



Planbureau voor de Leefomgeving

TRENDS IN NEDERLANDSE VOETAFDRIJVEN: EEN UPDATE

Methode, data en resultaten

Harry Wilting

December 2021

PBL

Colofon

Trends in Nederlandse voetafdrukken: een update. Methode, data en resultaten

© PBL Planbureau voor de Leefomgeving

Den Haag, 2021

PBL-publicatienummer: 4734

Contact

Harry Wilting

(harry.wilting@pbl.nl)

Supervisie

Rob Weterings

Auteur

Harry Wilting

Met dank aan

Corjan Brink, Julia Koch, Mark van Oorschot en Daan in 't Veld (allen PBL) voor hun bijdragen en commentaren op eerdere versies.

Redactie figuren

Durk Nijdam en Filip de Blois

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

Wilting, H. (2021) *Trends in Nederlandse voetafdrukken: een update. Methode, data en resultaten*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.

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

Inhoudsopgave

Samenvatting	5
1 Inleiding	7
1.1 Aanleiding	7
1.2 Overzicht van voetafdrukken	7
1.3 Toepassing in PBL-beleidsstudies	9
1.4 Leeswijzer	9
2 MRIO-FP-model	11
2.1 Inleiding	11
2.2 Voetafdrukmodellering	11
2.2.1 Input-outputanalyse	11
2.2.2 Consumptievoetafdruk	12
2.2.3 Productievoetafdruk	13
2.2.4 Sectorvoetafdruk	14
2.2.5 Voetafdrukken voor milieu-impacts	15
3 PBL-ICIO-database	17
3.1 Inleiding	17
3.2 Monetaire input-outputgegevens	17
3.3 Milieudrukgegevens	19
3.3.1 Broeikasgasemissies	19
3.3.2 Overige emissies naar lucht	21
3.3.3 Landgebruik	21
3.4 Biodiversiteitsverlies	23
3.4.1 Mean species abundance	23
3.4.2 Factoren voor biodiversiteitsverlies	25
4 Broeikasgasemissies	28
4.1 Inleiding	28
4.2 Broeikasgasvoetafdrukken	28
4.2.1 Nederland totaal en naar type	28
4.2.2 Bijdragen van regio's en sectoren	30
4.2.3 Consumptievoetafdruk naar productgroep	32
4.3 Vergelijking met andere studies	33
5 Landgebruik	36
5.1 Inleiding	36
5.2 Landvoetafdrukken	36
5.2.1 Nederland totaal en naar type	36
5.2.2 Bijdragen van regio's	38
5.2.3 Consumptievoetafdruk naar productgroep	39
5.3 Vergelijking met andere studies	39

6	Biodiversiteitsverlies	42
6.1	Inleiding	42
6.2	Biodiversiteitsvoetafdrukken	42
6.2.1	Nederland totaal en naar type	42
6.2.2	Bijdragen van regio's	43
6.2.3	Consumptievoetafdruk naar productgroep	44
7	Voetafdrukken: EU en mondiaal	46
7.1	Inleiding	46
7.2	EU-voetafdrukken	46
7.2.1	Voetafdrukken totaal	46
7.2.2	Vergelijking NL met EU gemiddelde	47
7.2.3	Aandeel import	48
7.3	Mondiaal landgebruik	48
	Referenties	50
	Bijlagen	54
	Bijlage A Uitwerking consumptievoetafdruk voor biodiversiteit	54
	Bijlage B Regio- en bedrijfstakindeling in PBL-ICIO	56
	Bijlage C Databases voor broeikasgasemissies	58
	Bijlage D Geaggregeerde regio's en sectoren	60
	Bijlage E Geaggregeerde productgroepen en transitithema's	61

Samenvatting

Voetafdrukindicatoren geven inzicht in de impacts van consumptie en productie op milieu en natuur. Hierbij gaat het om alle schakels in consumptie- en productieketens in zowel binnen- als buitenland. In een eerdere studie van het PBL (Planbureau voor de Leefomgeving) zijn al diverse voetafdrukindicatoren van Nederlandse consumptie tegen het licht gehouden en zijn deze voor de periode 1995-2010 berekend (Wilting *et al.* 2015). In de voorliggende notitie wordt een update van drie veel gebruikte voetafdrukken gepresenteerd voor de periode 2005-2015. Hiervoor is het model om voetafdrukken te berekenen verder ontwikkeld en is een nieuwe database ten behoeve van de berekeningen samengesteld. Deze notitie beschrijft de modellering, de gebruikte database en de uitkomsten van de berekeningen. De notitie dient hiermee tevens als een verantwoording voor de voetafdrukcijfers die gepubliceerd zijn in een aantal recente PBL-publicaties, te weten de ICER 2021, de KEV 2020 en de themastudie 'Natuur en biodiversiteit' bij de Balans van de Leefomgeving.

Nieuw ten opzicht van de eerdere studie is dat nu ook productievoetafdrukken zijn berekend. De import voor productie in Nederland ten behoeve van export blijft bij de consumptievoetafdruk buiten beeld. Aangezien deze import wel binnen de invloedssfeer van Nederlandse bedrijven valt, is het zinvol om ook inzicht in de impacts van deze import te hebben. De voetafdruk van Nederlandse productie brengt dit in beeld door rekening te houden met alle import van Nederlandse bedrijven ongeacht de bestemming (binnenlandse consumptie of export). In deze notitie wordt beschreven hoe de consumptievoetafdruk en de productievoetafdruk zich tot elkaar verhouden en tevens hoe ze zich verhouden tot de milieudruk in Nederland zelf, de territoriale milieudruk.

Voetafdrukken van nationale consumptie of productie worden gewoonlijk berekend met een economisch multiregionaal input-output (MRIO) model dat is aangevuld met informatie over milieudruk per regio en bedrijfstak. Bij het PBL is hiervoor het MRIO-FP (footprint) model ontwikkeld. In deze notitie wordt het wiskundig formalisme beschreven dat in het MRIO-FP-model gebruikt is om de consumptie- en productievoetafdrukken te berekenen. Voor de update van de voetafdrukken naar meer recente jaren is een nieuwe MRIO-database samengesteld, PBL-ICIO. Startpunt voor de database zijn de MRIO-tabellen van de Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling (OESO), de zogenaamde ICIO-tabellen. Om de bruikbaarheid van deze tabellen voor het berekenen van voetafdrukken te verbeteren is een aantal sectoren die relevant zijn in de berekeningen verder gedetailleerd. Vervolgens zijn aan PBL-ICIO gegevens over milieudruk per regio en bedrijfstak toegevoegd op basis van diverse gegevensbronnen.

De broeikasgasvoetafdrukken van Nederlandse consumptie- en productie zijn evenals de territoriale broeikasgasemissies licht afgenomen in de periode 2005-2015. De voetafdrukken zijn significant groter dan de territoriale emissies. Eén van de redenen is dat in de voetafdrukken ook rekening wordt gehouden met de uitstoot van de internationale zee- en luchtvaart. Van de drie opgenomen broeikasgassen heeft CO₂ het grootste aandeel in de broeikasgasvoetafdruk. Meer dan de helft van de emissies in de broeikasgasvoetafdrukken vindt in Nederland zelf plaats. Van de emissies buiten Nederland vindt een aanzienlijk deel in de rest van Europa plaats. Met name de uitstoot van broeikasgassen door de energiesector in binnen- en buitenland draagt aanzienlijk bij aan de broeikasgasvoetafdrukken van Nederlandse consumptie en productie. Huishoudelijk energiegebruik (inclusief de ketenemissies bij de productie van elektriciteit) en diensten hebben een grote bijdrage in de broeikasgasvoetafdruk van Nederlandse consumptie.

De landvoetafdrukken van Nederlandse consumptie en productie zijn na 2008 sterk gedaald. Vooral de afname van het areaal bosland vanwege een teruggelopen vraag naar houtproducten heeft bijgedragen aan deze daling. In 2015 had akkerland het grootste aandeel in de landvoetafdrukken. Voor de Nederlandse productie en consumptie is vooral land- en bosbouwareaal nodig in andere Europese landen, Zuid-Amerika, Afrika en Azië. Slechts een klein deel van de voetafdrukken van Nederlandse consumptie en productie betreft landgebruik in Nederland zelf. Vooral de vraag naar voedsel en bouw en infrastructuur draagt bij aan de landvoetafdruk van Nederlandse consumptie.

Voor de berekening van de biodiversiteitsvoetafdruk is een nieuwe methode ontwikkeld waarin nu ook rekening wordt gehouden met de impacts van broeikasgassen op biodiversiteit. Vanuit een voetafdrukbenadering gaat het dan om toekomstige biodiversiteitsverliezen als gevolg van de uitstoot in een specifiek jaar. In 2010 droeg de uitstoot van broeikasgassen voor meer dan de helft bij aan de gemodelleerde biodiversiteitsvoetafdrukken van Nederlandse consumptie en productie. Het grootste deel van de uitstoot van broeikasgassen vond in Nederland plaats. De biodiversiteitsverliezen als gevolg van landgebruik voor Nederlands consumptie en productie vond vooral buiten Nederland plaats met een aanzienlijk aandeel in andere Europese landen. Plantaardig en dierlijk voedsel, diensten, huishoudelijk energiegebruik en bouw en infrastructuur hebben de grootste bijdrage aan de biodiversiteitsvoetafdruk van Nederlandse consumptie.

De broeikasgasvoetafdrukken van consumptie berekend met het MRIO-FP-model op basis van PBL-ICIO zijn in lijn met die op basis van PBL-WIOD in de voorgaande studie uit 2015. De nieuw berekende voetafdrukken (op basis van PBL-ICIO) zijn echter duidelijk lager dan die gerapporteerd door het CBS op basis van de emissiehandelsbalans en SNAC-EXIOBASE. Het CBS en het PBL zijn daarom een gezamenlijk traject gestart om de modellering van voetafdrukindicatoren verder te harmoniseren. In de periode 2005-2010 was de landvoetafdruk berekend op basis van PBL-ICIO aanzienlijk lager dan die volgens PBL-WIOD. De landvoetafdruk van Nederlandse consumptie berekend op basis van PBL-ICIO was in 2015 op hetzelfde niveau als dat berekend met een landgebruiksmodel op basis van fysieke gegevens, het LUC-model.

De modelberekeningen hebben niet alleen voetafdrukcijfers voor Nederland opgeleverd, maar voor alle 69 landen en regio's in de PBL-ICIO-database. Een deel van deze resultaten is gebruikt in de ICER voor een vergelijking van de Nederlandse voetafdrukken per inwoner met die van een gemiddelde EU-inwoner. De broeikasgasvoetafdruk van Nederlandse consumptie per inwoner was in 2015 ongeveer 35 procent hoger dan het EU-gemiddelde. De landvoetafdruk van Nederlandse consumptie daarentegen lag per inwoner 15 procent lager dan het EU-gemiddelde. Bij de biodiversiteitsvoetafdrukken lag het biodiversiteitsverlies per inwoner in Nederland op hetzelfde niveau als het EU-gemiddelde. De berekeningen voor de EU laten verder zien dat ook de EU een grote voetafdruk buiten de EU-grenzen heeft. Ongeveer 28 procent van de broeikasgasemissies, 30 procent van het landgebruik en 29 procent van het biodiversiteitsverlies als gevolg van consumptie in de EU-27, vindt buiten de EU plaats.

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Het PBL heeft in 2015 een studie gepubliceerd met de trends van een aantal voetafdrukken van consumptie in Nederland voor de periode 1995-2011 (Wiling *et al.* 2015). Inmiddels zijn voetafdrukken berekend voor een meer recente reeks, namelijk de periode 2005-2015. Daarvoor is een nieuwe database, PBL-ICIO, samengesteld. Tevens is het PBL-model voor de berekening van voetafdrukken, MRIO-FP¹, geactualiseerd en uitgebreid. Naast het berekenen van voetafdrukken voor consumptie kunnen met MRIO-FP nu ook productievoetafdrukken en sectorvoetafdrukken worden berekend. Deze notitie beschrijft zowel de verschillende voetafdrukken die met MRIO-FP kunnen worden berekend als ook de PBL-ICIO database en de op basis daarvan berekende trends voor drie veel gebruikte voetafdrukken.

1.2 Overzicht van voetafdrukken

Voetafdrukindicatoren geven inzicht in de hoeveelheid milieudruk of -impact die optreedt in consumptie- of productieketens. In deze notitie betreft dat voetafdrukindicatoren vanuit het perspectief van de totale consumptie of de totale productie van een land². Figuur 1.1 geeft schematisch het verschil tussen de consumptie- en productievoetafdruk en de relatie met de territoriale milieudruk in Nederland weer.

Landen rapporteren gewoonlijk over de milieudruk die binnen de landsgrenzen plaats vindt, de zogenaamde territoriale milieudruk (de lichtblauwe delen in Figuur 1.1). Deze milieudruk wordt voornamelijk veroorzaakt door de bedrijven en inwoners van het land zelf, maar ook bedrijven of toeristen uit het buitenland dragen daar aan bij. Voetafdrukken gaan uit van een ketenbenadering. Zij laten zien welke milieudruk samenhangt met de consumptie of de productie in een land inclusief de milieudruk in het buitenland voor het produceren van de daarvoor benodigde import. Ook de milieudruk van internationaal transport wordt in beschouwing genomen. Milieudruk van de internationale zee- en luchtvaart valt voor een groot deel buiten de territoriale grenzen (CBS 2011a).

De Nederlandse consumptievoetafdruk bijvoorbeeld omvat alle milieudruk in de ketens van door Nederlanders geconsumeerde producten ongeacht waar ter wereld deze milieudruk plaats vindt. Ook de milieudruk van consumenten zelf, bijv. bij het gebruik van aardgas of motorbrandstoffen, behoort tot de consumptievoetafdruk. De Nederlandse productievoetafdruk omvat alle milieudruk van Nederlandse bedrijven inclusief de milieudruk buiten Nederland tijdens de winning van grondstoffen of de productie van halffabricaten die nodig zijn in de productieprocessen van Nederlandse bedrijven. De milieudruk van import, die zonder bewerkt te worden, worden geconsumeerd door huishoudens en de milieudruk bij consumenten zelf maakt geen deel uit van de Nederlandse productievoetafdruk.

¹ MultiRegional Input-Output FootPrint model

² Naast voetafdrukken van landen zijn er ook voetafdrukken van bijvoorbeeld producten of organisaties.

Figuur 1.1
Milieudruk van of voor Nederland vanuit verschillende perspectieven



Bron: PBL

Producenten en consumenten in binnen- en buitenland dragen met hun milieudruk bij aan de consumptie- en productievoetafdruk van Nederland. De consumptievoetafdruk omvat de milieudruk van alle producenten en consumenten als gevolg van Nederlandse consumptie. De productievoetafdruk omvat de milieudruk van alle producenten als gevolg van Nederlandse productie ongeacht de bestemming van deze productie. Daarnaast wordt aangegeven of deze milieudruk in Nederland plaats vindt of buiten Nederland. De milieudruk die op Nederlands grondgebied plaats vindt wordt ook wel territoriale milieudruk genoemd.

Figuur 1.1 laat zien dat er overlap is tussen de verschillende benaderingen om milieudruk weer te geven. De milieudruk van Nederlandse bedrijven voor de productie van in Nederland geconsumeerde goederen en diensten inclusief de milieudruk van de daarvoor benodigde import maken zowel deel uit van de Nederlandse productie- als consumptievoetafdruk. Verder wordt duidelijk dat slechts een deel van de territoriale milieudruk tot de consumptievoetafdruk behoort en een ander deel tot de productievoetafdruk. De totale voetafdruk van Nederland zou gezien kunnen worden als een combinatie van beide voetafdrukken (weergegeven door alle blokken in Figuur 1.1 met uitzondering van het lichtblauwe blok links onder), maar dat is verder niet uitgewerkt.

Lange tijd was er alleen aandacht voor de consumptievoetafdruk. De toenemende belangstelling voor productievoetafdrukken komt voort uit de interesse in sectorvoetafdrukken. Een sectorvoetafdruk geeft de milieudruk of -impact in de hele toeleveringsketen van een sector of bedrijfstak weer. Sinds de publicatie van Wilting & van Oorschot (2017) over de biodiversiteitsvoetafdruk van Nederlandse bedrijfstakken zijn het vooral financiële instellingen die hier op voort bouwen. Financiële instellingen gebruiken de sectorvoetafdruk om de milieu-impact van bedrijfstakken met elkaar te vergelijken om de risico's van hun portfolio's te kunnen bepalen (CDC Biodiversité et al. 2018; van Toor et al. 2020).

1.3 Toepassing in PBL-beleidsstudies

Met het geactualiseerde MRIO-FP-model zijn consumptie- en productievoetafdrukken voor Nederland en de EU berekend voor verschillende milieudrukken en -impacts, te weten emissies van broeikasgassen en overige stoffen naar lucht, landgebruik en biodiversiteitsverlies. Een deel van deze voetafdrukresultaten is gepubliceerd in recente PBL beleidsstudies, te weten de Integrale Circulaire Economie Rapportage (ICER) (Hanemaaijer *et al.* 2021), de Klimaat en Energieverkenning (KEV) (PBL *et al.* 2020) en de studie gerelateerd aan de Balans van de Leefomgeving (BLO) met een verdieping van het thema ‘Natuur en biodiversiteit’ (N&B) (Sanders *et al.* 2020) (Tabel 1.1). Het thema voetafdruk in de laatstgenoemde studie is verder uitgewerkt in een rapport waarin gereflecteerd wordt op het beleidsdoel van de Nederlandse overheid om de ecologische voetafdruk van Nederland te halveren (van Oorschot *et al.* 2021).

Tabel 1.1

Toepassing van met MRIO-FP berekende milieuvoetafdrukken voor Nederland en de EU in PBL beleidsstudies

Milieudruk	Consumptievoetafdruk		Productievoetafdruk	
	NL	EU	NL	EU
Broeikasgassen	KEV, N&B	ICER		ICER
Landgebruik		ICER	ICER	ICER
Biodiversiteit	ICER, N&B	ICER	ICER	ICER

ICER: *Integrale Circulaire Economie Rapportage*, KEV: *Klimaat- en Energieverkenning*, N&B: *themastudie ‘Natuur en biodiversiteit’ van de Balans van de Leefomgeving*.

Met MRIO-FP zijn niet alleen voetafdrukken voor Nederland en de EU berekend, maar ook voor landen buiten Europa. De berekende landvoetafdrukken van alle landen en regio’s in het model zijn gebruikt voor een actualisering van een figuur in het Compendium voor de Leefomgeving (CLO) die het landgebruik per burger in een aantal wereldregio’s weergeeft (CBS *et al.* 2020). Tenslotte is MRIO-FP gebruikt voor de berekening van sectorvoetafdrukken betreffende de monetaire milieuschade van materiaal-gerelateerde bedrijfstakken in verschillende EU-landen. Dit betreft een actualisatie van de studie van Brink *et al.* (2020). Een publicatie over de geactualiseerde berekeningen is in voorbereiding en in deze notitie wordt daar daarom verder niet op ingegaan.

Uit Tabel 1.1 is op te maken dat niet alle met MRIO-FP berekende voetafdrukken zijn opgenomen in de ICER. Voor de broeikasgasvoetafdruk van consumptie en productie is gebruik gemaakt van door het CBS berekende voetafdrukken op basis van de emissiehandelsbalans en SNAC-EXIOBASE (zie paragraaf 4.3). Voor de consumptievoetafdruk voor land is gebruik gemaakt van het *Land Use for Consumption* (LUC) model van het PBL (zie paragraaf 5.3). De ICER publiceert tenslotte ook nog grondstofvoetafdrukken. Die zijn evenmin met MRIO-FP berekend, maar door het CBS (2021b).

1.4 Leeswijzer

Deze notitie kan worden gezien als een wetenschappelijke beschrijving en uitgebreide verantwoording van de methode en de data van de in de genoemde beleidsstudies gepresenteerde voetafdrukcijfers op basis van het MRIO-FP-model. In de beleidsstudies ontbreekt veelal de ruimte daarvoor. Een meer uitgebreide bespreking van de resultaten en de context en duiding daarvan is daarentegen te vinden in de beleidsstudies zelf.

In deze notitie worden achtereenvolgens de methode (hoofdstuk 2), de database (hoofdstuk 3) en de resultaten besproken. De resultaten betreffen de voetafdrukken voor broeikasgassen (hoofdstuk 4) en landgebruik (hoofdstuk 5) voor de periode 2005-2015 en voor biodiversiteit voor 2010 (hoofdstuk 6). Door gebruik te maken van één model zijn alle genoemde voetafdrukken op een consistente manier berekend. Waar mogelijk worden de uitkomsten vergeleken met voetafdrukcijfers in de eerdere trendstudie uit 2015 en die in de genoemde PBL publicaties in Tabel 1.1. Voor een aantal milieudrukken is in deze publicaties namelijk voor een andere methode (van PBL of CBS) of een andere gegevensbron gekozen. In hoofdstuk 7 tenslotte worden de in PBL publicaties genoemde resultaten voor de EU en de wereld beschreven.

2 MRIO-FP-model

2.1 Inleiding

Het bij PBL ontwikkelde MRIO-FP-model dat gebruikt wordt voor het berekenen van voetafdrukken is een economisch multiregionaal input-output model uitgebreid met informatie over milieudrukken en -impacts, de zogenaamde milieu-extensies. In de Engelstalige literatuur worden dit *Environmentally-extended multiregional input-output* (EEMRIO) modellen genoemd. EEMRIO-modellen bevatten zowel economische gegevens in monetaire termen als milieudrukgegevens in fysieke termen. EEMRIO-modellen zijn bij uitstek geschikt om de milieudruk in binnen- en buitenland in ketens te laten zien (Wiedmann & Lenzen 2018).

