

Zeefstudie 2026: herziening methode en uitvoering

Kosteneffectieve alternatieven voor
CCS



Zeefstudie 2026: herziening methode en uitvoering

Kosteneffectieve alternatieven voor CCS

Dit rapport is geschreven door:
Maarten de Vries, Charley Bakker, Koen van Dam en
Kris Manna

Delft, CE Delft, januari 2026

Publicatienummer: 26.250361.008

Opdrachtgever: Ministerie van KGG

Alle openbare publicaties van CE Delft zijn
verkrijgbaar via www.ce.nl

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de
projectleider Maarten de Vries (CE Delft)

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft – Committed to the Environment

CE Delft draagt met onafhankelijk onderzoek en advies bij aan een duurzame samenleving. Wij zijn toonaangevend op het gebied van energie, transport en grondstoffen. Met onze kennis van techniek, beleid en economie helpen we overheden, NGO's en bedrijven structurele veranderingen te realiseren. Al sinds 1978 werken betrokken en kundige medewerkers bij CE Delft om dit waar te maken.

Inhoud

	Samenvatting	5
	Herziening methode	5
	Uitvoering zeef	7
	Advies	7
1	Inleiding	9
	1.1 Achtergrond en aanleiding	9
	1.2 Doel en afbakening	9
	1.3 Leeswijzer	10
2	Herziening methode	11
	2.1 Inleiding	11
	2.2 Belangrijkste wijzigingen	11
	2.3 Herziene methode stap voor stap: de trechter	14
	2.4 Herziene methode stap voor stap: de zeef	22
	2.5 Herziene methode stap voor stap: inbedding in breder beleid	23
3	De trechter	25
	3.1 Inleiding	25
	3.2 Interviews	25
	3.3 Stap 1: Identificatie van relevante sectoren	28
	3.4 Stap 2: Van sectoren naar processen	30
	3.5 Stap 3: Longlist alternatieven per proces	32
	3.6 Stap 4: Van longlist naar shortlist	33
	3.7 Conclusie	37
4	De zeef	38
	4.1 Inleiding	38
	4.2 Methode	38
	4.3 Belangrijkste bevindingen	41
	4.4 Productie van LT-warmte	42
	4.5 Productie van HT-warmte	42
	4.6 Productie van waterstof	43
	4.7 Indampen van waterige oplossingen	45
	4.8 Vergelijking met resultaten vorig jaar	46

5	Inbedding in breder beleid	48
	5.1 Inleiding	48
	5.2 Beschikbaarheid van alternatieve energiedragers	48
	5.3 Infrastructuur voor alternatieve energiedragers	50
	5.4 Gevoeligheidsanalyse	51
6	Conclusies en advies	57
	Herziening methode	57
	Resultaten van de trechter voor 2026	57
	Resultaten van de zeef voor 2026	58
	Inbedding in breder beleid	59
	Advies	60
	Literatuur	61
A	Longlist bedrijven	63
B	Emissiefactoren	65

Samenvatting

In het Nederlandse Klimaatakkoord (Rijksoverheid, 2019) is afgesproken dat subsidiëring van Carbon Capture and Storage (CCS) van CO₂ van fossiele oorsprong niet ten koste mag gaan van de ontwikkeling van alternatieve, schonere energietechnieken. Daarom is subsidiëring van CCS-projecten via de SDE++ ingekaderd, onder andere via de zogenoemde 'zeef'. De zeef houdt in dat er per relevant industrieel proces gekeken wordt of er aantoonbare kosteneffectieve alternatieve technieken bestaan voor CCS die binnen dezelfde termijn kunnen worden gerealiseerd. Als die er zijn, wordt CCS volgens de afspraken in het Klimaatakkoord niet gesubsidieerd.

In deze studie herzien we de zeefmethode op basis van de ervaringen van de afgelopen drie jaar. We voeren de zeef vervolgens opnieuw uit voor de SDE++-subsidieronde van 2026, met de herziene methode.

Herziening methode

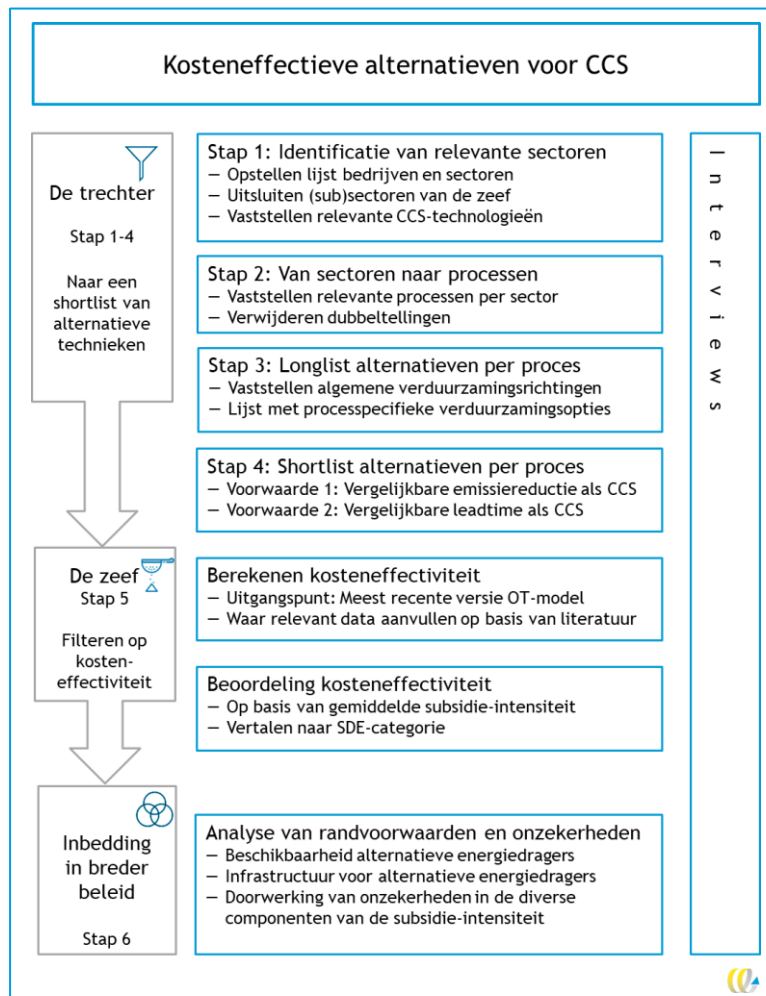
De herziene methode is schematisch weergegeven in Figuur 1. De belangrijkste overkoepelende wijziging ten opzichte van de oude methode is de introductie van interviews met industriële partijen die bezig zijn met CO₂-emissiereductie en waar CCS een reële mogelijkheid lijkt. Met deze interviews willen we de toepassing van de zeef beter aan laten sluiten bij de praktijk.

Daarnaast hebben we wijzigingen aangebracht in het eerste deel van de methode, de 'trechter', om beter inzicht te krijgen in wanneer duurzame technieken daadwerkelijk een alternatief vormen voor CCS. We kijken hiervoor in meer detail naar welke industriële processen in welke sectoren aan de orde zijn en we maken explicieter onder welke randvoorwaarden alternatieve technieken een duurzaam alternatief vormen. In het bijzonder nemen we nu consequenter Scope 1 en 2 mee bij het berekenen van de CO₂-reductie op installatieniveau.

In het tweede deel van de methode, de 'zeef' zelf, leggen we beter uit wanneer we gebruik maken van andere databronnen dan het Onrendabele Top-model (OT-model) van het PBL en waarom we dat doen. Daarnaast hanteren we een eenvoudigere onzekerheidsmarge dan in eerdere jaren.

Het laatste deel van de methode, 'inbedding in breder beleid', is in deze herziening doelgerichter geworden. We focussen hier nu op drie aspecten: de beschikbaarheid van alternatieve energiedragers, de beschikbaarheid van infrastructuur voor alternatieve energiedragers en de gevoeligheid van de subsidie-intensiteit voor de verschillende componenten waaruit deze is opgebouwd.

Figuur 1 – Schematische weergave van de herziene zeefmethode



Uitvoering zeef

In Tabel 1 worden de belangrijkste resultaten van de zeefstudie voor de SDE++-subsidieronde van 2026 weergegeven. Net als vorige jaren identificeren we voor de **productie van lage temperatuur (LT-)warmte** de industriële warmtepomp als kosteneffectief duurzaam alternatief. Voor de **productie van hoge temperatuur (HT-)warmte** identificeren we het fornuis op vaste biomassa als kosteneffectief duurzaam alternatief. Voor het **indampen van waterige oplossingen** identificeren we zowel de industriële warmtepomp als mechanische damprecompressie (MVR) als kosteneffectieve duurzame alternatieven.

Tabel 1 – Belangrijkste resultaten van de zeefstudie voor 2026

Proces	Kosteneffectieve alternatieven	CCS categorieën SDE++
Productie van LT-warmte	Industriële warmtepomp	6A, 6B, 9A en 9B
Productie van HT-warmte	Fornuis op vaste biomassa	6A, 6B, 9A en 9B
Productie van waterstof	Geen	3A, 3B, 6A, 6B, 8A, 8B, 9A en 9B
Indampen van waterige oplossingen	Industriële warmtepomp	6A, 6B, 9A en 9B
	MVR	6A, 6B en 9B

Omdat we in de herziene methode expliciet de emissiefactoren van Scope 2-emissies meenemen voor alle energiedragers, en daarmee groene waterstof vereisen voor alle alternatieve technieken op waterstof, vallen de waterstofboiler en het waterstoffornuis af als kosteneffectieve duurzame alternatieven.

Advies

We concluderen, net als in eerdere jaren, dat er op basis van de zeef opnieuw geen volledige CCS-categorie van SDE++-subsidie kan worden uitgesloten. Er is geen CCS-categorie binnen de SDE++ is waarvoor we voor alle processen binnen die categorie een kosteneffectief alternatief hebben gevonden.

Wij adviseren wel om, net als vorig jaar, subsidie voor CCS uit te sluiten voor de processen ‘productie van LT-warmte’ en ‘indampen van waterige oplossingen’. Het is weliswaar mogelijk dat de kosteneffectieve duurzame alternatieven hiervoor, de industriële warmtepomp en MVR, niet direct toegepast kunnen worden omdat hier vaak een zwaardere aansluiting op het elektriciteitsnet voor nodig is. Echter, ook CCS-infrastructuur is op veel plaatsen voorlopig nog niet aanwezig. Bovendien zijn er mogelijkheden om de wachttijden voor een elektriciteitsaansluiting te verkorten, zoals wanneer bedrijven bereid zijn tot flexibele afname. De voorgenoemde processen uitsluiten van subsidie voor CCS geeft bedrijven helderheid en voorkomt dat er voor CCS gekozen wordt terwijl kosteneffectieve alternatieven beschikbaar zijn binnen de levensduur van een CCS-installatie.

Hoewel we concluderen dat een fornuis op vaste biomassa een kosteneffectief alternatief voor CCS is voor het proces 'productie van HT-warmte', adviseren we om dit proces niet uit te sluiten van subsidie voor CCS. Het gaat bij dit proces om grote industriële installaties, waardoor overgaan op biomassa als brandstof grote volumes vaste biomassa zou vergen. Dit zou ten koste gaan van andere mogelijke toepassingen van biomassa, de prijs van vaste biomassa opdrijven en niet in lijn zijn met het huidige beleid over de inzet van duurzame biomassa.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond en aanleiding

Sinds 2020 staat de subsidieregeling Stimulering Duurzame Energieproductie en Klimaattransitie (SDE++) open voor aanvragen op het gebied van Carbon Capture and Storage (CCS). In het Nederlandse Klimaatakkoord (Rijksoverheid, 2019) is afgesproken dat subsidiëring van Carbon Capture and Storage (CCS) van CO₂ van fossiele oorsprong niet ten koste mag gaan van de ontwikkeling van alternatieve, schonere energietechnieken. Daarom is subsidiëring van CCS-projecten via de SDE++ ingekaderd, onder andere via de zogenoemde 'zeef'. De zeef houdt in dat er per relevant industrieel proces gekeken wordt of er aantoonbare kosteneffectieve alternatieve technieken bestaan voor CCS die binnen dezelfde termijn kunnen worden gerealiseerd. Als die er zijn, wordt CCS volgens de afspraken in het Klimaatakkoord niet gesubsidieerd. Het staat bedrijven dan nog steeds vrij om CCS toe te passen, alleen is hier dan geen SDE++-subsidie voor beschikbaar.

In 2022 heeft CE Delft, op verzoek van het ministerie van Economische Zaken en Klimaat, de methodiek om de zeef toe te passen voor het eerst herzien (CE Delft, 2022). Sindsdien hebben we de methode uitgewerkt voor de subsidieronde van 2023 (CE Delft, 2023), 2024 (CE Delft, 2024a) en 2025 (CE Delft, 2025a).

In deze vervolgstudie herzien we de zeefmethode opnieuw op basis van de ervaringen van de afgelopen drie jaar. We voeren de zeef daarnaast opnieuw uit voor de subsidieronde van 2026 op basis van de herziene methode.

Deze zeefstudie zal ook voor de subsidieronde van 2027 gelden. In 2027 zullen we, waar nodig, de methode opnieuw herzien en de zeefstudie uitvoeren voor de subsidieronde van 2028.

1.2 Doel en afbakening

Het doel van deze studie is tweeledig. In de eerste plaats voeren we een kritische herziening uit op de zeefmethode zoals we die de afgelopen jaren hebben toegepast. Dit doen we op basis van de resultaten van de afgelopen zeefstudies, onze eigen ervaringen met de uitvoering van deze studies en feedback vanuit het ministerie van KGG. Het achterliggende idee van de herziening is dat de zeef vooral functioneel moet zijn en op een pragmatische manier invulling moet geven aan de inkadering van SDE++-subsidie voor CCS-projecten zoals afgesproken is in het Klimaatakkoord.

Onderdelen van de methode die onnodig complex of niet transparant waren hebben we daarom versimpeld en verduidelijkt. Een ander belangrijk punt is dat we de zeef beter wilden laten aansluiten bij de praktijk. Om die reden zijn interviews met vertegenwoordigers van de relevante industriële sectoren aan de methode toegevoegd.

Het tweede doel van deze studie is de uitvoering van de zeef voor de SDE++-subsidieronde van 2026. Deze uitvoering vindt uiteraard plaats volgens onze herziene methode. De resultaten hiervan zullen ook gelden voor de subsidieronde van 2027. Uit de zeef volgt of er kosteneffectieve duurzame alternatieven voor CCS bestaan, en zo ja voor welke industriële processen. De minister van KGG besluit vervolgens, mede op basis van de zeef, over het toekennen van subsidies aan CCS-projecten.

1.3 Leeswijzer

Dit rapport bestaat uit twee delen. In het eerste deel presenteren we onze herziene methode voor de zeef. Dit komt overeen met Hoofdstuk 2.

In het tweede deel voeren we de zeef uit voor de SDE++-subsidieronde van 2026, volgens de herziene methode. Hoofdstuk 3 behandelt het eerste deel van de methode, de 'trechter'. In Hoofdstuk 4 presenteren we de resultaten van het tweede deel, de 'zeef' zelf. Het laatste deel van de zeefmethode, 'inbedding in breder beleid', wordt uitgewerkt in Hoofdstuk 5.

Tot slot presenteren we de belangrijkste conclusies van deze studie en ons advies in Hoofdstuk 6.

Dit rapport bevat twee bijlagen. In Bijlage A staat de longlist van bedrijven die in aanmerking zouden kunnen komen voor CCS (uitstoot van >100 kton/jaar) en in Bijlage B staan de emissiefactoren en rendementen die gebruikt worden om de CO₂-reductie van duurzame alternatieve technieken te berekenen.

| 2 Herziening methode

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk presenteren we onze herziene methode voor uitvoering van de zeef. Hieronder noemen we eerst de belangrijkste wijzigingen ten opzichte van onze methode uit 2022. Vervolgens bespreken we de vernieuwde methode stap voor stap, zodat dit hoofdstuk zelfstandig leesbaar is ook voor lezers die niet in detail bekend zijn met de zeefmethodiek. We hebben de tekst beknopt gehouden; voor wie meer achtergrond wil bij de verschillende stappen van de methode verwijzen we naar het eerdere rapport uit 2022 (CE Delft, 2022). In Figuur 2 wordt de vernieuwde methode schematisch gepresenteerd.

2.2 Belangrijkste wijzigingen

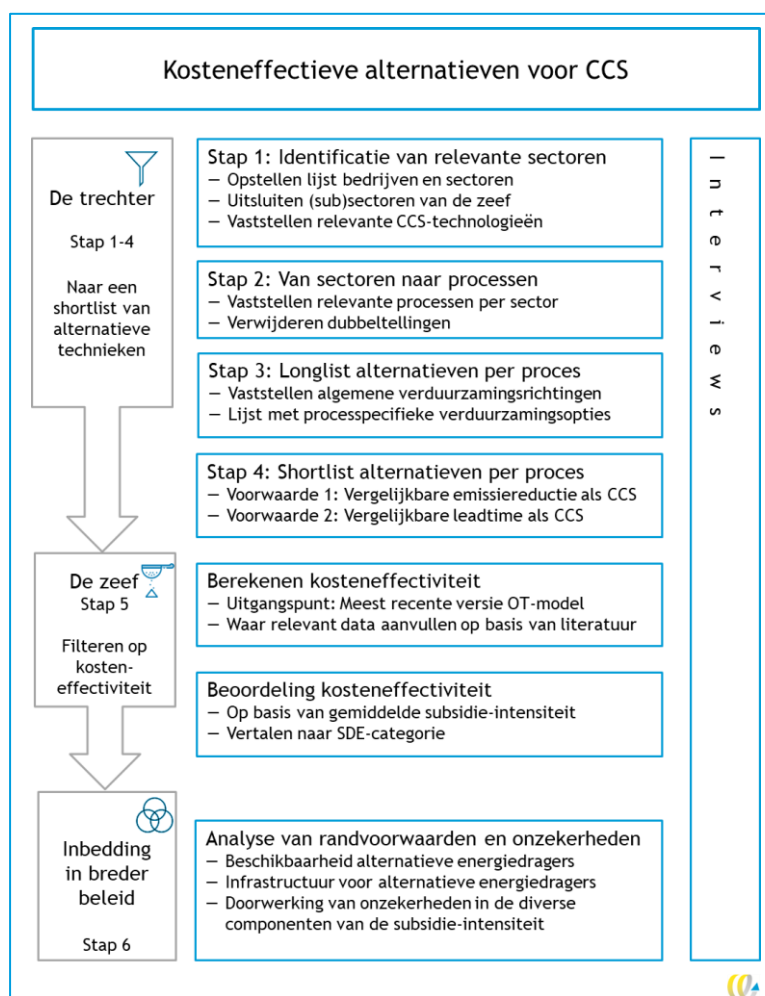
Het hoofddoel van deze herziening van de zeefmethode is om de zeef meer in lijn te brengen met de praktijk, waarbij we zoveel mogelijk ervaringen en lessen van de afgelopen jaren meegenomen hebben, zodat de zeef effectief en efficiënt uitgevoerd kan worden.

