



Kansrijk beleid voor CO₂-reductie van de industrie

Bijdrage aan het programma
Kansrijk Energie- en Klimaatbeleid



CE Delft

Committed to the Environment

Kansrijk beleid voor CO₂-reductie van de industrie

Bijdrage aan het programma
Kansrijk Energie- en Klimaatbeleid

Delft, CE Delft, mei 2016

Publicatienummer: 16.3143.49

Industrie / Kooldioxide / Emissies / Reductie / Overheidsbeleid / Maatregelen

Deze notitie is opgesteld door:
CE Delft

CE Delft **Committed to the Environment**

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al 35 jaar werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

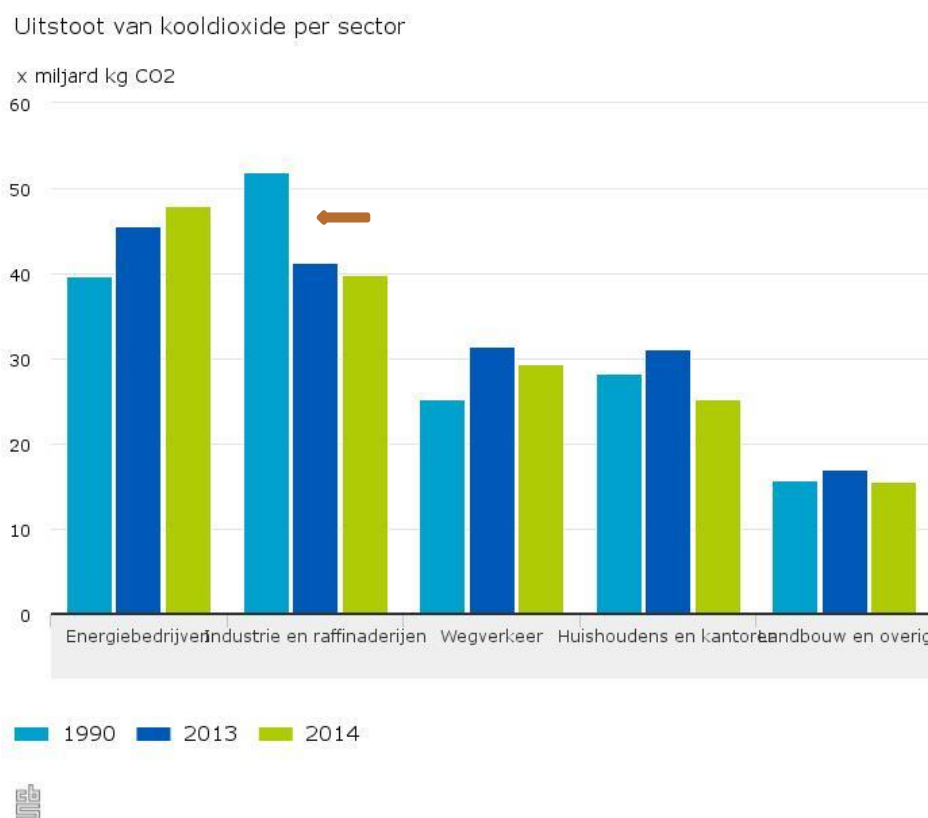


1 Inleiding

De sector industrie draagt op dit moment 20% bij aan de totale Nederlandse broeikasgasemissies, in 2014 kwam dit overeen met circa 44 Mton CO₂-equivalenten¹ (CBS, 2014). Deze uitstoot is grotendeel het gevolg van elektriciteits- of warmteproductie. Van de 44 Mton CO₂-equivalenten is 2 Mton (circa 5%) veroorzaakt door emissies van andere broeikasgassen.

De CO₂-emissie exclusief andere broeikasgassen bedroeg in deze sector in 2014 40 Mton CO₂. Dit betekent dat er geen sprake is van een significante daling in vergelijking met 2013, dit terwijl 2014 veel warmer was, zie Figuur 1².

Figuur 1 Emissies van CO₂ per sector (absolute waarden van alleen CO₂) in Mton per jaar



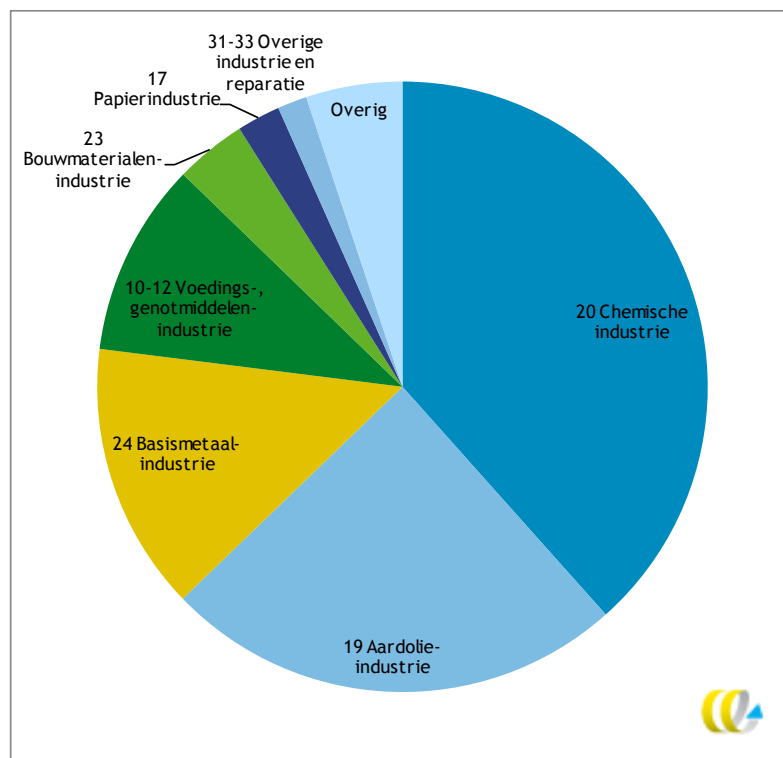
Bron: Website CBS.

De sector industrie is uitermate divers, maar de chemische en aardolie-industrie hebben op dit moment de grootste bijdrage aan de CO₂-equivalent-emissies van de sector: 39 en 25% respectievelijk, gevolgd door de basismetaal en de voedings- en genotmiddelenindustrie, zie Figuur 2.

¹ CO₂-equivalenten worden gebruikt om het effect van verschillende soorten broeikasgasemissies uit te drukken in één emissiegetal. Hiervoor wordt het effect van verwachte afname van de broeikasgasemissies in de Europese industrie tussen 2010 en 2050 (Mton CO₂-equivalenten per jaar) de emissie van andere broeikasgassen omgerekend naar het effect van de emissie van CO₂.

² De waarden in Figuur 1 zijn absolute CO₂-waarden niet gecorrigeerd met graaddagen zoals gebruikelijk in de energiesector.

Figuur 2 Aandeel van de industrie subsectoren in de CO₂-uitstoot in Nederland, in 2014



Bron: CBS Statline.

De diversiteit van de sectoren in de industrie maakt dat de te nemen maatregelen om CO₂-emissiereductie te bereiken onderling verschillen. Bij energie-intensieve industrieën wordt veel energie gebruikt om van grondstoffen halffabricaten en producten te maken. Dit is met name het geval voor de chemische-, aardolie- en basismetaalindustrie.

Daarnaast is er een bijdrage van de CO₂-emissie veroorzaakt door de productie van de gebruikte grondstoffen.

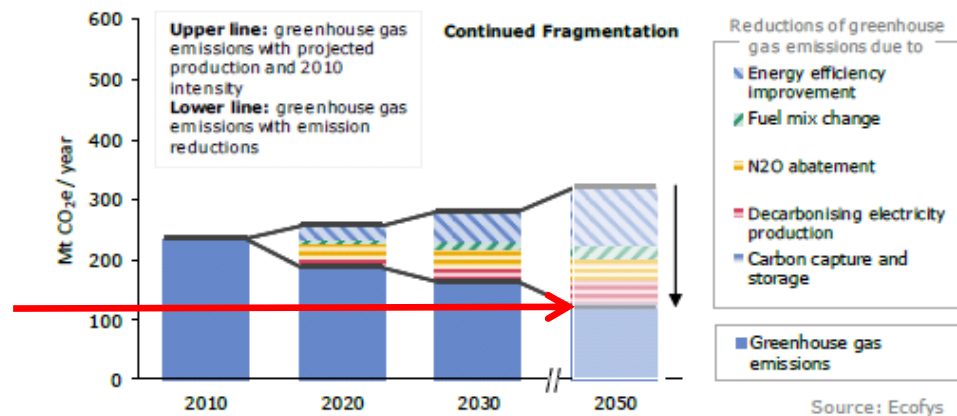
Beide categorieën vergen een eigen aanpak om tot CO₂-emissiereductie te komen.

Als we cijfers op Europees niveau bekijken is de verdeling te zien over het type maatregelen en hun effect op te verwachten CO₂-emissiereductie. Wij verwachten dat voor Nederland deze verdeling vergelijkbaar is.

Projecties broeikasgasemissies in de chemische industrie 2030/2050

Voor de chemische industrie in de EU wordt bij ongewijzigd beleid verwacht dat de emissie van broeikasgasemissies slechts halveert in 2050 vergeleken met 2010, zie Figuur 3. Duidelijk is dat de grootste reductie van energie-besparende maatregelen wordt verwacht. Zelfs bij de voorziene inzet van CCS is dit ruim onvoldoende om het gestelde doel van 80-95% reductie t.o.v. 1990 in 2050 te bereiken.

Figuur 3 Projectie van de afname van broeikasgasemissies door de Europese Chemische industrie tussen 2010 en 2050



Legenda: Ecofys, Energy Roadmap Cefic, 2013.