EEMRIO-modellen combineren informatie over regionale productiestructuren met gegevens over internationale handel en zijn daarom nuttig om consumptie en productie en de daarmee samenhangende milieudruk in toeleveringsketens te traceren. Een EEMRIO-model omvat de interregionale handelsstromen die de productie en aanverwante effecten in de ene regio en de productie of consumptie in een andere regio met elkaar verbinden. Door vervolgens gegevens over gebruik van natuurlijke hulpbronnen of milieudruk te koppelen aan de productieactiviteiten in elk van deze bedrijfstakken kunnen voetafdrukken worden berekend. Hierbij worden hulpbronnen en milieudruk over de hele leveringsketen heen getraceerd en opgeteld. Door gebruik te maken van een EEMRIO-model wordt daarom rekening gehouden met de herkomst van import en de regio-specifieke productietechnologieën en eco-efficiency van productie.

In dit hoofdstuk wordt het MRIO-FP-model beschreven en op hoofdlijnen gespecificeerd voor de berekening van de consumptievoetafdruk, de productievoetafdruk en de sectorvoetafdruk voor milieudruk. Daarnaast wordt ook de uitbreiding van het model naar milieu-impacts besproken.

2.2 Voetafdrukmodellering

2.2.1 Input-outputanalyse

Met input-outputanalyse wordt de relatie tussen consumptie en productie vanuit een input-outputtabel bestudeerd (Miller & Blair 2009). In een input-outputtabel staan de directe leveringen tussen bedrijfstakken onderling (de intermediaire leveringen) en leveringen naar de eindgebruikers (de finale vraag) beschreven in monetaire termen (de waarde van de leveringen). Nationale statistische bureaus maken gewoonlijk input-outputtabellen voor hun eigen land. Er zijn echter ook input-outputtabellen beschikbaar waarin de bedrijfstakken van verschillende landen aan elkaar gekoppeld zijn op basis van internationale handelsstromen, de zogenaamde MRIO-tabellen.

In een input-outputtabel staan in de rijen per bedrijfstak de leveringen aan andere bedrijfstakken en aan de finale vraag. Deze leveringen samen zijn de output of productiewaarde van een bedrijfstak. In de kolommen staan per bedrijfstak alle leveringen vanuit andere bedrijfstakken, zoals energie, grondstoffen en diensten die benodigd zijn voor het productieproces (de input). Uit een input-outputtabel kan de zogenaamde technologische matrix worden afgeleid die per bedrijfstak de inputs uit andere bedrijfstakken in de verschillende regio's beschrijft per eenheid output. Een kolom

in de technologische matrix behorend bij een specifieke bedrijfstak beschrijft daarmee het productieproces van die bedrijfstak aan de hand van alle inputs.

In een voetafdruk wordt tevens rekening gehouden met de inputs verder terug in de keten. Om deze te kunnen berekenen is de zogenaamde Leontief-inverse (matrix) nodig, genoemd naar de grondlegger van de input-outputanalyse, Wassilli Leontief. De Leontief-inverse wordt via een wiskundig formalisme afgeleid uit de technologische matrix. De Leontief-inverse omvat niet alleen de directe inputs, maar ook alle inputs die daarvoor nodig zijn *upstream* in de ketens van deze inputs. In de technologische matrix staat in de kolom van de auto-industrie bijvoorbeeld de input van staal in de auto-industrie per eenheid output. De Leontief-inverse beschrijft ook de erts en energie die nodig waren om het staal voor de auto-industrie te produceren, en de energie die nodig was om de erts te winnen.

Met de Leontief-inverse kunnen de bijdragen van alle bedrijfstakken in de keten voor de productie van de finale vraag van een bepaalde bedrijfstak worden bepaald. Met kennis over het gebruik van natuurlijke hulpbronnen of de milieudruk in de bijdragende bedrijfstakken kunnen vervolgens voetafdrukken per milieudruk worden bepaald. De milieudruk wordt daartoe uitgedrukt in milieudrukintensiteiten, die de milieudruk per eenheid productiewaarde van een bedrijfstak beschrijven. In de volgende paragrafen wordt de berekening voor de consumptievoetafdruk, de productievoetafdruk en de sectorvoetafdruk met behulp van input-outputanalyse beschreven.

2.2.2 Consumptievoetafdruk

De consumptievoetafdruk van een land (berekend met input-outputanalyse) is de ketenmilieudruk van de totale binnenlandse finale vraag zoals die in input-outputtabellen is gedefinieerd. De finale vraag bestaat uit consumptie, zowel die van huishoudens (particuliere consumptie) als die van de overheid (publieke consumptie). Daarnaast behoren ook de leveringen aan investeringen in kapitaalgoederen door huishoudens, overheid en bedrijven tot de finale vraag in input-outputtabellen³. De leveringen aan de finale vraag kunnen zowel vanuit eigen land als direct uit het buitenland afkomstig zijn. In het tweede geval gaat het om import die in het land zelf niet verder worden bewerkt, maar die direct worden geconsumeerd, bijvoorbeeld bananen uit Costa Rica of personenauto's uit Japan.

De formule voor de consumptievoetafdruk, C^{NL} , van Nederland is:

$$C^{NL} = d(I - A)^{-1} y^{NL,c} + E^{NL} \quad (1)$$

Met:

d vector met de directe milieudrukintensiteiten van bedrijfstakken in Nederland en in het buitenland,

$(I-A)^{-1}$ Leontief-inverse matrix, met I de eenheidsmatrix en A de technologische matrix,

³ Vanuit een levenscyclusbenadering behoren investeringen in kapitaalgoederen door bedrijven, zoals gebouwen, machines en transportmiddelen, tot de productieketen. Er zijn methodes ontwikkeld om hieraan tegemoet te komen door vervangingsinvesteringen van de finale vraag te verplaatsen naar de intermediaire leveringen, maar in voetafdrukberekeningen worden deze zelden toegepast. Een voorbeeld is de studie van Södersten *et al.* (2018).

$y^{NL,c}$ finale vraag van Nederland: consumptie door huishoudens, overheidsconsumptie en investeringen (opgeteld in één vector). Dit betreft zowel de vraag aan Nederlandse bedrijfstakken als die aan bedrijfstakken in het buitenland,

E^{NL} directe milieudruk van Nederlandse consumenten.

Het eerste deel van de rechterkant in formule 1, met daarin de Leontief-inverse matrix, geeft de milieudruk weer tijdens de productie van goederen en diensten voor de finale vraag. De milieudruk van bedrijfstakken bij de productie ten behoeve van de finale vraag wordt ook wel de 'indirecte' milieudruk van consumptie genoemd. Afgezien van de aan de toeleveringsketen gerelateerde milieudruk, omvat formule 1 ook de milieudruk tijdens de consumptieactiviteiten zelf, de 'directe' milieudruk (de tweede term in de rechterkant van formule 1). Consumenten stoten bijvoorbeeld direct broeikasgassen uit door fossiele brandstoffen te gebruiken voor het verwarmen van hun huis of het gebruik van hun auto.

Formule 1 geeft de berekening voor de totale consumptievoetafdruk van Nederland. Het is echter ook mogelijk met MRIO-FP de voetafdruk te berekenen voor specifieke finale vraagcategorieën, bijvoorbeeld de consumptie van alleen huishoudens, of te berekenen welke productgroepen vooral bijdragen aan de voetafdruk. Hiertoe worden de bijdragen van afzonderlijke productgroepen, zoals voeding, energie en transport, in de totale voetafdruk bepaald. Daarnaast kunnen met MRIO-FP ook consumptieketens worden ontrafeld door te laten zien in welke regio's en bedrijfstakken milieudruk als gevolg van de Nederlandse finale vraag daadwerkelijk plaats vindt.

Consumptievoetafdrukken beschrijven de milieudruk vanuit de finale vraag van een land. Mondiaal gezien worden de territoriale milieudrukken in alle landen samen plus de milieudruk van de internationale zee- en luchtvaart herverdeeld over landen op basis van hun consumptie en er zijn geen dubbeltellingen. Voor de berekening van de consumptievoetafdruk van de EU zijn consumptievoetafdrukken voor de 27 EU-landen afzonderlijk berekend en bij elkaar geteld.

2.2.3 Productievoetafdruk

De productievoetafdruk van een land omvat de totale milieudruk van alle bedrijven in dat land plus de milieudruk in de ketens van alle import van die bedrijven. Het maakt daarbij niet uit of de productie van de bedrijven voor de binnenlandse finale vraag is of voor de export (zowel aan bedrijven als consumenten in het buitenland).

De formule voor de productievoetafdruk van de Nederlandse economie, P^{NL} , is:

$$P^{NL} = d (I - A)^{-1} y^{NL,p} \quad (2)$$

Met

d vector van de directe milieudrukintensiteiten van bedrijfstakken in Nederland en in het buitenland,

$(I-A)^{-1}$ Leontief-inverse matrix, met I de eenheidsmatrix en A de technologische matrix,

$y^{NL,p}$ finale vraag aan Nederlandse bedrijfstakken, bestaande uit de leveringen van Nederlandse bedrijfstakken aan de binnenlandse finale vraag en die aan het buitenland (zowel intermediair als finaal) opgeteld in één vector. In tegenstelling tot de consumptievoetafdruk worden hier de leveringen van buitenlandse bedrijfstakken aan de Nederlandse finale vraag op nul gesteld.

Vergeleken met de consumptievoetafdruk is de productievoetafdruk gebaseerd op een andere vraag vector. De vraag betreft hier de leveringen van Nederlandse bedrijfstakken aan de binnenlandse finale vraag en alle export. De export bevatten zowel de intermediaire leveringen aan bedrijven als finale leveringen aan consumenten in het buitenland. De intermediaire leveringen binnen Nederland zijn in de berekening uitgesloten om dubbelstellingen in de milieudruk binnen Nederland te voorkomen.

Net als voor de consumptievoetafdruk is het mogelijk om voor de totale productievoetafdruk weer te geven in welke bedrijfstakken en regio's de milieudruk in de keten daadwerkelijk plaats vindt. Het is bijvoorbeeld mogelijk het aandeel van de energiesector in China of de veehouderij in Brazilië in de Nederlandse productievoetafdruk te laten zien. Het is verder ook mogelijk om de productievoetafdruk op te delen naar bijdragen van individuele bedrijfstakken in Nederland, bijvoorbeeld vanuit het perspectief van het eindpunt van de bedrijfstakken. Een andere methode is om deze opdeling te maken op basis van de directe milieudruk van de bedrijfstak met daaraan toegevoegd de ketenmilieudruk van de import. Beide methoden zijn echter minder zinvol. Bedrijfstakken maken namelijk deel uit van elkaars ketens en de milieudruk in een bedrijfstak is daardoor niet eenduidig aan een specifieke bedrijfstak toe te wijzen. Verder wordt de bijdrage van bedrijfstakken beoordeeld op basis van een deel van hun output, en niet op basis van hun totale ketenmilieudruk. De sectorvoetafdruk daarentegen berekent wel de totale ketenmilieudruk op basis van alle leveringen (totale output) van bedrijfstakken (zie 2.2.4).

Het is mogelijk om met formule 2 de productievoetafdrukken van verschillende landen te berekenen en met elkaar te vergelijken. Ze kunnen vanwege dubbelstellingen echter niet zonder meer bij elkaar worden geteld. Een deel van de Nederlandse productievoetafdruk betreft milieudruk in Duitsland via import van grondstoffen en halffabricaten voor Nederlandse producenten. Deze milieudruk maakt ook deel uit van de productievoetafdruk van Duitsland. Voor de berekening van de productievoetafdrukken van de EU in de ICER zijn de voetafdrukken van de 27 individuele EU landen opgeteld waarbij is gecorrigeerd voor dubbelstellingen. Dit is gedaan door in de berekening de intermediaire leveringen tussen de EU-landen weg te laten uit de export van de EU-landen.

2.2.4 Sectorvoetafdruk

Voor een analyse en vergelijking van de ketenmilieudruk van individuele bedrijfstakken is de sectorvoetafdruk geschikt. De sectorvoetafdruk laat de totale ketenmilieudruk van een individuele bedrijfstak zien.

De formule voor de sectorvoetafdruk, S^j , van bedrijfstak j is:

$$S^j = d (I - A)^{-1} y^{j,*} \quad (3)$$

met

d vector van de directe milieudrukintensiteiten van bedrijfstakken in Nederland en in het buitenland,

$(I-A)^{-1}$ Leontief-inverse matrix, met I de eenheidsmatrix en A de technologische matrix,

$y^{j,*}$ de totale vraag aan bedrijfstak j , of te wel de productiewaarde van bedrijfstak j die is verlaagd door te delen door het diagonaalelement van de Leontief-inverse voor bedrijfstak j . De vraag aan andere bedrijfstakken wordt buiten beschouwing gelaten en daarmee bestaat de rest van de vector uit nullen.

Bij het bepalen van de vraag aan de bedrijfstak wordt de totale productiewaarde gedeeld door het bijbehorende diagonaalelement van de Leontief-inverse. Op die manier wordt de ketenmilieudruk berekend van de productie die uiteindelijk aan andere bedrijfstakken en de finale vraag wordt geleverd. Hierbij wordt gecorrigeerd voor de productie van de bedrijfstak zelf die in de keten nodig is voor de eigen productie. In een input-outputtabel bevat de productiewaarde van een bedrijfstak namelijk zowel de productie voor andere bedrijfstakken als de daarvoor benodigde productie van de bedrijfstak zelf. Dit onderscheid is echter niet zichtbaar aanwezig in de totale productiewaarde.

Het is mogelijk om de sectorvoetafdrukken van verschillende bedrijfstakken bij elkaar te tellen, maar dan moet er wel voor dubbeltellingen worden gecorrigeerd. Om de sectorvoetafdrukken van de auto-industrie en de overige transportmiddelenindustrie op te tellen tot de sectorvoetafdruk van de transportmiddelenindustrie dient uit de sectorvoetafdruk van de auto-industrie de milieudruk van de leveringen aan de overige transportmiddelenindustrie verwijderd te worden, aangezien die al in de sectorvoetafdruk van de overige transportmiddelenindustrie is opgenomen. Hetzelfde geldt voor de leveringen van de overige transportmiddelenindustrie aan de auto-industrie.

De aggregatie van de sectorvoetafdrukken van alle bedrijfstakken in een land waarbij gecorrigeerd wordt voor dubbeltellingen levert de productievoetafdruk op. Door de correcties worden de milieudrukken van de binnenlandse onderlinge intermediaire leveringen uit de sectorvoetafdrukken verwijderd waardoor alleen de binnenlandse milieudruk en de ketenmilieudruk van alle import van de bedrijfstakken over blijft.

2.2.5 Voetafdrukken voor milieu-impacts

In de vorige paragrafen werden formules gepresenteerd voor het berekenen van drie verschillende voetafdrukken voor milieudruk. Elk type milieudruk heeft op zich weer impact op bijvoorbeeld biodiversiteit of gezondheid. Vaak worden de impacts van verschillende milieudrukken geaggregeerd in één impactindicator. Voorbeelden zijn bijvoorbeeld indicatoren voor biodiversiteitsverlies of monetair milieuschade. Ook de ecologische voetafdruk die gebruikt wordt om consumptie te relateren aan de draagkracht van de aarde is een voorbeeld van een geaggregeerde indicator (Wackernagel & Rees 1996). Een indicator voor de biodiversiteitsvoetafdruk komt in Hoofdstuk 6 van deze notitie uitgebreid aan bod. De monetair milieuschade is een indicator waarbij de milieupact van een aantal milieudrukken op biodiversiteit en gezondheid met behulp van zogenaamde schaduwrijzen wordt geaggregeerd. Brink *et al.* (2020) hebben vanuit een ketenperspectief bijvoorbeeld de monetair milieuschade van broeikasgasemissies en andere emissies naar lucht in de ketens van materiaal-gerelateerde bedrijfstakken in een aantal West-Europese landen berekend. Deze berekeningen zijn op basis van PBL-ICIO geactualiseerd, maar de resultaten zullen gepresenteerd worden in een ander kader. De ecologische voetafdruk is niet met het PBL-MRIO-model berekend en deze wordt daarom in deze notitie niet verder besproken.

Om milieudrukken te kunnen aggregeren op basis van hun impacts in een milieu-impactvoetafdruk dient in de berekening informatie over de relatie tussen milieudruk en -impact per type te worden opgenomen. De formules voor de voetafdrukken bevatten dan een extra factor die de relatie tussen verschillende typen milieudruk en hun impacts weergeeft. De voetafdruk voor een specifieke impact is dan een gewogen aggregatie van de verschillende milieudrukken op basis van hun impacts.

De formule voor de consumptievoetafdruk voor biodiversiteit, $C^{B,NL}$ van Nederland ziet er bijvoorbeeld als volgt uit:

$$C^{B,NL} = i (B \circ D) (I - A)^{-1} y^{NL,c} + b^{NL} e^{NL} \quad (4)$$

Met

- i vector met éenen om de biodiversiteitsverliezen van de verschillende milieudrukken op te tellen,
- B matrix met factoren voor biodiversiteitsverlies per type milieudruk per bedrijfstak en regio,
- het Hadamard-product, dat is het elementsgewijs vermenigvuldigen van twee matrices,
- D matrix met de directe milieudrukintensiteiten van bedrijfstakken in Nederland en in het buitenland per type milieudruk,
- $(I-A)^{-1}$ Leontief-inverse matrix, met I de eenheidsmatrix en A de technologische matrix,
- $y^{NL,c}$ finale vraag van Nederland: consumptie door huishoudens, overheidsconsumptie en investeringen (opgeteld in één vector). Dit betreft zowel de vraag aan Nederlandse bedrijfstakken als die aan bedrijfstakken in het buitenland,
- b^{NL} vector met factoren voor biodiversiteitsverlies per type milieudruk in Nederland,
- e^{NL} directe milieudruk van Nederlandse consumenten per type milieudruk.

De formule voor het berekenen van de consumptievoetafdruk voor biodiversiteit in een multiregionale context (formule 4) staat in meer detail uitgelegd in Bijlage A. De formules voor de productievoetafdruk (formule 2) en de sectorvoetafdruk (formule 4) voor milieudruk kunnen op een zelfde manier worden uitgebreid naar milieu-impact.

3 PBL-ICIO-database

3.1 Inleiding

Er zijn diverse MRIO-databases beschikbaar voor het berekenen van voetafdrukken, zoals GTAP (Aguiar *et al.* 2019), EXIOBASE (Stadler *et al.* 2018) en Eora (Lenzen *et al.* 2013). Deze databases bestaan uit monetaire MRIO-tabellen aangevuld met milieudrukgegevens. Elk van de genoemde databases heeft zijn eigen indeling in bedrijfstakken, regio's en typen milieudruk.

MRIO-tabellen zijn gewoonlijk gebaseerd op gegevens van nationale statistische bureaus (input-outputtabellen van individuele landen) en gegevens over internationale handelsstromen. Het samenstellen van een MRIO-tabel uit deze gegevens verschilt per MRIO-database (Tukker & Dietzenbacher 2013). Verder kunnen bij het harmoniseren van de internationale handelsdata en het integreren daarvan met de nationale input-outputtabellen verschillen ontstaan tussen de 'officiële' gegevens van nationale statistische bureaus en die in de geconstrueerde MRIO-tabel. Om hieraan tegemoet te komen bevelen Tukker *et al.* (2018) aan om MRIO-analyses te baseren op MRIO-databases die zoveel mogelijk uit gaan van 'officiële' cijfers van gezaghebbende organisaties zoals de OESO of Eurostat. De OESO publiceert structureel de ICIO-database (OECD 2018) en Eurostat de FIGARO database (Remond-Tiedrez & Rueda-Cantuche 2019). Verder wordt aanbevolen deze 'officiële' tabellen verder te detailleren met cijfers uit andere bronnen waar nodig (Tukker *et al.* 2018).

Deze aanbevelingen zijn voor PBL reden geweest om een MRIO-database samen te stellen voor het berekenen van Nederlandse voetafdrukken. Deze database bevat zowel monetaire MRIO-tabellen als ook gegevens van een aantal milieudrukken, te weten de uitstoot van broeikasgassen en een aantal luchtverontreinigende stoffen (*air pollutants*), en landgebruik. Daarnaast bevat de database gegevens om biodiversiteitsvoetafdrukken te berekenen. In dit hoofdstuk wordt beschreven welke gegevensbronnen voor de database zijn gebruikt en welke bewerkingen daarop vervolgens zijn uitgevoerd.

3.2 Monetaire input-outputgegevens

In de eerdere PBL studie over trends in voetafdrukken (Wiling *et al.* 2015) is gebruik gemaakt van input-outputgegevens uit de World Input-Output Database (WIOD) met gegevens voor 1995-2011 (Timmer *et al.* 2015). De cijfers in deze tabellen liggen redelijk dicht bij die van Eurostat en de OESO en zijn daarmee een goed uitgangspunt voor voetafdrukberendingen. De landbouwsector in de WIOD tabellen is destijds verder gedetailleerd resulterend in de PBL-WIOD database.

Er zijn inmiddels WIOD-tabellen beschikbaar gekomen tot en met 2014 en CO₂ emissiegegevens tot en met 2016. Verdere actualisaties van WIOD zijn echter niet te verwachten vanwege nieuwe, alternatieve MRIO-databases van officiële, gezaghebbende organisaties. Daarom is voor de actualisatie in deze studie gekozen voor een database van een 'officiële' instantie waarvan verwacht wordt dat die wel structureel wordt geactualiseerd. Gekozen is voor de ICIO-database van de OESO. De FIGARO-database van Eurostat was bij de start van deze studie nog niet beschikbaar. In een gezamenlijk traject zullen het CBS en het PBL verder onderzoeken welke database het meest geschikt is voor het structureel berekenen van actuele voetafdrukindicatoren.

De ICIO-database, editie 2018, omvat voor elk beschikbaar jaar een MRIO-tabel met daarin 64 landen en een regio 'Rest-van-de-wereld' (OECD 2018). Voor elk land en de regio 'Rest-van-de-wereld' worden 36 bedrijfstakken onderscheiden. Alle gegevens in de ICIO-tabellen zijn in lopende prijzen in miljoenen US dollars en voor de Europese landen zijn de gegevens in ICIO consistent met die in Eurostat. Editie 2018 van de ICIO-database bevat consistente MRIO-tabellen voor de jaren 2005-2015 (OECD 2018). In november 2021 is een nieuwe versie van de ICIO-database uitgebracht (OECD 2021).

