



De technologische industrie: aanjager van de energietransitie

Routekaart

Routekaart voor CO₂-reductie in de
technologische industrie

Mei 2019



Berenschot

De technologische industrie: aanjager van de energietransitie

Routekaart voor CO₂-reductie in de
technologische industrie

Dit project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken, Nationale regelingen
EZ-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.

Niki Lintmeijer | Jan Warnaars | Bert den Ouden
Mei 2019

Inhoudsopgave

Voorwoord	6
Management samenvatting	8
1. Inleiding	14
1.1 CO ₂ -reductie in de technologische industrie.....	15
1.2 Over de sector	16
1.3 Een routekaart met uitvoerend perspectief.....	16
2. De CO₂-reductie opgave van de sector	18
2.1 De energietransitie voor de technologische industrie.....	19
2.2 Historische CO ₂ -uitstoot en reductie opgave.....	20
2.3 Energieverbruik van de sector	20
2.4 Verdeling energieverbruik naar processen	21
3. De sector als aanjager van de energietransitie	22
3.1 De aanjager van innovatie in 5 thema's.....	23
3.2 Technologie voor CO ₂ -reductie in verschillende sectoren	24
4. Oplossingen voor CO₂-reductie in de technologische industrie	28
4.1 Duurzame energie.....	30
4.2 Energiebesparing	32
4.3 Inzet van nieuwe energietechnologie.....	33
4.4 End-of-pipe	35
4.5 Circulariteit.....	35
4.6 Ecodesign	36
4.7 Conclusies ten aanzien van technische haalbaarheid.....	37
5. Economisch perspectief	40
5.1 Kosteneffectiviteit van maatregelen: een macro-economisch perspectief	41
5.2 Gevoeligheid voor prijsstijgingen en verduurzaming van het elektriciteitspark	43
5.3 Kosteneffectiviteit in micro-perspectief: enkele voorbeeldcases	44
5.4 Conclusies ten aanzien van economisch perspectief.....	46
6. Voorbeeldroute naar -49% CO₂-reductie	48
6.1 Voorbeeldroute: mix van maatregelen	49
6.2 Doorkijk naar 2050	51
7. Conclusies, versnellende factoren en randvoorwaarden	52
7.1 Overkoepelende conclusies ten aanzien van CO ₂ -reductie	53
7.2 Versnellende factoren en randvoorwaarden tot 2030	55
7.3 Innovatie voor de transitie	56
7.4 Belangrijke stakeholders in de energietransitie.....	56
7.5 Aanbevelingen.....	57
Bijlage	58
1. Ontwikkelingen in het elektriciteitspark	59
2. Methodologie.....	59
3. Gehanteerde aannames	62
4. Bronnen	64

Voorwoord

Nederland heeft in het Regeerakkoord 2018 als doel gesteld om de uitstoot van broeikasgassen in 2030 met 49% te verminderen ten opzichte van het niveau van 1990. De industrie moet jaarlijks 14,3 Mton minder CO₂ gaan uitstoten. De energietransitie die hiervoor noodzakelijk is, betekent een gigantische opgave. Een opgave waaraan ik samen met de technologische industrie in al haar diversiteit graag een bijdrage aan lever.

FME is de ondernemersorganisatie van de technologische industrie waar 2.200 bedrijven bij zijn aangesloten. FME vertegenwoordigt energie-intensieve bedrijven die een grote opgave hebben en fors moeten investeren, maar ook bedrijven die met duurzame technologie een bijdrage leveren aan de energietransitie en hierin economische kansen zien. Hiermee vertegenwoordigt FME een van de meest diverse industrieën van Nederland, waarin kansen en uitdagingen van de energietransitie gebundeld zijn.

Onze visie: versnelling van de energietransitie door technologische innovatie

De visie van FME is dat het Nederlandse klimaatbeleid voor de energie-intensieve bedrijven ambitieus, maar realistisch moet zijn. De route naar 49% CO₂-reductie in 2030 moet haalbaar, betaalbaar en uitvoerbaar zijn. Bovendien vindt FME dat de technologische industrie de energietransitie in de eigen sector, maar ook nadrukkelijk in andere sectoren in binnen- en buitenland, moet faciliteren en helpen versnellen. FME ziet het als haar missie om de technologische industrie zo te helpen organiseren dat we een grote bijdrage leveren aan de maatschappelijke uitdaging die Nederland hierin heeft. De sector heeft immers alles in huis om dat waar te maken. De opgedane ervaring hierin biedt bovendien nieuwe kansen om onze kennis en technologie ook toe te passen in andere landen. Op deze wijze kan het Nederlandse bedrijfsleven een grotere impact hebben dan normaal gesproken voor een klein land is weggelegd.

Onze opdracht: -49% CO₂ in 2030

Vanuit deze visie heeft FME aan Berenschot gevraagd om samen met FME lidbedrijven en de brancheverenigingen AVNEG (Gietrijen) en VNMI (basismetaleen) twee 'Klimaatroutekaarten energie en CO₂' op te stellen: één voor de technologische industrie en één voor de metallurgische industrie. Beide routekaarten geven inzicht in de wijze waarop de ambitieuze doelstelling tot en met 2030 gerealiseerd kan worden. Daarnaast heeft dit traject een inspirerende 'Klimaatkansenkaart' opgeleverd, die een concreet overzicht biedt van wat de technologische industrie aan andere sectoren kan bieden en welke CO₂-besparingen deze verschillende mogelijkheden opleveren.

In deze routekaarten is ook met een economische blik gekeken. Wat is de benodigde investering voor verschillende maatregelen? Welke kostenbesparingen gaan hiermee gepaard? De roadmaps laten zien welke technologie direct toepasbaar is, en waar een kostendaling of innovatie nog noodzakelijk is. Hiervoor is een zogenoemde cost-abatement curve opgenomen. Bedrijven willen immers ook concrete adviezen, die snel toepasbaar zijn.

Toekomstbestendige kaarten

Op nationaal niveau komt er een klimaatwet waarmee Nederland de 49% CO₂ reductie in 2030 borgt. De wijze waarop Nederland dat gaan doen wordt vastgelegd in het Ontwerp Klimaatakkoord, waarover lang onderhandeld is. FME heeft aan dit proces bijgedragen door deelname aan diverse tafels, werkgroepen en vele gesprekken met betrokken organisaties. Het Ontwerp Klimaatakkoord is een goede basis maar iedereen weet dat de praktijk straks anders wordt dan vooraf is bedacht. Daarom heeft FME ervoor gekozen de inhoud van de Klimaatroutekaarten en Klimaatkansenkaart te laten baseren op feitelijke kennis, wetenschappelijke- en economische uitgangspunten en logische redeneringen. De inhoud is daarmee los te zien van de onderhandelingen en politieke- en maatschappelijke discussies in en rond het Klimaatakkoord.

In de Klimaatroutekaarten en -kansenkaart moet een slimme, robuuste en praktische uitvoeringsagenda voor bedrijven centraal staan. We denken dat voorliggende rapporten hiervoor een goed houvast bieden en ook de komende jaren voor bedrijven en andere organisaties bruikbaar zijn en blijven.

Tenslotte wil ik alle bedrijven, die betrokken zijn bij de uitvoering van deze opgave, veel succes wensen.

Ineke Dezentjé Hamming-Bluemink
Voorzitter FME



Management samenvatting



De technologische industrie brengt route tot 49% CO₂-reductie in kaart

In deze klimatroutekaart wordt een beeld geschetst van de manier waarop de technologische industrie de uitstoot van broeikasgassen tot 2030 met 49% kan verminderen. Deze doelstelling is in lijn met het ontwerp van het Nederlandse Klimaatakkoord, dat voortkomt uit de internationale afspraken om in 2050 de wereldwijde uitstoot van broeikasgassen met 95% te reduceren.

De technologische industrie, vertegenwoordigd door FME, is een van de meest diverse industriële sectoren van Nederland. De 2.200 leden van FME zijn techno starters, handelsbedrijven, kleine industrieën en grote multinationals die actief zijn in de sectoren metaal, elektronica, elektrotechniek en kunststof. Met een omzet van ruim 100 miljard en circa 280.000 medewerkers levert de technologische industrie een belangrijke bijdrage aan de Nederlandse economie.

De aanjager van de energietransitie

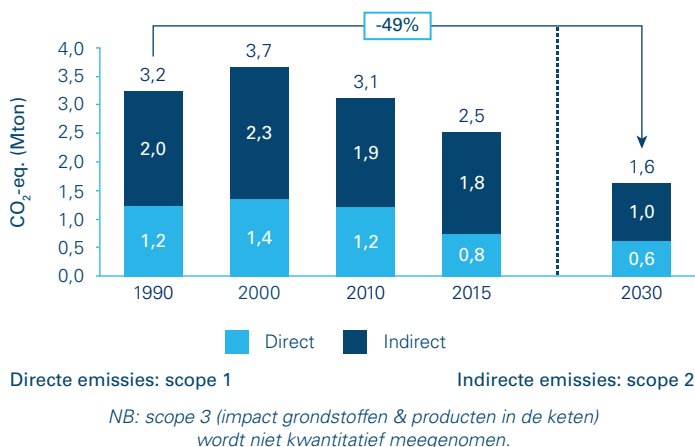
De technologische industrie speelt in de energietransitie een bijzondere rol. Aan de ene kant heeft de industrie een eigen opgave voor het verminderen van de uitstoot van CO₂ in productieprocessen. Aan de andere kant levert de technologische industrie door haar innovatieve kracht een grote bijdrage aan CO₂-reductie in andere sectoren. Denk daarbij aan oplossingen voor de industrie, de elektriciteitssector, mobiliteitssector en de gebouwde omgeving in verschillende verduurzamingsthema's:

- Energiebesparing – van LED-verlichting tot efficiëntere motoren;
- Circulariteit – van recycling tot circulaire product-as-a-service business modellen;
- Elektrificatie en opslag – van warmtepompen tot accu's;
- Duurzame energie – van geïntegreerde PV panelen tot funderingen voor windmolens;
- Automatisering en digitalisering – van slimme regelsystemen tot smart maintenance.

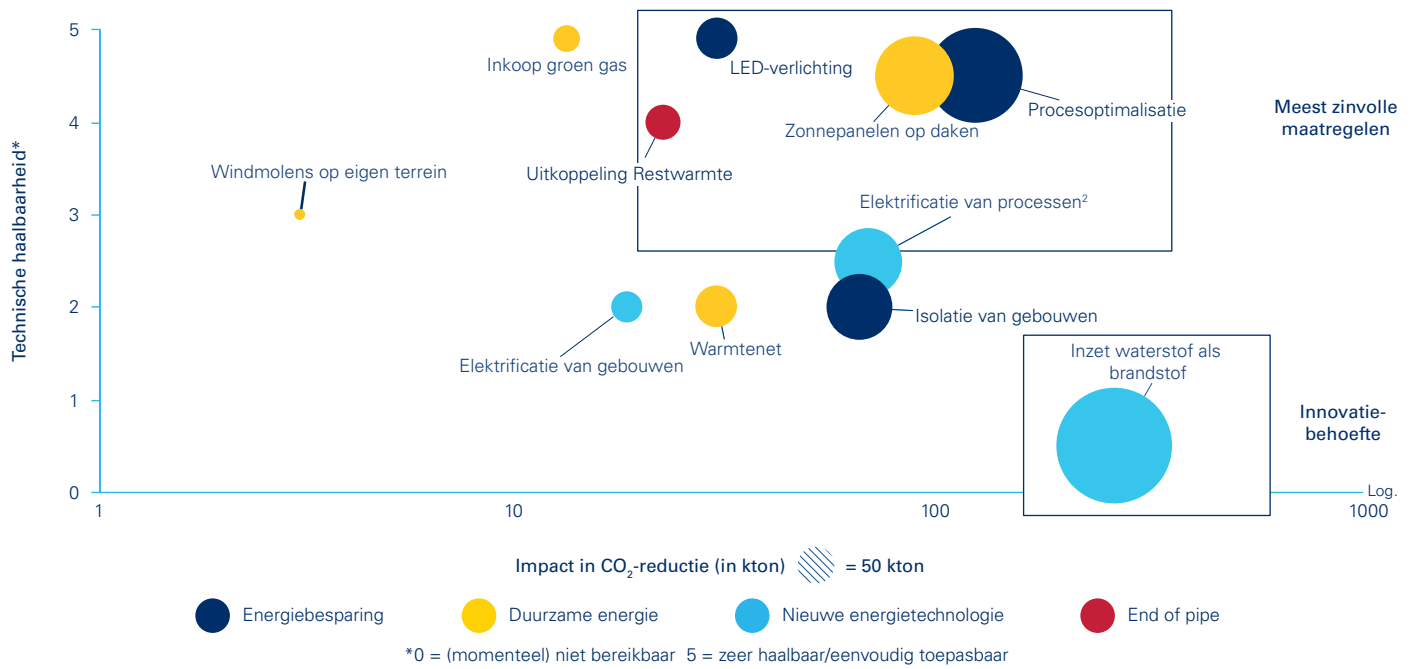
De eigen CO₂-reductie opgave is haalbaar met een mix van energiebesparing en duurzame energie

De technologische industrie haalt haar energie voor ongeveer 50% uit aardgas en 50% uit elektriciteit; deze energie wordt voor twee derde gebruikt voor productieprocessen en voor één derde voor verlichting en verwarming van gebouwen. Hoewel de sector gemiddeld met 3% per jaar is gegroeid vanaf 1990, is de uitstoot van broeikasgassen tot 2015 met bijna 20% afgenomen.

Emissies elektrotechnische,- machine,- en transportmiddelenindustrie



Figuur 1. Emissies CO₂eq technologische industrie. Onder equivalenten vallen naast de CO₂ ook uitstoot van andere gassen zoals methaan (CH₄) en distikstofoxide (N₂O) – met weliswaar relatief lagere uitstootvolumes maar een relatief hogere broeikaswerking in vergelijking met CO₂. Directe emissies (scope 1) worden veroorzaakt door processen binnen het bedrijf. Indirecte emissies (scope 2) worden veroorzaakt door processen buiten het bedrijf (voornamelijk elektriciteit).

Technisch potentieel van CO₂-besparing (in kton) en technische haalbaarheid per maatregel (schaal 0-5)

Figuur 2. Technisch potentieel van CO₂-besparing versus technische haalbaarheid per maatregel.

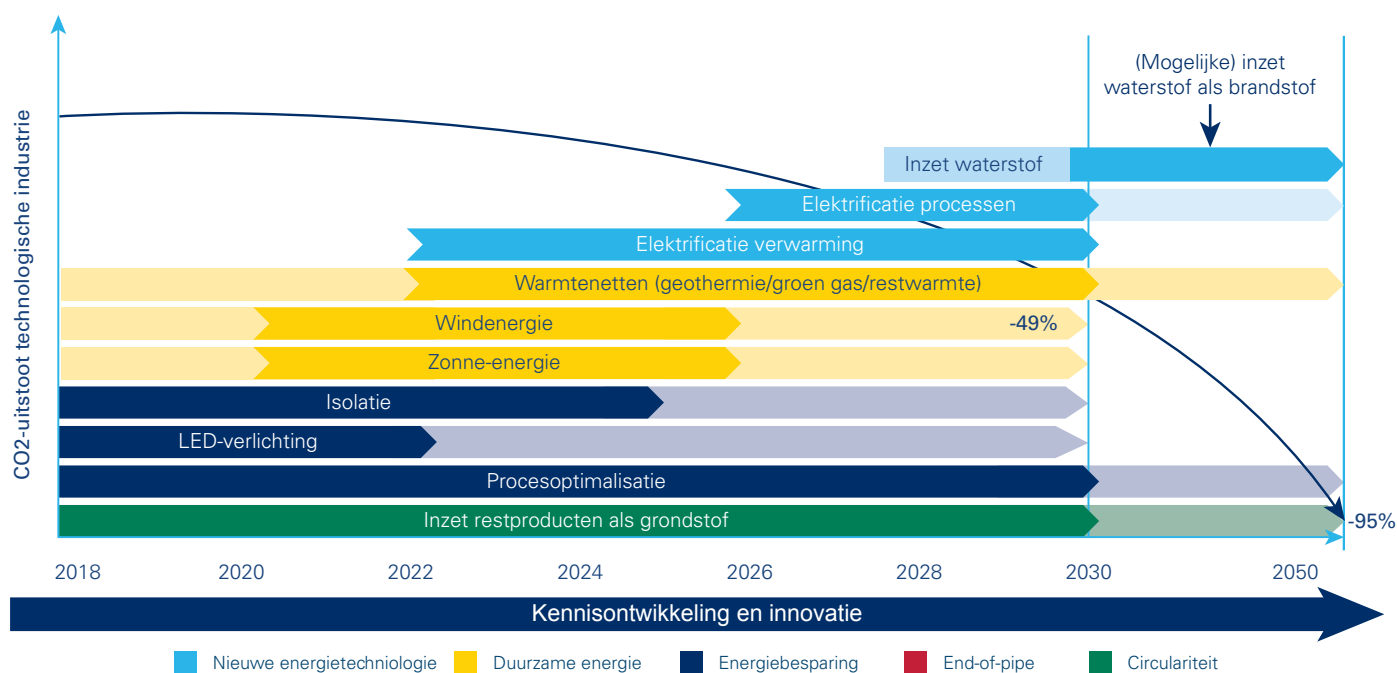
Voor de resterende opgave is een combinatie van maatregelen denkbaar, met grote verschillen in impact en technische haalbaarheid, zoals aangegeven in figuur 2.

In een voorbeeldroute voor de technologische industrie wordt getoond dat 49% CO₂-reductie tot 2030 haalbaar en meest zinvol is met een combinatie van energiebesparing, procesoptimalisatie, elektrificatie van processen, verduurzaming van gebouwen en zonnepanelen op daken. Daarnaast zijn een snelle adaptatie van LED-verlichting en isolatie nodig om aan de gebouwnormen te voldoen. Isolatie wordt daarbij gezien als noodzakelijke stap om in een later stadium ook de ruimteverwarming te kunnen elektrificeren. In een niet-geïsoleerd gebouw is deze stap namelijk technisch niet haalbaar.

De verdere opschaling van decentrale opwekking van elektriciteit (uit windmolens en zonnepanelen) zorgt vanaf 2020 voor een grote toevoeging van lokale duurzame elektriciteit in Nederland. Dat betekent dat de emissies die afkomstig zijn van elektriciteitsproductie in de loop der jaren zullen afnemen. Elektrificatie van processen zal vanwege deze ontwikkeling pas richting 2030 lonen, omdat de huidige emissies van elektriciteitsproductie hoger zijn dan de emissies die vrijkomen bij de verbranding van aardgas in huidige bedrijfsprocessen. Dit geldt niet voor de elektrificatiemogelijkheden die tegelijkertijd voor een hogere efficiëntie zorgen.

De inzet van waterstof in de technologische industrie lijkt (op grote schaal) pas na 2030 haalbaar, aangezien dit een landelijke infrastructuur vergt en vraagt om hoeveelheden duurzame waterstof die momenteel nog niet voorhanden zijn. De inkoop van groen gas zal op basis van fairshare (het aandeel gas in de technologische industrie is klein ten opzichte van andere gebruikers) over het algemeen weinig bijdragen aan de CO₂-reductie van de technologische industrie.

Voor het toepassen van dergelijke verduurzamingsmaatregelen zijn investeringen benodigd. Investerings voor de voorbeeldroute liggen voor de technologische industrie als geheel in de orde van 500 miljoen euro, waarbij het leeuwendeel in zonnepanelen geïnvesteerd wordt.



Figuur 3. Tijdlijn van maatregelen voor de voorbeeldroute. Pijlen geven een indicatie van waar het zwaartepunt van de maatregelen ligt.

De transitie kent een onrendabele top

Overkoepelend geldt dat – vergelijkbaar met andere sectoren – ook in de technologische industrie een spanning bestaat tussen gezonde bedrijfsvoering en extra kosten voor CO₂-reductie. Dit is met name voor die bedrijven van belang die voor hun investeringsbeslissingen afhankelijk zijn van een moederorganisatie in het buitenland. Vanuit economisch perspectief bestaan grote verschillen tussen de haalbaarheid van maatregelen. Energiebesparende maatregelen als LED-verlichting en procesoptimalisatie zijn in veel gevallen – afhankelijk van het bedrijfsprofiel – in enkele jaren terug te verdienen. Andere maatregelen, zoals de eigen opwekking van zonne-energie, isolatie en elektrificatie van gebouwverwarming, kunnen op langere termijn rendabel zijn. Maatregelen die te maken hebben met de inzet van een alternatieve brandstof zijn over het algemeen onder huidige omstandigheden niet rendabel.

Een belangrijke factor in het economisch perspectief van een maatregel betreft de elektriciteitsprijs in vergelijking met de aardgasprijs. Veel elektrificatiemaatregelen zijn momenteel niet rendabel vanwege de hogere operationele energiekosten. Ook voor de inkoop van groene stroom geldt dat de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs van groot belang is voor de investeringsbeslissing van een bedrijf.

De sector is afhankelijk van externe factoren

De haalbaarheid van CO₂-reductie in de technologische industrie is voor een groot deel afhankelijk van verwachte ontwikkelingen in de energiesector. Elektrificatie van processen heeft immers alleen een positief effect op de uitstoot als de gebruikte elektriciteit afkomstig is van duurzame bronnen. De sector kan hierin een bijdrage leveren door de implementatie van zonnepanelen op daken, maar kan hiermee niet haar gehele elektriciteitsvraag afdekken. Ook andere externe factoren zijn van belang in de versnelling van de energietransitie, zoals de structuur van nettarieven voor elektrificatie en de beschikbaarheid van infrastructuur, bijvoorbeeld voor waterstof. Voor de interne organisatie geldt dat het tonen van leiderschap vanuit de sector en etaleren van succesfactoren belangrijk blijft in het vergroten van urgentie en draagvlak voor de energietransitie. Ook de invoering van een brancheprogramma of -aanpak kan helpen om de agendering binnen de sector te versterken.

