Kosteneffectieve maatregelenpakketten voor de klimaatdoelstellingen van de industrie

Kalavasta
Climate Neutral Strategies

Opdrachtgevers:
Natuur & Milieu, de Natuur & Milieufederaties en Greenpeace

14 juni 2018

Inhoudsopgave

Samenvatting

In het Klimaatakkoord heeft de industrie de taak meegekregen om met maatregelen te komen die de directe CO_2-uitstoot van de industrie beperken tot maximaal 35.7 Mton CO_2 in 2030.

In deze notitie wordt van geselecteerde maatregelen die de CO_2-uitstoot van de industrie kunnen verlagen de CO_2 abatement costs (CO_2 vermijdingskosten) en het CO_2-emissiereductiepotentieel bepaald. Dit wordt gedaan op basis van investeringskosten, technische prestaties en potenties voor 2023 en voor 2030, en zowel inclusief als exclusief indirecte emissies. Met de aldus gevonden CO_2 abatement costs en potentialen construeren wij voor elke variant een CO_2 abatement merit order, waarin de maatregelen gerangschikt zijn op kosteneffectiviteit.

Hiermee kunnen vervolgens de meest kosteneffectieve maatregelenpakketten om de industriële uitstoot met 49% respectievelijk 55% ten opzichte van 1990 te beperken, bepaald worden. Aan de hand van de CO_2 abatement merit orders met directe emissies voor 2023 en 2030 worden de meest kosteneffectieve maatregelen die gezamenlijk hieraan voldoen geselecteerd. Ook bepalen wij een CO_2 prijs, met en zonder terugsluisregeling, waarbij de onrendabele toppen van de maatregelen in deze pakketten worden betaald met inkomsten uit het heffen van deze CO_2 prijs op alle industriële processen met directe emissies.

Het blijkt dat er diverse opties met negatieve CO_2 abatement costs (warmtepompen, stoomrecompressie, electric arc furnace voor staalrecycling) zijn. De elektrificatie maatregelen (elektrolyse, boilers) hebben de laagste onrendabele toppen, met name in de 2030 variant. De CO_2 prijs zonder terugsluisregeling (inclusief ETS prijs) komt uit op €23/t CO_2 voor de 2030-variant en op €62/t CO_2 voor de 2023-variant voor een -49% maatregelenpakket. Hierbij is nog geen groei van de industrie verondersteld. Indien deze wel plaatsvindt (wat heel waarschijnlijk is), dan is het goed mogelijk dat het -55% pakket nodig is om de -49% doelstelling te halen. Daarmee zou de CO_2 prijs zonder terugsluisregeling voor de 2023-variant met 50% toenemen tot €90/t CO_2, terwijl diezelfde prijs voor de 2030 variant slecht marginaal stijgt tot €27/t CO_2. Daarmee is de €23/t CO_2 een soort van ondergrens en ligt de bovengrens op ongeveer €90/t CO_2. De CO_2-prijzen met terugsluisrekening liggen fors lager, tussen respectievelijk €3/t CO_2 en €29/t CO_2.

Introductie

De Nederlandse industrie staat met het Klimaatakkoord voor de opgave om in 2030, ongeachte de doorgemaakte groei tussen nu en 2030, maximaal 35.7 Mton CO_2 uit te stoten, wat om een reductie van 14.3 Mton ten op zichte van 2015 vraagt. Als de industrie gedurende deze periode groeit, zal de feitelijke tussentijdse opgave meer dan 14.3 Mton bedragen, tenzij de groei volledig CO_2-neutraal is. De industrie heeft daarmee een ambitieuze doelstelling meegekregen.

Er zijn verschillende technische middelen om dit doel te bereiken, waarvan een deel kan leiden tot hogere kosten. Men spreekt in dat geval van een onrendabele top, of positieve CO_2-abatement costs. Deze CO_2-abatement costs zijn ook een maat van de kosteneffectiviteit van de maatregel: hoe lager, hoe beter.

Er zijn reeds diverse pogingen ondernomen om voor een aantal maatregelen de CO_2 abatement costs uit te rekenen. Dit is op verschillende manieren gedaan, vaak ofwel vanuit nationaal kosten perspectief ofwel vanuit het perspectief van 'de eigenaar'. Verder is er soms ook sprake van verschillen tussen wat men als begin en eindsituatie neemt, of tussen de kentallen waarmee men de oplossingen doorrekent, waardoor men met andere methodes op fors andere CO_2 abatement costs uitkomt.

Gezien de wens om zo kosteneffectief de doelstellingen voor 2030 te halen, is dit een probleem. Immers komt men tot heel andere kosteneffectiviteiten van de maatregelen, wat de besluitvorming over de te nemen maatregelen bemoeilijkt. Het zou in onze optiek de discussie ten goede komen als er algemene afspraken gelden over deze rekenmethode en deze berekeningen op transparante wijze uitgevoerd worden. Wij zijn dan ook bereid hierover in gesprek te gaan.

In deze notitie zullen wij zowel vanuit nationaal perspectief als vanuit eigenaars perspectief voor een selectie aan maatregelen voor de industrie deze kosten uitrekenen en het potentieel van de maatregelen bepalen. Wij zullen de methode die wij hiertoe gebruiken uitgebreid bespreken. Met deze kosten en potentie is het dan ook mogelijk om, gegeven de doelstellingen, maatregelenpakketten voor de doelstellingen van het Klimaatakkoord samen te stellen. Ook zullen wij een poging doen om op transparante wijze, conditioneel op de bepaalde CO_2 abatement costs, CO_2 prijzen te berekenen. Bij invoering van deze CO_2 prijzen op directe emissies van de industrie, zou er een financieel incentive gecreëerd worden dat afdoende is voor het behalen van de doelstellingen middels de geselecteerde maatregelen.