De belangrijkste toevoeging aan de methode is de **introductie van interviews**. We voeren 4-6 interviews uit met industriële partijen die bezig zijn met CO₂-emissie-reductie en waar CCS een reële mogelijkheid lijkt. Met deze interviews willen we de zeefstudie beter aan laten sluiten bij de praktijk. De kennis en ervaring van bedrijven kan ons helpen bij verschillende onderdelen van de zeef. De interviews zijn dan ook ondersteunend bij meerdere stappen in de methode en hebben de volgende doelen:

- valideren van de bestaande processen en technieken binnen een sector;
- valideren van de mogelijke alternatieve duurzame technieken voor een bestaande fossiele techniek;
- onderzoeken welke tijdlijn bedrijven aanhouden voor de ontwikkeling van CCS en voor duurzame alternatieven;
- onderzoeken welke aspecten bedrijven meenemen in de afweging voor de keuze van een duurzame techniek;
- onderzoeken welke randvoorwaarden bedrijven nodig hebben om bepaalde duurzame technieken te implementeren.

De overige wijzigingen in de methode staan hierna per onderdeel beschreven.

Figuur 2 – Schematisch overzicht van de herziene zeefmethode



Trechter

- We willen ons meer richten op alternatieve technieken die in de praktijk daadwerkelijk een duurzaam alternatief vormen. Daarom gaan we beter beschrijven **onder welke randvoorwaarden** de algemene verduurzamingsrichtingen, zoals elektrificatie en waterstof, als een duurzaam alternatief gelden. We herdefiniëren daartoe welke systeemgrenzen we aanhouden bij het beschrijven van alternatieve technieken.
- We gaan onderzoeken wat in de praktijk de **realisatietermijn** van CCS-projecten is. In de oude methode was dit op zes jaar gezet en diende dit als een van de twee criteria om van de longlist naar de shortlist van duurzame alternatieven te komen. Naast literatuuronderzoek spelen de interviews hier een rol.

- We presenteren de alternatieven nadrukkelijker **per industriële sector**. In de oude methode maken we snel de stap naar processen, maar voor het begrip van de opties die er zijn ligt een analyse per sector meer voor de hand. Dit wordt ook ondersteund door de interviews. Voor de zeef zelf maken we uiteindelijk wel weer een geconsolideerde lijst van processen die verduurzaamd moeten worden.

Zeef

De kern van de methode, het bepalen van de subsidie-intensiteit van zowel CCS-technieken als duurzame alternatieven via het Onrendabele Top (OT-)model van PBL, blijft ongewijzigd. We willen de methode echter op twee manieren vereenvoudigen en daarmee ook beter begrijpelijk maken voor belanghebbenden:

1. Voor alle technieken hanteerden we een eigen 'schaduwmodel' in Excel, dat informatie uit het OT-model kopieerde, maar ook data uit andere bronnen haalde. We willen het gebruik van de schaduwmodellen minimaliseren, en **duidelijker uitleggen** wanneer we (ook) van andere databronnen gebruik maken en waarom.¹
2. Het weergeven van een onzekerheidsmarge in de subsidie-intensiteit via twee alternatieve scenario's (Hoog en Laag) was niet erg intuïtief en gaf soms verwarrende uitkomsten. We passen daarom in de resultaten van de zeef een **eenvoudigere onzekerheidsmarge** toe.

Inbedding in breder beleid

- We maken dit onderdeel van de studie **doelgericht**. We richten ons specifiek op randvoorwaarden voor de duurzame alternatieven, namelijk de beschikbaarheid en infrastructuur van energiedragers, en op hoe onzekerheden in de verschillende componenten waaruit de subsidie-intensiteit is opgebouwd doorwerken in het uiteindelijke bedrag. Dit laatste ook als alternatief voor de Hoog- en Laag-scenario's in de oude methode. Op deze manier vormt dit onderdeel van de zeefstudie een nuttig instrument om te sturen op randvoorwaardelijk beleid voor kansrijke duurzame alternatieven voor CCS.

¹ Het is niet geheel te vermijden om van andere databronnen gebruik te maken, omdat sommige technieken die wij geïdentificeerd hebben niet 1-op-1 overeenkomen met technieken in het OT-model, en er daarvoor dus altijd een afzonderlijk model gemaakt moet worden.

2.3 Herziene methode stap voor stap: de trechter

2.3.1 Systeemdefinitie

Uiteindelijk gaat het er in de zeef om, om vast te stellen wat daadwerkelijke duurzame alternatieven voor CCS zijn. Een uitdaging hierbij is dat CCS en duurzame alternatieve technieken vaak heel verschillend zijn in wat er nodig is om ze te realiseren. Bijvoorbeeld het meenemen van de daadwerkelijke beschikbaarheid van een duurzame energiebron en de schaal waarop een methode wordt toegepast, zijn heel bepalend voor de vraag of een duurzame techniek een werkelijk alternatief is voor CCS.

We beginnen onze herziene methode daarom met het opnieuw definiëren van het systeem waarin de duurzame alternatieven met CCS worden vergeleken. We gaan in de zeefstudie expliciet dezelfde systeemdefinitie hanteren als de SDE++-subsidie. Dat betekent dat de processen, technieken, emissies en subsidies worden beschouwd op het niveau van de drijver van de installatie. Dit impliceert dat voor de bepaling van de emissie(reductie) van de installatie de Scope 1- en Scope 2-emissies worden beschouwd.

In de voorgaande zeefstudies gingen we uit van algemene verduurzamingsrichtingen, zoals elektrificatie, biomassa, groengas en waterstof, maar werden binnen de systeemgrenzen niet altijd op dezelfde manier gedefinieerd. Bijvoorbeeld e-boilers werden niet meegenomen in de shortlist omdat deze netto niet zorgen voor een reductie van 80% van de CO₂-uitstoot, aangezien de inzet van hernieuwbare elektriciteit naar verwachting nog te beperkt was. Deze redenering werd echter niet doorgetrokken naar groengas en waterstof, waar we onze analyse beperkten tot de installatie zelf, en er impliciet van uitgingen dat de emissiefactor uiteindelijk voldoende omlaag zou gaan om groengas en waterstof als een algemene verduurzamingsrichting te beschouwen.

In de hernieuwde methodiek evalueren we alle technieken op een soortgelijke wijze waarbij we de CO₂-reductie bepalen met de verwachte gemiddelde emissiefactor tussen 2030 en 2040.

Hybride oplossingen zijn in werkelijkheid ook goede verduurzamingsmogelijkheden. Hybride technieken zijn hierin technieken die minder dan 8.000 vollasturen per jaar draaien en in de resterende tijd op een fossiele brandstof draaien, zoals een hybride warmtepomp. Het is niet van te voren aan te geven hoeveel vollasturen de alternatieve techniek en de fossiele referentie zullen draaien. Daarmee is het niet mogelijk om aan te geven wat de uiteindelijke emissiereductie is en of het een voldoende effectief alternatief voor CCS is. Daarmee kan het niet gebruikt worden om een CCS-categorie uit te sluiten van subsidie.

2.3.2 Stap 1: Identificatie van relevante sectoren

Het doel van deze stap is om te bepalen welke industriële sectoren we gaan meenemen in de zeef. Als onderdeel hiervan bekijken we per industriële sector hoe waarschijnlijk het is dat bedrijven uit deze sector CCS gaan toepassen en of hiervoor alternatieven beschikbaar zijn. Naast literatuuronderzoek zijn de interviews hierbij een belangrijke (nieuwe) bron van informatie. Behalve meer inzicht in de praktijk biedt deze aanpak ons ook een grond om sectoren van de zeef uit te sluiten als CCS er voorlopig niet aan de orde is.

Opstellen lijst bedrijven en sectoren

Voor we per sector kunnen bekijken of CCS een reële optie is, moeten we eerst duidelijk hebben naar welke bedrijven en sectoren we überhaupt kijken binnen de zeef. Hiervoor is in de methode een grens opgenomen van >100 kton CO₂/j uitstoot per installatie. Als er reden is om deze grens te verlagen in een specifiek jaar is dat mogelijk. De lijst met bedrijven die hier uitkomt wordt vervolgens ingedeeld naar sector.² De lijst met industriële sectoren die hieruit volgt is weergegeven in Tabel 2. Deze exercitie is in principe elk jaar hetzelfde en hoeft alleen op mogelijke wijzigingen gecontroleerd te worden.

De volgende sectoren worden uitgesloten van de zeef omdat deze sectoren geen bedrijven bevatten die een jaarlijkse uitstoot hebben van meer dan 100 kton CO₂/jr.

- biochemie;
- glasproductie;
- keramische industrie.

Uitsluiten (sub)sectoren van de zeef

Vervolgens sluiten we een aantal sectoren en subsectoren van deze lijst a-priori uit van de zeef. Globaal zijn de redenen om sectoren niet mee te nemen in de zeef:

1. De CO₂-uitstoot in de sector is onvermijdelijk of alleen te vermijden door drastische beleidswijzigingen, die buiten de scope van de zeef vallen, waardoor CCS juist wenselijk is of;
2. Het meenemen van de sector zou niet doelmatig zijn vanwege de aard of de grootte van de sector.

CCS-projecten in (sub)sectoren die niet worden beschouwd in de zeefstudie kunnen niet op basis van de zeef worden uitgesloten van subsidie.

² Onder een sector kunnen meerdere SBI-codes vallen. Door ons op sectoren te richten is het mogelijk om de processen en alternatieve technieken die daadwerkelijk aan de orde zijn beter te specificeren.

Op grond van voorgenoemde algemene redenen sluiten we concreet in ieder geval de volgende (sub)sectoren uit van de zeef:

- **De elektriciteitssector, inclusief wkk's.** Voor elektriciteitsopwekking zijn er momenteel geen concrete projecten voor CCS bekend. Daarnaast is de evaluatie van kosteneffectiviteit voor CCS bij elektriciteitsproductie niet haalbaar binnen de huidige opzet van de zeefstudie, omdat het hiervoor noodzakelijk is de elektriciteitsmarkt te modelleren.
- **Afvalverbranding en overige verwerking van afval.** CCS bij afvalverbranding is momenteel een goede stap om emissies te reduceren en kan via de biogene fractie van het afval zelfs tot koolstofverwijdering leiden. AVI's kunnen dus buiten de zeef blijven. Het voorkomen van verbranding van afval is nog beter dan CCS op AVI's, maar dit valt onder het afval- en grondstoffenbeleid, wat buiten de scope van de zeef valt.
- **Op- en overslag van brandstoffen.** Hierbij komt CO₂ vrij, maar er is geen directe mogelijkheid om deze brandstoffen te vervangen door biobrandstoffen. Voor zover deze er wel is, valt dit onder transport- en mobiliteitsbeleid.
- **De staalsector.** In de staalsector heeft Tata Steel gekozen voor staalproductie met groengas, waarbij in de overgang extra aardgas gebruikt wordt. De emissies van dit aardgas kunnen gemitigeerd worden met CCS. Dit laten we buiten bereik van de zeef, omdat het gaat om een zeer gedetailleerde analyse die maar voor één bedrijf toepasbaar is. Bovendien is de duurzaamheidsstrategie hier onderdeel van een maatwerkafspraken met de overheid.

Tot slot kan, indien uit de interviews blijkt dat CCS voorlopig niet aan de orde is in een bepaalde sector, deze alsnog ook uitgesloten worden van verdere analyse. Deze uitsluiting geldt dan alleen voor het jaar waarvoor de interviews zijn uitgevoerd.

Deze lijst met uitgesloten sectoren en de redenen voor uitsluiting worden jaarlijks opnieuw geëvalueerd in samenspraak met KGG.

Tabel 2 – De verschillende industriële sectoren in Nederland en indien relevant de uitsluitingsgronden

Sector	Uitsluitingsgronden
Staalproductie	Niet-doelmatige analyse, slechts 1 bedrijf
Industriële gassen	
Kunstmestproductie	
Raffinaderijen	
Organische basischemie	
Biochemie	De bedrijven zijn te klein om kosteneffectief CCS toe te passen
Glasproductie	De bedrijven zijn te klein om kosteneffectief CCS toe te passen
Steenwolproductie	
Keramische industrie	De bedrijven zijn te klein om kosteneffectief CCS toe te passen
Voedselproductie	
Papierproductie	
Anorganische basischemie	
Elektriciteits- en warmteproductie	Elektriciteitsproductie
Afvalverbrandingsinstallaties	Valt buiten het beleid van de zeefstudie
Transport en opslag van fossiele brandstoffen	Valt buiten het beleid van de zeefstudie

Vaststellen van relevante CCS-categorieën

Door het uitsluiten van de verschillende (sub)sectoren, worden ook bepaalde CCS-technieken uitgesloten van evaluatie van de zeef, omdat die niet van toepassing zijn. Dat zijn de volgende categorieën.

- Variant 1: gedeeltelijke CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties;
- Variant 2: volledige CO₂-opslag bij bestaande CO₂-afvanginstallaties;
- Variant 7: nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij bestaande afval- en biomassaverbrandingsinstallaties.

Variant 1 en 2 worden uitgesloten omdat het hier installaties betreft waar al CO₂ wordt afgevangen. In plaats van de huidige toepassing van de afgevangen koolstofdioxide, bijvoorbeeld in de glastuinbouw of frisdranken, wordt deze opgeslagen. Omdat het hier gaat om bestaande installaties en de CO₂ al wordt afgevangen, is er geen alternatief voor beschikbaar.

Variant 7 wordt uitgesloten omdat het hier afval- of biogene emissies betreft. Afvalbeleid valt buiten de scope van de zeefstudie. Voor biogene emissies bestaan geen alternatieven voor CCS.

Vanuit eerdere zeefstudies is duidelijk geworden dat CCS, en daarmee de zeefstudie, alleen relevant is bij de productie van waterstof, bij de verbranding van aardgas en bij de verbranding van fossiele restgassen.

Bij deze drie opties horen verschillende CCS-categorieën. Omdat alleen CCS-technieken die in de SDE++-lijst staan, subsidie kunnen krijgen, zijn dit ook de enige technieken die van subsidie kunnen worden uitgesloten.

Deze stappen leveren in de trechter de volgende combinaties op van sectoren en CCS-categorieën:

Tabel 3 – De combinatie van sectoren en mogelijke CCS-categorieën

Sector	CCS-categorie					
	3	4	5	6	8	9
Industriële gassen						
Kunstmestproductie						
Raffinaderijen						
Organische basischemie						
Glasproductie						
Anorganische basischemie						
Steenwolproductie						
Biochemie						
Voedselproductie						
Papierindustrie						

Waarbij geldt:

- Variant 3: nieuwe pre-combustion CO₂-afvanginstallaties bij bestaande installaties;
- Variant 4: nieuwe pre-combustion CO₂-afvanginstallaties bij waterstofproductie uit industriële reststoffen, bestaande installatie;
- Variant 5: nieuwe pre-combustion CO₂-afvanginstallaties bij bestaande waterstofproductie uit industriële reststoffen, bestaande installatie;
- Variant 6: nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij bestaande industriële installaties;
- Variant 8: nieuwe pre-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installaties;
- Variant 9: nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installaties.

2.3.3 Stap 2: Van sectoren naar processen

Door eerst te kijken naar de praktijk van de verschillende industriële sectoren, kunnen de processen waar CCS eventueel aan de orde is specifieker gedefinieerd worden. Daarmee kunnen ook specifiekere alternatieven en combinaties van alternatieven gevonden worden.

Een voorbeeld hiervan is dat in eerdere zeefstudies de SBI-codes 'Vervaardiging van glasvezels' en 'Aardolieraffinage' hetzelfde proces omvatten: productie van HT-warmte, terwijl dit in werkelijkheid sterk verschillende processen zijn. In de vernieuwde methode duiden we deze dan ook aan met twee verschillende procesbeschrijvingen:

1. Productie van HT-warmte en HP-stoom door verbranding van industriële restgassen.
2. Productie van HT-warmte door verbranding van aardgas.

Net als in de oude methode zetten we eerst alle relevante processen die we identificeren op een rij. Door vervolgens dubbelingen weg te nemen komen we tot een lijst van processen waarvoor we in de zeefstudie de kosteneffectiviteit van CCS en van duurzame alternatieve technieken gaan vergelijken.

2.3.4 Stap 3: Longlist alternatieven per proces

Door de voorkennis van eerdere zeefstudies, kan ook vooraf worden gesteld dat CCS een relevante techniek is bij de productie van waterstof en bij verbrandingsprocessen. Nieuw in deze methode is dat wij een onderscheid maken tussen de verbranding van restgassen en de verbranding van fossiele brandstoffen.

Het is niet van tevoren gezegd dat alle geïdentificeerde duurzame alternatieve technieken in het OT-model opgenomen zijn. Bij het opstellen van een lijst van alternatieve technieken, kunnen de onderzoekers ook eigen technieken toevoegen.

Duurzame alternatieven voor de verbranding van aardgas of restgassen

Voor de algemene verduurzamingsrichtingen als alternatief voor verbrandingsprocessen kan worden gekeken naar alternatieve energiedragers. Dit zijn in elk geval de volgende duurzame energiedragers:

- elektrificatie;
- biomassa;
- groengas;
- waterstof.

Waterstofproductie

Voor de verduurzamingsrichtingen als alternatief voor fossiele grondstoffen, wordt uitsluitend gekeken naar de productie van waterstof en ammoniak uit aardgas. Hiervoor zijn verschillende CCS-technieken beschikbaar. Een duurzaam alternatief hiervoor is bijvoorbeeld elektrolyse. Een andere potentiële oplossing is waterstofproductie uit afval.

De algemene verduurzamingsrichtingen worden specifiek gemaakt voor iedere sector door de volgende bronnen te raadplegen:

- interviews;
- MIDDEN-rapporten van TNO en PBL;
- actuele berichtgeving over de verduurzaming van een vergelijkbare installatie;
- roadmaps voor verduurzaming, bijvoorbeeld van nationale of Europese brancheverenigingen of relevante bedrijven in de sector;
- overige wetenschappelijke en technische literatuur uit openbare bronnen;
- eigen kennis van de onderzoekers.

CCU is geen alternatief voor CCS

Carbon capture and utilisation (CCU) is geen alternatief voor CCS in het kader van de zeefstudie. Bij CCU wordt CO₂ gebruikt als grondstof, in plaats van het op te slaan zoals bij CCS. Dat gebeurt momenteel nog voornamelijk in de frisdrankindustrie en de glastuinbouw, maar in de toekomst mogelijk ook voor brandstoffen en de chemie.

De zeef is gericht op kosteneffectieve duurzame technieken als alternatief voor CCS.

CCU is dat in onze optiek niet binnen de zeef om de volgende redenen:

- De zeef onderzoekt fossiele CO₂-uitstoot. CCU als alternatieve techniek zou nog steeds gebruik maken van deze fossiele CO₂. De duurzame CCU-alternatieven, met biogene CO₂ of Direct Air Capture (DAC) valt buiten de zeef.
- De netto emissiereductie van CCU is zeer afhankelijk van de techniek en toepassing. Dit komt voornamelijk door de vastleggingsduur van de CO₂. Dit kan tussen enkele dagen zijn bij brandstofproductie, of meerdere jaren bij productie van chemicaliën of bouwstoffen. CCU is daardoor ook meer een overkoepelende term dan een specifieke techniek en kan daarom niet makkelijk geëvalueerd worden.

Wij zullen CCU daarom niet als alternatief voor CCS evalueren. Dat betekent dat CCU niet als mogelijk kosteneffectief alternatief gebruikt kan worden om een CCS-categorie uit te sluiten van SDE++-subsidie.

Restwarmte

Restwarmte is een grote potentiële bron voor (industriële) warmte. Jaarlijks wordt er meer dan 250 PJ warmte geloosd door de industrie en energiecentrales, hiervan wordt ingeschat dat 100 PJ bruikbaar is (CE Delft, 2021).