De ICIO-tabellen zijn het uitgangspunt voor de database voor de voetafdrukberoevingen, PBL-ICIO. Het aantal van 36 bedrijfstakken in de ICIO-tabellen is echter vrij geaggregeerd voor voetafdrukberoevingen en voor sommige milieuthema's zelfs niet gedetailleerd genoeg. De landbouw, bijvoorbeeld, is in de ICIO-database één geaggregeerde sector, terwijl dit op zich een nogal heterogene sector is in het produceren van producten met verschillende milieueffecten. Het uitgangspunt van één landbouwsector is te simplistisch bij het berekenen van bijvoorbeeld broeikasgas- en landvoetafdrukken, omdat (i) niet-CO₂-emissies en landgebruik significant verband houden met de landbouw; en (ii) deze emissies en landgebruik aanzienlijk verschillen per bedrijfstak in de landbouw. Daarom is voor gebruik in MRIO-FP de landbouw in de MRIO-tabellen verder gedetailleerd. Vanwege vergelijkbare redenen zijn ook de voedingsmiddelenindustrie, de energiesector en de transportsector verder gedetailleerd. De regio 'Rest-van-de-wereld' is verder gedetailleerd om een toedeling naar continenten te kunnen maken. Tabel 3.1 geeft een overzicht van de geaggregeerde bedrijfstakken en hun verdere detaillering.

Voor de desaggregatie van de vier bedrijfstakken en de regio 'Rest-van-de-wereld' is gebruik gemaakt van de GTAP-database, versie 10, (Aguiar *et al.* 2019), die meer detail in bedrijfstakken en regio's in de input-outputtabellen heeft dan de ICIO-database. De gebruikte versie is GTAP10 met gegevens voor de jaren 2004, 2007, 2011 en 2014. De desaggregatie is in vijf achtereenvolgende stappen uitgevoerd. Eerst is de landbouw verder gedetailleerd, vervolgens de voedingsmiddelenindustrie, etc. Elke desaggregatiestap bestond uit 3 deelstappen:

1. Aggregeren van de GTAP-tabellen naar de ICIO-bedrijfstak- en regio-indeling vóór desaggregatie van een specifieke bedrijfstak of regio en ná desaggregatie. Dit leidt tot zowel een geaggregeerde als een gedesaggregeerde GTAP-tabel.
2. Het bepalen van aandelen van de cellen in de gedesaggregeerde GTAP-tabel in de cellen in de geaggregeerde GTAP-tabel. Voor de niet-GTAP jaren zijn deze aandelen geïnterpoleerd en geëxtrapolleerd.
3. Het toepassen van de onder stap 2 bepaalde aandelen op de ICIO-tabellen vóór desaggregatie resulterend in gedesaggregeerde tabellen. Om de tabellen vervolgens weer in balans te brengen is een RAS-procedure toegepast op de gedesaggregeerde cellen (Stone 1961).

De originele ICIO-tabellen bevatten 36 bedrijfstakken en 65 regio's. De tabellen na desaggregeren zoals opgenomen in PBL-ICIO bevatten 48 bedrijfstakken en 69 regio's. Zie Bijlage B voor de regio-indeling en de bedrijfstakindeling in PBL-ICIO.

Tabel 3.1

Detaillering van 4 geaggregeerde bedrijfstakken en de regio 'Rest-van-de-wereld' in ICIO naar 16 bedrijfstakken en 5 regio's in PBL-ICIO op basis van GTAP

ICIO bedrijfstakken / regio	PBL-ICIO bedrijfstakken / regio's
Landbouw, bosbouw en visserij	<ul style="list-style-type: none"> a) Rijst, tarwe en overige granen b) Groenten en fruit, wortels en peulvruchten c) Overige akkerbouwgewassen d) Rundveehouderij; runderen, andere herkauwers en paarden e) Andere dierlijke producten, inclusief varkens, gevogelte, andere levende dieren en eieren f) Bosbouw g) Visserij
Voedingsmiddelen, dranken en tabak	<ul style="list-style-type: none"> a) Vlees en zuivelproducten b) Andere voedingsmiddelen c) Dranken en tabak
Elektriciteit, gas, watervoorziening, riolering, afval en sanering	<ul style="list-style-type: none"> a) Elektriciteits- en gasvoorziening b) Watervoorziening, riolering en afval
Transport en opslag	<ul style="list-style-type: none"> a) Vervoer over land en vervoer via pijpleidingen b) Watertransport c) Lucht transport d) Opslag en ondersteunende activiteiten
Rest van de wereld	<ul style="list-style-type: none"> a) Rest van Oceanië b) Rest van Azië c) Rest van Amerika d) Rest van Europa e) Rest van Afrika

3.3 Milieudrukgegevens

De ICIO-database van de OESO bevat alleen monetaire MRIO-tabellen, maar geen gegevens van broeikasgasemissies of andere milieudrukken. De milieudrukgegevens zijn daarom apart verzameld en in een formaat gebracht passend bij de indeling van de PBL-ICIO-tabellen. Het gaat hierbij om de milieudruk in 48 bedrijfstakken en die van de finale vraag, te weten huishoudens, voor alle 69 landen en regio's voor de periode 2005-2015. Er zijn gegevens verzameld voor broeikasgasemissies, overige emissies naar lucht en landgebruik.

3.3.1 Broeikasgasemissies

De samengestelde database voor de voetafdrukberendingen, PBL-ICIO, bevat gegevens over de uitstoot van koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en lachgas (N₂O). Voor de emissiegegevens voor F-gassen was niet voor alle gassen in alle regio's een volledige dataset voorhanden en daarom zijn F-gassen niet in PBL-ICIO opgenomen. De broeikasgasemissies betreffen zowel de uitstoot bij het gebruik van fossiele energie als die in industriële processen (bijvoorbeeld bij de productie van

cement). Broeikasgasemissies als gevolg van verbranding en afbraak van biomassa (bijvoorbeeld door bosbranden en bij veengronden) zijn buiten beschouwing gelaten.

Het uitgangspunt bij het samenstellen van de broeikasgasemissiegegevens was om - net als bij de monetaire input-outputtabellen - zoveel mogelijk uit te gaan van officiële databronnen, zoals CBS, Eurostat en de UNFCCC. Vervolgens zijn de ontbrekende gegevens aangevuld op basis van GTAP. In Bijlage C staat per databron aangegeven voor welk land en regio deze is gebruikt.

De belangrijkste bron voor de broeikasgasemissies in Europese landen was de Milieurekeningen van Eurostat (Eurostat 2020). Eurostat rapporteert emissiegegevens voor alle 27 EU-landen, het Verenigd Koninkrijk, IJsland, Noorwegen en Turkije. Voor al deze landen waren gegevens voor de periode 2008-2015 beschikbaar en voor een klein aantal landen ook voor de periode 2005-2007. Voor Nederland zijn de gegevens van Eurostat vervangen door gegevens van het CBS (CBS 2020a). De verschillen zijn klein, maar door het gebruik van CBS-gegevens is het binnenlandse deel van de broeikasgasvoetafdruk consistent met de broeikasgasemissies voor Nederland zoals die bijvoorbeeld in de Klimaat- en Energieverkenning (PBL *et al.* 2020) staan.

UNFCCC (2020) is gebruikt voor emissiegegevens van de andere zogenaamde Annex-1 landen in de PBL-ICIO-database, te weten Australië, Canada, Japan, Nieuw Zeeland, de Verenigde Staten, Kazachstan en Rusland. De gegevens voor de non-Annex 1 landen in de UNFCCC-database bleken verre van volledig en zijn daarom niet gebruikt. De UNFCCC-database is daarentegen wel gebruikt voor de landen waarvoor bij Eurostat de cijfers voor 2005-2007 ontbreken.

Tenslotte is GTAP, versie 10, gebruikt voor de landen in PBL-ICIO waarvoor Eurostat en UNFCCC geen gegevens hadden. Deze versie van GTAP onderscheidt in totaal 141 landen en regio's en 65 bedrijfstakken per regio (Aguiar *et al.* 2019). GTAP is ook gebruikt om emissiegegevens voor de vijf continentregio's samen te stellen. GTAP heeft voor CO₂ alleen gegevens over de uitstoot als gevolg van de verbranding van fossiele energie (verbrandingsemisies). De GTAP-gegevens voor CO₂ zijn daarom aangevuld met gegevens over procesemissies vanuit de EDGAR-database, versie 5.0 (EDGAR 2020). EDGAR heeft emissiegegevens voor ruim 200 landen voor de periode 1970-2015. Het detailniveau voor bedrijfstakken is echter beperkt. GTAP is niet alleen gebruikt om de ontbrekende landen aan te vullen, maar ook voor emissiegegevens voor meer gedetailleerde bedrijfstakken, bijvoorbeeld in de landbouw of mijnbouw, waarvoor gegevens bij CBS, Eurostat of UNFCCC ontbreken. Hiervoor zijn aandelen per bedrijfstak in de geaggregeerde bedrijfstak afgeleid op basis van de emissies volgens GTAP en deze aandelen zijn gebruikt om de emissies volgens CBS, Eurostat of UNFCCC te verdelen.

Aangezien de GTAP-gegevens voor slechts een beperkt aantal jaren beschikbaar zijn, zijn ontbrekende jaren geïnterpoleerd op basis van emissies en productiewaarden per bedrijfstak in de steekjaren 2004, 2007, 2011 en 2014. Hiervoor zijn de GTAP-gegevens voor de niet-GTAP jaren geconstrueerd door voor de GTAP jaren emissie-intensiteiten te berekenen (emissie uit GTAP gedeeld door productiewaarde uit ICIO), deze emissie-intensiteiten te interpoleren en te vermenigvuldigen met de productiewaarde uit PBL-ICIO in de ontbrekende jaren. Voor de emissies van huishoudens is geïnterpoleerd op basis van bevolkingsgrootte van landen en regio's (United Nations 2019).

De uitstoot van de drie broeikasgassen wordt in de berekening van de broeikasgasvoetafdrukken bij elkaar opgeteld op basis van hun aardopwarmingsvermogen (*Global Warming Potential* – GWP). De GWP-waarde van een broeikasgas geeft de mate waarin het gas kan bijdragen aan

klimaatverandering (uitgedrukt in CO₂-equivalenten). De gebruikte GWP-factoren zijn: 1 voor CO₂, 25 voor CH₄ en 298 voor N₂O (Myhre et al. 2013).

3.3.2 Overige emissies naar lucht

Naast broeikasgasemissies zijn in PBL-ICIO ook emissies naar lucht van andere luchtverontreinigende stoffen opgenomen, te weten: NO_x, SO₂, NH₃, CO, NMVOS en PM₁₀ en PM_{2.5}. Voor deze emissies is een vergelijkbare procedure gevolgd als voor broeikasgasemissies. Waar mogelijk zijn gegevens van het CBS en Eurostat gebruikt. Voor ontbrekende landen en verdere detaillering van bedrijfstakken zijn gegevens van GTAP, versie 10, gebruikt. Ten behoeve van berekeningen van de milieuschade van sectoren is voor alle luchtemissies (ook broeikasgassen) een onderverdeling gemaakt in verbrandingsemisies en procesemissies. Hiervoor is gebruik gemaakt van de aandelen van beide typen emissies per land en per sector in een aanvullende GTAP-dataset met emissiegegevens van luchtverontreinigende stoffen (Chepeliev 2020).

3.3.3 Landgebruik

Bij landgebruik wordt onderscheid gemaakt in land voor gewassen, voor het houden van vee en voor de productie van hout in bossen. Daarnaast wordt in de voetafdrukken rekening gehouden met arealen voor bebouwd gebied en infrastructuur.

Akkerbouw

De belangrijkste bron voor gegevens over landgebruik in de landbouw (akkerland en grasland) voor de regio's in PBL-ICIO was FAOSTAT met gegevens voor 214 landen (FAO 2020). Uitgangspunt voor landgebruik voor akkerbouwgewassen was het totaal gerapporteerd in FAOSTAT als 'Cropland'. Hiervan zijn de arealen voor 'Land under temporary meadows and pastures' en 'Land with temporary fallow' afgetrokken. Het zo verkregen totaal voor akkerland voor de jaren 2005-2015 is vervolgens verdeeld over de drie bedrijfstakken in de akkerbouw in PBL-ICIO, te weten 'Granen', 'Groenten en fruit' en 'Overige akkerbouwgewassen'.

De toedeling naar de drie bedrijfstakken in de akkerbouw is gebaseerd op aandelen die zijn afgeleid van gegevens over 'Areas harvested' eveneens uit FAOSTAT. FAOSTAT onderscheidt de oogst van 160 verschillende akkerbouwgewassen. Deze zijn eerst geaggregeerd naar acht groepen (overeenkomstig de GTAP-indeling) op basis van het aggregatieschema in Marquardt et al. (2019) en vervolgens naar de drie bedrijfstakken in PBL-ICIO. De aandelen van de gewassen zijn afgeleid voor de drie steekjaren 2005, 2010 en 2015 en vervolgens geïnterpoleerd voor de overige jaren. Overigens komt de som van de arealen 'Areas harvested' niet overeen met het totale areaal aan 'Cropland', onder andere vanwege meerdere oogsten per jaar voor bepaalde gewassen. In de gehanteerde aanpak wordt uitgegaan van het totale areaal aan 'Cropland' per land. Door dit in de berekeningen te koppelen aan de totale productiewaarde per bedrijfstak, speelt het aantal oogsten per jaar geen rol.

Vervolgens zijn de gegevens voor de 214 landen in FAOSTAT geaggregeerd naar de 69 landen en regio's in PBL-ICIO. Voor Nederland komt de waarde voor het totale areaal voor akkerbouw in FAOSTAT overeen met wat het CBS rapporteert (CBS 2020b). Voor de verdeling naar de drie bedrijfstakken in de akkerbouw in PBL-ICIO is voor Nederland gebruik gemaakt van dezelfde CBS-bron.

Veehouderij

Voor het totale areaal grasland in de veehouderij zijn de cijfers van de FAO voor 'Land under permanent meadows and pastures' en 'Land under temporary meadows and pastures' opgeteld. In een aantal

landen zoals Australië, Chili en Mongolië wordt een deel van het grasland zeer extensief gebruikt, door een beperkt aantal dieren te laten grazen op een groot aantal hectares. Deze extensieve graslanden zijn vooral voor eigen gebruik en minder voor de export en daardoor minder relevant voor de Nederlandse voetafdrukken. Daarom is voor landen met extensief gebruik van grasland een correctiefactor toegepast om alleen het intensief gebruikte grasland in de berekening op te nemen. De correctiefactor geeft het aandeel intensief gebruik in het totale gebruik weer. Deze correctiefactoren zijn gebaseerd op het landgebruik in het IMAGE model (Doelman *et al.* 2018). De correctiefactoren zijn bepaald voor 2010 en vervolgens toegepast voor alle jaren tussen 2005 en 2015. Voor Nederland komen de arealen grasland in FAOSTAT overeen met die van het CBS. Het aandeel voor intensief gebruik van het grasland is voor Nederland 100 procent.

Alle arealen grasland zijn in PBL-ICIO toegekend aan de ‘Rundveehouderij’. Het landgebruik van de bedrijfstak ‘Andere dierlijke producten’ is voor alle landen op nul gesteld, aangezien varkens en kippen in tegenstelling tot runderen, schapen en geiten veelal in zogenaamde landloze productiesystemen worden gehouden.

Bosbouw

Voor het areaal voor bosbouw zijn geen goede databronnen beschikbaar. Er zijn diverse databases die rapporteren over het totale bosareaal, maar niet over het deel dat toegerekend kan worden aan bosbouwactiviteiten⁴. Daarom is een inschatting gemaakt voor het bosbouwareaal op basis van gegevens over de productie van hout in m³ en productiefactoren betreffende het aantal hectare per m³ hout. De productiecijfers zijn afkomstig van FAOSTAT en betreffen zowel rondhout als pulphout afkomstig van loofbomen en naaldbomen (FAO 2020). Dit betreft gegevens voor 181 landen die zijn geaggregeerd naar de 69 landen en regio’s in PBL-ICIO. De factoren voor de omrekening van hoeveelheden geproduceerd hout naar hectares zijn bepaald op basis van kentallen voor gekapt hout (zowel totaalvolumes als volumes per hectare) voor drie bosbouwsystemen (plantages, kaalkap en selectieve kap) in 24 wereldregio’s (Arets *et al.* 2010). In de berekening van de totale arealen voor bosbouw is ook rekening gehouden met het feit dat bossen 40-150 jaar nodig hebben om weer aan te groeien afhankelijk van de kapmethode en de regio. Deze cijfers van de rotatiecyclus zijn eveneens afkomstig van Arets *et al.* (2010). Voor alle landen in een bepaalde wereldregio zijn vervolgens dezelfde kentallen gebruikt voor het bepalen van de bosbouwarealen. Vanwege de diverse aannames in de toerekening van bosareaal aan de bosbouw zijn deze landgebruikscijfers minder betrouwbaar dan die voor akkerland en grasland.

Bebouwd gebied en infrastructuur

Gegevens over bebouwd gebied in de verschillende landen zijn eveneens afkomstig van FAOSTAT. Het betreft de categorie ‘*Artificial surfaces (including urban and associated areas)*’ met gegevens voor 247 (voormalige) landen. Dit omvat arealen voor woningen, kantoren, fabrieken, parkeerplaatsen, enz. Het landgebruik voor bebouwd gebied is geaggregeerd naar de 69 landen en regio’s in PBL-ICIO en het landgebruik van bebouwd gebied is toegekend aan de finale vraag vanwege een gebrek aan gegevens om het op een adequate manier aan specifieke bedrijfstakken toe te wijzen. De directe allocatie aan de finale vraag houdt in dat de consumptievoetafdruk voor land alleen het territoriale landgebruik voor bebouwd gebied omvat en dat er geen overdracht van landgebruik plaatsvindt

⁴ Mogelijk wordt hier tekort gedaan aan de bosbouwstatistieken van de FAO (2021). Bij een volgende versie zal dit verder worden onderzocht.

naar consumptie in andere regio's door middel van internationale handel. In de productievoetafdruk voor land is bebouwd gebied in zijn geheel niet opgenomen.

Voor het landgebruik van infrastructuur is alleen rekening gehouden met wegen. Gegevens over lengtes van wegen, in alle landen en regio's in PBL-ICIO, zijn gebaseerd op de dataset van het Global Roads Inventory Project (GRIP) (Meijer *et al.* 2018). De GRIP-dataset onderscheidt vijf soorten wegen: snelwegen (type 1), hoofdwegen (type 2), secundaire wegen (type 3), tertiaire wegen (type 4) en stads- en woonwegen (type 5). Op basis van inschattingen van het aantal rijbanen per weg-type is de breedte van wegen bepaald en in combinatie met de lengte is het oppervlakte per land of regio berekend.

De totale oppervlakte van wegen (type 1-5) per land is toegewezen aan bedrijfstakken en consumenten op basis van brandstofverbruiksgegevens voor transport van bedrijfstakken en consumenten per regio (Timmer *et al.* 2015). Het transport in de landbouw, waaronder tractoren en landbouwmachines, maakt gebruik van zowel de openbare weg als landbouwgebieden. Bij gebrek aan informatie over het aandeel van de openbare wegen in het totale vervoer met landbouwvoertuigen, is ervan uitgegaan dat het landbouwvervoer niet over de openbare weg rijdt en zich beperkt tot landbouwgebieden. Daarom is de landbouwsector uitgesloten van de toewijzing van wegen aan bedrijfstakken en consumenten. Aangezien het aandeel van de landbouw in het totale energieverbruik voor transport in veel regio's minder dan vijf procent bedraagt (Timmer *et al.* 2015), is verondersteld dat deze vereenvoudiging slechts een beperkte onzekerheid toevoegt aan de voetafdrukberendingen.

3.4 Biodiversiteitsverlies

Naast het berekenen van voetafdrukken voor verschillende milieudrukken kan met het MRIO-FP-model ook de voetafdruk voor milieu-impacts berekend worden. In deze notitie wordt de voetafdruk voor één milieu-impact, te weten die op biodiversiteit, gepresenteerd. De maat die voor de voetafdrukken voor biodiversiteit is gebruikt is *Mean Species Abundance* (MSA; Alkemade *et al.* (2009)). In paragraaf 3.4.1 wordt deze maat geïntroduceerd en wordt aangegeven hoe die wordt berekend. In paragraaf 3.4.2 wordt vervolgens beschreven hoe de impactfactoren zijn bepaald die voor verschillende milieudrukken de relatie weergeven tussen milieudruk en verlies aan biodiversiteit. Deze impactfactoren zijn bepaald voor alle landen en regio's in de PBL-ICIO database.

3.4.1 Mean species abundance

Biodiversiteitsverlies is een minder eenduidig concept dan landgebruik of broeikasgasemissies waarvoor algemeen geaccepteerde maten bestaan (hectare en CO₂-equivalent). 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), en ten opzichte waarvan de afname wordt gemeten (de benchmark). Er zijn dan ook verschillende indicatoren voor het meten van biodiversiteit en biodiversiteitsverlies (Butchart *et al.* 2010).