Methode

CO_2 abatement costs, potentie en merit order

We bepalen allereerst voor elke maatregel in de maatregelenselectie (zie volgende sectie) de maximale totale CO_2 besparing potentie ten opzichte van de huidige situatie. Dit noemen wij de totale potentie. Hierbij wordt geen groei van de industrie verondersteld.

Vervolgens bepalen we voor elke maatregel middels een intern model op integrale wijze de CO_2 abatement costs, dat wil zeggen de kosten om uitstoot van 1 ton CO_2 te vermijden. Wij berekenen een viertal varianten:

a) Investeringsprijzen, technische prestaties en potentie van 2023; directe emissies
b) Investeringsprijzen, technische prestaties en potentie van 2023; alle emissies
c) Investeringsprijzen, technische prestaties en potentie van 2030; directe emissies
d) Investeringsprijzen, technische prestaties en potentie van 2030; alle emissies

Voor de varianten met indirecte emissies werken we met een CO_2-intensiteit van de elektriciteit van 0.121 kg CO_2/kWh voor 2030. Dit getal is bepaald vanuit een gedocumenteerd, met het Energie Transitie Model gemaakt -49% scenario[1]. Deze CO_2-intensiteit bepaalt voor een groot deel de kosteneffectiviteit van maatregelen die elektriciteit gebruiken in 2030. Ook voor b) met investeringen uit 2023 wordt deze waarde gebruikt, daar de effectiviteit van die investering (als bijdrage aan de doelstellingen) ten opzichte van het eindjaar gemeten moet worden. Voor de varianten met directe emissies nemen we enkel de directe CO_2-emissies van de industrie mee (dus niet van elektriciteit). Dit stelt ons in staat om de maatregelen van beide kanten (nationaal en eigenaar) te bekijken en te vergelijken. Ook geeft dit inzicht in de afhankelijkheid van de industrie van de rest van het energiesysteem.

De CO_2 abatement worden bepaald door op kosten- en CO_2-basis de huidige productiemethode of het huidige gebruik van een grondstof te vergelijken met dat van de voorgestelde maatregel. Hierbij worden investeringskosten, kapitaalkosten (5% rente over 10 jaar), onderhouds- en utiliteitskosten (€0.04/kWh voor elektriciteit, €0.0175/kWh voor gas, €135/t voor houtige biomassa, $70/t voor kolen) meegenomen. Infrastructuur kosten voor elektriciteitsvoorziening (voorbij de gate/achter de meter) wordt niet meegenomen. De kostenverandering tussen de huidige en de nieuwe situatie gedeeld door de CO_2 besparing geeft dan de CO_2 abatement costs. De rangschikking van de maatregelen op kosteneffectiviteit geeft dan de CO_2 abatement merit order.

In deze merit order nemen wij ook de geschatte potentie van elke maatregel mee. Deze geschatte potentie is een fractie van de totale potentie van de betreffende maatregel en wordt vastgesteld op basis van wat met een beste inschatting technisch en praktisch mogelijk lijkt. Hierbij worden financiële overwegingen of incentives dus niet meegenomen. Dit wordt gedaan voor investeringskosten en prestaties van 2023 en 2030 en de huidige vraag/productie van het proces. Zo wordt de CO_2-reductie potentie van elektrolyse uitgerekend voor de huidige waterstofvraag. Als de waterstofvraag groeit, ook als andere maatregelen (e.g. CCU) nieuwe vraag creëren, wordt deze additionele potentie niet aan de betreffende maatregel (elektrolyse) toegekend. Met name voor het geval van waterstof wordt daardoor de feitelijke CO_2-reductie potentie waarschijnlijk sterk onderschat. Anders gesteld levert waterstof een noodzakelijke bijdrage aan de potentie van andere maatregelen.

Er wordt tot slot geen ETS prijs meegenomen, omdat het niet bekend is hoe hoog deze zal zijn. De bepaalde CO_2 abatement cost min de geldende ETS prijs geven dus de werkelijke CO_2 abatement costs. Dit komt omdat de ETS prijs kosten lineair zijn t.o.v. de bepaalde CO_2 abatement costs.

[1] Te vinden op https://beta-pro.energytransitionmodel.com/scenarios/868764

Maatregelen

De lijst met beschouwde maatregelen is als volgt:

Maatregel	Beschrijving	Vervangt (referentie)	Categorie	Sector[2]
Elektrolyse (Alkaline)	Levert 99.99%+ pure H_2	SMR	Elektrificatie	C,R.S
Elektrolyse (PEM)	Levert 99.99%+ pure H_2	SMR	Elektrificatie	C,R,S
HT Heat pumps	Levert warmte tot 80 °C	Gasbrander	Elektrificatie	C,P,V,R
VHT Heat pumps	Levert warmte tot 165 °C	Gasbrander	Elektrificatie	C,P,V,R
Stoom-recompressie	Compressie van rest stoom (>100 °C) voor warmteproductie	Gasbrander	Elektrificatie	C
Electrische boilers	Levert warmte tot 350 °C	Gasbrander	Elektrificatie	C,P,R
Biomassa boilers	Levert warmte tot 350 °C	Gasbrander	Feedstock	C,P,R
Ultra diepe geothermie	Levert warmte tot 165 °C	Gasbrander	Nieuwe productie	C,P,V,R
Elektrische ovens	Hoogste T warmtelevering	Gasoven	Elektrificatie	Glas, S
Oven op waterstof	Hoogste T warmtelevering	Gasoven	Feedstock	Glas, S
Mechanische recycling	Het produceren van dezelfde plastics uit gesorteerd afval	Afval-verbranding	Recycling	Chemie
Chemische recycling	Het produceren van andere plastics uit gesorteerd afval	Afval-verbranding	Recycling	Chemie
Procesefficiëntie	Het verbeteren van de prestaties van bestaande processen	-	Efficiency	Alle
Lachgas afvangen	Het afvangen van N_2O	-	Afvang	Chemie
Biomassa als feedstock	Biomassa feedstock ter vervanging van fossiele feedstock voor O-atomen bevattende moleculen	Fossiele feedstock	Feedstock	Chemie
CCU platform chemicals	Het produceren van platform moleculen uit af te vangen CO_2	-	CCU	Chemie
CCU Steel2chemicals (synthetische brandstoffen)	Het produceren van synthetische brandstoffen uit van een staalfabriek af te vangen CO en CO_2	-	CCU	Chemie
Aanpassen staalproductie: gebruik schroot	Het recyclen van staalschroot middels electric arc furnace (EAF)	BF-BOF staal-productie	Recycling	Staal
Aanpassen staalproductie: directe reductie	Het direct reduceren van ijzer erts met H_2 uit elektrolyse en middels EAF produceren van staal	BF-BOF staal-productie	Elektrificatie	Staal