Restwarmte is echter zeer locatiegebonden. Daarmee kan het nooit voor alle technieken een alternatief vormen. Hierom wordt restwarmte als alternatief niet in de zeefstudie beschouwd.

2.3.5 Stap 4: Van longlist naar shortlist

Om van de longlist naar de shortlist te gaan evalueren we alle duurzame alternatieve technieken op twee criteria:

1. Het alternatief moet vergelijkbare³ CO₂-emissiereductie realiseren als de CCS techniek waarmee de techniek wordt vergeleken. In de SDE++-regeling is het uitgangspunt bij post-combustion CCS een CO₂-afvangpercentage van 90%, en bij pre-combustion CCS een percentage van 50%.
2. Het alternatief moet binnen een vergelijkbare tijdsduur als CCS gerealiseerd kunnen worden en heeft dus een vergelijkbare TRL. Voor CCS hanteren we een leadtime van zes jaar in lijn met de vorige zeefstudies. Dit is dus van investerings-beslissing tot oplevering van de installatie. Via de interviews met marktpartijen toetsen we of zes jaar nog steeds het uitgangspunt in de industrie is, en stellen dit bij als hier gegronde reden voor is.

De CO₂-emissiereductie van alternatieve duurzame technieken berekenen we met emissiefactoren van de betreffende brandstof of energiedrager. Hier nemen we Scope 1- en 2-emissies mee, maar geen Scope 3 (ketenemissies). Dit is in lijn met de SDE++-regeling waar de Scope 1- en 2-emissies op installatieniveau worden beschouwd.

De emissiefactor van elektriciteit verandert naarmate er meer hernieuwbare elektriciteit in het systeem komt. Daarom maken we een inschatting van emissiefactoren voor de periode 2030-2040, op basis van de KEV 2025 en andere relevante onderzoeken over emissiefactoren. Voor de andere brandstoffen of energiedragers is dit niet van toepassing.

³ Vergelijkbaar betekent hier dat CE Delft inschat op basis van expert judgement of een techniek een vergelijkbare emissiereductie heeft. We berekenen kwantitatief een exact percentage, maar beoordelen deze kwalitatief. Voorbeeld: techniek X heeft een emissiereductie van 85%, strikt genomen is dit lager dan de 90% van post-combustion CCS, echter stellen we hier dat dit alternatief toch in de shortlist wordt opgenomen. Hiermee voorkomen we dat er duurzame alternatieven afvallen, vanwege onzekerheid in gehanteerde emissiefactoren.

2.4 Herziene methode stap voor stap: de zeef

2.4.1 Berekening kosteneffectiviteit

In de zeef evalueren we de kosteneffectiviteit van CCS-technieken en duurzame alternatieven. De maat die we hiervoor gebruiken is de subsidie-intensiteit. Hoe lager de subsidie-intensiteit, hoe kosteneffectiever een techniek is.

De subsidie-intensiteit berekenen we met het OT-model. Dit model wordt door PBL ontwikkeld om voor alle technieken in de SDE++-regeling de subsidie-intensiteit te berekenen. Hiervoor gebruikt PBL kostenkennallen voor investerings- en operationele kosten, langetermijnprijzen van energiedragers, belastingen, CO₂-prijzen en andere factoren die invloed hebben op de subsidie-intensiteit.

We nemen zoveel als mogelijk is de uitgangspunten en berekeningen van het OT-model over. In sommige gevallen passen we de uitgangspunten aan. Dit is bijvoorbeeld het geval bij technieken waarvan er geen berekening van de subsidie-intensiteit in het OT-model is opgenomen. In deze gevallen kan het of zo zijn dat deze techniek niet via de SDE++-regeling wordt gesubsidieerd, of dat de techniek nog ontbreekt in de versie van het OT-model waarmee wij tijdens de zeefstudie werken. We voeren de zeefstudie namelijk uit ten tijde dat de SDE++-regeling nog niet definitief is vastgesteld, en daarom maken we gebruik van een voorlopige versie van het OT-model. In de herziene methode geven we expliciet aan wanneer we andere waarden voor variabelen gebruiken dan in het OT-model en met welke reden.

2.4.2 Onzekerheid in uitgangspunten

De grootheden waarmee de subsidie-intensiteit wordt berekend zijn inherent onzeker. Bij CCS hangt de subsidie-intensiteit bijvoorbeeld sterk af van de CO₂-prijs, terwijl deze prijs op lange termijn moeilijk te voorspellen is. Dit geldt evenzeer voor andere technieken, waarbij eveneens onzekerheid bestaat in cruciale invoerwaarden. Daarom berekenen we voor elke techniek een onzekerheidsmarge op de subsidie-intensiteit, gebaseerd op de onzekerheidsmarge van de meest bepalende invoervariabele. Zo wordt per techniek inzichtelijk welke factor, zoals energieprijzen of CO₂-prijzen, de grootste invloed heeft op de berekende subsidie-intensiteit.

We maken geen gebruik meer van verschillende scenario's om de onzekerheid in kaart te brengen, zoals in eerdere versies van de zeefstudie, omdat dit niet erg intuïtief was en soms verwarrende uitkomsten gaf.

2.4.3 Beoordeling kosteneffectiviteit

De kosteneffectiviteit van duurzame alternatieve technieken beoordelen we ten opzichte van de CCS-techniek waarmee we ze vergelijken. Deze technieken voor CCS komen overeen met categorieën in de SDE++-regeling. Als een duurzaam alternatief een lagere subsidie-intensiteit heeft dan CCS, dan is deze techniek kosteneffectiever. We evalueren per proces (zie Paragraaf 2.3.5) hoe kosteneffectief zowel CCS als de duurzame alternatieven zijn. Uiteindelijk stellen we zo per CCS-categorie vast of er voor de gehele categorie kosteneffectieve alternatieven beschikbaar zijn.

In sommige gevallen is een duurzaam alternatief niet opgenomen in het OT-model en daarmee ook niet in de SDE++-regeling. De subsidie-intensiteit die we voor zulke technieken berekenen, door het OT-model op onderdelen aan te passen, is daarom fictief, omdat deze techniek in werkelijkheid geen SDE++-subsidie kan ontvangen. In deze situaties concluderen we dat de betreffende techniek potentieel kosteneffectiever zou zijn dan huidige opties voor CCS, indien zij zou worden opgenomen in de SDE++-regeling. Bovendien signaleren we dat het zinvol kan zijn om te overwegen deze techniek in een volgende regeling wél mee te nemen.

2.5 Herziene methode stap voor stap: inbedding in breder beleid

De zeef is primair bedoeld als ondersteuning voor een besluit over de toepassing van SDE++-subsidie op CCS-projecten, maar kan ook nuttig zijn voor het bredere handelingsperspectief van de overheid rondom de subsidiering van CCS en de verduurzaming van de industrie. Naast het verstrekken van subsidie, kan de overheid randvoorwaarden scheppen voor specifieke kansrijke technieken voor de verduurzaming van industriële processen en daarmee richting geven aan hoe deze verduurzaming vorm krijgt. Vergeleken met de oude methode maken we deze inbedding in breder beleid meer gericht door specifiek te kijken naar de beschikbaarheid van de alternatieve energiedragers, de infrastructuur voor alternatieve energiedragers en de gevoeligheid van de subsidie-intensiteit voor onzekerheden in de verschillende componenten.

2.5.1 Infrastructuur voor alternatieve energiedragers

Voor de verduurzaming van de industrie moet fysieke infrastructuur worden aangelegd. Dit geldt zowel voor de benodigde infrastructuur van CCS als voor de alternatieven. In de inbedding van breder beleid wordt de noodzaak van infrastructuur, beschikbaarheid en betaalbaarheid, voor de duurzame energiedragers onderzocht, evenals specifieke barrières zoals stikstofbeperkingen en netcongestie.

2.5.2 Beschikbaarheid van alternatieve energiedragers

Voor de verduurzaming van de industrie moeten alternatieve energiedragers aanwezig zijn. Dit geldt zowel voor de mogelijkheid om CO₂ permanent op te slaan, als de beschikbaarheid van elektriciteit, waterstof, groengas of andere duurzame alternatieven.

|Onder deze analyse valt niet alleen de fysieke beschikbaarheid, maar ook de maatschappelijke en bestuurlijke wenselijkheid om deze energiedragers voor dit doel in te zetten.

2.5.3 Gevoeligheidsanalyse

In de voorgaande zeefstudies hanteerden we een uitgebreide onzekerheidsanalyse voor de subsidie-intensiteit op basis van verschillende scenario's. Deze onzekerheidsanalyse was complex door de grote variëteit van de variabele parameters en hun onderlinge afhankelijkheid. Om deze reden, en omdat voor de conclusies over kosteneffectiviteit alleen de nominale waarde van de subsidie-intensiteit bepalend is, hebben we de onzekerheidsanalyse in de resultaten van de zeef sterk versimpeld. In plaats daarvan laten we in dit onderdeel van de studie zien uit welke componenten de berekende subsidie-intensiteit is opgebouwd. Vervolgens geven we kwalitatief aan hoe de subsidie-intensiteit verandert als deze onderliggende componenten veranderen, en hoe deze componenten onderling van elkaar afhankelijk zijn. Hiermee kan voor de kansrijke duurzame alternatieven geschetst worden welke parameters bepalen of de kosteneffectiviteit de komende jaren verder toe, of juist af zal nemen.

3 De trechter

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk presenteren we de resultaten van de uitvoering van de trechter volgens onze herziene methode. We volgen hierbij de stappen zoals beschreven in Paragraaf 2.3. Eerst wordt in Paragraaf 3.2 een beknopt overzicht gegeven van de resultaten van de interviews. Daarna wordt elk van de vier stappen van de trechter hieronder uitgewerkt in een aparte paragraaf. Tot slot volgen in Paragraaf 3.7 de conclusies van de trechter.

3.2 Interviews

Zoals beschreven in hoofdstuk 2 hebben we dit jaar het afnemen van interviews aan de zeefstudie toegevoegd. Hierin worden verschillende onderdelen van de studie gevalideerd en verder uitgediept. Dit jaar zijn vier interviews gehouden met productiebedrijven en één interview met Carbon Collectors.

Ook zijn er twee interviews gehouden met partijen die anoniem willen blijven, één hiervan was een keramische fabriek. Hieronder volgt een samenvatting van de belangrijkste inzichten uit de interviews per onderwerp. Daarnaast worden door de studie heen waar relevant resultaten uit de interviews aangehaald.

3.2.1 Interviews met productiebedrijven

Processen die CO₂ uitstoten

Het belangrijkste proces bij de anorganische chemie dat zorgt voor CO₂-uitstoot is het indampen van waterige oplossingen. Ook vindt er elektrolyse plaats met ingekochte elektriciteit.

Bij de petrochemie gaat het voornamelijk om de productie van HT-warmte en waterstof. Deze worden grotendeels gemaakt uit restgassen uit de raffinage en het stoomkraken. In de interviews werd aangegeven dat het gaat om geïntegreerde productielocaties. Dat wil zeggen dat er ook processen zijn die gebruik maken van MT- of LT-warmte, maar dat het systeem van warmte als een geheel moet worden gezien. Daardoor is het niet direct de moeite waard, of technisch mogelijk, om deze losse processen te elektrificeren.

Bij de keramische fabriek komt er CO₂ vrij uit de grondstoffen, maar voornamelijk door de verbranding van aardgas om te bakken. Restwarmte uit het bakproces wordt ingezet in de droogoven.

Verduurzamingsdoelen en plannen

Alle partijen onderschrijven de ETS-doelen. De anorganische chemie had eerst plannen om in 2040 klimaatneutraal te zijn. Door de maatwerkafspraken kunnen zij deze doelen eerder uitvoeren, waardoor zij al in 2030 klimaatneutraal kunnen zijn. Hiervoor zullen zij per 2030 investeren in mechanische damprecompressie. Hierdoor zal de Scope 1-emissie volledig verdwijnen. Ook wordt geïnvesteerd in efficiëntere elektrische apparatuur.

Voor de petrochemische industrie wordt vastgehouden aan de nationale en internationale eisen voor de verduurzaming. De petrochemie zet voornamelijk in op CCS-projecten om grote hoeveelheden emissiereductie te realiseren. Ook worden er verschillende projecten uitgevoerd die zich richten op procesefficiëntie en elektrificatie. Deze projecten zorgen elk voor ca. 10% energie- en CO₂-reductie. Bij de CCS-projecten wordt voornamelijk CO₂ die vrijkomt bij de productie van waterstof uit restgassen en reststromen opgeslagen. Ook wordt onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om blauwe waterstof uit restgassen te produceren, deze blauwe waterstof kan dan worden verbrand om de krakers en/of raffinaderijen aan te drijven.

Alternatieven voor CCS die worden overwogen

Bij de anorganische chemie zijn verschillende alternatieven overwogen. Uiteindelijk lag de voorkeur bij MVR (mechanische damprecompressie) omdat deze techniek bekend was. Daarnaast wordt de verduurzaming ook ingegeven door een gebrek aan (betaalbaar) aardgas. Hoewel CCS wel zorgt voor klimaatwinst, zijn zij nog steeds afhankelijk van de beschikbare fossiele brandstoffen.

Voor de petrochemische industrie worden verschillende alternatieven overwogen. CCS is de belangrijkste voor significante CO₂-reductie. Dat komt voornamelijk doordat de CO₂ al beschikbaar is vanuit de waterstofproductie in pure vorm, en ook omdat de CO₂ inherent vrijkomt via de restgassen die worden verbrand of worden ingezet om waterstof te maken.

De petrochemie kijkt ook naar mogelijkheden binnen de grondstoffentransitie, zoals de inzet van pyrolyseolie of bionafta voor de productie van chemicaliën en kunststoffen. Dit wordt voornamelijk verhinderd door de geringe betalingsbereidheid voor duurzamere producten.

De petrochemie investeert ook in projecten voor groene waterstof.

Voor de keramische sector zijn verschillende verduurzamingsmogelijkheden mogelijk. Er wordt ingezet op waterstof, elektrificatie, procesefficiëntie en het gebruik van warmtepompen voor de droogstap. CCS is ook zeker een mogelijkheid, maar het is nog niet duidelijk of dit kosteneffectief mogelijk is.

Belangrijke criteria in de afweging tussen verschillende verduurzamingsroutes

Bij de keuze voor verduurzaming is het belangrijk dat deze een positieve businesscase heeft. Specifiek voor de grote internationale petrochemische bedrijven geldt ook dat de verschillende projecten worden vergeleken tussen verschillende productielocaties. In de vergelijking tussen verschillende projecten, worden ook de lokale marktomstandigheden en het toekomstbeeld meegenomen.

De bestaande infrastructuur voor CO₂ en elektriciteit worden hierin ook meegenomen.

Bij de anorganische chemie is de businesscase ook belangrijk, daarbij wordt gekeken naar de prijzen voor elektriciteit, gas en CO₂. Uiteindelijk is CCS afgewezen omdat hier nog aardgas voor nodig is, waarvan zij niet zeker zijn dat dit altijd beschikbaar blijft. MVR had de voorkeur omdat dit voor hen een bekende techniek is. Daarmee zijn ook de technische risico's van het project goed in te schatten.

De beschikbaarheid van subsidie voor verduurzaming is belangrijk, maar ook het moment dat de subsidie vrijkomt. De kosteneffectieve, duurzamere technieken hebben een relatief hoge investering. De SDE++ is een subsidie op de operationele kosten. Door de maatwerkafspraken kan er ook subsidie op de investering worden gegeven, dat heeft zeker geholpen in de keuze voor deze techniek.

De keramische industrie geeft aan dat de businesscase moet kloppen, maar dat het ook belangrijk is dat de techniek goed doorwerkt in de milieukostenindicator (MKI). Omdat het niet duidelijk is hoe CCS doorwerkt op ETS en MKI wordt hier voorlopig vanaf gezien. Ook zij geven aan dat er weinig betalingsbereidheid is bij afnemers om te betalen voor de duurdere en duurzamere stenen.

Doorlooptijd van een verduurzamingsproject

De doorlooptijd van zes jaar voor een groot verduurzamingsproject zoals CCS wordt door de geïnterviewde partijen bevestigd.

3.2.2 Interview met Carbon Collectors

In het interview met Carbon collectors zijn andere onderwerpen besproken dan met de industriële bedrijven en de resultaten worden hieronder daarom afzonderlijk samengevat.

- Carbon Collectors verzamelt CO₂ bij industriële bedrijven, transporteert het vanuit een zeegaande haven per schip naar de Noordzee en injecteert het direct in lege offshore gasvelden voor permanente opslag. Aanvoer vanuit het binnenland kan worden gerealiseerd via binnenvaart, trein of truck, waarna het in een zeehaven wordt overgeslagen in het zeegaande schip dat de directe injectie verzorgd. Dezelfde zeegaande schepen kunnen de CO₂ eventueel ook direct in een pijpleiding invoeren die naar de opslaglocatie leidt.

- Carbon Collectors biedt een complete oplossing voor bedrijven die CO₂ uitstoten. Dat betekent dat zij het hele traject verzorgen: vanaf het uitstroompunt van de afvanginstallatie, inclusief de benodigde/gewenste zuiverheid en druk, tot en met transport, injectie en opslag in lege gasvelden. Voor het injecteren zijn specifieke condities nodig, zoals een bepaalde temperatuur en druk.
- Het transport vindt plaats bij hogere temperatuur en druk, waardoor er iets meer tolerantie is voor onzuiverheden in de CO₂. De doelstelling van 6 Mton CO₂ per jaar geldt voor Carbon Collectors als geheel en hoeft niet uitsluitend uit Nederland te komen; ook volumes uit Duitsland, België en Denemarken zijn mogelijk.
- Doel is om hard-to-abate-industrieën te helpen hun klimaatdoelen te halen. In termen van schaal betaalt de oplossing zich uit vanaf ongeveer 500.000 à 700.000 ton CO₂ per jaar, waarbij zij vanaf dat volume concurrerend zijn met grootschalige buisleidingprojecten zoals Aramis.
- Carbon Collectors heeft locaties nodig waar kan worden aangemeerd, in principe alle havens waar zeeschepen kunnen komen. De CO₂ moet in vloeibare vorm worden ingeladen bij ongeveer 40 bar en 5 °C. Hiervoor is een compacte vervloeingsinstallatie voldoende.
- Daarnaast zijn geschikte schepen nodig: het ontwerp van de zeegaande oplossing, met een diepgang van ongeveer 6,5 meter en benodigde vaargeul diepte van 7,5 meter, de zogenaamde 'detachable stern vessel' (DSV) heeft al klassegoedkeuring en wordt in de loop van 2026 verder uitgewerkt tot een 'bouwklaar' bestek met tekeningen. Voor de binnenvaartschepen wordt gekeken naar standaard 110 of 135 meter casco's die een vloeibare CO₂ installatie krijgen wanneer er bijvoorbeeld rekening moet worden gehouden met verminderde diepgang op de grote rivieren en met brughogtes.
- Aan de offshore kant is een aanmeerlocatie nodig ('Tower Offloading Unit' of 'TOU') met een injectiepomp en een korte verbinding van de TOU naar het platform met de putten.

3.3 Stap 1: Identificatie van relevante sectoren

Bestaande installaties

Voor de selectie van sectoren waarvoor CCS potentieel relevant kan zijn, beschouwen wij de stationaire installaties met een CO₂-uitstoot van meer dan 100 kton/jaar. Deze grenswaarde is vastgesteld op basis van het idee dat dit het kantelpunt is waaronder CCS-installaties niet kosteneffectief kunnen zijn.

