellen uit verschillen in de gebruikte gegevens van input-output tabellen en materiaalwinning per regio en sector. Een gedetailleerde analyse van deze verschillen valt buiten het kader van deze studie.

Tabel 5.2 Grondstoffenvoetafdruk (RMC) van Nederlandse consumptie uit verschillende studies.

	Methode	IO database	Jaar	RMC (ton/cap)
Arto <i>et al.</i> (2012)	MRIO	WIOD	2007	17,2
Bruckner <i>et al.</i> (2012)	MRIO	OECD	2005	32,4
Delahaye (2012)	Bottom-up		2008	19,8
Tukker <i>et al.</i> (2014)	MRIO	Exiobase	2007	25,6
Wiedmann <i>et al.</i> (2013)	MRIO	Eora	2008	26,0

### 5.1.4 Discussie

#### Milieu-impacts van grondstofgebruik

De grondstoffenvoetafdruk geeft puur de hoeveelheden materialen weer als gevolg van consumptie zonder rekening te houden met de milieu-impacts van het grondstofgebruik. Er zijn echter ook indicatoren in ontwikkeling die de milieu-impacts gerelateerd aan grondstof- en materiaalgebruik meten. Een voorbeeld is de *Environmentally weighted Material Consumption* (EMC) indicator die de milieudruk van grondstoffen en materialen over de hele toeleveringsketen voor 13 milieu-impact categorieën weer geeft (Van der Voet *et al.*, 2005). Dus elke materiaal scoort op broeikasgaseffect, verzuring, toxiciteit, etc. uitgedrukt in thema-equivalenten. Verder onderzoek richt zich op het gewogen (of ongewogen) optellen van deze 13 indi-



catoren tot één overall indicator. Weging blijft hierbij een heikel punt. De EMC is ontwikkeld om de ontkoppeling van de milieu-impacts van grondstofgebruik van economische groei te kunnen kwantificeren. De *Environmentally weighted Material Consumption* gaat uit van de *Domestic Material Consumption*, maar via de milieu-impacts in de keten wordt ook rekening gehouden met de indirecte (*Raw Material Consumption*) en verborgen (*Total Material Consumption*) grondstofstromen. De toepassing van de EMC bevat nog vele beperkingen, maar de indicator is volop in ontwikkeling.

### *Discussie over belang DMC*

In de EU Resource Efficiency strategie is DMC de headline indicator. Dit komt onder andere omdat Duitsland en Oostenrijk concrete doelstellingen hebben voor DMC en in het Europees Parlement zwaar hebben gelobbyd voor DMC. Er wordt intussen wel onderkend dat deze indicator de nodige tekortkomingen heeft, zoals het feit dat de indicator een nationaal productieperspectief heeft en geen rekening houdt met activiteiten buiten de landsgrenzen. Verder geeft de indicator alleen hoeveelheden weer (in kg) en houdt deze geen rekening met bijvoorbeeld schaarste of milieu-impacts. Om hieraan tegemoet te komen bevat de Resource Efficiency strategie tevens een dashboard met macro-indicatoren betreffende productie en consumptie van grondstoffen, land, water en koolstof. Inmiddels wordt vooral in Duitsland en Oostenrijk discussie gevoerd over te gebruiken indicatoren voor grondstoffengebruik. Vanuit de Nederlandse overheid is gepleit om voor Groene Groei en Resource Efficiency naast de DMC in te zetten op een bredere set headline indicatoren (indicatoren gericht op land, energie, water en grondstoffen voor productie en consumptie). Daarnaast is aangegeven om naast DMC in te zetten op de RMC, om de effecten in de keten beter mee te nemen in het meten van de voortgang van de strategie om efficiënter met grondstoffen om te gaan.

## 5.2 Watervoetafdruk

### 5.2.1 Inleiding

De watervoetafdruk is een indicator die inzicht geeft in de hoeveelheid (zoet) water die nodig is voor consumptie. De watervoetafdruk is een communicatiemiddel om mensen en bedrijven bewust te maken hoeveel water nodig is voor consumptie, welke producten en diensten daaraan vooral bijdragen, welke stappen in de keten veel water vragen en welke besparingsmogelijkheden er zijn.

Onderscheid kan worden gemaakt in blauw, groen en grijs water. Blauw water is water uit oppervlakte- en grondwater voor bijvoorbeeld irrigatie van landbouwgrond of huishoudelijk gebruik. Groen water is regenwater; hierbij wordt niet de totale neerslag geteld, maar alleen het water dat verdampt of wordt gebonden in producten. Blauw en groen water hebben een directe relatie; blauw water ontstaat uit regenwater dat niet als groen water wordt verdampt of opgenomen. Grijs water ten slotte is water dat nodig zou zijn om vervuild water zo te verdunnen dat de waterkwaliteit binnen de gestelde normen komt. Dat is dus een virtuele hoeveelheid die niet wordt onttrokken, maar wel een indruk geeft van de hoeveelheid water die bij productie en consumptie wordt vervuild.

Volgens Van den Berg *et al.* (2011) is mondiaal gezien de vraag naar zoet water nog geen probleem. De beschikbare hoeveelheid is voldoende voor de huidige en komende generaties. De ongelijke geografische verdeling van het beschikbare water zorgt er echter voor dat in delen van de wereld ernstige waterschaarste is. In 2050 wonen mogelijk 4 miljard mensen in gebieden waar dit speelt, voornamelijk in Zuid-Azië.



### 5.2.2 Methode

Net als bij de landvoetafdruk worden voor het berekenen van de watervoetafdruk *bottom-up* en *top-down* modellen gebruikt (Feng *et al.*, 2011; Hoekstra *et al.*, 2011). Het PBL doet zelf geen berekeningen over de watervoetafdruk, maar maakt gebruik van resultaten van andere studies die gebaseerd zijn op gegevens van de Universiteit Twente (bijvoorbeeld in de Natuurbalans 2008).

### 5.2.3 Resultaten

In diverse studies wordt gerapporteerd over de watervoetafdruk van Nederlandse consumptie (tabel 5.3). De uitkomsten verschillen nogal, hoewel in alle gevallen gegevens afkomstig van de Universiteit Twente aan de berekeningen ten grondslag liggen. Mekonnen en Hoekstra (2011) gebruiken in hun mondiale landenstudie een *bottom-up* methode. Anderen gebruiken ook *top-down* MRIO-modellen om de watervoetafdruk te berekenen (Arto *et al.*, 2012; OPEN, 2011; Tukker *et al.*, 2014). Een uitgebreide analyse van de verschillen ligt echter buiten het kader van deze notitie.

Tabel 5.3 Watervoetafdruk van Nederlandse consumptie voor verschillende jaren berekend in verschillende studies. Zie de tekst voor het onderscheid tussen blauw, groen en grijs water.

	Jaar	Blauw	Groen	Grijs	Totaal
		m <sup>3</sup> / cap / jaar			
Arto <i>et al.</i> (2012)	2008	430	2280	430	3140
Lenzen <i>et al.</i> (2013a)	2000	221	1981	99	2301
Mekonnen en Hoekstra (2011)	2000 <sup>1</sup>	129	1056	281	1466
OPEN (2011)	2004	197	2822	604	3623
Tukker <i>et al.</i> (2014)	2007	525			
Van Oel <i>et al.</i> (2008)	2000 <sup>1</sup>				2300

<sup>1</sup> Gemiddelde voor 1996-2005.

Het directe huishoudelijk watergebruik in Nederland maakt hooguit een paar procent uit van de watervoetafdruk van Nederlandse consumptie. In Nederland bedroeg dit in 2013 ruim 40 m<sup>3</sup> (minder dan 120 liter) per persoon per dag, waarvan ongeveer 80 procent voor douchen, toiletspoeling en de was (CBS *et al.*, 2015). Ongeveer twee derde van de totale watervoetafdruk betreft onttrekking van water in de landbouw (Van Oel *et al.*, 2009). Minder dan 10 procent betreft water voor productie in Nederland (Arto *et al.*, 2012; Hoekstra *et al.*, 2011). Het meeste water wordt onttrokken voor geïmporteerde producten, het grootste deel in de landbouw (Mekonnen en Hoekstra, 2011).

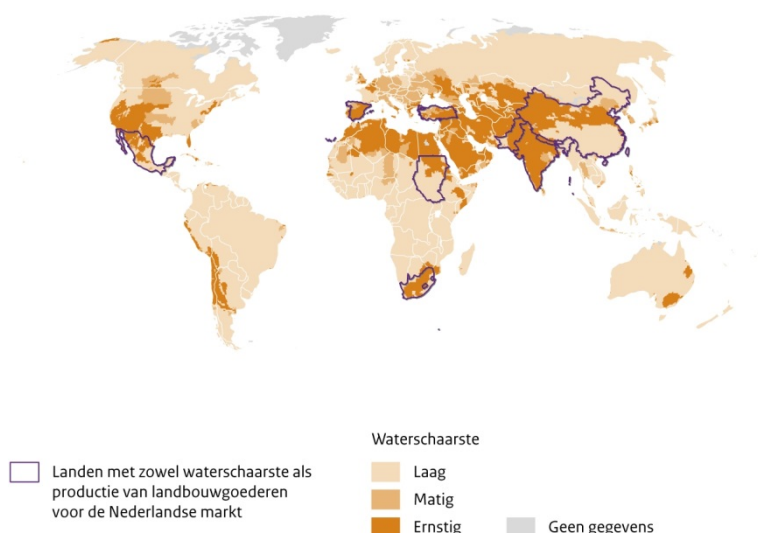
### 5.2.4 Relatie met waterschaarste

Bij de watervoetafdruk gaat het dus vooral om zoet water dat met de teelt en verwerking van grondstoffen voor consumptie samenhangt. In grote gebieden van de aarde is zoet water schaars en neemt de schaarste toe. Economische activiteiten zijn belangrijke oorzaken van de achteruitgang in de kwaliteit en de beschikbaarheid van zoet water. Voor bijvoorbeeld irrigatie van landbouwgronden wordt water onttrokken aan de bodem en waterlopen, zoals rivieren en grondwaterstromen. Het onttrekken van zoet water in gebieden waar water schaars is, draagt direct bij aan het tekort aan water voor menselijke behoeften zoals drinkwater, voedselproductie en sanitaire doeleinden. Ook kan het leiden tot schade aan natuur, zoals het opdrogen van meren en rivieren. Watervervuiling door productieprocessen kan ook bijdragen aan de waterschaarste ter plekke. Tenslotte kan watergebruik in gebieden

waar geen schaarste is , leiden tot waterschaarste in andere gebieden, bijvoorbeeld stroomafwaarts.