[2] C = Chemie, P = papier, R = raffinage, S = staal, V = voedsel

In sommige gevallen overlappen maatregelen elkaar en kunnen zij niet gezamenlijk met volledige potentie in een maatregelpakket opgenomen worden. Ze behoeven dan dezelfde grondstof of leveren hetzelfde product. Dit is het geval voor PEM en alkaline elektrolyse, de oven op waterstof en elektrische oven, ultradiepe geothermie en de VHT heat pump (warmte van dezelfde temperatuur), steel2chemicals en de andere productiemethodes staal. Ook geldt dit in het algemeen voor proces efficiëntie.

Indien maatregelen overlappen en gezamenlijk meer potentie hebben dan de vraag naar het product/aanbod van de grondstof, wordt eerst de volledige potentie van het meest kosteneffectieve alternatief benut. In de praktijk is het uiteraard mogelijk dat men beide maatregelen in een andere verhouding toepast.

Alle maatregelen zijn in detail en zoals eerder besproken gemodelleerd, met uitzondering van

- Biomassa als feedstock voor de chemie, waarbij vanwege het veelvoud aan combinaties van bron en toepassing een referentiewaarde voor kosteneffectiviteit genomen is, op basis van een gemiddelde van verscheidene combinaties[3]. Het kan zijn dat er specifieke toepassingen bestaan waarvoor de CO_2 abatement costs wel zeer laag of negatief zijn.
- Procesefficiëntie, daar het in de regel negatieve CO_2 abatement costs heeft (er is daarmee een financieel incentive om dergelijke maatregelen te nemen) en toegepast wordt op bestaande processen. Het is daarmee lastig om te potentie in te schatten, want deze is mede afhankelijk van welke maatregelen genomen worden. Procesefficiëntie wordt daarom gezien als een 'bonus'.
- Lachgas afvangen, want de lachgas uitstoot is reeds met 90% teruggedrongen en de kosten om het restant af te vangen worden als zeer laag ingeschat. Er is daarom een schatting van de CO_2 abatement costs gemaakt.

De CCU opties zijn eigenlijk families van maatregelen, waarvan de CO_2 abatement cost afhangen van de CO_2 bron en het te maken product. Er zijn daarom representatieve voorbeelden gemodelleerd, waarvan de kosten consistent zijn met in de literatuur genoemde waardes.

Maatregelpakketten en groei

Met de merit orders en potenties kunnen wij de maatregelenpakketten voor de doelstellingen samenstellen. Daar de emissiereductie opgave voor de industrie *sec* geformuleerd is, zullen wij enkel de CO_2 abatement merit orders a) en c), d.w.z. de scenario's met directe emissies, gebruiken. Anders worden immers ook CO_2-uitstoot buiten de industriesector (e.g. van de elektriciteitssector) aan de industriesector toegekend.

We maken pakketten voor een -49% en -55% reductie in uitstoot van de industrie t.o.v. 1990, voor zowel de 2023 variant (a) en de 2030 variant (c). De opgave volgt dan uit het verschil tussen de huidige uitstoot en de doelstelling voor 2030 (t.o.v. 1990).

[3] VNCI (2018): Chemistry for Climate. Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050

Impliciet gaat dit er echter vanuit dat de industrie even groot blijft als het nu is. Als zij echter groeit, blijft de opgave tussen heden en 2030 gelijk, maar is de tussentijdse opgave groter. Anders gezegd moet alle groei van de industrie netto CO_2-neutraal zijn.

Dit betekent in alle waarschijnlijkheid dat er een grotere reductie moet plaatsvinden dan de vastgestelde delta tussen heden en 2030. Hoe groot deze additionele opgave is en voor welke processen deze geldt, is lastig te bepalen. Daarom geven wij in voor elk maatregelenpakket aan wat de meest kosteneffectieve additionele maatregelen buiten het pakket zouden zijn.

Bepaling CO_2 prijs

Er wordt tot slot voor de merit orders met directe emissies een CO_2 prijs vastgesteld. Voor de berekening van deze prijs zijn er twee varianten: één zonder terugsluisregeling, één met terugsluisregeling. Deze CO_2 prijs is uiteraard conditioneel op de bepaalde CO_2 abatement costs en, voor de variant met terugsluisregeling, de levensduur van de maatregel; d.w.z., de CO_2 prijs met terugsluisregeling moet zo hoog zijn, dat deze de onrendabele top van elke maatregel over de levensduur van die maatregel wegneemt.

De CO_2 prijs *inclusief* ETS zonder terugsluisregeling is gelijk aan de CO_2 abatement costs van de minst kosteneffectieve maatregel met onrendabele top in het maatregelenpakket nodig om de industriële CO_2-uitstoot te beperken tot het gewenste niveau.