Er zijn, tussen 2021-2023, 109 installaties in de emissieregistratie (Emissieregistratie, lopend) opgenomen met een jaarlijkse uitstoot boven deze grenswaarde, verdeeld over 41 sectoren. Deze bedrijven stoten gezamenlijk 65,4-83,8 Mton CO₂ per jaar uit.

Vervolgens worden alleen de bedrijven uit de relevante sectoren meegenomen. Enkele sectoren zijn van tevoren uitgesloten. Na uitsluiting van deze sectoren blijven 43 bedrijven over met een jaarlijkse emissie van 25,2-29,6 Mton CO₂/jr. De volledige lijst met bedrijven staat weergegeven in Bijlage A.

De schaalgrootte van 100 kton/jr is een conservatieve schatting. De verschillende CCS-technieken worden door PBL berekend op een schaal van 650 kton/jr. Interviews geven ook vergelijkbare schaalgroottes aan waarop het mogelijk is om CCS kosteneffectief in te zetten.

Tabel 4 – De relevante sectoren die in de zeef worden meegenomen

Sector	SBI-code
Industriële gassen	Vervaardiging van industriële gassen
Kunstmestproductie	Vervaardiging van kunstmeststoffen en stikstofverbindingen
Raffinaderijen	Aardolieraffinage
Organische basischemie	Vervaardiging van petrochemische producten Vervaardiging van kunststof in primaire vorm
Biochemie	Vervaardiging van organische basischemicaliën (geen petrochemische producten)
Steenwolproductie ⁴	Vervaardiging van niet-metaalhoudende minerale producten (geen schuur-, slijp- en polijstmiddelen)
Voedselproductie	Vervaardiging van plantaardige en dierlijke oliën en vetten (geen margarine en andere spijsvetten) Vervaardiging van suiker Vervaardiging van zetmeel en zetmeelproducten
Papierproductie	Vervaardiging van golfpapier en -karton Vervaardiging van grafisch papier en karton Vervaardiging van papier en karton voor verpakking
Anorganische basischemie	Vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën

Nieuwe installaties

Naast de bestaande installatie nemen we ook een aantal categorieën voor nieuwe installaties mee. Dit betreft productieprocessen waarvoor een nieuwe installatie subsidiabel is in de SDE++. Het gaat om de volgende SDE++-categorieën:

- Variant 5: nieuwe pre-combustion CO₂-afvanginstallaties bij waterstofproductie uit industriële restgassen (ATR);
- Variant 8: nieuwe pre-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installaties;
- Variant 9: nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installaties.

⁴ Er is in Nederland maar een bedrijf dat steenwol produceert. Het is onbekend of dit bedrijf op CCS inzet en daarom sluiten we deze sector niet uit van de zeef.

3.4 Stap 2: Van sectoren naar processen

In Tabel 5 wordt aangegeven welke processen de belangrijkste bijdrage leveren aan de emissie van CO₂ binnen de sectoren.

Tabel 5 – De belangrijkste CO₂-uitstotende processen binnen de geselecteerde sectoren

Sector	
Industriële gassen	Waterstofproductie
Kunstmestproductie	Waterstofproductie
Raffinaderijen	Hogetemperatuurswarmte (HT) uit industriële restgassen, waarbij ook hogedrukstoom (HP) wordt gemaakt Waterstofproductie uit industriële restgassen
Organische basischemie	
Papierproductie	Lagetemperatuurswarmte (LT)
Steenwolproductie	Hogetemperatuurswarmte (HT)
Voedselproductie	Lagetemperatuurswarmte (LT) Indampen van waterige oplossingen
Anorganische basischemie	Indampen van waterige oplossingen

Tekstkader 1 – Bereik van temperaturen en drukken

Temperatuur

In Tabel 5 staan voor warmte de afkortingen LT, MT en HT. Deze geven het bereik van de temperaturen aan als: LT, lage temperatuur <200 °C, MT, middentemperatuur, tussen 200-500 °C en HT, hoge temperatuur >500 °C.

In de zeefstudie van dit jaar is overal gekozen voor het proces HT-warmte, in plaats van MT-/HT-warmte, zoals in eerdere zeefstudies gebruikelijk was. De processen en alternatieven zijn gelijk en er is geen sector geïdentificeerd die los inzet op MT-warmte. Waar in de rest van dit document HT-warmte staat, kan ook MT-/HT-warmte worden gelezen.

Extra complex hierin is dat een HT-warmtepomp warmte levert in het LT-bereik. Voor consistentie is in dit document daarom gekozen voor de term 'industriële warmtepomp'.

Stoom

Stoom wordt uitgedrukt in de geldende druk: HP (high pressure, hogedrukstoom). Hiervoor gelden waarden van 20-50 bar. Dat komt overeen met 212-263 °C.

De meeste processen die LT-warmte gebruiken, gebruiken dit via stoomleidingen die deze warmte overdragen. Dat kan lagedrukstoom (LP-stoom) zijn van 1-9 bar (100-175 °C) of middendrukstoom van 10-19 bar (180-210 °C). Omdat deze processen stoom niet gebruiken als 'grondstof', benoemen wij deze processen als warmte.

Daarmee vervalt het proces LT-stoom uit deze zeefstudie.

Het gebruik van industriële restgassen

De petrochemische industrie omvat de raffinaderijen en de organische basischemie.

In raffinaderijen, en bijvoorbeeld bij het maken van ethyleen in stoomkrakers, komen grote hoeveelheden restgassen vrij. Deze restgassen worden als alternatief voor bijvoorbeeld aardgas verbrand om HT-warmte te produceren. Deze restgassen worden ook ingezet om waterstof te produceren, dat als grondstof wordt gebruikt in verschillende processen.

In een geïntegreerde fabriekslocatie wordt daarnaast veelal warmte (in de vorm van stoom) en elektriciteit centraal opgewekt in warmtekrachtinstallaties. De CO₂-emissies die bij deze verbranding plaatsvinden, kunnen als inherent aan het proces worden beschouwd en vallen daarmee buiten de scope van de zeefstudie, omdat het vermijden van deze emissies een grondstoffentransitie vereist. Dit is tevens in lijn met het huidige beleid, waarin wordt gesteld dat “het niet logisch is om waterstof uit industriële restgassen te vervangen door hernieuwbare waterstof, zolang die restgassen een onvermijdelijk bijproduct zijn” (Ministerie van KGG, 2025b).

Voor de petrochemische industrie is de productie van hogetemperatuurswarmte (HT-warmte) en hogedrukstoom (HP-stoom) essentieel voor de productieprocessen. Dit wordt op dit moment voornamelijk bereikt door de verbranding van industriële restgassen en tevens door de inzet van aardgas.

In andere industriële processen wordt ook stoom gebruikt, maar voornamelijk om warmte over te dragen. Omdat stoom in de petrochemie ook als inherent onderdeel van het proces wordt gebruikt, benoemen wij het hier apart.

De productie van waterstof, HT-warmte en HP-stoom uit industriële restgassen worden dus niet verder meegenomen in de zeefstudie. Hierdoor vervallen ook SDE++-varianten 4 en 5 in de zeefstudie. Voor deze categorieën worden geen kosteneffectieve alternatieven gezocht.

Overzicht processen

Het bovenstaande levert de volgende processen op voor verdere analyse:

1. LT-warmte.
2. HT-warmte.
3. Waterstofproductie.
4. Indampen van waterige oplossingen.

3.5 Stap 3: Longlist alternatieven per proces

In Tabel 6 wordt per proces een longlist van alternatieven gepresenteerd. Deze longlist is samengesteld op basis van verschillende bronnen en interviews.

Verschillende partijen die HT-warmte nodig hebben, geven aan dat zij dit niet nodig hebben voor hun gehele proces. De restwarmte van deze processen wordt gebruikt in processen die ook met minder hoogwaardige warmte hun proces kunnen bedrijven. Deze deelprocessen die laagwaardige warmte nodig hebben, zijn niet de belangrijkste bron van CO₂-uitstoot bij deze sectoren. Met hybride technieken zou een deel van de CO₂-uitstoot bij deze bedrijven vermeden kunnen worden. Hierbij wordt het belangrijkste CO₂-uitstotende proces echter nooit aangepakt. Daarmee zijn dit niet volledige duurzame alternatieven die voldoende CO₂-emissiereductie behalen.

Tabel 6 – Longlist alternatieven per proces, inclusief CCS-opties waarmee we vergelijken

Proces	Alternatieven
Lagetemperatuurwarmte (LT-warmte)	1. Industriële warmtepomp. 2. E-boiler. 3. Vaste biomassaboiler. 4. Groengasboiler. 5. Waterstofboiler. 6. Warmte uit ijzerpoeder. 7. Aardgasgestookte boiler met post-combustion CO₂-afvang, gasvormig transport (Variant 6A). 8. Aardgasgestookte boiler met post-combustion CO₂-afvang, vloeibaar transport (Variant 6B). 9. Nieuwe aardgasgestookte boiler op aardgas, nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installatie gasvormig transport (variant 9A). 10. Nieuwe aardgasgestookte boiler op aardgas, nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installatie, vloeibaar transport (variant 9B).
Indampen van waterige oplossingen	1. Industriële warmtepomp. 2. E-boiler. 3. Vaste biomassaboiler. 4. Groengasboiler. 5. Waterstofboiler. 6. Warmte uit ijzerpoeder. 7. Mechanische damprecompressie. 8. Aardgasgestookte boiler met post-combustion CO₂-afvang, gasvormig transport (Variant 6A). 9. Aardgasgestookte boiler met post-combustion CO₂-afvang, vloeibaar transport (Variant 6A). 10. Nieuwe aardgasgestookte boiler op aardgas, nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installatie gasvormig transport (variant 9A). 11. Nieuwe aardgasgestookte boiler op aardgas, nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installatie, vloeibaar transport (variant 9B).

Proces	Alternatieven
Hogetemperatuurwarmte (HT-warmte)	1. HT-elektrificatie. 2. Fornuis op groengas. 3. Fornuis op groene waterstof. 4. Fornuis op vaste biomassa. 5. Warmte uit ijzerpoeder. 6. Aardgasgestookt fornuis met post-combustion CO₂-afvang, gasvormig transport (Variant 6A). 7. Aardgasgestookt fornuis met post-combustion CO₂-afvang, vloeibaar transport (Variant 6B). 8. Nieuw fornuis op aardgas, nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installatie gasvormig transport (variant 9A). 9. Nieuw fornuis op aardgas, nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installatie, vloeibaar transport (variant 9B).
Waterstofproductie	1. Elektrolyse. 2. Waterstof uit afval. 3. SMR op groengas. 4. Bestaande SMR op aardgas, nieuwe pre-combustion CO₂-afvanginstallaties bij bestaande installaties, gasvormig transport (variant 3A). 5. Bestaande SMR op aardgas, nieuwe pre-combustion CO₂-afvanginstallaties bij bestaande installaties, vloeibaar transport (variant 3B). 6. Bestaande SMR op aardgas, nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij bestaande industriële installaties gasvormig transport (variant 6A). 7. Bestaande SMR op aardgas, nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij bestaande industriële installaties, vloeibaar transport (variant 6B). 8. Nieuwe SMR op aardgas, nieuwe pre-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installaties – gasvormig transport (variant 8A). 9. Nieuwe SMR op aardgas, nieuwe pre-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installaties – vloeibaar transport (variant 8B). 10. Nieuwe SMR op aardgas, nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installatie gasvormig transport (variant 9A). 11. Nieuwe SMR op aardgas, nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installatie, vloeibaar transport (variant 9B).

3.6 Stap 4: Van longlist naar shortlist

In deze stap reduceren wij de longlist van alternatieve processen, naar een shortlist op basis van twee criteria:

1. Het alternatief moet vergelijkbare⁵ CO₂-emissiereductie realiseren als de CCS-techniek waarmee de techniek wordt vergeleken. In de SDE++-regeling is het uitgangspunt bij post-combustion CCS een CO₂-afvangpercentage van 90%, en bij pre-combustion CCS een percentage van 50%.

⁵ Vergelijkbaar betekent hier dat CE Delft inschat op basis van expert judgement of een techniek een vergelijkbare emissiereductie heeft. We berekenen kwantitatief een exact percentage, maar beoordelen deze kwalitatief. Voorbeeld: techniek X heeft een emissiereductie van 80%, strikt genomen is dit lager dan de 90% van post-combustion CCS, echter stellen we hier dat dit alternatief toch in de shortlist wordt opgenomen. Hiermee voorkomen we dat er duurzame alternatieven afvallen, vanwege onzekerheid in gehanteerde emissiefactoren.

-
2. Het alternatief moet binnen een vergelijkbare tijdsduur als CCS gerealiseerd kunnen worden en heeft dus een vergelijkbare TRL. Voor CCS hanteren we een leadtime van zes jaar in lijn met de vorige zeefstudies. Dit is dus van investeringsbeslissing tot oplevering van de installatie. Via de interviews met marktpartijen bevestigen we dat zes jaar nog steeds het uitgangspunt in de industrie is.

Realisatietermijn

In Tabel 7 tot en met Tabel 10 beschrijven wij per proces de realisatietermijn van de alternatieve technieken. De interviews hebben bevestigd dat CCS een marktklare techniek is (Port of Rotterdam, 2025). Ook geven verschillende partijen aan dat de termijn voor realisatie van een grootschalig project ongeveer zes jaar is. Alternatieve technieken moeten dus ook nu marktklaar zijn, dat wil zeggen dat een TRL-niveau 9 vereist is.

Vanwege een te lange realisatietermijn valt de volgende techniek af:

- HT-elektrificatie (HT-warmte).⁶

Emissiereductie

De emissiereductie wordt berekend door een inschatting te maken ten opzichte van het fossiele referentieproces. Bij warmteproductie processen is dit de verbranding van aardgas in een boiler met een aangenomen thermische efficiëntie van 90%. Bij waterstofproductie is dit de emissiefactor van waterstofproductie. De gebruikte emissiefactoren en rendementen staan in Bijlage B.

In deze jaargang van de zeefstudie gebruiken wij expliciet groene waterstof als energiedrager voor de techniek 'waterstofboiler'. Dat heeft impact op zowel de emissiefactor als de gebruikte kostprijs. Het gebruik van grijze waterstof als alternatieve brandstof kan nooit leiden tot emissiereductie vanwege de productie-emissies bij een SMR of ATR waar CCS tot emissiereductie zou moeten leiden. Blauwe waterstof is geen alternatief voor CCS, omdat dit met gebruik van CCS geproduceerd wordt. Waterstof is dus alleen een alternatief voor huidige technieken, als groene waterstof wordt gebruikt. Het gebruik van groene waterstof reduceert de CO₂-emissie met 100%.

Waterstofproductie uit afvalvergassing wordt alleen meegenomen als alternatief voor waterstofproductie met pre-combustion CCS. Deze techniek heeft een CO₂-reductie van 44%, pre-combustion CCS heeft een rendement van 50%.

Er zijn twee technieken die vanwege te lage emissiereductie afvallen:

1. E-boiler (LT-warmte, indampen waterige oplossingen).
2. HT-elektrificatie (HT-warmte).

⁶ Dit betreft directe elektrificatie van HT-processen zoals bijvoorbeeld elektrisch kraken of de Rotodynamic Heater.

LT-warmte

De industriële warmtepomp is een inmiddels volwassen technologie en commercieel beschikbaar. Hier is een COP van 350% aangenomen.

De verschillende boilers zijn volwassen technieken (PBL, 2024b), waardoor deze relatief snel kunnen worden geïmplementeerd met een realisatietermijn binnen zes jaar. De e-boiler zorgt voor onvoldoende emissiereductie (67%) in vergelijking met de emissiereductie van CCS (90%).

Tabel 7 – Afweging criteria voor technieken op longlist voor Lage temperatuur (LT-)warmte. De technieken wordt vergeleken met post-combustion CCS (90% CO₂-reductie).

Lage temperatuur (LT-)warmte	Emissiereductie (%) t.o.v. fossiel referentieproces	Binnen zes jaar te realiseren	Van longlist naar shortlist?
Industriële warmtepomp	83%	Ja	Ja
E-boiler	67%	Ja	Nee
Vaste biomassaboiler	100%	Ja	Ja
Groengasboiler	100%	Ja	Ja
Waterstofboiler (met groene waterstof)	100%	Ja	Ja
Warmte uit ijzerpoeder	96%	Ja	Ja

Indampen van waterige oplossingen

De industriële warmtepomp en de e-boiler hebben strikt genomen een lagere emissiereductie dan de CCS-techniek (90%). Bij de industriële warmtepomp is het verschil klein genoeg, waardoor we hem meenemen naar de shortlist. Bij de e-boiler is dit verschil groter, waardoor deze techniek niet wordt meegenomen.

Tabel 8 – Afweging criteria voor technieken op longlist voor het indampen van waterige oplossingen. De technieken wordt vergeleken met post-combustion CCS (90% CO₂-reductie).

Indampen van waterige oplossingen	Emissiereductie (%) t.o.v. fossiel referentieproces	Binnen zes jaar te realiseren	Van longlist naar shortlist?
Industriële warmtepomp	83%	Ja	Ja
E-boiler	67%	Ja	Nee
Vaste biomassaboiler	100%	Ja	Ja
Groengasboiler	100%	Ja	Ja
Waterstofboiler	100%	Ja	Ja
Warmte uit ijzerpoeder	96%	Ja	Ja
Mechanische dampcompressie (MVR)	90%	Ja	Ja

HT-warmte

Bij het produceren van hogetemperatuurwarmte valt HT-elektrificatie af, omdat deze onvoldoende emissiereductie realiseert in vergelijking met CCS. Ook is deze techniek nog onvoldoende volwassen om mee te nemen. Onder HT-elektrificatie valt onder andere het elektrisch (kraak)fornuis. De petrochemische industrie gaf via de interviews aan dat deze techniek nog niet ver genoeg ontwikkeld om op schaal commercieel ingezet te worden.

Tabel 9 – Afweging criteria voor technieken op longlist voor Hoge temperatuur (HT-)warmte. De technieken wordt vergeleken met post-combustion CCS (90% CO₂-reductie).

Hoge temperatuur (HT) warmte	Emissiereductie (%) t.o.v. fossiel referentieproces	Binnen zes jaar te realiseren	Van longlist naar shortlist?
HT-elektrificatie	67%	Nee	Nee
Fornuis op groengas	100%	Ja	Ja
Fornuis op groene waterstof	100%	Ja	Ja
Fornuis op vaste biomassa	100%	Ja	Ja
Warmte uit ijzerpoeder	96%	Ja	Ja

Waterstofproductie

Voor de productie van waterstof is zowel pre-, als post-combustion CCS mogelijk. Dat betekent een emissiereductie van respectievelijk 50 en 90%. Daarom moeten de alternatieve technieken minimaal 50% emissiereductie kunnen realiseren. Er vallen geen alternatieve technieken af.

Waterstof uit afval heeft een relatief lagere emissiereductie maar nemen we, ongeacht een emissiereductie van 44%, mee. Dit ligt voldoende dicht bij de referentie van 50% emissiereductie bij pre-combustion CCS.

Elektrolyse en een SMR op groengas zijn volwassen technieken (PBL, 2024b). Waterstofproductie uit afval wordt momenteel ontwikkelt in Nederland (RWE, 2022).