Projecties broeikasgasemissies 2030/2050

Over het algemeen zijn projecties voor de industrie tot 2050 met grote onzekerheden omgeven. Wij zien de volgende factoren die deze onzekerheden veroorzaken:

1. De Nederlandse aardgas voorraad raakt na 2030 goeddeels uitgeput. Hierdoor vervalt een kostenvoordeel die de energie-intensieve industrie momenteel benut met dit lokaal verkrijgbare aardgas. Met name de kunstmestindustrie is afhankelijk van Nederlands aardgas en zal mogelijk in 2050 niet meer in Nederland aanwezig zijn als niet omgeschakeld is naar een andere bron.
2. Het gebruik van fossiele brandstoffen zal aan banden worden gelegd om de emissiedoelstellingen voor 2050 te behalen. Dit betekent dat tot 80% van de in Nederland aanwezige raffinaderijcapaciteit dan daar niet meer voor nodig is. Het is momenteel niet in te schatten of die capaciteit zal vervallen of dat er een omschakeling zal plaatsvinden naar duurzame brandstoffen.
3. Door de forse toename van het hergebruik van grondstoffen en invoering van circulaire economie daalt de vraag naar primaire grondstoffen voor wat betreft het huidige consumptieniveau. Recyclingpercentages die nu nog beperkt zijn gaan door technologische ontwikkelingen stijgen tot 90%. De hieraan gekoppelde afname van de vraag naar primaire grondstoffen leidt op globaal niveau tot een afname van emissie, maar op lokaal Nederlands niveau kan dit leiden tot een toename in het transport van secundair gerecycleerd materiaal. Ook kan deze afname weer teniet gedaan worden indien er een toename ontstaat van de vraag naar primaire materialen door groei van de wereldeconomie.
4. Met name buiten Nederland is een groei van de economie te verwachten, waardoor er nieuwe primaire grondstoffen noodzakelijk zijn (met name Azië en Afrika). Een deel van de energie-intensieve productie daarvan zal naar het buitenland uitwijken, maar een deel zal zich kunnen aanpassen en in Nederland blijven. Dit geldt bijvoorbeeld voor Tata Steel in IJmuiden, die levert voor een wereldmarkt en onzeker is of voldoende energie-efficiencymaatregelen genomen gaan worden die blijven in Nederland mogelijk gaan maken.

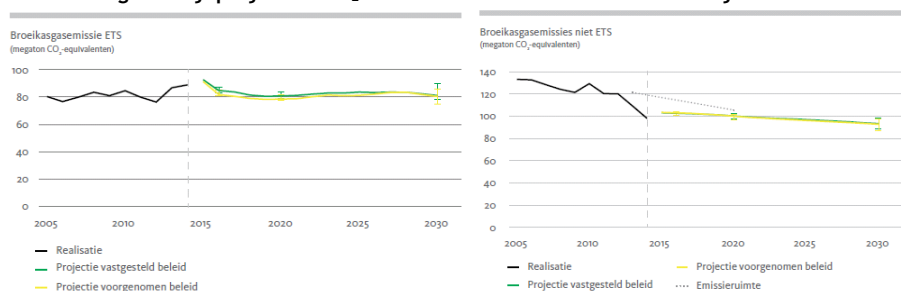
Het algemene beeld wat de chemische- (VNCI) en petrochemische industrie (VNPI) schetsen in het rapport Davidse (Davidse Consultancy, 2012) dat er over de periode tot 2020 weinig zal veranderen aan het productievolume in deze industrie en de emissie van CO₂ zelfs zal gaan toenemen. Iets wat op gespannen voet staat met de doelstellingen voor 2050. Over de periode tot 2030 konden geen uitspraken worden gedaan, laat staan tot 2050.

Het CPB (CPB, 2008) maakt onderscheid in twee scenario's en voorziet voor beide scenario's in 2025 dalingen in het aandeel van de EU-productievolumes in de wereld, van 11% (energiedragers) tot 27% (basismetaal en chemie, rubber en plastics), maar jaarlijkse groei in absolute zin van 0,8% (basismetaal) tot 2% (energiedragers) in het 'Cosy at Home'-scenario en in het 'Adventuring the World'-scenario een jaarlijkse groei van 2% (basismetaal) tot 3,6% (energiedragers).

In de WLO-publicatie van CPB en PBL (CPB en PBL, 2015) worden eveneens twee referentiescenario's 'Hoog' en 'Laag' gehanteerd gerelateerd aan economische groei van respectievelijk 2 en 1%, demografie en ambitieniveau van het klimaatbeleid. Het rapport stelt dat technologische vooruitgang en de daarmee samenhangende arbeidsproductiviteit de grote onzekere factoren vormen voor economische groei en de daaraan gerelateerde emissies van productievolumes. Voor het totale energieverbruik (finaal in PJ) wordt eerst nog voor beide scenario's een stijging verwacht tot 2030 ten opzichte van 1990 en daarna pas een daling tot ongeveer het niveau van 1990. Bij 38-48% duurzame energie daalt het CO₂-emissieniveau daarmee met 45-65%, wat volstrekt onvoldoende is om het beoogde doel van 90-95% in 2050 te behalen.

De Nationale Energieverkenning (NEV) 2015 (PBL; ECN, 2015) opgesteld door PBL en ECN in opdracht van minister Kamp geeft een emissiereductie aan van 1,1% per jaar naar 1,3-1,5% per jaar aan, afhankelijk of aangekondigd beleid ook daadwerkelijk uitgevoerd wordt. Op de langere termijn daalt de emissiereductie in de industrie naar 0,9% per jaar. Tot 2030 laten zowel ETS- als niet-ETS-bedrijven een nauwelijks significante CO₂-emissiereductie zien.

Figuur 4 Langetermijnprojecties CO₂-emissies van ETS- en niet-ETS-bedrijven tot 2050



Bron: NEV 2015 (PBL; ECN, 2015).

Conclusies

Er bestaat in Nederland nog geen lange termijn doelstelling voor CO₂-reductie in de industrie, maar als we ervan uitgaan dat deze sector een 90-95% CO₂ moet reduceren, gelijk aan de gemiddelde reductie die Nederland na Parijs nastreeft voor 2050, wordt al snel duidelijk dat het huidige tempo van besparingen in de industrie onvoldoende is. Nieuwe maatregelen zijn dus nodig. De vraag is waar de nadruk gelegd moet worden in welke sectoren deze maatregelen moeten genomen worden en met welke criteria gewerkt moet worden.

2 Toekomstbeelden

Het toekomstbeeld voor de industrie is de 'nul-op-de-meter-fabriek', waarbij investeringen op de lange termijn voor een excellente concurrentiepositie zorgen, met name in energie-intensieve industrieën. Het feit dat dit op relatief korte termijn in de nieuwbouwwoningen rendabel mogelijk is gebleken werkt inspirerend voor de industrie.

CO₂-reductie in de industrie kan op meerdere manieren worden bereikt, die ofwel resulteren vanuit *energiebesparing*, ofwel door een groei van het gebruik van *CO₂-arme of hernieuwbare energiebronnen*. Kansrijke maatregelen zijn ruwweg in te delen in de volgende vier categorieën:

1. **Energie-efficiëntieverbeteringen** van bestaande processen en apparaten, zoals vermijden van sluipverbruik, aerogels voor thermische isolatie, keuze voor energie-efficiënte technologieën en processen, compressiekoeling vervangen door adiabatische koeling, restwarmtegebruik, proces-optimalisatie, enz.
2. **Elektrificatie** van de industrie, gedeeltelijk valt dit ook onder energie-efficiency verbetering, bijvoorbeeld door inzet van elektrische verwarming, (hoge temperatuur) warmtepompen, stoomrecompressie. Daarnaast biedt elektrificatie een kans om in te spelen op flexibilisering van de elektriciteitsvoorziening (flex) en de inzet van het groeiende aandeel hernieuwbare energie in het energiesysteem te faciliteren.
3. **Innovaties en nieuwe processen**, bijvoorbeeld procesintensificatie dat wil zeggen extreme optimalisatie van chemische reacties door gebruik van verbeterde micro-reactorontwerpen met ultra-efficiënte warmte- en stofuitwisseling, zoals de HiGee, spinning disc en microreactoren.

Sterk verbeterde productzuiveringen en -scheidingen zijn te bereiken door bijvoorbeeld destillatie en verdampers te vervangen door (pervaporatie)-membranen (polymeer en keramisch), inzet van hoogwaardige en met druk regelbare oplosmiddelen zoals superkritisch CO₂ en ionenvloeistoffen (ionic liquids).

Een fascinerende techniek vormt de plasmachemie. Momenteel wordt reforming van aardgas in syngas in zeer grote installaties uitgevoerd, maar kan met plasmachemie nu heel efficiënt in een ultra-korte keramische buis worden uitgevoerd.

Ten slotte vormen brandstofcellen de zeer efficiënte en emissieloze brug tussen brandstoffen en elektriciteit met hoge rendementen van 50% en meer. Polymere typen dienen met hoog gezuiverde waterstof te werken, maar het hoog temperatuur keramische type SOFC werkt ook met ongezuiverde waterstof en andere brandstoffen. Brandstofcellen worden met name in de transportsector gezien als belangrijk hulpmiddel voor de terugdringing van CO₂ en andere emissies. De enkele al commercieel verkrijgbare en rondrijdende waterstofbussen en waterstofauto's zijn op brandstofcellen gebaseerd.

4. **Circulair grondstof gebruik**, biobased als vervanger van primaire fossiele bronnen, zoals gebruik van biomassa voor grondstoffen en energie, vervanging van fossiele grondstoffen door biobased grondstoffen, of bio-raffinage van bio-chemicaliën uit laagwaardige biomassa-houdende afvalstromen (C4 en C5 chemie). Daarnaast ook meer hergebruik van afval als grondstof zoals reeds gebruikelijk bij metalen, veel minder afval verbranden in afvalverbrandingsovens (AVI's) en meer circulaire conversie-



technieken toepassen. Voorbeelden zijn enzymatische conversie van huishoudelijk afval naar biobased chemicals en biogas en beter recyclebare kunststofstromen. Ook vormt gedistribueerde afvalconversie van niet recyclebare kunststof- en/of biomassa reststromen met (hydro-)pyrolyse naar olie of 'drop-in' brandstoffen en gas een kansrijke optie.

Een vijfde categorie maatregelen is CCS, de opvang en ondergrondse opslag van CO₂. Hier is een aparte notitie voor opgesteld, zodat CCS buiten de scope van deze analyse is gehouden.

Energie-efficiencyverbeteringen

Als basis voor de korte termijn dienen alle 'Laaghangend fruit-maatregelen' met korte terugverdientijden **aantoonbaar** te zijn uitgevoerd. Dit zijn veelal verplichte energiebesparingsmaatregelen die nog niet (volledig) uitgevoerd zijn door een gebrek aan inzicht in de energiestromen en energieverliezen op niveau van de deelprocessen. Dit komt door de veelal afwezigheid van gas- en elektrametingen op dit deelniveau. In de praktijk wordt een vrijblijvend karakter en gebrek aan transparante monitoring gevoeld. Zelfs op gebied van isolatie valt nog veel te winnen aangezien deze nog steeds niet altijd volledig wordt toegepast op leidingen, flenzen en afsluiters. Op termijn zal toepassing van aerogels de thermische isolatie vrijwel volledig optimaal kunnen krijgen.

Naast het kwantificeren van bekende verliezen treden er ook onbekende verliezen op in de vorm van 'sluipverbruikers', die pure verspilling inhouden, zoals de lokale afwezigheid van isolatie, lekkende perslucht- en stoomleidingen en onnodig draaien van machines ('idling'). Periodieke controleprogramma's voor lekdetectie en vervuiling en een adequate interpretatie van energiemetingen, met name gedurende stops en vakanties, kunnen deze vorm van energieverpilling op het spoor komen.