Voor de bepaling met terugsluisregeling gaan wij uit van een invoer van een CO_2-prijs in 2020 en een lineair afname van de CO_2 –uitstoot van de industrie tot het gewenste niveau in 2030. De aanname is dat deze CO_2 prijs geldt van 2020 tot 2030, en in die tijd ook de onrendabele toppen van de maatregelen met een langere levensduur meeneemt. De totale benodigde inkomsten voor het verwijderen van de rendabele toppen is gelijk aan de som van de CO_2 abatement costs maal de totale CO_2 besparing over de levensduur van elke maatregel met onrendabele top in het betreffende maatregelenpakket.

$$Totale\ kosten\ voor\ onrendabele\ top = \sum_{n=1}^{o} CO2\ abatement\ cost_n * jaarlijkse\ CO2\ reductie_n * levensduur_n$$

waarbij de sommatie n over alle o maatregelen met een onrendabele top in het maatregelenpakket gaat.

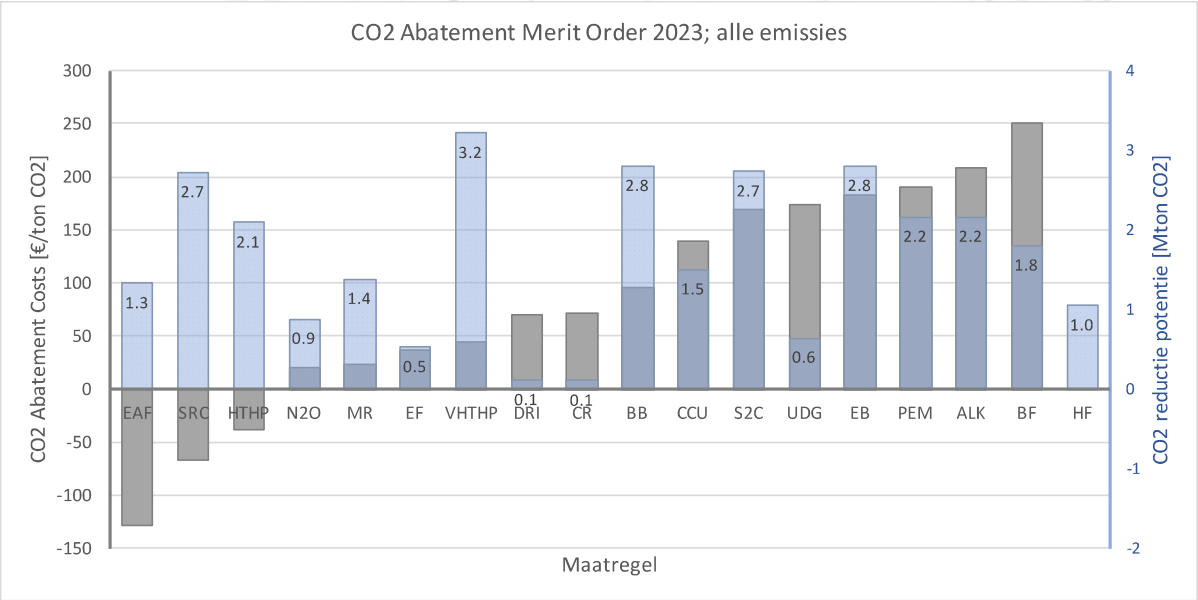
Deze totale kosten voor de onrendabele top worden afgedekt door een te heffen CO_2 prijs op de cumulatieve directe industriële uitstoot van 2020 tot 2030. Het oplossen van deze vergelijking leidt tot de CO_2-prijs die dit bewerkstelligt. Deze CO_2 prijs met terugsluisregeling is exclusief de ETS prijs, maar wordt wel erdoor beïnvloed. De aldus bepaalde CO_2 prijs is effectief de maximale CO_2 prijs gegeven het pakket. Een verdere toelichting hierop kan gevonden worden in het hoofdstuk over de maatregelenpakketten voor de -49% variant.

Resultaten

Hieronder volgen de CO_2 abatement cost merit orders, zoals hierboven beschreven verkregen. Elke merit order bevat de CO_2 abatement cost in het grijs op de verticale linkeras, en de CO_2-reductie potentie in het blauw op de verticale rechteras. We herhalen dat in de CO_2 abatement merit order nog geen ETS-prijs meegenomen is. Voor de afkortingen van de maatregelen, zie de tabel onder het hoofdstuk Methode, Maatregelen.

Van de volgende maatregelen wordt de potentie in diverse recent verschenen rapporten over de kosteneffectiviteit van maatregelen voor de energietransitie in de industrie als vrijwel nihil tot 2030 geschat: elektrische ovens, directe reductie van staal en de oven op waterstof. Wij hebben in onze inschatting van de potentie de mogelijkheid van pilot of demo plants meegenomen. Ook zien wij voor diverse opties dat een versnelling mogelijk lijkt en deze opties eerder in de vorm van grootschalige faciliteiten kunnen verschijnen.