Voor het meten van waterschaarste zijn verschillende indicatoren ontwikkeld. Een vuistregel is dat de kans op ernstige waterschaarste groot is als er meer dan 40 procent van de netto aanvoer wordt onttrokken (Alcamo en Henrichs, 2002; Smakhtin *et al.*, 2004). Water is al schaars in verschillende belangrijke rivierstroomgebieden in bijvoorbeeld Zuid-Europa, Noord-Afrika, Midden-Oosten, Centraal Azië en India (figuur 5.2). India, China, Pakistan en Turkije zijn van belang voor de productie van katoen. Zuid-Afrika en Spanje leveren aan Nederland fruit. Uit India en Soedan betreft Nederland oliehoudende zaden, uit Mexico koffie (Van Oel *et al.*, 2008; Van Oel *et al.*, 2009). Lenzen *et al.* (2013a) hebben berekend dat 16 procent van de Nederlandse watervoetafdruk in 2000 afkomstig was uit waterschaarse gebieden.

Nederlandse agrarische import uit gebieden met waterschaarste, 1996 – 2005



Figuur 5.2 Relatie watervoetafdruk en waterschaarste.

### 5.2.5 Discussie

Het PBL heeft op verzoek van het Ministerie van Buitenlandse Zaken een verkennende studie uitgevoerd naar de bruikbaarheid van de watervoetafdruk in duurzaamheidsbeleid voor bedrijven (Witmer en Cleij, 2012). In die studie wordt geconstateerd dat de watervoetafdruk mensen bewust maken van watergebruik en -vervuiling in de productie- en handelsketens van goederen, maar dat naast het volume watergebruik ook andere informatie nodig is voor het duurzaamheidsbeleid. De watervoetafdruk is bruikbaar voor duurzaamheidsbeleid als naast de hoeveelheid water ook wordt gekeken naar type water (blauw, groen of grijs), de lokale situatie en besparingsopties. Door te kijken naar de lokale situatie kan de relatie worden gelegd met het grotere waterstroomgebied en de vraag of het bijdraagt aan de waterschaarste ter plekke of elders in het waterstroomgebied. Ook kan de relatie worden gelegd met het seizoen: op een specifieke locatie kan wateronttrekking in het natte seizoen geen probleem zijn, maar in het droge seizoen kan het grote gevolgen hebben.

Wateronttrekking is naast een lokaal probleem ook een mondiaal verdelingsvraagstuk. Groen en blauw water zijn met elkaar verbonden doordat blauw water ontstaat uit een overschot van groen water (regenwater). Veelal heeft irrigatie (blauw

water) een groter direct effect dan onttrekking van regenwater door landbouwgewassen (groen water). Overmatige onttrekking van groen water kan echter leiden tot een tekort aan blauw water. Verdamping door landbouwgewassen hoeft geen probleem te zijn want natuurlijke vegetaties verdampen ook water, maar overmatige verdamping en opname in gewassen (groen water) kan gevolgen hebben voor de waterbeschikbaarheid ter plekke of elders. Daarnaast is het een verdelingsvraagstuk, omdat de locaties met veel regen en gunstige omstandigheden voor landbouw mondiaal gelimiteerd zijn. De keuze voor het verbouwen van een bepaald type gewas is afhankelijk van een groot aantal factoren, zoals bodemvruchtbaarheid, markten en prijzen. Door de onttrekking van blauw en groen water inzichtelijk te maken, kan dit een rol gaan spelen in deze keuze en leiden tot identificatie van besparingsopties (bijvoorbeeld andere gewassoort met minder verdamping). Tenslotte kan inefficiënt watergebruik op de ene plaats bijdragen aan waterschaarste op een andere plaats. Bij de watervoetafdruk spelen dus meerdere facetten een rol die alle bijdragen in het inzicht in het watergebruik en verbeteropties.

## 5.3 Stikstofvoetafdruk

### 5.3.1 Inleiding

Luchtverontreiniging, onder andere door de uitstoot van stikstof, leidt tot negatieve effecten op gezondheid, natuur en klimaat en draagt bij aan verlies van biodiversiteit. Een overschot aan stikstof bijvoorbeeld in de landbouw (het verschil tussen de aanvoer van stikstof via onder andere kunstmest en mest en de afvoer via het gewas), kan leiden tot milieuproblemen zoals nitraatverontreiniging van het grondwater en eutrofiëring van het oppervlaktewater. Ammoniakuitstoot door de landbouw verhoogt de atmosferische de stikstofdepositie en draagt bij aan verzuring en vermisting van landnatuur. De stikstofvoetafdruk is een maat voor de totale stikstofvervuiling door consumptie van bijvoorbeeld energie en voedsel, inclusief emissies elders door import van producten en grondstoffen zoals veevoer en voedsel. Indicatoren voor de stikstofvoetafdruk zijn minder ver ontwikkeld dan bijvoorbeeld de koolstof- of de landvoetafdruk. Galli *et al.* (2012) merken op dat het van belang is om indicatoren voor minder gangbare milieuthema's zoals stikstof te ontwikkelen om *trade-offs* met andere thema's, bijvoorbeeld landgebruik, in kaart te brengen.

### 5.3.2 Methode

Voor de stikstofvoetafdruk van Nederlandse consumptie is gebruik gemaakt van een methode beschreven door Leach *et al.* (2012). De benadering van de stikstofvoetafdruk sluit aan bij andere voetafdrukindicatoren. De stikstofvoetafdruk omvat de totale uitstoot van reactief stikstof als gevolg van consumptie rekening houdend met emissie van stikstof buiten Nederland door gebruik of consumptie van geïmporteerde producten of grondstoffen voor de productie daarvan. Reactief stikstof omvat alle voorkomens van stikstof, zoals  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NH}_3$  en  $\text{N}_2\text{O}$ , met uitzondering van  $\text{N}_2$  dat niet reactief is. Centraal bij de berekening van deze stikstofvoetafdruk zijn zogenoemde virtuele N-factoren per voedingsproduct. Deze factoren geven aan hoeveel kg stikstof (N) er nodig is om één kg stikstof (in feite eiwit) in voeding te produceren. De virtuele N-factor voor graan is bijvoorbeeld 1,4 terwijl die voor rundvlees 8,5 is en voor groenten zelfs 10,6.

### 5.3.3 Resultaten

De stikstofvoetafdruk van de Nederlandse consumptie bedroeg in 2008 ongeveer 25 kg per persoon (Leach *et al.*, 2012). Een meer recente studie van Galloway *et al.* (2014) geeft een waarde van 23,5 kg, maar hier ontbreekt het jaartal. Van de stikstofvoetafdruk in 2008 is ongeveer 10 procent (2,5 kg in 2008) het gevolg van energiegebruik voor transportdoeleinden, verwarming en de productie van goederen en diensten. De resterende 90 procent van de stikstofuitstoot is het gevolg

van consumptie van voedsel. Hiervan is 80 tot 85 procent het gevolg van voedselproductie in de landbouw en voedingsmiddelenindustrie met een belangrijke rol voor de import van veevoer voor de intensieve veehouderij en de melkveehouderij. Het restant betreft uitstoot bij consumptie van voedsel en toiletgang. Consumptie van vleesproducten en zuivel levert de grootste bijdrage aan de stikstofvoetafdruk. Vanwege geavanceerde rioolwaterzuivering in Nederland wordt de lozing van reactief stikstof in het milieu sterk beperkt (Galloway *et al.*, 2014).

#### 5.3.4 Discussie

De methode voor de stikstofvoetafdruk is nog in ontwikkeling. Er is bijvoorbeeld gerekend met gemiddelde N-factoren per voedseltype. De virtuele N factoren hangen af van de lokale productiewijze voor veevoer en voedselgewassen. Deze factoren zijn verschillend binnen een land (gangbare versus biologische landbouw) en tussen landen waaruit Nederland voedsel en veevoer importeert.

De hier besproken stikstofvoetafdruk die gebaseerd is op emissies geeft geen inzicht in de effecten op natuur en biodiversiteit. Hiervoor is informatie over de omvang en locatie van de depositie van stikstof nodig. In de biodiversiteitsvoetafdruk is stikstofdepositie één van de drijvende krachten van het biodiversiteitsverlies. Methoden om de stikstofvoetafdruk hieraan te koppelen zijn in ontwikkeling.