Zet in op samenwerking en innovatie

Een belangrijk element op de innovatie-agenda in de technologische industrie betreft de ontwikkeling van elektrificatietechnieken die een hogere efficiëntie hebben dan vergelijkbare systemen op aardgas. Denk daarbij aan (hoge temperatuur) warmtepompen, die door hun hoge efficiëntie in operationele kosten voordeel hebben boven aardgasgedreven alternatieven. Ook de toepassing van verbeterde opslagmogelijkheden zoals accu's kan met name in de technologische industrie een belangrijke bijdrage leveren. Hiermee kan de relatief grote hoeveelheid aan duurzaam opgewekte energie afkomstig van eigen daken beter gedurende de dag inzetbaar worden, waarmee systeemkosten en curtailment (het afschakelen van duurzame elektriciteitsproductie) in de energiesector kunnen worden voorkomen.

Samenwerkingen met de (landelijke en regionale) overheid, de energiesector en kennisinstellingen zal de komende jaren extra relevant worden om een versnelling van de energietransitie te bewerkstelligen. Denk daarbij aan samenwerkingen met de energiesector voor de productie van duurzame energie, samenwerkingen met kennisinstellingen voor het opstarten van demo-projecten of samenwerkingen met externe financieringspartijen om de haalbaarheid van investeringen te vergroten.

Inleiding

Hoofdstuk 1



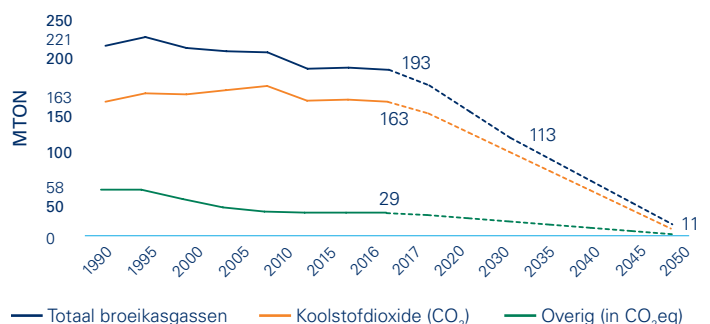
1.1 CO₂-reductie in de technologische industrie

In 2015 zijn in het Parijsakkoord op internationaal niveau afspraken gemaakt over het terugdringen van broeikasgassen tot 2050. Met de ondertekening van dit akkoord heeft Nederland zich gecommitteerd aan het nemen van maatregelen om de wereldwijde temperatuurstijging ruim onder de 2 graden Celsius te houden. In dit kader vonden het afgelopen jaar de onderhandelingen plaats voor een Klimaatakkoord, waarin met een groot aantal partijen is nagedacht over maatregelen om de Nederlandse CO₂-uitstoot met 49% te verminderen in 2030. Een doelstelling die in alle sectoren vraagt om een vertaling naar concrete acties voor de komende jaren.

De technologische industrie, vertegenwoordigd door FME, is één van de meest diverse industriële sectoren van Nederland. De technologische industrie bestaat uit de metaalproducten industrie, elektrotechnische- en machine-industrie, transportmiddelenindustrie en bedrijven actief in reparatie, onderhoud en services van machines¹.

Gezamenlijk dragen de bedrijven in de technologische industrie voor ongeveer 2% bij aan de uitstoot van CO₂ in de gehele industrie. In het Klimaatakkoord is deze groep bedrijven dan ook vertegenwoordigd in de werkgroep 'kleinere uitstoters en nieuwe groeimarkten'.

Opgave voor de uitstoot van broeikasgassen in Nederland: 1990 - 2050 (in Mton CO₂eq)




Figuur 4. Opgave voor verminderen uitstoot van broeikasgassen in Nederland

¹ Volgens SBI-code 25 t/m 30 + 33. Parallel aan deze routekaart is een klimaatroutekaart opgesteld voor de metallurgische industrie (SBI 24). Deze sector wordt vertegenwoordigd door de brancheverenigingen VNMI en AVNeG die zijn aangesloten bij FME.

In deze klimaatroutekaart wordt een beeld geschetst van de manier waarop de technologische industrie de uitstoot van broeikasgassen tot 2030 met 49% kan verminderen. Daarbij wordt niet alleen gekeken naar de opgave van de sector in het reduceren van eigen broeikasgassen, maar ook naar de bijdrage van de bedrijven aan andere sectoren. De technologische industrie speelt immers met de ontwikkeling van duurzame technologie een belangrijke rol in de energietransitie.

1.2 Over de sector

In de technologische industrie in Nederland is een breed scala aan bedrijven actief. De 2.200 leden van FME zijn techno starters, handelsbedrijven, kleine industrieën en grote multinationals die actief zijn in de sectoren metaal, elektronica, elektrotechniek en kunststof. Met een omzet van ruim 100 miljard² en circa 280.000 medewerkers³ levert de technologische industrie een belangrijke bijdrage aan de Nederlandse economie (zie Figuur 5). Bovendien speelt de sector in de energietransitie een bijzondere rol. Aan de ene kant heeft de industrie een eigen opgave voor het verminderen van de uitstoot van CO₂ in productieprocessen. Aan de andere kant levert deze groep bedrijven ook een bijdrage aan de realisatie van CO₂-reductie in andere sectoren. Zo kunnen producten die door de technologische industrie worden gemaakt direct bijdragen aan CO₂-reductie in de keten. Denk daarbij aan energiezuinige apparaten voor huishoudens, hoge temperatuur warmtepompen voor de industrie en efficiënte aandrijvingen voor vervoersmiddelen. In deze klimaatroutekaart voor de technologische industrie worden beide kanten van deze sector belicht.



Metaalproductenindustrie (SBI 25)	11.570 bedrijven	83.000 medewerkers	20 mrd omzet
Elektrotechnische- en machineindustrie (SBI 26-28)	5.595 bedrijven	125.000 medewerkers	52 mrd omzet
Transportmiddelenindustrie (SSBI 29-30, 33)	9.860 bedrijven	78.000 medewerkers	28 mrd omzet

Figuur 5. Kerncijfers van de technologische industrie

1.3 Een routekaart met uitvoerend perspectief

In deze routekaart worden verschillende oplossingsrichtingen en maatregelen gepresenteerd die in de industrie kunnen bijdragen aan de directe of indirecte vermindering van CO₂-uitstoot. Elk van de oplossingsrichtingen is voorzien van een technisch-economische analyse, waarmee de haalbaarheid, kansen en uitdagingen van verschillende richtingen worden belicht. Ook wordt aandacht besteed aan de bijdrage van de sector aan CO₂-reductie in andere sectoren. Gezamenlijk dienen deze inzichten als eerste stap richting een uitvoeringsagenda voor CO₂-reductie in de technologische industrie.

De klimaatroutekaart heeft als doel om bedrijven in de technologische industrie inzicht te verschaffen in de manier waarop zij tot vergaande CO₂-reductie in 2030 kunnen komen. Daarmee biedt de routekaart nadrukkelijk een uitvoerend perspectief. Daarnaast schetst de routekaart een beeld van belemmeringen en randvoorwaarden die de implementatie van maatregelen in de weg kunnen staan. Deze factoren zijn vertaald in aanbevelingen voor beleidsmakers actief in de landelijke en regionale klimaatdiscussies.

De routekaart is tot stand gekomen in samenwerking tussen FME, VNMI, AVNeG en Berenschot. In het proces zijn de leden van FME betrokken geweest via workshops, enquêtes, individuele interviews en een klankbordgroep. Dit proces heeft naast de voorliggende routekaart een klimaatroutekaart voor de metallurgische industrie opgeleverd, alsmede een kanskaart waarmee de bijdrage van technologische bedrijven aan de energietransitie in andere sectoren wordt benoemd.

2 CBS (2018). Statline, Banen van werknemers; bedrijfsgrootte en economische activiteit (SBI 2008)

3 CBS (2018). Statline, Arbeidsrekening; arbeidsvolume naar bedrijfstak en geslacht; 1969-2016

De CO₂-reductie opgave van de sector

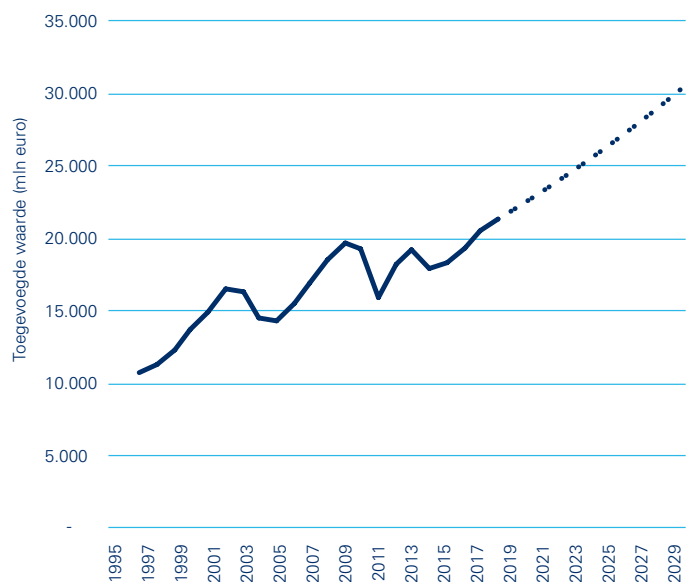
Hoofdstuk 2



De technologische industrie heeft als doelstelling om haar eigen emissies te verminderen zonder dat dit de economische groei van de sector beïnvloedt. In lijn met het Klimaatakkoord is de doelstelling om de absolute CO₂-uitstoot van de sector in 2030 met 49% terug te dringen ten opzichte van 1990. In 2050 zou de sector vrijwel geheel klimaatneutraal moeten opereren.

2.1 De energietransitie voor de technologische industrie

Door de veelzijdigheid van de sector en de raakvlakken met uiteenlopende sectoren vergt de energietransitie voor elk bedrijf binnen de technologische industrie een andere aanpak. FME, als brancheorganisatie voor de technologische industrie, zet voor de branche als geheel in op het behalen van milieudoelstellingen en duurzaam ondernemen. Binnen het kader van de energietransitie neemt een deel van de technologische industrie – de zogenaamde ‘top 250’ van grote bedrijven – deel aan het convenant Meerjarenafspraken Energie Efficiëntie (MJA/MEE) in samenwerking met de Nederlandse overheid. Binnen dit kader werkt de sector al jaren aan afspraken met betrekking tot energiebesparing met zichtbaar resultaat. Ook is FME actief in het SER Energieakkoord voor duurzame groei en maakt het deel uit van de SER borgingscommissie. Afspraken die in het Energieakkoord zijn gemaakt lopen vanaf 2023 over in afspraken binnen het Klimaatakkoord.

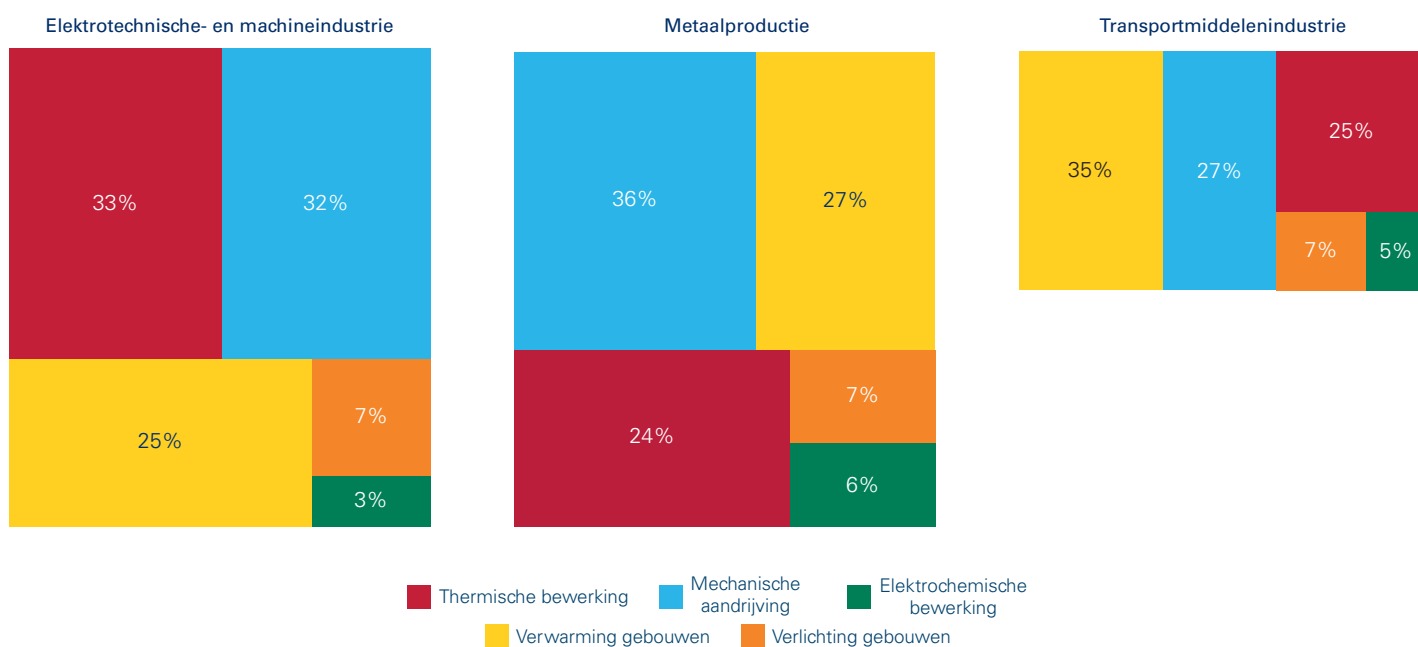


Figuur 6. Historische en verwachte groei in toegevoegde waarde van de technologische industrie (in mln euro)

2.4 Verdeling energieverbruik naar processen

Om te kunnen bepalen welke maatregelen relevant zijn in de technologische industrie, is het nodig om een beeld te hebben van het energieverbruik van verschillende processen. Figuur 9 laat zien dat het type processen en verdeling in energieverbruik voor de drie subsectoren vergelijkbaar is. Het verwarmen van gebouwen, thermische bewerking van producten en de mechanische aandrijving van processen zijn de hoofdverbruikers binnen de technologische industrie. Denk bij thermische bewerkingen bijvoorbeeld aan thermische materiaalbehandelingen, zoals drogen, lakken, snijbranden en gutsen en bij mechanisch aangedreven processen aan spanloze bewerkingen (knippen, walsen, persen, smeden duntrekken) of mechanische eindafwerkingen (honen, leppen, (staal)borstelen).

Het verwarmen van gebouwen en de thermische bewerking van producten vindt voornamelijk plaats door de inzet van aardgas als energiedrager. Daarentegen vindt het mechanisch aandrijven van machines uitsluitend plaats door het gebruik van elektriciteit. In relatief beperkte mate vinden in de technologische industrie ook elektrochemische bewerkingen plaats. Deze processen gebruiken vaak een combinatie van aardgas (voor verwarming) en elektriciteit (voor het proces). Tenslotte gebruikt de industrie relatief veel elektriciteit voor verlichting, vanwege het aantal en de grootte van de bedrijfshallen in de technologische industrie.



Figuur 9. Verdeling energieverbruik per sub-sector

De sector als aanjager van de energietransitie

Hoofdstuk 3



De energietransitie vraagt om moderne en duurzame technologische oplossingen. Niet alleen voor CO₂-reductie in de technologische industrie, maar ook in grote mate voor de opgave in andere sectoren. Technologie is immers de fundatie voor de verduurzaming van processen, gebouwen, energieopwekking en vervoer. Onderzoek van het ING Economisch Bureau wijst uit dat nieuwe technologie zelfs kan zorgen voor een CO₂-reductie van 64% richting 2050¹⁰. Zeker met het oog op een groeiende economie, zal de ontwikkeling van innovatieve technologie in de komende jaren van essentieel belang zijn.

Als technologische industrie spelen de leden van FME een belangrijke rol in de versnelling en verduurzaming van een verscheidenheid aan sectoren. Bijvoorbeeld door het ontwerpen van zuinigere motoren, de introductie van efficiënte warmtepompen en de ontwikkeling van slimme systeemoplossingen.

¹⁰ ING Economisch Bureau (2018). Technology, the climate saviour? The potential for technology to reduce energy related CO₂ emissions.

3.1 De aanjager van innovatie in 5 thema's

Technologieën die door de leden van FME worden ontwikkeld vallen binnen een breed spectrum aan verduurzamingsthema's¹¹. In deze routekaart worden 5 thema's onderscheiden:

1. **Energiebesparing.** Technologische bedrijven leveren een scala aan energiezuinige producten, zoals LED-verlichting, pompen en koelingsapparatuur met hoge efficiëntie. Andere voorbeelden zijn schonere motoren van voertuigen, innovatieve en lichtere materialen en procesoptimalisatie.
2. **Circulariteit.** Innovatieve technologie voor recycling van materiaal, technologie voor het hergebruik van (natuurlijke) grondstoffen, het ontwerp van producten met een langere levensduur, etc. Door het gebruik van circulaire businessmodellen, zoals product-as-a-service bij LED verlichting systemen, vindt CO₂-reductie over de hele keten plaats.

¹¹ Deze thema's hebben overlap met de oplossingsrichtingen voor maatregelen die de sector zelf kan implementeren, zie hoofdstuk 4

3. **Elektrificatie en opslag.** De technologische industrie ontwikkelt apparatuur die bedrijven en huishoudens in staat stelt over te stappen op elektrisch gedreven processen, zoals warmtepompen en elektrische boilers. Ook verbeterde opslagmogelijkheden (zoals accu's) en grootschalige systemen voor seizoenopslag vallen binnen deze categorie.
4. **Duurzame energie.** De technologische sector levert de materialen en technologieën voor zonnepanelen, windmolens en waterstof, maar draagt ook bij aan het inpassen van deze nieuwe energiedragers.

- Bijvoorbeeld door het installeren van 'building integrated PV' in grote kantoorgebouwen of op groter niveau, het opstellen van een waterstofketen met productie van waterstof uit windenergie en distributie daarvan voor mobiliteit.
5. **Automatisering en digitalisering.** Helpen bij het slim sturen van energie en informatie door middel van kunstmatige intelligentie (Big Data, IoT) om energie te besparen, afval te voorkomen en processen te optimaliseren. Daarbij werken bedrijven aan concepten als Smart Grids, Smart Homes, en Smart Maintenance.



Figuur 10. Overzicht opgave Klimaatakkoord

3.2 Technologie voor CO₂-reductie in verschillende sectoren

De CO₂-reductie opgave voor Nederland heeft impact op veel sectoren. De technologische industrie biedt voor ten minste vier van deze (hoofd)sectoren technologische oplossingen tot 2030: de industrie, de elektriciteitssector, de mobiliteitssector en de gebouwde omgeving. Enkele voorbeelden zijn genoemd in Figuur 10.

Hierboven wordt per sector een voorbeeld gegeven hoe de technologische industrie kan bijdragen aan deze opgave. Meer voorbeelden van innovatieve technologieën die CO₂-reductie faciliteren in andere sectoren zijn te vinden in de Kansenskaart.

3.2.1 De industrie

De industrie heeft als opgave om in 2030 jaarlijks 14,3 Mton CO₂-uitstootte reduceren. De technieken hiervoor, genoemd in het Ontwerp Klimaatakkoord zijn onder andere procesefficiency, elektrificatie, groene waterstof, CC(U)S, bio-based processen en circulariteit. Voor een aanzienlijk deel van deze oplossingen is echter nog innovatiekracht benodigd, gericht op een aantal hoofdterreinen: reductie van de energievraag, verduurzaming van warmte- en elektriciteitsbronnen, CCS en circulariteit.

De technologische industrie kan hieraan een belangrijke bijdrage leveren, onder andere door het ontwikkelen van bijvoorbeeld zeer efficiënte aandrijvingen, hoge-temperatuur warmtepompen en het elektrificeren van processen.

In de afgelopen jaren zijn technologieën ontwikkeld die de potentie hebben om grote CO₂-besparingen in de industrie te realiseren. Denk daarbij aan methoden om warmte uit rookgassen terug te winnen en technologieën met alternatieve energiedragers. Maar ook methoden om beter inzicht te krijgen in energieverbruik, zoals slimme energiemonitoringsystemen die zorgen voor 'smart manufacturing' en 'smart maintenance' zijn voorbeelden van energiebesparingen in de industrie.



Energiewinning in de industrie
HeatMatrix ontwikkelde een oplossing voor het relatief grote aandeel aan energie dat in de industrie verloren gaat via rookgassen door de schoorsteen. Door de inzet van polymeren warmtewisselaars, die warmte terugwinnen uit corrosieve en vervuilde rookgassen van verbrandings- en droog processen, kan warmte uit dergelijke rookgassen worden teruggewonnen. Nu er verschillende installaties tot 5MW een aantal jaren draaien, gaat HeatMatrix een polymeren warmtewisselaar met een vermogen van bijna 10 MW installeren bij BioMCN Delfzijl. Met de oplossing kan een zeer significante energiebesparing gerealiseerd worden.

 **0,31 PJ** energiebesparing / jaar

 **TVT 3-5 jaar**  **17 515 ton CO₂** reductie / jaar

Figuur 11. Voorbeeld van innovatieve technologie voor warmteterugwinning in de industrie

3.2.2 De energiesector

In 2030 heeft de energiesector een visie voor een schoon, betaalbaar en betrouwbaar elektriciteitssysteem, waarin bijna 70% van de energie duurzaam wordt opgewekt¹². Om deze visie werkelijkheid te laten worden zijn grootschalige technologische oplossingen noodzakelijk. Leden van FME leveren technologische innovaties voor de elektriciteitssector op vele fronten:

- De efficiënte omzetting van elektriciteit uit windenergie in waterstof.
- Slimme energie infrastructuursystemen, zoals microgrids, smartgrids en slimme oplossingen om energieconsumenten mee te laten doen met de balancering en frequentiehandhaving in het hoogspanningsnet.
- Het ontwerp van opslagsystemen die ook in de winter een systeemoplossing bieden voor de opslag van elektriciteit of warmte.