CO_2 abatement cost merit order vanuit 2023; alle emissies

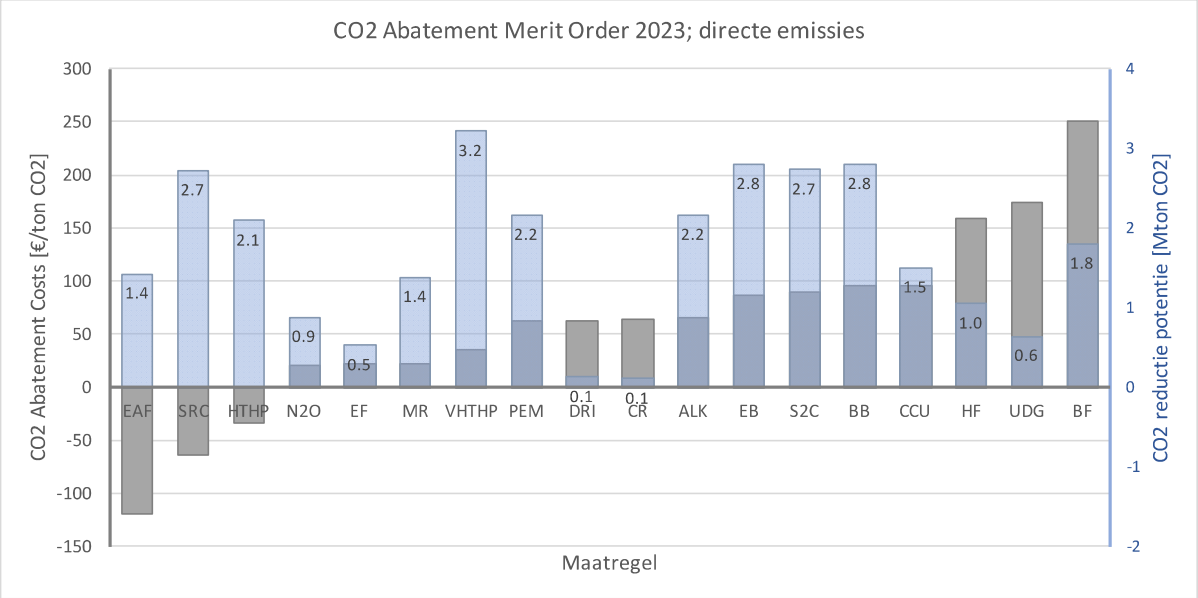


Figuur 1: 2023 merit order, alle emissies. Blauwe staven geven de potentie (rechteras), grijze staven de CO_2 abatement costs (linkeras). Afkortingen achtereenvolgens: EAF=electric arc furnace, SRC=stoomrecompressie, HTHP=hoge temperatuur warmtepomp, N2O=lachgas afvangen, MR=mechanisch recyclen, EF=elektrisch fornuis, VHTHP=zeer hoge temperatuur warmtepomp, DRI=direct gereduceerd staal, CR=chemisch recyclen, BB=biomassa boiler, CCU=CCU platform chemicaliën, S2C=Steel2Chemicals, UDG=ultra diepe geothermie, EB=elektrische boilers, PEM=PEM elektrolyse, ALK=alkaline electrolyse, BF=biomassa feedstock, HF=H_2 fornuis

Met investeringskosten, technische prestaties en potenties van 2023 en ook de indirecte emissies van de stroom zijn er drie opties met negatieve CO_2 abatement costs: het recyclen van staal, stoomrecompressie en de hoge temperatuur warmtepomp. De laatste optie, de oven op waterstof, heeft CO_2 abatement costs van ongeveer €3,000/ton CO_2 en is weggelaten om de leesbaarheid te vergroten.

Het is duidelijk dat veel elektrificatie opties (o.a. elektrolyse en elektrische boilers) hoge CO_2 abatement costs hebben als de indirecte emissies meegenomen worden.

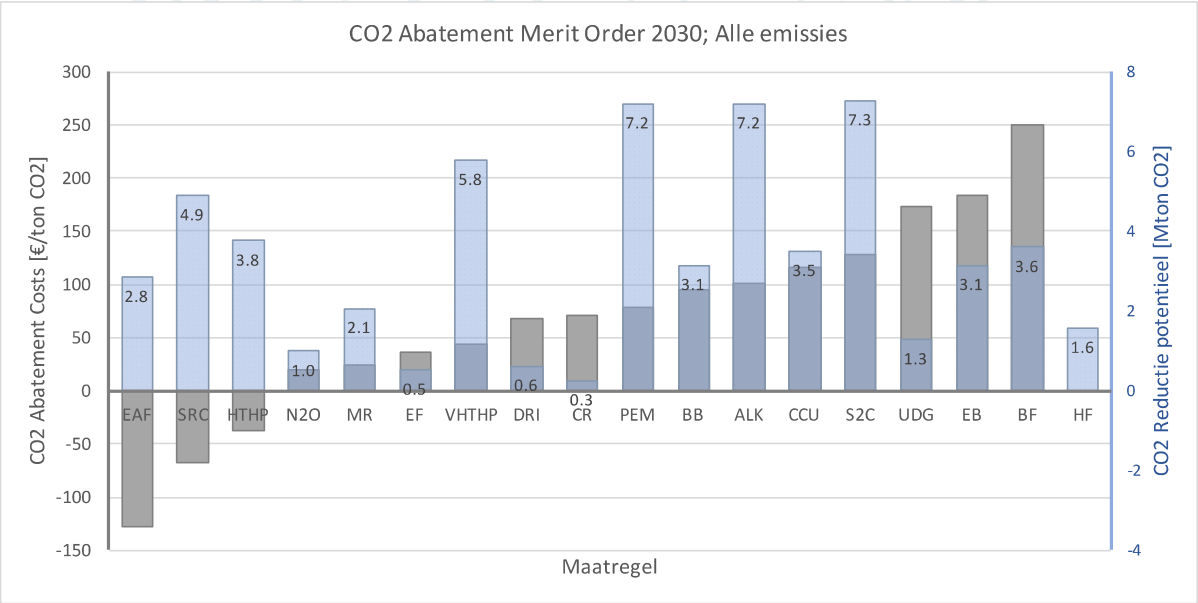
CO_2 abatement cost merit order vanuit 2023; directe emissies



Figuur 2: 2023 merit order, directe emissies. Blauwe staven geven de potentie (rechteras), grijze staven de CO_2 abatement costs (linkeras). Afkortingen achtereenvolgens: EAF=electric arc furnace, SRC=stoomrecompressie, HTHP=hoge temperatuur warmtepomp, N2O=lachgas afvangen, EF=elektrisch fornuis, MR=mechanisch recyclen, VHTHP=zeer hoge temperatuur warmtepomp, PEM=PEM elektrolyse, DRI=direct gereduceerd staal, CR=chemisch recyclen, ALK=alkaline elektrolyse, EB=elektrische boilers, S2C=Steel2Chemicals, BB=biomassa boiler, CCU=CCU platform chemicaliën, HF=H_2 fornuis, UDG=ultra diepe geothermie, BF=biomassa feedstock

Indien de indirecte emissies niet meegenomen worden, verschuiven de elektrificatie opties naar voren in de merit order. Daarmee is het ook duidelijk dat de kosten van het maatregelenpakket dalen (want er kan tegen lagere kosten CO_2 bespaard worden).