Tabel 10 – Afweging criteria voor technieken op longlist voor het produceren van waterstof. De technieken wordt vergeleken met post en pre-combustion CCS, respectievelijk 90% CO₂-reductie en 50% CO₂-reductie.

Waterstofproductie	Emissiereductie (%) t.o.v. fossiel referentieproces	Binnen zes jaar te realiseren	Van longlist naar shortlist?
Elektrolyse*	100%	Ja	Ja
Waterstof uit afval	44%	Ja	Ja, alleen vergelijken met pre-combustion afvang (50%)
SMR op groengas	100%	Ja	Ja

* Hierbij gaan we uit van 100% groene elektriciteit.

3.7 Conclusie

In de trechter zijn verschillende sectoren geïdentificeerd die een grote CO₂-uitstoot hebben. Binnen deze sectoren zijn de relevante processen geïdentificeerd die CO₂ uitstoten. Door in meer detail naar deze sector-procescombinaties te kijken, zijn er twee processen uitgesloten van de zeef die in eerdere zeefstudies nog niet expliciet in beeld waren. Dat zijn de productie van HT-warmte uit industriële restgassen en waterstof uit industriële restgassen. Hiermee wordt effectief de petrochemie buiten scope van de zeefstudie gebracht.

Voor de vier processen die overblijven is een longlist opgesteld van potentiële duurzame alternatieven. Deze duurzame alternatieven zijn vervolgens beoordeeld op de emissie-reductie en het TRL-niveau. Hierdoor ontstaat een shortlist van alternatieve technieken. In Tabel 11 staan per proces de duurzame alternatieven en de relevante CCS-technieken. Deze combinaties zullen in de zeef op kosteneffectiviteit worden beoordeeld.

Tabel 11 – De relevante combinaties van duurzame alternatieven en CCS-technieken die in de zeef worden vergeleken

Proces	Duurzaam alternatief	CCS-categorie			
		3	6	8	9
LT-warmte	Industriële warmtepomp				
	Waterstofboiler				
	Vaste biomassa-boiler				
	Groengasboiler				
	Warmte uit ijzerpoeder				
HT-warmte	Groengasfornuis				
	Waterstoffornuis				
	Vaste biomassa-fornuis				
	Warmte uit ijzerpoeder				
Waterstofproductie: post-combustion CCS	Elektrolyse				
	SMR op groengas				
Waterstofproductie: pre-combustion CCS	Elektrolyse				
	Waterstof uit afval				
	SMR op groengas				
Indampen van waterige oplossingen	Industriële warmtepomp				
	Vaste biomassa-boiler				
	Groengasboiler				
	Mechanische dampcompressie (MVR)				
	Waterstofboiler				
	Warmte uit ijzerpoeder				

4 De zeef

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk werken we de zeef uit, waarbij we de technieken op de shortlist evalueren op kosteneffectiviteit (c.q. subsidie-intensiteit). Per proces bepalen we voor elk van de alternatieven, waaronder CCS, wat de resulterende subsidie-intensiteiten zijn. De kosteneffectiviteit wordt geëvalueerd doormiddel van het Onrendabele Top-model (OT-model) van het PBL. Voor de uitvoering hebben we de meest actuele data gebruikt van het OT-model voor de SDE-2026-ronde, dat we onder embargo van het PBL hebben ontvangen.

4.2 Methode

In het OT-model wordt de **subsidie-intensiteit** berekend per ton CO₂. De subsidie-intensiteit wordt als volgt berekend:

$$\text{Subsidie intensiteit} \left[\frac{\text{€}}{\text{ton CO}_2} \right] = \frac{\text{Basisbedrag} \left[\frac{\text{€}}{\text{P.E.}} \right] - \text{Correctiebedrag} \left[\frac{\text{€}}{\text{P.E.}} \right]}{\text{Vermeden emissies} \left[\frac{\text{ton CO}_2}{\text{P.E.}} \right]}$$

Basisbedrag

Hier is het basisbedrag de kostprijs van de techniek, dus bijvoorbeeld hoeveel euro het kost om 1 kWh warmte te produceren, of 1 ton CO₂ af te vangen. De Productie Eenheid (P.E.) is het product wat wordt geproduceerd met de techniek dus bijvoorbeeld warmte, CO₂ of moleculen (waterstof, groengas). In het basisbedrag zitten dus alle kapitaal-, operationele kosten en belastingen.

Correctiebedrag

Het correctiebedrag is de opbrengst of vermeden kosten. Hier heeft het OT-model een specifieke berekeningswijze per Productie Eenheid. Bij warmtelevering is er onderscheid gemaakt tussen klein, middel, groot en directe warmtelevering en is er per type een correctiebedrag die afhankelijk is van de gasprijs, een vermenigvuldigingsfactor en energiebelasting. Bij de CCS categorieën is het correctiebedrag de langetermijnprijs van CO₂ (ETS-prijs), ervan uitgaande dat je de ETS-prijs niet meer hoeft te betalen voor de CO₂ die je afvangt. Bij waterstofproductie wordt de langetermijnprijs van waterstof als correctiebedrag gerekend.

Er wordt ook nog per techniek een ETS-correctie toegepast, die de bespaarde kosten representeren voor de verminderde CO₂-emissie. Hier sluiten we aan bij de methodiek van het OT-model.

Vermeden emissies

De vermeden emissies zijn de emissies die vermeden worden per Productie Eenheid. Hiermee wordt de subsidie-intensiteit omgerekend naar een bedrag in € per ton CO₂.

De zeefmethodiek

Binnen de zeefmethodiek wordt, voor de te onderzoeken duurzame alternatieven, gezocht naar technieken binnen het OT-model die hier zoveel mogelijk mee overeenkomen, maar er is niet altijd een één-op-één-koppeling mogelijk. Ontbrekende data worden aangevuld vanuit de literatuur. Dit zijn kentallen voor CAPEX, OPEX en technische eigenschappen zoals input- en outputvermogen. We vergelijken de inzet van de technieken op een gelijke wijze, dus we hanteren voor alle technieken 8.000 vollasturen. Dit is voor de CCS-categorieën al het standaard aantal vollasturen. Waar nodig passen we de bestaande berekeningen in het OT-model hierop aan zodat we een gelijke inzet van technieken vergelijken.

Aanpassingen in het OT-model

De subsidie-intensiteit wordt berekend volgens de rekenmethodiek van het OT-model. In Tabel 12 staan de aanpassingen die zijn gemaakt ten opzichte van het OT-model voor de duurzame alternatieven op de shortlist.

Tabel 12 – Overzicht van alternatieve duurzame technieken en match en eventuele aanpassingen in het OT-model

Alternatieve technieken	Directe match met OT model?	Aanpassingen
Industriële warmtepomp	Ja. SDE++-categorie: • <i>Industriële warmtepomp, gesloten systeem (8.000 uur)</i>	• Aanpassing COP voor Industriële warmtepomp; • Aanname dat de investeringskosten minimaal gelijk zijn aan de industriële warmtepomp, gesloten systeem (8.000 uur).
Waterstofboiler/ fornuis	Nee , deze technieken zijn niet opgenomen in SDE++	Kosten kentallen uit MIDDEN-database: • TC0536: Hydrogen boiler (high pressure steam) • TC0454: Hydrogen Thermal Oil Heater (retrofit)
Vaste biomassa-boiler	Ja. SDE++-categorie: • <i>Ketel op vaste biomassa 5 MWth (7.000 uur)</i>	Vollasturen van 7.000 naar 8.000 uur.

Alternatieve technieken	Directe match met OT model?	Aanpassingen
Vaste biomassa-fornuis	Ja. SDE++-categorie • <i>Directe inzet van houtpellets voor industriële toepassingen</i>	Vollasturen van 3.000 naar 8.000 uur.
Groengasboiler/fornuis/SMR	Ja, gemiddelde van alle groengas productie technieken die de meerkosten representeren voor gebruik van groengas i.p.v. aardgas. Hierbij gaan we uit van een bestaande productie-installatie (boiler, fornuis, SMR), waardoor er dus alleen meerkosten zijn voor groengas. SDE++-categorieën: • <i>Groengas uit biomassa (≥95% biogeen);</i> • <i>Groengas uit biomassa (B-hout);</i> • <i>Allesvergisting, Hernieuwbaar gas;</i> • <i>Monomestvergisting <110 kW, Hernieuwbaar gas;</i> • <i>Monomestvergisting 110-1.500 kW, Hernieuwbaar gas;</i> • <i>Monomestvergisting >1.500 kW, Hernieuwbaar gas.</i>	Vollasturen overal 8.000 uur, bij sommige categorieën was het aantal vollasturen 7.500 uur.
Warmte uit ijzerpoeder	Ja. SDE++-categorie: • <i>Warmte uit ijzerpoeder.</i>	• Kosten aangepast naar gebruik van 100% groene waterstof. Het OT-model gaat uit van een mix van blauw/groen/witte waterstof (RIFT, 2025). Voor voldoende emissiereductie moet worden uitgegaan van 100% groene waterstof. • Vollasturen aangepast van 8.500 naar 8.000 uur.
Mechanische damprecompressie (MVR)	Ja. SDE++-categorie: <i>Procesgeïntegreerde warmtepomp in een verdampingsproces (8.000 uur).</i>	
Elektrolyser waterstof	Ja. SDE++-categorie: • <i>Waterstofproductie via elektrolyse, directe gemeenschappelijke lijn met wind- en zonnepark, 50% vermogensverhouding.</i>	• Elektriciteitsprijs aangepast naar lange-termijn elektriciteitsprijs uit correctie-bedragen (€ 0,0743 per kWh), zodat het in lijn is met de berekeningen voor andere technieken waar elektriciteit de energiedrager is voor het proces.

Energieprijzen

De subsidie-intensiteiten worden berekend op basis van de prijzen voor energiedragers en de ETS-prijs. De zeef rekent altijd met de nominale waarde en deze wordt uiteindelijk gebruikt voor de conclusies.

In de resultaten worden bandbreedtes getoond voor de verschillende resultaten. Deze zijn gebaseerd op de bandbreedte van de energiedrager van de betreffende techniek.

Tabel 13 – De gebruikte prijzen voor energiedragers en CO₂

Lange termijn prijzen	Lage waarde	Nominale waarde	Hoge waarde	Eenheid	Bron / toelichting
Waterstof	€ 6,00	€ 7,5	€ 9,5	€/kg	Waterstof: kostprijs, import, beleid - CE Delft (CE Delft, 2025b).
Elektriciteit	€ 0,05	€ 0,07	€ 0,11	€/kWh	KEV 2025 voor laag en hoog, nominale waarde uit OT-model.
ETS-prijs	€ 107	€ 137	€ 167	€/ton CO ₂	Lage waarde is gemiddelde van Basispad 2030 (KEV 2025), Hoge waarde is gemiddelde van WLO-scenario's Hoog Snel en Hoog Vertraagd 2040.
Warmte uit ijzerpoeder	€ 338	€ 407	€ 499	€/ton ijzerpoeder	Inschatting op basis van kostprijs groene waterstof en uitgangspunten RIFT (RIFT, 2025).

4.3 Belangrijkste bevindingen

Tabel 14 vat de belangrijkste bevindingen van de zeefstudie samen. Per proces is aangegeven of er kosteneffectieve alternatieven voor CCS beschikbaar zijn en in welke SDE++-categorieën CCS voor dat proces momenteel valt. De bevindingen worden vervolgens per proces verder toegelicht.

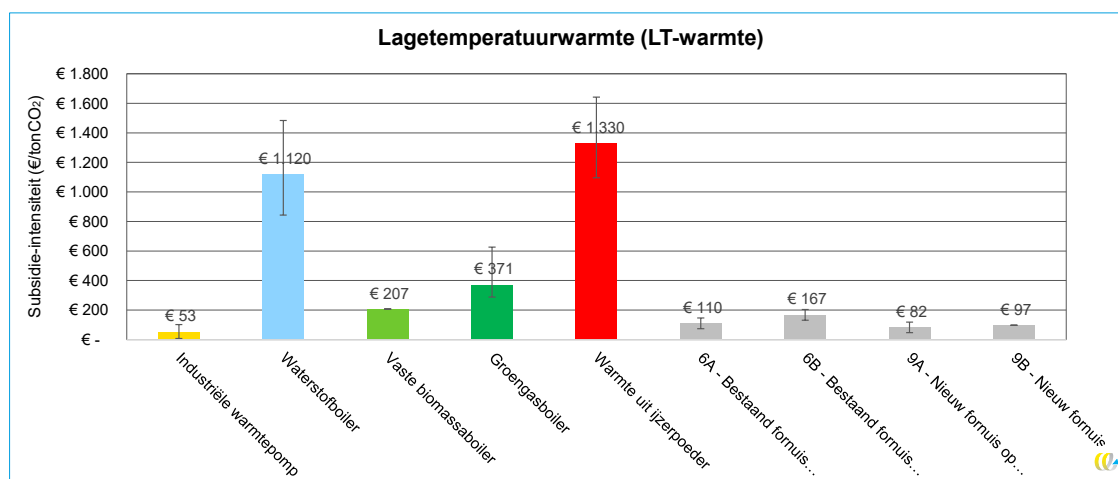
Tabel 14 – Kosteneffectieve alternatieven voor CCS

Proces	Kosteneffectieve alternatieven	CCS categorieën SDE++
Productie van LT-warmte	Industriële warmtepomp	6A, 6B, 9A en 9B
Productie van HT-warmte	Fornuis op vaste biomassa	6A, 6B, 9A en 9B
Productie van waterstof	Geen	3A, 3B, 6A, 6B, 8A, 8B, 9A en 9B
Indampen van waterige oplossingen	Industriële warmtepomp	6A, 6B, 9A en 9B
	Mechanische damprecompressie (MVR)	6A, 6B en 9B

4.4 Productie van LT-warmte

Voor de productie van laagtemperatuurwarmte (LT-warmte) zijn in Figuur 3 de subsidie-intensiteiten weergegeven van de duurzame alternatieven uit de shortlist. De referentietechnieken in dit proces zijn CCS-categorieën 6A, 6B, 9A en 9B. Dit gaat over post-combustion CO₂-afvang bij een gasboiler met gasvormig of vloeibaar transport. We identificeren een kosteneffectief alternatief als de subsidie-intensiteit gunstiger of minstens gelijk is aan die van de referentietechnieken. Voor dit proces gelden daarvoor de grenzen van de CCS-technieken: € 110 per ton vermeden CO₂ (gas, 6A), € 167 per ton vermeden CO₂ (vloeibaar, 6B), € 82 per ton vermeden CO₂ (gas, 9A) en € 97 per ton vermeden CO₂ (vloeibaar, 9B). De industriële warmtepomp (HT-warmtepomp) is een kosteneffectief alternatief voor CCS voor laagtemperatuurwarmte met een subsidie-intensiteit van € 53 per ton vermeden CO₂.

Figuur 3 – Subsidie-intensiteit van alternatieve technieken voor het produceren van LT-warmte



4.5 Productie van HT-warmte

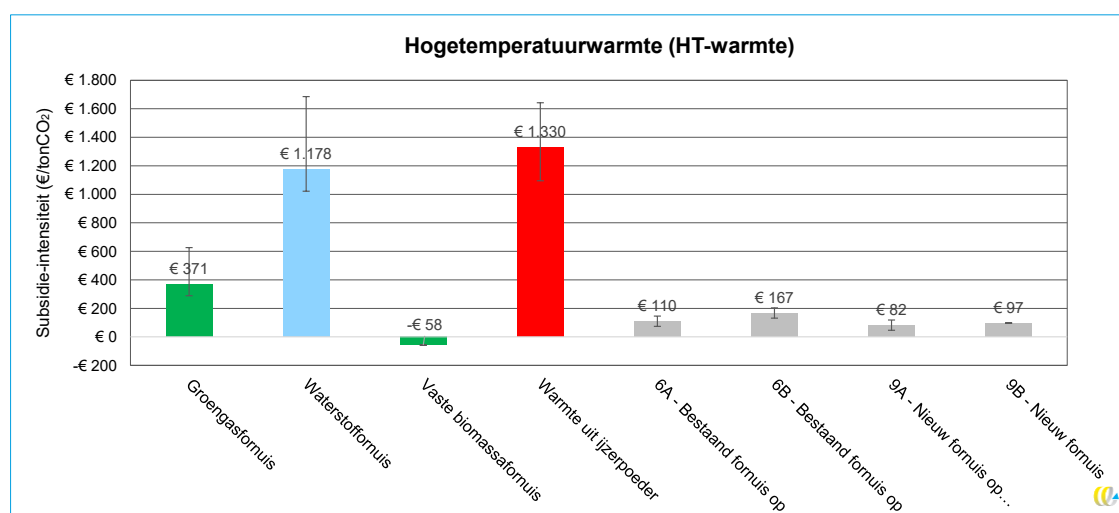
Voor de productie van hogetemperatuurwarmte (HT-warmte) zijn in Figuur 4 de subsidie-intensiteiten weergegeven van de duurzame alternatieven uit de shortlist. De referentietechnieken in dit proces zijn dezelfde CCS-categorieën als voor LT-warmte. De subsidie-intensiteit loopt uiteen van relatief laag voor CCS in ordegrootte € 100-200 per ton vermeden CO₂ tot zeer hoog voor de waterstoffornuis en warmte uit ijzerpoeder.

Uit onze analyse blijkt dat het kostenkental voor operationele kosten in het OT-model uitging van een waterstofprijs die ver onder de verwachte marktprijs van groene waterstof ligt. Dit kental komt overeen met een factsheet van een techniekontwikkelaar van deze technologie (RIFT, 2025), en is dus vermoedelijk overgenomen in het OT-model.

De voorwaarde die we aan de warmte uit ijzerpoeder stellen, namelijk dat het een vergelijkbare emissiereductie moet hebben als CCS (90% in de vergelijking met post-combustion CCS), betekent dat we daarom alleen een ijzerpoeder regeneratie systeem gebaseerd op groene waterstof mogen meenemen. Een systeem gebaseerd op 100% groene waterstof behaalt voldoende emissiereductie volgens onze methode met emissiefactoren. De techniek heeft een relatief hoge subsidie-intensiteit van € 1.330 per ton vermeden CO₂.

Binnen dit proces is er één kosteneffectief alternatief geïdentificeerd voor CCS. Enkel het vaste biomassaformis is een kosteneffectief alternatief voor CCS voor hoge temperatuur warmte met een subsidie-intensiteit van -€ 58 per ton vermeden CO₂, waardoor deze techniek voor dit proces geen subsidie-behoefte heeft en dus economisch rendabel blijkt.