De Blue Energy centrale wint energie
Blue Energy biedt in Nederland de mogelijkheid om 1750 MW duurzame elektriciteit op te wekken door zout zeewater en zoet rivierwater met elkaar in contact te brengen. De productie van deze duurzame elektriciteit is volcontinu, vraagt geen opslag capaciteit en draagt bij aan netstabiliteit.

REDstack ontwikkelt de techniek samen met moederbedrijf Wetsus en Fujifilm; een proef Blue Energy Centrale draait sinds 2014 succesvol in Friesland op de Afsluitdijk. Een opschaling naar een grotere demonstratie installatie van 0,78 MW bij het uitwateringskanaal in Katwijk is volop in voorbereiding, in samenwerking met het hoogheemraadschap van Rijnland, de Provincie Zuid-Holland, de gemeenten Katwijk en Noordwijk.

 **4050 ton CO₂** reductie / jaar

Potentiële besparing bij vervanging 0,78 MW in grijze stroom

Figuur 12. Voorbeeld van innovatieve technologie voor het opwekken van duurzame elektriciteit.

3.2.3 De mobiliteitssector

FME leden in de sector mobiliteit zijn fabrikanten en producenten van machines, aandrijvingen, voertuigen en laadinfrastructuur. Zij dragen bij aan de visie van de sector om in 2025 zero-emissie vervoer te realiseren. De technologische industrie speelt daarbij een rol in het leveren van onder andere:

- Hybride-, elektrische-, en waterstofauto's en bussen;
- Efficiënte aandrijvingen voor trams en treinen;
- Technologie voor laadinfrastructuur;
- Digitale oplossingen voor 'smart mobility'.



Heliox levert 13 MW charging infrastructuur voor Schiphol
Heliox is wereldwijd marktleider in DC snellaadoplossingen. Heliox's portfolio varieert van 25kW mobiele laders tot Fast OC 600kW-oplossingen voor elektrische voertuigen.

Op Amsterdam Airport Schiphol hebben Heliox en VDL samengewerkt om een vloot volledig elektrische bussen te ontwikkelen. VDL leverde een vloot van 100 Citea SLFA elektrische bussen, Heliox installeerde 109 DC-laders (totaal 13 MW) inclusief 23 450 kW opportunity laders (dak-laadsystemen) en 84 30 kW depotladers. De laders kunnen een batterij binnen 2-4 minuten opladen en zijn compatibel met een op het dak gemonteerd systeem (pantograaf). De krachtigere systemen zorgen voor korte laadtijden en rendabelere zero-emission operaties.

CO₂ 40 ton CO₂ /dag
bespaard door 100 bussen

Figuur 13. Voorbeeld van innovatieve technologie voor het stimuleren van duurzame transportmiddelen.

3.2.4 De gebouwde omgeving

FME bedrijven spelen een grote rol in de gebouwde omgeving; ongeveer 40% van de omzet van de leden van FME is direct of indirect gerelateerd aan de bouw¹³.

In het Ontwerp Klimaatakkoord wordt een opgave voor CO₂-reductie benoemd van 3,4 Mton per jaar. Om deze opgave te behalen zit de eerste stap voor de gebouwde omgeving daarbij in energiebesparende maatregelen, zoals grootschalige isolatie in woningen en gebouwen. Vervolgens gaan slimme technieken en systemen, zoals slimme LED verlichting, beheer- en monitoringsystemen en warmtepompen, een belangrijke rol spelen. Bovendien leveren innovatieve oplossingen als Building Integrated PV, energie opwekken in de gevels, een bijdrage aan het realiseren van energie-opwekkende huizen en kantoren. Een technologie die in een slimme energietoekomst onmisbaar wordt.



Signify verlicht smart city Ameland
De Gemeente Ameland heeft een ambitie om CO₂ neutraal en zelfvoorzienend te worden in 2020, en heeft daarom het convenant Duurzaam Ameland opgezet: een samenwerkingsverband met de Gemeente Ameland, energieleveranciers, netbeheerders, universiteiten, en Signify. De stad wordt voorzien van duurzame openbare verlichting van Signify - met 923 aan-elkaar verbonden lichtpunten en LED armaturen.

De verlichtingssysteem en remote management van lichtenpunten zorgt ervoor dat bijvoorbeeld het licht automatisch feller wordt door beweging en 's nachts wordt het licht gedimd op plaatsen waar het donker kan zijn. De end-to-end systeem leidt tot lager energiegebruik (70% zuinigere dan oud systeem), minder lichthinder, en besparingen in maintenance. De LED's dragen ook bij aan de circulaire economie, aangezien ze 15 tot 20 jaar langer mee gaan.

80.000 kWh energie bespaard

CO₂ 28 ton CO₂ reductie

Figuur 14. Voorbeeld van innovatieve technologie die CO₂-reduceert om op meerdere vlakken.

¹³ FME (2018). Slimmer, duurzamer en leefbaarder. Met technologie maken we onze Gebouwde omgeving toekomstbestendig

Oplossingen voor CO₂-reductie in de technologische industrie

Hoofdstuk 4



CO₂-reductie kan met behulp van een groot scala aan maatregelen bereikt worden. De maatregelen die specifiek in de technologische industrie genomen kunnen worden komen in dit hoofdstuk aan de orde. Om de impact van deze maatregelen te bepalen is gebruik gemaakt van het energieverbruik van afzonderlijke processen. Deze methodologie is beschreven in Bijlage 2.

De impact van maatregelen is bepaald op basis van scope 1 en scope 2 CO₂-uitstoot, waarbij scope 1 uitstoot de directe uitstoot van een bedrijf vertegenwoordigt, en scope 2 de indirecte uitstoot. Er wordt in alle berekeningen rekening gehouden met een groei van de technologische industrie van 3% en een verduurzaming van de elektriciteitsproductie volgens het Ontwerp Klimaatakkoord. Genoemde impact van maatregelen is dan ook gebaseerd op de uitstoot van het elektriciteitspark in 2030. Meer uitleg hierover is te vinden in Bijlage 1. De genoemde getallen in dit hoofdstuk komen voort uit eigen berekeningen van Berenschot. Maatregelen ten aanzien van procesoptimalisatie zijn berekend door Tolmprove.

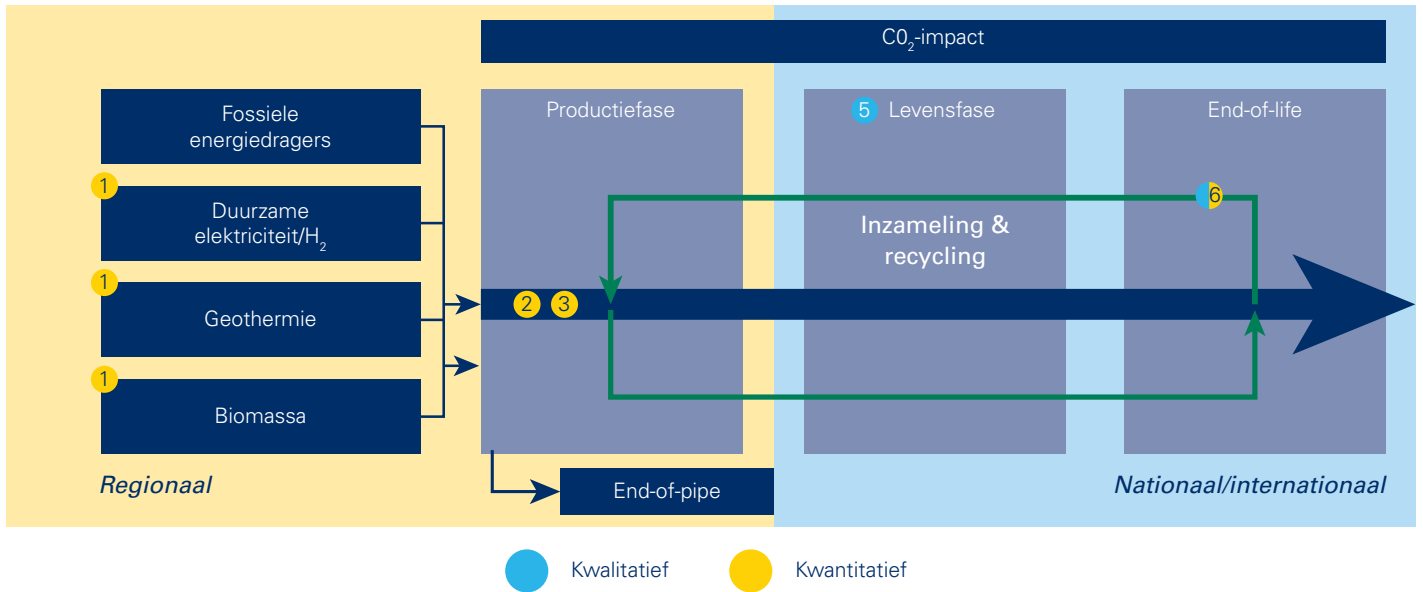
In de routekaart wordt onderscheid gemaakt in 6 categorieën van maatregelen:

1. Duurzame energie;
2. Energiebesparing;
3. Inzet van nieuwe energietechnologie (waaronder elektrificatie);
4. End-of-pipe (CCS & reststromen);
5. Ecodesign;
6. Circulariteit.

Deze categorieën zijn hieronder grafisch weergegeven. In het productieproces is energie nodig, momenteel bestaat deze energie nog voor het grootste deel uit fossiele energie. Door deze mix te verplaatsten naar duurzame energie kan CO₂-uitstoot bespaard worden (1). Energiebesparing tijdens het productieproces (2) en het inzetten van andere energietechnologieën (3) dragen bij aan het reduceren van de CO₂-uitstoot van de industrie door directe besparing of gebruik van een duurzame energietechnologie. Daarnaast blijven er na productie reststromen- of gassen over (4), denk hierbij aan warmte of CO₂. Als deze reststromen afgevangen of nuttig ingezet worden zorgt dit voor CO₂ reductie. Deze oplossingen noemen we 'end-of-pipe'.

Ook in de gebruiksfase van een product kan CO₂-uitstoot plaatsvinden. Denk bijvoorbeeld aan een auto met een verbrandingsmotor. De industrie kan het ontwerp van producten zodanig aanpassen dat deze gedurende hun levensduur minder uitstoten. Dit wordt ecodesign genoemd (5). Tot slot, door producten na gebruik weer her te gebruiken kan de productiefase minder energie- en grondstoffen-intensief worden (6).

In onderstaande paragrafen wordt de impact en technische haalbaarheid van de verschillende oplossingsrichtingen voor de technologische industrie beschreven. In de routekaart zijn alleen de oplossingsrichtingen kwantitatief berekend die direct impact hebben op scope 1 en scope 2 van de CO₂-uitstoot. Maatregelen die in de keten effect hebben, zoals ecodesign en circulariteit, zijn alleen kwalitatief beschreven.



Oplossingsrichtingen:

- 1. Duurzame energie
- 2. Energiebesparing
- 3. Inzet van nieuwe energietechnologie
- 4. End-of-pipe (CCS & reststromen)
- 5. Ecodesign
- 6. Circulariteit

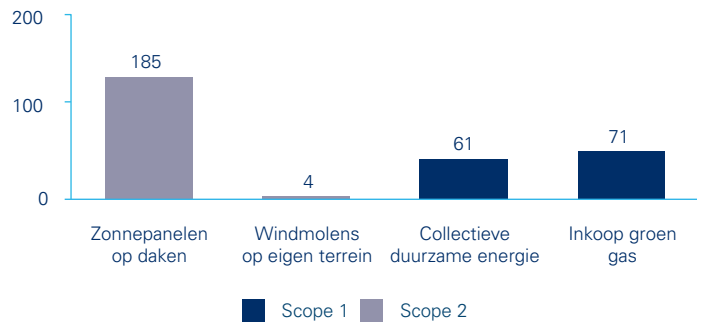
NB: niet alle richtingen hebben kwantitatief impact op de CO₂-afdruk in onze scope. Desalniettemin houden we kwantitatief en/of kwalitatief alle oplossingsrichtingen in het vizier

Figuur 15. Oplossingsrichtingen binnen de gehele keten.

4.1 Duurzame energie

In dit rapport worden 4 soorten duurzame energiebronnen onderscheiden: zonnepanelen op daken, windmolens op eigen terrein, collectieve duurzame warmte en groen gas. De eerste twee oplossingen (zon en wind) betreffen maatregelen voor duurzame elektriciteit die direct op eigen terrein worden genomen. De inkoop van groene stroom staat hier los van. De overige twee oplossingen gaan om inkoop van duurzame warmte. Aangenomen wordt dat de technologische industrie in de breedte niet goed geëquipeerd is voor de opwek van duurzame warmte op eigen terrein. Uitzonderingen op bedrijfsniveau zijn uiteraard denkbaar.

Technisch potentieel CO₂-reductie (in kton CO₂)



Figuur 16. Technisch potentieel CO₂-reductie duurzame energie in de technologische industrie. CO₂-reductie van maatregelen is niet altijd optelbaar. Enkele maatregelen zijn concurrerend.

4.1.1 Zonnepanelen op daken

Omdat de technologische industrie over vele bedrijfshallen en kantoren beschikt met een relatief groot dakoppervlak heeft met name zonne-energie een groot potentieel in de technologische industrie. In totaal is in de sector een dakoppervlak beschikbaar van 28,5 miljoen vierkante meter¹⁴. De mogelijkheid van deze daken om een volledige constructie met zonnepanelen te dragen is in de praktijk vaak niet optimaal. Ingeschat wordt dat voor de sector als geheel per vierkante meter dakoppervlak 47% benut kan worden voor zonnepanelen (de overige 53% is niet geschikt door obstakels, dakranden en de sterkte van het dak)¹⁵. Verschillen zijn uiteraard denkbaar op bedrijfsniveau. Met benutting van het volledige technisch potentieel kan in de sector 5,8 PJ elektriciteit worden opgewekt. Dit levert een besparing op van 185 kton CO₂ in 2030, uitgaande van de emissiefactor van elektriciteit in 2030.

4.1.2 Windmolens op eigen terrein

Mogelijkheden voor het plaatsen van windmolens op eigen terrein worden kleiner geacht, omdat per windmolen van 3 MW ongeveer 1,6 ha nodig is. In gezamenlijkheid is de kans groter om een aantal windmolens neer te zetten, mogelijk door een Power-Purchase-Agreement (PPA's) met de energiesector. In de meest simpele vorm spreken de partijen daarbij af dat zij de komende jaren duurzame stroom zullen afnemen, hiermee is de afname van deze elektriciteit gegarandeerd. De inschatting is dat weinig bedrijven braakliggend terrein beschikbaar hebben waar een windmolen op geplaatst kan en mag worden. Het potentieel voor de technologische industrie wordt ingeschat op 5 windmolens van 3 MW. Deze windmolens leveren gezamenlijk 0,1 PJ elektriciteit per jaar en besparen daarmee 3,6 kton CO₂ in 2030.

4.1.3 Collectieve duurzame warmte (restwarmte, geothermie en biomassa)

Collectieve duurzame warmte kan voorzien in de behoefte aan ruimteverwarming in de technologische industrie. Afhankelijk van de lokale mogelijkheden kan deze warmte geleverd worden door restwarmte, geothermie, biomassa of een combinatie van deze drie bronnen.

Het maximale potentieel voor warmtenetten wordt geschat op 50 PJ¹⁶. Op basis van vloeroppervlak en het aandeel industriegebouwen dat nu op warmtenetten is aangesloten kan in 2030 0,9 PJ van de totale vraag voor ruimteverwarming (à 10,3 PJ in 2030), in de technologische industrie ingevuld worden door warmtenetten. De maximale potentie van collectieve duurzame warmte van 0,9 PJ uit de onderstaande bronnen komt overeen met een CO₂-reductie van 60 kton. Een warmtenet heeft een voedingsbron nodig, die op drie manieren kan worden ingevuld:

- **Geothermie.** In heel Nederland kan geothermie in 2030 20 van de 50 PJ van het potentieel van warmtenetten invullen¹⁶. Dit vertaalt zich naar verhouding in 0,4 van de 0,9 PJ in de technologische industrie. Geothermie levert in de regel lage-temperatuur warmte op, dat geschikt is voor het verwarmen van gebouwen. Er wordt ingeschat dat de toepassing van ultradiepe geothermie, dat hogere temperaturen oplevert, in de technologische industrie beperkt nodig is vanwege de kleine vraag naar hoge temperaturen in deze industrie.
- **Restwarmte.** Restwarmte zal voornamelijk beschikbaar komen uit externe industriële sectoren met hoge temperatuur warmte processen, zoals de metallurgische industrie en de chemische industrie. Het restwarmte potentieel uit de industrie wordt in totaal ingeschat op zo'n 50 PJ¹⁷. Hiermee kan het ruimschoots invulling geven aan het potentieel van 0,9 PJ voor warmtenetten in de technologische industrie.
- **Biomassa.** Het binnenlandse potentieel voor gebruik van biomassa in 2030 wordt geschat op 142,5 PJ¹⁸. De vraag naar aardgas in de technologische industrie is 1,5% van de totale Nederlandse vraag¹⁹. Daarmee zou de technologische industrie op basis van fairshare dus 2,1 PJ biomassa toebedeeld kunnen krijgen. Daarmee kan worden voorzien in het volledig potentieel voor collectieve duurzame warmte van 0,9 PJ. Opgemerkt moet worden dat biomassa concurrerend is voor meerdere doeleinden. De genoemde 2,1 PJ is daarmee een overschatting van het potentieel.
- Concluderend geldt dat het potentieel van warmtenetten in de technologische industrie door meerdere bronnen ingevuld kan worden. Biomassa en restwarmte kunnen het volledige potentieel invullen en geothermie voorziet in ongeveer de helft van de vraag.

14 LISA (2017)

15 Eigen analyse op basis van Vreugdenhil (2014). Een studie naar het potentieel van PV in Nederland. Wageningen, WUR.

16 Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk en EBN (2018), Masterplan Aardwarmte in Nederland.

17 Hoogervorst, N. (2017), Toekomstbeeld klimaatneutrale warmtenetten in Nederland, Den Haag: PBL.

18 DNV GL (2017). Biomassabeschikbaarheid in Nederland

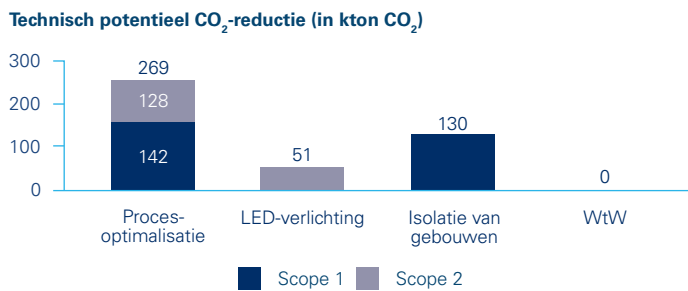
19 Eigen berekening op basis van CBS cijfers

4.1.4 Inkoop Groen gas

Het voordeel van groen gas is dat het direct ingevoerd kan worden in de huidige gasinfrastructuur. Hierdoor zijn rigoureuze ingrepen, zoals elektrificatie of transitie naar een waterstofinfrastructuur niet vereist. Echter is groen gas maar in een beperkt volume beschikbaar vanwege de benodigde biomassa. Het potentieel voor 2030 wordt ingeschat op 85 PJ waarvan op basis van fairshare 1,3 PJ beschikbaar is voor de technologische industrie, dit staat gelijk aan een CO₂-besparing van 71 kton²⁰.

4.2 Energiebesparing

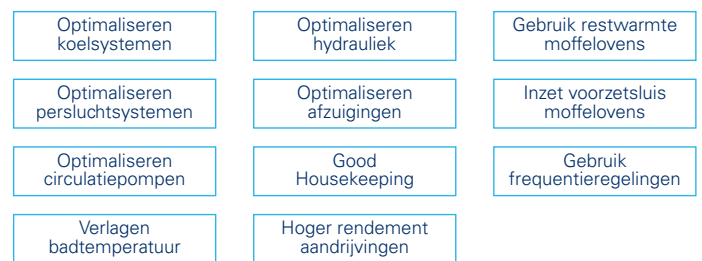
Een belangrijke component in de energietransitie is efficiënter gebruik van energie, zodat de totale vraag naar energie afneemt. Dit kan gerealiseerd worden door het toepassen van verschillende maatregelen, die in deze routekaart zijn geschaard onder procesoptimalisatie, LED-verlichting, isolatie van gebouwen en warmteterugwinning (WtW). Het technisch CO₂-reductie potentieel is per maatregel weergegeven in Figuur 17.



Figuur 17. Technisch potentieel CO₂-reductie energiebesparing in de technologische industrie. CO₂-reductie van maatregelen is niet altijd optelbaar. Enkele maatregelen zijn concurrerend.

4.2.1 Procesoptimalisatie

Het verbeteren van processen onder de noemer van de MJA leidt al jarenlang tot zowel economische als energiebesparingen. Vooral bij bedrijven waar nog veel gebruik wordt gemaakt van verouderde apparatuur kunnen aanzienlijke energiebesparingen worden gerealiseerd. Bij bedrijven die de afgelopen jaren hebben geïnvesteerd in moderne apparatuur is het lastiger om zeer grote besparingen te realiseren, het ‘laaghangend fruit’ is daar inmiddels al geplukt. Desondanks is het nog steeds zinvol om bedrijfsprocessen continu efficiënter te maken. In de technologische industrie kan een aanzienlijke CO₂-reductie plaatsvinden door middel van procesoptimalisatie. Met name door het optimaliseren van afzuigingen & hydrauliek, vernieuwde aansturing van aandrijvingen, verlagen van badtemperaturen en het beperken van verliezen bij ovens (o.a. door de inzet van voorzetsluizen). Omdat deze specifieke maatregelen en mogelijkheden per bedrijf enorm verschillen, is gerekend met energiebesparing door procesoptimalisatie van 2% per jaar tot 2030. Deze besparing wordt door bedrijven als haalbaar verondersteld. Bedrijven zullen naar verwachting eerst maatregelen toepassen die zich snel terugverdienen (<2 jaar), naar 2030 toe zullen ook proces optimalisatie maatregelen genomen moeten worden waarvan de terugverdientermin langer is. Door de economische groei in de technologische industrie stijgt het energieverbruik voor processen van 15,9 PJ in 2015 naar 24,7 PJ in 2030. 2% energiebesparing per jaar door procesoptimalisatie zorgt voor een daling van 6,5 PJ tot een totaal energieverbruik voor productieprocessen van 18,3 PJ in 2030. Daarmee wordt in totaal 269 kton CO₂ bespaard in 2030.