CO_2 abatement cost merit order vanuit 2030: alle emissies

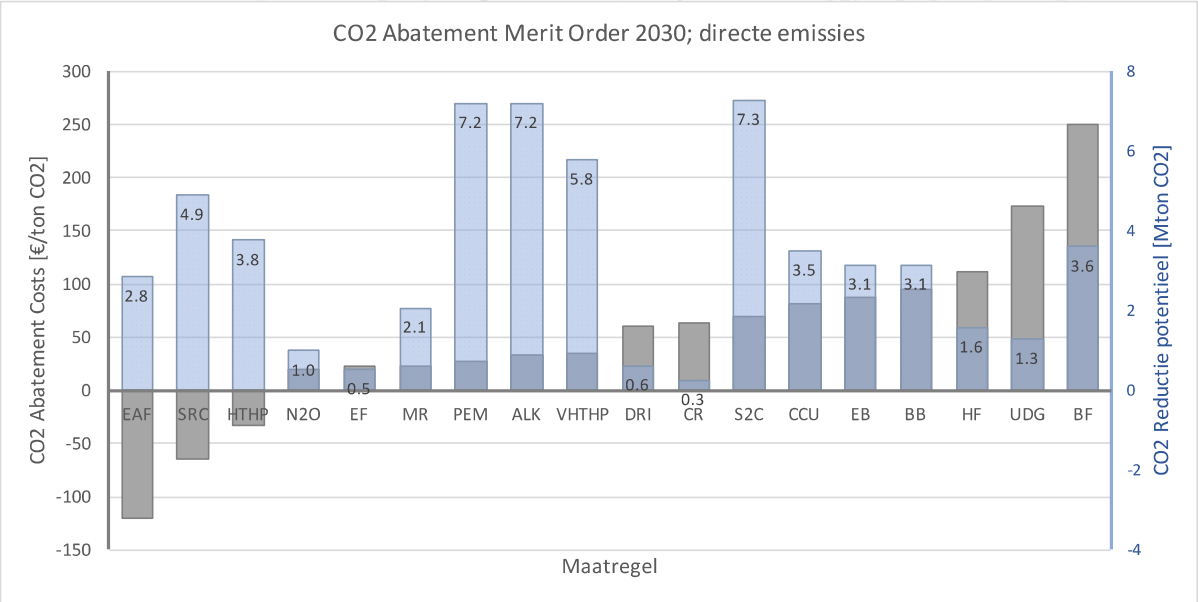


Figuur 3: 2030 merit order, alle emissies. Blauwe staven geven de potentie (rechteras), grijze staven de CO_2 abatement costs (linkeras).

Afkortingen achtereenvolgens: EAF=electric arc furnace, SRC=stoomrecompressie, HTHP=hoge temperatuur warmtepomp, N2O=lachgas afvangen, MR=mechanisch recyclen, EF=elektrisch fornuis, VHTHP=zeer hoge temperatuur warmtepomp, DRI=direct gereduceerd staal, CR=chemisch recyclen, PEM=PEM elektrolyse, BB=biomassa boiler, ALK=alkaline elektrolyse, CCU=CCU platform chemicaliën, S2C=Steel2Chemicals, UDG=ultra diepe geothermie, EB=elektrische boilers, BF=biomassa feedstock, HF=H_2 fornuis

Als we met investeringskosten, prestaties en potenties van 2030 werken, is duidelijk dat met name de potentie van de meeste maatregelen fors hoger is geworden door opschaling. De kosten van electrolysers zijn gedaald en de prestaties verbeterd, en daarmee zijn alle opties die waterstof produceren of gebruiken kosteneffectiever geworden. Ook is duidelijk dat het meerekenen van indirecte emissies zwaarder weegt dan de prestatieverbetering: electrolysers van 2023 zonder indirecte emissies zijn 'kosteneffectiever' dan electrolysers van 2030 met indirecte emissies.

CO_2 abatement cost merit order vanuit 2030: directe emissies



Figuur 4: 2030 merit order, directe emissies. Blauwe staven geven de potentie (rechteras), grijze staven de CO_2 abatement costs (linkeras). Afkortingen achtereenvolgens: EAF=electric arc furnace, SRC=stoomrecompressie, HTHP=hoge temperatuur warmtepomp, N2O=lachgas afvangen, EF=elektrisch fornuis, MR=mechanisch recyclen, PEM=PEM elektrolyse, ALK=alkaline elektrolyse, VHTHP=zeer hoge temperatuur warmtepomp, DRI=direct gereduceerd staal, CR=chemisch recyclen, S2C=Steel2Chemicals, CCU=CCU platform chemicaliën, EB=elektrische boilers, BB=biomassa boiler, HF=H_2 fornuis, UDG=ultra diepe geothermie, BF=biomassa feedstock

Als de indirectie emissies buiten de industrie sector buiten beschouwing worden gelaten, zien we de CO_2 abatement costs van electrolysers richting de €30/ton CO_2 gaan. Hierdoor zien we anderzijds ook dat bepaalde opties die minder gevoelig zijn voor de afdruk van de elektriciteit, zoals ultra diepe geothermie en biomassa boilers, de rij sluiten.

