



Centraal Planbureau

# CO<sub>2</sub>-heffing en verplaatsing

Dit achtergronddocument bevat een analyse naar de economische effecten van een invoering van een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing.

De analyse richt zich op het productieverlies voor de Nederlandse industrie en de weglek van CO<sub>2</sub>-uitstoot naar het buitenland.

CPB Achtergronddocument

Johannes Bollen, Anja Deelen,  
Sander Hoogendoorn, Arjan Trinks

november 2020

# Samenvatting en conclusies

**Een invoering van een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie in Nederland van 200 euro per ton CO<sub>2</sub> leidt naar verwachting tot een productieverlies van maximaal vijf procent.** Deze bevinding volgt uit modelanalyses naar de economische effecten van vlakke heffingen met een substantieel tarief van 100 of 200 euro per ton CO<sub>2</sub> boven op het Europese emissiehandelssysteem (EU ETS). Het beperkte productieverlies komt met name doordat de stijging van de productiekosten voor de industrie niet heel groot is. Zo vormt de energierekening, naast de inkoop van grondstoffen, arbeid en allerlei investeringen, slechts een deel van de totale productiekosten. Daarnaast zijn er binnen de industrie een aantal relatief goedkope opties voor CO<sub>2</sub>-emissiereductie door te voeren, die de belastinggrondslag van de heffing en de daaruit voortvloeiende kostprijsstijging kunnen drukken. Dergelijke waarnemingen komen ook naar voren uit de wetenschappelijke literatuur. Op sectorniveau kan het productieverlies groter uitvallen. De chemie en basismetaal ondervinden naar verhouding het grootste verlies aan productie, omdat deze sectoren CO<sub>2</sub>-intensiever zijn dan de rest van de industrie en gevoeliger voor internationale concurrentie. Gegeven het beperkte productieverlies zullen de langetermijneffecten voor het bbp en de werkgelegenheid eveneens gering zijn. Op kortere termijn kan er mogelijk wel enige frictie op de arbeidsmarkt ontstaan, omdat de werkgelegenheid in beperkte mate verschuift naar bedrijven en sectoren die minder CO<sub>2</sub>-intensief produceren (zie ook CPB en PBL, 2018).

**De weglek van CO<sub>2</sub>-emissies naar het buitenland kan bij een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing oplopen tot ongeveer de helft van de door de heffing ingezette emissiereductie in de Nederlandse industrie.** De afname van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de industrie is afhankelijk van het tarief en de vormgeving van de heffing, en varieert naar schatting tussen de 40 en 57%. Deze afname wordt voor een niet onbelangrijk deel tenietgedaan door een hogere uitstoot elders in de wereld. De weglek van CO<sub>2</sub>-emissies vindt vooral plaats naar landen als China en India, waar industriële productieprocessen aanzienlijk CO<sub>2</sub>-intensiever zijn. Daarnaast gaat de productie in dergelijke landen gepaard met een hoger gebruik van elektriciteit uit CO<sub>2</sub>-intensieve bronnen en zijn er bovendien vaak geen bindende CO<sub>2</sub>-emissieplafonds. Een gerichte terugsluis van de belastingopbrengst naar de industrie in Nederland ten behoeve van de verduurzaming van het productieproces kan helpen om de weglek van CO<sub>2</sub>-uitstoot enigszins te beperken. Per saldo nemen de kosten van aanpassingen in het productieproces in dat geval immers af.

**Technisch en economisch zijn er rond 2030 haalbare opties voor een substantiële vermindering van emissies in de drie meest CO<sub>2</sub>-uitstotende industriële sectoren in Nederland (chemie, aardolie en basismetaal).** Dit blijkt uit een verkenning naar de relevante aspecten van deze sectoren. De mogelijkheden voor CO<sub>2</sub>-emissiereductie hangen vaak wel af van randvoorwaarden zoals investeringen in de infrastructuur voor bijvoorbeeld CO<sub>2</sub>-afvang en opslag (CCS). De marginale kosten per vermeden ton CO<sub>2</sub> zijn voor de industrie onzeker en variëren tussen sectoren binnen de industrie. De relatief goedkope maatregelen (het zogeheten laaghangende fruit) liggen in het bereik van circa 50 tot 90 euro per vermeden ton CO<sub>2</sub>. Andere onzekerheden betreffen de toekomstige vormgeving van het klimaatbeleid en de ontwikkeling van de EU ETS-prijs. Gevoeligheidsanalyses voor dergelijke onzekerheden laten zien dat het productieverlies voor de industrie ook bij alternatieve aannames beperkt uitvalt en de weglek van CO<sub>2</sub>-emissies in nagenoeg alle gevallen aanzienlijk blijft.

**De bevindingen in dit achtergronddocument kunnen een bijdrage leveren aan het publieke debat over de verplaatsing van industriële activiteiten naar het buitenland door de invoering van een CO<sub>2</sub>-heffing.** Verder kunnen de inzichten fungeren als doorkijk voor de impact van mogelijk stringenterreductiedoelen in de toekomst, zoals bijvoorbeeld voorgesteld in de Europese Green Deal. Totslot is uit de resultaten een vuistregel af te leiden voor de erosie van de belastinggrondslag die voortkomt uit het productieverlies voor de Nederlandse industrie: iedere 10 euro aan vlakke CO<sub>2</sub>-heffing gaat samen met een afslag op de verwachte

belastinggrondslag van 0,2%. Deze grondslagerosie komt boven op de te verwachten erosie van de grondslag veroorzaakt doordat industriële bedrijven waarschijnlijk minder CO<sub>2</sub>-intensief gaan produceren en daarmee minder aan heffing hoeven te betalen.

# 1 Inleiding

**Een belangrijk onderdeel van het klimaatbeleid in Nederland is de invoering van een CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie.**<sup>1</sup> Het CPB heeft in 2019 voor verschillende varianten van deze heffing de gevolgen doorgerekend voor de overheidsbegroting, de lasten voor huishoudens en bedrijven, en de inkomens van huishoudens (zie CPB, 2019a; 2019b; 2019c). Daarbij is eveneens een grove inschatting gemaakt van de grondslagerosie als gevolg van de verplaatsing van industriële activiteiten naar het buitenland.<sup>2</sup> Met de toenemende aandacht voor klimaatverandering is het van belang om zicht te krijgen op de effecten van een heffing waarbij alle CO<sub>2</sub>-uitstoot wordt beprijsd (ofwel: een vlakke heffing) tegen een relatief hoog tarief oplopend naar 100 of 200 euro per ton CO<sub>2</sub> in 2030 bovenop het Europese emissiehandelssysteem (EU ETS). Van dergelijke tarieven zijn de verplaatsingseffecten en grondslagerosie tot dusver grotendeels onbekend. De bevindingen leveren input voor het publieke debat over de verplaatsing van industriële activiteiten door de invoering van een CO<sub>2</sub>-heffing. Daarnaast kunnen de inzichten fungeren als doorkijk voor de impact van mogelijk stringenter reductiedoelen in de toekomst, zoals bijvoorbeeld voorgesteld in de Europese Green Deal. Tot slot is uit de resultaten - met het oog op de komende doorrekening van de verkiezingsprogramma's - een vuistregel af te leiden voor de erosie van de belastinggrondslag die voortkomt uit het productieverlies voor de Nederlandse industrie.

**Dit achtergronddocument biedt inzicht in hoeverre de industriële productie zich verplaatst naar het buitenland en leidt op basis daarvan vuistregels af voor de grondslagerosie van de CO<sub>2</sub>-heffing.** Deze grondslagerosie komt bovenop de erosie van de grondslag veroorzaakt doordat industriële bedrijven naar verwachting minder CO<sub>2</sub>-intensief gaan produceren en daarmee minder aan heffing hoeven te betalen. De vuistregels komen tot stand door middel van: (1) de inzichten uit de wetenschappelijke literatuur, (2) een verkenning naar de relevante aspecten van de industriële sectoren met de meeste CO<sub>2</sub>-uitstoot, en (3) simulaties met het wereldhandelsmodel WorldScan. Ook de resulterende weglek van CO<sub>2</sub>-emissies naar het buitenland komt daarbij aan bod, dat wil zeggen: de door de CO<sub>2</sub>-heffing ingezette afname van de uitstoot in de Nederlandse industrie wordt deels tenietgedaan door een hogere uitstoot elders. De analyses kennen een economische insteek, waarbij de CO<sub>2</sub>-heffing een reeks aan nationale en internationale doorwerkingseffecten in gang zet.<sup>3,4</sup> Aan de hand van gevoeligheidsanalyses is er eveneens aandacht voor onzekerheden rondom bijvoorbeeld de ontwikkeling van de EU ETS-prijs en de kosten van mogelijkheden voor CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Daarnaast wordt rekening gehouden met de (verbreding van de) subsidieregeling Stimulering Duurzame

---

<sup>1</sup> In dit achtergronddocument wordt de term 'CO<sub>2</sub>-uitstoot' gebruikt als aanduiding voor diverse broeikasgassen zoals CO<sub>2</sub>, methaan en lachgas, uitgedrukt in CO<sub>2</sub>-equivalenten (CO<sub>2</sub>e). Indien het uitsluiten de emissie van CO<sub>2</sub> betreft, wordt dit expliciet aangegeven. Verder classificeren we de uitstoot naar de sector die het eigendom heeft over de productiefaciliteiten (zogenoeten Scope 1-uitsluit). Dit betreft de uitstoot die beprijsd wordt door de CO<sub>2</sub>-heffing. De Scope 1-uitsluit geeft echter geen volledig beeld van de totale uitstoot die gepaard gaat met het productieproces. Zo vindt er bijvoorbeeld relatief veel uitstoot plaats bij het gebruik van restgassen van de staalindustrie voor de elektriciteitsproductie.

<sup>2</sup> De verplaatsing van industriële activiteiten naar het buitenland hoeft niet per se plaats te vinden in letterlijke zin. Industriële bedrijven kunnen ook marktaandeel verliezen aan buitenlandse bedrijven zonder dat hun productie(faciliteit) zich fysiek verplaatst. In beide gevallen is sprake van productieverlies en daarmee grondslagerosie.

<sup>3</sup> Dit achtergronddocument bouwt voort op twee publicaties van vorig jaar: CPB en PBL (2019a) en CPB en PBL (2019b).

<sup>4</sup> De analyses zijn daarmee anders dan de accountancybenadering zoals gehanteerd in de speelveldtoets van PwC, waarbij de impact van een CO<sub>2</sub>-heffing op de operationele winst van een selectie van industriële bedrijven in een bepaald jaar wordt geëvalueerd (PwC, 2020). Daarnaast verschillen ook het tarief en de vormgeving van de geanalyseerde CO<sub>2</sub>-heffingen in beide studies.

Energieproductie (SDE) en de mogelijkheid om de opbrengst van de CO<sub>2</sub>-heffing in te zetten als een subsidie voor de Nederlandse industrie ten behoeve van de afname van CO<sub>2</sub>-uitstoot. De onzekerheid over de precieze vormgeving van het klimaatbeleid in de toekomst en de mate waarin de verschillende reductie-opties haalbaar zijn vanuit technisch oogpunt (inclusief benodigde infrastructuur voor bijvoorbeeld CCS) vallen buiten het bestek van deze studie.

**De rest van dit achtergronddocument kent de volgende opbouw en samenhang.** Hoofdstuk 2 geeft een overzicht van de wetenschappelijke inzichten met betrekking tot de effecten van de invoering van een CO<sub>2</sub>-heffing. Hoofdstuk 3 beschrijft op hoofdlijnen diverse kenmerken van de industriële sectoren in Nederland met de meeste CO<sub>2</sub>-uitstoot: chemie, aardolie-industrie en basismetaleen. Een detailbeeld hiervan is te vinden in bijlage A. Hoofdstuk 4 komt op basis van simulaties met het WorldScan-model tot vuistregels voor de mate waarin productieverlies en daarmee grondslagerosie optreedt als gevolg van de invoering van een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie in Nederland, met een tarief dat oploopt naar 100 of 200 euro per ton CO<sub>2</sub> in 2030. Bijlage B bevat een toelichting op de werking van het model en de toepassing ervan om de verplaatsing van industriële activiteiten in kaart te brengen.

## 2 Verplaatsing in de wetenschappelijke literatuur

**Dit hoofdstuk beschrijft de wetenschappelijke inzichten over de verplaatsing van industriële productie als gevolg van de invoering van een CO<sub>2</sub>-heffing.** Allereerst komt de literatuur aan bod over de factoren die de productielocatie van industriële bedrijven verklaren. Hieruit blijkt dat productielocatie wordt verklaard door een samenspel van een groot aantal factoren, waarbij de kosten van een CO<sub>2</sub>-heffing vooralsnog geen bepalende rol spelen voor de industrie. Daarna volgen de bevindingen ten aanzien van de weglek van CO<sub>2</sub>-emissies, zowel op basis van modelstudies als empirische analyses. De bevindingen uit de literatuur lopen sterk uiteen. Dit onderstreept het belang van gevoeligheidsanalyses voor een gedegen studie van de verplaatsing van industriële activiteiten naar het buitenland.

**De relatieve aantrekkelijkheid van een industriële productielocatie wordt door een groot aantal factoren bepaald.** Volgens de economische theorie vindt de allocatie van productiemiddelen (en de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-uitstoot) daar plaats waar de productiekosten geminimaliseerd worden (Moses, 1958). Op basis hiervan identificeren empirische studies een scala aan factoren die de productielocatie verklaren. Hiervan zijn de belangrijkste: het belastingstelsel waaronder vennootschaps-, dividend- en loonbelastingen (Riedel, 2018), beschikbaarheid en kosten van arbeid en grondstoffen, agglomeratievoordelen, transportkosten en de kwaliteit van instituties (Dechezleprêtre en Sato, 2017). Daarbij blijken dergelijke locatiedeterminanten afzonderlijk van elkaar zelden doorslaggevend. Zo vinden Rathelot en Sillard (2008) dat verschillen in de vennootschapsbelasting geen significante voorspeller zijn voor productielocatie. Evenzo is een CO<sub>2</sub>-heffing slechts één van de determinanten van de productielocatiekeuze. De introductie van een CO<sub>2</sub>-heffing zal dan ook niet allesbepalend zijn, al zal de heffing wel effect hebben op productiebeslissingen 'aan de marge'.

**CO<sub>2</sub>-uitstoot vormt momenteel gemiddeld nog een relatief kleine kostenpost voor industriële bedrijven, maar er bestaat onzekerheid over de ontwikkeling van deze kosten en de variatie ervan over bedrijven en sectoren.** Voor de Nederlandse industrie is op dit moment vooral het Europese emissiehandelssysteem (EU

ETS) van belang voor haar CO<sub>2</sub>-kosten.<sup>5</sup> Naegele en Zaklan (2019) vinden dat de CO<sub>2</sub>-kosten doorgaans minder dan 1% van de materiaalkosten uitmaken. CO<sub>2</sub>-kosten vormen in de toekomst naar verwachting een grotere kostenpost voor de industrie. Zo wordt er binnen het EU ETS grofweg een verdubbeling verwacht van de CO<sub>2</sub>-prijs tussen 2020 en 2030 naar ongeveer 46 euro per ton CO<sub>2</sub> in 2030 (PBL, 2018b). Over de toekomstige CO<sub>2</sub>-prijs als ook de mogelijkheden voor en kosten van emissiereductie bestaat echter veel onzekerheid. Een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie in Nederland zal, bovenop de bestaande CO<sub>2</sub>-beprijzing via het EU ETS, de CO<sub>2</sub>-kosten substantieel kunnen doen stijgen.