Figuur 4 – Subsidie-intensiteit van alternatieve technieken voor het produceren van HT-warmte



4.6 Productie van waterstof

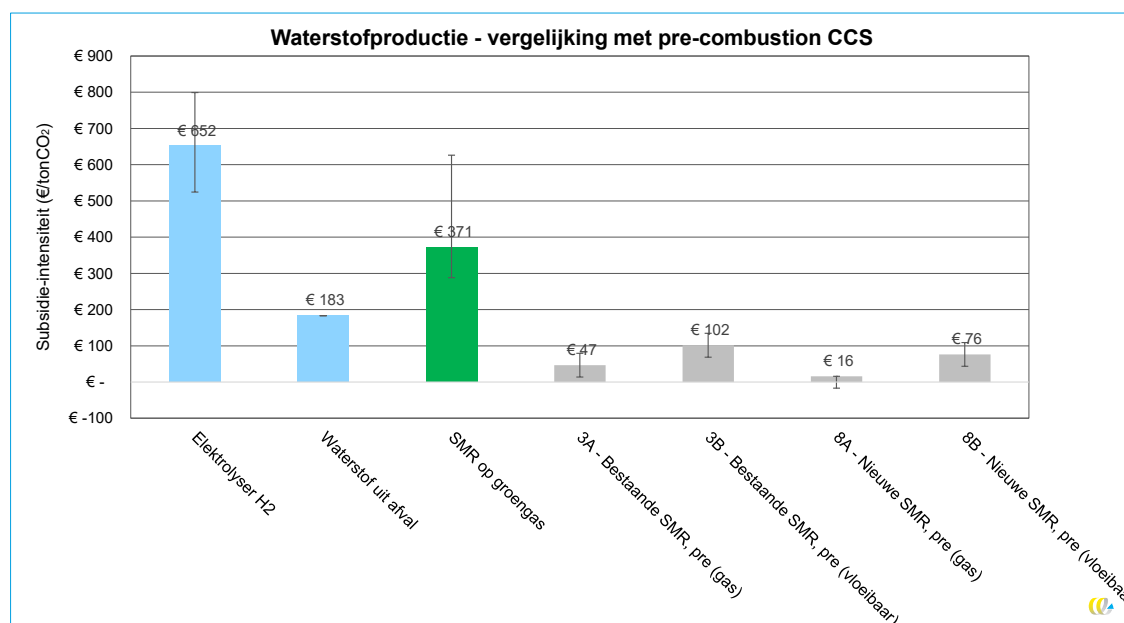
Waterstofproductie vergeleken met pre-combustion CCS

In Figuur 5 is de subsidie-intensiteit weergegeven van de duurzame alternatieven en de twee pre-combustion CCS-varianten (Variant 3 en 8) waarmee zij zijn vergeleken. Uit de figuur blijkt dat geen van de duurzame alternatieven kosteneffectiever is dan een van de CCS-categorieën. Pre-combustion CCS is in deze vergelijking dus de meest kosteneffectieve techniek om CO₂ te reduceren.

Wel is het belangrijk om te benadrukken dat het CO₂-afvangpercentage van pre-combustion CCS ongeveer 50% bedraagt, terwijl een elektrolyser circa 86% CO₂-reductie realiseert en SMR op groengas ongeveer 87%. Waterstof uit afval heeft een reductie van 44%, wat vergelijkbaar is met pre-combustion CCS.

Hoewel een elektrolyser en SMR op groengas meer CO₂ kunnen reduceren, vereist dit ook aanzienlijk meer subsidie. Volgens onze methode concluderen we daarom dat er geen kosteneffectieve alternatieven zijn voor CCS binnen dit proces.

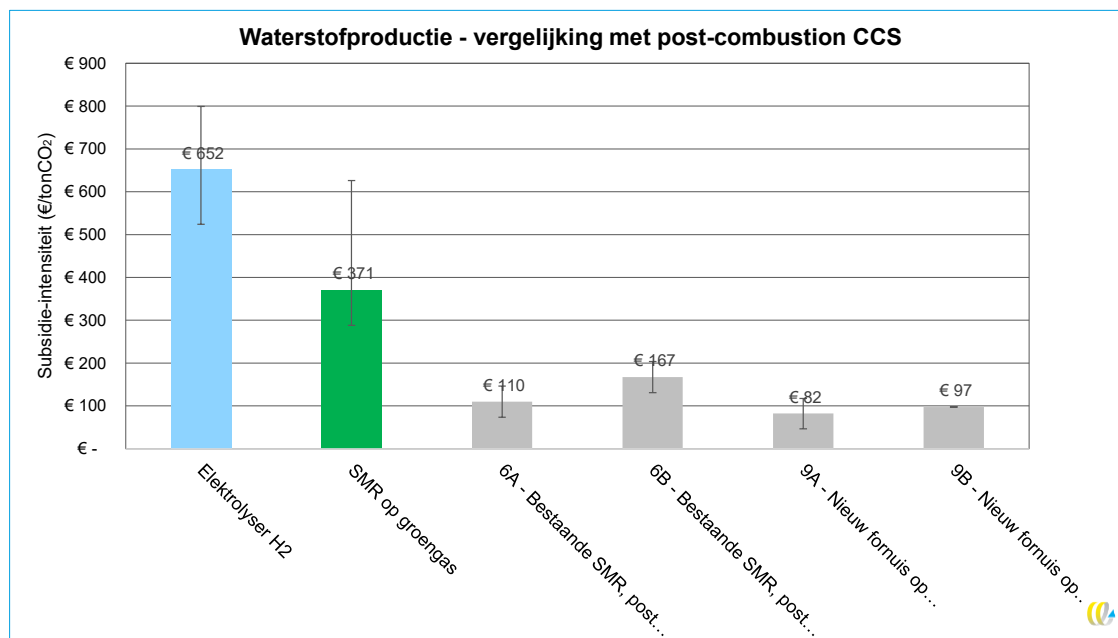
Figuur 5 – Subsidie-intensiteit van alternatieve waterstofproductie technieken vergeleken met pre-combustion CCS



Waterstofproductie vergeleken met post-combustion CCS

In Figuur 6 is de subsidie-intensiteit weergegeven van alternatieve waterstofproductie technieken en post-combustion CCS. Met post-combustion CCS is ca. 90% CO₂-emissie te reduceren. Daarom zijn alleen de technieken weergegeven die een vergelijkbaar CO₂-reductie potentieel hebben, en staat *waterstof uit afval* er niet bij vanwege het lagere CO₂-reductie percentage. Ook bij dit proces zien we dat er geen kosteneffectieve alternatieven zijn voor CCS.

Figuur 6 – Subsidie-intensiteit van alternatieve waterstofproductie technieken vergeleken met post-combustion CCS

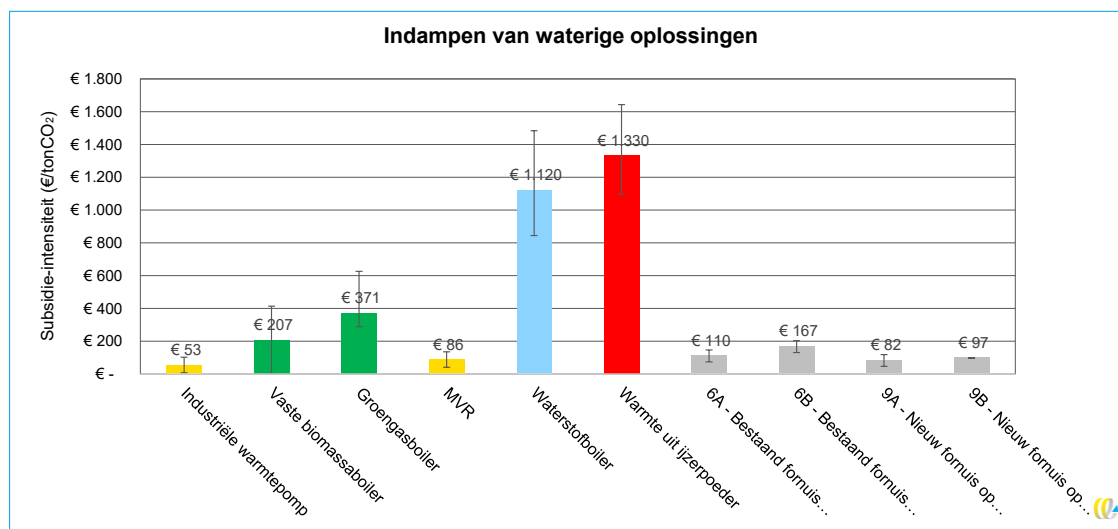


4.7 Indampen van waterige oplossingen

Figuur 7 toont de subsidie-intensiteit van technieken die de CO₂-emissie van het proces 'indampen van waterige oplossingen' vergelijkbaar kunnen reduceren als CCS (post-combustion). Hier zien we dat de industriële warmtepomp kosteneffectiever is voor CCS-categorieën 6A/6B en 9A/9B en dat de MVR kosteneffectiever is voor 6A/6B en 9B.

De industriële warmtepomp heeft een subsidie-intensiteit van € 51 per ton CO₂, wat lager is dan de € 110 en € 167 per ton CO₂ voor CCS Variant 6, respectievelijk gasvormig en vloeibaar CO₂-transport, en ook lager dan de € 82 en € 97 per ton CO₂ voor CCS-variant 9. MVR heeft een subsidie-intensiteit van € 86 per ton CO₂ en is daarmee alleen duurder dan CCS variant 9A. Beide technieken zijn dus volgens de zeefmethode kosteneffectieve alternatieven voor CCS.

Figuur 7 – Subsidie-intensiteit van technieken voor indampen van waterige oplossingen



4.8 Vergelijking met resultaten vorig jaar

In vergelijking met de zeefstudie van vorig jaar zijn er opnieuw duidelijke trends zichtbaar. Ook in de zeefstudie voor de subsidieronde 2025 hebben we, net als dit jaar, mechanische damprecompressie (MVR) kunnen identificeren als een kosteneffectief en duurzaam alternatief voor het indampen van waterige oplossingen. Wel laat de analyse zien dat de bijbehorende subsidie-intensiteit van € 86 per ton vermeden CO₂ hoger uitkomt dan in de zeefstudie van vorig jaar, waarin de techniek nog een negatieve subsidie-intensiteit kende van -€ 49 per ton vermeden CO₂. Daarmee had MVR geen subsidiebehoefte.⁷

Daarnaast liet de zeefstudie van vorig jaar zien dat de waterstofboiler een potentieel duurzaam alternatief vormde voor de productie van LT-, MT- en HT-stoom en voor het indampen van waterige oplossingen. De subsidie-intensiteit lag destijds namelijk tussen € 59-€ 598 per ton vermeden CO₂. Een vergelijkbare conclusie gold voor het waterstoffornuis voor de productie van MT- en HT-directe warmte: -€ 4-€ 559 per ton vermeden CO₂. Deze uitkomst hing dus sterk samen met de brede bandbreedte in de subsidie-intensiteit, die onder meer werd veroorzaakt door de grote spreiding in de gehanteerde waterstofprijzen.

⁷ De verklaring hiervoor is als volgt: waar in de vorige zeefstudie een openlus industriële warmtepomp als enige referentie was gehanteerd, waarbij geen andere onderdelen van de fabriek hoeven worden aangepast (ook wel zonder procesaanpassing) PBL. (2024a). *Eindadvies Basisbedragen SDE++ 2024*. <https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-03/pbl-2024-eindadvies-sde-plus-plus-2024-5040.pdf>, is in de huidige analyse gekozen voor de procesgeïntegreerde warmtepomp waarvan een bestaande verdampingsstap wordt uitgerust met MVR. De reden hiervoor is enerzijds dat de MVR zonder procesaanpassing inmiddels meerdere jaren geen of een nihil subsidie-behoefte heeft, en anderzijds dat de MVR met procesintegratie op basis van interviews eerder praktisch wordt ingezet in de bestaande fabrieksprocessen. Het relatief grote verschil in subsidie-intensiteit komt hoofdzakelijk door een verschil in CAPEX: ca. € 14 mln. vergeleken met ca. € 26 mln. voor de MVR in de huidige studie.

In de huidige zeefstudie zijn we de systeemgrenzen anders gaan hanteren waarbij we specifiek kijken naar groene waterstof(prijzen) op basis van een recent waterstofrapport door CE Delft (zie ook Tabel 13) (CE Delft, 2025b). Op basis hiervan worden de waterstofboiler en het waterstoffornuis in de huidige systematiek niet langer als kosteneffectieve alternatieven voor CCS aangemerkt. Voor HT-warmte identificeren we dit jaar wel een ander kosteneffectief alternatief, namelijk het fornuis op vaste biomassa.

5 Inbedding in breder beleid

5.1 Inleiding

In dit hoofdstuk bespreken we de resultaten van de zeef in de context van het bredere industriebeleid. We kijken naar de drie aspecten die in Paragraaf 2.5 zijn beschreven: beschikbaarheid van alternatieve energiedragers, infrastructuur voor alternatieve energiedragers en de gevoeligheidsanalyse van de subsidie-intensiteit. Elk van deze aspecten wordt hierna in een aparte paragraaf gepresenteerd.

De energiedragers die we hier beschouwen zijn hernieuwbare elektriciteit, hernieuwbare waterstof, groengas en vaste biomassa. Alle duurzame alternatieve technieken die we in deze zeefstudie bekijken zijn op een van deze energiedragers gebaseerd. Ook staan we kort stil bij de beschikbaarheid van aardgas.

5.2 Beschikbaarheid van alternatieve energiedragers

Elektriciteit

De petrochemische industrie geeft in de interviews aan, als een van de redenen dat het niet mogelijk is om over te stappen op een elektrische kraker, dat er onvoldoende groene stroom van wind op zee beschikbaar is. De belemmering betreft een combinatie van de aanwezigheid van windparken en van de aansluiting.

De verdere uitrol van windparken wordt verhinderd doordat er onvoldoende vraag is naar elektriciteit. Voornamelijk de vraag van de industrie blijft achter. De industrie geeft aan dat zij niet kunnen inzetten op elektrificatie omdat er onvoldoende elektriciteit beschikbaar is. Er is dus sprake van een kip-ei situatie.

Waterstof

Er lijkt onvoldoende vraag en betalingsbereidheid te zijn voor groene waterstof. Hierom zijn recent verschillende projecten voor groene waterstof stilgezet. Verschillende partijen zijn recent ook afgestapt van verduurzamingsplannen die waterstof een hoofdrol geven. Hierbij is Tata Steel, dat nu op groengas wil inzetten, het meest bekende voorbeeld (Ministerie van KGG, 2025a).

Hoewel de doelstelling van de Rijksoverheid is om in 2030 4 GW en in 2032 8 GW aan elektrolyservermogen opgesteld te hebben, is momenteel slechts 200 MW in aanbouw. Voor de import van groene waterstof is slechts voor één project een contract afgesloten. Onzekerheid in beleid, de realisatie van infrastructuur en de beschikbaarheid van groene elektriciteit spelen hierbij een rol (PBL, 2025a).

Groengas

In Nederland werd in 2023 280 mln. m³ groengas geproduceerd. De potentie ligt tussen 1.3-1.8 miljard m³. De nationale ambitie is om 2 mld. m³ te produceren. In de uitbreidingsplannen voor groengas ligt de nadruk voornamelijk op de inzet op de transportsector en de gebouwde omgeving. Voor de industrie wordt groengas niet direct gezien als een belangrijke pijler van de verduurzaming (CE Delft, 2024b).

Vaste biomassa

De inzet van vaste biomassa, zoals houtpellets, kan voor sommige installaties een werkbare oplossing zijn maar lijkt niet de meest voor de hand liggende richting voor verduurzaming van grootschalige industriële installaties. Het grote volume aan vaste biomassa wat hiervoor nodig zou zijn, zou de beschikbaarheid van vaste biomassa voor andere toepassingen verminderen en de prijs van de vaste biomassa opdrijven, waardoor de kostenefficiëntie weer af zou nemen. Bovendien zijn sommige andere toepassingen, zoals de productie van biobrandstoffen of andere bio-based materialen, hoogwaardiger dan het verbranden van biomassa voor de productie van warmte. Volgens de huidige beleidskaders dient duurzame biomassa zoveel mogelijk ingezet te worden voor de meest hoogwaardige toepassingen, voordat laagwaardige toepassingen in beeld komen.

Aardgas

Bij de selectie van duurzame technieken geven partijen aan dat er ook expliciet rekening gehouden wordt met de beschikbaarheid van aardgas. De energiecrisis van 2022 maakte duidelijk dat het niet vanzelfsprekend is dat er altijd (betaalbaar) aardgas beschikbaar zal zijn. Hoewel CCS wel zorgt voor CO₂-reductie, vermindert dit niet de afhankelijkheid van fossiele energie.

5.3 Infrastructuur voor alternatieve energiedragers

Op het moment geldt voor al deze verduurzamingsrichtingen dat er onvoldoende infrastructuur ligt om deze processen overal in Nederland te installeren. Wij gaan hier dieper in op de verschillende infrastructurele uitdagingen voor verduurzaming.

Netcongestie verhindert elektrificatie van de industrie

De elektrificatie van de industrie levert een grotere netbelasting op, waarvoor het net moet worden uitgebreid. Netcongestie zorgt voor wachtlijsten op het net. Hierdoor moeten bedrijven wachten op zwaardere aansluitingen. Deze hebben zij nodig voor de aansluiting van de verschillende elektrische alternatieven. Hierbij moet worden gedacht aan de e-boiler, warmtepomp, MVR en elektrisch kraakfornuis. Netbeheer Nederland geeft aan dat de grootste bottlenecks voor netcongestie in 2033-2035 zouden moeten zijn opgelost (Netbeheer Nederland, 2025), maar projecten lopen regelmatig vertraging op.

Er zijn echter verschillende mogelijkheden om door flexibele inzet de netcongestie te verminderen. Daarmee moet het toekomstige elektriciteitsnet nog steeds versterkt worden, maar mogelijk minder grootschalig dan zonder flexibele inzet. Concreet wordt dit benoemd in de maatwerkafspraken van Nobian. Hun toekomstige MVR en elektrolyser kunnen flexibel ingezet worden, dit levert 14 MW flexibele inzet op in Hengelo en 25 MW in Rotterdam (Ministerie van KGG, 2024).

Waterstofinfrastructuur pas na 2030 beschikbaar

Voor waterstof wordt er gewerkt aan een nationaal en regionaal waterstofnetwerk. In 2026 is de verwachting dat het waterstofnetwerk in Rotterdam in gebruik genomen kan worden. In 2031-2033 wordt ook de industriële cluster in Limburg (Chemelot) aangesloten en de verbinding tussen de clusters, waaronder de Delta Rhine Corridor (DRC) (Gasunie, 2024b). Kleinere aansluitingen (voornamelijk Cluster 6) volgen waarschijnlijk later.

Voor CCS is zowel transport- als opslagcapaciteit nodig

De infrastructuur voor CO₂-opslag bestaat uit de transportinfrastructuur en de opslagcapaciteit. Momenteel heeft één partij plannen om CO₂ af te vangen en per schip naar Noorwegen te brengen voor opslag (Yara, 2025). Verder worden in Nederland Porthos en Aramis ontwikkeld. Hier worden gedepleteerde gasvelden klaargemaakt voor opslag van CO₂. Porthos moet in 2026 in gebruik worden genomen voor 2,5 Mton CO₂ per jaar. De partijen die hier gebruik van gaan maken liggen al vast: Shell, Exxon Mobil, Air Liquide en Air Products (Port of Rotterdam, 2025). Aramis is het grotere vervolg op Porthos en wordt naar verwachting opgestart in 2030 (Aramis, 2024).

Hiernaast moet ook de infrastructuur voor transport naar deze opslaglocaties worden aangelegd. Hiervoor wordt de Delta Rhine Corridor gebouwd. Dit is een CO₂- en een waterstofleiding. Deze wordt in 2033 opgeleverd en loopt van Rotterdam naar Boxtel, Limburg en Venlo (RVO, lopend). Grote gebieden binnen Nederland vallen hier niet onder. Er wordt ook gewerkt aan een Delta Schelde CO₂nnnection. Deze loopt voornamelijk naar Antwerpen, maar is nog niet gepland naar Terneuzen (Gasunie, 2024a). Voor de Eemshaven zijn er nog geen plannen. De haven van Amsterdam en het Noordzeekanaal-gebied kunnen via de OCAP-leiding verbonden worden aan de haven van Rotterdam (OCAP, 2024).