Maatregelenpakketten en CO_2 prijzen

Met de CO_2 merit orders voor directe emissies kunnen we nu de maatregelpakketten voor de doelstellingen samenstellen. We bepalen deze door de merit orders voor 2023 en 2030 in tabelvorm te presenteren en de cutoff points voor -49% (een uitstoot van 35.7 Mton of reductie van 14.3 Mton t.o.v. nu) en -55% (een uitstoot van 30.5[4] Mton of reductie van 19.5 Mton t.o.v. nu) reductie aan te geven. Als de industrie niet CO_2-neutraal groeit, kunnen additionele maatregelen nodig zijn. Daarom loopt de merit order voorbij de -55% doelstelling. Hierdoor kan men zien hoeveel duurder de eerste maatregelen buiten het pakket worden.

2023-variant voor -49% (35.7 Mton) en -55% (30.5 Mton) CO_2-uitstoot

Maatregel 2023	**CO_2 abatement costs [€/t CO_2]**	**Potentie [Mton CO_2]**
Aanpassen productie-methode staal: recycling	-119	1.4
Stoomrecompressie	-64	2.7
HT Heat Pumps	-34	2.1
Lachgas afvangen	20	0.9
Elektrische ovens	22	0.5
Mech. Recyclen	23	1.4
VHT Heat Pumps	35	3.2
Elektrolyse (PEM)	**62**	2.1
-49% CO_2 reductie t.o.v. 1990 met CO_2 –neutrale groei vanaf 2018 behaald		
Elektrolyse (PEM)	62	0.1
Aanpassen productie-methode staal: reductie	62	0.1 (pilot)
Chemisch recyclen	63	0.1
Elektrolyse (alkaline)	66	0 (overlap met PEM)
Elektrische boiler	87	2.8
Steel2chemicals	90	2.1
-55% CO_2 reductie t.o.v. 1990 met CO_2 –neutrale groei vanaf 2018 behaald		
Steel2chemicals	90	0.6
Biomassa boiler	95	2.8
CCU platform chem	95	1.5

[4] Volgens het draft akkoord hoofdlijnen industrie staat -55% CO_2-reductie gelijk aan een maximale uitstoot van 30.5 Mton CO_2

2023 Pakket	CO_2 prijs [€/t CO_2]
-49%, zonder terugsluis	62 inclusief ETS
-49%, met terugsluis	14
-55%, zonder terugsluis	90 inclusief ETS
-55%, met terugsluis	29

Met de bovenstaande tabel kunnen we nu de CO_2 prijzen vaststellen. Voor de pakketten zonder terugsluis bevat de CO_2 prijs de ETS prijs. Bij een ETS prijs van €20/t CO_2 is de effectieve CO_2 prijs excl. ETS voor het -49% pakket dus 42 €/t CO_2. Voor de pakketten met terugsluisregeling is de CO_2 prijs de maximale CO_2 prijs exclusief ETS prijs. De bepaalde CO_2 prijs kan namelijk lager uitvallen als er in het pakket maatregelen met onrendabele top zijn die na aftrek van de ETS prijs geen onrendabele top meer hebben. Op deze manier beïnvloedt de ETS prijs de CO_2 prijs met terugsluis rekening, maar is zij er niet direct onderdeel van. Zo (zie maatregeltabel) zou een ETS prijs van €30/t CO_2 reeds de onrendabele toppen van lachgas afvangen, elektrische ovens en mechanisch recyclen verwijderen. Deze maatregelen hoeven daarom niet langer met terugsluis bekostigd te worden, en daarom valt de CO_2 prijs met terugsluis lager uit (maar blijft positief). Alleen bij een ETS prijs van €62/t CO_2 zijn bij beide regelingen de effectieve CO_2 prijzen €0/t CO_2.

Het is belangrijk om te beseffen dat deze CO_2 prijzen een eventuele groei van de industrie niet meenemen. Dit betekent dat als de industrie ongeveer groeit zoals zij dit historisch gedaan heeft, ***de CO_2 prijzen en pakketten voor het -55% scenario wellicht nodig zijn om de -49% doelstellingen te halen***.

2030-variant voor -49% (35.7 Mton) en -55% (30.5 Mton) CO_2-uitstoot

Maatregel 2023	CO_2 abatement costs [€/t CO_2]	Potentie [Mton CO_2]
Aanpassen productie-methode staal: recycling	-119	2.9
Stoomrecompressie	-64	4.9
HT Heat Pumps	-34	3.8
Lachgas	20	1.0
Elektrische ovens	22	1.1
Mech. Recyclen	23	0.8
-49% CO_2 reductie t.o.v. 1990 met CO_2 –neutrale groei behaald		
Mech. Recyclen	23	1.3
Elektrolyse (PEM)	27	3.9
-55% CO_2 reductie t.o.v. 1990 met CO_2 –neutrale groei behaald		
Elektrolyse (PEM)	27	3.3
Elektrolyse (alkaline)	33	0 (overlap)
VHT Heat Pumps	35	5.8

Deze pakketten leiden tot de volgende CO_2-prijzen. Ten opzichte van de 2023 variant is hierbij uitgegaan van een invoer van de CO_2-prijs in 2025 in plaats van 2020.

De CO_2 prijzen liggen significant lager dan de prijzen van de 2023 variant. Dit komt met name doordat de potenties hoger ingeschat zijn dan in 2023, waardoor men kan profiteren van de grote potentie van de relatief goedkope opties. Ook leidt de verlaging van de investeringskosten en de verhoging van de potentie van electrolysers tot een belangrijke en betaalbare optie om de CO_2-uitstoot van de industrie te beperken.