### 5.4 Ecologische voetafdruk

Het concept van de ecologische voetafdruk (*ecological footprint*) wordt gebruikt om de mondiale problematiek van eindige voorraden en de scheve welvaartsverdeling aan te geven (Wackernagel en Rees, 1996). De ecologische voetafdruk is een samengestelde indicator die het landgebruik voor de totale consumptie relateert aan de draagkracht van de aarde. Bij de ecologische voetafdruk worden alle consumptieve behoeften (inclusief energie en vis) omgerekend naar zogenoemde *global hectares*, gebruik makend van weegfactoren voor verschillende soorten landgebruik. De vergelijking van de ecologische voetafdruk van verschillende landen geeft aan dat landen met een Westers consumptieniveau verhoudingsgewijs een groot beslag leggen op de mondiaal beschikbare voorraden (WWF, 2012).

De mondiale ecologische voetafdruk geeft aan dat er momenteel al meer land nodig is dan er wereldwijd beschikbaar is. Er is dus sprake van een overschrijding van de beschikbare productiecapaciteit (*overshoot*). Dat leidt vervolgens tot de conclusie dat de huidige productiemethoden niet houdbaar zijn en tot aantasting van ecosystemen zullen leiden. Voortschrijdende ontbossing is daar een duidelijk voorbeeld van, waarbij de houtoogst in de praktijk eenmalig is en het bos als productiesysteem verdwijnt, omdat er vooral landbouwgrond voor in de plaats komt. Overigens is een groot deel van de *overshoot* te wijten aan de hoeveelheid land die nodig zou zijn om de broeikasgasemissies uit fossiele voorraden te compenseren.

Door alle gevolgen van ons consumptiepatroon om te rekenen naar één maat – namelijk het beschikbare productieve landoppervlak (in hectares) – is de ecologische voetafdruk een krachtige indicator. Zo heeft de voetafdruk burgers ervan bewust gemaakt dat hun consumptiegedrag milieuconsequenties met zich meebrengt. De ecologische voetafdruk geeft bovendien een indicatie van de effecten die, via handel, elders in de wereld ontstaan als gevolg van de consumptie in bijvoorbeeld Nederland. De ecologische voetafdruk is dan ook een succesvol communicatiemiddel gebleken in relatie tot duurzaamheid, dat veel door NGO's wordt ingezet (WNF, 2008; WWF, 2012). De ecologische voetafdruk heeft met name een sterk signalerende werking en kan gebruikt worden voor onderlinge vergelijking van landen, bedrijven en consumenten (benchmarking).

Doordat de ecologische voetafdruk alles terugbrengt tot één getal, biedt de indicator weinig aangrijpingspunten voor het beleid, zo constateerde onder andere de VROM-raad (1999). De belangrijkste redenen voor de beperkte relevantie van de geaggregeerde ecologische voetafdruk voor beleidsinspanningen zijn het fictieve landgebruik voor energie en het gebruik van mondiale gemiddelde opbrengsten en equivalentiefactoren voor verschillende typen land.

In de ecologische voetafdruk wordt het energiegebruik voor het produceren en vervoeren van goederen uitgedrukt in virtueel landgebruik, namelijk de hoeveelheid groeiend bos die nodig is ter compensatie van de CO<sub>2</sub>-emissies van fossiele energie. In de praktijk zijn er uiteraard andere mogelijkheden voor duurzaam energiegebruik dan via compensatie van emissies met bossen, zoals energiebesparing of gebruik van hernieuwbare energie (zon, wind en biomassa). Zo kan in het geval van het gebruik van bio-energie het virtueel landgebruik afnemen – doordat broeikasgasemissies afnemen – terwijl het werkelijke landbeslag juist toeneemt.

Een tweede belangrijke reden voor de beperkte bruikbaarheid van de ecologische voetafdruk voor beleid, is dat deze wordt berekend met mondiaal gemiddelde opbrengsten (*global yields*). Dit is nodig om de consumptie van landen onderling te kunnen vergelijken op basis van een uniforme kwaliteit van het gebruikte land per wereldburger. Maar dit geeft geen goed beeld van het werkelijke landgebruik voor consumptie door Nederlanders. Ook wordt gerekend met equivalentiefactoren voor omrekening van diverse grondtypen. Er kan daarom dan ook geen vergelijking worden gemaakt met de in hoofdstuk 3 beschreven fysieke landvoetafdruk die berekend wordt op basis van locatie-specifieke opbrengsten (*local yields*). Om de effecten van Nederlands beleid of maatregelen door bedrijven te kunnen bepalen is het gebruik van de ecologische voetafdruk dan ook minder geschikt. Hiervoor zijn juist locatie-specifieke opbrengsten nodig, in gebieden die voor Nederland produceren. Van Vuuren en Bouwman (2005) laten de verschillen tussen de ecologische voetafdruk en de landvoetafdruk in een scenario-studie zien.

# 6 Internationale vergelijking

## 6.1 Inleiding

In de hoofdstukken 2 tot en met 4 zijn tijdreeksen gepresenteerd van de koolstofvoetafdruk, landvoetafdruk en biodiversiteitsvoetafdruk van Nederlandse consumptie. Dit geeft inzicht in de ontwikkeling van de voetafdrukken in de afgelopen decennia. Het is daarnaast interessant om te zien hoe de voetafdrukken van Nederlandse consumptie zich verhouden tot die in andere EU-landen. In dit hoofdstuk worden de resultaten van zo'n internationale vergelijking gepresenteerd. De positie van Nederland in Europa wat betreft de koolstofvoetafdruk en de landvoetafdruk is bepaald op basis van eigen PBL-berekeningen. Voor de grondstoffen- en de watervoetafdruk is dit gedaan op basis van niet-PBL-studies.

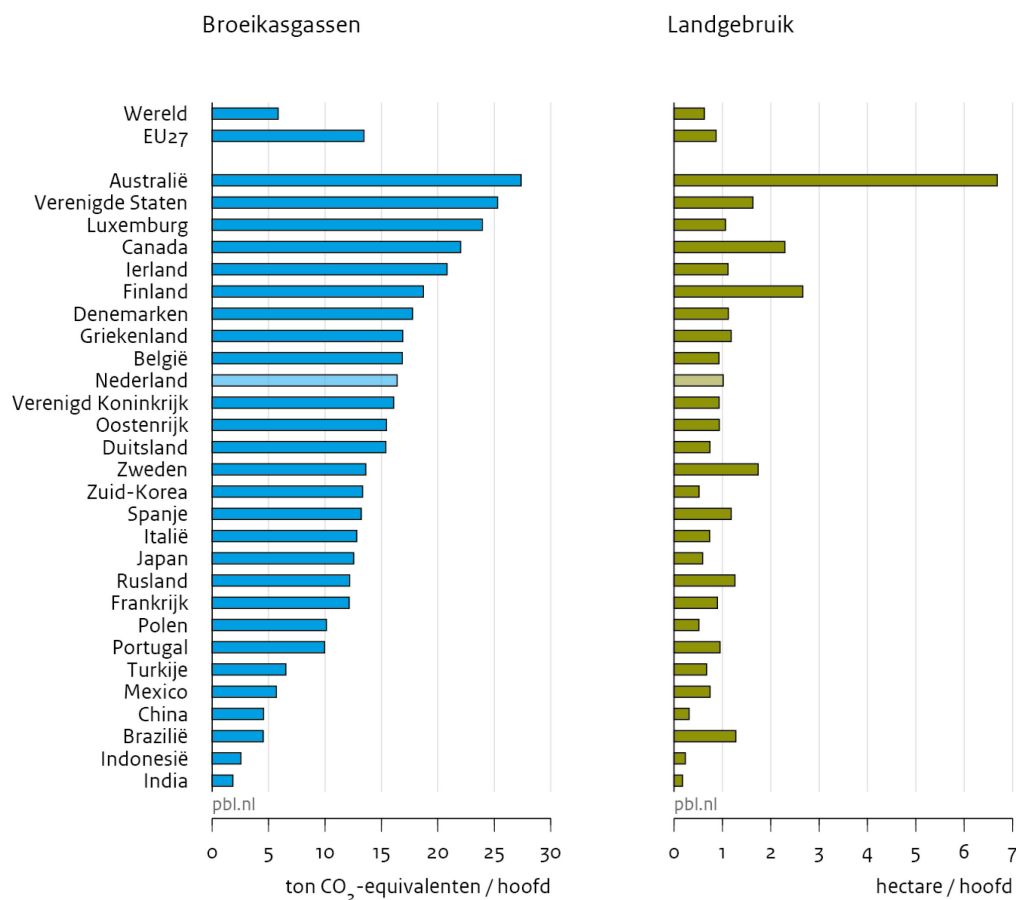
## 6.2 Methode

Voor de landenvergelijking van de koolstof- en landvoetafdruk is gebruik gemaakt van het in hoofdstuk 2 genoemde MRIO-model. Dit model heeft een uitgebreide database die het mogelijk maakt om de voetafdrukken voor verschillende landen te berekenen op basis van consistente gegevens. De berekeningsmethode is al beschreven voor de koolstofvoetafdruk en de resultaten voor Nederland in dit hoofdstuk zijn dan ook consistent met de in hoofdstuk 2 gepresenteerde getallen. Voor de internationale vergelijking van de landvoetafdruk is eveneens gebruik gemaakt van het MRIO-model. Voor de tijdreeks voor Nederland is dit al beschreven in paragraaf 3.5. De resultaten worden gepresenteerd voor de EU27. In de in het MRIO-model gebruikte databases was Kroatië namelijk nog niet opgenomen.