Metingen op deelniveau geven bedrijven inzicht in de uitgaande energiestromen en de mate van optredende energieverliezen. Dergelijke metingen zijn nog steeds geen algemene praktijk. Indien bedrijven hun restwarmtestromen goed in beeld hebben kunnen deze mogelijk ingezet worden elders op de locatie in een ander proces, met name in voorverwarming van stromen, maar ook voor stadsverwarming elders buiten de locatie. Een zogenaamde energie-PINCH-analyse kan de optimale mogelijkheden voor warmtehergebruik op een gestructureerde wijze uitvoeren.

Elektrificatie

Warmtepompen en damprecompressie kunnen bij steeds hogere temperaturen ingezet worden. Hierdoor wordt lage druk processtoom opgewaardeerd bij steeds gunstiger COP-waarde (de factor waarmee elektrische energie in hoeveelheid 'vermenigvuldigd' wordt naar thermische energie). Daarnaast maakt elektrificatie van industriële processen inzet van elders opgewekte duurzame energie mogelijk. Een bijkomend voordeel is dat op middellange termijn er regelmatig lage marktprijzen voor stroom uit windparken verwacht wordt, wat toepassing van elektrificatie sneller rendabel maakt. Daarnaast leidt de inzet duurzaam opgewekte elektriciteit tot verder vergroening



Innovaties en nieuwe processen

Daarbovenop zijn extra besparende maatregelen nodig. De meeste mogelijkheden zijn beschikbaar op het gebied van:

- scheiden (denk bijvoorbeeld aan membraanscheidingen i.p.v. verdampen om twee vloeistoffen van elkaar te scheiden);
- drogen (denk bijvoorbeeld aan het toevoegen van zeolieten die water onttrekken i.p.v. verdampen van water);
- intensiveren (aanpassingen aan de reactor waardoor de reacties beter verlopen, met een hoger rendement en er minder zuiveringsstappen na de hand nodig zijn).

Met name procesintensificatie grijpt in in het hart van het proces en brengt daarom een zeer hoge risicoperceptie met zich mee.

Tegelijkertijd valt er veel te winnen. In de Nederlandse procestechnologie wordt in het algemeen gewerkt op basis van technologie die ontwikkeld is voor 1980. Daar zijn procesverbeteringen op toegepast in de vorm van nieuwe typen katalysatoren, maar het hart van het proces is over het algemeen niet wezenlijk veranderd. Sinds die tijd zijn er wel grote doorbraken gerealiseerd op het gebied van procesintensificatie, op het gebied van:

- intensiever mengen;
- intensievere massaoverdracht naar en over grensvlakken;
- intensievere warmteoverdracht van en naar de reactiezone;
- bijzonder selectieve scheiding;
- intensievere component scheiden zonder faseovergang.

Een grootschalig onderzoek op 42 Nederlandse bedrijfslocaties in de raffinage, voedingsindustrie en chemie laat zien dat door stelselmatige verkenning van de randvoorwaarden en doelstellingen bij bedrijven in iedere sector eigen optimale oplossing gevonden kunnen worden die reducties van 30-40% mogelijk maken; dit los van bovengenoemde energie-efficiency maatregelen. Op dit moment is één derde van de genoemde oplossingen commercieel beschikbaar. Voor de overige tweederde van de geïdentificeerde optimale procesintensificaties is verder onderzoek en ontwikkeling mogelijk. Het gaat dan om de ontwikkeling tussen de proof of principle die bij kennisinstituten op laboratoriumschaal geleverd worden (TRL 3-4) en het bewijs van technologische volwassenheid dat door lange duur testen op industriële schaal in de praktijk geleverd kan worden (TRL 9). Het huidige onderzoeksgeld is voornamelijk beschikbaar voor TRL 1-5, TRL 6-9 wordt aan de markt overgelaten, terwijl banken pas financiering verlenen nadat TRL 9 is bewezen.

Intermezzo - Volwassenheid van de benodigde technologie (TRL-niveaus)

Naar mate een technologie verder ontwikkeld is kan er met meer zekerheid een uitspraak gedaan worden over de reductiekosten en het reductiepotentieel. Omgekeerd geldt ook dat hoe minder ver een technologie ontwikkeld is hoe meer veranderingen er nog kunnen optreden in het reductiepotentieel en de reductiekosten.

Dit is een algemeen geldend probleem voor innovatieve ontwikkelingen. Eind jaren 80 heeft NASA daarom een methode ontwikkeld om de volwassenheid van een nieuwe technologie objectief te doen scoren op basis van zogenoemde Technology Readiness Levels. Hierbij staat technology readiness level 1 (TRL 1) voor het minst ontwikkelde niveau: een idee op basis van fundamentele wetenschappelijk aangetoonde principes en TRL 9 staat voor het meest ontwikkelde niveau: een systeem waarvan de werking in de operationele omgeving gedurende langere tijd bewezen is.



Deze manier van evalueren van innovaties is breed geaccepteerd. We gaan hier uit van de veralgemeniseerde definities die door de Europese Commissie gebruikt worden (Horizon, 2014):

TRL 1 - basic principles observed

TRL 2 - technology concept formulated

TRL 3 - experimental proof of concept

TRL 4 - technology validated in lab

TRL 5 - technology validated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)

TRL 6 - technology demonstrated in relevant environment (industrially relevant environment in the case of key enabling technologies)

TRL 7 - system prototype demonstration in operational environment

TRL 8 - system complete and qualified

TRL 9 - actual system proven in operational environment (competitive manufacturing in the case of key enabling technologies; or in space)

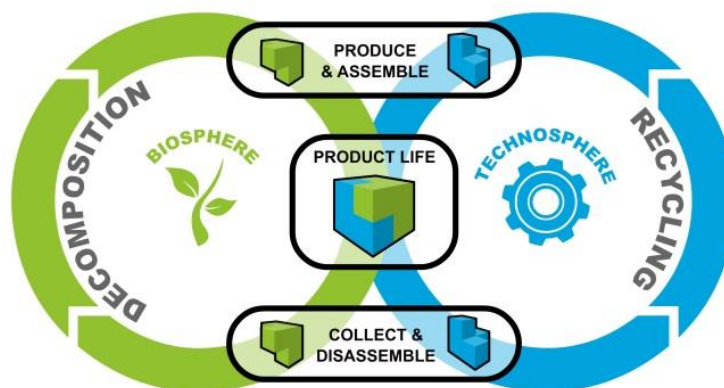
TRL 1 tot en met TRL 3 is het soort onderzoek dat veelal door universiteiten wordt uitgevoerd. TRL 3 tot en met TRL 6 is het soort onderzoek waar met name instituten als ECN en TNO zich op richten, gezien de snel oplopende kosten. R&D-afdelingen van bedrijven worden meestal betrokken als TRL niveau 4 succesvol is doorlopen, dus vanaf TRL niveau 5. Dan gaan ook zaken als detail engineering en certificering een belangrijke rol spelen en lopen de kosten verder op. Als TRL 9 bereikt is, is de enige belemmering voor implementatie de mate van marktacceptatie.

Circulair grondstofgebruik

Er zijn twee manieren om het grondstofgebruik circulair te maken:

1. Biobased en bio-afbreekbaar produceren, dit wordt ook wel aangeduid met circulaire productie in de biosfeer, zie Figuur 5.
2. Hergebruik: afgedankte producten weer opwerken tot grondstof voor de productie van nieuwe producten liefst van dezelfde soort. Dit wordt ook wel aangeduid met circulaire productie in de technosfeer, zie Figuur 5.

Figuur 5 Circulaire productie in de biosfeer en de technosfeer



Bron: www.bluehair.co

Het voordeel van circulair grondstofgebruik is dat er geen of veel minder sprake is van afval. Onder voorwaarden kan circulair grondstof gebruik ook leiden tot een reductie in emissies. Hierbij moet aan een aantal voorwaarden voldaan worden, die in de volgende alinea's toegelicht worden.

Biobased en bio-afbreekbaar produceren

De CO₂-footprint van biobased materialen kan veel kleiner zijn dan van fossiele primaire grondstoffen, mits er aan twee randvoorwaarden voldaan wordt:

1. De biomassa is verkregen uit duurzaam beheerde bronnen - dit is een heel belangrijk item omdat de CO₂-emissie die veroorzaakt wordt door degeneratie van landschappen vele malen hoger is dan de emissiereductie die met biobased produceren bereikt kan worden. Tegelijkertijd kan biobased productie een drijfveer zijn om sterk gedegradeerde landschappen weer op te werken tot duurzaam beheerde vruchtbare landschappen, die vele malen meer CO₂ vastleggen dan in geërodeerde toestand. Verspreid over de wereld zijn veel aansprekende voorbeelden bekend die aantonen dat dit mogelijk is met relatief simpele ingrepen³.
2. De samenstelling van de biomassa komt sterk overeen met het gewenste eindproduct in de zin dat de verhouding van de verschillende atomen die in een molecuul voorkomen overeenkomen en dat de synthese relatief eenvoudig of vergelijkbaar is met de synthese uit fossiele grondstoffen.

Uitvoering van een Life Cycle Assessment (LCA) van de biobased processen geeft een compleet en objectief inzicht in de totale milieuvoordelen, inclusief de overall CO₂-emissiereductie, ten opzichte van de benchmark.

Biobased producten kunnen circulair ingezet worden in de technosfeer en in de biosfeer.

Een voorbeeld van biobased producten in de technosfeer zijn de zogenaamde drop-in chemicals. Drop-in chemicals zijn chemicaliën op basis van biomassa die identiek zijn aan chemicaliën uit fossiele grondstoffen. Bekende voorbeelden van biobased drop-in chemicals zijn benzeen, toluen en xyleen op basis van suiker of lignine (onderdeel van houtvezels) of etheen op basis van ethanol uit suiker. Ze zijn net als de chemicaliën uit fossiele grondstoffen meestal niet bio-afbreekbaar. Om biobased drop-in chemicals circulair te gebruiken gelden dezelfde regels als voor de technosfeer. Naast drop-in chemicals zijn er ook nog composietmaterialen die gedeeltelijk biobased en gedeeltelijk gebaseerd zijn op fossiele grondstoffen. Deze materialen kunnen een veel lagere CO₂-footprint hebben dan concurrerende materialen maar niet bio-afbreekbaar zijn.

Daarnaast zijn er biobased chemicaliën en materialen die wel bio-afbreekbaar zijn. Hierdoor kunnen ze door bodem/waterleven weer gebruikt worden als voedsel. Op dit moment zijn er een aantal materialen die claimen bio-afbreekbaar zijn. Echter, de meeste zijn dat alleen in industriële composteermachines waarin de temperatuur op kan lopen tot 100 graden. Ze zijn niet bio-afbreekbaar als ze in de bodem of het (zeewater) terecht komen (Ellen Mc Arthur Foundation, 2016).