**Een CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie kan naast binnenlandse emissiereductie leiden tot productieverlies door verplaatsing van activiteiten en/of verlies van marktaandeel.** Een dergelijke heffing verhoogt immers de productiekosten voor de Nederlandse industrie, maar laat die van buitenlandse bedrijven of andere sectoren ongemoeid, waardoor de concurrentiepositie kan verslechteren. Productieverlies gaat tevens gepaard met weglek van CO<sub>2</sub>-emissies. De door de CO<sub>2</sub>-heffing ingezette afname van de uitstoot in de Nederlandse industrie wordt in dat geval deels tenietgedaan door een verhoging van de uitstoot elders als gevolg van onder andere verschillen in de emissie-intensiteit van productieprocessen tussen landen of regio's.

**De literatuur biedt een gemengd beeld over verplaatsingseffecten, mede veroorzaakt door de verschillende onderzoeksmethoden, gekozen parameters en flankerend beleid.** Ten eerste zijn er studies op basis van theoretische modellen. Die betreffen zowel algemeen evenwichtsmodellen als partieel evenwichtsmodellen. De bevindingen van beide typen modellen zijn niet altijd eenvoudig te vergelijken, doordat er verschillen bestaan in de onderliggende aannames en de doorwerkingen die meegenomen worden (zie bijvoorbeeld Karp, 2010). Ten tweede vinden er empirische analyses plaats, die de effecten van daadwerkelijk ingevoerde klimaatmaatregelen zoals een CO<sub>2</sub>-heffing in kaart brengen (zie bijvoorbeeld Dechezleprêtre en Sato, 2017). Voor zowel model- als empirische studies hangen de geschatte effecten samen met het al dan niet meenemen van aanvullend beleid, zoals een compensatie voor geraakte sectoren via bijvoorbeeld subsidie voor groene innovatie of zogenoemde 'border tax adjustments'.

**De meeste modelstudies vinden beperkte effecten op de concurrentiepositie van bedrijven, wat zich vertaalt in weglekratio's tussen 5 en 30 procent.** Dit volgt uit metastudies die de resultaten van tientallen achterliggende analyses in kaart brengen (Branger en Quirion, 2014; Carbone en Rivers, 2017).<sup>6,7</sup> De weglekratio geeft aan welk deel van de emissiereductie in een land of groep landen die eenzijdig een CO<sub>2</sub>-heffing invoeren teniet wordt gedaan door een toename van de uitstoot in de overige landen. De variatie in de uitkomsten is deels terug te voeren op verschillen in modelstructuur of parameters. Zo laten algemeen evenwichtsmodellen doorgaans grotere effecten zien dan partieel evenwichtsmodellen, onder meer doordat algemeen evenwichtsmodellen wel doorwerkingen op de wereldwijde prijzen van fossiele energie meenemen. Binnen de categorie van algemeen evenwichtsmodellen bestaat er eveneens variatie in de mate van weglek door onder andere verschillen in gekozen parameters rond bijvoorbeeld de gevoeligheid voor internationale concurrentie.<sup>8</sup>

---

<sup>5</sup> Onder 'CO<sub>2</sub>-kosten' worden alle kosten verstaan die bedrijven maken in relatie tot hun CO<sub>2</sub>-uitstoot. Hieronder vallen niet alle directe CO<sub>2</sub>-heffingen of de prijs van emissierechten, maar ook de meerkosten die bedrijven maken door bijvoorbeeld normering.

<sup>6</sup> Dit betreft het weglekeffect van CO<sub>2</sub>-heffingen zonder rekening te houden met eventuele anti-wegleke maatregelen. De metastudie van Branger en Quirion (2014) vindt bijvoorbeeld dat zogeheten 'border tax adjustments' (BTAs) de weglekratio met meer dan de helft kunnen reduceren. In dit achtergrond document wordt het effect van BTAs buiten beschouwing gelaten, aangezien die in de praktijk alleen een rol kunnen spelen op EU-niveau.

<sup>7</sup> Een kanttekening bij de modelstudies is dat deze meestal uitgaan van een constante technologische ontwikkeling. Op langere termijn kunnen de effecten anders uitpakken wanneer door bijvoorbeeld een CO<sub>2</sub>-heffing innovaties worden aangejaagd, zeker als daarbij ook sprake is van internationale spillovers van technologische innovatie (Gerlagh en Kuik, 2014; Wang et al., 2019).

<sup>8</sup> Hogere CO<sub>2</sub>-heffingen gaan doorgaans gepaard met een grotere weglek van CO<sub>2</sub>-emissies (Carbone en Rivers, 2017). Ook blijkt dat naarmate de output van verschillende bedrijven in de energie-intensieve industrie meer homogeen is, de verwachte internationale concurrentie en de daaraan gerelateerde weglek groter is. Producenten kunnen immers maar beperkt marktmacht ontleen aan de specifieke karakteristieken van hun output. Zelfs als de output niet volledig homogeen is maar wel goed substitueerbaar, zal een prijsstijging door een CO<sub>2</sub>-heffing bij afnemers leiden tot meer vraag naar alternatieven. Verder is de weglek vaak groter als er zich

**Empirische studies vinden doorgaans kleinere effecten van CO<sub>2</sub>-heffingen op de concurrentiepositie dan modelstudies.** Dit is enerzijds te verklaren door het feit dat er weinig empirische studies bestaan die effecten direct proberen te identificeren en aandacht besteden aan doorwerkingen op lange termijn (Dechezleprêtre en Sato, 2017; Verde, 2020). Anderzijds zijn de CO<sub>2</sub>-heffingen waarmee tot nu toe ervaring is opgedaan veelal beperkt van omvang; dit in tegenstelling tot de onderzochte heffingen in de modelsimulaties van hoofdstuk 4 met een tarief van 100 of 200 euro per ton CO<sub>2</sub>. Ook worden de concurrentie-effecten doorgaans gedempt door compenserende maatregelen, zoals het verstrekken van gratis emissierechten (Iraldo et al., 2011). De effecten die empirische studies vinden zijn vaak inclusief de bijdrage van dergelijke compenserende maatregelen. Het effect van de CO<sub>2</sub>-heffingen zelf, zonder deze compenserende maatregelen, wordt dan niet geïsoleerd. Dit maakt dat de resultaten lastig te vergelijken zijn met die van modelstudies. Verder is het waarschijnlijk dat er in de rest van de wereld eveneens zelfstandig klimaatbeleid wordt gevoerd (Naegele en Zaklan, 2019; Verde, 2020). Daarbij zullen industriële bedrijven kijken naar hoe de totale CO<sub>2</sub>-kosten zich verhouden tot die in andere landen. Stijgen die kosten elders evenveel, dan is er voor industriële bedrijven geen economische aanleiding tot weglek.

**Recente empirische studies vinden weinig tot geen aanwijzingen voor productieverlies en daarmee gepaard gaande weglek van CO<sub>2</sub>-emissies.** Zo laten Dechezleprêtre et al. (2019) zien dat het EU ETS in de periode 2007-2014 niet heeft geleid tot een verplaatsing van CO<sub>2</sub>-emissies door multinationals vanuit de EU naar landen met geen of minder CO<sub>2</sub>-regulering. Naegele en Zaklan (2019) vinden in het verlengde hiervan dat het EU ETS geen merkbaar effect heeft gehad op sectorbrede handelstromen en de daarmee gepaard gaande CO<sub>2</sub>-uitstoot. Naast deze twee studies bestaat er een bredere literatuur die de effecten van klimaatbeleid op diverse indicatoren van de concurrentiepositie analyseert. In dat kader vinden Branger et al. (2016) dat de EU ETS-prijzen tussen 2004 en 2012 geen significante toename van de import van (emissie-intensief) cement en staal met zich mee hebben gebracht. Sato en Dechezleprêtre (2015) en Aldy en Pizer (2015) laten daarnaast zien dat verschillen in energieprijzen tussen buurlanden maar zeer beperkt invloed hebben op bilaterale importen in de maakindustrie. Al met al bestaat er tot dusver weinig empirisch bewijs dat de bestaande CO<sub>2</sub>-beprijzing voor industriële bedrijven heeft geleid tot productieverlies.<sup>9</sup>

## 3 Industriële sectoren in beeld

**Dit hoofdstuk biedt een overzicht op hoofdlijnen van de drie sectoren die binnen de Nederlandse industrie momenteel het meest bijdragen aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot: chemie, aardolie, en basismetaal.** Uit hoofdstuk 2 blijkt dat de wetenschappelijke literatuur nog geen uitsluitend geeft over verplaatsing van productieactiviteit door een CO<sub>2</sub>-heffing, maar wel een aantal factoren aanwijst dat de mate van verplaatsing beïnvloedt. Deze factoren zijn grotendeels sectorspecifiek. Ze werken in op de parameters van het model WorldScan, dat wordt gebruikt om de effecten van een CO<sub>2</sub>-heffing op productieverlies en CO<sub>2</sub>-weglek in beeld te brengen (zie hoofdstuk 4). Om zicht te krijgen op de mechanismen achter de simulaties van WorldScan is

---

toenemende schaalopbrengsten voordoen; dit wanneer omzetverlies als gevolg van de CO<sub>2</sub>-heffing ertoe leidt dat het bedrijf minder kostenefficiënt kan produceren en het daardoor nog meer marktaandeel verliest (Babiker, 2005; Carbone en Rivers, 2017). Omgekeerd is het ook mogelijk dat industriële bedrijven die al een groot marktaandeel hebben beter in staat zijn een CO<sub>2</sub>-heffing te dragen, omdat zij door schaalvoordelen een relatief sterke marktpositie hebben ten opzichte van kleinere concurrenten. Tot slot valt de weglek van emissies lager uit naarmate de groep van landen die eenzijdig de heffing invoert groter is. Er is dan immers simpelweg minder export naar landen zonder CO<sub>2</sub>-heffing (Boeters en Bollen, 2012; Böhringer et al., 2014).

<sup>9</sup> De weglekeffecten kunnen tevens beperkt blijven doordat klimaatbeleid de concurrentiepositie van de gereguleerde bedrijven op termijn kan verbeteren. Hoewel het empirisch bewijs voor dergelijke effecten niet eenduidig is (CPB, 2018a), vinden diverse recente studies aanwijzingen voor positieve doorwerkingen op de concurrentiepositie. Zo vinden Trinks et al. (2020) dat bedrijven met een CO<sub>2</sub>-efficiënter productieproces doorgaans profiteren van een efficiënter grondstofgebruik.



het nuttig een beeld te krijgen van zowel emissie-indicatoren als economische indicatoren die de mate van CO<sub>2</sub>-weglek beïnvloeden. In de rest van dit hoofdstuk wordt daarom ingegaan op: (1) de CO<sub>2</sub>-uitstoot, (2) het handelingsperspectief voor emissiereductie, (3) de CO<sub>2</sub>-intensiteit van productieactiviteiten in Nederland en het buitenland, en (4) de marktstructuur en internationale handelspatronen. Tabel 3.1 biedt een overzicht van de belangrijkste emissie- en economische indicatoren. De cijfers hebben betrekking op het zichtjaar 2030, op basis van het model WorldScan, overeenkomstig de CPB en PBL (2019a) studie naar de effecten van de huidige CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie. Een detailbeeld van de industriële sectoren is te vinden in bijlage A.

**Tabel 3.1 Kerncijfers industriële sectoren in Nederland (basispad 2030, WorldScan)**

	Chemie	Aardolie	Basismetaal	Industrie
Aandeel CO <sub>2</sub> -emissies in nationale uitstoot (in %)	14	4	7	29
Aandeel in bbp (in %)	4	Nihil	1	12
Aandeel in werkgelegenheid (in %, o.b.v. werkzame personen)	1	Nihil	1	8
Technisch CO <sub>2</sub> -reductiepotentieel* (in Mton CO <sub>2</sub> )	10	3	5	NB
Indicatie CO <sub>2</sub> -reductiekosten** (in euro per ton CO <sub>2</sub> )	90	50	50	NB
w.v. CO <sub>2</sub> -reductieopties goedkoper dan 100 euro per ton CO <sub>2</sub>				
Technisch CO <sub>2</sub> -reductiepotentieel* (in Mton CO <sub>2</sub> )	4,5	2	5	NB
Indicatie CO <sub>2</sub> -reductiekosten** (in euro per ton CO <sub>2</sub> )	40	30	50	NB
CO <sub>2</sub> -intensiteit*** in Rest Europa t.o.v. NL (index, Nederland = 100)	56	106	134	118
CO <sub>2</sub> -intensiteit*** in Wereld t.o.v. NL (index, Nederland = 100)	127	202	271	249
Exportaandeel NL in import van Rest Europa (in %)	15	16	9	15
Exportaandeel NL in import van Wereld (in %)	5	6	2	5
* Het totaal aan CO <sub>2</sub> -besparing van alle opties die rond 2030 als technisch inpasbaar voorzien worden. Voor deze cijfers baseren wij ons zoveel mogelijk op de huidige kennisbasis uit het MIDDEN-project (zie TNO en PBL, 2019a; 2019b; 2019c; 2019d; 2020a; 2020b). We beperken ons tot de belangrijkste onderdelen per sector in termen van CO <sub>2</sub> -uitstoot: de petrochemie, kunstmestproductie en productie van industriële gassen (chemie), olieaffinageprocessen (aardolie), en ijzer- en staalproductie (basismetaal).				
** Dit betreft een gewogen gemiddelde van de kosten van de verschillende CO <sub>2</sub> -reductietechnieken. De cijfers zijn nadrukkelijk indicatief en geven het midden weer van substantiële bandbreedtes, afgerond op tientallen euro's. Hierbij moet worden opgemerkt dat een substantieel deel van het reductiepotentieel tegen lagere kosten te benutten is.				
*** CO <sub>2</sub> -intensiteit = CO <sub>2</sub> -uitstoot in Mton / productie volume.				

**De Nederlandse industrie is verantwoordelijk voor circa 30% van de nationale CO<sub>2</sub>-uitstoot, waarbij de sectoren chemie, aardolie, en basismetaal samen goed zijn voor 20% (CBS, 2019a).** De chemiesector in Nederland stootte in 2018 circa 20 Mton CO<sub>2</sub> uit, voornamelijk door de productie van ethyleen (petrochemie), ammoniak (kunstmest), en industriële gassen (hoofdzakelijk waterstof als input voor diverse industriële processen, waaronder ammoniakfabrieken en aardolieaffinaderijen). De aardolie-sector stoot jaarlijks ongeveer 10 Mton CO<sub>2</sub> uit, voornamelijk door distillatie- en kraakprocessen in olieraffinaderijen. Tot slot vindt er circa 7 Mton CO<sub>2</sub>-emissie plaats in basismetaalsector, voornamelijk bij ijzer- en staalproductie. Voor zichtjaar 2030 wordt verwacht dat het aandeel van de industrie in de nationale CO<sub>2</sub>-uitstoot, als ook het aandeel van de sectoren chemie, aardolie, en basismetaal in de industriële CO<sub>2</sub>-uitstoot, min of meer gelijk blijft (zie tabel 3.1).

**De productieactiviteiten van de sectoren chemie, aardolie en basismetaal zijn geconcentreerd bij een klein aantal ondernemingen en hebben een bescheiden aandeel in de Nederlandse economie.** In 2018 bedroeg het aandeel in de productiewaarde 7,1%, in termen van toegevoegde waarde kwam het aandeel op 2,3% en de werkgelegenheid besloeg 1,6% van de totale werkgelegenheid. Deze cijfers blijven ruwweg gelijk in het zichtjaar 2030 (zie tabel 3.1). Het bescheiden aandeel in de economie laat onverlet dat de sectoren van belang kunnen zijn voor de regionale economie, bijvoorbeeld door de verwevenheid van sectoren binnen industriële clusters. Daarnaast is het voor de mate van CO<sub>2</sub>-weglek van belang om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de industrie in een internationaal perspectief te bezien.