## 6.3 Resultaten voor de koolstof- en landvoetafdruk

Met een koolstofvoetafdruk van 16,4 ton CO<sub>2</sub>-equivalenten per capita zit Nederland ruim 20 procent boven het EU27 gemiddelde en bevindt zich daarmee binnen de EU op plaats 8 (met de hoogste voetafdruk per persoon op plaats 1). Vergeleken met omliggende landen zoals Duitsland, het Verenigd Koninkrijk en Denemarken is het verschil minder dan 10 procent (figuur 6.1). De landen in Oost- en Zuid-Europa hebben een duidelijk lagere koolstofvoetafdruk per persoon als gevolg van een lagere levensstandaard. Ten opzichte van het wereldgemiddelde ligt de koolstofvoetafdruk van Nederlandse consumptie bijna een factor 3 hoger.

## Broeikasgasemissies en landgebruik door consumptie per regio, 2007



Bron: Wilting, 2014

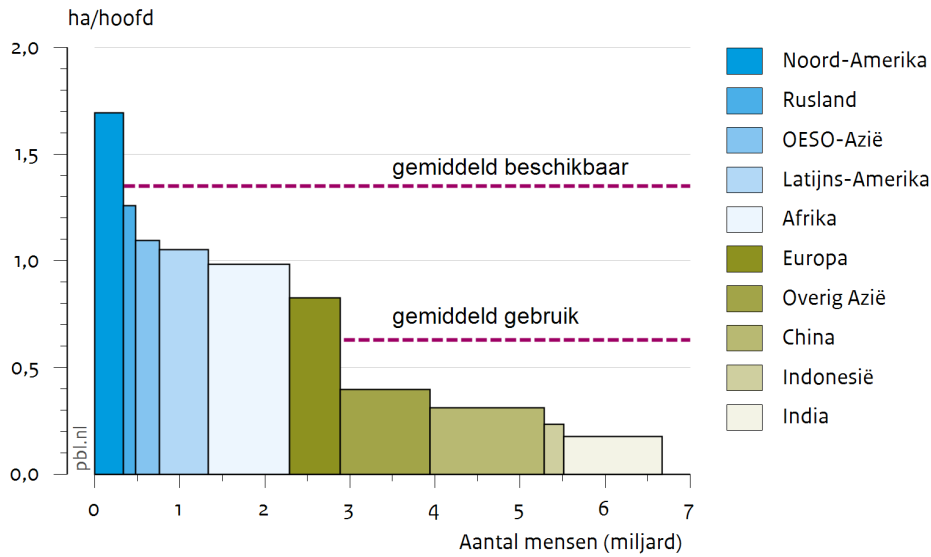
Figuur 6.1 Koolstof- en landvoetafdruk per capita.

Voor de landvoetafdruk zit Nederland relatief dicht bij het EU-gemiddelde (ongeveer 15 procent hoger), maar zo'n 40 procent hoger dan de landvoetafdruk van private en publieke consumptie in buurland Duitsland. Deze uitkomst is in overeenstemming met de resultaten van andere MRIO-studies (zie 6.5), maar een verklaring voor dit verschil is zonder diepgaande analyse niet te geven. Een dergelijke analyse valt buiten de scope van deze studie. Binnen de EU27 staat Nederland hiermee op positie 10. Ten opzichte van het wereldgemiddelde ligt de landvoetafdruk per inwoner van Nederland ruim 60 procent hoger mede vanwege het Westerse consumptiepatroon van de Nederlandse bevolking. Hogere gemiddelde opbrengsten in Nederland zijn niet voldoende om de hogere consumptie te compenseren.

In 2007 bedroeg het landgebruik van 6,7 miljard wereldburgers voor land- en bosbouw ongeveer 42 miljoen km<sup>2</sup> (exclusief de extensieve graslanden en bebouwde omgeving). Dit is ruim 0,6 hectare per persoon (figuur 6.2). Wereldwijd kan maximaal 70 miljoen km<sup>2</sup> worden gebruikt voor intensieve landbouw (PBL, 2008). Daarnaast kan nog 20 miljoen km<sup>2</sup> worden gebruikt voor bosbouw omdat dit een minder intensief gebruik vereist. Theoretisch kan dus in totaal 90 miljoen km<sup>2</sup> worden gebruikt, maar dan zijn wel alle natuurlijke graslanden en bossen omgezet in landbouwgronden en plantages.



## Mondiaal landgebruik door consumptie, 2007



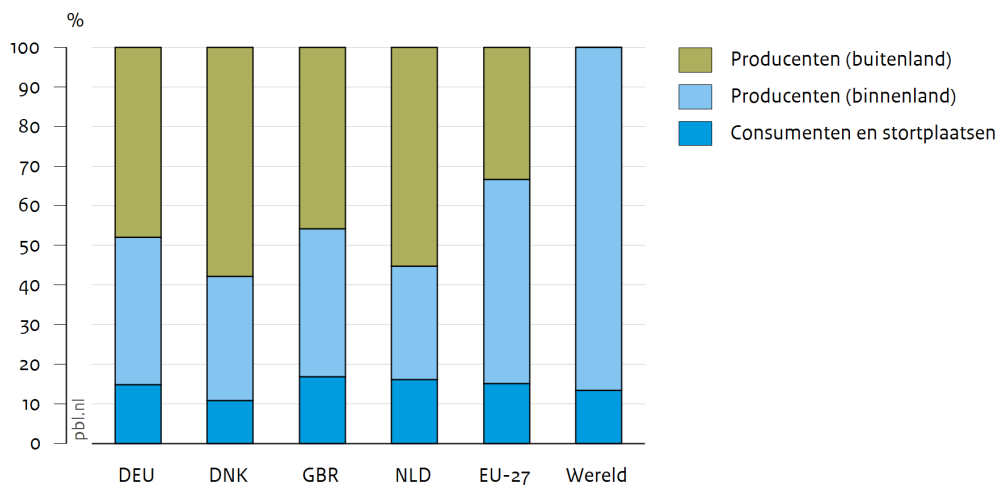
Bron: Wilting, 2014

Figuur 6.2 Mondiaal landgebruik door consumptie en gerelateerd aan de beschikbare hoeveelheid landoppervlak.

## 6.4 Vergelijking met omringende landen

Nederland is een relatief klein land en de Nederlandse economie is heel open. Net als in Denemarken is meer dan de helft van de koolstofvoetafdruk gerelateerd aan importen (figuur 6.3). Ook voor grotere landen als Duitsland en het Verenigd Koninkrijk ligt ongeveer 50 procent van de koolstofvoetafdruk in het buitenland. In alle landen bedragen de broeikasgassen die consumenten zelf uitstoten (inclusief die van stortplaatsen) minder dan 20 procent van de totale koolstofvoetafdruk.

### Koolstofvoetafdruk naar actoren, 2007

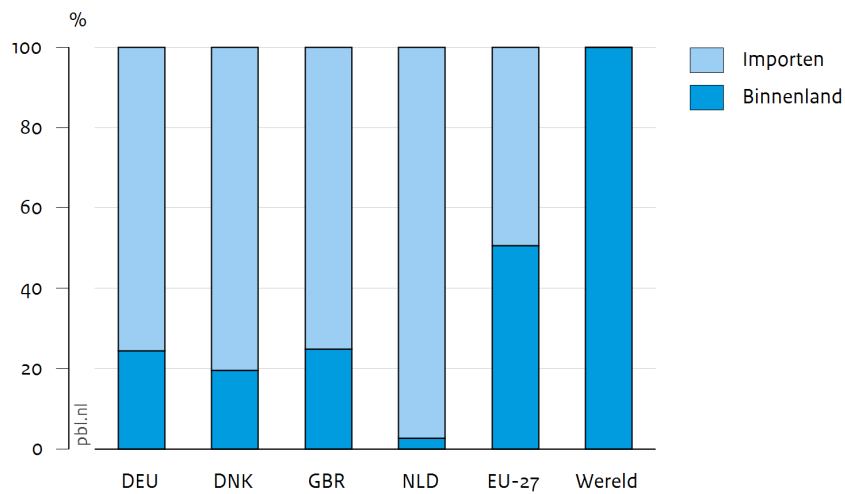


Bron: PBL

Figuur 6.3 Koolstofvoetafdruk naar actoren in binnen- en buitenland voor Nederland en omringende landen.



### Landvoetafdruk naar herkomst, 2007

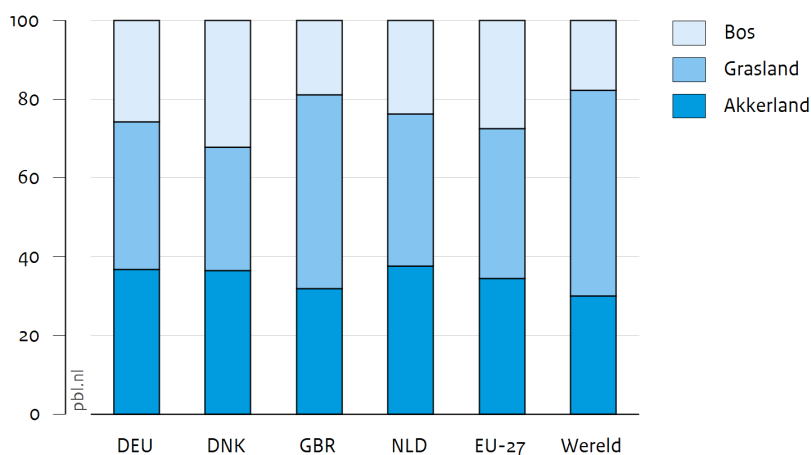


Bron: PBL

Figuur 6.4 Landvoetafdruk naar locatie van het landgebruik binnen en buiten de eigen landsgrenzen.