Het is ook mogelijk om CCS te realiseren zonder buisleiding. Via schepen kan CO₂ getransporteerd worden naar verschillende locaties. Volgens Carbon Collectors heeft dit vergelijkbare kosten als transport per buisleiding. Momenteel is CCS zeer afhankelijk van enkele grote projecten met een grote infrastructuur. Carbon collectors wil inzetten op transport per schip. Zij geven aan dat zij met relatief weinig aanpassingen kunnen aanmeren bij verschillende lege gasvelden. Hierdoor neemt de capaciteit en de flexibiliteit van CCS toe en kan de enorme opslagcapaciteit onder de Noordzee worden ontsloten.

Dit geldt ook voor de aanbodkant: door transport via schip hoeft er minder fysieke infrastructuur aangelegd te worden, waardoor flexibeler en vanaf meer locaties CO₂ kan worden getransporteerd. In principe is alleen een zeehaven nodig. Met binnenvaartschepen, treinen en vrachtwagens kan CO₂ worden opgehaald van locaties dieper landinwaarts.

5.4 Gevoeligheidsanalyse

De subsidie-intensiteit wordt bepaald door verschillende componenten, zoals beschreven in Paragraaf 4.2. In de hierna volgende figuren zijn de verschillende onderdelen die de subsidie-intensiteit bepalen weergegeven per techniek en per proces. Hiervoor zijn de aandelen van de totale kosten (basisbedrag) en opbrengsten (correcties) in de totale subsidie-intensiteit per techniek bepaald. Dit geeft een beeld over welke onderdelen dominant zijn in de totstandkoming van de subsidie-intensiteit, en daarmee ook welke onzekerheden het meest bepalend zijn voor de onzekerheid in de subsidie-intensiteit zelf.

LT-warmte

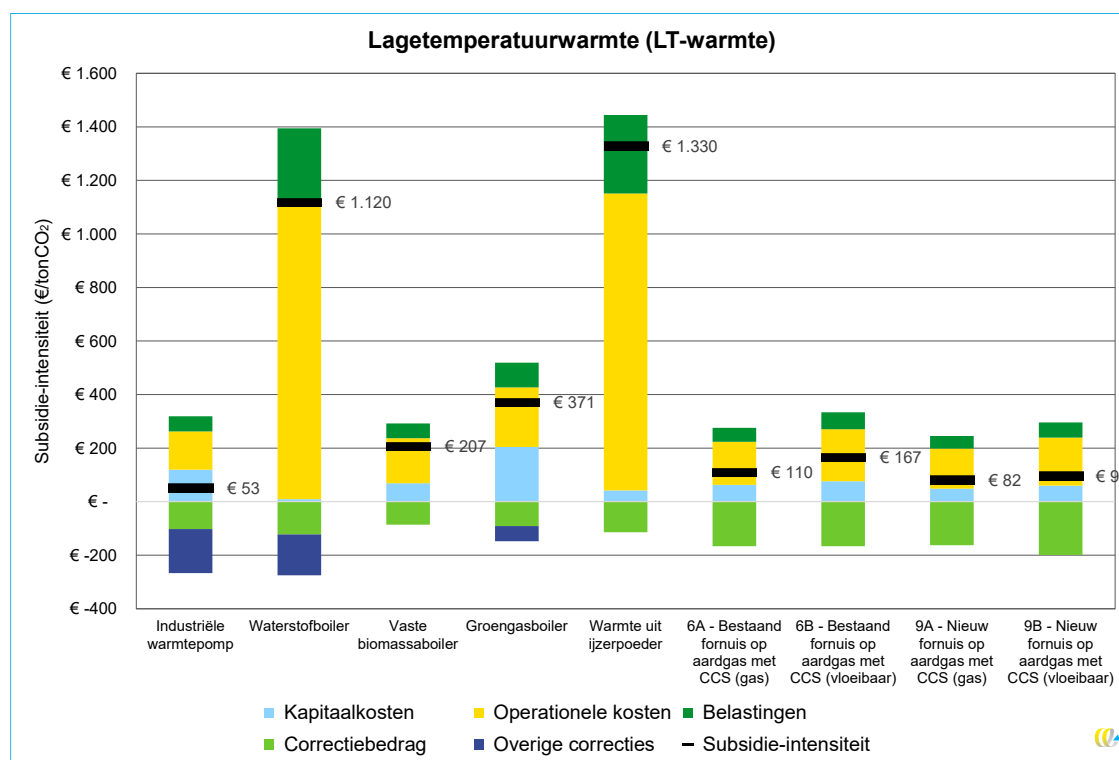
In Figuur 8 is voor het proces lagetemperatuurwarmte de subsidie-intensiteit weergegeven, inclusief de kostenopbouw van de alternatieve technieken en CCS. De figuur laat zien dat bij de meeste technieken de operationele kosten de grootste kostenpost vormen. Bij de groengasboiler zijn de kapitaalkosten en operationele kosten ongeveer gelijk. Bij de waterstof- en elektrische boiler ligt dit anders: daar domineren juist de operationele kosten. Hierdoor heeft een verlaging van de kapitaalkosten, bijvoorbeeld bij een waterstofboiler, relatief weinig effect op de subsidie-intensiteit, terwijl dit bij een groengasboiler wél substantieel kan zijn.

De subsidie-intensiteit van de groengasboiler is bepaald door het gemiddelde te nemen van de groengasproductietechnieken die in het OT-model staan. Hier is de aanname dat de meerkosten bij het gebruik van groengas alleen het groengas zelf is, en dat er geen investering gedaan hoeft te worden in nieuwe installaties. De referentie-installatie, een aardgasboiler, kan per definitie groengas als brandstof gebruiken. Ook de uitsplitsing van kosten is dus gebaseerd op het gemiddelde van die groengasproductietechnieken.

De correctiebedragen zijn per techniek verschillend. Het correctiebedrag voor technieken die lage of hoge temperatuur warmte produceren is gekoppeld aan de langetermijngasprijs. Overige correcties zijn bijvoorbeeld vermeden kosten voor ETS-rechten: bij een duurzaam alternatief worden immers kosten vermeden op de CO₂-rechten die via het ETS afgestaan zouden moeten worden. Overige correcties kunnen ook GvO- of HBE-opbrengsten zijn.

Hoewel geen uitgebreide gevoeligheidsanalyse is uitgevoerd voor alle technieken, geeft deze uitsplitsing van kosten en correctiebedragen wel inzicht in welke componenten het sterkst bijdragen aan de subsidie-intensiteit. De belangrijkste onzekerheden zitten daarmee dus in de aannames over energieprijzen (voor aardgas, waterstof, elektriciteit en groengas), omdat deze sterk doorwerken in de operationele kosten en de correctiebedragen. De KEV geeft bijvoorbeeld een onzekerheidsbandbreedte voor de gasprijs met een factor 3 verschil (15-46 € ct/m³) en voor elektriciteit een factor 2 verschil (45-105 €/MWh) (PBL, 2025b)

Figuur 8 – Lagetemperatuurwarmtetechnieken kostenopbouw van subsidie-intensiteit

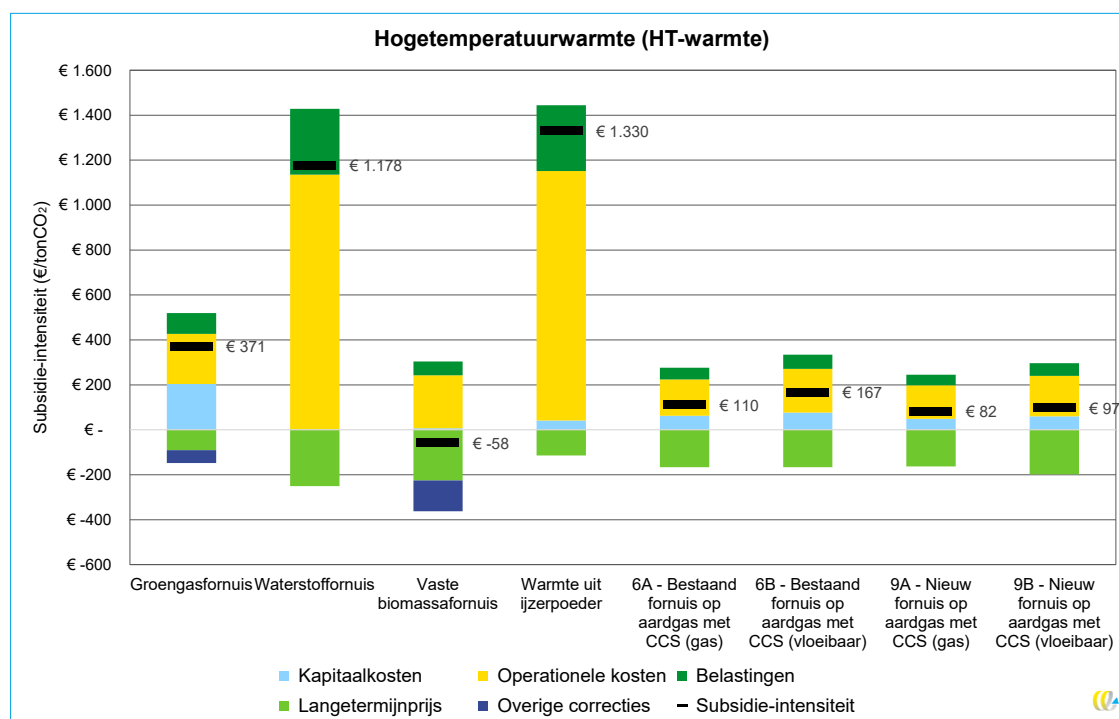


HT-warmte

In Figuur 9 staan de subsidie-intensiteiten uitgesplitst voor het produceren van hogetemperatuurwarmte. Hier zien we dat de operationele kosten bij het waterstoffornuis en warmte uit ijzerpoeder de grootste factor zijn in de kosten. Hier gaan we bij het waterstoffornuis en de warmte uit ijzerpoeder uit van verwachte marktprijs van groene waterstof. Voor de berekening van warmte uit ijzerpoeder zijn we daarom afgeweken van de standaard berekening in het OT-model, omdat deze uitging van een mix van waterstof van blauw, wit en groen.

De belangrijkste onzekerheden zijn daarmee vergelijkbaar met die voor LT-warmte eerder beschreven. De onzekerheden zitten hier in de aangenomen prijs van groene waterstof/groengas, omdat deze direct bepalend is voor de operationele kosten van zowel het waterstof-/groengasfornuis als warmte uit ijzerpoeder. Als deze prijzen hoger of lager uitvallen, of sterk volatiel zijn, heeft dit direct impact op de subsidie-intensiteit van de technieken. We zagen zojuist al dat bijvoorbeeld de KEV ook werkt met relatief grote bandbreedtes voor de energieprijzen.

Figuur 9 – Hoge temperatuurwarmte technieken kostenopbouw van subsidie-intensiteit

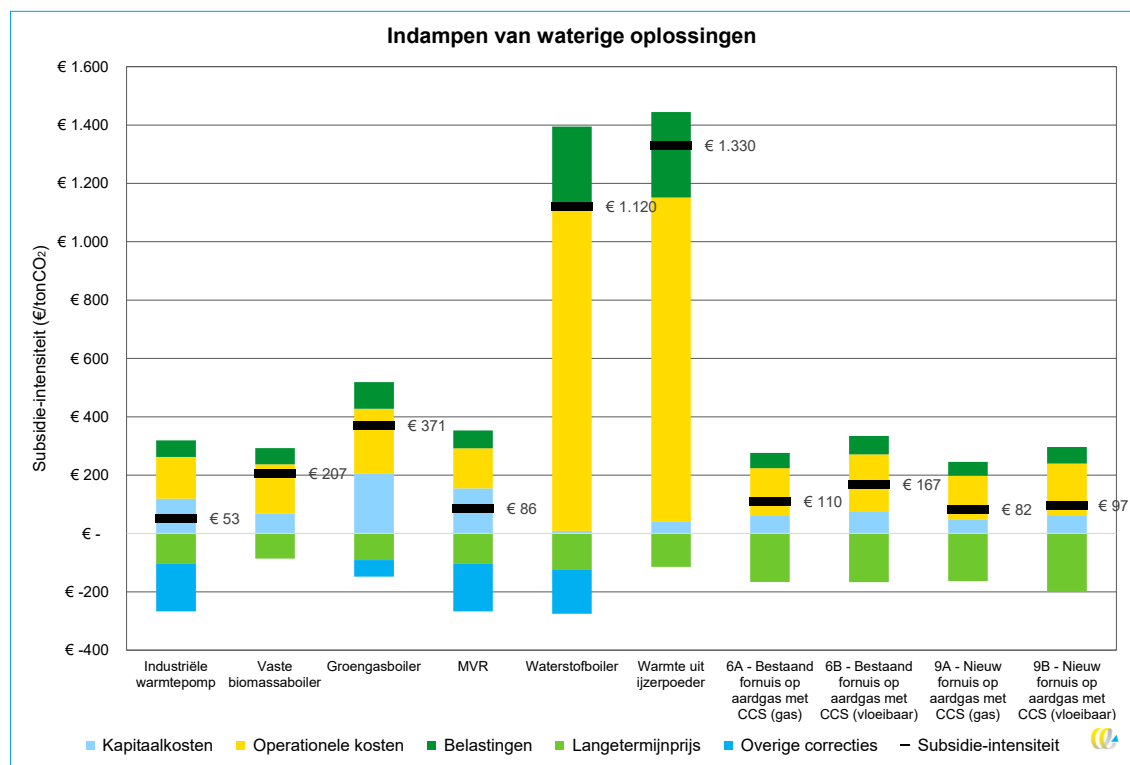


Indampen van waterige oplossingen

De MVR en de industriële warmtepomp (zie Figuur 10) zijn kosteneffectieve alternatieven voor CCS. In vergelijking met de andere duurzame alternatieven liggen voornamelijk de energiekosten van deze technieken lager omdat er een hoger rendement wordt behaald. Een probleem van deze technieken is dat deze een grote kapitaalinvestering vereisen, terwijl de meeste subsidies ingericht zijn als subsidies voor de operationele kosten. Geïnterviewde partijen geven aan dat dit een drempel vormt voor de implementatie van deze technieken, omdat het lastig kan zijn deze technieken vooraf te financieren.

Bij de keuze voor een duurzaam alternatief heeft Nobian gekozen voor een MVR, omdat zij bekend waren met deze techniek. Hierbij spelen niet alleen kostenoverwegingen een rol, maar de kennis van de techniek en daarmee de mogelijkheid om de technologische risico's goed in te schatten.

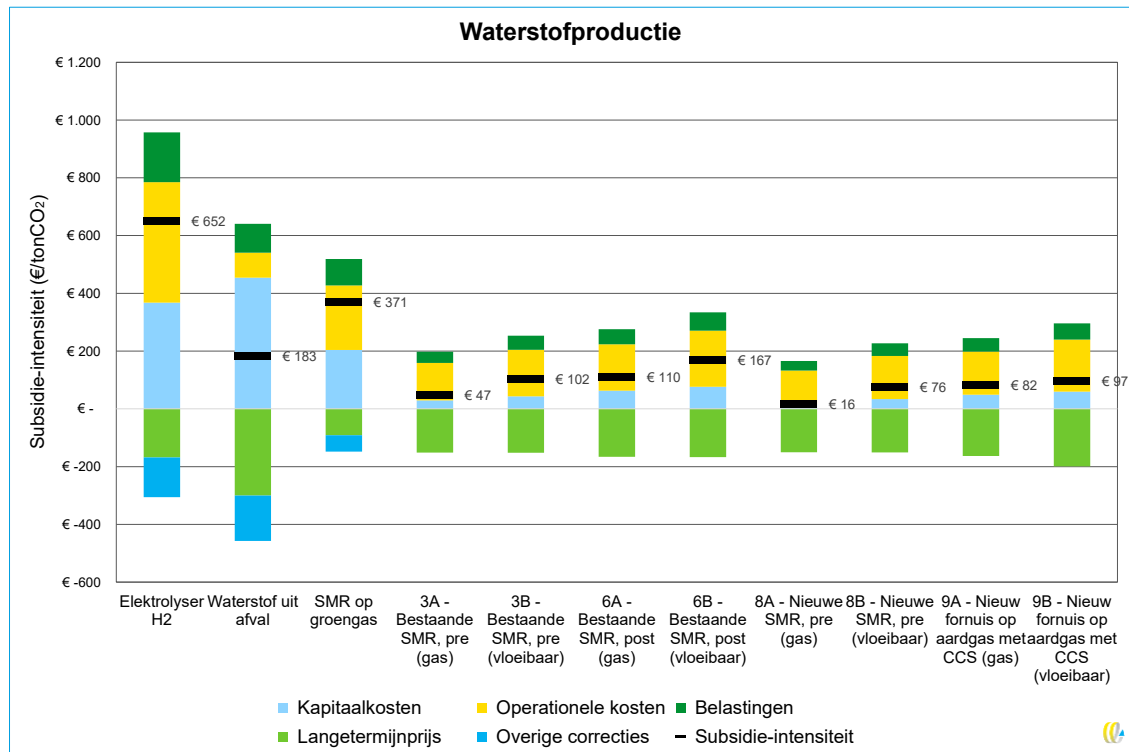
Figuur 10 – Indampen van waterige oplossingen technieken kostenopbouw van subsidie-intensiteit



Waterstofproductie

In Figuur 11 zijn voor waterstofproductie de uitgesplitste kosten en correctiebedragen weergegeven. Hier zien we een aantal duurzame alternatieven terugkomen die in de voorgaande figuren al zijn toegelicht. Tenslotte zien we bij de CCS-technieken dat de kosten worden gedomineerd door operationele kosten, en dat bij de correctiebedragen de langetermijnprijs van CO₂ een grote impact heeft. Een CO₂ prijs die hoger of lager uitvalt heeft dus een significante impact op de subsidie-intensiteit. Deze impact is bijvoorbeeld groter dan lagere of hogere investeringskosten.

Figuur 11 – Waterstofproductietechnieken kostenopbouw van subsidie-intensiteit



6 Conclusies en advies

Herziening methode

Met de herziening die dit jaar is uitgevoerd sluit de zeefmethodiek beter aan bij de praktijk. De introductie van interviews met vertegenwoordigers uit verschillende sectoren helpt om beter zicht te krijgen op de industriële processen waarvoor CCS wordt overwogen en op de voorwaarden waaronder duurzame technieken daadwerkelijk een alternatief vormen. De interviews bieden daarmee waardevolle input voor alle onderdelen van de methode (trechter, zeef en inbedding in breder beleid).

Daarnaast is de methode door de herziening transparanter en minder complex geworden. Het is voor de lezer nu duidelijker wanneer er, naast het OT-model, andere databronnen worden gebruikt en waarom. De gebruikte onzekerheidsmarge voor de subsidie-intensiteiten is intuïtiever dan in de oude methode. Een uitgebreide gevoeligheidsanalyse is nu opgenomen in 'inbedding in breder beleid'.