**Een tweede bevinding is dat er rond 2030 – onder voorwaarden – mogelijkheden bestaan voor een substantiële CO<sub>2</sub>-reductie tegen relatief beperkte kosten.** Dit volgt uit de huidige kennisbasis over emissiereductietechnieken uit, onder andere, het MIDDEN-project (zie TNO en PBL, 2019a; 2019b; 2019c; 2019d; 2020a; 2020b). Opgemerkt moet worden dat het hier nadrukkelijk gaat om een *technisch* reductiepotentieel. Zo zullen veel van de emissiereductie-opties onder de huidige marktomstandigheden niet economisch rendabel zijn, al zal dit veranderen bij de invoering van hogere CO<sub>2</sub>-heffingen. De gemiddelde kosten van de CO<sub>2</sub>-reductieopties variëren van ruwweg 50 euro per ton vermeden CO<sub>2</sub>-uitstoot voor de sectoren aardolie en basismetaal tot 90 euro per ton voor de chemie (zie tabel 3.1). Het benutten van alle korte-termijn CO<sub>2</sub>-reductieopties komt overeen met een CO<sub>2</sub>-besparing van circa 18 Mton. De kosten hiervan, bij benadering 1,4 mld euro, zijn beperkt in verhouding tot de totale bedrijfskosten in deze drie sectoren (circa 1%).<sup>10</sup> Daarbij moet worden opgemerkt dat een substantieel deel van het reductiepotentieel (ruim 11,5 Mton) te benutten is tegen kosten lager dan 100 euro per ton. De kosten van deze goedkopere opties tezamen komen bij benadering uit op 0,5 mld euro. Doordat de CO<sub>2</sub>-reductiemogelijkheden relatief omvangrijk en betaalbaar zijn (de kostprijsstijging blijft beperkt), ligt het in de verwachting dat een CO<sub>2</sub>-heffing in relatief sterke mate CO<sub>2</sub>-reductie teweegbrengt door verduurzaming van productieactiviteit in Nederland en in beperktere mate door verplaatsing van productieactiviteit naar het buitenland.<sup>11</sup>

**Een belangrijke voorwaarde om de CO<sub>2</sub>-reductiemogelijkheden te kunnen benutten, zijn investeringen in de operationele infrastructuur.** Te denken valt aan een transportnetwerk en opslagmogelijkheden voor CO<sub>2</sub>, een verzaamd elektriciteitsnetwerk, een waterstofnetwerk en infrastructuur voor restwarmte. Ook is voldoende aanbod van duurzame energie een belangrijke voorwaarde. Deze randvoorwaarden vormen een belangrijke bron van onzekerheid over de opties en kosten voor CO<sub>2</sub>-reductie. Een andere kanttekening bij de CO<sub>2</sub>-reductiemogelijkheden is dat er veel onzekerheid bestaat over de technische inpasbaarheid en de kosten ervan. In hoofdstuk 4 worden dergelijke onzekerheden op een integrale manier inzichtelijk gemaakt aan de hand van gevoeligheidsanalyses, bijvoorbeeld voor hogere CO<sub>2</sub>-reductiekosten.

**Een derde bevinding is dat de CO<sub>2</sub>-intensiteit van de industrie in Nederland doorgaans lager is dan in het buitenland.** Een mogelijk effect van een CO<sub>2</sub>-heffing is dat het verplaatsing teweegbrengt naar landen met CO<sub>2</sub>-intensievere productieprocessen. Wanneer dit het geval is, zal een groter deel van de CO<sub>2</sub>-reductie in Nederland teniet worden gedaan op internationaal niveau. Uit onze analyse blijkt dat de CO<sub>2</sub>-intensiteit van productieactiviteiten in Nederland vergelijkbaar is met die in de rest van Europa (zie tabel 3.1) maar aanzienlijk lager is dan buiten Europa, met name ten opzichte van China en India (grootweg een factor 2,5 lager).<sup>12</sup> Afhankelijk van de wijze waarop handelspatronen leiden tot een nieuw economisch evenwicht, kan er dus zelfs bij een beperkte mate van verplaatsing een relatief omvangrijke weglek van CO<sub>2</sub>-emissies optreden.

<sup>10</sup> Het gaat hier nadrukkelijk om een indicatie van de gemiddelde kosten van de beschreven CO<sub>2</sub>-reductieopties. Dit biedt een conservatieve schatting, aangezien de kosten convex zijn. De convexiteit van de kosten is niet alleen van belang tussen sectoren, maar ook binnen elke sector: zo wordt CCS duurder naarmate dit wordt toegepast op resterende kleinere bronnen.

<sup>11</sup> De mate waarin een gegeven kostprijsstijging tot verplaatsing leidt is afhankelijk van een aantal factoren, zoals marktstructuur en internationale handelspatronen. De analyses met het model WorldScan (zie hoofdstuk 4) houden rekening met deze factoren.

<sup>12</sup> Voor de chemie valt op dat de CO<sub>2</sub>-intensiteit in Nederland relatief hoog is bezien vanuit een internationaal perspectief; dit wordt gedeeltelijk verklaard door de samenstelling van de productmix (CBS, 2018).



Tot slot blijkt dat het marktaandeel van de Nederlandse industrie zich vooral concentreert in de overige Europese landen. Van de totale import door overige Europese landen is (naar productiewaarde) 15% afkomstig van de Nederlandse industrie, terwijl het aandeel in overige regio's beperkt blijft (zie tabel 3.1). Doordat de directe concurrentie binnen Europa plaatsvindt, zal het directe (1<sup>e</sup> orde) effect van een CO<sub>2</sub>-heffing zijn dat productieactiviteiten zich verplaatsen van Nederland naar andere Europese landen. Echter, om een volledig beeld te krijgen van de uiteindelijke verplaatsingseffecten die zich in een nieuw economisch evenwicht voordoen, zijn modelsimulaties nodig, die we in hoofdstuk 4 presenteren.

## 4 Verplaatsing op basis van modelanalyses

Dit hoofdstuk laat zien wat de effecten zijn van vlakke CO<sub>2</sub>-heffingen van 100 en 200 euro per ton CO<sub>2</sub> voor de industriële productie in Nederland. Een dergelijke heffing is voor industriële bedrijven een kostprijsverhogende factor die enerzijds prikkelt tot het nemen van maatregelen die de CO<sub>2</sub>-uitstoot reduceren. Anderzijds leidt het tot een verslechtering van de concurrentiepositie en het daarmee gepaard gaande verlies van productie voor de Nederlandse industrie. De productieverliezen door de verslechterde concurrentiepositie vormen een (indirecte) extra erosie van de grondslag bovenop de grondslagerosie door emissiereducerende technische maatregelen die de industrie neemt als gevolg van de heffing. Hoofdstuk 2 liet zien dat er weinig empirisch bewijs is voor productieverliezen in de industrie bij de tot op heden beperkte CO<sub>2</sub>-prijzen. In dit hoofdstuk worden de productieverliezen van hogere CO<sub>2</sub>-heffingen onderzocht aan de hand van simulaties met het model WorldScan, dat rekening houdt met de doorwerking van de heffing op de nationale en internationale economie.<sup>13</sup> Daarbij komen zowel het gedragseffect (emissiereductie door technische maatregelen) als het productieverlies door een verslechterde concurrentiepositie (extra grondslagerosie) aan bod. Hieruit kan tevens een vuistregel worden afgeleid voor de afslag op de verwachte belastingopbrengst. Tot slot gaat dit hoofdstuk ook in op de wegdek van CO<sub>2</sub>-emissies naar het buitenland door de invoering van een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing.

Voor de aannames achter de modelsimulaties zijn de in hoofdstuk 3 beschreven kenmerken over CO<sub>2</sub>-reductiemogelijkheden, bijbehorende kosten en het economisch belang van de industriële sectoren relevant. Hoofdstuk 3 kwam tot een drietal bevindingen voor de industriële sectoren die sterk bijdragen aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot in Nederland. Ten eerste: de industrie kan tot een substantiële emissiereductie komen tegen marginale kosten van circa 50 tot 90 euro per ton CO<sub>2</sub>, afhankelijk van de sector waarnaar wordt gekeken. Dit illustreert dat een relatief hoge CO<sub>2</sub>-heffing kan leiden tot een aanzienlijk gedragseffect; dit is het directe effect van de vlakke heffing op de CO<sub>2</sub>-uitstootreductie door de inzet van zogeheten 'abatements' ofwel groene technologieën. Een indirect effect op de CO<sub>2</sub>-uitstoot loopt via het concurrentienadeel dat ontstaat door de kostprijsstijging van productie, waardoor industriële activiteiten zich kunnen verplaatsen naar andere landen waar de CO<sub>2</sub>-heffing niet of minder relevant is. De modelsimulaties in dit hoofdstuk beantwoorden de vraag in hoeverre de industriële CO<sub>2</sub>-uitstoot afneemt door gedragswijzigingen enerzijds en door aanpassing van het productievolume anderzijds. Het potentieel grote gedragseffect als gevolg van de door de industrie te nemen 'abatements' opties is een bevinding die aansluit bij de data zoals beschreven in hoofdstuk 3.

---

<sup>13</sup> Details over het model en de aannames die horen bij de simulaties zijn te vinden in bijlage B.

**De modelsimulaties laten sectorspecifieke en substantiële CO<sub>2</sub>-emissiereducties zien binnen de industrie als gevolg van een uniforme heffing.** Een tweede bevinding van hoofdstuk 3 was dat de kostenstijging als gevolg van een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing een beperkt effect zal hebben op de kostprijs, omdat de energierekening slechts een beperkt deel van de totale productiekosten van de industrie omvat. De modelsimulaties in dit hoofdstuk bevestigen dit beeld. Ten derde liet hoofdstuk 3 zien dat de bijdrage van de industrie aan het bbp beperkt is in vergelijking met bijvoorbeeld de dienstensector en dat vooral Europese landen een substantieel importaandeel van industriële producten uit Nederland kennen. De modelsimulaties in dit hoofdstuk laten zien in welke mate vlakke heffingen van 100 en 200 euro per ton CO<sub>2</sub> van invloed zijn op de buitenlandse productie en handelsstromen van industriële goederen, evenals de weglek van CO<sub>2</sub>-emissies die hieruit kan voortkomen.

**Een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing leidt op sectoraal niveau tot een kostprijsstijging, waardoor er bij de productie een substitutie plaatsvindt van inputs en/of outputs.** Die substitutie loopt via de volgende kanalen:

1. Inputs substitutie en/of extra uitgaven aan CO<sub>2</sub>-reducerende technieken (aanpassingen aan het productieproces via zogeheten retrofit-investeringen).
2. Outputs substitutie naar:
  - industriële sectoren of producten waarvan de CO<sub>2</sub>-intensiteit van productieprocessen lager ligt; hierdoor daalt de gemiddelde CO<sub>2</sub>-intensiteit van de industrie.<sup>14</sup>
  - niet-industriële producten waarvan de CO<sub>2</sub>-intensiteit van productieprocessen lager ligt; hierdoor daalt de gemiddelde CO<sub>2</sub>-intensiteit van de economie als geheel.

Dergelijke substituties, die bijvoorbeeld tot uiting komen in verschuivingen van de werkgelegenheid tussen sectoren, gaan gepaard met kosten (vanwege doorgaans imperfecte substitutie) en leiden tot een daling van de binnenlandse productie ten gunste van landen met minder stringent klimaatbeleid.

**De belastingopbrengst van de vlakke CO<sub>2</sub>-heffing kan in de modelsimulaties op twee manieren worden ingezet.** De eerste optie is om de opbrengst terug te laten stromen naar huishoudens; de kostprijsstijging en het productieverlies voor industriële bedrijven zullen in dat geval relatief hoog zijn. De tweede mogelijkheid is om de heffingsopbrengst in te zetten als een gerichte subsidie voor de industrie in Nederland ten behoeve van CO<sub>2</sub>-emissiereductie. De kostprijsstijging en het productieverlies vallen naar verwachting dan lager uit, omdat de meerkosten van de vlakke CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie deels worden gecompenseerd.

**De marktprijsstijging voor de industrie als geheel bij een vlakke heffing van 200 euro per ton CO<sub>2</sub> komt op 0,8% bij een terugsluis naar huishoudens en op 0,7% bij een terugsluis via een gerichte subsidie naar de industrie (zie tabel 4.1).**<sup>15</sup> Ruwweg geldt dat bij een heffing de belastinginkomsten gelijk zijn aan de heffing maal de grondslag, dat is bij 200 euro per ton CO<sub>2</sub> en 15 Mton CO<sub>2</sub> (na emissiereductie) ongeveer 3 mld euro. Dat is 3% van de toegevoegde waarde van de industrie (ruim 10% van het bbp wordt voortgebracht door de industrie, ofwel 100 mld euro in 2030). In termen van productiewaarde – die een factor 3 groter is dan de toegevoegde waarde, onder andere vanwege betalingen aan intermediaire consumptie door de industrie – bedraagt de heffingsopbrengst ongeveer 1%. Doordat industriële bedrijven hun extra kosten niet volledig kunnen doorberekenen aan hun afnemers resulteert een marktprijsstijging van 0,8%.<sup>16</sup> Bij de vlakke heffing van 100 euro per ton CO<sub>2</sub> dalen de belastinginkomsten en resulteert voor de industrie een marktprijsstijging van 0,5% in het geval van een terugsluis naar huishoudens en op 0,4% bij een terugsluis via een gerichte subsidie naar de industrie.

---

<sup>14</sup> In bijvoorbeeld de metaalsector kan dit plaatsvinden door dunere, maar duurdere blikjes te produceren waarbij de CO<sub>2</sub>-intensiteit lager is. Een andere mogelijkheid is dat een producent van goedkope blikjes met een CO<sub>2</sub>-intensief productieproces marktaandeel verliest aan een concurrent met duurdere blikjes die minder CO<sub>2</sub>-intensief geproduceerd zijn.

<sup>15</sup> De marktprijs is gelijk aan de producentenprijs in het evenwicht, inclusief alle belastingen (zoals een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing) en subsidies.

<sup>16</sup> Dit is in lijn met CPB en PBL (2019a).

**Het productieverlies voor de industrie en de daaruit af te leiden erosie van de belastinggrondslag loopt bij een vlakke heffing van 200 euro per ton CO<sub>2</sub> op tot maximaal 5%, zo volgt uit tabel 4.1.<sup>17</sup> De stijging van de marktprijs met 0,8% leidt tot een lichte verslechtering van de concurrentiepositie, waardoor de export zal dalen. De mate waarin de export reageert op de prijsverandering hangt af van de prijssubstitutie-elasticiteit die op deze markt geldt. Dit heet in de handelsliteratuur de Armington-elasticiteit, en deze bedraagt ongeveer 6 voor de industrie.<sup>18</sup> De Nederlandse industrie verliest marktaandeel door de relatieve marktprijsstijging, waardoor de export met 4,8% daalt (6 maal 0,8), hetgeen leidt tot een productieverlies van 4,5%.<sup>19</sup> Voor de sectoren chemie en basismetaal ligt het productieverlies grofweg een factor 2 hoger dan voor de industrie als geheel, omdat de chemie en basismetaal CO<sub>2</sub>-intensiever zijn dan de rest van de industrie en gevoeliger voor internationale veranderingen in de kostprijs. Bij de lagere heffing van 100 euro per ton CO<sub>2</sub> zakt de industriële productie minder in, namelijk 3% bij een terugsluis naar huishoudens en 2% bij een terugsluis op basis van een gerichte subsidie. Voor de sectoren chemie en basismetaal ligt het productieverlies hier opnieuw hoger dan voor de industrie als geheel. Alles bij elkaar kan hieruit de volgende vuistregel worden afgeleid voor de erosie van de belastinggrondslag: iedere 100 euro aan vlakke CO<sub>2</sub>-heffing gaatsamen met een afslag op de verwachte belastingopbrengst van 0,2%. Deze grondslagerosie komt boven op de erosie van de grondslag veroorzaakt doordat industriële bedrijven waarschijnlijk schoner gaan produceren en daarmee minder aan heffing hoeven te betalen.**

**Tabel 4.1 Marktprijsverandering en productieverlies als gevolg van een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie (in 2030, WorldScan)**

Vlakke heffing industrie (euro/ton CO <sub>2</sub> )	100		200	
Terugsluis:	Huishoudens	Industrie	Huishoudens	Industrie
Verandering marktprijs industrie (%)*	0,5	0,4	0,8	0,7
Productieverlies (%)**				
Industrie	3	2	5	3
Chemie	6	3	9	5
Aardolie	3	2	5	3
Basismetaal	8	6	12	7

\* De marktprijs is gelijk aan de producentenprijs in evenwicht, inclusief alle belastingen (zoals een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing) en subsidies.  
 \*\* Productieverlies betreft de procentuele daling van productie ten opzichte van het niveau van het basispad in 2030 zonder de vlakke CO<sub>2</sub>-heffing.