Figuur 18. Mogelijke procesoptimalisatie maatregelen

20 Berenschot (2018), Strategische hubs voor de opschaling van groen gas in Nederland, Utrecht: Berenschot

4.2.2 LED-verlichting

In de technologische industrie is het toepassen van LED-verlichting een effectieve manier om de CO₂ uitstoot te verminderen. Dit komt vanwege het grote aantal bedrijfshallen in deze industrie. Niet alleen in bedrijfshallen is het plaatsen van LED-verlichting nuttig.

In kantoorpanden is vaak een hogere lichtintensiteit per m² nodig, waardoor het vervangen van conventionele verlichting door LED per m² meer CO₂ bespaart²¹. De totale energiebesparing ligt tussen de 30% en 70% afhankelijk van het type verlichting dat vervangen wordt en de bedrijfsspecifieke situatie. Gemiddeld gezien wordt uitgegaan van 60% energiebesparing.

Het energieverbruik voor verlichting in de technologische industrie wordt geschat op 1,7 PJ in 2015, zonder maatregelen zal dit stijgen tot 2,6 PJ in 2030. Door de toepassing van LED-verlichting daalt het elektriciteitsverbruik met 1,6 PJ tot in totaal 1 PJ. Dit staat gelijk aan een reductie van 51 kton CO₂ in 2030.

4.2.3 Isolatie

Ook isolatie is een effectieve methode om de CO₂-uitstoot te reduceren, vanwege het grote aantal bedrijfshallen in de technologische industrie. Het isoleren van gebouwen is met name zinvol bij kantoorgebouwen en bedrijfshallen die verwarmd worden tot 18 °C of hoger. Per 1 januari 2023 moet elk kantoor groter dan 100 m² minimaal energielabel C hebben²². Dit betekent dat met name isolatie in kantoorgebouwen een verplichting wordt.

Ook het isoleren van bedrijfshallen die alleen verwarmd worden om vorst te voorkomen is nuttig. Echter, de CO₂-reductie zal hier kleiner zijn. Isoleren kan door vloer-, muur- en dakisolatie toe te passen, maar ook door het vervangen van het huidige glaswerk in ramen door HR++ isolatieglas. In bedrijfshallen spelen vooral muur- en dakisolatie een belangrijke rol, omdat vloerisolatie kostbaar is en de vloer ook een technische functie dient (bijvoorbeeld voor de fundering van machines). Daarnaast is het totale raamoppervlak meestal gering. Vooral in kantoorpanden, waar het raamoppervlak een aanzienlijk gedeelte beslaat van het totale oppervlak, is HR++ glisolatie een goede keuze.

Voor het technisch potentieel wordt uitgegaan van toepassing van isolatie in gemiddeld 50% van de gebouwen. Dit zal zeker plaatsvinden bij nieuwbouw, waar isolatie eenvoudig toe te passen is. In de oudere gebouwen is de toepassing van isolatie vanwege de staat van de gebouwen ingewikkelder.

In sommige gevallen is zelfs de afweging voor renoveren en isoleren van een gebouw versus overgaan op nieuwbouw een relevant vraagstuk. Dergelijke beslissingen zullen echter niet losstaand van reguliere bedrijfsbeslissingen worden genomen.

Door het toepassen van isolatie wordt een reductie gerealiseerd van gemiddeld 50% van het energieverbruik. Dit levert een totale besparing op van 25% van het aardgasverbruik voor ruimteverwarming in de technologische industrie. Nu wordt het energieverbruik van ruimteverwarming in de technologische industrie geschat op 6,6 PJ; dit zal zonder maatregelen groeien tot 10,3 PJ in 2030. Door het volledige benutten van het technische potentieel aan isolatie zal het energieverbruik voor ruimteverwarming dalen met 2,3 PJ. Dit levert een besparing op van 130 kton CO₂.

4.2.4 Warmteterugwinning

In de technologische industrie is het technisch potentieel van warmteterugwinning zeer klein, omdat er over het algemeen gewerkt wordt met lage-temperatuur warmte en relatief kleine hoeveelheden warmte. Uitzonderingen zijn mogelijk, deze zijn meegenomen onder de noemer procesoptimalisatie.

4.3 Inzet van nieuwe energietechnologie

Nieuwe energietechnologieën kunnen een significante bijdrage leveren aan CO₂-reductie. Op hoofdlijnen zijn er twee mogelijkheden: elektrificatie en de inzet van waterstof. De omschakeling naar elektriciteit kan ingezet worden op processen en op ruimteverwarming.

4.3.1 Elektrificatie algemeen

Elektrificatie met bijvoorbeeld elektrische boilers resulteert voornamelijk in een dalende vraag naar aardgas in de technologische industrie. Dit resulteert niet automatisch in CO₂-uitstootreductie, aangezien fossiele energie momenteel in de energiesector in elektriciteit wordt omgezet met een efficiëntie van circa 40-50%. De inzet van fossiele energie in het directe proces (met een efficiëntie van rond de 90%) is daarmee onder huidige omstandigheden schoner. Alleen wanneer de gebruikte elektriciteit afkomstig is van duurzame bronnen, leidt elektrificatie tot CO₂-uitstootreductie. Naar verwachting zal dit pas tegen 2030 voldoende het geval zijn.

21 Agentschap NL (2011). Slim licht werkt beter in bedrijfshallen.

22 RVO (2018). Energielabel C kantoren

Hierbij kan de industrie een prima partner zijn voor windparken door selectief overschotten windstroom af te nemen tegen een voor beiden gunstige prijs, in zogenaamde Power Purchase Agreements (PPA's). Hierbij snijdt het mes aan twee kanten: het windpark wordt behoed voor te grote prijsdips bij overproductie, en de industrie kan selectief goedkope stroom op die momenten afnemen. Een knelpunt hiervoor is overigens wel, dat de huidige structuur van de nettarieven deze toepassing belemmert²³.

De kansen op CO₂-uitstootreductie zijn beter bij opties waar elektrificatie direct leidt tot een inherente besparing van de energievraag, bijvoorbeeld bij een warmtepomp, die een efficiëntiefactor van 400% of zelfs meer kan hebben afhankelijk van de situatie. In zulke gevallen produceert men veel efficiënter warmte dan met het stoken op aardgas. Dan leidt elektrificatie wél direct automatisch tot CO₂-uitstootreductie, zelfs nu al bij de huidige relatief vervuilende elektriciteitsopwekking. Naarmate het elektriciteitsproductiepark schoner wordt, gaat dat nog veel verder verbeteren. Een warmtepomp is dus bij uitstek een vorm van elektrificatie met een sterke CO₂-uitstootreductie. Helaas kan een nieuw knelpunt daarvoor opgeworpen worden door de voorgenomen minimum CO₂-prijs voor elektriciteit, omdat dit selectief elektriciteit duurder maakt en daarmee de businesscase voor elektrificatie verslechtert²⁴.

Voor de potentie van elektrificatie kijken we naar de verwachte uitstoot van het elektriciteitspark in 2030 onder de afspraken zoals deze zijn opgenomen in het Ontwerp Klimaatakkoord. Volgens deze hoofdlijnen wordt elektriciteit in 2030 43% minder vervuilend dan het verbranden van aardgas²⁵.

Elektrificatie vergroot enerzijds de elektriciteitsvraag, maar biedt vaak ook de mogelijkheid tot flexibilisering van de elektriciteitsvraag. Dit zou een mogelijke oplossing zijn voor fluctuaties in het aanbod van groene stroom. Afschakeling van de vraag bij de technologische industrie lijkt in sommige gevallen mogelijk. Voor opschaling is veel minder potentie, omdat deze assets moeilijker zijn terug te verdienen.

23 Berenschot (2016). Onderzoek naar nettarieven en flexibiliteit. Genoemde oplossing is een "stoplicht systeem" waarbij de industrie vrijgesteld is van extra nettariaf bij elektrificatie in bijvoorbeeld daluren.

24 CE Delft, Berenschot en Kalavasta (2018). Noodzakelijk beleid klimaatakkoord. Genoemde oplossing is een heffingsvrije voet in de regeling opnemen zodat niet-vermijdbare CO₂-emissies in de elektriciteitsopwekking worden ontzien, en daarmee ook elektrificatie op basis van de schoonste mix (gas+duurzaam).

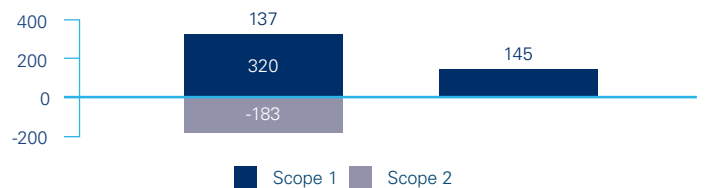
25 Zie bijlage 1 voor een uitleg van ontwikkelingen in het elektriciteitspark

4.3.2 Elektrificatie van verwarming

Ruimteverwarming kan geëlektrificeerd worden door gebruik te maken van de elektrische warmtepomp in verschillende mogelijke vormen; lucht/lucht-, water/lucht- en bodemwarmtepompen. Daarnaast zijn hybride warmtepompen een goede optie, zeker wanneer het moeilijk is een pand volledig te isoleren. De plaatsing van een warmtepomp is namelijk afhankelijk van de isolatiegraad van een gebouw.

Doordat de warmtepomp gebruik maakt van omgevingswarmte is het rendement op de elektriciteit zeer hoog. Er wordt uitgegaan van een gemiddelde efficiëntiefactor (Coefficient of Performance) van 400%. Hiermee is een besparing mogelijk van 77% op het energieverbruik. 50% van de gebouwen kan potentieel geïsoleerd worden, daarmee kan ook de warmtepomp in 50% van de gebouwen worden toegepast. Dit levert een besparing op van 2,6 PJ en een CO₂-reductie van 145 kton in 2030.

Technisch potentieel CO₂-reductie (in kton CO₂)



Figuur 19. Technisch potentieel CO₂-reductie elektrificatie in de technologische industrie. CO₂-reductie van maatregelen is niet altijd optelbaar. Enkele maatregelen zijn concurrerend.

4.3.3 Elektrificatie van processen

Ook kan elektrificatie plaatsvinden in de processen in de industrie die momenteel vooral op aardgas opereren. Voorbeelden hiervan zijn elektrificatie van thermische processen die plaatsvinden bij middelhoge tot hoge temperaturen. Op basis van temperatuurniveaus in de industrie²⁶ kan 80% van de verwarmingsprocessen (aardgasvraag) geëlektrificeerd worden, denk hierbij aan droogovens, badverwarming, moffelovens, doorloopovens en kamervovens. De invoering van deze maatregelen hebben een één-op-één *verschuiving* van energieverbruik (van aardgas naar elektriciteit) tot gevolg en leiden dus niet direct tot *energiebesparing*. De ontwikkeling van hoge temperatuur warmtepompen, die een hogere efficiëntiefactor hebben, zouden een mogelijkheid bieden om naast een verschuiving ook energiebesparing te realiseren. Deze techniek moet echter nog verder ontwikkeld worden.

26 CE Delft (2015). Denktank energiemarkt industriële warmtemarkt

In potentie kan elektrificatie door de verschuiving van 5,7 PJ aardgas naar elektriciteit 137 kton CO₂ besparen in 2030, uitgaande van de emissiefactor van elektriciteit in 2030 zoals verwacht in het Klimaatakkoord.

4.3.4 Inzet van waterstof als brandstof

Een andere mogelijkheid voor het toepassen van nieuwe energietechnologie is de inzet van waterstof als brandstof. Hoewel waterstof gerelateerde technologieën nog niet altijd voorhanden zijn, biedt deze energiedrager perspectief voor hoge temperatuur warmteprocessen. Ook bij lage-temperatuur processen is de inzet van waterstof mogelijk. De toepassing van waterstof voor ruimteverwarming wordt echter niet als optie meegenomen, omdat in deze gevallen elektrificatie bijna altijd zinvoller lijkt. In deze studie gaan we ervan uit dat de waterstof groen of blauw kan zijn²⁷. Hierdoor is de CO₂-uitstoot van een kilogram waterstof nul kilogram.

In potentie kan waterstof gebruikt worden als alternatief voor aardgas in alle productieprocessen, in 2030 is deze aardgasvraag voor de technologische industrie mogelijk gegroeid van 6,1 PJ naar 7 PJ. Met de inzet van 7 PJ waterstof in 2030 kan 400 kton CO₂ bespaard worden. Deze optie kent echter nog een grote innovatiebehoefte, waarmee het naar verwachting niet voor 2030 op grote schaal beschikbaar is.

Technisch potentieel CO₂-reductie (in kton CO₂)



Figuur 20. Technisch potentieel van waterstof in de technologische industrie. CO₂-reductie van maatregelen is niet altijd optelbaar. Enkele maatregelen zijn concurrerend.

4.4 End-of-pipe

Uitkoppeling van restwarmte en Carbon Capture and Storage (CCS) zijn twee bekende end-of-pipe technieken. Het inzetten van CCS in de technologische industrie is niet haalbaar, omdat de schaal waarop CCS toegepast zou worden te klein is om dit rendabel te maken. Resterend is de uitkoppeling van restwarmte, hierbij wordt warmte geleverd aan andere sectoren. Het potentieel voor restwarmtelevering door de gehele Nederlandse industrie ligt rond de 50 PJ¹⁷. Deze restwarmte wordt geleverd vanuit hoge temperatuur warmte processen met een totaal energieverbruik van zo'n 380 PJ. Het aandeel van de technologische industrie in hoge temperatuur processen is slechts 1,3%²⁶. Het totaal potentieel van restwarmte levering door de technologische industrie wordt daarom geschat op 1,3% van het totale potentieel van 50 PJ restwarmte in de gehele industrie. Dit komt overeen met circa 0,7 PJ, als dit geheel in de technologische industrie gebruikt zou worden levert dit een reductie op van 37 kton in 2030.

Technisch potentieel CO₂-reductie (in kton CO₂)



Figuur 21. Technisch potentieel van waterstof in de technologische industrie. CO₂-reductie van maatregelen is niet altijd optelbaar. Enkele maatregelen zijn concurrerend.

4.5 Circulariteit

Circulariteit wordt vaak gezien als een mogelijkheid om in de eerste plaats materiaal- en grondstofgebruik terug te dringen. Door minder grondstoffen te gebruiken zal er in de keten minder energie nodig zijn om deze grondstoffen bij de industrie te krijgen (van mijn of bron tot vervoer naar de fabriek). De vermindering van dit type uitstoot valt in de keten zogenaamd onder 'scope 3' en is in deze routekaart niet gekwantificeerd. Wel wordt aangeraden om op bedrijfsniveau onderzoek te doen naar mogelijke ketenreducties door inzet van circulaire processen.

Als producten voor circulair gebruik ontworpen worden, kan ook het energieverbruik in het productieproces dalen. Hiermee kan circulariteit naast grondstofgebruik ook CO₂-uitstoot reduceren. Deze effecten kunnen alleen per casus worden ingeschat en zijn daarom in deze routekaart niet verder gekwantificeerd.

²⁷ Waterstof kan gemaakt worden uit aardgas, dit gebeurt momenteel in de ammoniak industrie, dit noemt men grijze waterstof. Als tijdens dit proces ook CCS wordt toegepast, noemt men het blauwe waterstof. Waterstof uit duurzame elektriciteit wordt groen waterstof genoemd.

4.6 Ecodesign

Ecodesign gaat om het ontwikkelen van (eind)producten waarbij de impact op milieu gedurende de gehele levenscyclus in acht wordt genomen. Dit betekent dat met behulp van een Life Cycle Analysis (LCA) alle mogelijkheden waar CO₂-reductie mogelijk is in kaart worden gebracht. Vrijwel altijd wordt begonnen met het ontwikkelen van een degelijk product, meestal gebaseerd op een modulair ontwerp. Dit heeft als voordeel dat slechts een gedeelte van het product vervangen hoeft te worden wanneer het product niet naar behoren functioneert. Gelijktijdig met het ontwerp wordt nagedacht over de materialen die in het product verwerkt worden. Het toepassen van gerecyclede materialen, materialen die te recyclen zijn, materialen die weinig energie kosten om te produceren draagt bij aan het reduceren van de CO₂-uitstoot. Dit geldt ook voor het minimaliseren van benodigde materialen en het gebruik van hogere kwaliteit materialen. Tijdens het productieproces speelt procesoptimalisatie een belangrijke rol, zie sectie 4.2.1 voor meer informatie. Zodra het product klaar voor gebruik is, speelt de CO₂-uitstoot bij distributie een rol.

Kleine, lichte en functionele verpakkingen moeten ervoor zorgen dat er zoveel mogelijk product per volume getransporteerd kan worden over bij voorkeur zo kort mogelijke afstanden. Vooral bij producten die de grootste CO₂-impact hebben tijdens de operationele fase, is het van belang daar rekening mee te houden in het ontwerp. Dit kan door het ontwerp goed af te stemmen op de gebruiker, de gebruiker bewust te maken van het energieverbruik, het product slim om te laten gaan met energie, etc.

Door voor een modulair ontwerp te kiezen, kan een de levensduur aanzienlijk verlengd worden. Niet alleen omdat componenten kapot gaan, maar ook omdat er andere eisen worden gesteld aan het product. Tenslotte kan door het toepassen van recyclebare materialen de CO₂ impact sterk gereduceerd worden.

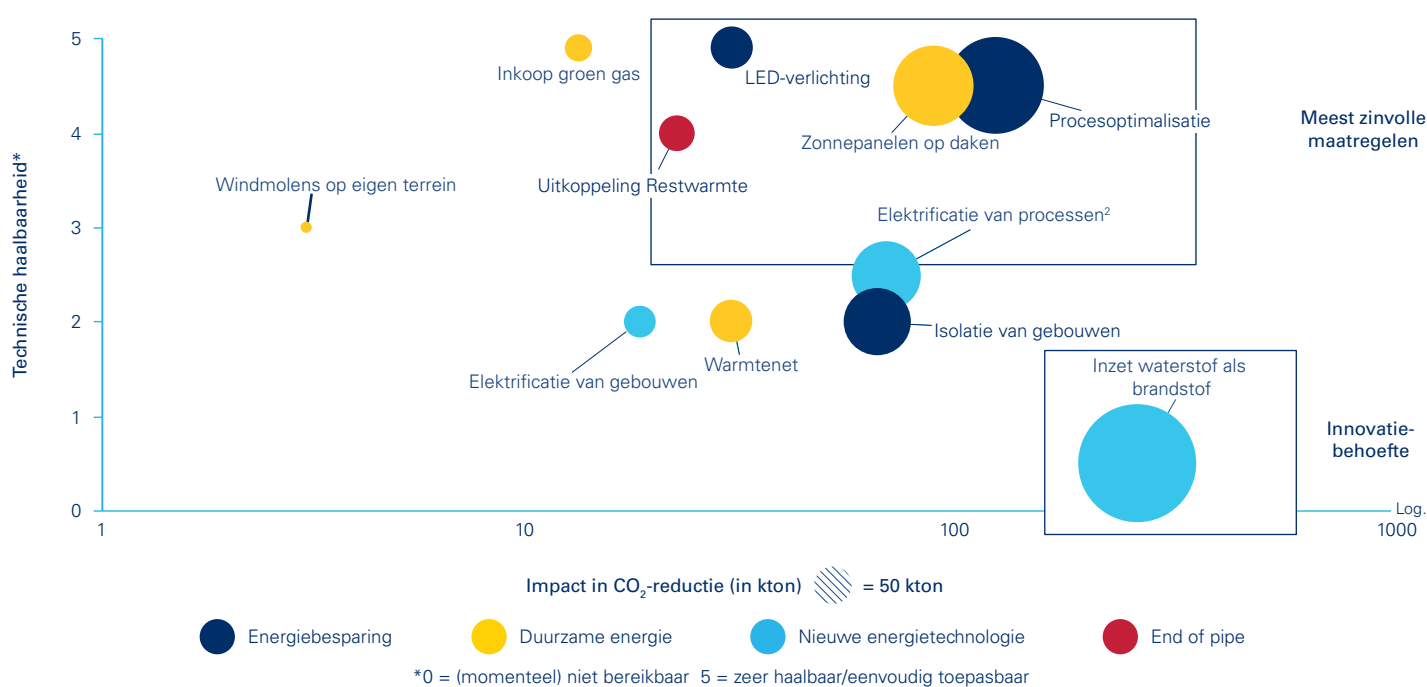
Impact van CO₂-reductie door ecodesign vallen in de keten en zijn daarmee geclassificeerd onder 'scope 3'. Deze impact is in de routekaart niet gekwantificeerd.

4.7 Conclusies ten aanzien van technische haalbaarheid

Overkoepelend gezien zijn grote verschillen waarneembaar in de haalbaarheid en impact van verschillende maatregelen. Maatregelen als procesoptimalisatie en zonnepanelen op daken hebben relatief veel impact en zijn technisch goed haalbaar, terwijl een maatregel als aansluiting op een warmtenet op beide elementen lager scoort. Een samenvatting van deze analyse is grafisch weergegeven in Figuur 22.

Dit figuur laat de impact in CO₂-reductie van de verschillende maatregelen zien in vergelijking met de technische haalbaarheid. De technische haalbaarheid van maatregelen is gescoord op een schaal van 0 t/m 5, waarbij 0 is ingeschat als 'niet haalbaar' en 5 als 'zeer haalbaar'²⁸. Voor deze inschatting is een scope van 2030 aangehouden. Hieruit is onder andere op te maken dat de inzet van waterstof als brandstof op een termijn van nu tot 2030 als moeilijk haalbaar wordt ingeschat, met name vanwege de onbekendheid ten aanzien van inzet als verbranding voor processen en lage beschikbaarheid uit duurzame bronnen.