De CO_2 prijzen liggen zo laag, dat een ETS prijs van ongeveer €20/t CO_2 er reeds voor zorgt dat de meerkosten van deze maatregelen vrijwel verwaarloosbaar is. Ook hier geldt echter de kanttekening dat een eventuele groei van de industrie niet meegenomen is. Wel is hier te zien dat de eerstvolgende maatregelen (buiten het pakket) vergelijkbare CO_2 abatement costs hebben als de laatste maatregelen binnen het pakket. De CO_2 prijs inclusief additionele groei zou dus waarschijnlijk niet veel hoger uitvallen.

2030 Pakket	**CO_2 prijs [€/t CO_2]**
-49%, zonder terugsluis	23 inclusief ETS
-49%, met terugsluis	3
-55%, zonder terugsluis	27 inclusief ETS
-55%, met terugsluis	9

Conclusie

Deze notitie laat zien dat het niet alleen mogelijk is om de CO_2-uitstoot van de industrie tot 35.7 Mton te beperken, maar dat dit waarschijnlijk ook relatief betaalbaar is en bereikt kan worden met maatregelen die eindoplossingen (kunnen) zijn.

De goedkoopste maatregelen zijn vormen van recycling (staal, mechanisch recyclen) en elektrificatie (stoomrecompressie, warmtepompen, deels elektrolyse). Zij hebben soms negatieve abatement costs, en anders lage onrendabele toppen. Tussen de 2023 en 2030 doorrekening worden met name de elektrificatie opties goedkoper. Ook is duidelijk dat de emissies scope (directe vs alle emissies) sterk uitmaakt voor de kosteneffectiviteit van elektrificatie opties: elektrolyse verschuift van achterin de merit order tot in het midden of zelfs het voorste deel, van alle emissies naar directe emissies, van 2023 naar 2030.

De gevonden CO_2 prijzen zijn in de regel (zeer) laag wanneer er een terugsluisregeling is. Ook wanneer er geen terugsluisregeling is en de CO_2 prijzen ook de ETS prijs bevatten, zijn zij effectief niet heel hoog, al kunnen zij tussen de €62 en 90/t CO_2 inclusief ETS liggen. De CO_2 prijzen nemen echter sterk af van de 2023-variant naar de 2030 variant, tot €23 tot 27/t CO_2.

Er moet tot slot rekening gehouden worden met een eventuele groei van de industrie, en daarom kijken we ook verder dan de pakketten die de delta tussen heden en 2030 overbruggen. De eerstvolgende maatregelen buiten het pakket zijn eigenlijk voor alle pakketten (zowel 2023- en 2030-variant, -49% en -55% doelstellingen) niet veel duurder dan de laatste maatregelen binnen het pakket, en kunnen vaak ook een aantal Megaton CO_2-uitstoot besparen. Daarmee zou tot slot een eventuele CO_2 prijs niet veel hoger uitvallen. Desalniettemin blijft het van belang om voorbij het -49% pad en voorbij 2030 te blijven kijken.

Bronnen

Berenschot, ISPT, CE Delft (2015): Power2Products

BIR (2017): World Steel Recycling in Figures 2012-2016. Steel Scrap - a Raw Material for Steelmaking

CE Delft (2014): Aardgas in transitie. Denktank vernieuwing Energiemarkt Bijlage 5

ECN (2017): High Temperature Heat Pumps in Dutch Industry, in Elmegaard, B., Zühlsdorf, B., Reinholdt, L., & Bantle, M. (Eds.) (2017). Book of presentations of the International Workshop on High Temperature Heat Pumps. Kgs. Lyngby: Technical University of Denmark (DTU).

Eurofer (2013): A Steel Roadmap for a Low Carbon Europe 2050

European Commission (2012): Sustainable Industrial Policy – Building on the Eco-design Directive. Lot 4: Industrial and Laboratory Furnaces and Ovens. Final Report.

European Commission JRC (2014): End-of-waste criteria for waste plastic for conversion

Fraunhofer Institute (2017): Cost Break Down and Cost Reduction for PEM Water Electrolysis Systems

IEA (2011): Technology Roadmap. Geothermal Heat and Power

Kalavasta (2018): Integral Comparison Industrial CO2 Reduction Options

Kalavasta & Quintel (2018): Carbon Neutral Aviation: The Take-off of Synthetic Kerosene Production in the Netherlands

Metabolic (2017): CORESYM: Carbon monoxide reuse through industrial symbiosis.

R. Meuleman (2017): The efficient future for the glass industry is “all-electric”

NTB & EPFL (2017): Review on High Temperature Heat Pumps - Market Overview and Research Status

A. Otto et al. (2017): Power-to-Steel: Reducing CO2 through the Integration of Renewable Energy and Hydrogen into the German Steel Industry. *Energies 10*

K. Ragaert et al. (2017): Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste. *Waste Management 69*, 24-58

Recycling Technologies (2018): Propelling Plastic into a Circular Economy.

Recycling Technologies (2018): Technology. The RT7000

O. Schmidt et al. (2017): Future cost and performance of water electrolysis: an expert elicitation study. *International Journal of Hydrogen Energy 42*, 30470-30492

TNO (2015): Eindrapport Ultra-diepe Geothermie in Nederland

Umwelt Bundesambt (2015): The Climate Change Mitigation Potential of the Waste Sector

Van Gansewinkel Groep (2015): Plastic Soup: Technological Limits and the Recycling Economy

VNCI (2018): Chemistry for Climate. Roadmap for the Dutch Chemical Industry towards 2050

VNG (2012) Routekaart glasindustrie 2030

Wuppertal Institute (2014): Techno-economic evaluation of innovative steel production technologies