Biobased chemicaliën die in de Nederlandse chemie geproduceerd worden vallen in één van de volgende productcategorieën:

- adhesieven;
- bestrijdingsmiddelen;
- biofuel (additieven);
- chemicaliën voor olie- en gasvelden en waterbehandeling;
- coatings verven en drukinkten;

³ Niettemin neemt het aantal gedegradeerde gronden nog steeds veel harder toe dan dat gedegradeerde gronden weer opgewerkt worden tot vruchtbare gebieden.



- consumenten producten (o.a. was- en schoonmaakmiddelen, actieve kool voor autofilters (USA));
- chemicaliën voor wegbewijzing en wegaanleg;
- farmaceutica en voedingsadditieven;
- industriële chemicaliën;
- kunststoffen, plastics en harsen;
- personal care;
- polymeer additieven;
- smeermiddelen.

Meer informatie over welke bedrijven welke producten produceren staat in het rapport inventarisatie Biobased Economy in de Nederlandse Chemie (CE Delft, 2013).

Een traditioneel voorbeeld van circulair biobased materiaalgebruik in de technosfeer is de Nederlandse papierindustrie. Meer dan 85% van het papier dat in Nederland gebruikt wordt, wordt ingezameld om weer te dienen als grondstof voor de productie van nieuw papier. Dit herhaalt zich tot dat de vezels zo sterk versleten zijn dat ze niet meer geschikt zijn voor papierproductie (na 7-8 keer recycelen). Dan worden de vezels afgevoerd en gebruikt voor energieproductie, door bijstook in cementovens of kolencentrales of als deel van het biogene materiaal in afvalverbrandingsinstallaties. Op die manier dragen ze bij aan de biobased energieproductie in Nederland.

In het rapport 'Aanpalende economische effecten biobased economy' zijn de directe en indirecte effecten van de biobased economy in kaart gebracht (CE Delft, 2015).

Tabel 1 Directe toegevoegde waarde van de biobased economy

Toegevoegde waarde (€ mln)	2005	2010	2011	2012	2013
Grondstoffen*	> 694	751-769	743-761	748-766	764-782
Landbouw	686	730	722	727	743
Bosbouw (SBI 2)	8	8-20	8-20	8-20	8-20
Reststromen voedingsindustrie	n.b.	13-19*	13-19*	13-19*	13-19*
Materialenproductie	n.b.	399	431	446	412**
Textielindustrie	n.b.	5	6	5	5***
Houtsector (SBI 16.1)	n.b.	76	77	75	76***
Papierindustrie (SBI 17.1)	n.b.	318	348	366	331**
Chemie (SBI 20, 21, 22)	300-380	570-720	570-720	570-720	570-720
Bio-energie	43	61	70	65	64
Totaal	> 1.781	1.781-1.949	1.814-1.982	1.829-1.997	1.810-1.978

Bron: (CE Delft, 2015).

* De grondstofproducerende sectoren zoals de land- en bosbouw zijn alleen meegerekend voor zover ze direct produceren voor biobased productie (bijvoorbeeld vlas of zetmeel aardappelen) en niet produceren voor voedsel- en veevoerproductie.

Uit dit rapport blijkt dat slechts een klein deel van de biobased productie fossiele productie verdringt en dus leidt tot CO₂-reductie dit betreft het aandeel biobased productie in de energie en de toename van de biobased productie in de chemie.

Het aandeel biobased energie betreft voornamelijk bij- en meestook in energiecentrales en neemt sterk af. Het aandeel biobased chemie is nog zeer beperkt in totaal minder dan 4% van de chemische industrie, waarvan circa de helft al van oudsher biobased is. Er is daar dus nog een enorm potentieel om



de CO₂-footprint van deze sector te verminderen door overschakeling op biobased.

Afgedankte producten opwerken tot nieuwe producten

De milieu-impact van circulair verwerkte materialen hangt sterk af van de impact van transport op de Life Cycle Analysis (LCA). Bij productie van metalen is het zowel kosten technisch als milieutechnisch interessanter om te recyclen. Bij kunststoffen moet door hun lage soortelijk gewicht, de inzameling zeer efficiënt plaatsvinden om te kunnen concurreren met verbranding in lokale afvalverbranding installaties en productie op basis van fossiele grondstoffen. Door technologische ontwikkelingen in de scheiding verwachten wij dat op de lange termijn in 2050 tot 90% van de materialen hergebruikt zal worden.

Daarbij moet echter rekening gehouden worden dat de productie op basis van fossiele grondstoffen naar verwachting op termijn zal verplaatsen naar de regio's waar fossiele grondstoffen goedkoop voorhanden zijn.

Keuze voor circulaire productie kan daarmee ook indirect een manier zijn om de lokale industrie concurrerend te houden. Dit is te verdedigen mits de milieuprestaties concurrerend zijn.

Dit is mogelijk door de bestaande recycling van kunststoffen verder te optimaliseren en minder te verbranden. Enzymatische nascheiding van afval vermijdt het apart inzamelen en wordt het recyclingrendement van kunststoffen verder verbeterd en het levert biogas op. Niet-herbruikbare kunststof- en biomassastromen kunnen als alternatief op verbranden nu omgezet worden tot olie en gas door (hydro-)pyrolyse.

Welke industrie is het meest geschikt voor welke aanpak?

De criteria in welke sectoren en processen verschillende nieuwe opties voor CO₂-emissiereductie het beste kunnen worden toegepast zijn gebaseerd op:

1. Absolute grootte van de energieconsumptie (zowel enkele grote- als vele kleine verbruikers).
2. Energie- en CO₂-intensiteit van industriële processen.
3. Leefijd van industriële processen en de aanwezigheid van alternatieven en innovaties.
4. Mate waarin alle 'Good Housekeeping'-maatregelen zijn doorgevoerd.
5. Absorptievermogen, beschikbaarheid van een (project)organisatie voor implementatie.
6. Inzetbaar kapitaal voor investeringen, interne premies op CO₂-reductie.
7. Ambitieniveau en corporate doelstellingen.

Op basis van deze criteria zijn de volgende sectoren van belang qua potentieel voor energiebesparing met toepasbaarheid van CO₂-emissiereductie door energiebesparingsmogelijkheden, een verhoogde inzet van duurzame energie door elektrificatie, innovatie en inzet van biomassa.



Tabel 2 Verwachte toepassing van emissiebeperkende maatregelen binnen de industriële sectoren.

Sector	Energie-efficiencyverbetering				Elektrificatie met DE	Innovaties en nieuwe processen		Inzet van biomassa
	Optimale Isolatie	Warmte Her-gebruik	Frequentie-regeling	Proces-optimalisatie		Opt. scheidings- en droog-technologie	Proces-intensificatie	
Basis metaal-industrie	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee
Aardolie-industrie	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Chemische industrie	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Productie van goederen	Ja/nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Nee	Nee	Ja
Voeding- en genotmiddelen-industrie	Ja/nee	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Afval verwerkende industrie	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja/nee	Ja	Ja
Termijn van invoering	Kort	Kort-middel	Kort	Kort-middel	Kort-middel	Kort-middel	Middellang	Kort-lang

Conclusies

Er zijn meerdere eenvoudig toe te passen maatregelen waar nog veel potentieel inzigt op de korte termijn, plus maatregelen die het ook voor de lange termijn mogelijk maken om de extra reductieslagen te maken, die nodig zijn om het einddoel van 80-95% reductie mogelijk te gaan maken in 2050. Er zijn een aantal verschillende maatregelen met veel impact voor CO₂-reductie in de industrie. Om de gestelde klimaatdoelen te halen zijn al deze maatregelen nodig. Door strikte toepassing van de Trias Energetica, zo veel mogelijk besparen, duurzame opwekking en zo efficiënt mogelijk deze energie in te zetten, leveren de inspanningen maximaal resultaat op.

3 Recente ontwikkelingen

Zoals in de inleiding is geschetst zijn er een aantal initiatieven gestart om reductie van energiebesparing mogelijk te maken.

De huidige status laat al een dalend energieverbruik zien, deels door getroffen maatregelen, maar daarnaast ook door een dalend energieverbruik als gevolg van economische problemen die de productie beperkt hebben. Hierdoor bestaat het risico dat bij een toename van deze productie door een aantrekkende economie de reductie van het CO₂-emissie sterk wordt beperkt en er zelfs weer een stijging kan gaan optreden.

Momenteel is er weinig impact door ETS-beleid door te lage prijzen in de markt veroorzaakt door een overschot aan emissierechten gezien de economische situatie van lagere productie. Dit wordt momenteel aangevuld met een sterke focus op convenanten voor dit aanvullend beleid: MEE (voor ETS-bedrijven) en MJA3 (Meerjarenafspraken).

Voor de overige bedrijven geldt de Wet milieubeheer, die regelt dat investeringen met een kortere terugverdientijd dan vijf jaar ook daadwerkelijk worden gedaan. Alle drie stuiten op problemen met de monitoring en



uitvoerbaarheid. Immers het bepalen van de terugverdientijd bij een bedrijf vergt een helder inzicht in de bedrijfsvoering en -kosten en die is in de praktijk niet volledig beschikbaar (Rechtbank Amsterdam, 2015). De BAT-REF-verplichting tot het toepassen van het meest efficiënte maatregel bij vervanging stuit in de praktijk eveneens op dergelijke problemen, waarbij de toepasbaarheid van dergelijke nieuwe efficiëntere technologieën lastig valt vast te stellen en de opvolging van de verplichting om deze technieken toe te passen niet kan worden gemonitord.

Regelingen zoals de EIA en VAMIL verkorten de terugverdientijd en zorgen dat meer maatregelen binnen het wettelijk criterium van vijf jaar terugverdientijd vallen. Net als ETS heeft dit een enigszins positief effect op de terugverdientijd, maar slechts een beperkt effect op de investeringsbeslissing, omdat de interne rendementseis veelal veel hoger ligt.

Op dit moment wordt de Wet milieubeheer nauwelijks gehandhaafd. De praktijk is dat momenteel zelfs isolatie niet volledig wordt toegepast en er niet voldoende toezicht op is dat dergelijke eenvoudige maatregelen om verspilling tegen te gaan wel worden genomen. Laat staan meer complexe maatregelen waarbij handhavende partijen vaak de expertise ontbreekt de noodzaak tot het nemen van deze maatregelen vast te stellen.