**Een gerichte subsidie voor de industrie, betaald uit de opbrengst van de vlakke CO<sub>2</sub>-heffing, vergroot de directe CO<sub>2</sub>-emissiereductie in Nederland; hoe hoger de heffing echter wordt, hoe minder de gerichte subsidie tot extra afname van de CO<sub>2</sub>-uitstoot leidt.** Tabel 4.2 laat zien dat de CO<sub>2</sub>-emissiereductie toeneemt bij een terugsluis via een gerichte subsidie op afname van de CO<sub>2</sub>-uitstoot. In dat geval is het voor de industrie immers goedkoper om haar CO<sub>2</sub>-emissies te verminderen. Een tweede effect is echter dat de outputsubstitutie zal afnemen (door consumptie-aanpassingen als gevolg van prijsveranderingen), wat op zijn beurt minder extra CO<sub>2</sub>-emissiereductie teweegbrengt. Bij een vlakke heffing van 200 euro per ton CO<sub>2</sub> zal de emissiereductie door de gerichte subsidie weliswaar nog verder toenemen, maar leidt de lagere outputsubstitutie tot duidelijk minder extra emissiereductie. Per saldo kan de CO<sub>2</sub>-emissiereductie in Nederland hierdoor lager uitvallen.<sup>20</sup>

<sup>17</sup> Dit beeld is in lijn met CPB en PBL (2019c), die kleinere reductiepercentages laten zien bij lagere CO<sub>2</sub>-heffingen.

<sup>18</sup> Het niveau van de gekozen Armington-elasticiteit wordt bevestigd door recente empirische schattingen uit CPB (2020).

<sup>19</sup> Productie (285 mld euro) is gelijk aan de binnenlandse vraag (175 mld euro) plus de export (270 mld euro) minus de import (160 mld euro). De export daalt met 4,8% ofwel 13 mld euro. De productie daalt van 285 naar 272 mld euro, ofwel 4,5% (iets lager dan de 4,8%).

<sup>20</sup> De outputsubstitutie leidt tot hogere CO<sub>2</sub>-emissies elders, dus als deze afneemt door de gerichte subsidie, dan daalt ook de lekkage.

**Bij een vlakke heffing van 200 euro per ton CO<sub>2</sub> wordt de directe Nederlandse emissiereductie voor een substantieel deel teniet gedaan: 58% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot lekt weg naar CO<sub>2</sub>-intensievere bedrijven vooral buiten Europa, ondanks dat het productieverlies voor Nederland beperkt blijft.** De weglek van CO<sub>2</sub>-emissies kan bij een relatief hoge heffing – in verhouding tot de beperkte productieverliezen – aanzienlijk zijn door de handelsdiversificatie van industriële activiteiten en de extra vraag naar fossiele energie die dat met zich meebrengt. Dit werkt als volgt. Door de vlakke CO<sub>2</sub>-heffing daalt de export van producten uit CO<sub>2</sub>-intensieve productieprocessen door Nederland aan Europa. Hierdoor zullen andere Europese landen in toenemende mate voor zichzelf gaan produceren.<sup>21</sup> Het gevolg hiervan is dat de export van deze landen naar landen of regio's buiten Europa daalt. Om de weggevallen export van de Europese landen te compenseren breiden landen of regio's buiten Europa hun productie uit om hun consumptie op peil te houden. Buiten Europa ligt de CO<sub>2</sub>-intensiteit van industriële activiteiten gemiddeld echter een factor 2,5 hoger dan in Europa. Hierdoor leidt de verplaatsing van productieactiviteit tot extra CO<sub>2</sub>-uitstoot. Daarbij zal de extra vraag naar industriële producten buiten Europa ookgepaard gaan met een grotere elektriciteitsvraag. Als gevolg hiervan kunnen de CO<sub>2</sub>-emissies wel een factor 5 (in plaats van 2,5) hoger uitvallen dan in Europa. Bovendien kennen landen als China en India geen bindende CO<sub>2</sub>-plafonds. Tot slot zal de extra productie in dergelijke landen ook een groei van het bbp met zich brengen, hetgeen leidt tot extra verkeer (vaak op basis van fossiele brandstoffen) en vraag naar diensten. Er is dus risico op een substantiële hoeveelheid extra CO<sub>2</sub>-uitstoot in landen buiten Europa die de CO<sub>2</sub>-emissiereductie in de Nederlandse industrie voor 40% tot 61% tenietdoet (zie tabel 4.2), terwijl het voor de industrie in Nederland maar om een beperkt productieverlies gaat.

**Tabel 4.2 CO<sub>2</sub>-emissiereductie en weglek door een vlakke CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie (in 2030, WorldScan)**

Vlakke CO <sub>2</sub> -heffing industrie (euro/ton CO <sub>2</sub> ):	100		200	
Terugsluis:	Huishoudens	Industrie	Huishoudens	Industrie
CO <sub>2</sub> -emissie reductie industrie (%)	40	46	57	56
w.v. door CO <sub>2</sub> -reductie maatregelen	27	37	38	43
w.v. door structuurverandering binnen de industrie*	9	6	12	9
Lekkagevoet**	61	40	58	42
w.v. CO <sub>2</sub> -emissies door Rest Europa	6	4	6	4
* Het gaat hier om de samenstelling van de industrie door een stijging van koolstofintensieve activiteiten. Te denken valt hier bijvoorbeeld aan een stijging van het aandeel in industriële productie van de papiersector en een daling van de metaalsector.				
** De lekkagevoet betreft de stijging van de CO <sub>2</sub> -uitsluitend buiten Nederland gedeeld door de CO <sub>2</sub> -emissiereductie in Nederland (vermenigvuldigd met 100).				

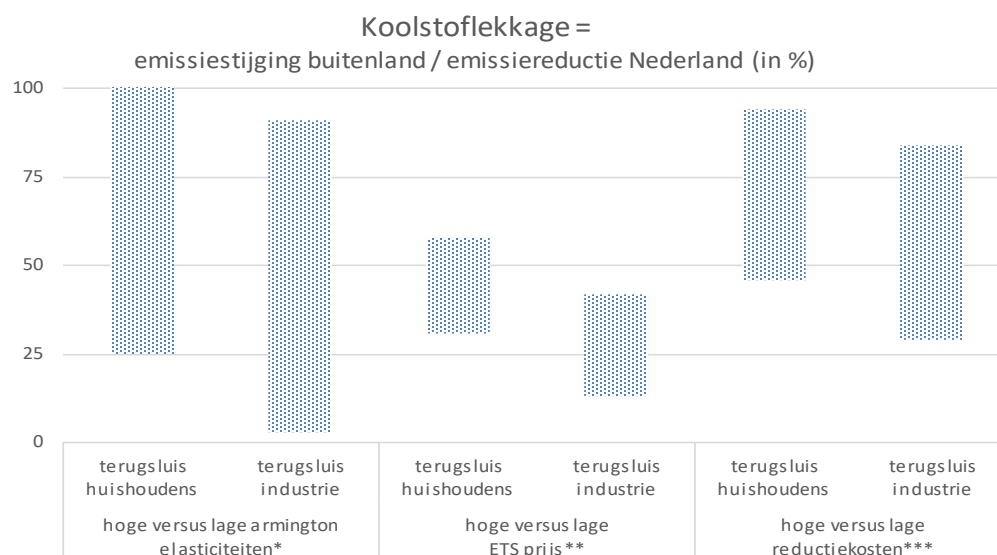
**Als de opbrengst van een vlakke heffing van 100 of 200 euro per ton CO<sub>2</sub> gericht wordt teruggesluisd naar de industrie in de vorm van een subsidie op emissiereductie, dan komt de CO<sub>2</sub>-weglek ongeveer een derde lager uit.**<sup>22</sup> De concurrentiepositie van de Nederlandse industrie verandert beperkt wanneer de opbrengst van de vlakke CO<sub>2</sub>-heffing wordt ingezet voor een gerichte subsidie ten behoeve van emissiereductie. Tegelijkertijd is er wel een duidelijk positief effect op de CO<sub>2</sub>-emissiereductie en valt de lekkagevoet lager uit (zie tabel 4.2). Op Europees niveau is het optioneel om te komen tot de invoering van een CO<sub>2</sub>-heffing voor het aanbod uit niet-Europese landen of een subsidie aan Europese exporteurs. Dit kan de concurrentiepositie van de Europese industrie verbeteren, waardoor de weglek van CO<sub>2</sub>-emissies vermindert en de effectiviteit van het beleid wordt vergroot. Een analyse van de gevolgen van maatregelen op Europees niveau valt buiten het bestek van deze studie.

<sup>21</sup> De lekkage wordt voor een tiende deel veroorzaakt door extra productie in Europa.

<sup>22</sup> In CPB en PBL (2019a) heeft de gerichte terugsluis van de opbrengst van de CO<sub>2</sub>-heffing een groter effect op de lekkagevoet, omdat het daar om een veel lagere heffing gaat en de kostencurve voor de industrie een convex verloop kent. De gerichte terugsluis leidt dan vooral tot extra binnenlandse CO<sub>2</sub>-emissiereductie, maar heeft weinig effect op de marktprijzen en de buitenlandse CO<sub>2</sub>-uitstoot.

Een reeks aan gevoeligheidsanalyses bevestigt het beeld dat de productieverliezen voor de industrie ook bij alternatieve aannames beperkt zijn en de weglek van CO<sub>2</sub>-emissies in nagenoeg alle gevallen aanzienlijk blijft. De gevoeligheidsanalyses richten zich op onzekerheden rondom de hoogte van de Armington-elasticiteiten, de ontwikkeling van de EU ETS-prijs en de kosten van mogelijkheden voor CO<sub>2</sub>-emissiereductie. Voor de weglek volgt dat die aanzienlijk blijft onder alternatieve veronderstellingen, maar dat er wel meer variatie ontstaat dan bij de productieverliezen. Figuur 4.1 spitst zich daarom toe op de resultaten voor weglek en laat een paar uitschieters naar boven zien indien de heffingsopbrengst in zijn geheel wordt teruggesluisd naar huishoudens. Dit is consistent met de hogere weglek die we al eerder zagen bij deze optie, in vergelijking met de optie van een gerichte subsidie voor de industrie. Wanneer andere Armington-elasticiteiten worden verondersteld, kan de lekkagevoet oplopen richting 100%. Dit betekent dat de CO<sub>2</sub>-emissiereductie door de Nederlandse industrievrijwel volledig teniet wordt gedaan door de weglek van CO<sub>2</sub>-emissies naar het buitenland. Anderzijds blijken alternatieve handelselecticiteiten en een hogere verwachte EU ETS-prijs (bijvoorbeeld door de Europese Green Deal) de weglek te verlagen in de variant met een gerichte terugsluis naar de industrie. Dat is niet onverwacht, omdat deze variant gemiddeld een lagere weglek kent dan de variant met een terugsluis naar huishoudens. Bij een hogere EU ETS-prijs zal met name de relatieve marktprijsstijging lager uitkomen, waardoor de weglek in absolute termen omlaag gaat (ofwel: de teller in de lekkagevoet valt dan lager uit). Als een verdubbeling van de CO<sub>2</sub>-reductiekosten wordt verondersteld, dan loopt de lekkagevoet op richting 100%. Voor deze variant geldt dat de weglek in absolute termen niet zozeer stijgt, maar alleen de relatieve weglek toeneemt doordat hogere kosten de CO<sub>2</sub>-emissiereductie van de industrie in Nederland verlagen (ofwel: een verlaging van de noemer in de lekkagevoet). Al met al lijkt de weglek van CO<sub>2</sub>-emissies onder gemiddelde aannames relatief hoog te liggen en een vergelijkbaar beeld is ook terug te zien bij alternatieve aannames. Slechts in uitzonderlijke gevallen kan de weglek van CO<sub>2</sub>-emissies naar het buitenland substantieel afwijken van dit beeld en duidelijk hoger of lager uitkomen.

**Figuur 4.1 CO<sub>2</sub>-weglek bij een heffing van 200 euro per ton CO<sub>2</sub>: gevoeligheidsanalyses voor hoge en lage handelselecticiteiten, EU ETS-prijzen, en CO<sub>2</sub>-reductiekosten (in 2030, WorldScan)**



\* De alternatieve aannames voor de Armington-elasticiteiten zijn gebaseerd op CPB (2018b).

\*\* De hoge EU ETS-prijs sluit aan bij de uniforme verhoging van de CO<sub>2</sub>-prijzen voor ETS en niet-ETS sectoren in alle lidstaten benodigd om de hogere Europese ambitie van 55% CO<sub>2</sub>-emissiereductie te halen (zie bijvoorbeeld [link](#)). De lage EU ETS-prijs is gebaseerd op een procentuele verandering ten opzichte van het basispad die gelijk is aan de procentuele verandering in het geval van de hoge prijsvariant.

\*\*\* Om pragmatische redenen is gekozen voor een variant waarin de maatregelen twee keer zo duur zijn gemaakt en een variant waarin de kosten gehalveerd zijn.

# Referenties

Aldy, J.E. en W.A. Pizer, 2015, The competitiveness impacts of climate change mitigation policies, *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, vol. 2(4): 565-595.

Armington, P.S., 1969, A theory of demand for products distinguished by place of production, *IMF Staff Papers*, vol. 16(1): 159-178.

Babiker, M.H., 2005, Climate change policy, market structure and carbon leakage, *Journal of International Economics*, vol. 65: 421-445.

Boeters, S. en J. Bollen, 2012, Fossil fuel supply, leakage and the effectiveness of border measures in climate policy, *Energy Economics*, vol. 34: S181-S189.

Böhringer, C., A. Lange en T.F. Rutherford, 2014, Optimal emission pricing in the presence of international spillovers: Decomposing leakage and terms-of-trade motives, *Journal of Public Economics*, vol. 110: 101-111.

Bollen, J. en C. Brink, 2014, Air pollution policy in Europe: Quantifying the interaction with greenhouse gases and climate change policies, *Energy Economics*, vol. 46: 202-215.

Branger, F. en P. Quirion, 2014, Would border carbon adjustments prevent carbon leakage and heavy industry competitiveness losses? Insights from a meta-analysis of recent economic studies, *Ecological Economics*, vol. 99: 29-39.

Branger, F., P. Quirion en J. Chevallier, 2016, Carbon leakage and competitiveness of cement and steel industries under the EU ETS: much ado about nothing, *The Energy Journal*, vol. 37(3): 109-135.

Carbone, J.C. en N. Rivers, 2017, The impacts of unilateral climate policy on competitiveness: evidence from computable general equilibrium models, *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 11(1): 24-42.