Bij de landvoetafdruk neemt Nederland een aparte positie in: 95 procent van de landvoetafdruk wordt veroorzaakt door importen (figuur 6.4). Berekeningen met het LUC-model gaven een waarde van 80 procent (zie hoofdstuk 3). Een belangrijk deel van het landgebruik binnen Nederland wordt gebruikt voor productie voor de uitvoer. Als gevolg daarvan moet Nederland relatief veel importeren om aan de binnenlandse consumptie te voldoen. Bij omringende landen is het aandeel binnenland in de orde van 20 tot 25 procent en voor de EU27 totaal is dit ongeveer 50 procent. Andere landen gebruiken een relatief groter aandeel van hun eigen landbouwareaal voor binnenlandse consumptie. Het directe landgebruik door consumenten zit momenteel niet in de MRIO-berekening, maar dit is hoogstens enkele procenten van het totale landgebruik en de landvoetafdruk.

### Landvoetafdruk naar gebruikstype land, 2007



Bron: PBL

Figuur 6.5 Verdeling van de landvoetafdruk naar type land.

De verdeling over landgebruiksfunctie (akkerbouw, veehouderij, bosbouw) is voor Nederland en Duitsland ongeveer gelijk (figuur 6.5). Het Verenigd Koninkrijk heeft een relatief groot aandeel grasland en Denemarken juist een relatief groot aandeel bos.

Om de geconstateerde verschillen in de landvoetafdruk tussen landen verder te kunnen duiden is een meer gedetailleerde analyse nodig. De uitkomsten van zo'n analyse kunnen bijdragen aan oplossingsrichtingen om voetafdrukken te verkleinen. In deze methodische studie zijn dergelijke analyses niet gemaakt.

## 6.5 Vergelijking voor andere voetafdrukken

In 6.3 hebben we al de positie van Nederland in de EU27 voor de koolstofvoetafdruk en de landvoetafdruk besproken. Voor de grondstoffen- en watervoetafdruk doet het PBL geen eigen berekeningen. Andere studies doen wel landenvergelijkingen op dit gebied. Tabel 6.1 laat zien dat Nederland tot de tien EU-landen met de hoogste watervoetafdruk behoort, maar dat dit voor de grondstoffenvoetafdruk niet geldt. Voor de volledigheid laat tabel 6.1 ook de positie van Nederland wat betreft de koolstof- en de landvoetafdruk zien. In alle studies zit Nederland voor deze voetafdrukindicatoren in de top-10.

Hoewel alle studies in tabel 6.1 zijn uitgevoerd met *top-down* modellen zijn er aanzienlijke verschillen in uitkomsten. Verklaringen hiervoor zijn voor de koolstof- en landvoetafdruk al gedeeltelijk besproken in hoofdstuk 2 en 3. Een verdere uitgebreide analyse van de verschillen in uitkomsten van de modellen valt buiten het kader van deze notitie.

Tabel 6.1 Positie van Nederland in de EU27 voor verschillende voetafdrukken (voetafdruk per persoon).

	Jaar	IO data	Koolstof	Land	Grondstoffen	Water
Arto <i>et al.</i> (2012)	2008	WIOD	6	4	22	9
Lenzen <i>et al.</i> (2012a)	2007	Eora	4			
Lenzen <i>et al.</i> (2013a)	2000	Eora				7
Lugschitz <i>et al.</i> (2011)	2004	GTAP		7		
Mekonnen en Hoekstra (2011)	2000					19
OPEN (2011)	2004	GTAP	4	9		11
PBL (deze studie)	2007	WIOD+GTAP	8	10		
Tukker <i>et al.</i> (2014)	2007	Exiobase	7	5	11	7
Wiedmann <i>et al.</i> (2013)	2008	Eora			11	

Land: Open Planet Economy Network: ecologische voetafdruk;

Water: Tukker *et al.*: alleen blauw water; overige studies: blauw, groen en grijs water.

De stikstofvoetafdruk verschilt per land als gevolg van verschillen in consumptiepatronen, productiemethoden en milieumaatregelen. De stikstofvoetafdruk van Nederlandse consumptie is vergelijkbaar met die van enkele andere West-Europese landen. De stikstofvoetafdruk van Duitsland, Oostenrijk en het Verenigd Koninkrijk ligt tussen 20 en 27 kg per persoon (Galloway *et al.*, 2014). Ter vergelijking, de stikstofvoetafdruk van de gemiddelde Amerikaan is 41 kg per persoon waarvan bijna 30 kg het gevolg is van voedselconsumptie. De hogere stikstofvoetafdruk van de gemiddelde Amerikaan is het gevolg van een viermaal zo hoge stikstofemissie door energiegebruik, vooral voor transport. Daarnaast is de effectieve stikstofverwijdering (zuiveringsrendement) uit de totale productie van huishoudelijk afvalwater in

de Verenigde Staten (VS) slechts 5 procent, ten opzichte van 78 procent in Nederland. Hierdoor zijn N-emissies naar water door Nederlandse consumptie veel lager dan in de VS.

## 6.6 Discussie

Een MRIO-model maakt het mogelijk om voetafdrukken voor verschillende thema's en landen op een consistente manier te berekenen. Dit maakt vergelijking tussen landen mogelijk. Verder onderzoek naar de factoren die bijdragen aan de voetafdruk en naar de verschillen hierin tussen landen kan bijdragen aan het vinden van oplossingsrichtingen voor het verlagen van de milieudruk van consumptie.

Naast verschillen in productiemethoden of consumptiepatronen kunnen ook klimatologische of geologische omstandigheden leiden tot verschillen in voetafdrukuitkomsten. De hoge landvoetafdruk in Australië wordt bijvoorbeeld voor een groot deel veroorzaakt door de aanwezigheid van minder vruchtbare woestijngronden. Bij een vergelijking met de landvoetafdruk van bijvoorbeeld Nederland, die grotendeels productie op vruchtbare landbouwgrond betreft, moet hiermee rekening worden gehouden. Op dit punt onderscheidt de ecologische voetafdruk zich van landvoetafdrukberekeningen, omdat de ecologische voetafdruk rekent met wereldgemiddelde opbrengsten terwijl de landvoetafdruk gebruik maakt van gemiddelde opbrengsten per land of regio.

# 7 Bruikbaarheid voor beleid

## 7.1 Inleiding

In de voorgaande hoofdstukken is uitgebreid ingegaan op verschillende voetafdruk-indicatoren die de milieudruk van Nederlandse consumptie in binnen- en buitenland beschrijven. Voor een aantal gangbare indicatoren is de omvang gepresenteerd en voor de koolstof-, land- en biodiversiteitsvoetafdruk ook de trends. Tenslotte is ook de omvang van de milieudruk van consumptie per Nederlander vergeleken met die van andere wereldburgers. In dit hoofdstuk wordt aangegeven hoe al deze informatie van nut kan zijn in het nationale beleid. Daarmee willen we handen en voeten geven aan de voetafdrukindicatoren voor beleidsmakers.

## 7.2 Welke inzichten leveren nationale voetafdrukindicatoren?

Het nationale milieubeleid is gericht op milieudruk van bedrijven en consumenten in Nederland. Voetafdrukindicatoren genereren aanvullende informatie over de gevolgen van de milieudruk veroorzaakt door Nederlandse consumptie. De beschikbaarheid van informatie over voetafdrukindicatoren levert daarmee een andere invalshoek van waaruit de milieudruk en -impacts in binnen- en buitenland verder verkleind kunnen worden. De inzichten die voetafdrukindicatoren leveren zijn:

1. De *omvang en effecten* van de milieudruk van consumptie in een bepaald jaar. Dit geeft aan wat de invloed is die Nederland mondiaal op milieu en natuur heeft via productie en import van goederen en diensten voor de Nederlandse consumptie. Een verdere detaillering kan inzichtelijk maken welke sectoren, producten en regio's vooral bijdragen aan de voetafdruk. Dit kan helpen bij de prioritering van aan te pakken problemen in het beleid, bijvoorbeeld specifieke consumptiecategorieën met een relatief grote impact. Meerwaarde van de voetafdruk voor beleid is vooral het zichtbaar maken van de gevolgen van Nederlandse consumptie voor natuur en biodiversiteit in het buitenland. Het merendeel van bijvoorbeeld het landgebruik voor consumptie ligt buiten de Nederlandse grenzen, wat betekent dat er vooral internationaal gericht beleid nodig is om de effecten van de landvoetafdruk te verminderen. Dit biedt de overheid de mogelijkheid vanuit een internationaal verantwoordelijkheidsbesef een bijdrage te leveren aan mondiale milieudoelen.
2. Met het beschikbaar hebben van *trends* in de verschillende voetafdrukindicatoren is het mogelijk om ontwikkelingen in de onderliggende drijvende krachten van de voetafdruk in de tijd te analyseren. Met zogenoemde structurele decompositie-analyses kunnen de trends worden ontleed in bijdragen van ontwikkelingen in de lokale milieudruk en productie-efficiency, veranderingen in de productieketen en veranderingen in volume en structuur van consumptie. Daarmee kan een beeld gegeven worden van de potentiële effecten van beleidsmaatregelen op specifieke terreinen.