De biodiversiteitsindicator die is gebruikt voor de voetafdrukken met MRIO-FP is gebaseerd op de zogenoemde *Mean Species Abundance* (MSA; Alkemade *et al.* (2009)). De MSA-indicator beschrijft de resterende biodiversiteit in een ecosysteem ten opzichte van de oorspronkelijke staat en geeft daarmee de mate van natuurlijkheid van een gebied weer. De MSA-maat wordt daarom ook wel geduid als indicator voor de natuurlijkheid van een gebied, of de intactheid (Schipper *et al.* 2020). Het wordt gedefinieerd als de gemiddelde aanwezigheid van populaties van oorspronkelijk

voorkomende soorten in de huidige situatie in verhouding tot hun aanwezigheid in de oorspronkelijke, ongerepte (referentie) situatie. Daarin worden zowel de aan- of afwezigheid van een oorspronkelijke soort, als de mate waarin die soort aanwezig is (abundantie of populatiegrootte) meegenomen. De MSA-indicator voor gebruik in voetafdrukken is de combinatie van de MSA-indexwaarde van een gebied (uitgedrukt in een percentage of een waarde tussen 0 en 1) en de grootte van het gebied. De resterende MSA-waarde in een bepaald gebied wordt uitgedrukt in $MSA \cdot ha$ en is daarmee een maat voor arealen gewogen naar de aanwezige biodiversiteit.

MSA is één van de indicatoren die in het mondiale biodiversiteitsmodel GLOBIO wordt berekend (Alkemade *et al.* 2009; Schipper *et al.* 2016; Schipper *et al.* 2020). GLOBIO is onderdeel van het mondiale modelleringskader voor klimaatverandering, landgebruiksverandering en biodiversiteitsverlies van PBL (Stehfest *et al.* 2014). Het mondiale biodiversiteitsverlies wordt in GLOBIO berekend met behulp van een aantal milieudrukken waarvan duidelijk is dat die belangrijk zijn voor het mondiale terrestrische biodiversiteitsverlies. Dat zijn het landgebruik voor land- en bosbouw, broeikasgasemissies en stikstofdepositie (Sala *et al.* 2000). Daarnaast wordt rekening gehouden met verstoring door infrastructuur en wordt met behulp van wegenkaarten en de ligging van landbouwgebieden de ruimtelijke fragmentatie van leefgebieden van planten en dieren bepaald. Tenslotte wordt in GLOBIO ook rekening gehouden met de mate waarin er druk van menselijke bewoning buiten steden op natuurgebieden is (ook wel aangeduid met *encroachment*).

De oorzaak-gevolg relaties tussen milieudrukken en biodiversiteitsverliezen zoals die zijn geïmplementeerd in het GLOBIO-model zijn gebaseerd op een kwantitatieve synthese (meta-analyse) van peer-reviewed literatuurgegevens (Alkemade *et al.* 2009; Schipper *et al.* 2020). Elke observatie in de meta-analyse heeft betrekking op een vergelijkende studie, waarin een gebied met menselijke invloeden wordt vergeleken met een corresponderende ongestoorde situatie. De belangrijkste opgenomen soortengroepen zijn vogels, planten, zoogdieren, reptielen en insecten. De bepaalde MSA-waarde vertegenwoordigt de gemiddelde respons van alle oorspronkelijke soorten die tot een ecosysteem behoren. Individuele soorten worden niet gemodelleerd met de MSA-indicator.

De voetafdrukken voor biodiversiteit zijn gebaseerd op de integrale impact van alle milieudrukken die optreden in een bepaald jaar. Hierbij worden de huidige biodiversiteitsverliezen als gevolg van landgebruik en infrastructuur gecombineerd met de geschatte toekomstige verliezen als gevolg van huidige broeikasgasemissies in één geïntegreerde indicator. Toekomstige biodiversiteitsverliezen als gevolg van broeikasgasemissies zijn gebaseerd op over de tijd geïntegreerde effecten van klimaatverandering. Dit speelt zich af op een langere termijn, er treedt veel vertraging in de responsen op, en de verliezen zijn vooral gebaseerd op modelberekeningen over nog te verwachten effecten. Alle biodiversiteitsverliezen worden daarom uitgedrukt in $MSA\text{-verlies} \cdot ha \cdot jr$, wat het aspect van tijdsintegratie van de biodiversiteitsverliezen als gevolg van broeikasgasemissies weergeeft. Voor landgerelateerde milieudruk (landgebruik en infrastructuur) is de tijdsperiode één jaar, wat betekent dat het landareaal dat in een bepaald jaar in gebruik is verantwoordelijk wordt geacht voor het totale MSA-verlies als gevolg van landconversie.

3.4.2 Factoren voor biodiversiteitsverlies

In de berekening van de biodiversiteitsvoetafdrukken zijn de milieudrukken met de grootste geaggregeerde MSA-verliezen opgenomen, te weten direct landgebruik (akkerland, grasland, bosland en bebouwd gebied), verstoring door infrastructuur, fragmentatie door wegen en akkerland, en broeikasgasemissies⁵. De vertaling van milieudruk naar verlies aan biodiversiteit is gebaseerd op impactfactoren uit GLOBIO, versie 3.5 (Alkemade *et al.* 2009; Schipper *et al.* 2016). De MSA-verlieswaarden per land en regio zijn geëxtraheerd uit resultaten van het GLOBIO-model voor de milieudrukken die in de biodiversiteitsvoetafdrukken worden onderscheiden. Het GLOBIO-model berekent verliezen per druk in een bepaald jaar waarbij rekening wordt gehouden met verliezen als gevolg van interactie met andere drukken in dezelfde regio. Het GLOBIO-model levert MSA-verlieswaarden (in MSA-verlies · ha) per milieudruk op het rastercelniveau van 0,5 bij 0,5 graden. De uitkomsten per rastercel voor 2010 zijn geaggregeerd naar de 69 landen en regio's in PBL-ICIO. Volgens zijn deze geaggregeerde MSA-verlieswaarden gerelateerd aan de milieudrukken om nationale of regionale factoren voor biodiversiteitsverlies af te leiden, zoals hieronder in meer detail wordt beschreven. Daarbij is verondersteld dat deze factoren hetzelfde zijn voor alle gebieden binnen een land.

Direct landgebruik

In GLOBIO worden drie soorten landbouwbeheer onderscheiden voor de productie van gewassen en vier soorten bosbeheer voor de houtproductie, die allemaal specifieke MSA-waarden hebben. GLOBIO maakt geen onderscheid tussen specifieke beheertypes voor grasland en ook niet voor verschillende soorten bebouwd gebied. De geaggregeerde MSA-waarden per regio per type landgebruik zijn gebaseerd op de aandelen van de verschillende soorten landbouw- en bosbeheer per regio (ook beschikbaar in GLOBIO). Voor alle landen en regio's in PBL-ICIO zijn de gemiddelde MSA-verliesfactoren per type landgebruik afgeleid van de GLOBIO-uitkomsten voor 2010 door de MSA-verliezen te delen door de arealen voor de verschillende typen landgebruik. Door de weging over verschillende soorten landbouw- en bosbeheer ontstaat een min of meer regio-specifieke verfijning van de algemene MSA-waarden per type landgebruik.

Verstoring door infrastructuur

Infrastructuur tast de biodiversiteit aan door verstoring en fragmentatie (zie hieronder). Verlies door verstoring ontstaat doordat veel diersoorten de neiging hebben gebieden in de nabijheid van wegen te mijden. Biodiversiteitsverliesfactoren voor verstoring zijn gebaseerd op de MSA-verlieswaarden in natuurgebieden binnen een vaste buffer van 1000 meter rond wegen (wegtypes 1-5; zie 3.3.2), gebaseerd op analyses van Benítez-López *et al.* (2010) gecombineerd met de totale weglengte per regio. MSA-waarden voor vogels en zoogdieren in relatie tot de afstand tot wegen zijn gekwantificeerd op basis van veldonderzoek naar versturende effecten van infrastructuur. In het GLOBIO₃-model wordt verder aangenomen dat ook amfibieën en reptielen worden verstoord.

Fragmentatie

Een indirect effect van landgebruik is dat het versnippering van de natuurlijke leefgebieden van organismen veroorzaakt. GLOBIO₃ identificeert akkerland en infrastructuur als de twee typen

⁵ Stikstof is niet in de huidige biodiversiteitsvoetafdrukken opgenomen, aangezien de daarvoor benodigde methode om emissies te relateren aan depositie in een voetafdrukcontext nog niet ontwikkeld was. *Encroachment* is niet opgenomen in de berekeningen vanwege grote onzekerheid in de cijfers.

landgebruik die versnippering van natuurgebieden veroorzaken. GLOBIO baseert de effecten van deze fragmentatie in termen van de effecten van *patch*grootte op de biodiversiteit. Hoe kleiner de overgebleven natuurlijke *patch*grootte, hoe kleiner de resterende biodiversiteitswaarde van natuurgebieden (Alkemade *et al.* 2009). In GLOBIO is verondersteld dat fragmentatie van leefgebieden door infrastructuur vooral wordt veroorzaakt door hoofdwegen (wegtypes 1-3) en dat de andere wegen niet significant bijdragen aan fragmentatie (Schipper *et al.* 2016).

Om de fragmentatie-effecten van akkerland te scheiden van de bijdrage van infrastructuur, werd het GLOBIO-model tweemaal gedraaid: eenmaal om het gecombineerde effect van infrastructuur en akkerland te bepalen, en eenmaal om alleen het effect van infrastructuur te bepalen. Het verschil tussen de twee runs wordt beschouwd als de fragmentatie-impact specifiek van akkerland en de bijbehorende MSA-verliesfactor is vervolgens per land of regio afgeleid uit het areaal aan akkerland. MSA-verliesfactoren voor fragmentatie, specifiek als gevolg van wegen, zijn verkregen door het GLOBIO-model uit te voeren zonder de fragmenterende effecten van akkerland. De MSA-verlieswaarden worden dan berekend in relatie tot arealen afgebakend door alleen wegen, en het combineren van deze waarden met de totale weglengte per regio.

Effecten van broeikasgasemissies

De effecten van broeikasgasemissies op biodiversiteit vanuit een voetafdrukperspectief kunnen niet op een zelfde manier berekend worden als die van landgebruik (Wilting *et al.* 2017). Broeikasgasemissies in een bepaalde regio dragen bij aan toekomstige wereldwijde klimaatverandering die de biodiversiteit beïnvloedt door verschuivingen in verspreidingsgebieden van soorten te veroorzaken. Het mondiale klimaatsysteem reageert echter vrij traag op een stijging in broeikasgasemissies, en biodiversiteitseffecten zullen daar nog weer bij na-ijlen. Daarbij is de verblijftijd van broeikasgassen in de atmosfeer heel verschillend, tot zelfs meer dan 100 jaar voor CO₂.

De huidige effecten van klimaatverandering op biodiversiteit zijn het gevolg van het historisch verloop in broeikasgasemissies. De effecten van klimaatverandering op biodiversiteit in een bepaald jaar kunnen daarom niet zomaar gerelateerd worden aan de broeikasgasemissies in dat jaar. Waar het GLOBIO model het huidige mondiale biodiversiteitsverlies berekent op basis van ontwikkelingen in het verleden, relateert de biodiversiteitsvoetafdruk het verlies aan biodiversiteit nu en in de toekomst als gevolg van de huidige emissies als gevolg van consumptie of productie.

De MSA-verliesfactoren van broeikasgasemissies zijn gebaseerd op de uitstoot van CO₂, CH₄ en N₂O. De broeikasgasemissies zijn uitgedrukt in CO₂-equivalenten met behulp van Global Warming Potentials uit Myhre *et al.* (2013). Vervolgens zijn verliesfactoren aan biodiversiteit per kilogram CO₂-equivalent berekend op basis van het tijdsgeïntegreerde absolute mondiale temperatuurpotentieel van één kilogram CO₂-emissie (°C·jr·kg_{CO₂}⁻¹) gecombineerd met het gebiedsgeïntegreerde mondiale verlies in MSA vanwege de overeenkomstige mondiale gemiddelde temperatuurstijging (MSA-verlies·ha·°C⁻¹).

In de berekeningen is rekening gehouden met een tijdshorizon van 100 jaar, in overeenstemming met IPCC (2013). Het tijdsgeïntegreerde absolute mondiale temperatuurpotentieel van CO₂ voor deze tijdshorizon is ontleend aan Joos *et al.* (2013). Deze waarde is 47,6·10⁻¹⁵ °C·jr·kg⁻¹. Arets *et al.* (2014) rapporteren MSA-verliezen per graad mondiale gemiddelde temperatuurstijging (MSA-verlies·ha·°C⁻¹) voor 14 verschillende terrestrische biomen. Het verlies in de gemiddelde soortenrijkdom over de hele wereld is berekend met behulp van de gewogen aggregatie over de biomen met de bioomgebieden gerapporteerd door het IMAGE-model voor het jaar 2010. Het bioomgebied verwijst naar de totale terrestrische oppervlakte in dat bioom, met uitzondering van akkerlanden en

stedelijke gebieden. De op deze manier berekende MSA-verliesfactor per eenheid CO₂-uitstoot is $4,37 \cdot 10^{-5}$ MSA-verlies·ha·jr·kg⁻¹.

In de gehanteerde aanpak zijn biodiversiteitsverliezen in de toeleveringsketen als gevolg van klimaatverandering toegewezen aan de landen en regio's waar de broeikasgasemissies optreden. Dit is een logische benadering bij het zoeken naar strategieën om de impact op de biodiversiteit per bedrijfstak te verminderen. Inzicht in de bedrijfstakken met veel broeikasgasemissies is relevant voor het ontwerpen van reductieopties. Nationale broeikasgasemissies dragen echter bij aan de wereldwijde klimaatverandering, waardoor de druk en de gevolgen daarvan niet op dezelfde locatie plaatsvinden. Biodiversiteitsverliezen door klimaatverandering verschillen per bioom en zijn sterker in warme en tropische regio's (Alkemade *et al.* 2009; Arets *et al.* 2014).

4 Broeikasgasemissies

4.1 Inleiding

Broeikasgasvoetafdrukken zijn indicatoren die weergeven hoeveel broeikasgassen worden uitgestoten in de hele consumptie- of productieketen. In dit hoofdstuk worden voetafdrukken gepresenteerd die zijn berekend met het MRIO-FP-model (hoofdstuk 2) op basis van de PBL-ICIO-database (hoofdstuk 3). Dit is gedaan voor de totale Nederlandse consumptie (op basis van de finale vraag) en voor de totale Nederlandse productie ongeacht de bestemming van die productie. De finale vraag omvat zowel de consumptie van huishoudens (particuliere consumptie) als die van de overheid (publieke consumptie) en daarnaast ook de bestedingen aan investeringen (zie 2.2.2). De broeikasgassen die in beschouwing zijn genomen zijn koolstofdioxide (CO₂), methaan (CH₄) en distikstofoxide (N₂O). Met een aandeel van 99 procent in de territoriale broeikasgasemissies in Nederland in 2015 zijn dit de belangrijkste broeikasgassen (CBS *et al.* 2021). Het totaal aan emissies van de drie broeikasgassen samen wordt weergegeven in CO₂-equivalenten.

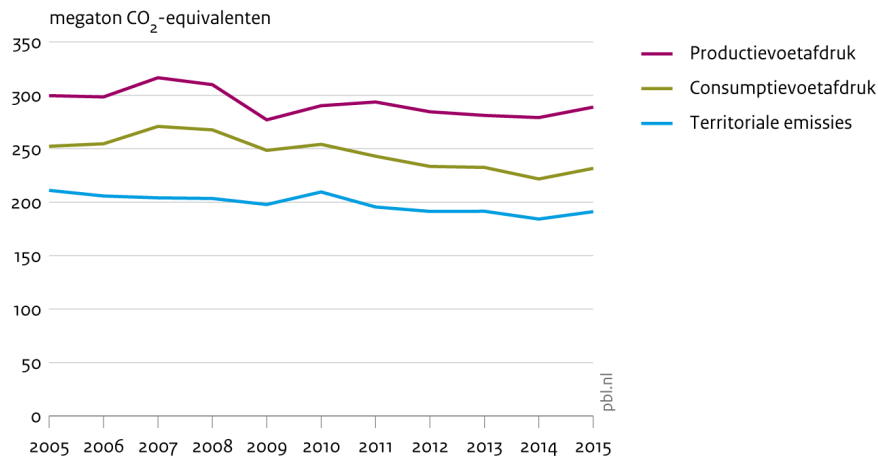
4.2 Broeikasgasvoetafdrukken

4.2.1 Nederland totaal en naar type broeikasgas

De broeikasgasvoetafdruk van de Nederlandse consumptie nam in de periode 2007-2015 geleidelijk af van 271 tot 232 Megaton (Mt) CO₂-equivalenten (1,9 procent per jaar) (Figuur 4.1). Vooral in 2009 was een grote afname te zien van ruim 7 procent vanwege de economische crisis. In dezelfde periode nam ook de productievoetafdruk af van 316 naar 289 Megaton CO₂-equivalenten. Dit is een gemiddelde jaarlijkse afname van 1,1 procent met in 2009 een afname van meer dan 10 procent. De Nederlandse productievoetafdruk is dus groter dan de consumptievoetafdruk. De broeikasgasemissies in de keten voor export zijn blijkbaar groter dan de directe emissies van consumenten en de aan de directe import van consumenten toegerekende emissies.

Figuur 4.1 laat ook de ontwikkeling zien in de territoriale broeikasgasemissies in Nederland. Dit zijn de directe emissies van producenten en consumenten binnen de Nederlandse grenzen. De territoriale broeikasgasemissies in Nederland zijn in de periode 2005-2015 licht afgenomen van 211 naar 191 Megaton. De consumptievoetafdruk en productievoetafdruk zijn duidelijk hoger dan de territoriale emissies. Eén van de redenen is dat in voetafdrukken ook rekening wordt gehouden met de emissies van de internationale zee- en luchtvaart die buiten territoriale grenzen plaats vindt. Bij de territoriale emissies is dat niet het geval.

Figuur 4.1
Broeikasgasemissies van Nederland vanuit verschillende perspectieven

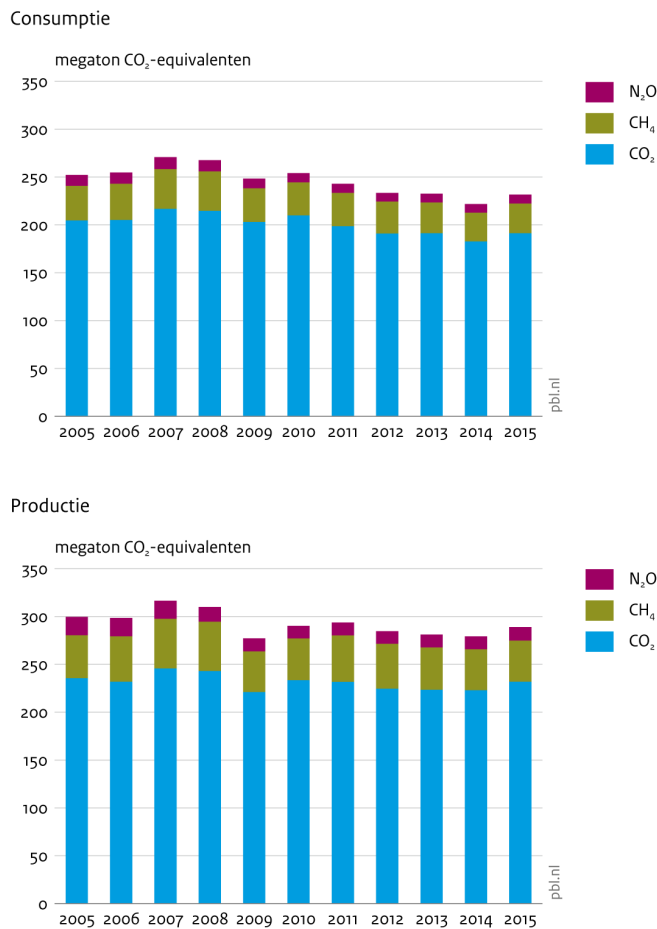


De territoriale broeikasgasemissies in Nederland en de emissies vanuit een voetafdruk perspectief (Nederlandse consumptie en productie) nemen af in de periode 2005-2015. De productievoetafdruk voor broeikasgassen is groter dan de consumptievoetafdruk en de territoriale emissies.

Van de drie broeikasgassen die in de berekeningen zijn opgenomen heeft CO₂ verreweg het grootste aandeel. Bij de consumptievoetafdruk zo'n 82 procent en bij de productievoetafdruk ongeveer 80 procent. Voor CH₄ is dat respectievelijk 14 procent en 15 procent (Figuur 4.2). De F-gassen zijn niet in de berekeningen opgenomen. In 2015 hadden die een aandeel van ongeveer 1 procent in de territoriale emissies (CBS et al. 2021).

Het verloop van de broeikasgasvoetafdruk van de Nederlandse consumptie en productie is niet voor alle broeikasgassen hetzelfde. Waar de aandelen van de emissies van CH₄ en N₂O licht afnamen, nam in de periode 2005-2015 het aandeel van CO₂ in de voetafdruk van zowel consumptie als productie met ongeveer anderhalf procentpunt toe (figuur 4.2). In die periode nam ook het aandeel van CO₂ in de territoriale emissies met ruim 2 procentpunt toe (CBS et al. 2021).