Technisch potentieel van CO₂-besparing (in kton) en technische haalbaarheid per maatregel (schaal 0-5)

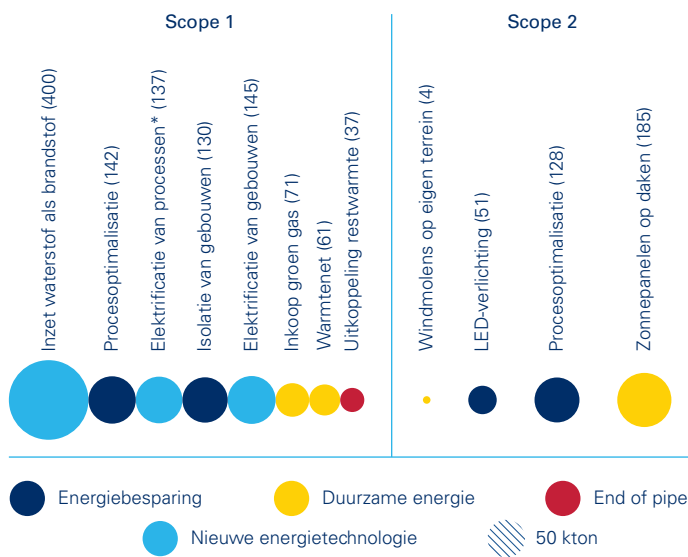


Figuur 22. Technisch potentieel van CO₂-besparing en technische haalbaarheid per maatregel.

Procesoptimalisatie, zonnepanelen en LED-verlichting lijken vanuit technologisch perspectief het meest haalbaar voor implementatie. Elektrificatie van processen en isolatie leveren mogelijk veel CO₂-reductie, maar zijn moeilijker te implementeren. Bij isolatie komt dit door de staat en grootte van bedrijfshallen; bij elektrificatie van processen komt dit door beschikbare technologie.

De maatregelen die in dit hoofdstuk zijn genoemd hebben wisselend impact op scope 1 en scope 2 emissies. Dit komt doordat sommige maatregelen alleen zorgen voor een verlaging van elektriciteitsverbruik, wat een indirecte reductie van CO₂-uitstoot tot gevolg heeft. Dit is grafisch weergegeven in Figuur 23. Aan de linkerkant van het figuur zijn reducties in scope 1 weergegeven, op volgorde van hun impact. Aan de rechterkant zijn reducties in scope 2 weergegeven, op volgorde van hun impact. De inzet van waterstof als brandstof bijvoorbeeld is een maatregel die grote impact heeft in de directe emissies van de technologische industrie (vanwege de vervanging van aardgas). De opwekking van zonne-energie via zonnepanelen op daken heeft daarentegen juist een grote reductie van emissies in scope 2 tot gevolg.

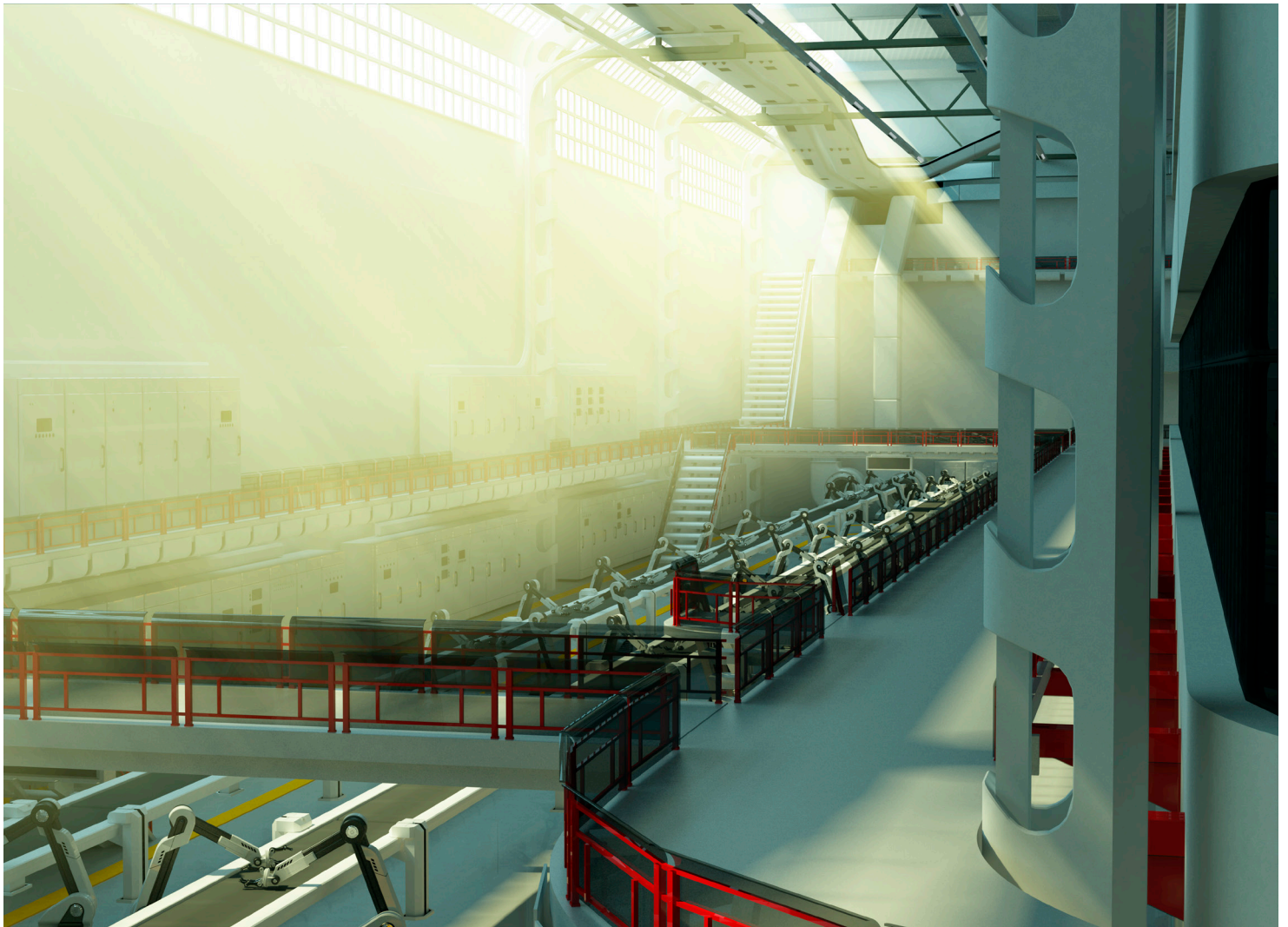
CO₂-besparing (kton) per maatregel verdeeld in scope 1 (L) en scope 2 (R)



Figuur 23. Verschil in CO₂-besparing per maatregel tussen scope 1 en scope 2 emissies.

Economisch perspectief

Hoofdstuk 5



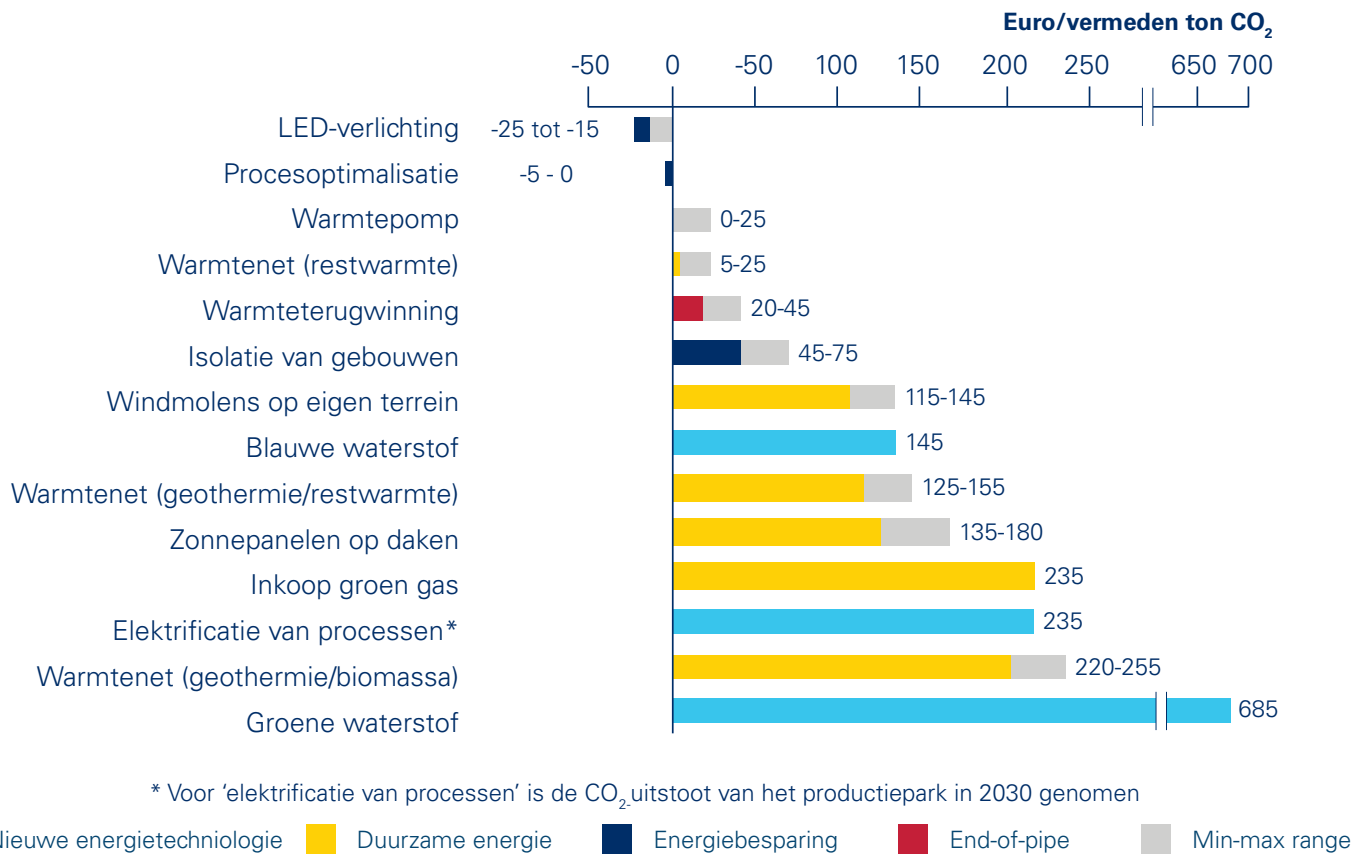
Naast de technische mogelijkheden is de bedrijfseconomische impact van de energietransitie zeer belangrijk. Alle CO₂-besparende maatregelen hebben immers ook een economische component. Hoewel sommige maatregelen zichzelf binnen snelle tijd terugverdienen, vergt de energietransitie in veel gevallen kostbare investeringen. Bovendien bevinden bedrijven zich veelal in een brown-field situatie (bestaande fabrieken), waardoor rekening gehouden moet worden met de praktische (on)haalbaarheden.

Het doel van dit hoofdstuk is om inzicht te verschaffen in de economische kant van maatregelen ten behoeve van CO₂-reductie, specifiek gericht op de technologische industrie. Daartoe wordt allereerst de macro kosteneffectiviteit geschetst van de maatregelen zoals gepresenteerd in hoofdstuk 4.

Vervolgens wordt met een aantal voorbeeldcases ingezoomd op de business cases van maatregelen op microschaal (bedrijfsniveau).

5.1 Kosteneffectiviteit van maatregelen: een macro-economisch perspectief

Een belangrijke graadmeter voor de haalbaarheid van maatregelen betreft kosteneffectiviteit. Bij het bepalen van kosteneffectiviteit wordt een maatregel met behulp van kapitaaluitgaven (CAPEX) en operationele kosten (OPEX) afgezet tegen de CO₂-besparing van die maatregel. Kosten worden daarmee op 'macro-economisch' niveau beschouwd – en zijn niet één op één vergelijkbaar met een terugverdientijd op bedrijfsniveau.



Figuur 24. Kosteneffectiviteit per maatregel. *Elektrificatie van processen is genomen als een één-op-één verschuiving van aardgas naar elektriciteit. Zie sectie 4.3.1 voor een verdieping op de oplossingsrichting elektrificatie.

Figuur 24 laat de kosteneffectiviteit van CO₂-reductiemaatregelen zien voor de technologische industrie. Over het algemeen geldt dat een negatief getal een directe besparing ten opzichte van de huidige situatie betekent; een positief getal betekent dat de maatregel in principe duurder is dan de huidige situatie. In dit geval kunnen maatregelen echter nog steeds (op langere termijn) worden terugverdiend; zoals in het geval van zonnepanelen.

Uit Figuur 24 komt het volgende beeld naar voren:

- Directe energiebesparing loont in bijna alle gevallen. Zo is LED-verlichting, hoewel de bijdrage aan CO₂-reductie relatief beperkt is, een investering die direct loont ten opzichte van de huidige situatie. Ditzelfde geldt in veel gevallen voor procesoptimalisatie, waarin maatregelen zich over het algemeen binnen een acceptabele termijn van 5 jaar terugverdienen. Uiteraard vergt een dergelijke analyse op bedrijfsniveau meer maatwerk.
- Warmteterugwinning en restwarmtegebruik zijn relatief goedkope technieken om CO₂ te besparen, hoewel ook deze investeringen op bedrijfsniveau om maatwerk vragen. Warmtenetten op geothermie en biomassa zijn kostbaarder, met name door de hoge CAPEX van geothermie en hoge OPEX van biomassa.

- De eigen opwekking van duurzame energie via zonnepanelen of windenergie is niet direct kosteneffectief, maar verdient zich op langere termijn wel terug. Bovendien zijn voor dergelijke investeringen veelal subsidies beschikbaar die de onrendabele top van de maatregel wegnemen.

Hoe is kosteneffectiviteit bepaald?

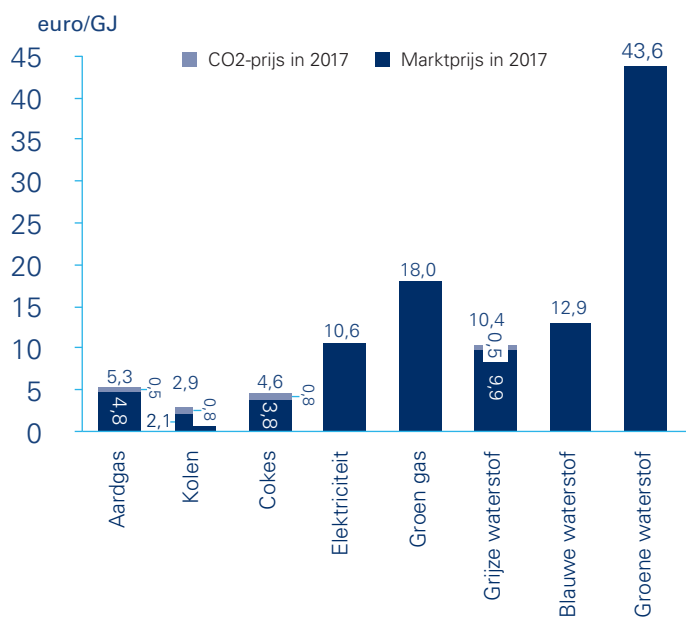
Kosteneffectiviteit van maatregelen is berekend op basis van kapitaaluitgaven (CAPEX), operationele kosten (OPEX) en CO₂-besparing per maatregel. CAPEX van maatregelen is bepaald op basis van literatuur, expertbeoordeling en een uitvraag bij leveranciers. Voor OPEX zijn brandstofprijzen en onderhoudskosten meegenomen (als percentage van CAPEX). Kosteneffectiviteit wordt bepaald o.b.v. jaarlijkse meerkosten (a.d.h.v. levensduur, Weighted Average Cost of Capital (WACC), CAPEX & OPEX) ten opzichte van een (eventuele) alternatieve investering²⁹. De CO₂-besparing is de optelsom van de directe "scope 1" CO₂-besparing en de indirecte "scope 2" CO₂-besparing voor 2017. In de berekening worden brandstofprijzen voor 2017 meegenomen. De kosten voor zowel CAPEX als OPEX zijn over het algemeen moeilijk in te schatten; uitkomsten zijn dan ook indicatief. Voor CAPEX is een gevoeligheid meegenomen van 10%, waarmee kosteneffectiviteit in een range is gepresenteerd.

- Nieuwe brandstoffen – zoals groen gas en waterstof – zijn bij het huidige kostenniveau niet kosteneffectief in vergelijking met aardgas. Bij groen gas komt dit door een combinatie van de huidige biomassaprijs en CAPEX van vergisting, vergassing en methanisering (het omzetten van biogas naar groen gas). Bij groene waterstof – waarbij waterstof wordt gemaakt uit duurzame elektriciteit – heeft dit te maken met een combinatie van de huidige prijs van windenergie en de huidige prijs van de omzetting van elektriciteit in waterstof via elektrolyse. Mogelijk zullen deze kosten richting de toekomst verder gaan dalen. Blauwe waterstof – waarbij waterstof wordt gemaakt uit aardgas met afvang van CO₂ – is bij huidige prijzen het meest kosteneffectief in vergelijking met aardgas. Deze optie zal echter altijd duurder blijven dan aardgas vanwege de kosten van CO₂-afvang.
- Bij huidige brandstofprijzen is elektrificatie een dure maatregel die zichzelf niet terugverdient. Hierbij gaat het om elektrificatiemaatregelen waarbij de efficiëntie gelijk is aan het alternatieve proces op aardgas (ter vergelijking: een warmtepomp is een elektrificatiemaatregel waarbij een efficiëntiefactor van 4 geldt – deze maatregel verdient zichzelf dan ook wél op termijn terug). Maatregelen met een efficiëntiefactor van 1 zijn onder huidige omstandigheden niet rendabel, omdat elektriciteit in operationele kosten duurder is dan aardgas. Deze verhouding kan uiteraard op termijn verschuiven – bijvoorbeeld door een hogere CO₂-prijs in combinatie met verduurzaming van het centrale elektriciteitspark.

5.2 Gevoeligheid voor prijsstijgingen en verduurzaming van het elektriciteitspark

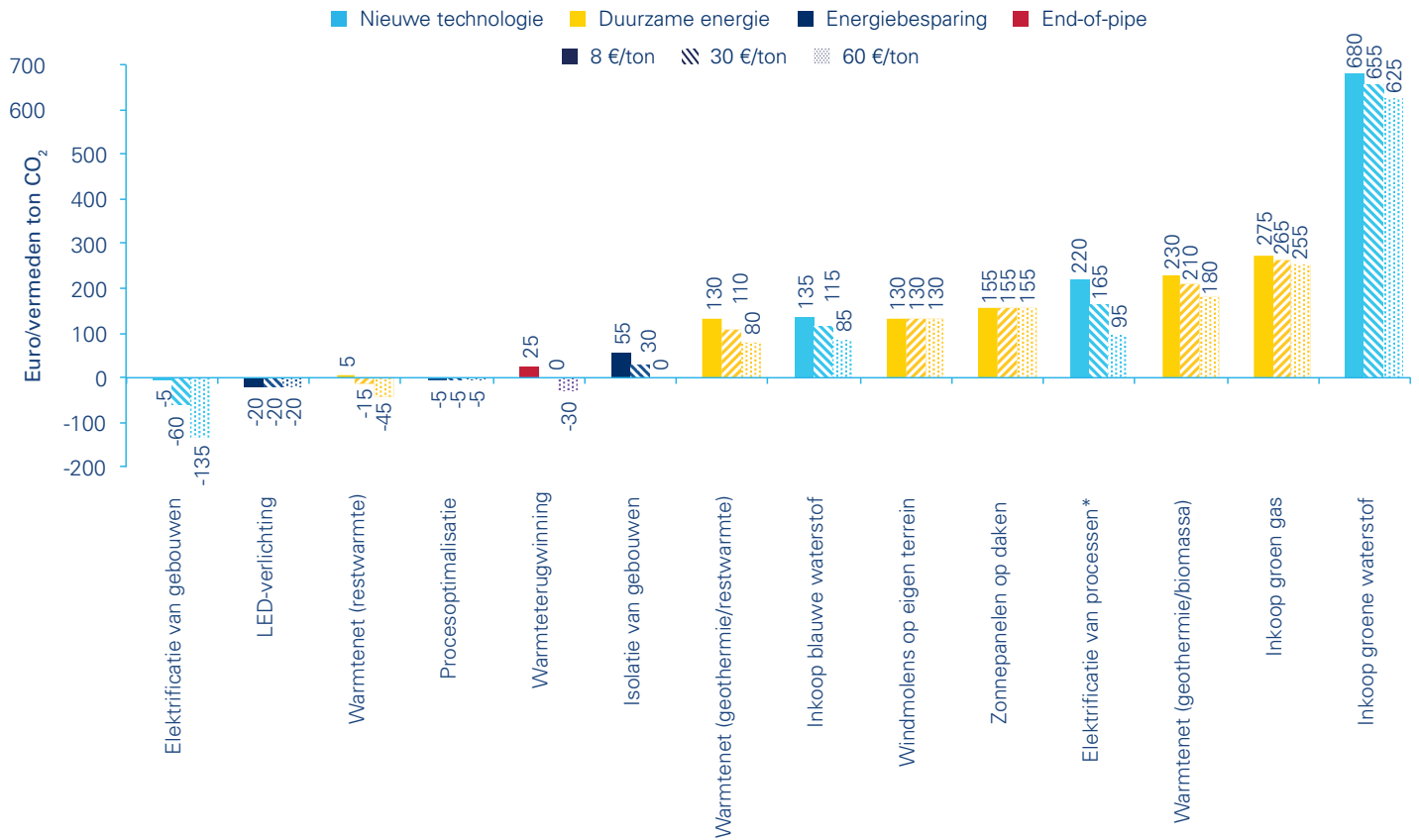
Voor het bepalen van kosteneffectiviteit van maatregelen zijn brandstofprijzen essentieel. Deze bepalen immers een groot deel van de operationele kosten. Figuur 25 toont de prijzen van verschillende brandstoffen in 2017, waarbij ook de ETS prijzen van 2017 (à 8 €/ton CO₂)²⁹ zijn toegevoegd. Op het moment van schrijven ligt de ETS prijs al een stuk hoger (circa 20 €/ton CO₂)³⁰, wat fossiele brandstoffen op dit moment al duurder maakt dan in de grafiek staat aangegeven. Over het algemeen zijn brandstofprijzen aan grote veranderingen onderhevig en zeer moeilijk te voorspellen. Mogelijk zullen maatregelen die in het Klimaatakkoord worden genomen – zoals de grote groei van duurzame elektriciteitsproductie – van invloed zijn op de brandstofprijzen in de toekomst.