CBS, 2016, Olie en stroom in de Nederlandse economie, [link](#).

CBS, 2018, Emissie-intensiteit broeikasgassen Nederlandse industrie, [link](#).

CBS, 2019a, Welke sectoren stoten broeikasgassen uit? [link](#), Gebaseerd op: [link](#).

CBS, 2019b, Bedrijfsleven; arbeids- en financiële gegevens, per branche, SBI 2008, [link](#).

CBS, 2019c, Productie- en inkomenscomponenten bbp; bedrijfstak; nationale rekeningen, [link](#).

CE Delft, 2018, Effecten van CO<sub>2</sub>-beprijzing in de industrie. CO<sub>2</sub>-reducties, kostprijsverhoging en koolstoflekkage, *CE Delft*, no. 18.7R45.097, [link](#).

Clingendael International Energy Programme (CIEP), 2017, The European Refinery Sector: a Diversity of Markets? [link](#).

Compendium voor de Leefomgeving (CLO), 2020, CO<sub>2</sub>-emissies verklaard, 1990-2017, [link](#).



CPB, 2006, WorldScan: A model for international economic policy analysis, *CPB Document*, maart 2006, [link](#).

CPB, 2018a, De productiviteitseffecten van (milieu-) regelgeving, *CPB Notitie*, 18 september 2018, [link](#).

CPB, 2018b, Trade Wars: Economic impacts of US tariff increases and retaliations An International Perspective, *CPB Background document*, 19 november 2018, [link](#).

CPB, 2019a, Doorrekening kabinetsvarianten industrie ontwerp-Klimaatakkoord, *CPB Notitie*, 18 juni 2019, [link](#).

CPB, 2019b, Doorrekening wijzigingsvoorstellen GroenLinks ontwerp-Klimaatakkoord, *CPB Notitie*, 18 juni 2019, [link](#).

CPB, 2019c, Doorrekening wijzigingsvoorstellen PvdA ontwerp-Klimaatakkoord, *CPB Notitie*, 18 juni 2019, [link](#).

CPB, 2019d, Effecten van een belasting op luchtvervuiling voor drie sectoren, *CPB Achtergronddocument*, 3 december 2019, [link](#).

CPB, 2020, Trade policy analysis with a gravity model, *CPB Background Document*, 17 juli 2020, [link](#).

CPB, PBL, 2018, De werkgelegenheidseffecten van fiscale vergroening, *CPB Achtergronddocument*, 21 maart 2018, [link](#).

CPB, PBL, 2019a, Economische effecten van CO<sub>2</sub>-beprijzing: varianten vergeleken, *CPB/PBL Policy brief*, 7 juni 2019, [link](#).

CPB, PBL, 2019b, Expertworkshop CO<sub>2</sub>-heffing en verplaatsing, *CPB/PBL Achtergronddocument*, 18 juni 2019, [link](#).

CPB, PBL, 2019c, Verantwoording behorend bij de PolicyBrief: Economische effecten van CO<sub>2</sub>-beprijzing: varianten vergeleken, *CPB/PBL Achtergronddocument*, 13 november 2019, [link](#).

Dechezleprêtre, A., C. Gennaioli, R. Martin, M. Muûls en T. Stoerk, 2019, Searching for carbon leaks in multinational companies, *Working paper*, [link](#) (geraadpleegd: 24 juni 2020).

Dechezleprêtre, A. en M. Sato, 2017, The impacts of environmental regulations on competitiveness, *Review of Environmental Economics and Policy*, vol. 11(2): 183-206.

DNB, 2018, De prijs van transitie, *DNB Occasional Studies*, vol. 16(8), [link](#).

DNV-GL, 2018, CO<sub>2</sub> Reductie Roadmap van de Nederlandse raffinaderijen, [link](#).

ECN, PBL, 2017, Nationale Energieverkenning 2017, ECN-O-17-018, [link](#).

Ecofys, 2018, Chemistry for Climate: Acting on the need for speed, [link](#).

Feenstra, R.C., P. Luck, M. Obstfeld en K.N. Russ, 2018, In search of the Armington elasticity, *Review of Economics and Statistics*, vol. 100(1): 135-150.

Gerlagh, R. en O. Kuik, 2014, Spill or leak? Carbon leakage with international technology spillovers: A CGE analysis, *Energy Economics*, vol. 45: 381-388.

- IEA, 2017, Understanding the Cost of Retrofitting CO<sub>2</sub> capture in an Integrated Oil Refinery, [link](#).
- Iraldo, F., F. Testa, M. Melis en M. Frey, 2011, A literature review on the links between environmental regulation and competitiveness, *Environmental Policy and Governance*, vol. 21(3): 210-222.
- Karp, L., 2010, Reflections on carbon leakage, *Working paper*, [link](#) (geraadpleegd: 2 juli 2020).
- Krugman, P., 1980, Scale economies, product differentiation, and the pattern of trade, *The American Economic Review*, vol. 70(5): 950-959.
- Melitz, M.J., 2003, The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity, *Econometrica*, vol. 71(6): 1695-1725.
- Moses, L.N., 1958, Location and the theory of production, *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 72(2): 259-272.
- Naegele, H. en A. Zaklan, 2019, Does the EU ETS cause carbon leakage in European manufacturing?, *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 93: 125-147.
- OECD, IEA, 2016, World Energy Outlook 2016, Parijs, [link](#).
- PBL, 2017, Europese doelen voor lucht, klimaat en energie in 2030: gevolgen voor economie en emissies, *PBL Beleidsstudie*, 29 september 2017, [link](#).
- PBL, 2018a, Kosten energie- en klimaattransitie in 2030 – update 2018, *PBL Notitie*, 28 maart 2018, [link](#).
- PBL, 2018b, Projectie ETS-prijzen behoeve van besluitvorming minimum CO<sub>2</sub>-prijs elektriciteitsproductie, *PBL Notitie*, 21 december 2018, [link](#).
- PBL, 2020, Eindadvies Basisbedragen SDE++ 2020, *PBL Beleidsstudie*, 11 februari 2020, [link](#).
- PwC, 2020, Speelveldtoets 2020: De impact van het voorgenomen klimaatbeleid op het speelveld van de Nederlandse industrie, [link](#).
- Rathelot, R. en P. Sillard, 2008, The importance of local corporate taxes in business location decisions: Evidence from French micro data, *The Economic Journal*, vol. 118(527): 499-514.
- Riedel, N., 2018, Quantifying international tax avoidance: A review of the academic literature, *Review of Economics*, vol. 69(2): 169-181.
- Sato, M. en A. Dechezleprêtre, 2015, Asymmetric industrial energy prices and international trade, *Energy Economics*, vol. 52: S130-S141.
- Tata Steel, 2019, Tata Steel in Europe, Sustainability Report 2018/2019, [link](#) (geraadpleegd: 2 Juli 2020).
- TNO, PBL, 2019a, Decarbonisation options for the Dutch aluminium industry, [link](#).
- TNO, PBL, 2019b, Decarbonisation options for the Dutch fertiliser industry, [link](#).
- TNO, PBL, 2019c, Decarbonisation options for the Dutch steel industry, [link](#).

TNO, PBL, 2019d, Decarbonisation options for the Dutch zinc industry, [link](#).

TNO, PBL, 2020a, Decarbonisation options for ExxonMobil Chemicals Rotterdam, [link](#).

TNO, PBL, 2020b, Decarbonisation options for large volume organic chemicals production, Shell Moerdijk, [link](#).

Trinks, A., M. Mulder en B. Scholtens, 2020, An efficiency perspective on carbon emissions and financial performance, *Ecological Economics*, vol. 175: 106632.

Van Soest, D.P., J.A. Listen T. Jeppesen, 2006, Shadow prices, environmental stringency, and international competitiveness, *European Economic Review*, vol. 50(5): 1151-1167.

Verde, S.F., 2020, The impact of the EU emissions trading system on competitiveness and carbon leakage: the econometric evidence, *Journal of Economic Surveys*, vol. 34(2): 320-343.

Wang, C., C. Ryman en J. Dahl, 2009, Potential CO<sub>2</sub> emission reduction for BF-BOF steelmaking based on optimised use of ferrous burden materials, *International Journal of Greenhouse Gas Control*, vol. 3(1): 29-38.

Wang, Y., X. Sun en X. Guo, 2019, Environmental regulation and green productivity growth: Empirical evidence on the Porter Hypothesis from OECD industrial sectors, *Energy Policy*, vol. 132: 611-619.

# Bijlage A: Detailbeeld industriële sectoren

Deze bijlage gaat meer in detail in op de drie industriële sectoren met de grootste CO<sub>2</sub>-uitstoot om de hoofdconclusies in hoofdstuk 3 te onderbouwen. Paragraaf A1 biedt allereerst een kenschets van de drie sectoren. Daarna volgt een beschrijving van de belangrijkste productieprocessen (paragraaf A2), de mogelijkheden en kosten voor CO<sub>2</sub>-reductie in deze processen (paragraaf A3), een vergelijking van de CO<sub>2</sub>-intensiteit in Nederland en het buitenland (paragraaf A4), en economische indicatoren (paragraaf A5).

## A1 Kenschets Nederlandse industrie

De Nederlandse industrie is verantwoordelijk voor circa 30% van de nationale CO<sub>2</sub>-uitstoot. In 2018 was de totale Nederlandse industrie verantwoordelijk voor 57,6 Mton CO<sub>2</sub>-uitstoot (figuur A.1). Binnen de industrie treedt het grootste deel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot (circa tweederde) op in de sectoren chemie, aardolie, en basismetaal.<sup>23</sup> Voor de beschrijving van emissiereductie-mogelijkheden en -kosten wordt zoveel mogelijk aangesloten bij de huidige kennisbasis uit het MIDDEN-project (zie TNO en PBL, 2019a; 2019b; 2019c; 2019d; 2020a; 2020b).

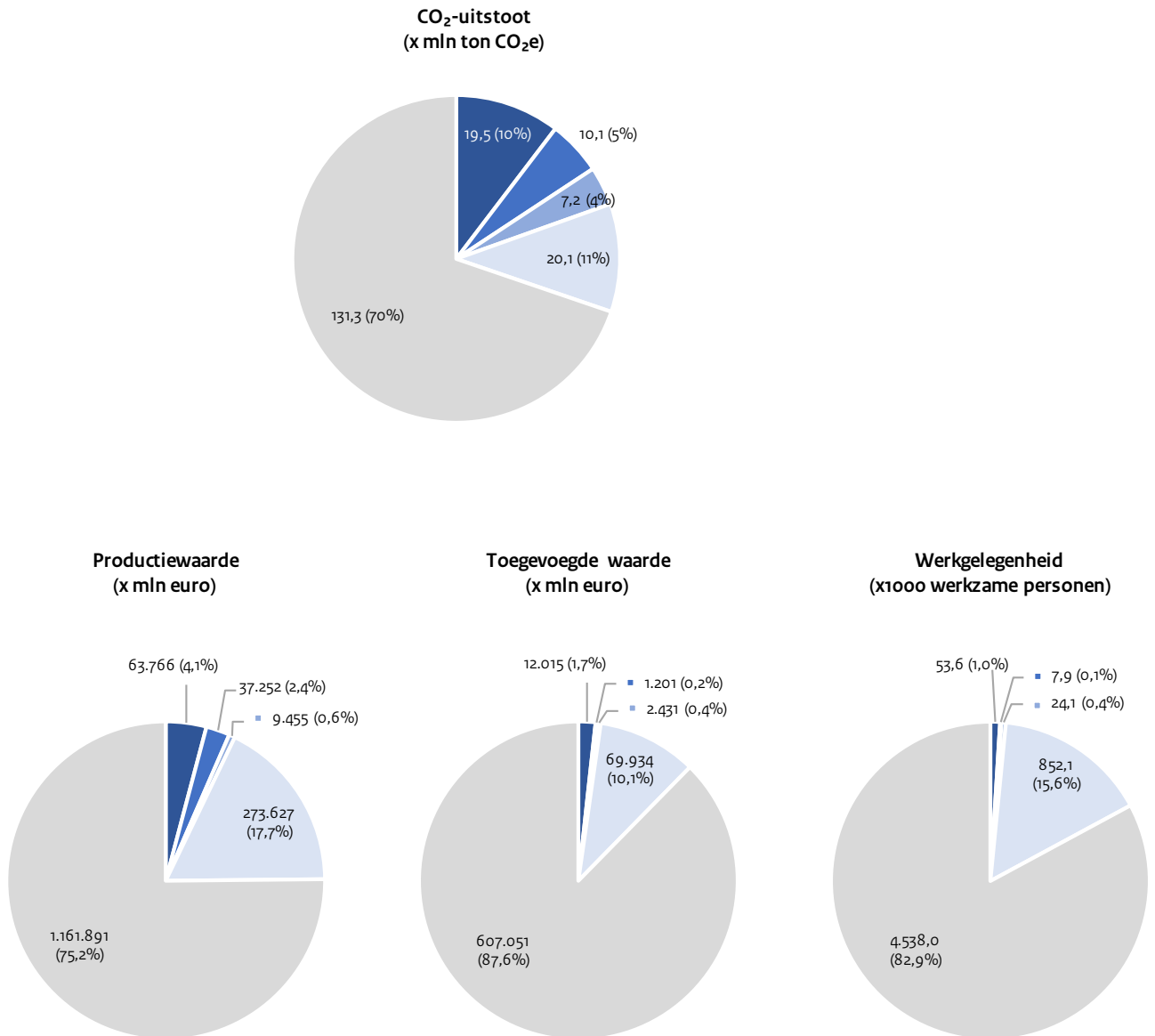
De sectoren chemie, aardolie, en basismetaal hebben een bescheiden productiewaarde, toegevoegde waarde en aandeel in de werkgelegenheid. Dit wordt geïllustreerd in figuur A.2 en figuur A.3. In 2018 bedroeg het aandeel in de productiewaarde 7,1%, in termen van toegevoegde waarde kwam het aandeel op 2,3% en de werkgelegenheid besloeg 1,6% van de totale werkgelegenheid (figuur A.2). Dit impliceert dat de CO<sub>2</sub>-intensiteit, uitgedrukt als CO<sub>2</sub>-uitstoot (in Mton) gedeeld door de productiewaarde (in mld euro), relatief hoog is in de drie industriële sectoren. In figuur A.3 wordt de CO<sub>2</sub>-intensiteit in deze sectoren afgezet tegen andere sectoren. Overigens sluit een beperkte omvang van bijvoorbeeld de werkgelegenheid niet uit dat de sector van belang is voor de regionale arbeidsmarkt, zeker als rekening wordt gehouden met de verwevenheid met andere sectoren. Verder kan een beperkte productieomvang van de sector ten opzichte van de Nederlandse industrie of gehele economie gepaard gaan met een groot marktaandeel in Europa. Dit laatste aspect komt aan bod in paragraaf A3.

---

<sup>23</sup> De NEa volgt de IPCC-methode, die gebruikt wordt voor internationale klimaatdoelstellingen. Een veelgebruikt alternatief is de methode van nationale rekeningen. Echter, bij deze methode wordt er in sterke mate afgeweken van de IPCC-methode, voornamelijk doordat emissies van kort-cyclische CO<sub>2</sub>, bunkering en internationaal transport ook worden meegeteld (CLO, 2020). Per saldo valt daardoor de CO<sub>2</sub>-uitstoot circa 36 Mton hoger uit voor Nederland als geheel, en circa 8 Mton hoger in de industrie.