Het criterium van een terugverdientijd van minder dan vijf jaar sluit niet optimaal aan bij de criteria die het bedrijfsleven toepast voor te nemen investeringen. Daar wordt veelal Rendement op Investering (ROI), Netto Contante Waarde (NCW, NPV) en TCO (Total Cost of Ownership) toegepast. Nadeel is dat ook hiervoor een gedetailleerd inzicht in de specifieke bedrijfssituatie noodzakelijk is. Omdat deze om concurrentieredenen niet openbaar is, zou een alternatief criterium beter passen en wél uitvoerbaar moeten zijn qua monitoring en handhaving.

Conclusie is dat nieuw beleid eenduidig dient te zijn qua verplichtingen voor bedrijven en monitoring door overheden, waardoor deze laatste met minder middelen uitgevoerd kan worden. Ook dient er bij bedrijven beslissingsruimte te blijven voor eigen initiatief en moeten deze niet onnodig met een administratieve lastendruk worden opgezaagd.

Ontwikkeling van de ETS

De industrieën die vallen onder de ETS dienen een broeikasgasemissiereductie van 43% in 2030 te bereiken ten opzichte van 2005, op Europees niveau, de niet-ETS-bedrijven 30%.

De jaarlijkse reductie bij ETS-bedrijven dient van 1,74% te stijgen naar 2,2% vanaf 2021 (EC, 2014a). Deze aanscherping van de jaarlijkse reductie heeft evenwel onvoldoende effect op het structurele overaanbod van rechten dat sinds 2009 is ontstaan. Daarom heeft de EU besloten om een 'Market Stability Reserve' in te stellen. Hierin komen de rechten die in eerdere jaren als overaanbod zijn bewaard terecht. Vanaf 2028 (naar verwachting) zal het MSR volledig gevuld zijn om vervolgens jaarlijks 100 Mt CO₂-rechten toe te voegen aan de veiling van rechten. De Europese Commissie heeft uitgerekend dat mogelijk na 2030 de lineaire reductiefactor nog omhoog moet om aan de Europese inzet voor een 2 graden-doelstelling te komen. De uitkomst van het klimaatakkoord in Parijs kan er mogelijk nog toe leiden dat er extra emissies moeten worden gereduceerd ten gevolge van de 1,5 graad-doelstelling. Dit heeft als gevolg dat de ondergrens van de doelstelling van 80-95% voor 2050 omhoog zal moeten.



De belangrijkste barrières voor een versnelling zijn:

a **Gebrek aan urgentie, weinig focus en onvoldoende monitoring.**

In het algemeen heeft een veilige bedrijfsvoering met een minimaal aantal onverwachte stops de prioriteit in de industrie. De tweede prioriteit wordt ingenomen door procesverbeteringen, die meestal pas genomen worden bij een grote stop of na afschrijving van productiemiddelen. In de laagste derde prioriteit zitten de utilities als water en energie, die daarom regelmatig uitbesteed worden. Om deze reden bestaat er vaak geen scherp beeld van de energiebalans en de optredende energieverliezen.

Transparantie door nauwkeurige monitoring helpt om besparingen inzichtelijk te maken als potentiële winst vergrotende factoren en zo op de agenda te zetten. Actief aanbieden van te nemen maatregelen door middel van voorbeelden vertaalt dit concreet naar te nemen acties.

De huidige factsheets van RVO vormen daarbij een eerste aanzet.

b **Investeringskosten versus de huidige lage ETS-prijs.**

c Relatief gezien valt de positieve bijdrage van ETS bijna weg, zodat het geen bepalende factor is in het nemen van de investeringsbeslissing.

d **Hoge interne eisen voor return-on-investment (ROI) op de te nemen investeringen (CAPEX).**

Een belangrijke barrière is dat de verplichting tot het nemen van energiebesparende maatregelen op de terugverdientijd ervan gebaseerd is. Dit is echter in veel situaties een moeilijk te handhaven criterium, want zeer locatie- en bedrijfsspecifiek. En de benodigde bedrijfsspecifieke gegevens zijn niet openbaar, zodat deze terugverdientijd niet door een externe partij kan worden bepaald of geverifieerd. Hierdoor valt de druk op het nemen van deze maatregelen in de praktijk weg door gebrek aan duidelijkheid in de handhaving (Rechtbank Amsterdam, 2015), Motie van van Tongeren (Tongeren, 2016) en worden rendabele kansen gemist tot het bereiken van CO₂-emissiereductie. Bij investeringen in procesinnovaties hangen deze eisen samen met het feit dat alleen durf-investeerders hier geld voor beschikbaar stellen.

4 Benodigde acties om CO₂-reductie in de industrie te versnellen

Om de ontwikkelingen richting de toekomstbeelden te versnellen zijn daarom de volgende acties te formuleren, onderverdeeld naar de vier categorieën maatregelen:

Energie-efficiëntieverbeteringen van bestaande processen en apparaten behelzen technische maatregelen waarvan enkele belangrijke zijn:

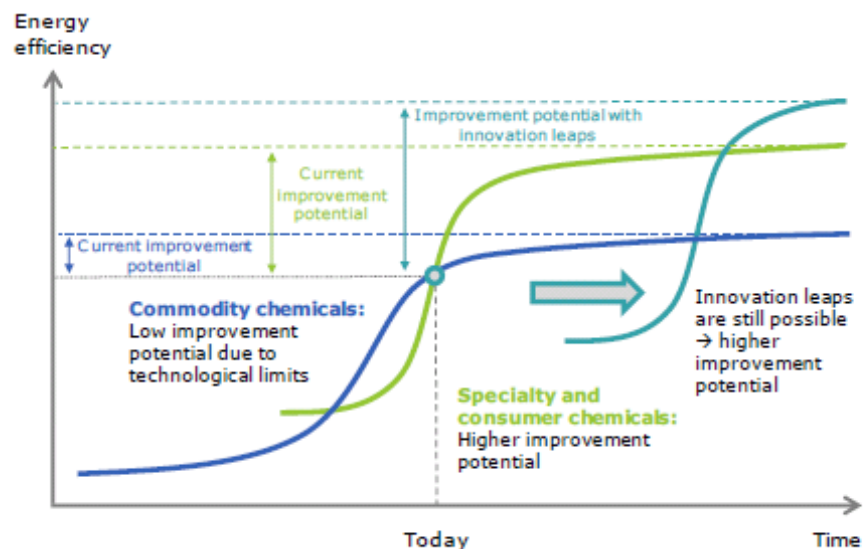
- eliminatie van verspilling door sluipverbruik met metingen;
- invoer van nieuwe efficiëntere apparatuur (checklist met RVO-factsheets erkende maatregelenlijst toepassen);
- restwarmtegebruik van processen onderling door 'PINCH-studie'.

Innovaties en nieuwe processen, het toepassen van nieuwe energiezuinige processen en -producten levert vaak dubbele winst op, wat de bereidheid deze door te voeren sterk vergroot. Enkele voorbeelden zijn:

- ontwatering en productzuivering met destillatie zijn te vervangen door (pervaporatie) membranen;
- restwarmte kan benut worden absorptiekoeling, micro-reactoren, etc.;
- stimuleren onderzoek en toepassing van energiebesparende proces-intensificatie met micro-reactoren.

Innovaties met een CO₂-emissiereductieeffect kennen een aanlooptijd voordat implementatie ervan tot de emissiereductie leidt. Er moet een ontwikkel-curve worden doorlopen, zie Figuur 6.

Figuur 6 Energie- en CO₂-emissiereductie impactcurve van energie-innovaties



Bron: Ecofys.

Tijdens het doorlopen van de ontwikkelcurve kunnen kansrijke technieken stuiten op belemmeringen, waardoor ze niet tot wasdom komen en geen emissiereductie kunnen bereiken. De zogenaamde 'Valley of Death' is de fase nét voor marktintroductie (TRL 5-9) waarbij de bewezen innovatie serieuze investeringen vergt in de orde van 1-10 m€ die niet kunnen worden verkregen.

Biobased: gebruik van biomassa voor grondstoffen en energie vergt:

- grootschalige vervanging van fossiele grondstoffen door biobased grondstoffen;
- gebruik maken van bio-raffinage van bio-chemicaliën uit afvalstromen (massale inzet van laagwaardige biomassa door bijvoorbeeld enzymatische afvalconversie);
- biobased 'kunstmest'.

Elektrificatie van de industrie, en inspelen op flexibilisering van de elektriciteitsvoorziening vergt technische oplossingen zoals een overstap van gasgestookte ketels naar elektrische boilers. Daarmee kan de industrie de shift van fossiele energie naar hernieuwbare energie versnellen, door bijvoorbeeld in te spelen op variaties in elektriciteitsproducties.

Voor de categorie Energie-efficiëntieverbeteringen zijn per geconstateerde belemmering, acties opgenomen die deze belemmering kunnen wegnemen of reduceren.

Tabel 3 Acties voor energie-efficiëntie verbeteringen

Geconstateerde belemmering	Acties
1. Onduidelijkheid bij uitvoering van energie besparende maatregelen met een terugverdientijd van minder dan 5 jaar	Monitoring van het effect van de implementatie met een audit en/of een energieparagraaf in het jaarverslag
2. Gebrek aan inzicht betreft mogelijke te nemen energiebesparende maatregelen	Uitbreiden RVO-factsheets energiebesparende maatregelen en deze als checklist meenemen bij de audits, voorlichtingscampagne
3. Gebrek aan beschikbaar kapitaal voor te nemen energiebesparende maatregelen	Financiële instrumenten ter ondersteuning van kapitaalbehoefte, Energieleningen
4. Onvoldoende slagkrachtig toezicht	Meer helderder voorschriften, criterium van terugverdientijd voor specifieke bedrijf en locatie afschaffen, verslaglegging met audit, leg uit verplichting bij afwijken van standaard, verplichte generieke maatregelen, meer handhaving, gespecialiseerde rechtspraak
5. Te weinig prioriteit van management	Transparantie in CO ₂ -emissieprestatie, labelen van meer producten op hun CO ₂ -emissieprestatie
6. Financiële prikkel om tot actie te komen is te gering	– Perceptie van de financiële opbrengst vergroten – Campagne niets doen = geldverspilling – De CO₂-prijs verhogen door slimme getrapte beperking van vrije rechten
7. Uitvoering van maatregelen stuit op praktische bezwaren	Praktische tips opnemen in RVO-factsheets, open lijst van industriële energiebureaus bij de brancheverenigingen

Carbon leakage

Het effect van Carbon Leakage, ofwel dat bedrijven uit Nederland zouden wegtrekken vanwege beperkende maatregel om emissiereductie te bewerkstelligen en elders doorgaan met hoge emissies wordt nogal eens gebruikt om maatregelen in Nederland tegen te gaan. Echter, de reden om zich in Nederland te vestigen zijn veel diverser: een gunstige ligging van zeehavens, goede infrastructuur, een stabiele sociale situatie op de arbeidsmarkt een hoog opleidingsniveau spelen vaak een primaire rol.