Figuur 4.2
Broeikasgasvoetafdrukken Nederland naar type broeikasgas

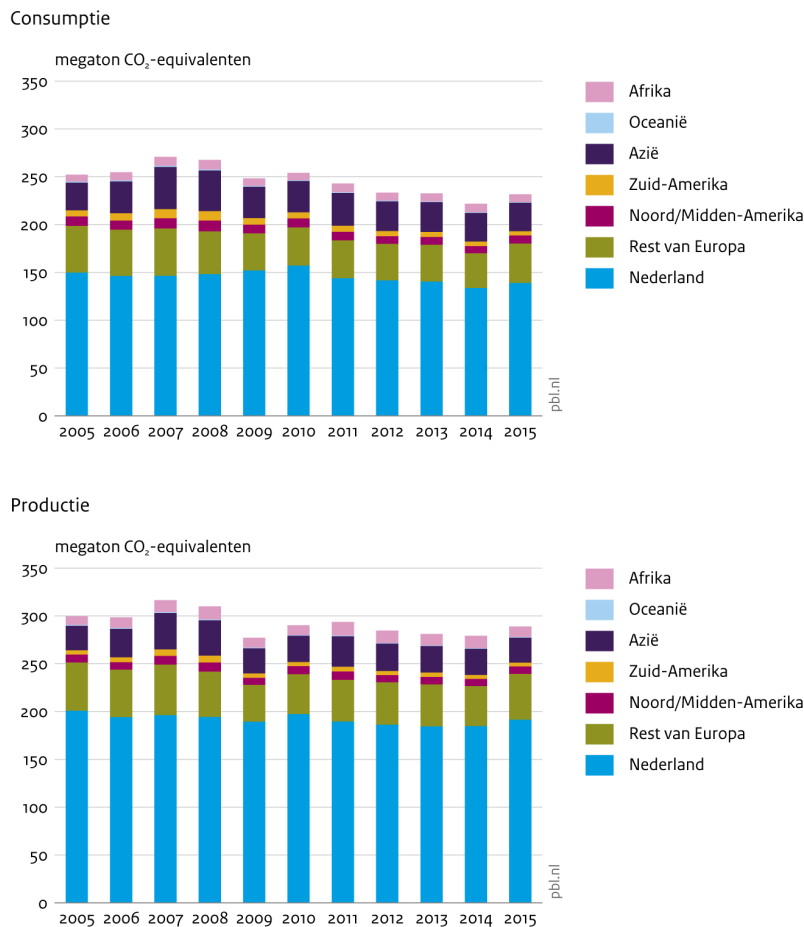


CO₂ heeft het grootste aandeel in de bijdragen van broeikasgassen aan de broeikasgasvoetafdruk van Nederlandse consumptie en productie.

4.2.2 Bijdragen van regio's en sectoren

Zowel bij de consumptie- als de productievoetafdruk vindt het grootste deel van de emissies in Nederland zelf plaats. Bij de consumptievoetafdruk bedroeg dit aandeel zo'n 60 procent, bij de productievoetafdruk ongeveer twee derde (Figuur 4.3). De emissies buiten Nederland vinden vooral in andere Europese landen plaats en in Azië. Bij de productievoetafdruk nam in de periode 2005-2015 het aandeel van de emissies in het buitenland toe, bij de consumptievoetafdruk juist het aandeel van de emissies binnen Nederland. Dit betekent dat een groter deel van de broeikasgasemissies gerelateerd aan import de productie in Nederland voor het buitenland betreft.

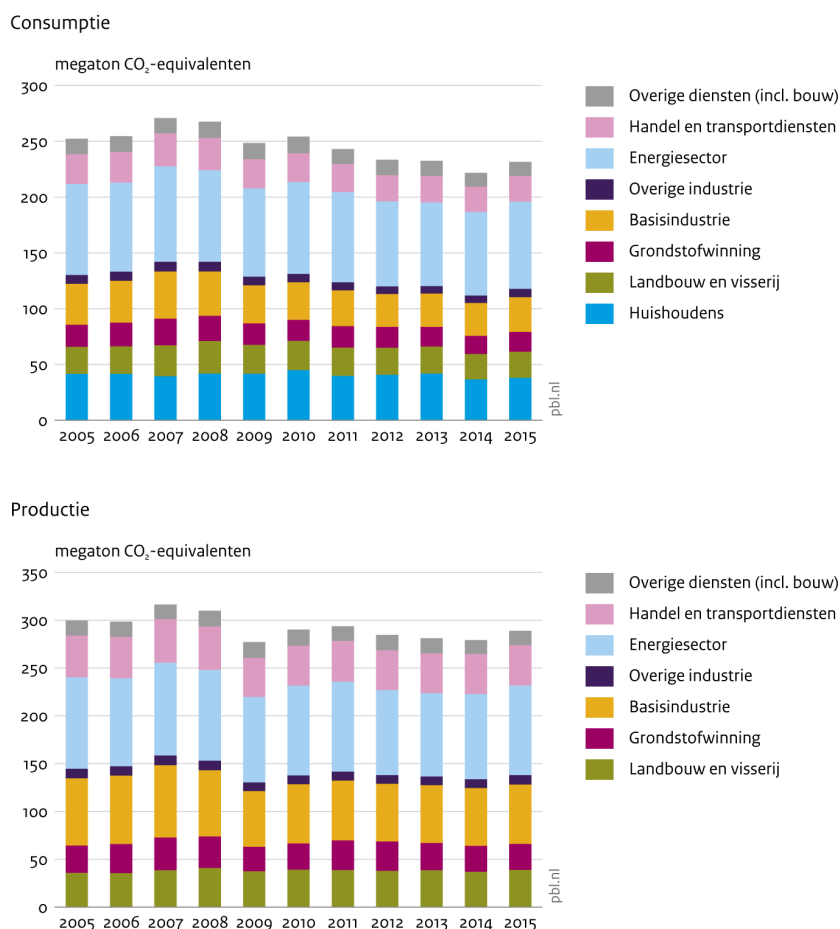
Figuur 4.3
Broeikasgasvoetafdrukken Nederland naar regio



De broeikasgasvoetafdruk van Nederlandse consumptie en productie bestaat voor meer dan de helft emissies in Nederland zelf. Van de emissies buiten Nederland vindt een aanzienlijk deel in de rest van Europa plaats. Zie Tabel D.1 in Bijlage D voor de samenstelling van de regio-indeling op basis van de PBL-ICIO-database.

Een andere dwarsdoorsnede van broeikasgasvoetafdrukken betreft de bedrijfstakken waar de broeikasgasemissies plaatsvinden. De energiesector heeft het grootste aandeel in de broeikasgasvoetafdrukken (figuur 4.4), aangezien de geproduceerde elektriciteit niet alleen belangrijk is voor consumenten, maar ook in veel productieprocessen. Het gaat hier bijvoorbeeld ook om de emissies in kolencentrales in China tijdens de productie van elektriciteit voor Chinese naaiateliers. Verder draagt de basisindustrie met een aandeel van meer dan 20 procent aanzienlijk bij aan met name de productievoetafdruk. Hierin zijn ook de broeikasgasemissies van de Nederlandse basisindustrie voor productie voor export opgenomen.

Figuur 4.4
Broeikasgasvoetafdrukken Nederland naar sector



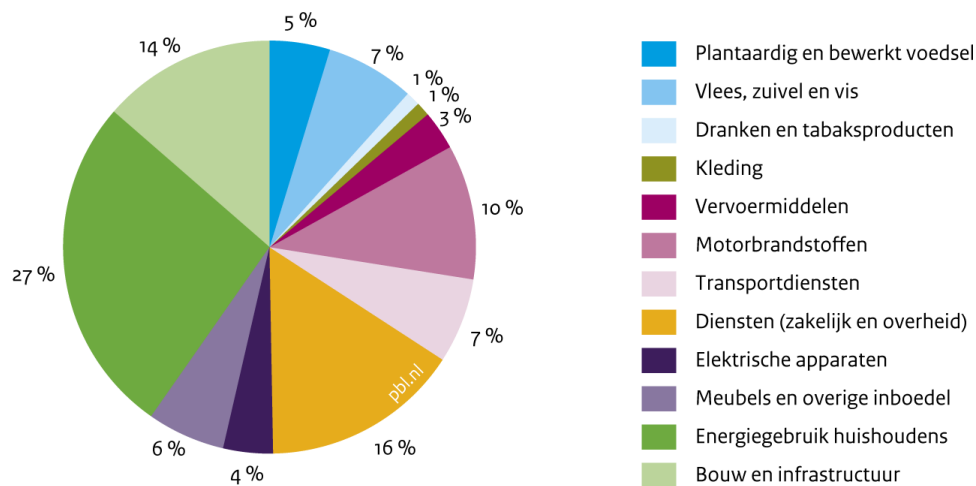
De uitstoot van broeikasgassen door de energiesector in binnen- en buitenland draagt aanzienlijk bij aan de broeikasgasvoetafdrukken van Nederlandse consumptie en productie. De uitstoot door huishoudens zelf draagt alleen bij aan de consumptievoetafdruk. Zie Tabel D.2 in Bijlage D voor de samenstelling van de sectorindeling op basis van de PBL-ICIO-database.

4.2.3 Consumptievoetafdruk naar productgroep

In figuur 4.5 wordt de bijdrage van twaalf geaggregeerde productgroepen aan de broeikasgasvoetafdruk weergegeven. Hiertoe zijn de ketenemissies van de finale leveringen per bedrijfstak aan een productgroep toegekend. Bijvoorbeeld de ketenemissies van 'textiel-, kleding- en leerindustrie' zijn toegerekend aan de productgroep 'kleding'. Tevens is een klein deel (13 procent) van de ketenemissies van de finale vraag aan de groot- en detailhandel aan 'kleding' toegekend. Dit betreft dan de bijdrage van de kledingwinkels aan de consumptievoetafdruk. In Bijlage E staat de volledige koppeling (brugtabel) die is gebruikt om de bedrijfstakken in PBL-ICIO te koppelen aan de twaalf productgroepen.

De weergegeven emissies betreffen de emissies over de gehele productieketen per productgroep. ‘Energiegebruik huishoudens’ heeft het grootste aandeel in de broeikasgasvoetafdruk. Dit betreft niet alleen de directe emissies van consumenten zelf, bijvoorbeeld bij verbruik van aardgas, maar ook de emissies bij elektriciteitsproductie en aardgaswinning. Ook de productgroep ‘diensten’, die zowel zakelijke als publieke diensten omvat, heeft een grote bijdrage aan de broeikasgasvoetafdruk. Aangezien per uitgegeven euro de emissies van deze productgroep relatief laag zijn is dit vooral een volume-effect. Uitgaven aan diensten maken namelijk een groot deel uit van de particuliere en publieke consumptie. Een andere productgroep met relatief hoge ketenemissies is ‘bouw en infrastructuur’.

Figuur 4.5
Broeikasgasvoetafdruk Nederlandse consumptie naar productgroep, 2015



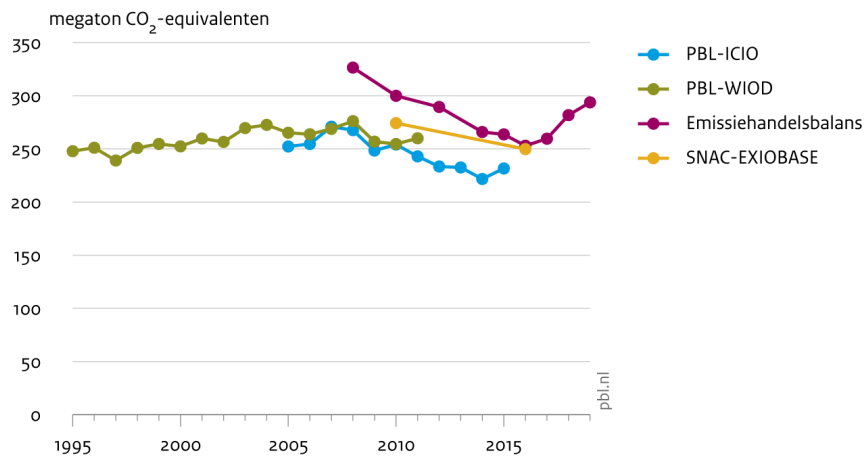
Huishoudelijk energiegebruik, diensten en bouw en infrastructuur hebben een grote bijdrage in de broeikasgasvoetafdruk van Nederlandse consumptie. Zie Tabel E.1 in Bijlage E voor de samenstelling van de productgroepen op basis van de PBL-ICIO-database.

4.3 Vergelijking met andere studies

Deze studie is een update van de eerdere studie op basis van PBL-WIOD (Wilting *et al.* 2015). Voor de overlappende jaren in beide studies (2005-2011) was de consumptievoetafdruk op basis van PBL-ICIO maximaal 7 procent lager dan die op basis van PBL-WIOD (Figuur 4.6). Een wetenschappelijke analyse van de modeluitkomsten van verschillende MRIO-studies laat zien dat de verschillen vooral worden veroorzaakt door verschillen in de gebruikte CO₂-emissiegegevens en in mindere mate door verschillen in de monetaire gegevens tussen de MRIO-databases (Inomata & Owen 2014).

Figuur 4.6

Broeikasgasvoetafdruk Nederlandse consumptie vanuit verschillende modellen en databases



De broeikasgasvoetafdrukken van consumptie die zijn berekend met de emissiehandelsbalans en SNAC-EXIOBASE zijn hoger dan die zijn berekend met het MRIO-FP-model op basis van PBL-WIOD en PBL-ICIO.

ICIO en WIOD zijn mondiale MRIO-databases. De gegevens in deze databases zijn afkomstig van vele verschillende bronnen waaronder nationale statistische bureaus. Bijvoorbeeld de gegevens voor Nederland hebben hun oorsprong bij het Centraal Bureau voor de Statistiek (CBS). Om een consistente MRIO-tabel te krijgen zijn deze gegevens uit onderliggende bronnen bewerkt. In de samengestelde MRIO-tabel komen de gegevens voor landen niet meer overeen met de originele gegevens 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.* 2015). Destijds werd WIOD als basis genomen voor het SNAC-proces. Momenteel gebruikt het CBS de MRIO-database EXIOBASE daarvoor. Het SNAC-proces is nogal tijdsintensief en daardoor zijn vooralsnog alleen met SNAC-EXIOBASE berekende voetafdrukcijfers voor 2010 en 2016 beschikbaar (CBS 2021b).

De PBL-ICIO consumptievoetafdruk voor broeikasgassen was in 2010 7 procent lager dan die berekend met SNAC-EXIOBASE (Figuur 4.6). Het verschil zou verklaard kunnen worden door de toerekening van milieudruk aan import en export, maar dit is verder niet onderzocht. In de SNAC-berekening wordt gedetailleerde informatie van de internationale handelsstatistieken gebruikt om onder andere de wederuitvoer van Nederland beter te kunnen scheiden van import en export. Met name voor Nederland met een relatief grote wederuitvoer is het van belang dat deze goed wordt weergegeven. De wederuitvoer beïnvloedt namelijk zowel het binnenlandse deel van de voetafdruk als de emissies via import.

Het CBS gebruikt verder de emissiehandelsbalans als proxy voor de consumptievoetafdruk. Dit is een zogenaamde *apparent consumption* methode waarbij de consumptievoetafdruk wordt afgeleid uit de milieudruk van Nederlandse bedrijven en huishoudens plus de aan de import toegerekende milieudruk minus de aan de export toegerekende milieudruk. Het voordeel van deze methode is dat actuele cijfers eerder beschikbaar zijn omdat niet gewacht hoeft te worden op het beschikbaar

komen van MRIO-databases. Het is echter niet mogelijk om met deze methode de bijdrage van consumptiegoederen of regio's in de voetafdruk te bepalen. In de overlappende jaren tussen 2008 en 2015 lag de met PBL-ICIO berekende consumptievoetafdruk tussen de 12 procent en 19 procent lager dan die op basis van de emissiehandelsbalans. Ook hier zou een andere toedeling van milieudruk aan import en export een rol kunnen spelen, maar dat is niet verder onderzocht.

Voor de productievoetafdruk op basis van PBL-ICIO is minder vergelijkingsmateriaal beschikbaar, aangezien die met PBL-WIOD niet is berekend. Alleen met SNAC-EXIOBASE zijn voor de ICER productievoetafdrukken berekend voor 2010 en 2016. In 2010 lag de met PBL-ICIO berekende productievoetafdruk aanzienlijk (37 procent) lager dan die berekend met SNAC-EXIOBASE (290 versus 463 megaton CO₂-equivalenten). Voor een verklaring van deze verschillen is nader onderzoek nodig. Het CBS en het PBL zijn een gezamenlijk traject gestart om de modellering van voetafdrukindicatoren en de daarvoor benodigde databases verder te harmoniseren.

5 Landgebruik

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt gekeken naar de hoeveelheid land die in binnen- en buitenland nodig is voor de Nederlandse consumptie en productie zoals weergegeven in respectievelijk de consumptie- en de productievoetafdruk. In de voetafdrukberekeningen worden verschillende typen landgebruik onderscheiden, te weten akkerland, grasland, land voor bosbouw en bebouwd gebied⁶.

5.2 Landvoetafdrukken

5.2.1 Nederland totaal en naar type

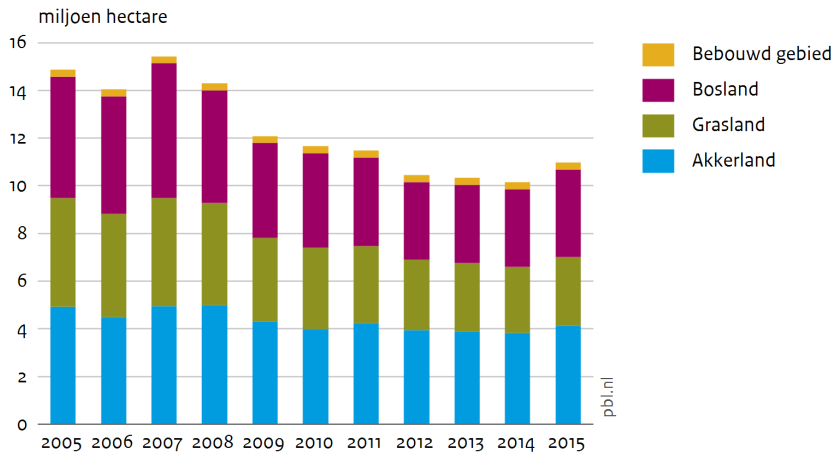
Met MRIO-FP is de landvoetafdruk als gevolg van Nederlandse consumptie en productie berekend voor de periode 2005-2015 (figuur 5.1). De landvoetafdruk van consumptie was in 2015 met 11,0 miljoen hectare ongeveer 9 procent lager als die van productie (12,1 miljoen hectare). In de productievoetafdruk wordt ook het landgebruik in ketens voor export van Nederland meegerekend. Daarentegen omvat de productievoetafdruk niet het landgebruik van producten voor Nederlandse consumenten die in Nederland niet verder worden bewerkt zoals buitenlandse kazen of bananen. Deze behoren wel tot de consumptievoetafdruk. Daarnaast zit bebouwd gebied alleen bij de consumptievoetafdruk, aangezien in het model alle bebouwd gebied aan eindgebruikers is toegekend bij gebrek aan gegevens om deze verder te verdelen.

Zowel de consumptievoetafdruk als de productievoetafdruk laat een daling zien in 2009. De consumptievoetafdruk schommelde in de periode 2005-2008 rond de 14 miljoen hectare, maar in de periode daarna zakte deze naar zo'n 10 miljoen hectare. Ook de productievoetafdruk zat in de periode 2005-2008 op een hoger niveau dan in de jaren daarna. Dit is het gevolg van de economische crisis waarin onder andere de vraag naar producten uit de bosbouw terugliep. De economische crisis heeft met name een groot effect gehad op de bouwsector, waardoor het gebruik van timmerhout is afgenomen (Probos 2010).

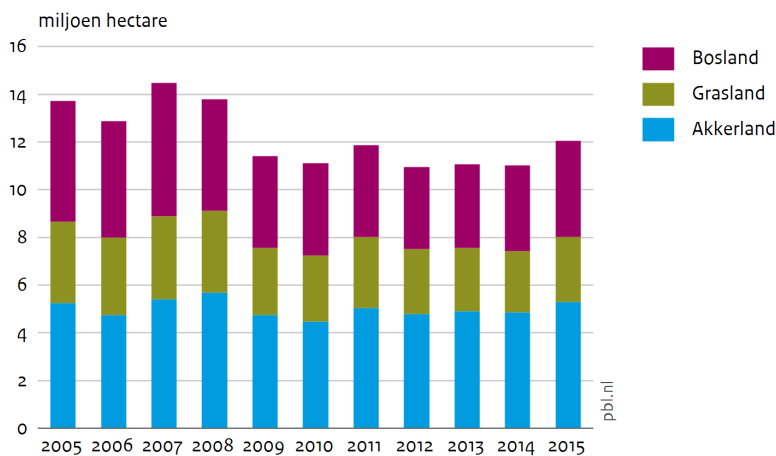
⁶ Bij een nacontrole van de berekeningen is gebleken dat het landgebruik van infrastructuur (wegen, zoals beschreven in paragraaf 3.3.3) niet is opgenomen in de voetafdruktotaal. De onderschatting van de voetafdrukken is hierdoor minder dan 1 procent.