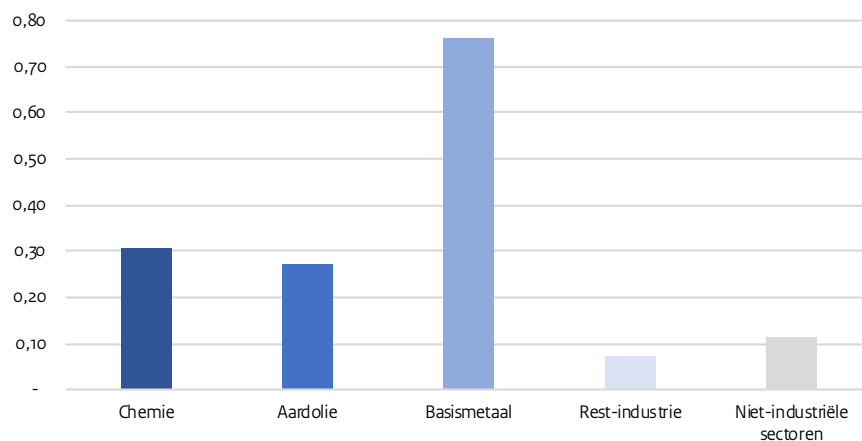
**Figuur A.1 Kerncijfers industriële sectoren en aandeel in Nederlandse economie in 2018**

■ Chemie ■ Aardolie ■ Basismetaal ■ Rest-industrie ■ Niet-industriële sectoren



Bron: CBS (2019a; 2019b; 2019c).

Figuur A.2 CO<sub>2</sub>-intensiteit (CO<sub>2</sub>-uitstoot in Mton / productiewaarde in mld euro) van Nederlandse sectoren in 2018



Bron: CBS (2019a; 2019b).

## A2 CO<sub>2</sub>-emissies

### Chemie

**Binnen de Nederlandse chemiesector, zijn de petrochemie, kunstmestproductie en productie van industriële gassen tezamen goed voor ongeveer 95% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot.** De petrochemie in Nederland richt zich sterk op de productie van ethyleen. Ethyleen, dat wordt geproduceerd uit nafta met behulp van stoomkrakers, kan worden omgezet in polymeren die de basis vormen voor kunststofproducten. De petrochemie was in 2018 goed voor een CO<sub>2</sub>-uitstoot van ongeveer 9,5 Mton, die met name vrijkomt bij de vervaardiging van kunststofproducten. Een ander, groot onderdeel van de chemie in Nederland is de kunstmestproductie. Kunstmatige meststoffen worden geproduceerd door salpeterzuur uit ammoniak te combineren met ammoniakgas. De kunstmestindustrie stootte in 2018 circa 5,7 Mton CO<sub>2</sub> uit, vooral bij de productie van ammoniak via het zogeheten Haber-Bosch proces, waarbij waterstof in reactie wordt gebracht met stikstof. Een derde belangrijke activiteit binnen de chemie is de productie van industriële gassen, voornamelijk waterstof dat dient als input voor diverse industriële processen. Met name de productie van waterstof uit aardgas draagt bij aan CO<sub>2</sub>-uitstoot. Waterstof is input voor onder andere ammoniakfabrieken en aardolieraffinaderijen. Bij de productie van industriële gassen kwam in 2018 ongeveer 3,1 Mton CO<sub>2</sub> vrij. Deze activiteiten, tezamen goed voor circa 95% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in de chemie, zijn geconcentreerd in een klein aantal bedrijven.<sup>24</sup>

### Aardolie

**De aardoliesector bestaat vrijwel geheel uit raffinaderijen (CBS, 2016); deze stootten in 2018 10,1 Mton CO<sub>2</sub> uit (CBS, 2019a), waarbij het grootste deel van de CO<sub>2</sub> vrijkomt door verbranding van fossiele brandstoffen in processen als distillatie en kraken.** De zogeheten 'on site'-productie van waterstoffen overige processen zijn verantwoordelijk voor de overige emissies. Raffinage vindt plaats bij zes bedrijven.<sup>25</sup> Raffinaderijen produceren uit ruwe olie diverse tussen- en eindproducten, zoals dieselolie, stookolie,

<sup>24</sup> Circa 80% van de CO<sub>2</sub>-uitstoot bij petrochemie is geconcentreerd bij drie bedrijven: DOW Benelux Terneuzen (2,5 Mton), SABIC Geleen (2,4 Mton) en Shell Moerdijk (2,8 Mton). In de kunstmestsector stoten Yara (gevestigd in het industriële cluster Zeeland) en OCI Nitrogen (gevestigd in het cluster Chemelot) jaarlijks respectievelijk 3,8 Mton en 2,3 Mton CO<sub>2</sub> uit. De belangrijkste zelfstandige waterstofproducenten zijn Air Liquide (2,2 Mton CO<sub>2</sub>-uitstoot) en Air Products (0,9 Mton CO<sub>2</sub>-uitstoot).

<sup>25</sup> BP Refinery Rotterdam, Esso Nederland, Gunvor Petroleum Rotterdam, Shell Nederland Raffinaderij, Vitol Netherlands en Zeeland Refinery. BP en Shell zijn goed voor circa tweederde van de verwerkingscapaciteit en directe CO<sub>2</sub>-uitstoot.



kerosine, benzine, LPG en nafta. Belangrijke stappen bij de raffinage van ruwe olie zijn distillatie en kraken. Het grootste deel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot komt vrij bij de verbranding van koolwaterstoffen, aangezien de benodigde hoge temperaturen voornamelijk worden gegenereerd met behulp van fossiele brandstoffen, deels afkomstig uit eigen productie. De output bestaat uit verschillende typen brandstoffen en andere stoffen, die input vormen voor onder andere de chemische en farmaceutische industrie. Waterstof ('on site' geproduceerd of ingekocht) wordt gebruikt als grondstof in het productieproces. Momenteel zijn de belangrijkste energie-inputs stookolie (58%) en aardgas (16%), naast stoom, elektriciteit en andere petroleumproducten. Naast CO<sub>2</sub> komt er een beperkte hoeveelheid methaan uitgestoten.

### Basis metaal

Onder de sector basismetale vallen de productie van ijzer en staal, aluminium en zink; de totale CO<sub>2</sub>-uitstoot in 2018 bedroeg 7,2 Mton (CBS, 2019a), waarbij het belangrijkste gedeelte (6,9 Mton, ofwel: circa 95%) afkomstig was van de ijzer- en staalproductie (Tata Steel, 2019). Slechts een beperkte uitstoot wordt veroorzaakt door de productie van aluminium (0,4 Mton) (TNO en PBL, 2019a) en zink (nihil) (TNO en PBL, 2019d).<sup>26</sup> Gezien de relatief beperkte CO<sub>2</sub>-uitstoot in de aluminium- en zinkproductie richt de rest van deze paragraaf zich op de ijzer- en staalproductie. Deze productieactiviteit concentreert zich bij Tata Steel. Dit bedrijf richt zich op de productie van hoogwaardig staal, met als belangrijke afnemers de transport-, bouw- en verpakkingindustrie. Staalproducenten in Europa en daarbuiten produceren ook laagwaardig staal met behulp van secundair staalschroot voor bijvoorbeeld constructies en betonwapening. Tata Steel beschikt over een geïntegreerde installatie, waarbij ruwijzer wordt geproduceerd uit ijzererts en het ruwijzer vervolgens verwerkt wordt tot staal. In de eerste stap wordt ijzererts onder hoge temperaturen gesmolten met behulp van verbranding van zogeheten 'cokes' in hoogovens. Deze stap is verantwoordelijk voor het grootste deel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot (Wang et al., 2009). In de tweede stap worden zogeheten oxystaalovens ingezet om ruwijzer te verwerken tot hoogwaardig staal.

## A3 Mogelijkheden voor CO<sub>2</sub>-reductie

Deze paragraaf beschrijft de mogelijkheden die rond 2030 voorhanden zijn voor CO<sub>2</sub>-reductie in de bovengenoemde subsectoren. De inzichten komen hoofdzakelijk voort uit de huidige kennisbasis uit het recente TNO/PBL MIDDEN-project, waarin mogelijkheden voor emissiereductie worden besproken voor diverse sectoren in Nederland. Voor zover er aanvullende informatie nodig is, wordt er geput uit vooraanstaande bronnen. Voor de bespreking van CO<sub>2</sub>-reductiemogelijkheden en -kosten zijn twee noties van belang. Ten eerste komen opties voor CO<sub>2</sub>-reductie aan bod waarvan op basis van de huidige inzichten verwacht wordt dat ze een rol kunnen spelen voor emissiereductie rond 2030. Het totaal aan CO<sub>2</sub>-besparing van alle opties tezamen duiden we aan als 'technisch reductiepotentieel'. Diverse verduurzamingsopties worden hiermee buiten beschouwing gelaten, zoals groenewaterstof en elektrificatie. Ondanks hun cruciale rol in de CO<sub>2</sub>-reductieopgave tot 2050, worden deze technieken in de MIDDEN-rapporten niet rond 2030 realiseerbaar geacht. Ten tweede hangt de potentie voor CO<sub>2</sub>-reductie af van diverse randvoorwaarden, met name de benodigde investeringen in operationele infrastructuur. Te denken valt aan een transportnetwerk en opslagmogelijkheden voor CO<sub>2</sub>, een verzaamd elektriciteitsnetwerk, een waterstofnetwerk en infrastructuur voor restwarmte. Ook is voldoende aanbod van duurzame energie een belangrijke voorwaarde. Deze randvoorwaarden maken dat de opties en kosten voor CO<sub>2</sub>-reductie die we in deze paragraaf bespreken beschouwd moeten worden als ruwe schattingen die met veel onzekerheid omgeven zijn. In hoofdstuk 4 wordt deze onzekerheid inzichtelijk gemaakt middels gevoeligheidsanalyses voor bijvoorbeeld hogere CO<sub>2</sub>-reductiekosten.

<sup>26</sup> De productie van aluminium vindt plaats bij vijf bedrijven: Aldel, Aluchemie, Century, E-MAX en Zalco. De productie van zink is geconcentreerd in één bedrijf: Nyxstar. Al de zes bedrijven vallen onder het EU ETS (TNO en PBL, 2019a).

## Chemie

Voor de sector chemie bestaan technologische mogelijkheden om in 2030 circa 10 Mton CO<sub>2</sub> te reduceren tegen gemiddelde kosten van circa 95 euro per ton CO<sub>2</sub>, waarbij 4,5 Mton te reduceren is tegen circa 40 euro per ton. We gaan achtereenvolgens in op de belangrijkste onderdelen van de chemiesector, namelijk de petrochemie, kunstmestproductie, en waterstofproductie.

Rond 2030 bestaan er in de petrochemie bij de productie van ethyleen mogelijkheden om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te reduceren met ruim 6 Mton, tegen kosten van 30 tot 100 euro per ton (gemiddeld circa 80 euro per ton). Dit is vooral te realiseren door mechanische recycling, diverse energie-efficiëntieverbeteringen, inzet van duurzame biomassa en waterstof, en het afvangen van CO<sub>2</sub> voor opslag (CCS) of gebruik in vervolprocessen (CCU). Mechanische recycling betreft het vervangen van ethyleen als grondstof voor gerecycled kunststof. Toepasbaar op ongeveer 20% van de productie is er ruim 1 Mton CO<sub>2</sub> te reduceren tegen ruim 30 euro per ton (Ecofys, 2018; CPB, 2019d). Hiernaast bestaan er diverse technieken die bij kunnen dragen aan energie-efficiëntieverbetereing en circa 15 tot 20% CO<sub>2</sub>-reductie tegen 2030; over het potentieel en kosten van deze technieken bestaat echter nog veel onzekerheid (PBL en TNO, 2020b). De inzet van biomassa ter vervanging van aardgas biedt een reductiepotentieel van circa 0,4 Mton tegen circa 30 euro per ton. Hiernaast kan aardgas worden vervangen door (blauwe) waterstof, hoewel deze optie nog erg onzeker is (ibid.). Toepassing van CCS/CCU levert potentieel 85% emissiereductie (ruim 4 Mton na benutting van mechanische recycling en inzet biomassa) tegen gemiddelde kosten van ruwweg 100 euro. Daarbij zijn de kosten afhankelijk van de CO<sub>2</sub>-bron waar CCS/CCU op wordt toegepast: circa 30 euro per ton bij procesemissies (een klein deel van de totale emissies) en 100 euro per ton bij verbrandingsemisies (Ecofys, 2018; TNO en PBL, 2020a; 2020b). In vergelijking met andere industriële sectoren, is toepassing van CCS/CCU in de petrochemie relatief duur, door het lage CO<sub>2</sub>-gehalte van stoomgassen (CE Delft, 2018). Daarnaast zullen CCS/CCU-toepassingen in de petrochemie integraal bekeken moeten worden met raffinageprocessen in de aardolie-sector (TNO en PBL, 2020a). Op de lange termijn, rond 2040, wordt inzet van (groene) waterstof en elektrificatie (het vervangen van gasformuizen in naftakrakers door elektrische boilers) als belangrijke CO<sub>2</sub>-reductiemogelijkheden gezien.

Bij de kunstmestproductie is er rond 2030 een CO<sub>2</sub>-reductie van ruim 2,5 Mton mogelijk, tegen kosten van 30 tot 260 euro per ton (gemiddeld ruim 150 euro per ton). De kosten variëren sterk tussen de diverse reductieopties, waarbij circa de helft van het reductiepotentieel tegen relatief lage kosten (30 euro per ton) benut kan worden en de andere helft aanzienlijk duurder is (260 euro per ton) (TNO en PBL, 2019b). De eerste mogelijkheid voor CO<sub>2</sub>-reductie is extra afvang van CO<sub>2</sub> bij ammoniakfabrieken. Momenteel wordt CO<sub>2</sub> al deels afgevangen voor vervolprocessen (CCU), voornamelijk voor eigen gebruik, de productie van ureum, en gebruik door de bier-/frisdrankindustrie en tuinbouw. Een knelpunt voor bredere toepassing van CCU is het gebrek aan infrastructuur; zo wordt een substantieel deel van de afgevangen CO<sub>2</sub> van Yara (circa 1 Mton) niet benut voor vervolprocessen en daarom weer vrijgelaten. Echter, is extra afvang van CO<sub>2</sub> relatief eenvoudig en goedkoop toepasbaar bij ammoniakfabrieken, vanwege de hoge zuiverheid van de CO<sub>2</sub> die vrijkomt. Wanneer het volledige technische potentieel voor afvang van hoog-zuivere CO<sub>2</sub> bronnen benut zou worden, kan hiermee ruim 1 Mton CO<sub>2</sub> bespaard worden, tegen circa 30 euro per ton (ibid.).<sup>27</sup> Een tweede optie voor CO<sub>2</sub>-reductie is toepassing van CCS op verbrandingsemisies, waarbij tegen substantieel hogere kosten van circa 260 euro per ton ruim 1 Mton CO<sub>2</sub>-reductie mogelijk is (ibid.). Naast deze twee CCS-toepassingen valt er te denken aan het terugdringen van kunstmestgebruik in Nederland, energie-efficiëntieverbeteringen, en een reductie van N<sub>2</sub>O-emissies (een relatief klein deel van de totale broeikasgasemissies). Voor deze opties zijn echter geen goede schattingen beschikbaar. Op de lange termijn, rond 2040, wordt toepassing van groene waterstof als een belangrijke optie gezien voor verregaande CO<sub>2</sub>-reductie (ibid.).

---

<sup>27</sup> Hierbij moet worden opgemerkt dat andere bronnen indicaties geven van hogere kosten. PBL (2018a) noemt een bedrag van circa 55 euro. In de adviesbedragen voor SDE+++subsidies (PBL, 2020) wordt uitgegaan van ruim 75 tot 110 euro per ton CO<sub>2</sub>.