3. Daarnaast hebben *trends* in de voetafdruk een signalerende functie voor de mogelijke *trade-offs* van beleid gericht op productie in Nederland, zoals verschuiving van emissies en landgebruik naar elders in de wereld en de overall impacts op klimaat en biodiversiteit.
4. Een *internationale vergelijking* tenslotte beantwoordt vragen als hoe doet Nederland het ten opzichte van omringende landen, waarom doet Nederland het beter of slechter en hoe komt dat? Deze internationale vergelijking geeft inzicht in achterliggende oorzaken en identificeert daarmee mogelijkheden voor oplossingsrichtingen. Daarnaast is het nuttig om in het kader van de EU productie- en consumptiestrategie de voortgang bij te houden en zo nodig beleid van landen af te stemmen.

De genoemde inzichten leiden tot legio mogelijkheden voor vervolganalyses om opties voor en resultaten van beleid te verkennen en evalueren. Wat zou bijvoorbeeld het effect zijn van een verbeterde efficiency bij productie op de voetafdruk? En welke veranderingen in het consumptiepakket zorgen vooral voor een verduurzaming van de voetafdruk? Het beantwoorden van deze en andere beleidsvragen vergt nader onderzoek en modelontwikkeling. Dat valt echter buiten de scope van deze methodische notitie, die met name is gericht op het presenteren en verantwoorden van de berekende tijdreeksen in het kader van informatievoorziening.

### 7.3 Diversiteit in methoden en uitkomsten

Voor een bepaalde nationale voetafdrukindicator in een specifiek jaar, bijvoorbeeld de koolstofvoetafdruk in Nederland in 2005, worden door wetenschappers verschillende waarden gerapporteerd. De verschillen worden veelal veroorzaakt door een verschil in berekeningsmethode (bijvoorbeeld *bottom-up* versus *top-down*), door een andere afbakening van het systeem (bijvoorbeeld extensief grasland wel of niet meegenomen) of door andere aannames of weging in de berekening van de voetafdruk. Dit laatste speelt bijvoorbeeld bij de weging van de effecten van verschillende broeikasgassen op het klimaat. Ook in de ecologische voetafdruk wordt een weging toegepast waardoor bijvoorbeeld een hectare akkerland anders wordt gewaardeerd dan een hectare bebouwd land.

Verskillende waarden voor een bepaalde voetafdrukindicator zijn verwarrend. Dat neemt niet weg dat de onderliggende informatie wel degelijk zinvol kan zijn bijvoorbeeld voor prioritering. Ondanks verschillen in methoden leiden berekeningen van de voetafdruk voor een bepaald milieuthema vaak tot dezelfde conclusies in termen van producten, sectoren of regio's die daarin een belangrijk aandeel hebben. Ook gaan trends vaak in dezelfde richting en leveren daarmee consistente informatie. Het is daarom niet altijd van belang om de exacte uitkomst te weten. Wel is het van belang dat alle betrokken actoren het eens zijn over de gebruikte methode en de uitkomsten, zodat daarover geen discussie ontstaat en op basis van deze uitkomsten verbeteracties kunnen worden ingezet. Ook wanneer concrete kwantitatieve doelen voor een bepaalde voetafdruk op nationaal niveau worden gesteld, is het uiteraard van belang om afspraken te maken over te gebruiken methoden en gegevens. Internationale harmonisatie in het gebruik en verzamelen van gegevens en afspraken over de te gebruiken methoden vergroten de bruikbaarheid van voetafdrukindicatoren in het beleid.

### 7.4 Indicatoren voor beleid

Het beleid heeft verschillende mogelijkheden om de voetafdruk te verkleinen. Deze mogelijkheden zijn te vinden bij alle actoren langs de gehele productieketen. Van

Oorschot *et al.* (2012) onderscheiden drie algemene hoofdrichtingen die bij kunnen dragen aan het reduceren van zowel de grootte (omvang) als de diepte (milieu-effecten of -impacts) van de voetafdruk:

- het verkleinen van de lokale milieueffecten door het verbeteren van productiemethoden en productieprocessen;
- het efficiënter gebruik van inputs zoals energie, water en grondstoffen bij productie;
- het maken van andere keuzes in consumptiepatronen.

In Van Oorschot *et al.* (2012) staan diverse voorbeelden van deze oplossingsrichtingen. Opties om de voetafdruk te verkleinen kunnen onbedoelde neveneffecten hebben. Die neveneffecten kunnen zowel positief (synergieën) of negatief van aard zijn (*trade-offs*). Zo betekent het toenemend gebruik van bio-energie om de emissie van broeikasgassen uit fossiele bronnen te verminderen over het algemeen dat er meer landgebruik zal zijn. Verder zullen maatregelen om de broeikasgasemissie te verlagen niet meteen resulteren in een afname van de biodiversiteitseffecten. Ook kunnen er *rebound*-effecten optreden die de verwachte milieuwinst voor een deel weer teniet doen. Bijvoorbeeld huishoudelijke apparaten met een hogere energie-efficiëntie of energiezuinige tuinlampen kunnen leiden tot een groter gebruik ervan (Oosterhuis *et al.*, 2013).

Om prioriteiten voor beleid aan te geven, en ook om heldere beleidskeuzes te maken, presenteert het PBL geen geaggregeerde voetafdrukindicator, maar individuele voetafdrukindicatoren voor verschillende milieuthema's (Van Oorschot *et al.*, 2012). Hierdoor ontstaat inzicht in de daadwerkelijke milieubelasting, evenals in de oorzaken en effecten daarvan. Verder kunnen de resultaten van beleid beter worden weergegeven met indicatoren die dichter aansluiten bij de geformuleerde beleidsdoelen, dan met een geaggregeerde indicator. Door voetafdrukindicatoren te presenteren voor verschillende milieuthema's is beter te zien wat de effecten van (voorgenomen) maatregelen zijn, en of er mogelijk onbedoelde *trade-offs* en afwentelingen optreden, zoals *trade-offs* tussen milieudossiers (land of klimaat), of afwenteling naar regio's elders in de wereld. Een samengestelde indicator maakt deze afriuilrelaties meestal niet zichtbaar.

Modelanalyses kunnen gebruikt worden voor het doorrekenen van de effecten van opties om de voetafdruk te verkleinen. Voor een deel zijn de PBL-modellen daar al op ingericht. Rood *et al.* (2004) hebben bijvoorbeeld de effecten van vleesvervanging en materiaalsubstitutie op de voetafdruk berekend. Voor het uitvoeren van de in 7.2 genoemde structurele decompositie analyses is verdere modelontwikkeling nodig, hoewel hiermee eerder al ervaring is opgedaan (Wilting *et al.*, 2006). Tevens is het voor beleidsondersteuning van belang dat gegevensreeksen gecontinueerd worden en tijdig geactualiseerd. In hoofdstuk 2 en 3 is bijvoorbeeld de WIOD database gebruikt met gegevens voor de jaren 1995-2011. Op dit moment is echter onzeker of en wanneer gegevens voor meer recente jaren beschikbaar komen. Ook om te kunnen analyseren hoe Nederland zich ontwikkelt ten opzichte van andere landen is het van belang dat er internationale reeksen van voetafdrukindicatoren beschikbaar zijn en regelmatig geactualiseerd worden. De landenvergelijking betreft nu alleen het jaar 2007.

Met een groeiende wereldbevolking die gemiddeld genomen steeds welvarender wordt zal de consumptie stijgen. De milieudruk en -impacts die daarmee samenhangen zijn afhankelijk van de ontwikkeling van efficiëntere productiemethoden. Dit is op een eenvoudige manier te duiden met de IPAT-formule (Chertow, 2000):

$$\text{Impact} = \text{Population} \times \text{Affluence} \times \text{Technology}.$$

Op het mondiale schaalniveau heeft de voetafdruk een signalerende functie door de totale impact van consumptie te relateren aan de grenzen van de mondiale milieugebruiksruimte, de zogenoemde *planetary boundaries* (Rockström *et al.*, 2009). Daarvan kan een 'eerlijke' gebruiksruimte per wereldburger worden afgeleid, die als

streefdoel zou kunnen dienen (ook wel *fair share* genoemd). Met zo'n streefdoel kan een bijdrage worden gegeven aan discussies over het mondiale verdelingsvraagstuk, bijvoorbeeld in het kader van de *Sustainable Development Goals* (SDG's). Deze mondiale doelen kunnen vervolgens worden vertaald in regionale of nationale doelstellingen (Hajer *et al.*, 2015), iets wat momenteel in een aantal Europese landen ook gebeurt (Dao *et al.*, 2015; Nykvist *et al.*, 2013).

Bij het zoeken van geschikte indicatoren voor beleid moet dus worden bedacht dat de keuze afhangt van het dossier, de integraliteit daarvan en het schaalniveau (nationaal beleid, internationaal beleid, of mondiaal). We illustreren dit aan de hand van landgebruik. Wanneer het doel is om de daadwerkelijke invloed van de eigen nationale consumptie te laten zien wordt aanbevolen om met regio-specifieke opbrengstcijfers (*local yields*) te rekenen. Op deze manier wordt inzichtelijk wat de effecten van specifieke maatregelen in verschillende landen zijn, waar verbetering mogelijk is en waar mogelijke milieueffecten zullen liggen. Dat zal per land heel anders kunnen zijn. Bij mondiale vraagstukken, bijvoorbeeld verdelingsvraagstukken, kan het gebruik van mondiale gemiddelden (*global yields*) de voorkeur hebben. Dit gebeurt bijvoorbeeld in de berekening van de ecologische voetafdruk. Afhankelijk van het beleidsdossier, de ruimtelijke schaal, en beleidsvraag wordt daarom een relevante set van indicatoren gekozen.