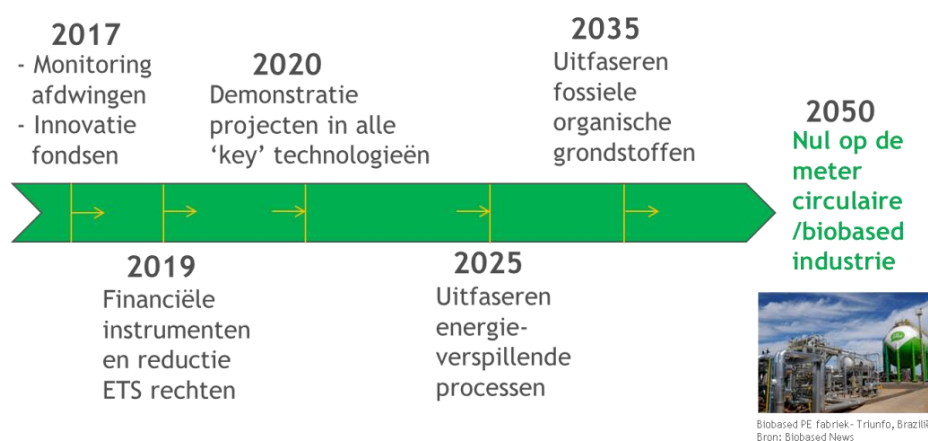
Voorts vormt energiebesparing een reductie van kosten op de lange termijn en wordt daardoor de concurrentiepositie op de lange termijn bevorderd. Het is dus zeer de vraag of aanvullend beleid direct leidt tot vertrek. Alleen bij extreem energie-intensieve bedrijven zal er effect zijn, zoals de kunstmest-industrie, die afhankelijk is van lokaal goedkoop beschikbaar aardgas. Aanvullend beleid zal ook leiden tot meer stimulansen voor innovatieve bedrijven die CO₂-arme producten en -processen leveren.

5 Beleidsopties en aanbevelingen

Met de huidige marktomstandigheden en het huidige beleid zal ongetwijfeld een deel van de acties die in het vorige hoofdstuk zijn beschreven al worden getroffen: de technologie is beschikbaar, de investeringen zijn rendabel, er zijn geen barrières in de regelgeving, de financiële en operationele risico's zijn beperkt. Dit treedt ook op bij natuurlijke vervangmomenten, waarbij door installatie van nieuwe apparatuur automatisch een lager energieverbruik meegeleverd zit.

Om de klimaatdoelen te halen is een 'business as usual'-aanpak echter ruim onvoldoende. De NEV 2015 geeft aan dat voor energiebesparing zowel het tussendoel als het einddoel voor 2020 nog buiten bereik zijn. Dit werkt direct door in het niet behalen van de daarbij horende CO₂-emissiereducties. Er is derhalve extra overheidsbeleid nodig om ook de overige acties te stimuleren en te versnellen. In dit hoofdstuk gaan we in op de verschillende soorten beleidsmaatregelen die hiervoor kunnen worden ingezet, en geven we zoveel mogelijk concrete suggesties voor beleid dat al op korte termijn kan worden geïmplementeerd om de CO₂-reductie in de sector industrie te versnellen.

Om na 'Parijs' de doelstelling van 90-95% in 2050 te behalen dienen er daarvoor al subdoelen te zijn bereikt. De volgende tijdlijn geeft dit weer voor de belangrijke subdoelen:



Voor de te nemen maatregelen om de doelstellingen te bereiken kunnen wij onderscheid maken tussen de volgende categorieën beleidsmaatregelen:

- generiek beleid;
- innovatiebeleid;
- belemmeringen wegnemen;
- faciliterend beleid;
- onderzoek naar kansen en belemmeringen van de transitie in de industrie.

De grootschalige CO₂-reductie die nodig is om de doelen te halen vereisen de inzet van een groot scala aan technische maatregelen en veranderingen, die elk met de nodige onzekerheden zijn verbonden. We hebben daarom geen beleidsmaatregelen opgenomen die specifiek gericht zijn op implementatie van één individuele techniek. Beleid dat breder is opgezet en technologisch neutraal is, is onder deze omstandigheden effectiever: de sector zelf krijgt daarmee de ruimte om de voor hen optimale maatregelen te treffen.

Hieronder volgt eerst een brede inventarisatie van potentieel geschikte beleidsmaatregelen om de benodigde actie in de industrie te versnellen. Vervolgens gaan we in op het samenstellen van een kansrijk beleidspakket. Dat doen we aan de hand van twee concrete vragen:

- Is alleen generiek beleid voldoende, of biedt een meer diverse aanpak voordelen?
- Hoe ziet het tijdpad eruit, wanneer moeten bepaalde beleidsmaatregelen worden ingevoerd?

Generiek beleid

In deze categorie vallen beleidsmaatregelen die niet technologie-specifiek zijn, maar breed sturen op CO₂-reductie in de sector. Hierbij kan worden gedacht aan de volgende concrete maatregelen:

- Op EU-niveau zorgen voor een hogere CO₂-prijs binnen het ETS:
 - Momenteel hanteert de EU als referentiescenario dat jaarlijks reductie in de ETS van 1,74% tot 2050 (CE Delft, 2016). Dit percentage dient verhoogd te worden om aan te sluiten aan 90-95% emissiereductie zoals hoort bij de in Parijs afgesproken 1,5° C temperatuurstijging.
 - Voor Nederland valt ongeveer 80% van de CO₂-emissies van de industriector onder het ETS, dus is sterk afhankelijk van ETS-prijzen.
- Nationaal: Een (verhoging van de) belasting of heffingen op energiegebruik of gericht op de uitstoot van CO₂. Daarmee worden energiebesparings- of CO₂-reductiemaatregelen rendabeler. Bijvoorbeeld:
 - Verhoging energiebelasting voor grootverbruikers (elektriciteit en gas).
 - Introductie van een CO₂-belasting op energie. Dit kan een vast tarief zijn, zoals in Scandinavische landen zoals in Zweden wordt toegepast. Of een tarief dat varieert met de CO₂-prijs binnen het ETS, om een minimum prijsniveau van CO₂-uitstoot te garanderen. Een dergelijk systeem wordt sinds 2013 toegepast in het VK (de Climate Change Levy, die bestaat uit een basisbedrag, de main rate, aangevuld met een CO₂-prijs toeslag, de carbon price support rate, voor elektriciteitsproductie uit gas, LPG en kolen (HM Revenue & Customs, 2016).
 - Introductie van een **Carbon Added Tax** (CAT), (CE Delft, 2015) als tegenhanger van BTW. Deze maatregel legt belasting op producten precies op dat onderdeel van het product wat aan CO₂-emissie gekoppeld zit volgens het 'de vervuiler betaald'-principe en juist niet op arbeid, wat ook extra werkgelegenheid stimuleert.
- Verbetering van de handhaving van de Wet milieubeheer en andere regelgeving die tot energiebewustzijn en/of energiebesparing leidt:
 - Een **verplichting** om inzicht te hebben van de energiestromen door een energiejaarrekening met energiebalans inclusief energieverliezen door een **Energiejaarrekening**. Dit gebaseerd op metingen van de deelprocessen. Dit geeft direct inzicht in de '**Lekkage van winst**'.
- Plicht om lozing van restwarmte bij hoge temperatuurniveaus te verbieden tenzij uit te leggen.
 - Ontwikkeling van een jaarlijks te updaten lijst voor iedere industrie sector met specifieke generieke maatregelen en/of een minimum energiezuinig types (labels en energie-klassen) waarmee handhavers bij bedrijven langs kunnen gaan.
 - Eenvoudige aanmelding bij RVO van leveranciers van producten en processen met energiebesparend effect via een webformulier. Na een snelle review volgt publicatie op een lijst van aanbevolen maatregelen per categorie en sector van toepassing.
 - De huidige aantoonplicht voor een terugverdientijd ligt bij de toezichthouder, wat problemen geeft, omdat in de praktijk niet alle



bedrijfseconomische informatie voorhanden is om die terugverdientijd specifiek voor dat bedrijf nauwkeurig vast te stellen.

Een té grote nadruk op alleen energiebesparende maatregelen kan leiden tot een ongewenste ‘lock-in’-situatie met verouderde technologieën. Het is dan optimaler om investeringen in nieuwe technologie te doen indien het vervangmoment zich op de niet al te lange termijn plaatsheeft. Een **conditioneel uitstel** van de handhavende dienst kan dit faciliteren, maar dit mag geenszins betekenen dat normale maatregelen van ‘Good Housekeeping’ met beperkte investeringen niet meer gedaan worden. De condities voor een dergelijk uitstel dienen uitgewerkt te worden tot een compacte goed handhaafbare richtlijn.

Circulair Beleid

- Gelijkschakelen van CO₂-emissiereductie door toepassen van hernieuwbare energie en CO₂-emissiereductie door procesveranderingen.
- Een **tenderregeling** analoog aan SDE+ opzetten voor:
 - a Energiebesparingsprojecten in de industrie.
 - b Toepassing van ‘hoogwaardige biomassa’ voor hoogwaardige toepassingen. Minimaal een ‘level playing field’ te creëren voor hoogwaardige inzet van biomassa als biobased grondstof, ten opzichte van de energie- en brandstoftoepassingen, waar de SDE+ en biobrandstofverplichting geldt.
 - c Producten op basis van groene energie en/of op basis van groene grondstoffen (op basis van een gecertificeerde LCA).
- Aanpassing van het bestaande beleid voor afval om gebruik als grondstof mogelijk te maken (het gaat hier expliciet om situaties waarin de emissies en verspreiding van toxische stoffen zónder hergebruik groter is dan mét hergebruik als grondstof). Het gebeurt nog regelmatig dat door een afvalstatus van dit restmateriaal een verantwoord hergebruik gehinderd of zelfs onmogelijk gemaakt wordt.

Daarnaast is voor de transitie naar een circulaire economie een ruim opgezet innovatiebeleid nodig.

Innovatiebeleid

Bij innovaties zijn er meerdere hindernissen die overwonnen moeten worden: eerst moet de technologie voldoende ontwikkeld worden om klaar te zijn voor grootschalige commercieel gebruik. Vervolgens moet de markt klaargemaakt worden voor het nieuwe product of proces:

- om de mate van technologische ontwikkeling aan te duiden gebruiken we de Technology Readiness Levels (TRL);
- om de mate van commerciële ontwikkeling aan te duiden passen wij de ontwikkelingsfasen volgens de innovatietheorie van Rogers toe (innovators, early adopters, early majority, late majority, laggards).

Voor beide processen van ontwikkeling zijn beschikbaarheid van kapitaal en samenwerking in de keten meestal de beperkende factoren. Daarnaast ontbreekt vaak het langetermijnkader.