Dit betekent dat het moeilijk is om te voorspellen in hoeverre bepaalde maatregelen in de toekomst gaan lonen. Bovendien wordt op nationaal en Europees niveau gesproken over een verhoging van de CO₂-prijs. Hoewel deze verhoging in eerste instantie een negatief effect heeft op de elektriciteitsprijs (wanneer elektriciteit nog voornamelijk vanuit fossiele bronnen wordt geproduceerd), zal dit op langere termijn ten goede komen aan verduurzamingsmaatregelen.



Figuur 25. Marktprijzen van voornaamste energiedragers in 2017 in euro/GJ – inclusief CO₂-prijs

De invloed van CO₂-beprijzing op de kosteneffectiviteit van maatregelen is weergegeven in Figuur 26. Hierin is de ETS-prijs uit 2017 van 8 €/ton vergeleken met mogelijke prijsniveaus van 30 en 60 €/ton respectievelijk.



Figuur 26. Effect van de CO₂-prijs op kosteneffectiviteit

In Figuur 26 wordt zichtbaar dat de ETS prijs van 8 €/ton CO₂ slechts een klein effect heeft op (een aantal) verduurzamingsmaatregelen³⁰. Een CO₂-prijs van 30 €/ton, zoals op enkele niveaus als basis wordt aangenomen voor 2030, heeft voor enkele maatregelen een grotere invloed op de kosteneffectiviteit. Hierbij is in de regel geen CO₂-besparing in het elektriciteitspark meegenomen. Elektrificatie van ruimteverwarming door een warmtepomp laat de grootste verschillen zien. Deze verschillen worden nog groter wanneer een prijs van 60 €/ton wordt verondersteld. Dit laat zien dat een verhoging van de CO₂-prijs voor bepaalde maatregelen betekent dat deze direct aantrekkelijker worden om te realiseren.

5.3 Kosteneffectiviteit in micro-perspectief: enkele voorbeeldcases

Om de financiële haalbaarheid van een maatregel aan te tonen zal voor elke CO₂-besparingsmaatregel op bedrijfsniveau een business case gemaakt moeten worden. In onderstaande paragrafen is een aantal voorbeeldcases uitgewerkt. Gebruikte getallen zijn gebaseerd op aannames en geven een indicatie van verwachte investeringen. Er wordt aangeraden altijd een eigen business case op te stellen.

Deze voorbeeldcases laten een ander perspectief zien ten opzichte van de kosteneffectiviteit op macro-economisch niveau zoals beschreven in de voorgaande paragrafen. De voorbeeldcases laten de effecten op het bedrijfsniveau beter zien en maken ook de afweging duidelijk die voor bedrijven van belang is. Kijk bijvoorbeeld naar de warmtepomp: dit is een maatregel die qua kosteneffectiviteit redelijk goed naar voren komt; toch zal het bedrijf in het genoemde voorbeeld een warmtepomp pas na 7,5 jaar terugverdienen. LED-verlichting verdient zichzelf veel sneller terug, maar de totale haalbare CO₂-impact is een stuk kleiner.

³⁰ De weergave van de ETS-prijs is voor de technologische industrie met name relevant op macro-economisch niveau. Kosten van CO₂ worden immers onder huidige omstandigheden alleen betaald door ETS-plichtige bedrijven. Slechts enkele bedrijven binnen de technologische industrie zijn momenteel ETS-plichtig.

5.3.1 Verlichting – LED-verlichting

Een bedrijf met een kantoor van 50 m² en een hal van 500 m² kan in ongeveer 1,5 jaar tot 2 jaar de investering in LED-verlichting terugverdienen³¹.

	T8-TL	T8-LED
Eenmalige kapitaaluitgaven (CAPEX)	€ 80	€ 1.650 (€ 1.450 met Energieinvesteringsaftrek (EIA))
Jaarlijkse operationele kosten (OPEX)	€ 1.050	€ 210
Energieverbruik	11.400 kWh	2.650 kWh
Terugverdientijd t.o.v. alternatieve investering		2 jaar (1,5 jaar met Energieinvesteringsaftrek (EIA))
CO₂-reductie		1050 kg

5.3.2 Ruimteverwarming – Warmtepomp

Een bedrijf met een goed geïsoleerd kantoor van 50 m² en een goed geïsoleerde hal van 500 m² kan in ongeveer 6 jaar tot 7,5 jaar de investering in een warmtepomp terugverdienen³².

	Luchtverwarming	Lucht/Lucht warmtepomp
Eenmalige kapitaaluitgaven (CAPEX)	€ 2.500	€ 11.000 (€ 9.500 met Energieinvesteringsaftrek (EIA))
Jaarlijkse operationele kosten (OPEX)	€ 2.600	€ 1.400
Energieverbruik	61.500 kWh (6300 m ³ aardgas)	15.800 kWh
Terugverdientijd t.o.v. alternatieve investering		7,5 jaar (~6 jaar met Energieinvesteringsaftrek (EIA))
CO₂-reductie		10.700 kg

31 Elektriteitsprijs van € 0,071 per kWh (inclusief belastingen, excl. BTW), alleen kosten voor nieuwe armaturen aangenomen bij LED-verlichting, bij de Energie Investeringsaftrek (EIA) is uitgegaan van een percentage van 54,5% (2018) die volledig aftrekbaar is van de inkomsten- of vennootschapsbelasting.

32 Elektriteitsprijs groene stroom van € 0,090 per kWh, aardgasprijs € 0,408 per m³ (inclusief belastingen, excl. BTW), bij de Energie Investeringsaftrek (EIA) is uitgegaan van een percentage van 54,5% (2018) die volledig aftrekbaar is van de inkomsten- of vennootschapsbelasting, uitgaande van een verwarming tot 18 graden Celsius en een warmtepomp met 2500 vollaasturen per jaar, warmteafgifte aan tapwater is niet meegenomen, ook eventuele net-aansluitingskosten zijn buiten beschouwing gelaten.

5.3.3 Duurzame energie – Zonnepanelen

Een bedrijf met een verbruik van 6 miljoen kWh per jaar kan in 10 tot 14 jaar de investering voor 1000 m² zonnepanelen terugverdienen³³.

	Stroom van het net	Zonnepanelen
Eenmalige kapitaaluitgaven (CAPEX)		€ 138.000 (€ 120.000 met Energieinvesteringsaftrek (EIA))
Jaarlijkse operationele kosten (OPEX)	Grijs: € 426.000 Groen: € 540.000	Grijs: € 416.000 Groen: € 528.000
Energieverbruik	6.000.000 kWh	5.862.000 kWh (128.000 kWh opwek)
Terugverdientijd t.o.v. alternatieve investering		Bij zon + grijze stroom: 14 jaar (12 jaar met Energieinvesteringsaftrek (EIA)) Bij zon + groene stroom: 11 jaar (10 jaar met Energieinvesteringsaftrek (EIA))
CO₂-reductie		14900 kg

5.4 Conclusies ten aanzien van economisch perspectief

Ook vanuit economisch perspectief bestaan grote verschillen tussen de haalbaarheid van maatregelen. Energiebesparende maatregelen als LED-verlichting en procesoptimalisatie zijn in veel gevallen – afhankelijk van het bedrijfsprofiel – in enkele jaren terug te verdienen. Andere maatregelen, zoals de eigen opwekking van zonne-energie, isolatie en elektrificatie van gebouwverwarming, kunnen op langere termijn rendabel zijn. Maatregelen die te maken hebben met de inzet van een alternatieve brandstof zijn over het algemeen onder huidige omstandigheden niet rendabel. De elektriciteitsprijs in vergelijking met de aardgasprijs, alsmede de ontwikkeling van de CO₂-prijs, speelt hierin een grote rol.

³³ Elektriciteitsprijs grijze stroom € 0,071 per kWh, groen stroom € 0,090 per kWh (inclusief belastingen, excl. BTW), SDE+, fase 1 € 0,063 per kWh teruggave, bij de Energie Investeringsaftrek (EIA) is uitgegaan van een percentage van 54,5% (2018) die volledig aftrekbaar is van de inkomsten- of vennootschapsbelasting, opbrengst zonnepanelen 128 kWh per m² per jaar.

Voorbeeldroute naar -49% CO₂-reductie

Hoofdstuk 6



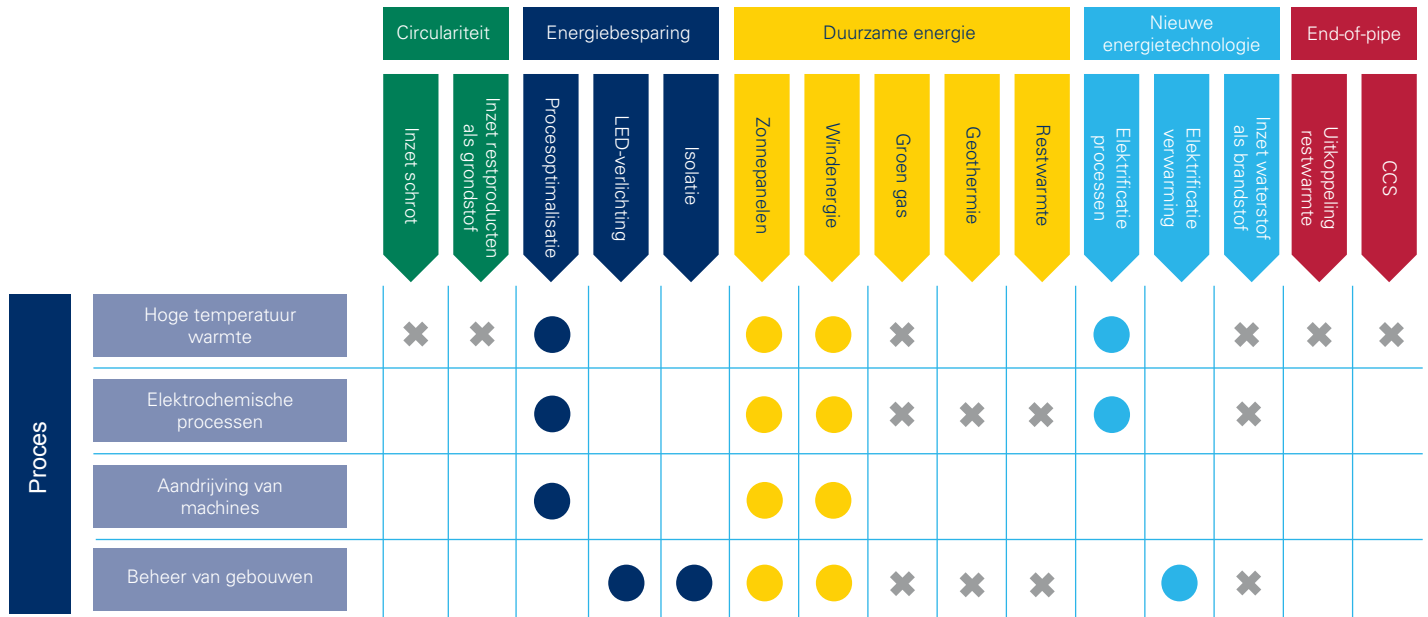
Bedrijven binnen de technologische industrie zijn zeer divers: niet alleen in de producten die zij produceren, maar ook in de fabricageprocessen, de assets die zij bezitten (en de leeftijd daarvan) en de vestigingslocatie. Om de hierboven genoemde maatregelen te implementeren zal elk bedrijf daarom een eigen afweging moeten maken om te bepalen welke CO₂-besparingsmaatregelen zij kan en wil invoeren. De voorbeeldroute die in dit hoofdstuk wordt gepresenteerd, geeft een beeld voor de sector als geheel om op de meest haalbare en kosteneffectieve wijze tot 49% CO₂-besparing te komen. Hierbij moet worden benadrukt dat er vele andere routes mogelijk zijn, zeker op het niveau van het individuele bedrijf.

Bij deze voorbeeldroutes gaan we uit van een verduurzaming van het elektriciteitspark in lijn met het Klimaatakkoord. De voorgestelde maatregelen worden daarnaast in een tijdlijn gepresenteerd, waarbij rekening wordt gehouden met de mogelijke ontwikkeling van brandstofprijzen (elektrificatie wordt bijvoorbeeld later in de tijd voorgesteld dan LED-verlichting).

6.1 Voorbeeldroute: mix van maatregelen

In de geschetste voorbeeldroute wordt een pakket van maatregelen gepresenteerd. Bij het samenstellen van dit pakket is op hoofdlijnen uitgegaan van technische haalbaarheid, kosteneffectiviteit en de beschikbaarheid van technologie in de tijd. In de technologische industrie komt dit neer op een gecontinueerde inzet op besparingen en procesoptimalisatie, de lokale opwekking van duurzame elektriciteit en elektrificatie waar mogelijk. Circulariteit kan in sommige gevallen leiden tot energiebesparingen, maar de voordelen hiervan liggen in principe verder in de keten.

De inzet van waterstof in de technologische industrie lijkt op grote schaal minder interessant, aangezien dit een landelijke infrastructuur vergt en vraagt om hoeveelheden duurzame waterstof die momenteel nog niet voorhanden zijn. De mogelijkheden om reststromen te gebruiken voor warmte uitkoppeling of CCU en CCS zijn zeer klein en daarom in deze voorbeeldroute niet meegenomen. De inkoop van groen gas zal op basis van fairshare over het algemeen weinig bijdragen aan de CO₂-reductie van de technologische industrie en is daarom geen onderdeel van de voorbeeldroute.

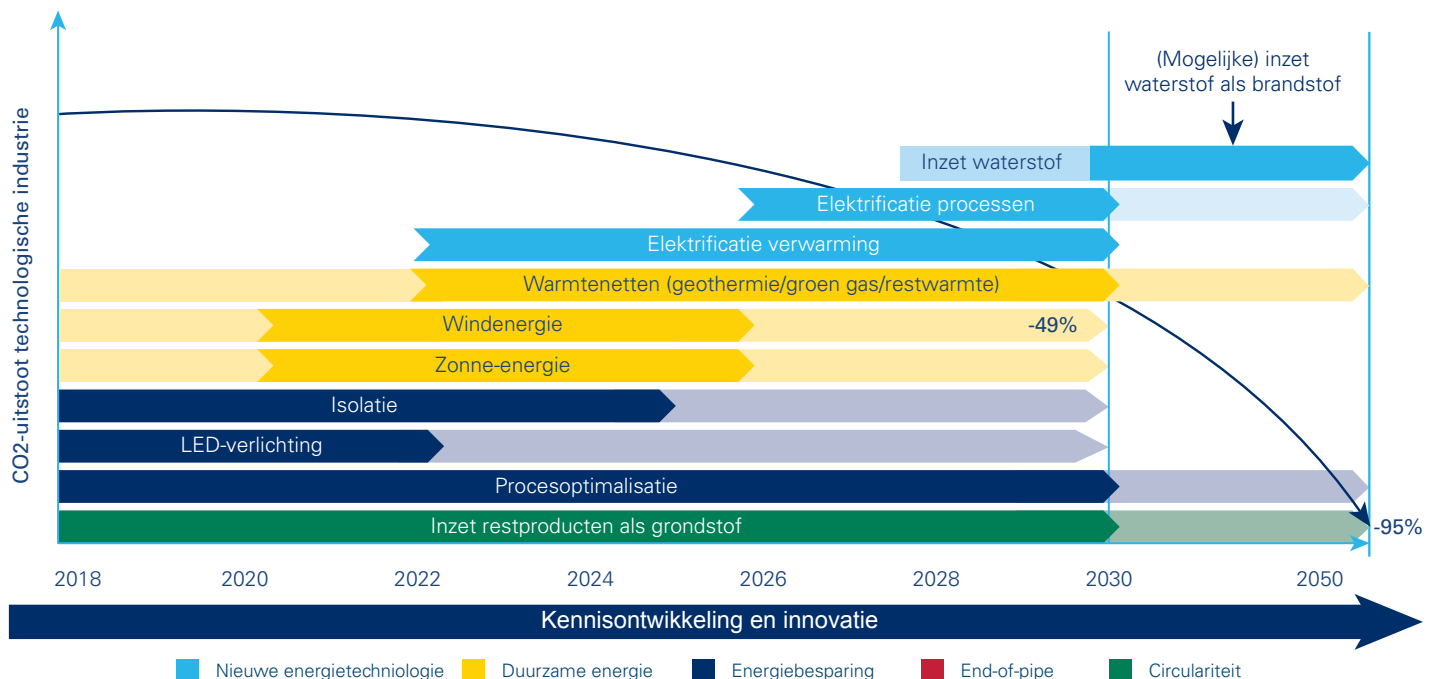


Figuur 27. Overzicht van maatregelen in de voorbeeldroute.

Procesoptimalisatie en circulariteit blijven tot 2030 voortdurend belangrijk. Snelle adaptatie van LED-verlichting en isolatie zijn nodig om aan de gebouwnormen te voldoen. Na isolatie is het vaak ook pas mogelijk om de ruimteverwarming te elektrificeren. Verdere opschaling van decentrale opwek zorgt vanaf 2020 voor een grote toevoeging van lokale duurzame elektriciteit.

Warmtenetten zijn nu nog vaak in een verkennende fase; vanaf 2022 zal dit versnellen. Tot slot zal elektrificatie van processen pas richting 2030 lonen vanwege de verwachte ontwikkelingen in het elektriciteitspark.

Voorbeeldroute naar 2030: zwaartepunt van oplossingen in de tijd

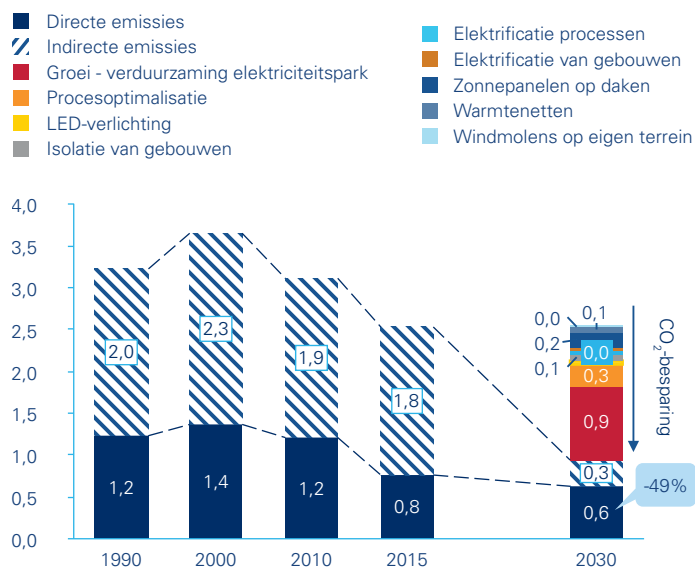


Figuur 28. Tijdlijn van maatregelen voor de voorbeeldroute. Pijlen geven een indicatie van waar het zwaartepunt van de maatregelen ligt.

Om tot 49% reductie te komen in de technologische industrie is procesoptimalisatie doorslaggevend: dit leidt tot 0,27 Mton besparing in 2030. Hierbij wordt uitgegaan van een besparing van 2% per jaar. Door zoveel als mogelijk zonnepanelen aan te leggen op daken van kantoren en bedrijfshallen draagt de sector bij aan de landelijke opgave om genoeg duurzame elektriciteit op te wekken en wordt er binnen de eigen sector 0,19 Mton CO₂ bespaard. Bijkomstig zal de elektriciteitsrekening van de bedrijven lager worden, waardoor elektrificatie sneller loont. Elektrificatie van processen zorgt in dit voorbeeld voor een reductie van 0,05 Mton – hier is uitgegaan van elektrificatie van 28% van de processen in de technologische industrie richting 2030. Verduurzaming van gebouwen door LED-verlichting, isolatie, elektrificatie van verwarming en warmtenetten zorgen gezamenlijk voor een reductie van 0,21 Mton.

Investerings voor dit pakket van maatregelen vallen in de orde van 0,5 miljard euro, waarvan het grootste deel voor de financiering van zonnepanelen. Uiteraard worden deze investeringen in een termijn van 12 jaar gedaan, verdeeld over vele bedrijven.

Technologische industrie – CO₂eq-uitstoot (Mton)



Figuur 29. CO₂-reductie in de technologische industrie bij de voorbeeldroute

6.2 Doorkijk naar 2050

De opgave om in 2050 tot 95% CO₂-reductie te komen vergt na 2030 nog een grote stap. Door tot 2030 in te zetten op besparingen, procesoptimalisatie en elektrificatie waar mogelijk, komt de technologische industrie in een goede uitgangspositie om 95% CO₂-reductie te behalen. Richting en na 2030 is het van belang dat de industrie verder elektrificeert (terwijl het elektriciteitspark steeds groener wordt). Hierbij zullen de verwarmingsprocessen zoveel mogelijk elektrisch moeten worden. In specifieke gevallen is het wellicht mogelijk dat de technologische industrie ook gebruik maakt van een landelijk waterstofnetwerk dat in de eerste plaats voor energie-intensieve bedrijven met een hoge temperatuur warmtevraag aangelegd wordt. Lokaal elektriciteit opwekken zal daarbij nog steeds lonen en bij het vervangen en renoveren van oude gebouwen zal standaard isolatie en lokale opwekking van duurzame energie meegenomen moeten worden. Over het algemeen geldt dat de vernieuwing van gebouwen zal zorgen voor grote sprongen in energiebesparing van de sector, ervan uitgaande dat in nieuwbouw standaard de meest energiezuinige bouw wordt toegepast. Uitgaande van de BENG normen ('bijna-energie neutraal gebouw') zal dit vanaf 1 januari 2021 voor alle nieuwe gebouwen in Nederland een vereiste zijn³⁴.