**Bij de productie van waterstof bestaan er rond 2030 mogelijkheden om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te reduceren met ongeveer 1 Mton, tegen circa 60 euro per ton.** De voornaamste CO<sub>2</sub>-reductiemogelijkheid rond 2030 is het omschakelen van grijze naar blauwe waterstof, oftewel toepassing van CCS bij bestaande productieprocessen. De kosten van CCS bij waterstofproductie stijgen wanneer een groter deel van de CO<sub>2</sub>-uitstoot afgevangen wordt. We gaan uit van een kostenbedrag van 60 euro per ton.<sup>28</sup> Dit ligt in het midden van de kostenschattingen van IEA (2017) van 50 tot 70 euro per ton, afhankelijk van de omvang van de CO<sub>2</sub>-bron waarop CCS wordt toegepast. Op de lange termijn is er de mogelijkheid van groene waterstofproductie, waarbij elektrolyse of biomassavergassing wordt gebruikt om CO<sub>2</sub>-vrij waterstof te produceren (CEDelft, 2018).

### Aardolie

**De technische mogelijkheden in de aardolie-sector rond 2030 zijn goed voor ruim 3 Mton CO<sub>2</sub>-reductie, waarbij de gemiddelde kosten uitkomen op ruim 50 euro per ton CO<sub>2</sub>.** Rond 2030 wordt de meeste reductiepotentie voorzien door energie-efficiëntieverbeteringen (ruwweg een derde van het reductiepotentieel) en CCS bij de relatief zuivere CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij waterstofproductie (circa twee derde van het reductiepotentieel) (DNV-GL, 2018). Voor energie-efficiëntiemaatregelen gaan we ervan uit dat de kosten nihil zijn. Dit is een conservatieve aanname; doorgaans wordt er van uitgegaan dat de kosten lager zijn dan de daarmee te behalen energiekostenbesparingen (ibid.). Voor CCS komen de CO<sub>2</sub>-reductiekosten per ton gemiddeld uit op circa 80 euro, waarbij de kosten voor de verschillende CCS-toepassingen in het bereik liggen van 50 tot 110 euro per ton (DNV-GL, 2018; zie ook TNO en PBL, 2020a). Door aanpassing van branders in raffinagefornuizen, kan op termijn blauwe waterstof belangrijker worden als brandstof. Na 2030 komen opties in zicht als het afvangen van CO<sub>2</sub> in lagere concentraties uit rookgassen, inzet van groene waterstof, en elektrificatie (ibid.).

### Basismetaal

**Voor de sector basismetale worden de technische mogelijkheden voor CO<sub>2</sub>-reductie geraamd op circa 5 Mton CO<sub>2</sub>, waarbij de gemiddelde kosten uitkomen op 50 euro per ton CO<sub>2</sub>.** De voornaamste CO<sub>2</sub>-reductieopties die Tata Steel IJmuiden rond 2030 kan benutten zijn de toepassing van de zogenaamde HIsarna-technologie aangevuld met CCS en/of CCU (TNO en PBL, 2019c; Tata Steel, 2019). HIsarna is een energie-efficiënte technologie waarin enkele voorbereidende processen (in kooks-, pellet-, en sinterfabrieken) geïntegreerd worden in één proces (Croezen en Korteland, 2010). Door conventionele hoogovens te vervangen door HIsarna-fabrieken wordt een CO<sub>2</sub>-reductie van maximaal 20% verwacht (Tata Steel, 2019). De CO<sub>2</sub> die vrijkomt bij HIsarna-fabrieken is vrij puur van vorm, hetgeen de toepassing van CCS/CCU vergemakkelijkt. Door HIsarna-technologie aan te vullen met CCS/CCU is het technisch mogelijk om de CO<sub>2</sub>-uitstoot van Tata Steel IJmuiden met circa 5 Mton te verlagen (TNO en PBL, 2019c). De gemiddelde kosten van HIsarna plus CCS/CCU komen uit op circa 50 euro per ton CO<sub>2</sub>.<sup>29, 30</sup> Een belangrijke kanttekening is dat deze toepassingen het productieproces relatief onaangetaast laten, waarbij de voornaamste input – kolen – niet wordt vervangen door CO<sub>2</sub>-armere alternatieven. Bij bestaande alternatieve technologieën, die in Nederland nog onvoldoende ontwikkeld zijn voor toepassing in 2030, worden kolen vervangen door gas, biomassa, of groene waterstof (ibid.). Hiernaast bestaan er mogelijkheden voor emissiereductie door energiebesparingsmaatregelen en inzet van gerecycled staal. Van deze opties wordt geen substantiële CO<sub>2</sub>-reductie verwacht, en bovendien is het potentieel ervan lastig in te schatten (ibid.).<sup>31</sup> Een duidelijker optie voor verregaande CO<sub>2</sub>-reductie is toepassing van elektrolyse. Deze techniek wordt al toegepast in andere industriële sectoren, zoals bij de

<sup>28</sup> PBL (2018a) raamt de nationale kosten op een kleine 60 euro per ton; In de adviesbedragen voor SDE++-subsidies (PBL, 2020) wordt uitgegaan van ruim 110 euro per ton CO<sub>2</sub>.

<sup>29</sup> Eigen berekeningen op basis van PBL (2018a). We gaan er bij HIsarna van uit dat de CO<sub>2</sub>-reductiekosten nihil zijn, aangezien dit een energiebesparingsmaatregel betreft.

<sup>30</sup> In de adviesbedragen van de SDE++-subsidies (PBL, 2020) wordt uitgegaan van ruim 110 euro per ton CO<sub>2</sub>.

<sup>31</sup> Over de afgelopen 30 jaar is de energie efficiëntie in de Nederlandse basismetale sector verbeterd met circa 30%. Mede daardoor behoort de staalproductie in Nederland wereldwijd tot de meest efficiënte. Tegelijkertijd lijken er weinige resterende mogelijkheden voor verdere energiebesparing (TNO en PBL, 2019c).

productie van aluminium (TNO en PBL, 2019a) en zink (TNO en PBL, 2019d). De toepassing bij staalproductie in Nederland wordt echter niet voorzien rond 2030, doordat er aan belangrijke randvoorwaarden niet voldaan wordt, zoals een substantieel aanbod van groene stroom tegen lage stroomprijzen (TNO en PBL, 2019c). Over de techniek en kosten van deze opties is bovendien nog weinig bekend, doordat er met grootschalige toepassing nog geen ervaring is opgedaan.

## A4 CO<sub>2</sub>-intensiteit in binnen- en buitenland

**In vergelijking met het buitenland is de CO<sub>2</sub>-intensiteit van de Nederlandse industrie relatief laag, vooral ten opzichte van Azië.** In tabel A.1 wordt de CO<sub>2</sub>-intensiteit in Nederland en andere regio's vergeleken. We gaan hierbij uit van het basispad voor 2030, aangezien dit het zichtjaar is voor de analyse van CO<sub>2</sub>-weglek in hoofdstuk 4. Deze cijfers zijn relevant waar het gaat om de weglek van CO<sub>2</sub>-emissies naar het buitenland. Eventuele verplaatsing van productieactiviteit uit Nederland zou zich namelijk kunnen verplaatsen naar landen/regio's buiten Europa. De CO<sub>2</sub>-intensiteit voor de industrie in Nederland is ietwat lager maar vergelijkbaar met die van andere Europese landen en de Verenigde Staten. Echter, in China en overige niet-OESO landen (Rest Wereld), met India als grote speler, is de CO<sub>2</sub>-intensiteit ruwweg het drievoudige van die in Nederland (zie tabel A.1). Voor de afzonderlijke sectoren is het beeld voor 2030 meer gevarieerd. Zo overstijgt de CO<sub>2</sub>-intensiteit van de aardolie-sector in alle regio's die van Nederland, met China als uitschieter. Voor basismetaleen zien we eveneens een groot verschil met China en overige niet-OESO landen. Voor de chemie valt op dat de CO<sub>2</sub>-intensiteit in Nederland relatief hoog is; dit wordt gedeeltelijk verklaard door de samenstelling van de productmix (CBS, 2018).

**Tabel A.1 CO<sub>2</sub>-intensiteit Nederlandse industrie ten opzichte van andere landen/regio's\* (basispad 2030, WorldScan)**

	(1) Nederland	(2) Rest Europa (Europa – (1))	(3) VS	(4) Rest OESO (OESO – (1) t/m (3))	(5) China	(6) Rest Wereld (OESO – (1) t/m (5))	(7) Wereld
Industrie	100	118	127	177	333	278	249
Chemie	100	56	63	90	84	127	89
Aardolie	100	106	174	254	921	202	307
Basismetaleen	100	134	70	81	176	271	168

\* Indices (Nederland = 100) van de CO<sub>2</sub>-intensiteit (CO<sub>2</sub>-uitstoot in Mton / productie volume).

## A5 Marktstructuur en internationale handelspatronen

**Het wereldwijde marktaandeel van de totale Nederlandse industrie bedraagt in 2030 ongeveer 5% van de wereldhandel; het exportaandeel van Nederland in de totale import van de rest van Europa is circa 15%; voor andere regio's in de wereld ligt dit aandeel lager.** Dit volgt uit tabel A.2. Voor de rest van Europa is de Nederlandse basismetaleensector relatief belangrijk (marktaandeel: 9%); het marktaandeel buiten Europa is beperkt, zoals in de Verenigde Staten (nihil), de rest van de OESO (1%), China (1%) en de rest van de wereld (voornamelijk India) (1%). Voor de sectoren chemie en aardolie liggen de marktaandelen hoger, maar zijn de verhoudingen en marktaandelen tussen de rest van Europa en andere regio's in grote lijnen vergelijkbaar. Het marktaandeel is relevant waar het gaat om de weglek van CO<sub>2</sub>-emissies naar het buitenland. Als de productie

zich verplaatst zal dat veelal naar landen buiten Europa zijn, onder andere door het plafond op emissies dat voor Europa als geheel geldt.

**Tabel A.2 Exportaandeel van Nederland in de totale import van verschillende landen/regio's (in %, basispad 2030, WorldScan)**

	(1) Nederland	(2) Rest Europa (Europa – (1))	(3) VS	(4) Rest OESO (OESO – (1) t/m (3))	(5) China	(6) Rest Wereld (OESO – (1) t/m (5))	(7) Wereld
Industrie	-	15	2	1	1	2	5
Chemie	-	15	2	1	1	2	5
Aardolie	-	16	4	2	Nihil	4	6
Basismetaal	-	9	Nihil	1	1	1	2

**In het basispad voor 2030 heeft industrie als geheel een aandeel van circa 12% in het bbp en 8% in de werkgelegenheid.** De sectoren die binnen de industrie de meeste CO<sub>2</sub>-uitstoot veroorzaken nemen echter slechts 5% van het bbp en 2% van de werkgelegenheid voor hun rekening (zie hoofdstuk 3, tabel 3.1).

## Chemie

**Hoewel er circa 400 bedrijven actief zijn in de chemie vindt het grootste deel van de productie plaats bij een klein aantal multinationale ondernemingen in de industriële clusters Chemelot, Rotterdam Moerdijk en Zeeland.** Mede door de (bestaande en geplande) infrastructuur en de verwevenheid van de sectoren is het vestigingsklimaat voor de chemie gunstig. Vooral in de basischemie, de productie van voedingsingrediënten, coatings en zogeheten 'high performance'-materialen behoort Nederland tot de mondiale top.

**Het wereldwijde marktaandeel van de Nederlandse chemie blijft in het basispad voor 2030 relatief groot (5% van de wereldhandel); vooral andere Europese landen betrekken relatief veel van hun vraag uit Nederland (15%), terwijl het Nederlandse marktaandeel buiten Europa kleiner is.** De chemie beslaat dan circa 20% van de totale exportwaarde van Nederland. De economische- en marktpositie van bedrijven in de chemie komt aan bod door in te zoomen op de drie sectoren met de grootste bijdrage aan de CO<sub>2</sub>-uitstoot: petrochemie, kunstmestproductie en productie van industriële gassen.

**De petrochemie in Nederland concentreert zich sterk op de productie van ethyleen; de internationale concurrentie is substantieel, mede doordat ethyleen een homogeen product is.** De productie, die circa 4 Mton betreft, is geconcentreerd in 25 bedrijven met in totaal 9.000 werknemers. Drie bedrijven (DOW Benelux, SABIC, en Shell) bezitten het overgrote deel van de productie. Nederlands ethyleen wordt vooral afgezet in andere Europese landen, voornamelijk Duitsland en België, waarbij concurrentie aanwezig is vanuit de regio Antwerpen en het Ruhrgebied. Van buiten Europa komt de meeste concurrentie uit de VS en het Midden-Oosten; daar vindt de productie plaats op basis van ethaangas dat vrijkomt bij de oliewinning, hetgeen de productiekosten relatief laag houdt.

**Nederland is een grote producent van kunstmest, en ondervindt daarbij sterke internationale concurrentie.** De kunstmestproductie vindt plaats bij in totaal 40 bedrijven (circa 1.700 werknemers), waarbinnen het grootste deel van de productie geconcentreerd is bij twee grote bedrijven, Yara en OCI Nitrogen, die samen 20% van de EU-productie (10 Mton) verzorgen (TNO en PBL, 2019b). Van de Nederlandse

kunstmestproductie vindt slechts 11% afname bij de Nederlandse landbouw; de rest gaat vooral naar EU-landen, aangezien deze werken met het type kunstmest dat Yara en OCI Nitrogen produceren (ammoniumnitraat), terwijl er in niet-EU landen andere soorten kunstmest worden gebruikt (CPB, 2019d). Er zijn dus verschillende typen kunstmest, maar daarbinnen gaat het om relatief homogene producten; hierdoor en door de naarverhouding hoge transportkosten bestaat er vooral concurrentie binnen de EU. Wel wordt verwacht dat de internationale concurrentie in de toekomst zal toenemen, door de beschikbaarheid van relatief goedkoop aardgas in andere werelddelen (zoals de Verenigde Staten en het Midden-Oosten).

**Nederlandse waterstoffabrieken hebben te maken met een relatief sterke internationale concurrentie, terwijl het Nederlandse marktaandeel internationaal beperkt is.** De productie van waterstof vindt op verschillende plekken plaats; circa 1 Mton waterstof wordt geproduceerd door voornamelijk twee grote bedrijven (Air Liquide en Air Products) en daarnaast dragen andere onderdelen van de chemie, twee raffinaderijen en twee ammoniakfabrieken bij. De geproduceerde waterstof vindt vooral afname bij ammoniakfabrieken en aardolieraffinaderijen.

### Aardolie

**Nederland kent zes raffinaderijen, waarvan vijf gelegen nabij de Rotterdamse haven en één in Zeeland.** Ruwe olie wordt grotendeels geïmporteerd van buiten Europa; een deel wordt verwerkt in raffinaderijen. De zeehavens en raffinaderijen zijn via ondergrondse pijpleidingen tevens verbonden met afzetmarkten in binnen- en buitenland, waaronder het Ruhrgebied. De zeehavens vormen mede hierdoor belangrijke hubs voor de opslag en doorvoer van aardoliegrondstoffen en -producten die niet in Nederland worden verwerkt (CBS, 2016).

**Sommige van de grootste raffinaderijen (meer dan 250 mln olievaten per dag) binnen de EU zijn gevestigd in Nederland.** Waar de EU plus Noorwegen en Zwitserland goed is voor 14% van de wereldwijde raffinagecapaciteit, bedraagt de capaciteit van Nederland ruim 8% van die van de EU. Een relatief klein deel van de totale Europese productie door raffinaderijen wordt geëxporteerd naar landen buiten Europa. Binnen Europa is het totale aanbod van raffinageproducten min of meer in balans met de totale vraag, maar voor de afzonderlijke typen producten bestaat veelal een mismatch tussen nationale vraag en aanbod. Als gevolg hiervan ontstaan handelsstromen, zowel tussen EU-landen als EU en niet-EU gebieden (CIEP, 2017).