Figuur 5.1
Landvoetafdrukken Nederland naar type landgebruik

Consumptie



Productie



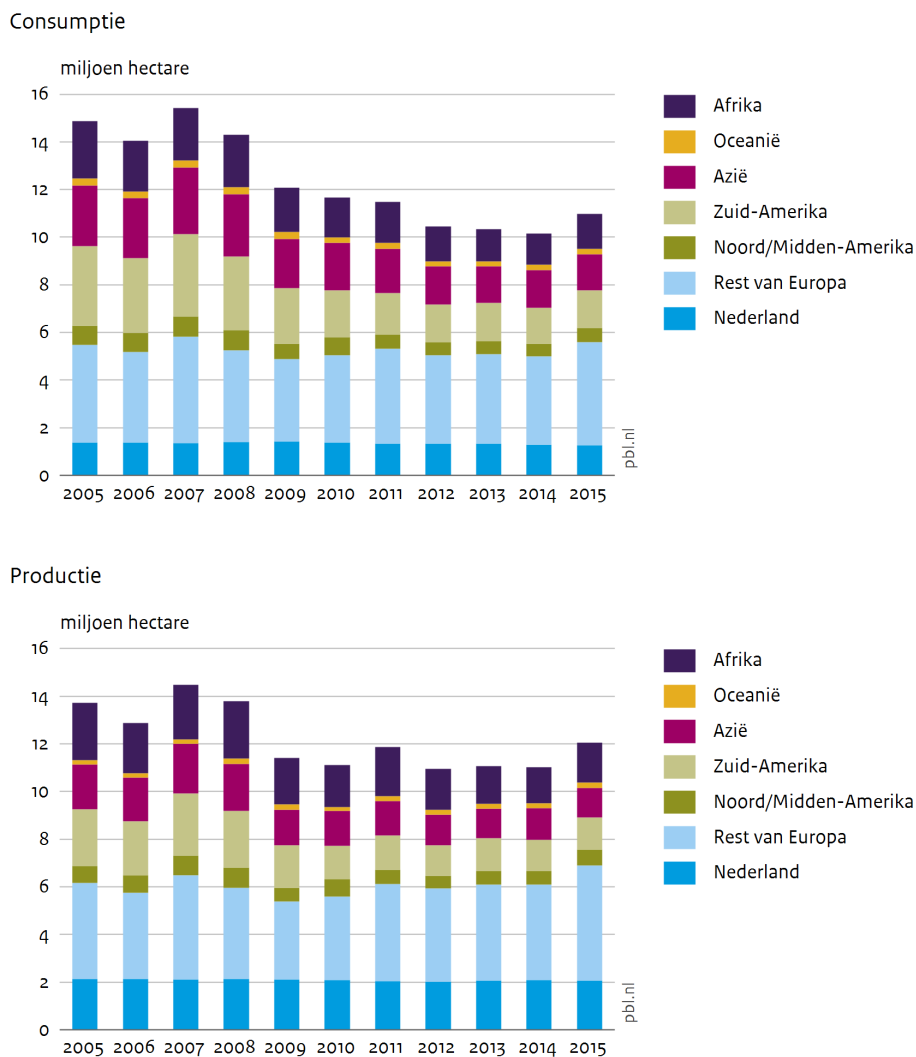
De landvoetafdruk van Nederlandse consumptie en productie is in de periode 2005-2015 vooral gedaald door een afname van het areaal bosland in de voetafdrukken. In 2015 had akkerland het grootste aandeel in de landvoetafdrukken.

Het landgebruik is berekend voor akkerland, grasland (exclusief extensief grasland), bosland en bebouwd gebied. Akkerland had in 2015 zowel bij de consumptie- als de productievoetafdruk het grootste aandeel in het totaal gevolgd door bosland en grasland. In de periode 2005-2015 is het aandeel van akkerland in de voetafdrukken verder toegenomen ten koste van de aandelen van grasland en bosland. Mogelijk zijn er meer productiviteitsverbeteringen geweest rond grasland of heeft er in de veehouderij een verschuiving plaats gevonden van graasdieren naar staldieren. Ook veranderingen in de productie van voedergewassen, die zijn toegerekend aan akkerland, zouden een rol kunnen spelen.

5.2.2 Bijdragen van regio's

Bijna 90 procent van de consumptievoetafdruk voor land ligt in het buitenland en bij de productievoetafdruk is dat meer dan 83 procent (figuur 5.2). Nederlandse consumptie bestaat voor een belangrijk deel uit geïmporteerde producten of is geproduceerd met geïmporteerde grondstoffen (bijvoorbeeld vlees waarvoor veevoer is geïmporteerd). Daarnaast worden voor de productie in Nederland voor de export grondstoffen geïmporteerd. Voor de Nederlandse consumptie en productie is daarom land nodig elders in de wereld. De landvoetafdruk betreft vooral landgebruik in Europa, Zuid-Amerika en Azië. Het landgebruik binnen Nederland bestaat voornamelijk uit akkerland en grasland. Ruim de helft van de landbouwgrond in Nederland wordt gebruikt voor producten die geëxporteerd worden en is dus niet voor Nederlandse consumptie.

Figuur 5.2
Landvoetafdrukken Nederland naar regio

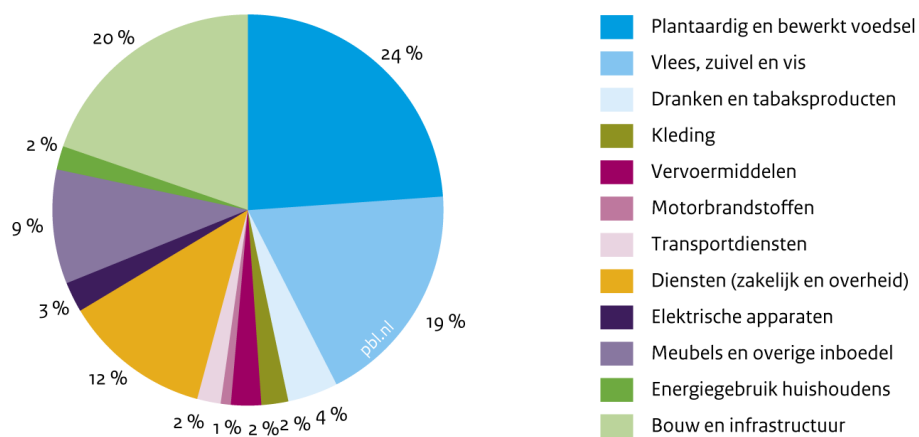


Slechts een klein deel van het landgebruik in de voetafdrukken van Nederlandse consumptie en productie vindt in Nederland plaats. Landgebruik in de rest van Europa, Zuid-Amerika, Afrika en Azië draagt vooral bij aan de landvoetafdrukken. Zie Tabel D.1 in Bijlage D voor de samenstelling van de regio-indeling op basis van de PBL-ICIO-database.

5.2.3 Consumptievoetafdruk naar productgroep

De consumptievoetafdruk voor land is op een zelfde manier als bij broeikasgasemissies (zie 4.2.3) verdeeld over productgroepen. Voedsel is de belangrijkste productgroep binnen de Nederlandse consumptie: in 2015 was 42 procent van de landvoetafdruk voor voedsel (figuur 5.3). Binnen voedsel heeft 'vlees, zuivel en vis' met ongeveer 19 procent van de landvoetafdruk een aanzienlijk aandeel. Hierbij moet worden opgemerkt dat vlees dat wordt toegepast in bewerkte producten, zoals kant en klaar maaltijden, soepen of pizza's, is meegeteld bij de productgroep 'plantaardig en bewerkt voedsel'. Verder is vlees dat wordt geconsumeerd in horecagelegenheden opgenomen in de productgroep 'diensten'. Het gebruik van bosland als gevolg van de consumptie van papier en hout is vooral zichtbaar in de bijdragen van de productgroepen 'bouw en infrastructuur', 'meubels en overige inboedel' en 'diensten'.

Figuur 5.3
Landvoetafdruk van Nederlandse consumptie naar productgroep, 2015



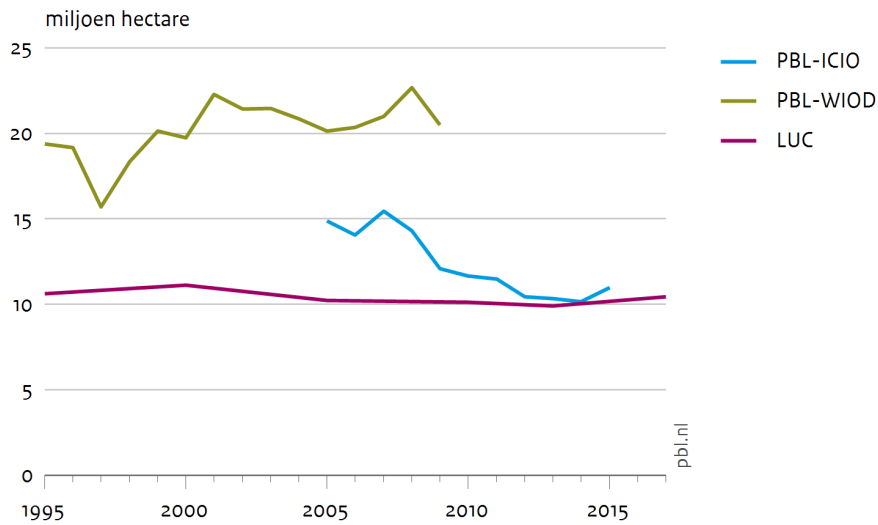
Voedsel en bouw en infrastructuur hebben de grootste bijdrage in de landvoetafdruk van Nederlandse consumptie. Zie Tabel E.1 in Bijlage E voor de samenstelling van de productgroepen op basis van de PBL-ICIO-database.

5.3 Vergelijking met andere studies

Deze studie op basis van PBL-ICIO is een update van de eerdere studie op basis van PBL-WIOD. Voor de overlappende jaren in de berekeningen (2005-2009) is de consumptievoetafdruk voor land berekend met PBL-ICIO aanzienlijk lager dan die op basis van PBL-WIOD (Figuur 5.4). Voor 2005 is het verschil 26 procent en voor 2009 is dat zelfs opgelopen tot 41 procent. De PBL-ICIO berekeningen laten voor die periode een daling zien, terwijl de consumptievoetafdruk voor land op basis van PBL-WIOD daarentegen een lichte stijging liet zien.

Figuur 5.4

Landvoetafdruk van Nederlandse consumptie op basis van verschillende modellen en databases



De landvoetafdruk van Nederlandse consumptie berekend op basis van PBL-ICIO was in 2015 op hetzelfde niveau als dat berekend met het LUC-model. In de periode 2005-2010 was de landvoetafdruk berekend op basis van PBL-WIOD aanzienlijk hoger dan die volgens de twee andere berekeningen.

De verschillen zijn aanzienlijk en vooral te verklaren uit de aanpassing van de gegevens betreffende het landgebruik per bedrijfstak. Net als bij de broeikasgasvoetafdruk worden verschillen in modeluitkomsten voor voetafdrukken op basis van verschillende MRIO-databases vooral verklaard door verschillen in de milieudrukgegevens en mindere mate door verschillen in de monetaire gegevens in de MRIO-databases. Vooral de landvoetafdruk voor grasland was bij PBL-ICIO in 2009 aanzienlijk (64 procent) lager. Voor akkerland was het een derde lager en voor bosland 5 procent. Vanwege de lagere aandelen grasland in het buitenland is het aandeel van landgebruik in Nederland bijna 10 procent op basis van PBL-ICIO. Bij PBL-WIOD was dat nog ongeveer 5 procent.

In PBL publicaties wordt gewoonlijk de consumptievoetafdruk voor land opgenomen die berekend is met het LUC (*Land Use for Consumption*) model (Nijdam *et al.* 2019). Het LUC-model gaat uit van een *bottom-up* methode en niet van een *top-down* benadering waarop MRIO-modellen zijn gebaseerd. Het LUC-model berekent de consumptievoetafdruk voor land door de hoeveelheid geconsumeerde goederen te combineren met de opbrengstcijfers van gewassen in de akkerbouw en bosbouw en van dierlijke producten in de veehouderij. Voor sommige producten zijn gegevens over de consumptie van consumenten in fysieke eenheden (kilo's, aantallen, etc.) bekend, overwegend afkomstig van brancheorganisaties (bijvoorbeeld voor koffie, thee, bier, wijn, zuivel en spijsolie). Voor andere producten, zoals vlees, granen, eieren, suiker en aardappelen, wordt de *apparent consumption* benadering (voorzieningenbalans) gebruikt om de Nederlandse consumptie te bepalen: binnenlandse productie plus invoer minus uitvoer. Ook hier wordt zo veel mogelijk gebruik gemaakt van fysieke eenheden. Voor het landgebruik van de productie van grondstoffen en producten voor Nederlandse consumptie wordt tevens rekening gehouden met de herkomst van deze grondstoffen en producten door gebruik te maken van specifieke opbrengstcijfers in verschillende wereldregio's. Voor verdere gegevens over het LUC model verwijzen we naar (Nijdam *et al.* 2019).

De landvoetafdruk berekend met het MRIO-FP-model op basis van PBL-ICIO voor 2005 is zo'n 45 procent hoger dan de landvoetafdruk volgens het LUC-model. Voor 2015 is het verschil nog maar 5 procent. Waar bij het LUC-model de landvoetafdruk in de periode 2010-15 schommelt rond de 10 miljoen hectare laten de MRIO-FP-berekeningen voor deze periode een sterke afname zien (Figuur 5.4). Een ander verschil in de uitkomsten betreft het aandeel van landgebruik binnen Nederland in het totaal. Bij MRIO-FP ligt een kleine 10 procent van de landvoetafdruk binnen Nederland, bij het LUC-model is dit zo'n 20 procent. Mogelijk spelen de achterliggende aannames over de herkomst van landbouwproducten in het LUC-model hier een rol, maar dat is niet verder onderzocht.

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 productgroepen op basis van leveringen tussen bedrijfstakken en landen in monetaire eenheden. Prijsverschillen van goederen of diensten, bijvoorbeeld tussen binnenlandse consumptie en export, 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 informeel landgebruik voor eigen gebruik in ontwikkelingslanden. Wanneer dit informele landgebruik wel in de landarealen zit, wordt een te hoog landgebruik aan export toegekend. *Bottom-up* modellen kunnen beter gebruik maken van specifiekere data, zoals de te verwachten hogere opbrengsten voor export. Lage opbrengsten zullen met name voorkomen bij zelfvoorzienende landbouw (minder geavanceerd). 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 kleine onderschatting van het landgebruik. Verder wordt voor *bottom-up* modellen een onderschatting gemeld van het indirecte landgebruik voor diensten die consumenten afnemen. Ook kunnen kleine stromen over het hoofd worden gezien.

Voor de productievoetafdruk voor land is geen vergelijkingsmateriaal beschikbaar, aangezien die op basis van PBL-WIOD nog niet werd berekend. Ook met SNAC-EXIOBASE is geen productievoetafdruk voor land berekend. Het LUC-model tenslotte is alleen op consumptie gericht.

6 Biodiversiteitsverlies

6.1 Inleiding

De biodiversiteitsvoetafdruk geeft het mondiale verlies aan biodiversiteit weer als gevolg van consumptie of productie. In de PBL voetafdrukberendingen is als maat voor biodiversiteit gekozen voor *Mean Species Abundance* (MSA, zie paragraaf 3.4). Dit is een maat die de nog aanwezige biodiversiteit in een areaal uitdrukt ten opzichte van een ongestoorde, natuurlijke situatie (als een waarde tussen 0 en 1). Het biodiversiteitsverlies is het verschil tussen de ongestoorde situatie en de nog aanwezige biodiversiteit (Alkemade *et al.* 2009). De biodiversiteitsvoetafdruk in deze studie bestaat uit de impacts van landgebruik, fragmentatie, verstoring en broeikasgasemissies (zie paragraaf 3.4). Op basis van de PBL-ICIO database zijn alleen biodiversiteitsvoetafdrukken voor het jaar 2010 berekend, aangezien dat het laatste jaar is waarvoor MSA-verliesfactoren uit het mondiale biodiversiteitsmodel GLOBIO zijn afgeleid.

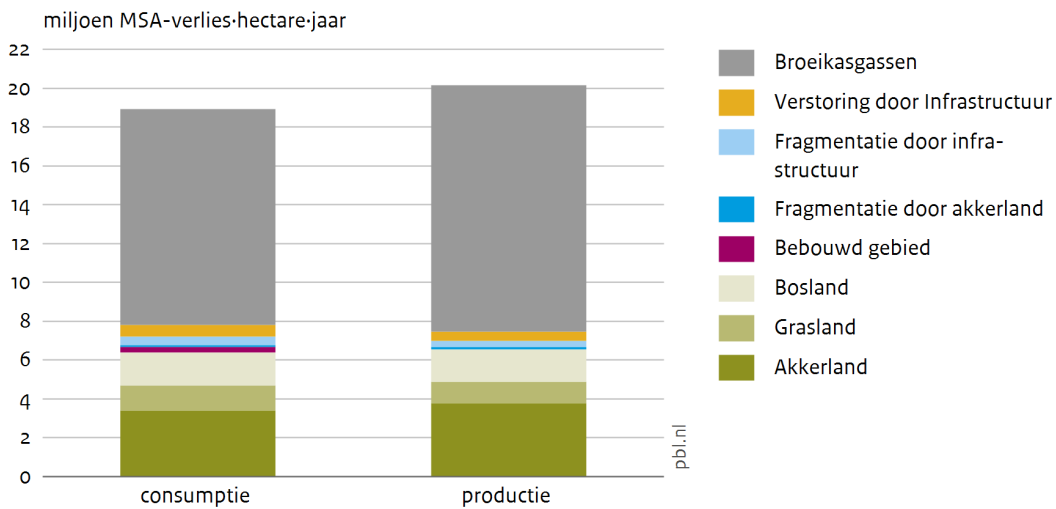
6.2 Biodiversiteitsvoetafdrukken

6.2.1 Nederland totaal en naar type

De Nederlandse consumptie- en productievoetafdruk voor biodiversiteit waren met respectievelijk 18,9 en 20,1 miljoen MSA-verlies-hectare-jaar in 2010 bijna even hoog (Figuur 6.1). Broeikasgassen hebben het grootste aandeel in de voetafdrukken gevolgd door landgebruik. De verliezen door landgebruik, fragmentatie en verstoring door wegen hebben samen een aandeel van minder dan 50%. Hierbij wordt opgemerkt dat vanwege de factor tijd in de berekening de onzekerheid in de cijfers voor broeikasgassen groter is dan die voor landgebruik. De verliezen als gevolg van de uitstoot van broeikasgassen betreft verwachte toekomstige verliezen vanuit een modelberekening. De verliezen als gevolg van landgebruik is gebaseerd op gegevens van actueel landgebruik,

Waar landgebruik vaak als de belangrijkste milieudrukfactor voor biodiversiteitsverlies en ontbossing wordt gezien (Kissinger *et al.* 2012; Newbold *et al.* 2014; Sala *et al.* 2000) is dat vanuit een voetafdrukperspectief anders. Meer dan de helft van de biodiversiteitsvoetafdruk van consumptie en productie is het gevolg van broeikasgasemissies. Het biodiversiteitsverlies in de voetafdrukken is namelijk berekend als de bijdrage van de huidige (2010) uitstoot op de toekomstige impact op biodiversiteit via klimaatverandering. Hierin is gerekend met een periode van 100 jaar vanwege de lange verblijftijd van CO₂ in de atmosfeer. Het in het GLOBIO model voor 2010 berekende mondiale biodiversiteitsverlies als gevolg van broeikasgasemissies is lager, aangezien dit de impact van emissies in het verleden aan klimaatverandering in 2010 is.

Figuur 6.1
Biodiversiteitsvoetafdrukken Nederland naar type milieudruk, 2010



De biodiversiteitsvoetafdruk als gevolg van Nederlandse consumptie en productie is voor meer dan de helft het gevolg van de uitstoot van broeikasgassen. Het gebruik van akkerland draagt voor iets minder dan een vijfde bij.

De relatieve bijdragen van akkerland, grasland en bosland in het landgebruiksdeel van de biodiversiteitsvoetafdruk is anders dan voor de landvoetafdruk (Hoofdstuk 5). De landvoetafdrukken geven alleen het fysieke landgebruik weer en daaraan is niet te zien wat de biodiversiteitseffecten zijn van verschillende vormen en intensiteit van landgebruik. Intensieve landbouw heeft lokaal een veel groter effect op de MSA-waarde dan bijvoorbeeld 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; bossen veranderen wel bij dit soort landgebruik maar verdwijnen niet (Alkemade *et al.* 2009).

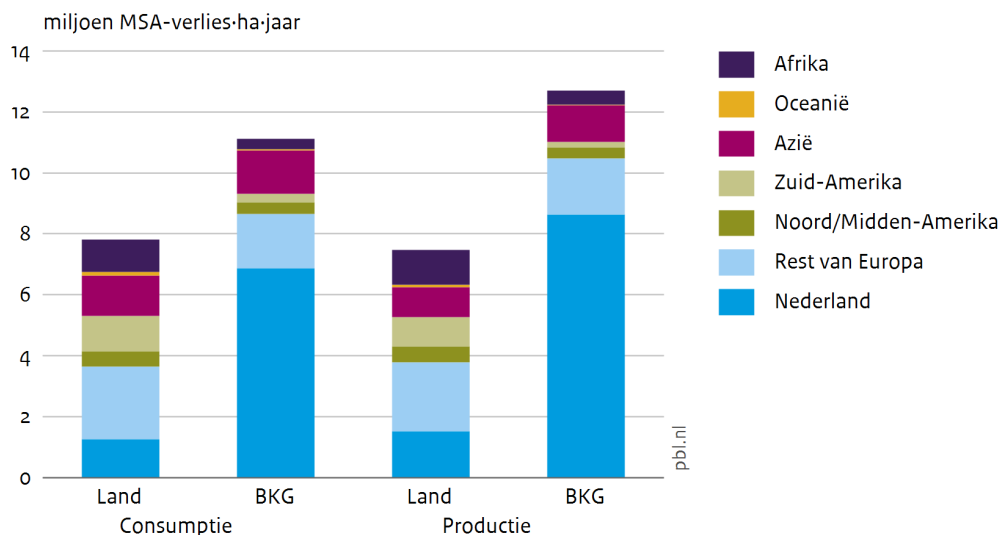
6.2.2 Bijdragen van regio's

Het merendeel (61 procent) van het biodiversiteitsverlies dat optreedt door Nederlandse consumptie wordt veroorzaakt in het buitenland (Figuur 6.2). Daarvan wordt 23 procentpunten veroorzaakt in de rest van Europa, de overige 38 procentpunten daarbuiten, waarvan 15 procentpunten in Azië. Nederland draagt zelf voor 44 procent bij aan de biodiversiteitsvoetafdruk als gevolg van Nederlandse productie. De productievoetafdruk laat een zelfde patroon over regio's zien als de consumptievoetafdruk. Van de 56 procent die buiten Nederland wordt veroorzaakt, vindt 22 procentpunten in de rest van Europa plaats.