Conclusies, versnellende factoren en randvoorwaarden

Hoofdstuk 7



Voorgaande hoofdstukken laten zien hoe de opgave van de technologische industrie ten aanzien van CO₂-reductie met diverse maatregelen kan worden ingevuld. Daarbij is op basis van technisch-inhoudelijke inzichten en economisch perspectief een beeld geschetst van de mogelijke inzet van oplossingen richting 2030. Overkoepelend leidt deze analyse tot belangrijke inzichten. Niet alleen ten aanzien van de haalbaarheid van deze oplossingen, maar ook ten aanzien van afhankelijkheden en belangrijke randvoorwaarden waar de technologische industrie mee te maken heeft. Deze gevolgtrekkingen worden in dit hoofdstuk gepresenteerd.

7.1 Overkoepelende conclusies ten aanzien van CO₂-reductie

Deze routekaart toont de verschillende rollen die bedrijven in de technologische industrie spelen in de energietransitie. Allereerst de rol die de industrie speelt in de realisatie van vermindering van broeikasgassen in andere sectoren. Met het technologische profiel en innovatieve karakter van de sector speelt de Nederlandse maakindustrie een rol als enabler van de energietransitie. Zowel met de productie van duurzame energietechnologieën als met het ontwerp van energiebesparende apparatuur en innovatieve systemoplossingen.

Deze rol wordt in veel sectoren in Nederland al in grote mate vervuld. Tegelijkertijd levert de technologische industrie in de komende jaren een belangrijke bijdrage in de ontwikkeling van sleuteltechnieken in de energietransitie die tot op heden niet (commercieel) inzetbaar zijn. Denk daarbij aan elektrificatietechnieken voor hoge temperatuurprocessen, grootschalige opslagmogelijkheden en omzettingstechnieken van elektriciteit naar bijvoorbeeld waterstof. De technologische industrie biedt een kansrijk profiel voor de ontwikkeling van dergelijke technologieën en kan daarnaast bijdragen in het vergroten van de betrouwbaarheid en toepasbaarheid van deze technologieën. Samenwerkingen met de industrie, elektriciteitssector en kennisinstellingen is de komende jaren essentieel om de grootschalige inzet van technologie op gang te brengen.

7.1.1 Technische haalbaarheid

Uit deze routekaart blijkt dat 49% CO₂-reductie in 2030 ten opzichte van 1990 technisch haalbaar is voor de technologische industrie. Voor de directe uitstoot in scope 1 biedt de optimalisatie van productieprocessen, gecombineerd met een verbetering van gebouwbeheer en elektrificatie waar mogelijk voldoende besparingspotentieel om – ondanks een verwachte groei van 3% per jaar – de doelstelling van 2030 te halen.

Dit deel van de uitstoot is echter relatief klein, waarbij de voorgestelde maatregelen voor de verschuiving van aardgas naar elektriciteit bovendien meer focus leggen op de indirecte uitstoot van CO₂ in scope 2.

Ten aanzien van de indirecte uitstoot zien we voor de haalbaarheid van CO₂-reductie een belangrijke randvoorwaarde in de verwachte ontwikkelingen in de energiesector. Elektrificatie van processen heeft immers alleen een positief effect op de uitstoot als de gebruikte elektriciteit afkomstig is van duurzame bronnen. Uitgaande van de neergelegde ambities in het Klimaatakkoord, waarbij een aandeel duurzame elektriciteit van ongeveer 70% wordt verwacht in 2030, gaat de indirecte uitstoot van de sector in scope 2 met een factor 4 omlaag. Daarmee wordt de doelstelling van 49% CO₂-reductie in 2030 ten opzichte van 1990 voor zowel directe als indirecte uitstoot technisch realiseerbaar.

In de afhankelijkheid van de energiesector om de indirecte uitstoot van elektriciteitsgebruik te verminderen heeft de technologische industrie ook een eigen rol te vervullen. Zo biedt deze sector met bijna 30 miljoen m² dakoppervlak een grote mogelijkheid voor de opwekking van zonne-energie op daken. En kan de sector in sommige gevallen met behulp van opslag en flexibiliteit bijdragen aan de stabiliteit van het elektriciteitsnet. Om deze reden is de verduurzaming van het elektriciteitsgebruik van de sector niet uitsluitend als externe factor te beschouwen. Desalniettemin zal het technisch potentieel van eigen duurzame opwekking in de industrie bij lange na niet voldoende zijn om aan de vraag naar elektriciteit te voldoen.

De routekaart laat zien dat de verduurzaming van gebouwen in de technologische industrie een belangrijke rol speelt bij het verminderen van energieverbruik van de sector. Dit heeft te maken met het profiel van de sector, waarbij grote productiehallen met verwarming en verlichting een relatief groot aandeel van het energieverbruik in beslag nemen. Met name voor de verwarming van gebouwen (waarvoor momenteel voornamelijk aardgas wordt ingezet) geldt dat vergaande CO₂-reductie na 2030 in veel gevallen vraagt om een radicalere aanpak. Isolatie en elektrificatie zijn namelijk vanwege de huidige staat van het gebouwbestand niet in alle gevallen mogelijk. Dit betekent dat een deel van de bedrijven uiteindelijk afhankelijk is van nieuwbouw van productiehallen om een drastische vermindering van energieverbruik te realiseren. Dergelijke beslissingen zullen op bedrijfsniveau niet losstaand van reguliere bedrijfsbeslissingen worden genomen.

7.1.2 Economisch perspectief

Overkoepelend geldt dat – vergelijkbaar met andere sectoren – ook in de technologische industrie een spanning bestaat tussen gezonde bedrijfsvoering en extra kosten voor CO₂-reductie. Dit is met name voor die bedrijven van belang die voor hun investeringsbeslissingen afhankelijk zijn van een moederorganisatie in het buitenland. Deze zogenaamde onrendabele top geldt echter niet voor alle maatregelen. Energiebesparende maatregelen als LED-verlichting en procesoptimalisatie zijn in veel gevallen – afhankelijk van het bedrijfsprofiel – in enkele jaren terug te verdienen. Andere maatregelen, zoals de eigen opwekking van zonne-energie, isolatie en elektrificatie van gebouwverwarming, kunnen op langere termijn rendabel zijn; hier tegenover staat dat deze termijn in veel gevallen langer is dan voor een gezonde bedrijfsvoering als acceptabel wordt beschouwd. Externe financieringsconstructies of beschikbare subsidies kunnen in dergelijke gevallen een oplossing bieden.

Een belangrijke factor in het economisch perspectief van een maatregel betreft de elektriciteitsprijs in vergelijking met de aardgasprijs. Veel elektrificatiemaatregelen zijn momenteel niet rendabel vanwege de hogere operationele energiekosten. Ook voor de inkoop van groene stroom geldt dat de ontwikkeling van de elektriciteitsprijs van groot belang is voor de investeringsbeslissing van een bedrijf.

7.2 Versnellende factoren en randvoorwaarden tot 2030

De implementatie van CO₂-reducerende maatregelen in de technologische industrie kent – naast bovengenoemde financiële aspecten – uitdagingen. Denk daarbij aan uitdagingen die te maken hebben met wet- en regelgeving of infrastructuur, maar ook aan uitdagingen met betrekking tot de interne organisatie van bedrijven.

	Financiering	Wet- en regelgeving	Beschikbaarheid	Innovatie & kennis	Interne organisatie
Uitdaging	<ul style="list-style-type: none"> • Onrendabele top voor financiering CO₂-reducerende maatregelen • Hoge OPEX in brandstofprijzen 	<ul style="list-style-type: none"> • Hoge kosten voor netaansluiting bij elektrificatie 	<ul style="list-style-type: none"> • Afhankelijkheid van beschikbaarheid van groene stroom van energiesector 	<ul style="list-style-type: none"> • Afhankelijkheid beschikbare technologie • Onvoldoende kennis / capaciteit bij kleine bedrijven 	<ul style="list-style-type: none"> • Mandaat en urgentie vanuit moederbedrijf/interne organisatie voor investeringsbeslissingen
Versnellende factoren	<ul style="list-style-type: none"> • Subsidie voor CO₂-reducerende maatregelen (ook op kleine schaal) • Slimme financieringsleaseconstructies 	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibele nettarieven & socialisering netverzwaringen 	<ul style="list-style-type: none"> • Mogelijke samenwerking met energie sector (PPAs) & eigen opwekking 	<ul style="list-style-type: none"> • Fieldlabs/demo's voor elektrificatie in de industrie • Invoering branche-programma voor ondersteuning MKB bedrijven 	<ul style="list-style-type: none"> • Leiderschap interne organisatie en etaleren succesfactoren • Invoering branche-programma voor ondersteuning en agendering

Figuur 30. Genoemde uitdagingen en versnellende factoren voor de implementatie van CO₂-reducerende maatregelen

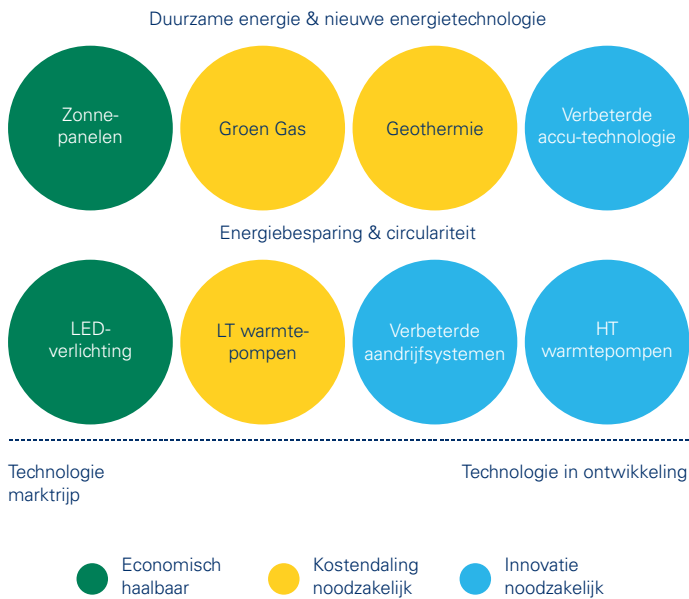
Bovengenoemde factoren laten zien dat samenwerkingen met de (landelijke en regionale) overheid, de energiesector en kennisinstellingen de komende jaren extra relevant worden om een versnelling van de energietransitie te bewerkstelligen. Denk daarbij aan samenwerkingen met de energiesector voor de productie van duurzame energie, samenwerkingen met kennisinstellingen voor het opstarten van demo-projecten of samenwerkingen met externe financieringspartijen om de haalbaarheid van investeringen te vergroten. Ook ten aanzien van wet- en regelgeving en subsidies kunnen belangrijke hordes worden weggenomen. In het Klimaatakkoord is hier al een belangrijke basis voor gelegd. Voor de interne organisatie geldt dat het tonen van leiderschap vanuit de sector en etaleren van succesfactoren belangrijk blijft in het vergroten van urgentie en draagvlak voor de energietransitie. Ook de invoering van een brancheprogramma of -aanpak kan helpen om de agendering binnen de sector te versterken

Figuur 30 geeft een samenvatting van veelgenoemde punten en mogelijke oplossingsrichtingen die de implementatie van CO₂-reducerende maatregelen kunnen versnellen.

Twee belemmerende beleidsfactoren zijn specifiek voor elektrificatie. Dat is ten eerste de structuur van de nettarieven die vooral elektrische of hybride boilers belemmert, tenzij men in heel Nederland een “stoplicht systeem” invoert waarbij de industrie vrijgesteld is van extra nettarief bij elektrificatie in bijvoorbeeld daluren. Ten tweede is er een nieuwe belemmering in aantocht door de voorgenoemde minimum CO₂-prijs voor elektriciteit, omdat dit selectief elektriciteit duurder maakt en daarmee de businesscase voor elektrificatie verslechtert. Dit kan worden voorkomen door het opnemen van een heffingsvrije voet in de regeling, zodat niet-vermijdbare CO₂-emissies in de elektriciteitsopwekking worden ontzien en daarmee ook elektrificatie op basis van de schoonste mix (gas en duurzame elektriciteit) niet of weinig extra wordt belast.

7.3 Innovatie voor de transitie

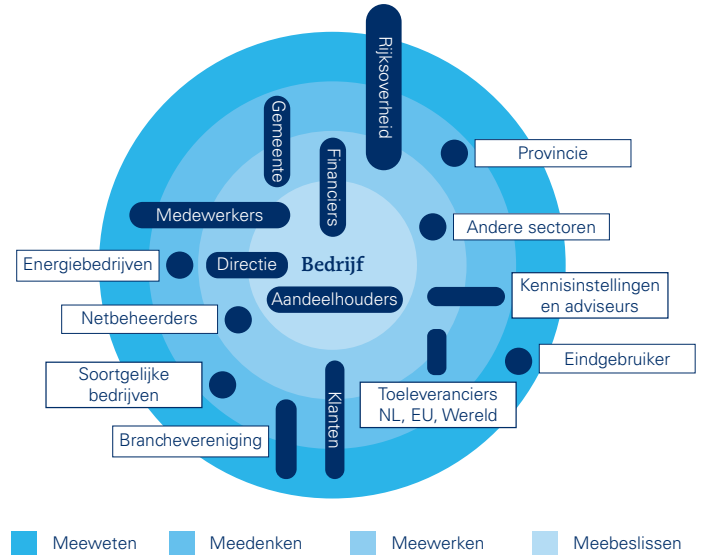
Los van innovatiekracht voor andere sectoren kan de technologische industrie haar innovatiekracht inzetten voor de verdere ontwikkeling van technologie in de eigen sector. De belangrijkste elementen op de innovatie-agenda in deze sector betreft de ontwikkeling van elektrificatietechnieken die een hogere efficiëntie hebben dan vergelijkbare systemen op aardgas. Denk daarbij aan (hoge temperatuur) warmtepompen, die door hun hoge efficiëntie in operationele kosten voordeel hebben boven aardgas gedreven alternatieven; hoge temperatuur warmtepompen kunnen verwarmen boven de honderd graden Celsius en zijn daarmee in te zetten voor processen zoals ovens en badverwarming. Ook een verbetering van opslagmogelijkheden zoals accu's kan met name in de technologische industrie een belangrijke bijdrage leveren. Hiermee kan de relatief grote hoeveelheid aan duurzaam opgewekte energie afkomstig van eigen daken beter gedurende de dag inzetbaar worden, waarmee systeemkosten en curtailment in de energiesector kunnen worden voorkomen.



Figuur 31. Innovaties voor de energietransitie in de technologische industrie

7.4 Belangrijke stakeholders in de energietransitie

De energietransitie is een transitie die veel samenwerking vraagt op verschillende niveaus. Sommige stakeholders beslissen mee over de invulling van de transitie, anderen werken mee om de transitie gedaan te krijgen. Vervolgens zijn er partijen die mee kunnen denken en andere partijen die moeten 'meeweten' (op de hoogte moeten worden gehouden).



Figuur 32. Stakeholders voor de energietransitie binnen een bedrijf. De blauwe bollen en blokken geven aan op welk niveau deze stakeholders betrokken zijn: van meebeslissen tot aan meeweten.

Grofweg onderscheiden we een aantal categorieën stakeholders:

- **Interne stakeholders.** Intern zijn met name de directie en aandeelhouders verantwoordelijk voor het nemen van een investeringsbeslissing aangaande de energietransitie. Maar ook medewerkers hebben soms een belangrijke rol in het meedenken over de juiste keuzes en het meewerken om deze keuzes gedaan te krijgen. Daarom speelt de betrokkenheid van interne stakeholders op alle niveaus een rol.
- **Overheid.** Vaak zijn oplossingen in de energietransitie lokale aangelegenheden; denk bijvoorbeeld aan de bouw van een zonnepark of de aanleg van een warmtenet. Gemeenten spelen hierin een meedenkende en soms meewerkende rol om de juiste partijen bij elkaar te brengen. Ook de regels die rijksoverheid stelt hebben invloed op de energietransitie van het bedrijf, denk bijvoorbeeld aan het besluit om van het Groningen gas af te stappen. Daarmee is de landelijke overheid op alle niveaus betrokken.

- **Financiers.** Hoe financiers willen omgaan met de financiële risico's van investeringen voor de energietransitie wordt de komende jaren erg belangrijk, zoals bijvoorbeeld de beschikbaarheid en voorwaarden van groene leningen. De financiers zullen moeten meebeslissen en meewerken om de energietransitie van een bedrijf een succes te maken.
- **Innovatie en de sector.** De innovaties die nodig zijn voor de energietransitie kunnen uit verschillende hoeken komen. Kennisinstellingen en adviseurs kunnen meedenken welke mogelijkheden er zijn en meewerken om deze te ontwikkelen. Daarnaast kunnen toeleveranciers uit Nederland, maar ook van daarbuiten, de juiste technieken aanleveren voor het bedrijf. Daarnaast zou de branchevereniging een rol kunnen vervullen om het bedrijf in contact te brengen met innovaties en soortgelijke bedrijven die wellicht al een stap voor zijn.

Klanten zullen op meerdere niveaus belangrijk zijn in de energietransitie. Niet alleen willen zij weten waar het bedrijf mee bezig is, maar wellicht kunnen zij deze ook mogelijk maken door partnerships aan te gaan. Klanten spelen dan ook zowel een meedenkende als meewerkende rol

- **Overige sectoren.** Bij verschillende maatregelen binnen de energietransitie is juist de verbinding tussen verschillende sectoren belangrijk. Denk bijvoorbeeld aan de aanleg van een warmtenet, waar een bedrijf restwarmte aan levert. Of de productie van waterstof voor het bedrijf, maar ook voor de mobiliteitssector. Samenwerking over de sectoren heen is hiervoor essentieel.

7.5 Aanbevelingen

Bovengenoemde conclusies en versnellende factoren leiden tot een aantal overkoepelende aanbevelingen ten aanzien van CO₂-uitstootreductie. Deze aanbevelingen zijn afzonderlijk weergegeven voor de technologische industrie en overige partijen

(o.a. energiesector, netbeheerders, financieringspartijen en beleidsmakers). Voor de technologische industrie zijn de aanbevelingen in de vorm van een actieagenda weergegeven.

Voor de technologische industrie:

NU – 2021	2022-2026	2027-2030
Zet in op energiebesparing door LED-verlichting en procesoptimalisatie	Zet in op elektrificatie van gebouwverwarming met behulp van warmtepompen	Zet in op elektrificatie van processen
Kijk waar mogelijk naar renovatie van gebouwen, inclusief toepassing van isolatie	Werk samen met de branche aan innovatieprogramma's en demoprojecten	Investeer waar mogelijk in de opslag van elektriciteit om bij te dragen aan de balancering van het net
Investeer via eigen middelen of externe financieringsconstructies in zonnepanelen op daken	Zet in op innovatie van hoog-rendement elektrificatietechnieken	Onderzoek mogelijkheden voor de inzet van waterstof
Zet in op continue innovatie voor de bijdrage aan CO ₂ -reductie in andere sectoren	Inventariseer in samenwerking met de energiesector de mogelijkheden voor gezamenlijke Power Purchasing Agreements	
Ontwikkel een eenduidige methode om ketenbesparingen te kwantificeren		
Etaleer succesfactoren en voorbeeldprojecten om leiderschap te demonstreren		

Voor overige partijen:

- Zet in op continue verduurzaming van het elektriciteitspark;
- Werk aan toegankelijkheid van toepassen van elektrificatie, onder andere door een aanpassing in tariefstructuren bij netverzwaringen;
- Ontwikkel gezamenlijk met partijen een eenduidige methode om ketenbesparingen (in het kader van circulaire economie) te kwantificeren.
- Werk samen met de branche aan kennis- en innovatieprogramma's, onder andere door aantoonbare demonstratieprojecten om de betrouwbaarheid van technologie te vergroten;
- Ontwikkel aantrekkelijke financieringsconstructies om de investering in duurzame energietechnologieën te vergemakkelijken.
- Werk samen met de rijksoverheid aan het wegnemen van beleidsbelemmeringen voor elektrificatie in de nettarieven en de CO₂-minimumprijs in de elektriciteitsopwekking.

Bijlage

Bijlage 1. Ontwikkelingen in het elektriciteitspark

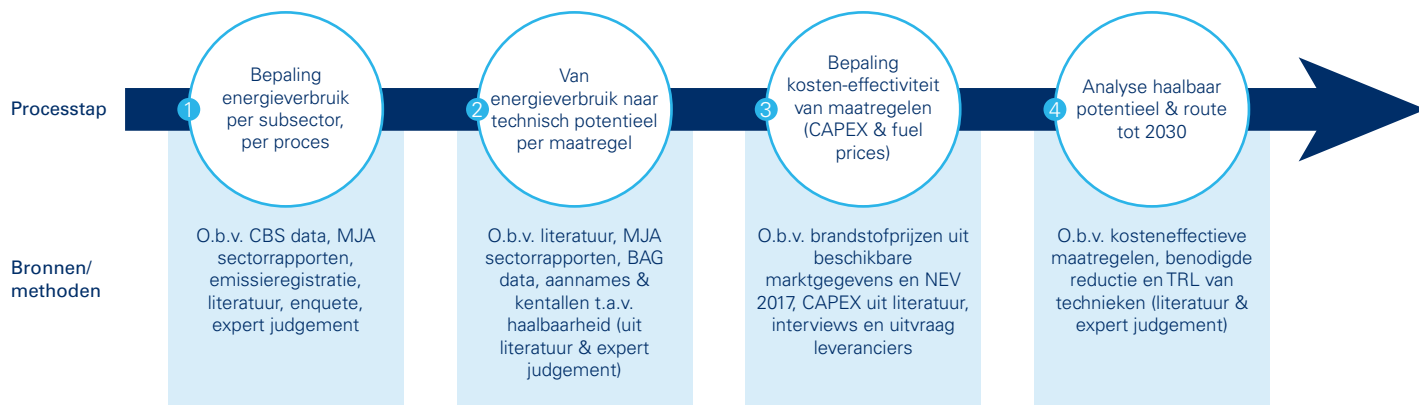
Het elektriciteitspark van Nederland bestaat nu nog grotendeels uit energiecentrales die kolen en aardgas verstopen. Deze elektriciteitscentrales hebben een rendement op de omzetting van kolen en aardgas naar elektriciteit van circa 40-50%. Daardoor ligt de uitstoot van grijze stroom met 137.1 kg CO₂/GJ³⁵ (volgens de integrale methode) hoger dan de verbranding van kolen 97.5 kg CO₂/GJ³⁶ en aardgas 56.5 kg CO₂/GJ³⁷ voor warmte.