**De marktmacht van de aardolie-sector wordt beperkt doordat de producten een relatief homogeen karakter hebben.** Ook speelt mee dat concurrerende aanbieders gebruik maken van dezelfde pijpleidingen, waardoor afnemers relatief eenvoudig van toeleverancier kunnen veranderen. Daarbij komt dat de energie- en reguleringskosten in het Midden-Oosten, Rusland en de Verenigde Staten lager zijn dan die waar de Noord-Europese raffinaderijen mee te maken hebben. Qua technologie zijn de raffinaderijen kapitaalintensief; Nederlandse raffinaderijen zijn gebonden aan periodieke onderhoudsperiodes (om de 5 à 6 jaar) en voeren eventuele aanpassingen in het productieproces door tijdens deze perioden (PwC, 2020).

### Basismetaal

**Het wereldwijde marktaandeel van de Nederlandse basismetalsector is beperkt (ongeveer 2% van de wereldhandel).** De vraag komt vooral uit de rest van de EU (marktaandeel: 9%); het Nederlandse marktaandeel buiten Europa is klein, zoals in de Verenigde Staten (nihil), de rest van de OESO (1%), China (1%) en de rest van de wereld (1%). Vooral in Europa neemt Tata Steel een belangrijke positie in. Zo vindt ongeveer twee derde van de productie van Tata Steel Europa plaats bij Tata Steel IJmuiden (Tata Steel, 2019). Voor Tata Steel IJmuiden zijn de belangrijke concurrenten POSCO (Zuid-Korea), ArcelorMittal (België) en Voestalpine (Oostenrijk).



# Bijlage B: Verplaatsing in WorldScan

Deze bijlage geeft een toelichting op de werking van het model WorldScan en de toepassing ervan om de verplaatsing van industriële activiteiten te kwantificeren. Daarbij is zowel aandacht voor de voordelen als de beperkingen van het model. Tevens komen alternatieve benaderingen aan bod die momenteel gebruikt worden bij analyses rondom klimaatbeleid.

**Om zicht te krijgen op de verplaatsingseffecten van een CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie in Nederland bestaan diverse benaderingen.** Een gangbare invalshoek in economische beleidsanalyses is de macro-benadering. Hierin worden economische doorwerkingen van beleid geanalyseerd met behulp van algemeen evenwichtsmodellen. Anderzijds bestaan er micro-benaderingen waarin de effecten van klimaatbeleid onderzocht worden op het niveau van individuele bedrijven. In het kader van het huidige maatschappelijke debat over de verplaatsing van industriële productie wordt hiertoe vooral de zogeheten EBITDA-analyse toegepast (PwC, 2020). Er bestaan belangrijke verschillen tussen de WorldScan- en de EBITDA-analyse, die in het vervolg van deze bijlage verder worden toegelicht.

**WorldScan is een recursief dynamisch algemeen evenwichtsmodel.**<sup>32</sup> Het model biedt een raming van de gehele Nederlandse economie en zijn sectoren voor een bepaald zichtjaar (doorgaans 2030) waarin vraag en aanbod met elkaar in evenwicht zijn. Hierbij wordt er uitgegaan van een basispad of 'business-as-usual' scenario voor de ontwikkeling van economieën, regio's, sectoren en bijvoorbeeld energieprijzen en energiegebruik. Voor de implementatie van het referentiep pad in WorldScan is gebruik gemaakt van het New Policies Scenario van de World Energy Outlook (WEO)-2016 (OECD en IEA, 2016), dat het mondiale achtergrondscenario vormt voor de Nationale Energie Verkenning (NEV)-2017 (ECN en PBL, 2017). WorldScan is zodanig gekalibreerd dat voor de periode 2015-2030 de groeivoeten uit dit WEO-2016 scenario voor bbp, bevolking, prijzen van fossiele brandstoffen, energiegebruik per energiedrager en inzet van hernieuwbare energiebronnen voor de opwekking van elektriciteit door het model worden gereproduceerd. Specifiek voor Nederland is het model voor deze ontwikkelingen gekalibreerd op de NEV-2017. Daarmee houdt WorldScan ook rekening met de al afgesproken uitrol van hernieuwbare elektriciteit en de financiering van de subsidies die hiervoor worden ingezet (SDE+) via de Opslag Duurzame Energie (ODE). Verder zijn de emissies van broeikasgassen in lijn met de NEV 2017 en zijn de belastingen op energiedragers in overeenstemming gebracht met de geldende gemiddelde tarieven voor de accijns op motorbrandstoffen en voor de energiebelasting en de ODE op aardgas en elektriciteit in de verschillende sectoren, inclusief de heffingskorting voor huishoudens. Zoals eerder aangegeven is in de modelsimulaties, in afwijking van de NEV-2017, wel rekening gehouden met de effecten van de nieuwe Europese afspraken over het EU ETS uit 2018 waardoor het EU ETS-prijspad oploopt tot 46 euro per ton CO<sub>2</sub> in 2030 (PBL, 2018b).

**WorldScan biedt inzicht in de economische doorwerkingen van een CO<sub>2</sub>-heffing.** In het model komen productieactiviteiten tot stand door inzet van de productiefactoren (inputs) kapitaal, arbeid en energie. Deze productiefactoren zijn tot op zekere hoogte onderling uitwisselbaar, waarbij hun inzet wordt beïnvloed door marktprijzen. Een CO<sub>2</sub>-heffing leidt in WorldScan tot een verhoging van de kostprijs van CO<sub>2</sub>-intensieve inputs in Nederland. Deze kostprijstijging leidt tot een nieuw evenwicht van vraag en aanbod en tot aanpassingen in de Nederlandse en internationale productiestructuur. Zo zal er in Nederland substitutie optreden naar minder CO<sub>2</sub>-intensieve inputs en/of outputs. Afhankelijk van het relatieve belang van deze substitutie-effecten, leidt

---

<sup>32</sup> Een uitgebreide en technische omschrijving van het model WorldScan wordt gegeven door CPB (2006). Bollen en Brink (2014) en PBL (2017) biedt een beknopte beschrijving van het model, inclusief meer recente toepassingen ervan in wetenschappelijke en beleidsanalyses. WorldScan is een Armington (1969) model; alternatieve, minder gangbare algemeen evenwichtsmodellen zijn Melitz (2003) en Krugman (1980). Er worden ook partiële evenwichtsmodellen gebruikt, zie DNB (2018) en CE Delft (2018).

de CO<sub>2</sub>-heffing tot een verduurzaming in Nederland (*abatement*) en verlies van productieactiviteit aan het buitenland (verplaatsing). Verplaatsing wordt in WorldScan gekwantificeerd als een verlies van marktaandeel aan buitenlandse sectoren. Daarmee omvat het dus niet alleen de fysieke verplaatsing van bedrijven of bedrijfsonderdelen (productiefaciliteiten), waar andere typen verplaatsingsanalyses (zoals de EBITDA-analyse) zich toe beperken, maar ook de verplaatsing van productieactiviteit die ontstaat vanwege verschuivingen in de relatieve kostprijzen. Samenvattend biedt het model WorldScan een economisch gefundeerd en integraal inzicht in de effecten van een CO<sub>2</sub>-heffing op de productieactiviteit.

**Onzekerheden zijn inherent aan algemeen evenwichtsmodellen als WorldScan; gevoeligheidsanalyses geven zicht op de variatie in uitkomsten bij verschillende waarden van de parameters in dit model.**

WorldScan baseert zich op diverse aannames, waarvan sommige een belangrijke invloed hebben op de mate van verplaatsing. De voornaamste parameter is de zogeheten Armington-elasticiteit, die weergeeft hoe de binnenlandse productie reageert op veranderingen in de relatieve kostprijs van inputs in een bepaalde sector. De Armington-elasticiteiten in het model zijn bepaald op basis van lange-termijn geobserveerde handelspatronen en zijn vergelijkbaar met de elasticiteiten die DNB en CE Delft hanteren (CPB en PBL, 2019b). De elasticiteiten zijn echter puntschattingen met een onzekerheidsmarge. Ook kunnen verschillen bestaan tussen verplaatsingseffecten op korte- en lange-termijn, doordat substitutiemogelijkheden afhankelijk zijn van de gehanteerde tijdshorizon (Feenstra et al., 2018). Tot slot zijn de veronderstelde mogelijkheden en kosten voor CO<sub>2</sub>-reductie met grote onzekerheid omgeven (PBL, 2018a).

**Andere beperkingen waardoor de verplaatsingseffecten met onzekerheid zijn omgeven, zijn moeilijker te adresseren.**

Zo richt WorldScan zich op verplaatsingseffecten op het niveau van (sub)sectoren. Er wordt geabstraheerd van verschillen tussen bedrijven binnen eenzelfde (sub)sector en tussen regio's, bijvoorbeeld in productiviteit, CO<sub>2</sub>-reductiemogelijkheden en kosten, en in weerbaarheid tegen een CO<sub>2</sub>-heffing. Het model biedt derhalve geen inzicht in de effecten van de CO<sub>2</sub>-heffing voor individuele bedrijven en regio's. Daardoor kunnen de verplaatsingseffecten in specifieke gevallen hoger of lager uitvallen dan WorldScan inschat voor de gehele (sub)sector in Nederland als geheel. Ook biedt het model minder zicht op de impact van vormgevingskwesaties, zoals de precieze aanlooptijd en mogelijkheden voor een terugsluis van de belastingopbrengst. Een andere beperking is dat het model een evenwichtssituatie veronderstelt en een vrij soepel verloop van de transitie naar het evenwicht. Dit betekent dat er geen rekening wordt gehouden met allocatie-effecten, doordat de transitieperiode langer voortduurt, later wordt ingezet of meer schoksgewijs verloopt, en zodoende aanpassingskosten met zich mee brengt. Verder worden beleidsmaatregelen als relatief zeker verondersteld, hoewel er in de praktijk onzekerheid kan bestaan over de stringentie en precieze vormgeving van het beleid. Daarbij valt bijvoorbeeld te denken aan de hoogte van toekomstige CO<sub>2</sub>-kosten en de tijdige beschikbaarheid van infrastructuur en subsidies.

**Naast de gebruikelijke macro-benadering wordt in het kader van de huidige verplaatsingsdiscussie ook een micro-benadering toegepast.**

Zo berekende PwC (2020) de effecten van een CO<sub>2</sub>-heffing voor individuele industriële bedrijven. De daarbij gehanteerde EBITDA-analyse is te beschouwen als een 'stress test', die in kaart brengt hoe de CO<sub>2</sub>-heffing industriële bedrijven op korte termijn kan raken, in termen van een directe afname van de operationele bedrijfswinst (ofwel: EBITDA). De gedachte hierachter is dat als de CO<sub>2</sub>-heffing tot een substantiële vermindering van de EBITDA leidt, er een verhoogd risico bestaat dat het desbetreffende bedrijf productieactiviteiten naar het buitenland verplaatst of uitbreidingsinvesteringen in Nederland afbouwt. Een voordeel van deze benadering is dat het een indruk geeft van de korte-termijn weerbaarheid van individuele bedrijven tegen een CO<sub>2</sub>-heffing. Daarmee biedt de analyse vooral inzicht in de korte-termijn effecten die verschillende vormgevingsopties van de heffing en de terugsluis hebben op de operationele bedrijfswinsten van individuele bedrijven. Ook benadrukt de EBITDA-analyse dat er substantiële verschillen kunnen bestaan tussen individuele bedrijven die relevant zijn voor de mate waarin verplaatsing zal optreden. Zo verschillen

bedrijven in hun reductie-opties en kosten, productiviteit, concurrentiepositie en weerbaarheid ten aanzien van de aanscherping van klimaatbeleid.

**De EBITDA-analyse biedt echter weinig inzicht in de op termijn te verwachten verplaatsingseffecten.** De facto worden alleen de directe, korte-termijn effecten op de operationele winst in beeld gebracht, terwijl de verplaatsingseffecten slechts kwalitatief aan bod komen. De EBITDA-analyse maakt weliswaar een inschatting van de beslissingen van bedrijven om productiefaciliteiten fysiek te verplaatsen, maar zonder de economische doorwerkingen van een CO<sub>2</sub>-heffing voor de industrie mee te nemen. Hoewel de EBITDA-analyse benadrukt dat dergelijke doorwerkingen zich op een minder graduele wijze manifesteren dan verondersteld in algemeen evenwichtsmodellen, wordt er geen inzicht gegeven in de mate van en manier waarop individuele bedrijven hun productieactiviteiten en investeringen aanpassen. Dergelijke strategische beslissingen worden bovendien ingegeven door lange-termijn kosten en baten in plaats van korte-termijn winsten. Dit geldt in het bijzonder voor industriële bedrijven in Nederland die doorgaans onderdeel zijn van multinationals. Om algemeen evenwichtsmodellen van aanvullende inzichten te voorzien is daarom een integrale en wetenschappelijke analyse nodig naar de reacties van individuele bedrijven op een toekomstige CO<sub>2</sub>-heffing. In tegenstelling tot de EBITDA-analyse, worden daarin effecten gekwantificeerd en economische doorwerkingen meegenomen, zoals de mogelijkheden en kosten voor CO<sub>2</sub>-reductiemaatregelen, de mogelijkheden om kosten door te berekenen aan afnemers en toeleveranciers, de terugsluis van heffingsopbrengsten, en het toekomstig klimaatbeleid (zoals CO<sub>2</sub>-beprijzing en subsidies voor verduurzaming) in het buitenland (CPB en PBL, 2019b).<sup>33</sup>

**Om beter grip te krijgen op de verplaatsingseffecten kunnen andere micro-benaderingen, met een wetenschappelijke basis, van nut zijn.** Empirisch micro-econometrisch onderzoek kan ten eerste worden gebruikt om verplaatsingseffecten te analyseren. Hoofdstuk 2 beschrijft enkele recente studies van dit type. Daarnaast kunnen empirische analyses inzicht geven in de mate waarin een CO<sub>2</sub>-heffing individuele bedrijven aanzet tot het aanpassen van hun productie en/of investeringen. Zo bestaan er micro-analyses op basis van de productietheorie, die nauwaansluiten bij de wetenschappelijke basis van macro-benaderingen zoals via het model WorldScan. De modellering van productiebeslissingen kan onder andere gebruikt worden om inzicht te bieden in de schaduwrijzen voor CO<sub>2</sub>-reductie bij individuele bedrijven (Van Soest et al., 2006).

**Alles overziend is het model WorldScan een gangbaar instrument om de verplaatsingseffecten van een CO<sub>2</sub>-heffing in te schatten.** Verreweg het belangrijkste voordeel van dit model is dat de macro-economische doorwerking wordt meegenomen, niet alleen in Nederland maar ook daarbuiten. De analyses op basis van WorldScan gaan, net als andere analyses, gepaard met de nodige onzekerheid. Gevoeligheidsanalyses kunnen hier echter een indruk geven van de variatie in uitkomsten bij verschillende waarden van de parameters in het model. Om meer zicht te krijgen op de verplaatsingseffecten is vervolgonderzoek nodig, bijvoorbeeld door verfijning van de theoretische modellering of aanvullende empirische analyses.

---

<sup>33</sup> In dit opzicht blijft het effect van een CO<sub>2</sub>-heffing op individuele bedrijven op voorhand onduidelijk. Onder bepaalde omstandigheden leidt de CO<sub>2</sub>-heffing niet enkel tot additionele lasten, maar zullen individuele bedrijven er ook baat bij kunnen hebben. Zo kunnen bedrijven profiteren van een generieuze terugsluis en van een versterkte concurrentiepositie door bijvoorbeeld een verlaging van het grondstoffengebruik en van de vermogenskostenvoet (zie bijvoorbeeld Naegelé en Zaklan, 2019; Trinks et al., 2020).