De biodiversiteitsverliezen gerelateerd aan landgebruik zijn echter anders over landen en wereldregio's verdeeld dan die veroorzaakt door broeikasgasemissies. De verliezen door broeikasgassen wordt voor het grootste deel veroorzaakt door emissies in Nederland zelf. Bij de verliezen door landgebruik is het aandeel van Nederland veel kleiner. Een belangrijk deel van de effecten van de Nederlandse landvoetafdruk op biodiversiteit ligt in de rest van Europa. Het aandeel van Nederland in het landgebruiksdeel van de biodiversiteitsvoetafdrukken is groter dan het aandeel van Nederland in de landvoetafdrukken (Figuur 5.2). De productie van landbouwproducten is in Nederland meer intensief dan in andere landen. Hierdoor zijn de opbrengsten per hectare groter, maar leidt dit

tot meer biodiversiteitsverlies per hectare dan in sommige andere regio's. In Zuid-Amerika is bijvoorbeeld de productie van vlees minder intensief dan in Nederland, want kuddes grazen daar ook op semi-natuurlijke graslanden. Dat kost relatief meer landoppervlak, maar leidt tot relatief minder impacts op biodiversiteit.

Figuur 6.2
Biodiversiteitsvoetafdrukken Nederland naar regio, 2010



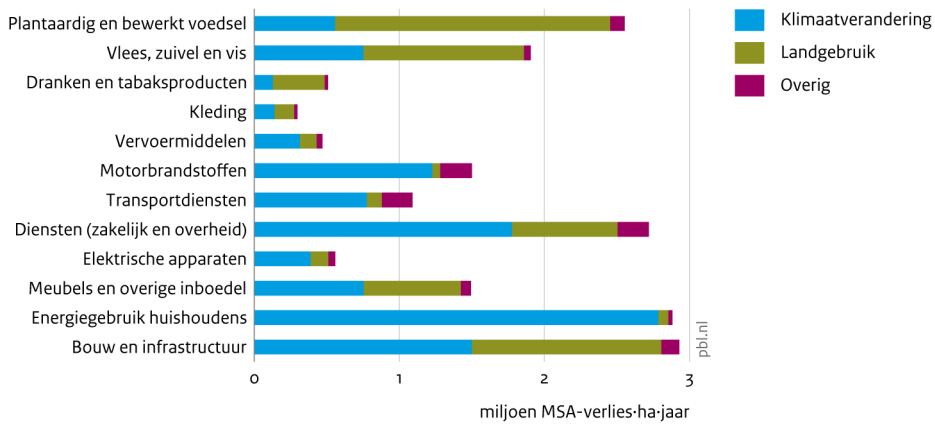
De biodiversiteitsvoetafdruk van Nederlandse consumptie en productie voor broeikasgassen is vooral het gevolg van emissies in Nederland. Voor land betreft dit vooral het landgebruik buiten Nederland met een aanzienlijk aandeel in de rest van Europa. Zie Tabel D.1 in Bijlage D voor de samenstelling van de regio-indeling op basis van de PBL-ICIO-database.

Bij de impacts van broeikasgassen gaat het om de regio's waar de uitstoot plaats vindt. Dit betekent niet dat het biodiversiteitsverlies door klimaatverandering uiteindelijk ook daar plaatsvindt. Klimaatverandering is namelijk 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 verschillen ecosystemen in gevoeligheid voor klimaatverandering (Alkemade *et al.* 2009). De meeste effecten door klimaatverandering, zoals berekend met het GLOBIO-model voor het jaar 2010, zijn merkbaar in Afrika, Azië en Centraal- en Zuid-Amerika (Schipper *et al.* 2020).

6.2.3 Consumptievoetafdruk naar productgroep

De productgroepen met een grote bijdrage in de consumptievoetafdruk voor biodiversiteit zijn enerzijds productgroepen met een hoog intensief landgebruik in de keten (voedsel) en anderzijds productgroepen met een hoge uitstoot van broeikasgassen (energie en motorbrandstoffen). Voor bouw en infrastructuur is enerzijds veel land nodig (hout), maar vinden ook veel broeikasgasemissies plaats. Hiermee is figuur 6.3 in feite een combinatie van de consumptievoetafdrukken voor broeikasgassen en landgebruik in figuren 4.5 en 5.4.

Figuur 6.3
 Biodiversiteitsvoetafdruk van Nederlandse consumptie naar productgroep, 2010



Plantaardig en dierlijk voedsel, diensten, huishoudelijk energiegebruik en bouw en infrastructuur hebben de grootste bijdrage aan de biodiversiteitsvoetafdruk van Nederlandse consumptie. Zie Tabel E.1 in Bijlage E voor de samenstelling van de productgroepen op basis van de PBL-ICIO-database.

7 Voetafdrukken: EU en mondiaal

7.1 Inleiding

In de hoofdstukken 4-6 zijn vanuit verschillende invalshoeken voetafdrukken voor Nederland gepresenteerd. Met MRIO-FP zijn echter niet alleen voetafdrukken voor Nederland berekend, maar ook voor de andere 68 landen en regio's in de PBL-ICIO database. Van al deze resultaten is een klein deel gebruikt in een aantal recente PBL publicaties (zie 1.3 en Tabel 1.1). Voor de ICER zijn voetafdrukcijfers voor de EU-27 berekend om een vergelijking met Nederland te kunnen maken. In paragraaf 7.2 worden deze cijfers verantwoord. Bij de landvoetafdrukindicator in het Compendium voor de Leefomgeving (CBS *et al.* 2020) is een aanvullende figuur opgenomen over het mondiale landgebruik vanuit consumptie in een aantal wereldregio's. In paragraaf 7.3 wordt ingegaan op de hiervoor berekende achterliggende cijfers.

7.2 EU-voetafdrukken

7.2.1 Voetafdrukken totaal

Voetafdrukken voor de gehele EU-27 zijn berekend op basis van de met MRIO-FP berekende voetafdrukken voor alle individuele landen in de EU-27. Tabel 7.1 bevat de uitkomsten voor zowel de consumptie- als de productievoetafdruk.

Tabel 7.1

Consumptie- en productievoetafdruk van de EU-27 voor broeikasgassen (2015), landgebruik (2015) en biodiversiteit (2010)

	Broeikasgassen megaton CO ₂ -eq.	Landgebruik miljoen hectare	Biodiversiteit miljoen MSA- verlies-ha-jaar
Consumptievoetafdruk	4472	339,1	492,4
Productievoetafdruk (som van EU-landen)	4889	436,1	519,1
Productievoetafdruk (gecorrigeerd voor dub- beltellingen)	3692	325,2	405,6

De consumptievoetafdruk van de EU-27 is eenvoudigweg de optelling van de consumptievoetafdrukken van de afzonderlijke EU-lidstaten. Immers, de ketens die met consumptie van landen samenhangen zijn voor alle productgroepen afzonderlijk te berekenen. Anders gezegd, een product kan maar één keer geconsumeerd worden. Optellen van consumptievoetafdrukken van landen levert daardoor geen dubbeltellingen op. Dat geldt niet voor de productievoetafdrukken, vanwege de onderlinge leveringen van productiesectoren binnen de EU aan elkaar. De productievoetafdrukken zijn daarom op twee manieren berekend. Allereerst als som van de productievoetafdrukken van de afzonderlijke EU-landen. De zo berekende voetafdrukken bevatten dus dubbeltellingen. Bijvoorbeeld een deel van de milieudruk in bedrijfstakken in Duitsland maakt ook deel uit van de productievoetafdruk van bedrijfstakken in Nederland via hun import. Door te corrigeren voor deze

dubbeltellingen kan de productievoetafdruk van de EU-27 worden berekend. De zo berekende productievoetafdruk van de EU is lager dan de consumptievoetafdruk voor alle drie milieudrukken, onder andere vanwege het feit dat de directe milieudruk van huishoudens en de milieudruk van hun directe import van buiten de EU niet in de productievoetafdruk meetellen, maar wel in de consumptievoetafdruk. Wel is de milieudruk van de import van de EU-27 in de productievoetafdruk groter dan die in de consumptievoetafdruk.

7.2.2 Vergelijking NL met EU gemiddelde

Voor veel grondstofgebruik- en effectindicatoren in de ICER worden de cijfers voor Nederland vergeleken met het EU gemiddelde. Deze paragraaf laat voor de in deze notitie beschreven voetafdrukken zien waarop de achterliggende cijfers voor deze vergelijking zijn gebaseerd. In Tabel 7.2 staan de berekende voetafdrukken per inwoner voor Nederland en de EU. De bevolkingscijfers zijn afkomstig van de Verenigde Naties (United Nations 2019). De cijfers voor de productievoetafdruk per EU-inwoner⁷ zijn gebaseerd op de productievoetafdrukken inclusief dubbeltellingen (zie Tabel 7.1). In feite is dit dan een gewogen gemiddelde over de productievoetafdrukken van alle EU-landen.

Tabel 7.2

Consumptie- en productievoetafdrukken per capita van NL en de EU-27 voor broeikasgassen (2015), landgebruik (2015) en biodiversiteit (2010)

	NL	EU-27	Verskil met EU-27
Bevolking miljoen	16,9	442,7	
Consumptievoetafdruk			
Broeikasgassen (ton CO₂-eq.)	13,7	10,1	35%
Landgebruik (ha)	0,6	0,8	-15%
Biodiversiteit (MSA-verlies-ha-jr)	1,1	1,1	1%
Productievoetafdruk			
Broeikasgassen (ton CO₂-eq.)	17,1	11,0	54%
Landgebruik (ha)	0,7	1,0	-28%
Biodiversiteit (MSA-verlies-ha-jr)	1,2	1,2	2%

In de ICER zijn de broeikasgasvoetafdrukken voor Nederland berekend met SNAC-EXIOBASE, maar is de vergelijking met de EU-27 gebaseerd op de PBL-ICIO database. De SNAC-methode is vooral bedoeld om de voetafdrukken voor een specifiek land te berekenen in overeenstemming met de Nationale Rekeningen van dat land. Aangezien de database op basis van de gegevens van één land wordt aangepast, is deze methode minder geschikt voor landenvergelijkingen.

⁷ In de ICER 2021 wordt de productievoetafdruk van Nederland en de EU vergeleken op basis van bevolking. Een andere manier om te vergelijken is op basis van het BNP van landen of de toegevoegde waarde van alle bedrijfstakken.

7.2.3 Aandeel import

In de ICER 2021 worden cijfers over het importdeel van de EU consumptievoetafdrukken genoemd. Deze zijn ook met het MRIO-FP-model op basis van de PBL-ICIO-database berekend. Ongeveer 28 procent van de broeikasgasemissies, 30 procent van het landgebruik en 29 procent van het biodiversiteitsverlies als gevolg van consumptie in de EU-27, vindt buiten de EU plaats. Dit is in lijn met andere studies (zie de ICER, pagina 71).

Tabel 7.3

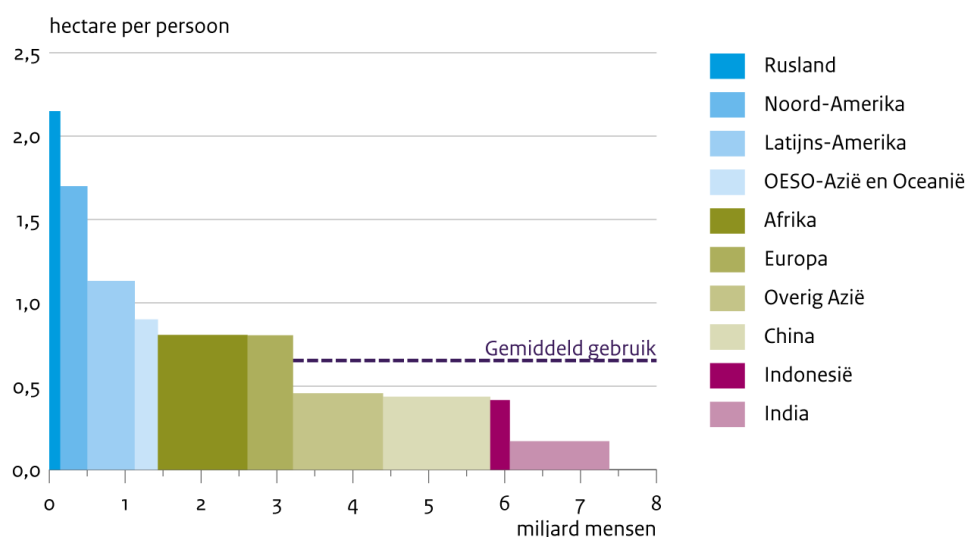
Milieudruk van ingezetenen en toegerekend aan consumptie, import en export van de EU

	Broeikasgassen megaton CO ₂ -eq.	Landgebruik miljoen hectare	Biodiversiteit miljoen MSA- verlies-ha·jaar
Milieudruk van bedrijven en huishoudens	3930	308,3	413,5
Toegerekend aan import	1240	101,4	141,2
Toegerekend aan export	698	61,8	62,3
Consumptievoetafdruk	4472	339,1	492,4
Aandeel import	28%	30%	29%

7.3 Mondiaal landgebruik

Figuur 7.1

Landvoetafdruk van consumptie in wereldregio's, 2015



Bron: PBL

PBL/mrt20
www.clo.nl/nl007509

Rusland en Noord-Amerika hebben de grootste consumptievoetafdruk voor land per inwoner. Voor India en Indonesië is de voetafdruk per inwoner het laagst.

Bij de consumptievoetafdruk wordt de mondiale milieudruk toegerekend aan wereldregio's op basis van consumptie. In het Compendium voor de Leefomgeving (CBS *et al.* 2020) is een figuur opgenomen die dit laat zien voor landgebruik. Per wereldburger wordt ruim 0,65 hectare land gebruikt (in 2015), maar per regio zitten hierin grote verschillen (Figuur 7.1). In welvarende regio's, zoals Noord-Amerika, is het landgebruik per inwoner veel hoger dan in armere regio's, zoals India. Daarnaast is er in dunbevolkte regio's zoals in Noord-Amerika, Latijns-Amerika, Oceanië en Afrika meer ruimte voor het houden van vee dan in meer dichtbevolkte regio's zoals Europa en is het landgebruik per dier hoger. Tabel 7.4 laat de achterliggende cijfers bij Figuur 7.1 zien.

Tabel 7.4
Landvoetafdruk van consumptie in wereldregio's, 2010

	Voetafdruk	Bevolking	Voetafdruk
	<i>miljoen ha</i>	<i>miljard mensen</i>	<i>hectare per persoon</i>
Rusland	311,6	145	2,15
Noord-Amerika	606,5	357	1,70
Latijns-Amerika	706,3	624	1,13
OESO-Azië en Oceanië	275,1	305	0,90
Afrika	955,5	1182	0,81
Europa	481,6	598	0,81
Overig Azië	543,0	1186	0,46
China	617,9	1414	0,44
Indonesië	107,7	258	0,42
India	223,6	1310	0,17
Gemiddeld beschikbaar			1,35
Gemiddeld gebruik			0,65

Bron bevolking: United Nations (2019)

Referenties

- Aguiar, A., Chepeliev, M., Corong, E.L., McDougall, R. & van der Mensbrugghe, D. (2019) 'The GTAP Data Base: Version 10', *Journal of Global Economic Analysis* 4 (1): 1-27.
- Alkemade, R., van Oorschot, M., Miles, L., Nellemann, C., Bakkenes, M. & ten Brink, B. (2009) 'GLOBI03: A Framework to Investigate Options for Reducing Global Terrestrial Biodiversity Loss', *Ecosystems* 12 (3): 374-390.
- Arets, E.J.M.M., Meer, P.J.v.d., Verwer, C.C., Hengeveld, G.M., G.W.Tolkamp, Nabuurs, G.J. & Oorschot, M.v. (2010) *Global Wood Production; Assessment of industrial round wood supply from forest management systems in different global regions*, Wageningen: Alterra WUR.
- Arets, E.J.M.M., Verwer, C. & Alkemade, R. (2014) *Meta-analysis of the effect of global warming on local species richness*, Wageningen, The Netherlands: Statutory Research Task Unit for Nature and the Environment. Wageningen University.
- Benítez-López, A., Alkemade, R. & Verweij, P.A. (2010) 'The impacts of roads and other infrastructure on mammal and bird populations: A meta-analysis', *Biological Conservation* 143 (6): 1307-1316.
- Brink, C., Drissen, E., Vollebergh, H. & Wilting, H. (2020) *Accounting for environmental damage by material production and use; a comparison of seven Western European countries*, The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- 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 (0): 11-21.
- Butchart, S.H.M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J.P.W., Almond, R.E.A., Baille, J.E.M., Bomhard, B., Brown, C., Bruno, J., Carpenter, K.E., Carr, G.M., Chanson, J., Chenery, A.M., Csirke, J., Davidson, N.C., Dentener, F., Foster, M., Galli, A., Galloway, J.N., Genovesi, P., Gregory, R.D., Hockings, M., Kapos, V., Lamarque, J.-F., Leverington, F., Loh, J., McGeoch, M.A., McRae, L., Minasyan, A., Morcillo, M.H., Oldfield, T.E.E., Pauly, D., Quader, S., Revenga, C., Sauer, J.R., Skolnik, B., Spear, D., Stanwell-Smith, D., Stuart, S.N., Symes, A., Tierney, M., Tyrrell, T.D., Vié, J.-C. & Watson, R. (2010) 'Global Biodiversity: Indicators of Recent Declines', *Science* 328 (5982): 1164-1168.
- CBS (2020a) *Emissies naar lucht door de Nederlandse economie; nationale rekeningen*, Den Haag/Heerlen, Centraal Bureau voor de Statistiek.
- CBS (2020b) *Landbouw; gewassen, dieren en grondgebruik naar hoofdbedrijfstype, regio*, Den Haag/Heerlen, Centraal Bureau voor de Statistiek.
- CBS (2021a) *Hoeveel broeikasgas stoot de transportsector uit?*, <https://www.cbs.nl/nl-nl/dossier/dossier-broeikasgassen/hoofdcategorieen/hoeveel-broeikasgas-stoot-de-transportsector-uit>, geraadpleegd 15 november 2021.
- CBS (2021b) *Voetafdrukken van een geharmoniseerde Exiobase*, <https://www.cbs.nl/nl-nl/maatwerk/2021/03/voetafdrukken-van-een-geharmoniseerde-exiobase>, geraadpleegd 15 november 2021.
- CBS, PBL, RIVM & WUR (2020) *Landvoetafdruk, 1990-2017 (indicator 0075, versie 09, 16 april 2020), tabblad Wereldburgers*, www.clo.nl, geraadpleegd 15 november 2021.
- CBS, PBL, RIVM & WUR (2021) *Emissies broeikasgassen, 1990-2020 (indicator 0165, versie 39, 31 augustus 2021)*, www.clo.nl, geraadpleegd 15 november 2021.

- CDC Biodiversité, ASN Bank & ACTIAM (2018) *Common ground in biodiversity footprint methodologies for the financial sector*, Paris: ACTIAM, ASN Bank, CDC Biodiversité.
- Chepeliev, M. (2020) *Development of the Air Pollution Database for the GTAP Data Base Version 10A*, West Lafayette, USA: Purdue University.
- Doelman, J.C., Stehfest, E., Tabeau, A., van Meijl, H., Lassaletta, L., Gernaat, D.E.H.J., Hermans, K., Harmsen, M., Daioglou, V., Biemans, H., van der Sluis, S. & van Vuuren, D.P. (2018) 'Exploring SSP land-use dynamics using the IMAGE model: Regional and gridded scenarios of land-use change and land-based climate change mitigation', *Global Environmental Change* 48:119-135.
- Edens, B., Hoekstra, R., Zult, D., Lemmers, O., Wilting, H. & Wu, R. (2015) 'A method to create carbon footprint estimates consistent with national accounts', *Economic Systems Research* 27:440-457.
- EDGAR (2020) *Emissions Database for Global Atmospheric Research*, Ispra, Joint Research Centre (JRC).
- Eurostat (2020) *Air emissions accounts by NACE Rev. 2 activity, ENV_AC_AINAH_R2*, Luxembourg, European Commission.
- FAO (2020) *FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Rome; last accessed April, 3, 2020, [FAOSTAT](#).
- FAO (2021) *Global Forest Resources Assessments*, <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/en/>.
- Hanemaaijer, A., Kishna, M., Brink, H., Koch, J., Prins, A.G. & Rood, T. (2021) *Integrale Circulaire Economie Rapportage 2021*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Inomata, S. & Owen, A. (2014) 'A Comparative Evaluation of Multi-Regional Input-Output Databases', *Economic Systems Research* 26 (3): 239-244.
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Joos, F., Roth, R., Fuglestvedt, J.S., Peters, G.P., Enting, I.G., von Bloh, W., Brovkin, V., Burke, E.J., Eby, M., Edwards, N.R., Friedrich, T., Frölicher, T.L., Halloran, P.R., Holden, P.B., Jones, C., Kleinen, T., Mackenzie, F.T., Matsumoto, K., Meinshausen, M., Plattner, G.K., Reisinger, A., Segschneider, J., Shaffer, G., Steinacher, M., Strassmann, K., Tanaka, K., Timmermann, A. & Weaver, A.J. (2013) 'Carbon dioxide and climate impulse response functions for the computation of greenhouse gas metrics: a multi-model analysis', *Atmos. Chem. Phys.* 13 (5): 2793-2825.
- Kissinger, G., Herold, M. & De Sy, V. (2012) *Drivers of Deforestation and Forest Degradation: A Synthesis Report for REDD+ Policymakers*, Vancouver, Canada: Lexeme Consulting.
- Lenzen, M., Moran, D., Kanemoto, K. & Geschke, A. (2013) 'Building Eora: A Global Multi-Region Input-Output Database at high Country and Sector Resolution', *Economic Systems Research* 25 (1): 20-49.
- Marquardt, S.G., Guindon, M., Wilting, H.C., Steinmann, Z.J.N., Sim, S., Kulak, M. & Huijbregts, M.A.J. (2019) 'Consumption-based biodiversity footprints – Do different indicators yield different results?', *Ecological Indicators* 103:461-470.
- Meijer, J.R., Huijbregts, M.A.J., Schotten, K.C.G.J. & Schipper, A.M. (2018) 'Global patterns of current and future road infrastructure', *Environmental Research Letters* 13 (6): 064006.
- Miller, R.E. & Blair, P.D. (2009), *Input-Output Analysis: Foundations and Extensions*, 2nd edition edn, Cambridge: Cambridge University Press.
- Myhre, G., Shindell, D., Breon, F.M., Collins, W., Fuglestvedt, J., Huang, J., Koch, D., Lamarque, J.F., Lee, D., Mendoza, B., Nakajima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T. & Zhang, H. (2013)

Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.