In het Klimaatakkoord is afgesproken dat er 84 tot 110 TWh duurzame elektriciteit opgewekt gaat worden uit zonne- en windenergie. Daarmee stijgt het aandeel duurzame elektriciteit van nu 13,8%³⁷ naar ongeveer 80% in 2030 (met aangenomen extra groei in vraag naar elektriciteit van 12 tot 38 TWh). Hiermee daalt ook de uitstoot van elektriciteit (volgens de integrale methode) naar 32,3 kg CO₂/GJ. Elektriciteit wordt daarmee duurzamer dan de verbranding van kolen en aardgas³⁸. De keerzijde van de grote toename van elektriciteit uit duurzame bronnen, is dat deze elektriciteit niet gegarandeerd beschikbaar is. In 2030 zullen er nog elektriciteitscentrales nodig zijn die kunnen bijspringen op momenten dat er weinig zon en/of wind is.

Een dergelijk systeem kan van invloed zijn op de prijs van elektriciteit. In zo'n markt kan bij overschotten elektriciteit de prijs sterk dalen (mogelijk zelfs negatief worden)³⁹ en andersom kan de prijs sterk stijgen als er niet voldoende elektriciteit wordt opgewekt uit duurzame bronnen. De voorspellingen van duurzame productie zullen zeer belangrijk worden. Flexibilisering van de elektriciteitsprijzen biedt ruimte voor aanbieders van flexibel vermogen (afschalbaar en volledig regelbaar) om hier een business case rond te bouwen. Ook in het huidige elektriciteitsstelsel vervullen sommige bedrijven een dergelijke rol al.

Bijlage 2. Methodologie

Deze routekaart gebruikt 1990 als referentiekader voor de gestelde CO₂-reductie doelen. CO₂-cijfers en energieverbruik zijn op basis van CBS data van 1990 tot 2015, impact van maatregelen is berekend vanaf basisjaar 2015 tot 2030. Om deze impact van maatregelen te berekenen en een routekaart voor de technologische industrie op te stellen zijn er 4 stappen genomen (zie Figuur 33).



Figuur 33. Aanpak voor het behalen van CO₂ reductie potentieel

Deze bijlage geeft verdere uitleg bij deze methode:

STAP 1	STAP 2	STAP 3	STAP 4
Bepalen van energieverbruik per sub-sector en per proces	Bepalen van het technisch potentieel per maatregel gebaseerd op het energieverbruik in de sub-sectoren	Bepalen van kosteneffectiviteit van de maatregelen gefocust op CAPEX en OPEX	Analyse van het haalbare potentieel en route tot 2030

³⁵ CBS (2018). Rendementen en CO₂ emissie elektriciteitsproductie 2016

³⁶ RVO (2017). Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂ emissiefactoren

³⁷ CBS (2018). Meer stroom uit wind en zon

³⁸ Berekening Berenschot op basis van PBL (2018). Achtergrondrapport analyse elektriciteit voorstel voor hoofdlijnen klimaatakkoord

³⁹ Energeia (2017) Winderige kerst zorgt voor negatieve Duitse stroomprijzen

Stap 1: Bepalen van energieverbruik per sub-sector en per proces

In stap 1 is het energieverbruik per sub-sector en per proces bepaald. In de technologische industrie wordt de volgende onderverdeling gemaakt: metaalproducten, elektrotechnische-en machine-industrie, en transportmiddelenindustrie.

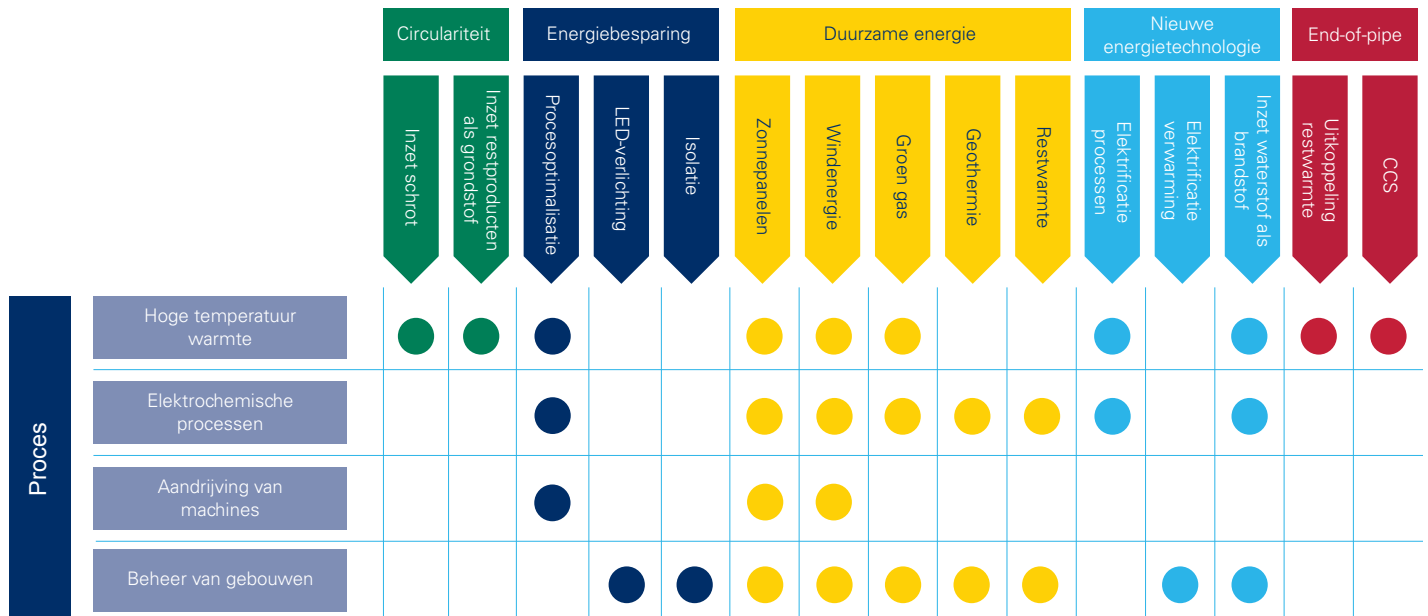
Voor elke sub-sector wordt het totaal energieverbruik meegenomen dat afgeleid kan worden uit data van het CBS. Met behulp van MJA sectorrapporten, emissieregistratie, literatuur een enquête voor aangesloten bedrijven, en expert judgement vanuit Berenschot is vervolgens een verdere verdeling naar proces gemaakt.

Voor de onderverdeling naar verschillende processen is er gekeken naar zowel de eigenschap van het proces (chemisch, thermisch, mechanisch en elektrochemisch) als naar het energieverbruik en energiedrager per specifiek proces. Vanuit deze analyse zijn de volgende 5 standaard proces indelingen gemaakt:

- Hoge-temperatuur warmte
- Mechanische aandrijving
- Elektrochemische bewerking
- Verwarming van gebouwen
- Verlichting van gebouwen

Stap 2: Bepalen van het technisch potentieel per maatregel gebaseerd op het energieverbruik in de sub-sectoren

In stap 2 is vanuit het huidige energieverbruik het technisch haalbare potentieel van alle maatregelen bepaald voor de verschillende sub-sectoren. De verschillende maatregelen zijn onderverdeeld in 6 groepen: Energiebesparing, Duurzame energie, Nieuwe energietechnologieën, End-of-pipe oplossingen, Ecodesign en Circulariteit. Elke van de te nemen maatregelen zijn van toepassing op een of meerdere processen binnen de verschillende sub-sectoren van de technologische industrie (zie Figuur 34). Op basis van literatuur, MJA sectorrapporten, BAG data, interviews en expert schattingen vanuit Berenschot zijn vervolgens de potentiële impact van deze maatregelen ingeschat. Het totaal aan CO₂-reductie per maatregel wordt bepaald door de besparing op energiedragers om te zetten naar besparing in CO₂-uitstoot. Voor elektriciteit is de verduurzaming van het elektriciteitspark ook meegenomen.



Figuur 34. Verschillende maatregelen om tot CO₂ reductie te komen, gekoppeld aan processen (per sub-sector)

Stap 3: Bepalen van kosteneffectiviteit van de maatregelen gefocust op CAPEX en OPEX

In stap 3 zijn de verschillende maatregelen afgewogen tegen de kosten (CAPEX & OPEX) om zo de kosteneffectiviteit van elk afzonderlijke maatregel te kunnen bepalen. De kosten van een maatregel zijn opgebouwd uit CAPEX en OPEX kosten. Deze kengetallen zijn samengesteld met de hulp van expert interviews, uitvraag aan leveranciers en literatuuronderzoek.

De kosteneffectiviteit hangt af van de jaarlijkse meerkosten ten opzichte van (eventuele) alternatieve investeringen. Hierbij worden jaarlijkse meerkosten berekend aan de hand van (meer-) investering, levensduur, WACC (aan de CAPEX-kant) en onderhoud, beheer en brandstofkosten (aan de OPEX-kant). Voor de berekening van brandstofprijzen zijn gemiddelde prijzen van 2017 als basis genomen. Uit deze analyse komt vervolgens een rangschikking op basis vermijdingskosten van CO₂ per maatregel om zo de kosteneffectiviteit van een maatregel te kunnen vaststellen. Dit zijn macro-economische getallen. Daarnaast zijn voor een aantal maatregelen ook business cases op bedrijfsniveau berekend (op basis van dezelfde getallen).

Stap 4. Analyse van het haalbare potentieel en route tot 2030

In de laatste stap is een voorbeeldroute tot 2030 uitgestippeld. Met behulp van de kosteneffectiviteit van alle maatregelen, de stand der techniek en een validatie-bijeenkomst is een haalbaar maatregelenpakket samengesteld met als doel om tot een CO₂-reductie van 49% te komen in 2030. Om uiteindelijk tot een route tot 2030 te komen voor de technologische industrie zijn de verschillende maatregelen in de tijd geplot, waarbij gekeken is waar het zwaartepunt van deze maatregelen logischerwijs zal liggen in de tijd.

Bijlage 3. Gehanteerde aannames

BEDRAG	EENHEID	WAARDE
Algemeen		
Totaal oppervlakte technologische industrie	m2	28.498.314
Totaal oppervlakte bedrijfshallen beide industrieën	m2	26.503.432
Totaal oppervlakte winkels en kantoorpanden	m2	1.994.882
Energetische onderwaarde aardgas	MJ/m3	31,65
Energetische bovenwaarde aardgas	MJ/m3	35.17
ZON-PV		
Aanschaf en installatiekosten zon-PV	€/Wp	€ 0,83
Beschikbaar dakoppervlak voor zon-PV van totaal	%	33%
Piekvermogen zonnepaneel	kWp/m2	0,1665
Gemiddelde opbrengst per jaar per piekvermogen	kWh/kWp	770
Afschrijvingstermijn zon-PV	Jaren	25
Technische potentieel dakoppervlak technologische industrie	m2	13.285.914
Isolatie		
Gasverbruik bedrijfshallen	m3/m2/jaar	4,66
Gasverbruik kantoren en winkels	m3/m2/jaar	16,0
Afschrijving isolatie	Jaren	10
WACC Isolatie	%	10%
Onderhoudskosten	%/CAPEX/jaar	1%
Kosten isolatie bedrijfshallen	€/m2	€ 6 - € 12,90
Kosten isolatie kantoren en winkels	€/m2	€ 11,90 - € 21,80
Technisch potentieel in bedrijfshallen	%	12% - 26%
Technisch potentieel in kantoren en winkels	%	7% - 65%
Warmtepomp		
Afschrijving warmtepompen	Jaren	10
WACC warmtepompen	%	10%
COP warmtepompen (afhankelijk van type)		3,5 - 8,0
Aanschaf en installatiekosten (afhankelijk van type)	€/kW	€ 1.413 - € 2.400
Vollasturen warmtepompen	Uren	3650
Onderhoudskosten warmtepomp	%/CAPEX/jaar	10%
LED verlichting		
Besparing LED T.O.V. conventioneel verlichting	%	60%
LED kosten (OPEX)	€/m2/jaar	€ 0,14 - € 0,25
LED kosten (CAPEX)	€/m2	€ 0,08 - € 0,13
WACC LED	%	4%
Afschrijving ledverlichting	Jaren	10

BEDRAG	EENHEID	WAARDE
Geothermie		
Draaiuren Geothermie	Uren	3.672
Geothermie vermogen	MW	2.198
Elektrisch vermogen	MW	0.096
Thermisch vermogen	MWth	8,5
Investering Geothermie	€/KWth	€ 800
Operationele kosten Geothermie	€/KWth/jaar	€ 50
Levensduur Geothermie systeem	Jaren	30
WACC	%	10%
Investering per PJ Geothermie	€/PJ	€ 60.511.607
Onderhoudskosten per PJ Geothermie	€/PJ	€ 3.781.975
Warmtenet		
Investering warmtenet per aansluiting	€/aansluiting	€ 6.000
Operationele kosten warmtenet per jaar	€/jaar	5%
Levensduur warmtenet	Jaren	30
WACC warmtenet	%	7%
Totale Investering per PJ warmtenet	€/PJ	€ 118.860.000
Onderhoudskosten warmtenet per PJ	€/PJ	€ 478.925
Groengas		
Groengas potentieel Nederland in 2030	PJ	85,5
Fairshare groengas technologische industrie	%	3%
WACC groengas	%	0,1%
Levensduur groengas systeem	Jaren	10
Investering per PJ groengas	€/PJ	€ 16.453.390
Onderhoudskosten per PJ groengas	€/PJ	€ 246.800
Biomassa		
Draaiuren biomassaketel in 2030	Uren	3.943
Thermisch vermogen biomassaketel	MWth	5
Investering biomassaketel	€/KWth	€ 6,61
Vaste onderhoudskosten biomassaketel	€/KWth/jaar	€ 2
Variabele onderhoudskosten biomassaketel	€/KWh/jaar	€ 0,001
Levensduur biomassaketel	Jaren	25
WACC biomassaketel	%	10%
Investering per PJ	€/PJ	€ 4.227.273
Onderhoudskosten per PJ biomassaketel	€/PJ/jaar	€ 160.622

BEDRAG	EENHEID	WAARDE
Emissiefactoren	kgCO ₂ /GJ	
Steenkool en bruinkool	kgCO ₂ /GJ	97,5
Cokesovengas	kgCO ₂ /GJ	42,8
Overige koolproducten	kgCO ₂ /GJ	89,8
Aardgas	kgCO ₂ /GJ	56,5
Restgassen uit olie	kgCO ₂ /GJ	70
Nafta	kgCO ₂ /GJ	73,3
Lpg	kgCO ₂ /GJ	66,7
Benzine	kgCO ₂ /GJ	72
Kerosine	kgCO ₂ /GJ	71,5
Gas-, dieselolie en lichte stookolie	kgCO ₂ /GJ	74,3
Zware stookolie	kgCO ₂ /GJ	77,4
Overige aardolieproducten	kgCO ₂ /GJ	73,3
Elektriciteit CO ₂ uitstoot 1990	kgCO ₂ /GJ	151,46
Elektriciteit CO ₂ uitstoot 2017	kgCO ₂ /GJ	137,11
Elektriciteit CO ₂ uitstoot 2030	kgCO ₂ /GJ	32,25

Bijlage 4. Bronnen

In dit overzicht zijn zowel de referenties in het rapport als de bronnen gebruikt voor berekeningen weergegeven. Hierdoor staan er bronnen in de literatuurlijst waar niet naar verwezen wordt in het rapport.

- Agentschap NL (2011). Slim licht werkt beter in bedrijfshallen.
- Arasu (2009). Energy consumption studies in cast iron foundries.
- Berenschot (2016). Onderzoek naar nettarieven en flexibiliteit.
- Berenschot (2018). Strategische hubs voor de opschaling van groen gas in Nederland.
- BMU (2013). Ermittlung von branchenspezifischen Potentialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie
- British Geological Survey (2018). World Mineral Production
- BuildDesk (2011). CO₂-besparingpotentieel ESCo's in utiliteitsbouw
- Bureau of International Recycling (2016). Report on Environmental Benefits of Recycling.
- CBS (2015). Energieverbruik van technologische industrie voor het jaar 2015.
- CBS (2018). Energieverbruik van particuliere huishoudens.
- CBS (2018). Statline, Arbeidsrekening; arbeidsvolume naar bedrijfstak en geslacht; 1969-2016
- CBS (2018). Statline, Banen van werknemers; bedrijfsgrootte en economische activiteit (SBI 2008)
- CBS (2018). Statline, Bedrijven; bedrijfstak
- CBS (2018). Statline, Groeirekening; nationale rekeningen
- CBS (2018). Zonnestroom naar regio
- CBS (2018). Rendementen en CO₂ emissie elektriciteitsproductie 2016
- CBS (2018). Aandeel hernieuwbare energie naar 6,6%
- CE Delft (2015). Denktank energiemarkt industriële warmtemarkt
- CE Delft (2018). Waterstofroutes Nederland; Blauw, Groen en Import
- CE Delft, Berenschot en Kalavasta (2018). Noodzakelijk beleid klimaatakkoord.
- CO₂ emissiefactoren (2018). Lijst met emissiefactoren
- DNV GL (2017). Biomassabeschikbaarheid in Nederland
- Dutch New Energy Research (2018). Nationaal warmtepomp trendrapport 2018
- ECN (2014). Verbetering referentiebeeld utiliteitssector
- ECN (2017). Het besparingspotentieel van Elektrische Aandrijfsystemen in de Nederlandse industrie en dienstensector
- EEX (2018). European Emission Allowances (EUA)
- Emissieregistratie (2018). De Nederlandse emissies naar lucht, water en bodem: Rijksoverheid.
- Energeia (2017) Winderige kerst zorgt voor negatieve Duitse stroomprijzen
- European Commission (2005). Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry

- FME (2018). Slimmer, duurzamer en leefbaarder. Met technologie maken we onze Gebouwde omgeving toekomstbestendig
- Global steel report (2016) Global steel Trade monitor
- Hoogervorst, N. (2017) Toekomstbeeld klimaat neutrale warmtenetten in Nederland, Den Haag: PBL
- ING Economisch Bureau (2018). Technology, the climate saviour? The potential for technology to reduce energy related CO₂ emissions.
- LISA (2018). Oppervlakte vestigingen SBI 24-30
- Material Economics (2018). The Circular Economy. A Powerful Force for Climate Mitigation
- Nationale Energieverkenning (2017).
- PBL/DNV GL (2014) Het potentieel van zonnestroom in de gebouwde omgeving van Nederland
- PBL (2018). Achtergrondrapport analyse elektriciteit voorstel voor hoofdlijnen klimaatakkoord
- Quintel (2018). Energietransitiemodel (parameters wind op zee)
- R. Van der Rijt (2018).
- RVO (2011). Compressiewarmtepomp
- RVO (2014). Brochure Efficiënte Elektrische Aandrijvingen
- RVO (2015). Best Practice efficiënte elektrische aandrijvingen
- RVO (2016). Energiezuinige HF-verlichting in bedrijfshallen.
- RVO (2016). MJA Energie-efficiëntieplannen 2013-2016. Gieterijen.
- RVO (2016). Zonnestroom voor de industrie
- RVO (2017). Nederlandse lijst van energiedragers en standaard CO₂ emissiefactoren
- RVO (2018). Energielabel C kantoren
- RVO (2018). MJA3 Sectorrapport 2017. Oppervlakte behandelende industrie
- RVO (2018). Verkenning groeimarkten EEA en ICT
- RVO (2018). Wettelijke eisen - BENG
- SenterNovem (2005). Potentieel en kansen voor CO₂-reductie bij bedrijfshallen
- SenterNovem (2007). Cijfers en tabellen 2007
- Stichting Platform Geothermie, DAGO, Stichting Warmtenetwerk en EBN (2018), Masterplan Aardwarmte in Nederland.
- Ministerie van Economische Zaken en Klimaat (2018). Voorstel voor Hoofdlijnen Klimaatakkoord.
- Vreugdenhil, C. (2014). Een studie naar het potentieel van PV in Nederland, Wageningen; WUR.
- Wikipedia (2018). Aardopwarmingsvermogen



Berenschot

Berenschot is een onafhankelijk organisatieadviesbureau met 350 medewerkers wereldwijd. Al 80 jaar verrassen wij onze opdrachtgevers in de publieke sector en het bedrijfsleven met slimme en nieuwe inzichten. We verwerven ze en maken ze toepasbaar. Dit door innovatie te koppelen aan creativiteit. Steeds opnieuw. Klanten kiezen voor Berenschot omdat onze adviezen hen op een voorsprong zetten.

Ons bureau zit vol inspirerende en eigenwijze individuen die allen dezelfde passie delen: organiseren. Ingewikkelde vraagstukken omzetten in werkbare constructies. Door ons brede werkterrein en onze brede expertise kunnen opdrachtgevers ons inschakelen voor uiteenlopende opdrachten. En zijn we in staat om met multidisciplinaire teams alle aspecten van een vraagstuk aan te pakken.

Berenschot Groep B.V.

Europalaan 40, 3526 KS Utrecht

Postbus 8039, 3503 RA Utrecht

030 2 916 916

www.berenschot.nl

[in /berenschot](https://www.linkedin.com/company/berenschot)