## 7.5 Tot slot

Voetafdrukindicatoren zijn in eerste instantie er op gericht om bewustwording van ketenverantwoordelijkheid bij bedrijven en consumenten te bevorderen. Ze hebben daarnaast een signalerende functie waarbij over grenzen heen wordt gekeken en inzicht wordt geboden in de orde van grootte van aan te pakken problemen. Door beleid te voeren op de onderliggende oorzaken die bijdragen aan de voetafdruk kan de voetafdruk worden verkleind. Denk bijvoorbeeld aan het verminderen van de milieueffecten van grondstofproductie, het verbeteren van efficiency bij het verwerken van grondstoffen, en het veranderen van consumptiepatronen. Hiervoor is een integrale aanpak nodig, waarbij rekening wordt gehouden met alle actoren in productieketens en de genoemde oplossingsrichtingen integraal worden beoordeeld, gecombineerd en gestimuleerd.

Met de relevante indicatoren kunnen de effecten van stappen die worden gezet op verschillende beleidsterreinen zichtbaar worden gemaakt. Hiermee zijn voetafdrukindicatoren een geschikt monitoringsinstrument. Voetafdrukindicatoren hebben op deze manier een wisselwerking met vele beleidsterreinen. Inzicht in de historische ontwikkeling van een aantal belangrijke voetafdrukindicatoren is hierbij van belang. Het presenteren van jaarlijkse of periodieke reeksen voor verschillende voetafdrukindicatoren, bijvoorbeeld in het Compendium voor de Leefomgeving en de Monitor Duurzaam Nederland, is daarvoor een eerste stap.



# Literatuur

- Alcamo, J., Henrichs, T., 2002. Critical regions: A model-based estimation of world water resources sensitive to global changes. *Aquat. Sci.* 64, 352-362.
- Alkemade, R., van Oorschot, M., Miles, L., Nellemann, C., Bakkenes, M., ten Brink, B., 2009. GLOBIO3: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Loss. *Ecosystems* 12, 374-390.
- Arto, I., Genty, A., Rueda-Cantucho, J.M., Villanueva, A., Andreoni, V., 2012. Global Resources Use and Pollution, Volume 1 / Production, Consumption and Trade (1995-2008). European Commission, Joint Research Centre, Institute for Prospective Technological Studies (JRC-IPTS), Luxembourg.
- Bergsma, G.C., Odegard, I.Y.R., de Bie, S., Head, M.E., Croezen, H.J., 2014. Benchmark Biodiversiteit. De impact op biodiversiteit van Nederlandse sectoren en bedrijven. CE-Delft, Delft, p. 152.
- Bruckner, M., Fischer, G., Tramberend, S., Giljum, S., 2015. Measuring telecouplings in the global land system: A review and comparative evaluation of land footprint accounting methods. *Ecological Economics* 114, 11-21.
- Bruckner, M., Giljum, S., Lutz, C., Wiebe, K.S., 2012. Materials embodied in international trade – Global material extraction and consumption between 1995 and 2005. *Global Environmental Change* 22, 568-576.
- CBS, 2013. Environmental Accounts of the Netherlands 2012. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen.
- CBS, 2014a. Monitor Duurzaam Nederland 2014 Indicatorenrapport. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag.
- CBS, 2014b. Statline, Statistiek van de internationale handel. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen.
- CBS, PBL, WUR, 2015. Compendium voor de Leefomgeving, [www.clo.nl](http://www.clo.nl). CBS, Den Haag, PBL, Den Haag, en Wageningen UR, Wageningen.
- Chertow, M.R., 2000. The IPAT Equation and Its Variants. *Journal of Industrial Ecology* 4, 13-29.
- Dao, H., Friot, D., Peduzzi, P., Chatenoux, B., De Bono, A., Schwarzer, S., 2015. Environmental limits and Swiss footprints based on Planetary Boundaries. UNEP/GRID-Geneva & University of Geneva, Geneva, Switzerland.
- De Baan, L., Alkemade, R., Koellner, T., 2011. Land use impacts on biodiversity in LCA: a global approach. *International Journal of Life Cycle Assessment* 18, 1216-1230.
- Delahaye, R., 2012. Materiaalstromen in raw material equivalents (RME), intern CBS rapport. Centraal Bureau voor de Statistiek, Den Haag/Heerlen, Nederland.
- Den Elzen, M.J., Olivier, J.J., Höhne, N., Janssens-Maenhout, G., 2013. Countries' contributions to climate change: effect of accounting for all greenhouse gases, recent trends, basic needs and technological progress. *Climatic Change* 121, 397-412.
- Dornburg, V., van Vuuren, D., van de Ven, G., Langeveld, H., Meeusen, M., Banse, M., van Oorschot, M., Ros, J., van den Born, G.-J., Aiking, H., Londo, M., Mozaffarian, H., Verweij, P., Lysen, E., Faaij, A., 2010. Bioenergy revisited: Key factors in global potentials of bioenergy. *Energy & Environmental Science* 3, 258-267.
- Edens, B., Hoekstra, R., Zult, D., Lemmers, O., Wilting, H., Wu, R., te verschijnen. SNAC: a method to create carbon footprint estimates consistent with national accounts. *Economic Systems Research*.
- FAO, 2014. FAOSTAT, online databases voedsel en landbouw, jaarlijks.
- Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S., Hawthorne, P., 2008. Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt. *Science* 319, 1235-1238.
- Feng, K., Chapagain, A., Suh, S., Pfister, S., Hubacek, K., 2011. Comparison of Bottom-up and Top-down Approaches to Calculating the Water Footprints of Nations. *Economic Systems Research* 23, 371-385.
- Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., Giljum, S., 2012. Integrating Ecological, Carbon and Water footprint into a "Footprint Family" of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet. *Ecological Indicators* 16, 100-112.
- Galloway, J.N., Winiwarter, W., Leip, A., Leach, A.M., Bleeker, A., Erisman, J.W., 2014. Nitrogen footprints: past, present and future. *Environmental Research Letters* 9, 115003.



- Giljum, S., Burger, E., Hinterberger, F., Lutter, S., Bruckner, M., 2011. A comprehensive set of resource use indicators from the micro to the macro level. *Resources, Conservation and Recycling* 55, 300-308.
- Goedkoop, B., Heijungs, R., Huijbregts, M., De Schryver, A., Struijs, J., van Zelm, R., 2008. ReCiPe 2008. A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Ministerie van VROM, Den Haag, p. 132.
- Hajer, M., Nilsson, M., Raworth, K., Bakker, P., Berkhout, F., de Boer, Y., Rockström, J., Ludwig, K., Kok, M., 2015. Beyond Cockpit-ism: Four Insights to Enhance the Transformative Potential of the Sustainable Development Goals. *Sustainability* 7, 1651-1660.
- Hanafiah, M.M., Hendriks, A.J., Huijbregts, M.A.J., 2012. Comparing the ecological footprint with the biodiversity footprint of products. *Journal of Cleaner Production* 37, 107-114.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., 2011. *The Water Footprint Assessment Manual; Setting the Global Standard*. Earthscan, London.
- Huijbregts, M., Steinmann, Z., Stam, G., van Zelm, R., 2014. Update of emission-related impact categories in ReCiPe2008. Radboud Universiteit Nijmegen, Nijmegen.
- IFEU, 2012. Conversion of European product flows into raw material equivalents. Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg, Duitsland.
- Inomata, S., Owen, A., 2014. A Comparative Evaluation of Multi-Regional Input-Output Databases. *Economic Systems Research* 26, 239-244.
- JRC/PBL, 2011, 2012. Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.2 of 11 November 2011 and version 4.2 FT 2010 released in 2012. European Commission, Joint Research Centre (JRC) and PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, Ispra/The Hague.
- Kissinger, G., Herold, M., De Sy, V., 2012. Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers. Lexeme Consulting, Vancouver, Canada.
- Le Quéré, C., Peters, G.P., Andres, R.J., Andrew, R.M., Boden, T., Ciais, P., Friedlingstein, P., Houghton, R.A., Marland, G., Moriarty, R., Sitch, S., Tans, P., Arneeth, A., Arvanitis, A., Bakker, D.C.E., Bopp, L., Canadell, J.G., Chini, L.P., Doney, S.C., Harper, A., Harris, I., House, J.I., Jain, A.K., Jones, S.D., Kato, E., Keeling, R.F., Klein Goldewijk, K., Körtzinger, A., Koven, C., Lefèvre, N., Omar, A., Ono, T., Park, G.H., Pfiel, B., Poulter, B., Raupach, M.R., Regnier, P., Rödenbeck, C., Saito, S., Schwinger, J., Segschneider, J., Stocker, B.D., Tilbrook, B., van Heuven, S., Viovy, N., Wanninkhof, R., Wiltshire, A., Zaehle, S., Yue, C., 2013. Global carbon budget 2013. *Earth Syst. Sci. Data Discuss.* 6, 689-760.
- Leach, A.M., Galloway, J.N., Bleeker, A., Erisman, J.W., Kohn, R., Kitzes, J., 2012. A nitrogen footprint model to help consumers understand their role in nitrogen losses to the environment. *Environmental Development* 1, 40-66.
- LEI, CBS, 2014. Online Land en tuinbouwcijfers, Den Haag, pp. <http://www.lei.wur.nl/NL/statistieken/Land+-en+tuinbouwcijfers/>.
- Lenzen, M., Kanemoto, K., Moran, D., Geschke, A., 2012a. Mapping the structure of the world economy. *Environmental Science and Technology* 46, 8374-8381.
- Lenzen, M., Moran, D., Bhaduri, A., Kanemoto, K., Bekchanov, M., Geschke, A., Foran, B., 2013a. International trade of scarce water. *Ecological Economics* 94, 78-85.
- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Foran, B., Lobefaro, L., Geschke, A., 2012b. International trade drives biodiversity threats in developing nations. *Nature* 486, 109-112.
- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K., Geschke, A., 2013b. Building Eora: a Global Multi-Region Input-Output Database at High Country and Sector Resolution. *Economic Systems Research* 25, 20-49.
- Loh, J., Green, R.E., Ricketts, T., Lamoreux, J., Jenkins, M., Kapos, V., Randers, J., 2005. The Living Planet Index: using species population time series to track trends in biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 360, 289-295.
- Lugschitz, B., Bruckner, M., Giljum, S., 2011. Europe's global land demand. Sustainable Europe Research Institute (SERI), Vienna.
- Lutter, S., Giljum, S., Lieber, M., 2014. Global Material Flow database; Material extraction data; Technical Report, Version 2014.1. Vienna University of Economics and Business (WU), Vienna.
- Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2011. National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption, Value of Water Research Report Series. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.
- Moritz, C., Agudo, R., 2013. The Future of Species Under Climate Change: Resilience or Decline? *Science* 341, 504-508.
- Narayanan, G., Badri, A.A., McDougall, R., 2012. Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 8 Data Base. Center for Global Trade Analysis, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA.