Beschikbaarheid van kapitaal

Op dit moment is er in Europa veel geld beschikbaar voor de eerste stappen van het onderzoek TRL 1-3 (via de universiteiten) en de eerste verkenningen van de praktijk TRL 3-5 via de kennisinstituten. Echter, de zeer kapitaal-intensieve vertaling van in het onderzoek **bewezen technologieën** naar industriële toepassing op TRL 6-9 niveau **is op dit moment zeer moeilijk financierbaar**:

SDE+-regeling en EIA-regeling zijn niet van toepassing omdat de technologie nog niet toepasbaar is en er dus geen sprake is van een onrendabele top of een winst voor belasting waar investeringen van afgetrokken kunnen worden. Ook de grote hoeveelheid geld die beschikbaar is in de zogenoemde groenfondsen is niet relevant aangezien banken innovaties die nog niet in de markt bewezen zijn en daarom niet financierbaar achten.

- Buiten Europa voeren overheden daarom met succes industriebeleid waarbij de bedrijven die als eerste in staat zijn om een fabriek die aan bepaalde voorwaarden voldoet grotendeels betaald wordt door de overheid. Hierdoor is de technologie meteen op TRL 9 bewezen en kan daarna de markt de financiering overnemen (de technologie is immers in de praktijk op industriële schaal in continue productie bewezen). Hierbij komt, dat durfinvesteerders de tussenliggende ontwikkelstappen van TRL 6 tot 8 zelf voor financieren, in de hoop om dat geld terug te verdienen als de fabriek door de overheid betaald wordt. Een dergelijk systeem wordt **in de VS met succes toegepast**.

Om te bepalen welke innovaties voor een dergelijke ondersteuning in aanmerking komen is transparant additioneel beleid nodig. Een mogelijkheid hiervoor is een **openbare** webbased '**Energie Innovatie Denktank**' waaruit een keuze van voor Nederland strategische belangrijk geachte innovaties zal voortkomen.

- Voor bedrijven is in een zogenaamde '**Innovatie Bibliotheek**' transparant te zien welke innovaties recent naar de markt zijn gekomen en welke nog in de 'pijplijn' zitten en op termijn te verwachten zijn. Door middel van een transparante 'ranking' door experts kan focus gevonden worden welke technologische innovaties sterk zullen bijdragen in de doelstelling van CO₂-emissiereductie en worden geen innovaties 'vergeten'. Bedrijven hebben zo inzicht welke innovaties positief zullen uitwerken voor hun bedrijfsprocessen en/of MVO-beleid en kunnen deze ook actief gaan ondersteunen. De overheid kan hiermee ook financiële instrumenten proactief aanbieden aan dergelijke potentieel belangrijke en kansrijke energie innovaties en zo hun kans op succes stimuleren.
- Naast een zoals hierboven geschetste herverdeling van het bestaande onderzoeksgeld, is er ook de mogelijkheid om extra geld te creëren voor implementatieonderzoek (TRL 6-9). Dat kan door opbrengsten te genereren uit CO₂-belasting of door meer ETS-rechten uit de markt te halen en een deel terug te verkopen en de opbrengst te gebruiken voor implementatie van deze nieuwe energie ontwikkelingen.
- Zelfs voor niet innovatieve technologie zoals energie-efficiency-maatregelen waarvan rendement al jarenlang bekend is, is niet altijd 'goedkoop investeringsgeld' beschikbaar, waardoor de kosten voor bedrijven hoger zijn dan nodig. Er is daar behoefte aan fondsen voor bewezen energiebesparende maatregelen in de industrie in analogie met groenfondsen.



Samenwerking in de keten/betrekken van potentiële gebruikers

Om succesvolle innovaties te ontwikkelen is intensieve samenwerking tussen de verschillende partijen in de productieketen nodig, zeker als het gaat om aanpassingen van de grondstof zoals in het geval van een transitie naar een circulaire economie.

De hightech bedrijven in Noordoost Brabant laten zien hoe samenwerking kan leiden tot innovatiekracht. Voor andere meer traditionele sectoren is die manier van werken nog nieuw.

Het MVO Netwerk Beton is aan het verkennen hoe zij als meer traditionele industrie ook tot een meer innovatieve werkwijze kunnen komen en het onderzoek dat ook in deze sector zeker plaatsvindt sneller in de praktijk te kunnen laten landen. De Green Deal Beton is door het MVO Netwerk Beton aangegrepen om de verschillende verduurzamingsopties voor de sector op een systematische manier in kaart te brengen. In dit kader is het betonakkoord, een samenwerkingsovereenkomst met de overheid en andere belangrijke klanten van de betonindustrie in voorbereiding. In dit akkoord komen de gezamenlijke ambities van de cement- en betonindustrie en haar opdrachtgevers op het gebied van duurzaam produceren te staan en wat alle partijen nodig hebben om die ambities waar te maken. Dit is een totaalpakket van energiebesparende maatregelen tot procesinnovaties die nog net TRL 4-status hebben behaald.

Deze aanpak zou ook bij andere traditionele energie-intensieve sectoren zoals de metaalsector en de asfaltindustrie ook toegepast kunnen worden.

Langetermijnkader

In dit kader past ook het stellen van heldere en stabiele doelstellingen voor de ontwikkeling van de CO₂-uitstoot van de sector tussen nu en 2050. Daarmee zullen op zich niet directe emissiereducties bereikt worden, maar ze zorgen wel voor de plicht en druk om op basis van een concreet plan een tijdige beslissing te nemen. Dit omvat de keuze voor de noodzakelijk maatregelen en hoe hun uitvoering ter hand te nemen.

- Waar de technologie nog niet marktrijp is en een SDE+-achtige aanpak onvoldoende werkt: onderzoek steunen naar innovaties. Bijvoorbeeld op gebied van vervanging van fossiele grondstoffen door biobased grondstoffen, bioraffinage, inclusief uit afvalstromen en een biobased alternatief voor kunstmest.
- Onderzoeken op welke manier marktrijpe innovaties en de inzet van nieuwe processen het beste kunnen worden versneld. Bijvoorbeeld aan de hand van een aantal concrete maatregelen, zoals productzuiveringen met destillatie vervangen door pervaporatie membranen, adiabatische koeling, absorptiekoeling, etc.
- Extra ondersteuning voor ‘Valley of Death’ van innovatieve bedrijven. De laatste fase van succesvolle ontwikkelingen richting het marktrijp maken, is onevenredig kostbaar voor innovatieve meest kleinere bedrijven (van TRL niveau 4 naar 7). Door het percentage ondersteuning van prototypes en pilot plants te verhogen en de overheid op te laten treden als ‘launching customer’ kan dit een stuk steviger ondersteund worden.



Faciliterend beleid

- Tegengaan van verspilling van restwarmte
 - Verbod op lozing van restwarmte bij hoge temperatuurniveaus tenzij daar zeer gegronde redenen voor zijn (te kleine stroom voor 'Organic Rankine Cycle, geen burens die willen afnemen, tijdelijk geen mogelijkheid voor stoomrecompressie).
 - Een verplichting aan nutsbedrijven om te zorgen voor de nodige warmte- en stoomleidingen en teruglevering stroom aan het net.
- Een verplichting aan nutsbedrijven om te zorgen voor de nodige warmte- en stoomleidingen en teruglevering stroom aan het net.

Belemmeringen wegnemen

- In een verplichte energieparagraaf van het jaarverslag, naast de energiebesparende plannen, ook het aandeel werkelijk toegepaste duurzame energie apart vermelden. Dit naast de KPI voor het fossiele energieverbruik per eenheid van product.
- Financiële arrangementen bieden om het gebrek aan investeringskapitaal op te vangen, zoals een leningstelsel met een renteopslag.
- Belastingvoordelen voor door de markt op te richten energiebesparingsfondsen voor de industrie in analogie met groenfondsen.

Onderzoek naar kansen en belemmeringen van de transitie in de industrie

- Verder onderzoek doen naar elektrificatie van de industrie (mogelijkheden en businesscases in kaart brengen), en mogelijkheden ontwikkelen om in te spelen op flexibilisering van de elektriciteitsvoorziening. Bijvoorbeeld door factsheets te maken met elektrificatieopties inclusief businesscases (enigszins analoog aan de erkende maatregelenlijsten), FAQ's voor flex opstellen, ondersteunen technische en financiële haalbaarheidsstudies, stappen zetten om de elektriciteitsmarkt aan te passen aan de situatie met veel meer zon- en windopwekking, waardoor ook kleinere bedrijven kunnen inspelen op de prijsfluctuaties, waardoor mogelijkheden tot flexibilisering en opslag ten volle kunnen worden ontwikkeld en benut.

6 Bibliografie

CBS, 2014. *Emissies naar lucht door de Nederlandse economie; nationale rekeningen*. [Online]
[Geopend 18 Maart 2016].

CE Delft, 2013. *Inventarisatie Biobased Economy in de Nederlandse Chemie*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2014. *Energiegebruik Nederlandse commerciële datacenters 2014-2017*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2015. *Aanpalende economische effecten biobased economy*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2015. *Carbon Added Tax as an alternative climate policy instrument*, Delft: CE Delft.

CE Delft, 2016. *Investment challenges of a transition to a low-carbon economy in Europe - What sets the pace?*, Delft: CE Delft.

CPB en PBL, 2015. *Toekomstverkenning Welvaart en Leefomgeving, Nederland in 2030 en 2050: twee referentiescenario's*, Den Haag: Centraal Planbureau (CPB)/ Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).

CPB, 2008. *Two Quantitative Scenarios for the Future of Manufacturing in Europe*, no. 160, Den Haag: CPB.

Davidse Consultancy, 2012. *Warmte-energie, de motor van de industrie, Ontwikkelingen in het gebruik en de opwekking van industriële warmte*, Bennekom: Davidse Consultancy.

EC, 2014a. *Commission Staff Working Document, Impact Assessment, Accompanying the document Communication from the Commission to the EP, the Council, the EESC and the CoR, A policy framework for climate and energy in the period from 2020 up to 2030, SWD (2014) 15 fin*, Brussels: European Commission (EC).

Ellen Mc Arthur Foundation, 2016. *The New Plastics Economy - Rethinking the Future of Plastics*, Cowes, UK: World Economic Forum, Ellen Mc Arthur Foundation and McKinsey & Company.

Enweremadu, C., 2012. Energy Conservation in Ethanol-Water Distillation Column with Vapour. *InTech*.

HM Revenue & Customs, 2016. *Climate Change Levy: application, rates and exemptions. Business tax-guidance*. [Online]
Available at: <https://www.gov.uk/guidance/climate-change-levy-application-rates-and-exemptions>
[Geopend April 2016].