- 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 (1792).
- Nijdam, D.S., Rood, T.G.A. & van Oorschot, M.M.P. (2019) 'Land use related to Dutch consumption, 1990–2013', *Land Use Policy* 82401–413.
- OECD (2018) *Inter-Country Input-Output (ICIO) Tables* (ed Organisation for Economic Co-operation and Development), Paris, France.
- OECD (2021) *OECD Inter-Country Input-Output Database* (ed Organisation for Economic Co-operation and Development), Paris, France.
- PBL, TNO, CBS & RIVM (2020) *Klimaat- en Energieverkenning 2020*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Probos (2010) *Crisis werkt ook in roundhoutverwerking door*. Bosberichten, 2010 no 5., Wageningen: Stichting Probos.
- Remond-Tiedrez, I. & Rueda-Cantuche, J.M., eds. (2019) *EU inter-country supply, use and input-output tables — Full international and global accounts for research in input-output analysis (FIGARO)*. 2019 edition. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- 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* 2871770–1774.
- Sanders, M.E., Bredenoord, H., Kok, M.T.J. & van Oorschot, M.M.P. (2020) *Nederlands natuurbeleid in internationale context. Voortgang realisatie natuur- en biodiversiteitsbeleid*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Schipper, A., Bakkenes, M., Meijer, J., Alkemade, R. & Huijbregts, M. (2016) *The GLOBIO model. A technical description of version 3.5*, The Hague: PBL Netherlands Environmental Assessment Agency.
- Schipper, A.M., Hilbers, J.P., Meijer, J.R., Antão, L.H., Benítez-López, A., de Jonge, M.M.J., Leemans, L.H., Scheper, E., Alkemade, R., Doelman, J.C., Mylius, S., Stehfest, E., van Vuuren, D.P., van Zeist, W.-J. & Huijbregts, M.A.J. (2020) 'Projecting terrestrial biodiversity intactness with GLOBIO 4', *Global Change Biology* 26 (2): 760–771.
- Södersten, C.-J.H., Wood, R. & Hertwich, E.G. (2018) 'Endogenizing Capital in MRIO Models: The Implications for Consumption-Based Accounting', *Environmental Science & Technology*.
- Stadler, K., Wood, R., Bulavskaya, T., Södersten, C.-J., Simas, M., Schmidt, S., Usubiaga, A., Acosta-Fernández, J., Kuenen, J., Bruckner, M., Giljum, S., Lutter, S., Merciai, S., Schmidt, J.H., Theurl, M.C., Plutzar, C., Kastner, T., Eisenmenger, N., Erb, K.-H., de Koning, A. & Tukker, A. (2018) 'EXIOBASE 3: Developing a Time Series of Detailed Environmentally Extended Multi-Regional Input-Output Tables', *Journal of Industrial Ecology* 22 (3): 502–515.
- 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*, Den Haag: PBL Planbureau voor de Leefomgeving.
- Stone, R. (1961) *Input–Output and National Accounts*, Paris, France: Organisation for Economic Cooperation and Development
- Timmer, M.P., Dietzenbacher, E., Los, B., Stehrer, R. & de Vries, G.J. (2015) 'An Illustrated User Guide to the World Input–Output Database: the Case of Global Automotive Production', *Review of International Economics* 23 (3): 575–605.
- Tukker, A., de Koning, A., Owen, A., Lutter, S., Bruckner, M., Giljum, S., Stadler, K., Wood, R. & Hoekstra, R. (2018) 'Towards Robust, Authoritative Assessments of Environmental Impacts Embodied in Trade: Current State and Recommendations', 22 (3): 585–598.
- Tukker, A. & Dietzenbacher, E. (2013) 'Global Multiregional Input–Output Frameworks: An Introduction and Outlook', *Economic Systems Research* 25 (1): 1–19.
- UNFCCC (2020) *Greenhouse Gas Inventory Data - Detailed data by Party*, Bonn, United Nations Climate Change.
- United Nations (2019) *World Population Prospects 2019, Online Edition*, <https://population.un.org/wpp/>,
- van Oorschot, M.M.P., Wilting, H.C., Nijdam, D. & Bredenoord, H. (2021) *Halveren van de Nederlandse voetafdruk. Reflectie op een nieuwe ambitie voor het Nederlandse nationale en internationale natuurbeleid*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- van Toor, J., Piljic, D., Schellekens, G., van Oorschot, M. & Kok, M. (2020) *Biodiversiteit en de financiële sector: een kruisbestuiving? Verkenning van risico's van biodiversiteitsverlies voor de Nederlandse financiële sector*, Amsterdam/Den Haag: De Nederlandsche Bank/Planbureau voor de Leefomgeving.
- Wackernagel, M. & Rees, W.E. (1996), *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*, Gabriola Island, BC: New Society Publishers.
- Wiedmann, T. & Lenzen, M. (2018) 'Environmental and social footprints of international trade', *Nature Geoscience* 11 (5): 314–321.
- Wilting, H.C., Hanemaaijer, A., Oorschot, M.v. & Rood, T. (2015) *Trends in Nederlandse voetafdrukken, 1995–2010*, Den Haag: Planbureau voor de Leefomgeving.
- Wilting, H.C., Schipper, A.M., Bakkenes, M., Meijer, J.R. & Huijbregts, M.A.J. (2017) 'Quantifying Biodiversity Losses Due to Human Consumption: A Global-Scale Footprint Analysis', *Environmental Science & Technology* 51 (6): 3298–3306.
- Wilting, H.C. & van Oorschot, M.M.P. (2017) 'Quantifying biodiversity footprints of Dutch economic sectors: A global supply-chain analysis', *Journal of Cleaner Production* 156194–202.

Bijlagen

Bijlage A Uitwerking consumptievoetafdruk voor biodiversiteit

In hoofdstuk 2 zijn de voetafdrukken op hoofdlijnen beschreven. In deze bijlage wordt de consumptievoetafdruk voor biodiversiteit in een multiregionale context in meer detail beschreven.

De formule voor de consumptievoetafdruk voor biodiversiteit, $C^{B,NL}$, van Nederland is:

$$C^{B,NL} = \mathbf{i} (\mathbf{B} \circ \mathbf{D}) (\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1} \mathbf{y}^{NL,c} + \mathbf{b}^{NL} \mathbf{e}^{NL} \quad (\text{A.1})$$

In Tabel A.1 staat deze formule verder beschreven voor een economie met r regio's en s bedrijfstakken per regio en met u het aantal milieudrukken.

Tabel A.1

Beschrijving van de variabelen in formule A.1

Formules/variabele	Omschrijving
\mathbf{i}	\mathbf{i} is een $(1 \times u)$ vector gevuld met éenen die nodig is om de biodiversiteitsverliezen van verschillende milieudrukken op te tellen
$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{b}^{1,1} & \dots & \mathbf{b}^{1,r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{b}^{u,1} & \dots & \mathbf{b}^{u,r} \end{bmatrix}$	\mathbf{B} is de $(u \times r \cdot s)$ matrix met biodiversiteitsverliesfactoren per sector en regio per milieudruktype; \mathbf{b}^{ij} is een $(1 \times s)$ rijvector van biodiversiteitsimpactfactoren van milieudruk i in regio j (weergegeven als de biodiversiteitsimpact per eenheid milieudruk)
\circ (symbool)	Symbool \circ geeft het Hadamard-product weer. Bij dit product worden corresponderende elementen in twee matrices vermenigvuldigd met als uitkomst een nieuwe matrix van dezelfde dimensie.
$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \mathbf{d}^{1,1} & \dots & \mathbf{d}^{1,r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{d}^{u,1} & \dots & \mathbf{d}^{u,r} \end{bmatrix}$	\mathbf{D} is de $(u \times r \cdot s)$ matrix van milieudrukintensiteiten per sector en regio per milieudruk type; \mathbf{d}^{ij} is een $(1 \times s)$ rijvector van directe milieudrukintensiteiten van milieudruk i in regio j (weergegeven als de directe milieudruk per eenheid productiewaarde voor alle sectoren)
\mathbf{I}	Matrix \mathbf{I} is de identiteitsmatrix; $(\mathbf{I} - \mathbf{A})^{-1}$ is de Leontief-inverse matrix ($r \cdot s \times r \cdot s$)
$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^{11} & \dots & \mathbf{A}^{1r} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{A}^{r1} & \dots & \mathbf{A}^{rr} \end{bmatrix}$	\mathbf{A} is de $(r \cdot s \times r \cdot s)$ matrix van inputcoëfficiënten; \mathbf{A}^{ij} , $i=j$ is de $(s \times s)$ matrix van binnenlandse inputcoëfficiënten van regio i , \mathbf{A}^{ij} , $i \neq j$ is de $(s \times s)$ matrix van importcoëfficiënten van regio j importierend uit regio i . De binnenlandse inputcoëfficiënten en de

importcoëfficiënten beschrijven de intermediaire inputs per eenheid productiewaarde (output) voor iedere sector.

$$\mathbf{y}^{NL,c} = \begin{bmatrix} \mathbf{y}^{1,NL} \\ \vdots \\ \mathbf{y}^{n,NL} \end{bmatrix}$$

$\mathbf{y}^{NL,c}$ is de $(r \times s \times 1)$ kolomvector van de totale Nederlandse finale vraag; $\mathbf{y}^{NL,NL}$ is de $(s \times 1)$ kolomvector van de binnenlandse finale vraag van Nederland, en $\mathbf{y}^{i,NL}$, $i \neq NL$ is de $(s \times 1)$ vector van de finale vraag van Nederland afkomstig van regio i . Overeenkomstige vectoren kunnen worden opgesteld voor specifieke finale vraagcategorieën zoals investeringen en huishoudelijke en overheidsconsumptie.

\mathbf{b}^{NL}

\mathbf{b}^{NL} is de $(1 \times u)$ rijvector met biodiversiteitsverliesfactoren per milieudruk van directe milieudruk van consumenten in Nederland

\mathbf{e}^{NL}

\mathbf{e}^{NL} is de $(u \times 1)$ kolomvector van de directe milieudrukken van consumenten in Nederland

Bijlage B Regio- en bedrijfstakindeling in PBL-ICIO

De MRIO-database, PBL-ICIO, die is gebruikt in de voetafdrukberekeningen in deze studie onderscheidt 69 landen en regio's. Deze staan vermeld in Tabel B.1.

Tabel B.1

Regio-indeling van PBL-ICIO (Engelse benamingen)

Code	Land	Code	Land	Code	Land
AUS	Australia	NLD	Netherlands	IND	India
AUT	Austria	NZL	New Zealand	IDN	Indonesia
BEL	Belgium	NOR	Norway	HKG	Hong Kong, China
CAN	Canada	POL	Poland	KAZ	Kazakhstan
CHL	Chile	PRT	Portugal	MYS	Malaysia
CZE	Czech Republic	SVK	Slovak Republic	MLT	Malta
DNK	Denmark	SVN	Slovenia	MAR	Morocco
EST	Estonia	ESP	Spain	PER	Peru
FIN	Finland	SWE	Sweden	PHL	Philippines
FRA	France	CHE	Switzerland	ROU	Romania
DEU	Germany	TUR	Turkey	RUS	Russian Federation
GRC	Greece	GBR	United Kingdom	SAU	Saudi Arabia
HUN	Hungary	USA	United States	SGP	Singapore
ISL	Iceland	ARG	Argentina	ZAF	South Africa
IRL	Ireland	BRA	Brazil	TWN	Chinese Taipei
ISR	Israel ¹	BRN	Brunei Darussalam	THA	Thailand
ITA	Italy	BGR	Bulgaria	TUN	Tunisia
JPN	Japan	KHM	Cambodia	VNM	Vietnam
KOR	Korea	CHN	China	RoOc	Rest of Oceania
LVA	Latvia	COL	Colombia	RoAs	Rest of Asia
LTU	Lithuania	CRI	Costa Rica	RoAm	Rest of America
LUX	Luxembourg	HRV	Croatia	RoEur	Rest of Europe
MEX	Mexico	CYP	Cyprus ²	RoAfr	Rest of Africa

¹ Israel: zoals gedefinieerd door de Israëliische autoriteiten, ² Cyprus: alleen zuidelijk deel van het eiland.

De MRIO-database, PBL-ICIO, die is gebruikt in de voetafdrukberekeningen onderscheidt 48 bedrijfstakken. Deze staan vermeld in Tabel B.2.

Tabel B.2

Bedrijfstakindeling van PBL-ICIO (Engelse benamingen)

Nummer	Omschrijving
1	Rice, wheat, other grains
2	Vegetables, fruit and nuts, edible roots and tubers, pulses
3	Other crops
4	Cattle: bovine animals, other ruminants, horses and other equines
5	Other animal products: swine, poultry, other live animals, eggs
6	Forestry: forestry, logging and related service activities

7	Fishing and fish farms
8	Mining and extraction of energy producing products
9	Mining and quarrying of non-energy producing products
10	Mining support service activities
11	Meat and dairy products
12	Other food products
13	Beverages and tobacco
14	Textiles, wearing apparel, leather and related products
15	Wood and products of wood and cork
16	Paper products and printing
17	Coke and refined petroleum products
18	Chemicals and pharmaceutical products
19	Rubber and plastic products
20	Other non-metallic mineral products
21	Basic metals
22	Fabricated metal products
23	Computer, electronic and optical products
24	Electrical equipment
25	Machinery and equipment, not else classified
26	Motor vehicles, trailers and semi-trailers
27	Other transport equipment
28	Other manufacturing; repair and installation of machinery and equipment
29	Electricity and gas supply
30	Water supply, sewerage, waste and remediation services
31	Construction
32	Wholesale and retail trade; repair of motor vehicles
33	Land transport and transport via pipelines
34	Water transport
35	Air transport
36	Warehousing and support activities
37	Accommodation and food services
38	Publishing, audiovisual and broadcasting activities
39	Telecommunications
40	IT and other information services
41	Financial and insurance activities
42	Real estate activities
43	Other business sector services
44	Public admin. and defence; compulsory social security
45	Education
46	Human health and social work
47	Arts, entertainment, recreation and other service activities
48	Private households with employed persons

Bijlage C Databases voor broeikasgasemissies

Voor de gegevens in PBL-ICIO zijn voor broeikasgasemissies verschillende databronnen gebruikt. Deze staan in Tabel C.1 per land en regio vermeld.

Tabel C.1

Herkomst gegevens voor broeikasgasemissies per land en regio voor PBL-ICIO voor 2005-2015

Code	Land	Database
AUS	Australia	UNFCCC
AUT	Austria	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
BEL	Belgium	Eurostat
CAN	Canada	UNFCCC
CHL	Chile	GTAP
CZE	Czech Republic	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
DNK	Denmark	Eurostat
EST	Estonia	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
FIN	Finland	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
FRA	France	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
DEU	Germany	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
GRC	Greece	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
HUN	Hungary	Eurostat
ISL	Iceland	Eurostat
IRL	Ireland	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
ISR	Israel ¹	GTAP
ITA	Italy	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
JPN	Japan	UNFCCC
KOR	Korea	GTAP
LVA	Latvia	Eurostat
LTU	Lithuania	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
LUX	Luxembourg	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
MEX	Mexico	GTAP
NLD	Netherlands	CBS
NZL	New Zealand	UNFCCC
NOR	Norway	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
POL	Poland	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
PRT	Portugal	Eurostat
SVK	Slovak Republic	Eurostat
SVN	Slovenia	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
ESP	Spain	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
SWE	Sweden	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
CHE	Switzerland	UNFCCC
TUR	Turkey	Eurostat
GBR	United Kingdom	Eurostat

USA	United States	UNFCCC
ARG	Argentina	GTAP
BRA	Brazil	GTAP
BRN	Brunei Darussalam	GTAP
BGR	Bulgaria	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
KHM	Cambodia	GTAP
CHN	China (People's Republic of)	GTAP
COL	Colombia	GTAP
CRI	Costa Rica	GTAP
HRV	Croatia	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
CYP	Cyprus ²	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
IND	India	GTAP
IDN	Indonesia	GTAP
HKG	Hong Kong, China	GTAP
KAZ	Kazakhstan	UNFCCC
MYS	Malaysia	GTAP
MLT	Malta	Eurostat
MAR	Morocco	GTAP
PER	Peru	GTAP
PHL	Philippines	GTAP
ROU	Romania	UNFCCC (2005-2007); Eurostat (2008-2015)
RUS	Russian Federation	UNFCCC
SAU	Saudi Arabia	GTAP
SGP	Singapore	GTAP
ZAF	South Africa	GTAP
TWN	Chinese Taipei	GTAP
THA	Thailand	GTAP
TUN	Tunisia	GTAP
VNM	Vietnam	GTAP
RoOc	Rest of Oceania	GTAP
RoAs	Rest of Asia	GTAP
RoAm	Rest of America	GTAP
RoEur	Rest of Europe	GTAP
RoAfr	Rest of Africa	GTAP

Bijlage D Geaggregeerde regio's en sectoren

Bij de presentatie van de voetafdrukresultaten wordt voor geaggregeerde regio's en sectoren weergegeven waar de milieudruk en -impacts plaats vinden. In Tabel D.1 staat hoe deze regio's zijn samengesteld; in Tabel D.2 staat dit voor de geaggregeerde sectoren.

Tabel D.1

Samenstelling van geaggregeerde regio's op basis van landen in PBL-ICIO (Tabel B.1)

Geaggregeerde regio's	PBL-ICIO landen
Nederland	NLD
Rest van Europa	AUT, BEL, CZE, DNK, EST, FIN, FRA, DEU, GRC, HUN, ISL, IRL, ITA, LVA, LTU, LUX, NOR, POL, PRT, SVK, SVN, ESP, SWE, CHE, GBR, BGR, HRV, CYP, MLT, ROU, RUS, RoEur
Noord/Midden-Amerika	CAN, MEX, USA
Zuid-Amerika	CHL, ARG, BRA, COL, CRI, PER, RoAm
Azië	ISR, JPN, KOR, TUR, BRN, KHM, CHN, IND, IDN, HKG, KAZ, MYS, PHL, SAU, SGP, TWN, THA, VNM, RoAs
Oceanië	AUS, NZL, RoOc
Afrika	MAR, ZAF, TUN, RoAfr

Tabel D.2

Samenstelling van geaggregeerde sectoren op basis van bedrijfstakken in PBL-ICIO (Tabel B.2)

Geaggregeerde sectoren	PBL-ICIO bedrijfstakken
Landbouw en visserij	1-7
Grondstofwinning	8-10
Basisindustrie	16-18, 20-21
Overige industrie	11-15, 19, 22-28
Energiesector	29-30
Handel en transportdiensten	32-36
Overige diensten (incl. bouw)	31, 37-48

Bijlage E Geaggregeerde productgroepen en transitiethema's

Vanuit het consumptieperspectief wordt de voetafdruk voor broeikasgassen, land en biodiversiteit in deze notitie gepresenteerd voor twaalf geaggregeerde productgroepen. In Tabel E.1 staat hoe deze productgroepen zijn samengesteld op basis van de bedrijfstakken in PBL-ICIO. Hierbij is een aantal bedrijfstakken verdeeld over meerdere productgroepen.

Tabel E.1

Samenstelling van geaggregeerde productgroepen op basis van bedrijfstakken in PBL-ICIO. Waar één bedrijfstak aan meerdere productgroepen is toegekend, worden percentages weergegeven.

Geaggregeerde productgroepen	PBL-ICIO bedrijfstakken (Tabel B.2)
Plantaardig voedsel	1, 2, 12 (95%), 32 (13%), 37 (32%)
Vlees, zuivel en vis	4 (97%), 5 (75%), 7, 11, 32 (13%), 37 (32%)
Dranken en tabaksproducten	13, 32 (1%), 37 (15%)
Kleding	14, 32 (13%)
Vervoermiddelen	26, 27, 32 (16%)
Motorbrandstoffen	17, 32 (1%), huishoudens (48%)
Transportdiensten	33-36
Diensten	30, 37 (21%), 38-41, 43-48
Elektrische apparaten	23-25, 32 (11%)
Meubels en overige inboedel	3, 4 (3%), 5 (25%), 12 (5%), 16, 18, 19, 22, 28, 32 (27%)
Energie	8, 29, huishoudens (52%)
Huisvesting	6, 9, 10, 15, 20, 21, 31, 32 (5%), 42

De toewijzing van de milieudruk van huishoudens aan de consumptievoetafdruk is weergegeven voor de emissies van broeikasgassen. Voor landgebruik en biodiversiteitsverlies is de toewijzing anders.

In de ICER (pagina 187 en verder) wordt het aandeel van de zogenaamde transitiethema's in de milieudruk in termen van grondstoffengebruik en milieueffecten gepresenteerd. Een deel van deze aandelen is op basis van de voetafdrukresultaten in deze studie berekend. Voor de consumptie- en productievoetafdruk voor land is dat respectievelijk 82 procent en 84 procent. Voor biodiversiteit is dat voor de consumptievoetafdruk 59 procent en voor de productievoetafdruk 67 procent. In Tabel E.2 staat de vertaling van de bedrijfstakken in PBL-ICIO naar de transitiethema's zoals die in de ICER worden gebruikt.

Tabel E.2

Samenstelling van transitiethema's op basis van bedrijfstakken in PBL-ICIO (Tabel B.2)

Geaggregeerde sectoren	PBL-ICIO bedrijfstakken
Biomassa en Voedsel	1-7, 11-16, 37
Maakindustrie	11-14, 16, 18-28, 31
Kunststoffen	11-14, 18, 19, 26
Bouw	15, 20, 21, 31, 42
Consumptiegoederen	11-12, 14-16, 24, 28, 30, 32, 37, 38, 42