- Newbold, T., Hudson, L.N., Phillips, H.R.P., Hill, S.L.L., Contu, S., Lysenko, I., Blandon, A., Butchart, S.H.M., Booth, H.L., Day, J., De Palma, A., Harrison, M.L.K., Kirkpatrick, L., Pynegar, E., Robinson, A., Simpson, J., Mace, G.M., Scharlemann, J.P.W., Purvis, A., 2014. A global model of the response of tropical and sub-tropical forest biodiversity to anthropogenic pressures. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281.
- Nykvist, B., Persson, Å., Moberg, F., Persson, L., Cornell, S., Rockström, J., 2013. National Environmental Performance on Planetary Boundaries. The Swedish Environmental Protection Agency, Stockholm.
- Oosterhuis, F., Bouma, J., Hanemaaijer, A., 2013. Het reboundeffect bij resource efficiency. Instituut voor Milieuvraagstukken, Amsterdam.
- OPEN, 2011. EUREAPA Scenario Modelling and Policy Assessment Tool. One Planet Economy Network.
- PBL, 2008. The Netherlands In a Sustainable World: Poverty, Climate and Biodiversity; Second Sustainability Outlook. Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven.
- Peters, G.P., Marland, G., Le Quere, C., Boden, T., Canadell, J.G., Raupach, M.R., 2012. Rapid growth in CO<sub>2</sub> emissions after the 2008-2009 global financial crisis. *Nature Clim. Change* 2, 2-4.
- Peters, G.P., Minx, J.C., Weber, C.L., Edenhofer, O., 2011. Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Pimm, S.L., Raven, P.H., 2000. Extinction by numbers. *Nature* 403, 843-845.
- Probos, 2010. Crisis werkt ook in roundhoutverwerking door. Stichting Probos, Wageningen.
- Probos, 2014. Kerngegevens Bos en Hout in Nederland. Stichting Probos, Wageningen.
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., de Wit, C.A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sorlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, K., Crutzen, P., Foley, J.A., 2009. A safe operating space for humanity. *Nature* 461, 472-475.
- Rood, G.A., Wilting, H.C., Nagelhout, D., ten Brink, B.J.E., Leewis, R.J., Nijdam, D.S., 2004. Spoorzoeken naar de invloed van Nederlanders op de mondiale biodiversiteit: Model voor een ecologische voetafdruk. Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu. Milieu- en Natuurplanbureau, Bilthoven.
- RVO, 2014. Green Deal Duurzaamheid vast brandstoffen. Rapportage II 2013 RVO Rijksdienst voor Ondernemend Nederland, Utrecht, p. 37.
- RWS, 2015. Website Rijkswaterstaat, <http://www.rwsleefomgeving.nl/onderwerpen/broeikasgassen/stortplaatsen/>.
- Sala, O.E., Stuart Chapin III, F., Armesto, J.J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L.F., Jackson, R.B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D.M., Mooney, H.A., Oesterheld, M., LeRoy Poff, N., Sykes, M.T., Walker, B.H., Walker, M., Wall, D.H., 2000. Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science* 287, 1770-1774.
- Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R.A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D., Yu, T.-H., 2008. Use of U.S. Croplands for Biofuels Increases Greenhouse Gases Through Emissions from Land-Use Change. *Science* 319, 1238-1240.
- Smakhtin, V., Revenga, C., Döll, P., 2004. Taking into account environmental water requirements in global-scale water resources assessments, *Comprehensive Assessment Research Report 2*, IWMI, Colombo, Sri Lanka.
- Stehfest, E., van Vuuren, D., Kram, T., Bouwman, L., Alkemade, R., Bakkenes, M., Biemans, H., Bouwman, A., den Elzen, M., Janse, J., Lucas, P., van Minnen, J., Müller, M., Prins, A.G., 2014. Integrated Assessment of Global Environmental Change with IMAGE 3.0; Model description and policy applications. PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.
- Thomas, C.D., Cameron, A., Green, R.E., Bakkenes, M., Beaumont, L.J., Collingham, Y.C., Erasmus, B.F.N., de Siqueira, M.F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A.S., Midgley, G.F., Miles, L., Ortega-Huerta, M.A., Townsend Peterson, A., Phillips, O.L., Williams, S.E., 2004. Extinction risk from climate change. *Nature* 427, 145-148.
- Timmer, M., 2012. The World Input-Output Database (WIOD): Contents, Sources and Methods. University of Groningen, Groningen.
- Tukker, A., Bulavskaya, T., Giljum, S., de Koning, A., Lutter, S., Simas, M., Stadler, K., Wood, R., 2014. The Global Resource Footprint of Nations. Carbon, water, land and materials embodied in trade and final consumption calculated with EXIOBASE 2.1. TNO, CML, WU, NTNU, Leiden/Delft/Vienna/Trondheim.
- Tukker, A., de Koning, A., Wood, R., Hawkins, T., Lutter, S., Acosta, J., Rueda Cantuche, J.M., Bouwmeester, M., Oosterhaven, J., Drosdowski, T., Kuenen, J., 2013. EXIOPOL – Development and Illustrative Analyses of a Detailed Global MR EE SUT/IOT. *Economic Systems Research* 25, 50-70.

- UNECE, 2014. Forest Products Annual Market Review, 2012-2013. United Nations Economic Commission for Europe, New York and Geneva.
- UNFCCC, 2013. NIR submissions of the greenhouse gas inventories for Annex I countries. United Nations Framework Convention on Climate Change
- Van den Berg, M., Bakkes, J., Bouwman, L., Jeuken, M., Kram, T., Neuman, K., van Vuuren, D.P., Wilting, H., 2011. EU Resource Efficiency Perspectives in a Global Context, PBL-publicatienr. 55085001. Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag.
- Van der Voet, E., van Oers, L., Moll, S., Schütz, H., Bringezu, S., de Bruyn, S., Sevenster, M., Warringa, G., 2005. Policy Review on Decoupling: Development of indicators to assess decoupling of economic development and environmental pressure in the EU-25 and AC-3 countries. Institute of Environmental Sciences (CML), Wuppertal Institute en CE Delft, Leiden.
- Van Oel, P.R., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2008. The External Water Footprint of the Netherlands: Quantification and Impact Assessment, Value of Water Research Report Series. UNESCO-IHE, Delft.
- Van Oel, P.R., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., 2009. The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment. *Ecological Economics* 69, 82-92.
- Van Oorschot, M., Rood, T., Vixseboxse, E., Wilting, H., van der Esch, S., 2012. De Nederlandse voetafdruk op de wereld: hoe groot en hoe diep? PBL Planbureau voor de Leefomgeving, Den Haag/Bilthoven.
- Van Oorschot, M., Ros, J., Notenboom, J., 2010. Evaluation of the indirect effects of biofuels on biodiversity: assessing across spatial and temporal scales. PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, Bilthoven, the Netherlands.
- Van Vuuren, D.P., Bouwman, L.F., 2005. Exploring past and future changes in the ecological footprint for world regions. *Ecological Economics* 52, 43-62.
- VROM-raad, 1999. Mondiale duurzaamheid en de ecologische voetafdruk. VROM-raad, Den Haag.
- Wackernagel, M., Rees, W.E., 1996. *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, Gabriola Island, BC.
- Wiedmann, T.O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., Kanemoto, K., 2013. The material footprint of nations. *Proceedings of the National Academy of Sciences*.
- Williams, J.W., Jackson, S.T., Kutzbach, J.E., 2007. Projected distributions of novel and disappearing climates by 2100 AD. *PNAS* 104, 5738-5742.
- Wilting, H.C., 2014. Carbon and land footprint time series of the Netherlands – integrating data from the GTAP and WIOD databases, 22th International Input-Output Conference, Lisbon, Portugal.
- Wilting, H.C., Hoekstra, R., Schenau, S., 2006. Emissions and Trade; a Structural Decomposition Analysis for the Netherlands, Intermediate Input-Output Meeting on Sustainability, Trade & Productivity, Sendai, Japan.
- Witmer, M.C.H., Cleij, P., 2012. Water Footprint: Useful for sustainability policies? PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague.
- WNF, 2008. Nederlandse editie Living Planet Report - onze voetafdruk nader bekeken. Wereld Natuur Fonds, Zeist.
- WWF, 2012. Living Planet Report 2012. Biodiversity, biocapacity and development. World Wide Fund for Nature International, Gland. Switzerland.