PBL; ECN, 2015. *Nationale Energie Verkenning 2015*, Petten: ECN/Planbureau voor de Leefomgeving (PBL).



Pervatech B.V., 2016. *Homepage Pevatech*. [Online]
Available at: <http://pervaporation-membranes.com/>
[Geopend april 2016].

Rechtbank Amsterdam, 2015. *ECLI:NL:RBAMS:2015:9147 (Aldi uitspraak)*.
[Online]
Available at:
<http://uitspraken.rechtspraak.nl/inziendocument?id=ECLI:NL:RBAMS:2015:9147>
[Geopend april 2016].

Tongeren, V., 2016. *Motie van het lid van Tongeren : Duurzame ontwikkeling en beleid, kamerstuk: 30 196, nr.407*. [Online]
Available at: [https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-30196-407.html?zoekcriteria=%3Fzkt%3DUitgebreid%26pst%3DParlementaireDocumenten%26dpr%3DAlle%26par%3DKamervragen\(Aanhangsel\)%26pnr%3D1%26rpp%3D10%26grootte%3D2&resultIndex=5&sorttype=1&sortorder=4](https://zoek.officielebekendmakingen.nl/kst-30196-407.html?zoekcriteria=%3Fzkt%3DUitgebreid%26pst%3DParlementaireDocumenten%26dpr%3DAlle%26par%3DKamervragen(Aanhangsel)%26pnr%3D1%26rpp%3D10%26grootte%3D2&resultIndex=5&sorttype=1&sortorder=4)
[Geopend april 2016].



Bijlage A Enkele voorbeelden van kansrijke innovaties

A.1 Inleiding

In deze bijlage gaan we dieper in op een aantal voorbeelden van innovaties waarmee de sector industrie, of een aantal deelsectoren, forse energiebesparing en CO₂-emissiereductie kan bereiken.

A.2 Destillatie vervangen door permeatie membranen

Een zeer gangbare manier om vloeistoffen te scheiden in de industrie is door destillatie (ca. 95%). Dit is een zeer energie-intensief proces wat naar schatting 3% van de wereldenergieconsumptie vergt (Enweremadu, 2012). Bij destillatie wordt het te scheiden mengsel van vloeistoffen met een verschillend kookpunt eerst volledig verdampt. Dan wordt in de destillatie kolom meerdere fracties afgescheiden die condenseren bij het bij de hoogte van de kolom behorende temperatuur interval. Zo belanden de zware componenten met een hoog kookpunt onderin en vluchtiger stoffen met een laag kookpunt aan de top van de destillatiekolom. Bij een redelijk verschillend kookpunt worden volledige scheidingen verkregen naar zuivere vloeistoffen.

Bij sommige mengsels treedt er een probleem op. In plaats van dat de vluchtigste stof geheel gescheiden in de top arriveert, blijft er een aandeel van andere minder vluchtige stoffen in aanwezig. Dit heet een 'azeotroop'. De meest bekende is die van alcohol en water, waarbij destillatie tot maximaal 96% aan alcoholgehalte kan opleveren. Hierbij worden aan de kolom steeds gecondenseerde vloeistof weer verdampt en gecondenseerd om zo dicht mogelijk bij dit maximum van 96% te komen (refluxen). Dit steeds verdampen is een erg energie-intensief proces. Echter, wanneer een gehalte van meer dan 96% tot >99,99% vereist is, dient bijna alle water te worden verwijderd. Dit is bijvoorbeeld het geval bij de productie van 'droge' bioethanol voor de E-benzines, waarvoor dan andere aanvullende technieken moeten worden ingezet om restwater te verwijderen, zoals toevoeging en afscheiding van een vaste stof die selectief water opneemt ('molzeven').

Toepassing van membranen die een selectiviteit hebben voor doorlating van de te verwijderen stof in dampvorm bieden hier uitkomst.

In het voorbeeld van ethanol-water leidt dit tot energiebesparing, doordat de eerder genoemde azeotroop geen barrière meer vormt kan het energieverslindende refluxen bij destillatie worden voorkomen. En in het (pervaporatie)membraan wordt alléén het te verwijderen water verdampt wat energiebesparend werkt. Ook wordt nu wél restwater boven de 96% verwijderd, wat het overvloedig gebruik aan molzeef voorkomt. Het hiervoor gebruikte membraanprincipe heet 'pervaporatie'. Dergelijke membranen zijn vaak polymeren, maar recent zijn ook robuustere keramische membranen ontwikkeld en op de markt gekomen (Pervatech B.V., 2016). Bijkomend voordeel is dat membraansystemen in de meeste gevallen veel compacter zijn.





Bron: Sulzer, Pervap™

A.3 Verdamping vervangen door micro-filtratie membranen

Bij scheiding van vaste stof uit een vloeistoffase worden verdampers gebruikt. Vooral daar waar er ruime hoeveelheden water worden verdampt is er sprake van een hoog energieverbruik, omdat water een uitzonderlijk hoge verdampingsenthalpie heeft.

Afscheiding van de vaste stof uit de vloeistoffase en/of ontwatering door middel van een membraan voorkomt dat er op grote schaal vloeistof verdampt dient te worden. Micro-filtratie membranen zijn in staat om vaste stofdeeltjes af te scheiden tot een minimum van 0,1 μm . Ook hier wordt veelal van polymere membranen gebruik gemaakt en worden steeds meer keramische membranen ingezet voor veeleisende toepassingen en daar waar een lange levensduur vereist wordt. Ook hier kan de toepassing van membranen leiden tot een compactere installatie.

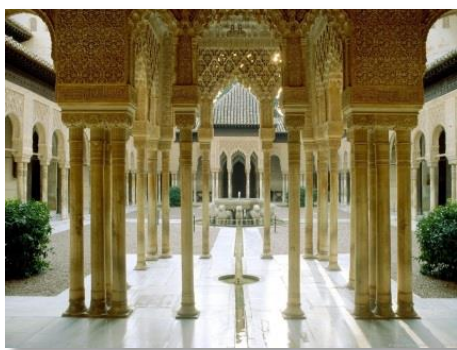


Bron: Pall microfiltratie membraansysteem, Pall website.

A.4 Adiabatische koeling

Koeling op basis van compressoren is de meest voorkomende vorm van koelen van bedrijfs-, server- en kantoorruimtes. Echter, dit principe is erg energie-intensief. Vaak zijn de aanschafkosten relatief laag, maar de operationele kosten van het elektriciteitsverbruik hoog. Een typische airconditioning voor een bedrijfsruimte heeft een elektrische aansluitwaarde van rond de 100 kW_e.

Adiabatische koeling ofwel waterverdampingskoeling is een eeuwenoud principe wat op basis van verdamping van water bij omgevingsdruk (adiabatisch) werkt.



De hoge verdampingswarmte (enthalpie) van water werkt hier in het voordeel, waardoor met een beperkte hoeveelheid water het gewenste koelend effect bereikt wordt. In veel gevallen is de bevochtiging van de warme binnenlucht een bijkomend voordeel zoals in bedrijfsruimten waarbij gewerkt wordt met voedsel.

Dit type koeling werkt bij atmosferen die niet al volledig verzadigd aan vocht zijn, dus een niet al te hoge relatieve luchtvochtigheid kennen. Het principe koelt een vast aantal graden, onafhankelijk van de absolute buitentemperatuur. Het systeem is geschikt voor koelen van bedrijfsruimten en glazen atria, maar minder of niet geschikt om alleenstaand te gebruiken in serverruimten, waarbij koelsystemen een lage maximale temperatuur moeten kunnen garanderen. Deze grens kan in de praktijk veel hoger liggen dan momenteel toegepast (CE Delft, 2014).

Een typische adiabatische koelunit voor een bedrijfsruimte vergt, afhankelijk van het oppervlak, slechts 1-3 kW_e aan elektrisch vermogen (tot 7x minder elektragebruik) voor 40-100 kW aan koelvermogen en een wateraansluiting.



Bron: Colt Coolstream adiabatische koeler, Colt website.

A.5 (Hydro-)pyrolyse van biomassahoudende reststromen

Reststromen van biomassa worden nu nog vaak gestort of verbrand in een afvalverbrandingsinstallatie (AVI). Een efficiëntere aanpak is om deze stromen te verwaarden naar hoogwaardiger energiedragers. Conversie van biomassa reststromen naar energiedragers kan op verschillende manieren plaatsvinden, waaronder de belangrijkste:

1. Vergassen.
 - Middel- tot grote schaal is noodzakelijk, energieverlies, vaak vloeibare zuurstof nodig, geen productopslag mogelijk - noodzaak tot directe conversie van het syngas product naar elektriciteit en/of warmte.
2. (Hydro-)pyrolyse.
 - Kleine tot grote schaal is mogelijk, plastics worden ook omgezet, energie-efficiënt, gesloten systeem, de vloeibare fractie is op te slaan, kwaliteit van de olie is wisselend: van laagcalorisch en zuur bij gewone pyrolyse tot hoogcalorisch 'drop-in' voor hydropyrolyse, het gevormde syngas is direct om te zetten in E of warmte.
3. Enzymatische conversie.
 - Kleine tot grote schaal, werkt alleen in op niet houtachtige biomassa, omzetting van natte biomassa uit huishoudelijk afval naar biogas, werkt positief op nageschakelde afscheiding van recyclebare plastics, het resterende deel van de reststromen gaat naar de AVI.

(Hydro)pyrolyse is aantrekkelijk omdat er direct in de eerste stap een **vloeibare fractie** ontstaat, die kan worden opgeslagen voor later gebruik of voor verkoop als feedstock voor groene brandstoffen kan worden ingezet. De scheepvaart is in het bijzonder op zoek naar duurzame feedstocks met een laag zwavelgehalte, mede door gewijzigde regelgeving.

Een ander voordeel is dat het proces **afvalmengsels** met plastics en biomassa kan omzetten en er dan dus nauwelijks scheiding vooraf noodzakelijk is. Dit is met name van belang voor de grote stromen met laagwaardige biomassa zoals in huishoudelijke afvalstromen.

Er is voor pyrolyse een belangrijke rol weggelegd in de biobased routes. Hierbij worden reststromen van de biobased processen weer gevaloriseerd tot energetische grondstoffen en organische zuren voor de biobased processen. Op termijn en na enige ontwikkeling zullen ook grondstoffen voor monomeren en groene smeermiddelen kunnen worden geproduceerd.

Een aandachtspunt is dat de meeste huidige typen pyrolyseprocessen alleen met schone plastics stromen een goede en vermarktbare brandstof kunnen produceren en het proces met biomassa nog onstabiele laagcalorische zure pyrolytische olie oplevert. Hydropyrolyse moet daar op termijn een verbetering in gaan brengen.



Snelle pyrolyse voor elektriciteitsopwekking, CARE-BTG.