Resultaten van de trechter voor 2026

Het uitvoeren van de trechter volgens de herziene methodiek heeft tot enkele wijzigingen geleid ten opzichte van vorig jaar in de lijst van industriële processen die we beschouwen. We spreken nu van 'LT-warmte' in plaats van 'LT-stoom', omdat de stoom over het algemeen wordt gebruikt om warmte te vervoeren via buisleidingen. De categorie 'MT/HT' wordt veranderd in 'HT' omdat er voor middentemperaturen geen verschillen zijn in processen of alternatieven ten opzichte van hoge temperaturen. Daarnaast hebben we de nieuwe processen 'HT-warmte uit industriële restgassen, inclusief hogedrukstoomproductie' en 'waterstofproductie uit industriële restgassen' geïdentificeerd, om onze analyse beter aan te laten sluiten bij de processen die plaatsvinden in de petrochemische industrie. We concluderen echter dat het niet zinvol is om deze twee processen uit te sluiten van CCS-subsidie en nemen ze daarom niet verder mee in de zeef. Daardoor verdwijnt ook de categorie 'MT-/HT-stoomproductie'.

Bij de selectie van duurzame alternatieve technieken komt HT-elektrificatie (zoals elektrische krakers en de Rotodynamic Heater) niet op de shortlist vanwege een te lange realisatietermijn. De e-boiler en (opnieuw) HT-elektrificatie vallen af vanwege onvoldoende CO₂-reductie. De techniek 'waterstof uit afval' is een nieuw alternatief voor waterstofproductie. Tabel 15 geeft een overzicht van de relevante combinaties van duurzame alternatieven en CCS-technieken per industrieel proces die we in de zeef beschouwen.

Tabel 15 – De relevante combinaties van duurzame alternatieven en CCS-technieken die in de zeef worden vergeleken

Proces	Duurzaam alternatief	CCS-categorie			
		3	6	8	9
LT-warmte	Industriële warmtepomp Waterstofboiler Vaste biomassa-boiler Groengasboiler Warmte uit ijzerpoeder				
HT-warmte	Groengasfornuis Waterstoffornuis Vaste biomassa-fornuis Warmte uit ijzerpoeder				
Waterstofproductie: post-combustion CCS	Elektrolyse SMR op groengas				
Waterstofproductie: pre-combustion CCS	Elektrolyse Waterstof uit afval SMR op groengas				
Indampen van waterige oplossingen	Industriële warmtepomp Vaste biomassa-boiler Groengasboiler Mechanische dampcompressie (MVR) Waterstofboiler Warmte uit ijzerpoeder				

Resultaten van de zeef voor 2026

De belangrijkste resultaten van de zeef zelf, het vergelijken van de subsidie-intensiteit van CCS en duurzame alternatieve technieken, zijn weergegeven in Tabel 16. Net als vorige jaren identificeren we voor de productie van LT-warmte de industriële warmtepomp als kosteneffectief duurzaam alternatief. Voor de productie van HT-warmte vinden we dat het fornuis op vaste biomassa hier een kosteneffectief alternatief voor is. Voor het indampen van waterige oplossingen identificeren we zowel de industriële warmtepomp als mechanische dampcompressie (MVR) als kosteneffectieve duurzame alternatieven.⁸

⁸ MVR is alleen geen kosteneffectief alternatief voor Categorie 9A.

Tabel 16 – Belangrijkste bevindingen van de zeefstudie voor 2026

Proces	Kosteneffectieve alternatieven	CCS-categorieën SDE++
Productie van LT-warmte	Industriële warmtepomp	6A, 6B, 9A en 9B
Productie van HT-warmte	Fornuis op vaste biomassa	6A, 6B, 9A en 9B
Productie van waterstof	Geen	3A, 3B, 6A, 6B, 8A, 8B, 9A en 9B
Indampen van waterige oplossingen	Industriële warmtepomp	6A, 6B, 9A en 9B
	Mechanische damprecompressie (MVR)	6A, 6B en 9B

Omdat we in de herziene methode expliciet de emissiefactoren van Scope 2-emissies meenemen voor alle energiedragers vallen de waterstofboiler en het waterstoffornuis af als kosteneffectieve duurzame alternatieven. Voor deze alternatieven is groene waterstof een voorwaarde en de productie hiervan is nog erg duur. Hoewel waterstof uit afval als nieuw alternatief is geïntroduceerd voor het proces 'productie van waterstof', is er ook dit jaar geen kosteneffectief alternatief voor CCS geïdentificeerd voor dit proces.

Voor CCS-categorie 6⁹ en 9¹⁰ zijn er kosteneffectieve duurzame alternatieven voor de productie van LT-warmte, de productie van HT-warmte en het indampen van waterige oplossingen. Daarmee is, net als in de vorige zeefstudies, de productie van waterstof het enige proces dat voorkomt dat gehele SDE++-categorieën kunnen worden uitgesloten.

Inbedding in breder beleid

Uit de analyse van de beschikbaarheid van alternatieve energiedragers volgt dat er bij de verdere ontwikkeling van windparken op zee sprake is van een kip-ei-situatie: de industrie ziet dat er te weinig wind op zee wordt ontwikkeld om over te gaan op bijvoorbeeld elektrisch kraken, terwijl de uitrol van wind op zee juist belemmerd wordt door een achterblijvende vraag vanuit de industrie. De vraag naar en betalingsbereidheid voor groene waterstof blijft duidelijk achter. Groengas wordt momenteel niet gezien als oplossing voor grootschalige verduurzaming in de industrie. Ook voor vaste biomassa lijkt grootschalige toepassing in industriële installaties geen reële optie. Het zou hier om enorme volumes aan vaste biomassa gaan, die dan niet meer voor andere, hoogwaardigere toepassingen kan worden gebruikt.

⁹ Nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij bestaande industriële installaties, waarbij 6A = gasvormig transport en 6B = vloeibaar transport.

¹⁰ Nieuwe post-combustion CO₂-afvanginstallaties bij nieuwe installaties, waarbij 9A = gasvorming transport en 9B = vloeibaar transport.

Wat betreft infrastructuur zorgt netcongestie duidelijk voor vertraging van elektrificatie van de industrie. Bedrijven staan op een wachtlijst voor een nieuwe of zwaardere aansluiting. Echter, ook infrastructuur voor waterstof en voor CCS is voorlopig op veel plekken nog niet aanwezig.

De gevoeligheidsanalyse maakt duidelijk uit welke componenten de subsidie-intensiteit is opgebouwd voor de verschillende technieken. Dat bepaalt ook welke onzekerheden in deze componenten het meeste invloed hebben op de onzekerheid in de subsidie-intensiteit zelf. Zo is de onzekerheid in de langetermijn-CO₂-prijs voor CCS-technieken belangrijker dan de onzekerheid in de investeringskosten.

Advies

Omdat er opnieuw geen CCS-categorie is binnen de SDE++ waarvoor we voor alle processen een kosteneffectief alternatief hebben gevonden, kan op basis van de zeef geen volledige SDE++-categorie van subsidie worden uitgesloten. Wel zou besloten kunnen worden om de processen 'productie van LT-warmte', 'productie van HT-warmte' en 'indampen van waterige oplossingen' uit te sluiten van subsidie voor CCS, omdat hiervoor kosteneffectieve alternatieven geïdentificeerd zijn.

Uit de analyse onder 'inbedding in breder beleid' blijkt dat de industriële warmtepomp en MRV mogelijk niet zomaar toegepast kunnen worden omdat hier vaak een zwaardere aansluiting op het elektriciteitsnet voor nodig is. Vanwege netcongestie bestaat er voor deze aansluitingen een wachtlijst. Echter, uit de analyse volgt dat ook CCS-infrastructuur op veel plaatsen voorlopig nog niet aanwezig is. Omdat het nu in gang zetten van CCS een lock-in van fossiele brandstoffen voor meer dan vijftien jaar zou impliceren, is inzet op de kosteneffectievere alternatieven met het oog op de lange termijn toch een betere keuze. Wachtlijsten voor elektriciteitsaansluitingen kunnen verkort worden als bedrijven bereid zijn tot flexibele afname, en de interviews laten zien dat sommige bedrijven ook vanuit het perspectief van energiezekerheid zelf liever voor elektrificatie kiezen.

Wij adviseren daarom om op basis van de zeefstudie subsidie voor CCS opnieuw uit te sluiten voor de processen 'productie van LT-warmte' en 'indampen van waterige oplossingen'. Dit geeft bedrijven helderheid en voorkomt dat er voor CCS gekozen wordt, terwijl kosteneffectieve alternatieven beschikbaar komen binnen de levensduur van een CCS-installatie.

Voor het proces 'productie van HT-warmte', adviseren we om dit proces niet uit te sluiten van subsidie voor CCS. Zoals uit de analyse onder 'inbedding in breder beleid' blijkt, gaat het bij dit proces om grote industriële installaties, waardoor overgaan op biomassa als brandstof grote volumes vaste biomassa zou vergen. Dit zou ten koste gaan van andere mogelijke toepassingen van biomassa, de prijs van vaste biomassa opdrijven en niet in lijn zijn met het huidige beleid over de inzet van duurzame biomassa.

Literatuur

- Aramis. (2024). *About the Aramis Project*. Aramis. <https://www.aramis-ccs.com/project/>
- CE Delft. (2021). *Restwarmte, de stand van zaken*. https://ce.nl/wp-content/uploads/2021/03/CE_Delft_3T32_Restwarmte_stand_van_zaken_DEF.pdf
- CE Delft. (2022). *Herziening zeefmethodiek CCS voor SDE++*. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2023/05/CE_Delft_220347_Herziening_zeefmethodiek_CCS_voor_SDE_Def.pdf
- CE Delft. (2023). *Kosteneffectieve alternatieven voor CCS. Uitwerking van de 'zeef' ten bate van de SDE++-subsidieronde voor 2023*. https://cedelft.eu/wp-content/uploads/sites/2/2023/05/CE_Delft_220347_Kosteneffectieve_alternatieven_voor_CCS_Def.pdf
- CE Delft. (2024a). *Actualisatie zeefstudie voor SDE++-subsidieronde 2024. Kosteneffectieve alternatieven voor CCS*. <https://ce.nl/publicaties/actualisatie-zeefstudie-voor-sde-subsidieronde-2024/>
- CE Delft. (2024b). *Scenariostudie groengasproductie rond 2030*. <https://ce.nl/publicaties/scenariostudie-groengasproductie-rond-2030/>
- CE Delft. (2025a). *Actualisatie zeefstudie voor SDE++-subsidieronde 2025. Kosteneffectieve alternatieven voor CCS*. <https://ce.nl/publicaties/actualisatie-zeefstudie-voor-sde-subsidieronde-2025-kosteneffectieve-alternatieven-voor-ccs/>
- CE Delft. (2025b). *Waterstof: kostprijs, import, beleid - Met focus op de rol van import, low carbon en vraagcreatie*.
- Emissieregistratie. (lopend). *Data export*. Emissieregistratie. <https://data.emissieregistratie.nl/export>
- Gasunie. (2024a). *Delta Schelde CO₂nnnection*. Gasunie. <https://www.gasunie.nl/projecten/delta-schelde-co2nnnection>
- Gasunie. (2024b). *Planning landelijk waterstofnetwerk geactualiseerd*. In.
- Ministerie van KGG. (2024). *Tailor made agreement Nobian*. <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/convenanten/2024/12/19/tailor-made-agreement-nobian>
- Ministerie van KGG. (2025a). *Joint Letter of Intent - Tata Steel*. <https://open.overheid.nl/documenten/8ba9e407-9bf8-492a-b8b2-418dd227a09a/file>
- Ministerie van KGG. (2025b). *Voortgang waterstofbeleid 32813-1529*. https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/brieven_regering/detail?id=2025Z14689&id=2025D33738
- Netbeheer Nederland. (2025). *Capaciteitskaart elektriciteitsnet*. <https://capaciteitskaart.netbeheernederland.nl/>
- OCAP. (2024). *OCAP Nederland*. <https://www.ocap.nl/nl/index.html>
- PBL. (2024a). *Eindadvies Basisbedragen SDE++ 2024*. <https://www.pbl.nl/system/files/document/2024-03/pbl-2024-eindadvies-sde-plus-plus-2024-5040.pdf>
- PBL. (2024b, 26 november 2024). *MIDDEN database*. Planbureau voor de Leefomgeving (PBL). <https://www.pbl.nl/en/middenweb/the-database>
- PBL. (2025a). *Groene waterstof: de praktische uitdagingen tussen droom en werkelijkheid*. <https://www.pbl.nl/system/files/document/2025-02/pbl-2025-groene-waterstof-de-praktische-uitdagingen-tussen-droom-en-werkelijkheid-5608.pdf>

- PBL. (2025b). *Klimaat- en Energieverkenning (KEV) 2025*.
<https://www.pbl.nl/publicaties/klimaat-en-energieverkenning-2025>
- Port of Rotterdam. (2025). *Porthos*. <https://www.portofrotterdam.com/nl/bouwen-aan-de-haven/lopende-projecten/porthos>
- RIFT. (2025). *RIFT's Iron Fuel Boiler Fact sheet*. https://www.ironfueltechnology.com/wp-content/uploads/2025/08/RIFT-Factsheet.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Rijksoverheid. (2019). *Klimaatakkoord*.
<https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/klimaatverandering/klimaatakkoord/wat-is-het-klimaatakkoord>
- RVO. (lopend). *Delta Rhine Corridor*. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland.
<https://www.rvo.nl/onderwerpen/bureau-energieprojecten/lopende-projecten/drc>
- RWE. (2022). *Project FUREC is geselecteerd voor subsidie vanuit het EU Innovation Fund*.
<https://benelux.rwe.com/pers/2022-07-13-furec-ontvangt-subsidie-eu-innovatie-fonds>
- Yara. (2025). *CCS project*. Yara. <https://www.yara.nl/over-yara/yara-in-de-benelux/yara-sluiskil/ccs-project/>

A Longlist bedrijven

SBI	Bedrijf	Maximale uitstoot (kg)
Aardolieraffinage	Shell Nederland Raffinaderij B.V.	4.392.688.950
	Esso Nederland B.V. (Raffinaderij Rotterdam)	2.674.280.831
	BP Rotterdam Refinery	2.137.686.000
	Zeeland Refinery N.V.	1.592.626.596
	Gunvor Petroleum Europoort B.V.	233.245.981
	VPR Energy B.V.	135.796.542
	VPR Energy B.V.	121.476.349
Vervaardiging van golfpapier en -karton	Stora Enso De Hoop B.V.	182.000.963
Vervaardiging van papier en karton voor verpakking	Smurfit Kappa Roermond Papier BV	173.579.901
Vervaardiging van grafisch papier en karton	Parenco B.V.	231.739.840
	Sappi Maastricht B.V.	168.684.191
	Crown van Gelder N.V.	127.707.614
Vervaardiging van industriële gassen	Air Products Nederland B.V. (Pernis)	738.388.587
	Air Liquide Nederland B.V.	679.477.665
	Air Products Nederland B.V. (Pernis)	627.198.584
	Air Liquide Nederland B.V.	520.264.875
	Air Liquide Nederland B.V.	118.256.428
	Air Products Nederland B.V. (Botlek)	107.056.748
Vervaardiging van kunstmeststoffen en stikstofverbindingen	YARA Sluiskil BV	3.052.397.496

SBI	Bedrijf	Maximale uitstoot (kg)
Vervaardiging van niet-metaalhoudende minerale producten (geen schuur-, slijp- en polijstmiddelen)	Rockwool B.V.	129.533.874
Vervaardiging van overige anorganische basischemicaliën	Delesto B.V.	419.583.274
	Delesto B.V.	353.246.968
	Nobian Chemicals B.V. (Hengelo)	239.535.000
	Nobian Chemicals B.V. (Hengelo)	214.924.763
	Cabot B.V.	204.170.000
	Nobian Industrial Chemicals B.V. (Botlek)	127.000.570
	Nobian Industrial Chemicals B.V. (Botlek)	112.073.633
	ESD-SIC B.V.	106.224.588
Vervaardiging van kunststof in primaire vorm	Chemelot Site Permit B.V.	3.113.478.047
	Chemelot Site Permit B.V.	846.842.780
	SABIC Innovative Plastics B.V.	266.952.787
	Indorama Ventures Europe B.V.	163.512.381
Vervaardiging van petrochemische producten	Dow Benelux B.V. (Hoek)	3.764.843.896
	Shell Nederland Chemie B.V. (Moerdijk)	2.651.660.543
	Lyondell Chemie Nederland B.V.	325.558.824
	Bio Methanol Chemie Nederland (BioMCN)	233.405.177
	Lyondell Chemie Nederland B.V.	209.826.796
	Dow Benelux B.V. (Hoek)	145.785.144
Vervaardiging van zetmeel en zetmeelproducten	Cargill Benelux B.V.	198.880.259
Vervaardiging van plantaardige en dierlijke oliën en vetten (geen margarine en andere spijsvetten)	Archer Daniels Midland Europoort B.V. (ADM)	147.950.000
	Archer Daniels Midland Europoort B.V. (ADM)	135.090.000
Vervaardiging van suiker	Suiker Unie Vierverlaten	151.354.410
	Suiker Unie (Dinteloord)	129.853.990

B Emissiefactoren

Tabel 17 – Emissiefactoren voor berekening CO₂-reductie voorwaarde longlist naar shortlist.
De emissiefactoren bevatten Scope 1- en 2-emissies.

Emissiefactor	Waarde	Eenheid	Bron
Emissiefactor: elektriciteit 2025 (productie-emissies)	0,220	kg CO ₂ per kWh elektriciteit	Factoren - Elektriciteit CO₂-emissiefactoren
Emissiefactor: aardgas	0,202	kg CO ₂ per kWh-aardgas	Brandstoffen energieopwekking - Gasvormige brandstoffen - Aardgas (G-gas) CO₂-emissiefactoren
Emissiefactor: elektriciteit 2030	0,11	kg CO ₂ per kWh elektriciteit	pbl-2025-tabellenbijlage-klimaat-en-energieverkenning-2025-5796.ods
Emissiefactor: elektriciteit 2040	0,04	kg CO ₂ per kWh elektriciteit	Extrapolatie naar 2040 (KEV 2024)
Gemiddelde emissiefactor elektriciteit 2030-2040	0,075	kg CO ₂ per kWh elektriciteit	Berekening met kentallen voor 2030 en 2040
Emissiefactor: groengas (gemiddelde)	0	kg CO ₂ /kWh groengas	Brandstoffen energieopwekking - Gasvormige brandstoffen - Groengas (Gemiddeld) CO₂-emissiefactoren
Emissiefactor: groengas (co-vergisting)	0	kg CO ₂ /kWh groengas	Brandstoffen energieopwekking - Gasvormige brandstoffen - Groengas (Gemiddeld) CO₂-emissiefactoren
Emissiefactor: groengas (gft-vergisting)	0	kg CO ₂ /kWh groengas	Brandstoffen energieopwekking - Gasvormige brandstoffen - Groengas (Gemiddeld) CO₂-emissiefactoren
Emissiefactor: waterstof groen	0	kg CO ₂ /kWh waterstof	Brandstoffen energieopwekking - Gasvormige brandstoffen - Groengas (Gemiddeld) CO₂-emissiefactoren
Emissiefactor: houtpellets	0	kg CO ₂ /kWh houtpellets	https://co2emissiefactoren.nl/factoren/2025/28/145/brandstoffen-energieopwekking-houtige-biomassa-houtpellets-uit-vers-hout-nl/?unit=kwh Solid and gaseous bioenergy pathways: input values and GHG emissions, JRC 2017
Emissiefactor: RIFT	0,010	kg CO ₂ /kWh_thermische-output	https://www.ironfueltechnology.com/wp-content/uploads/2025/08/RIFT-Factsheet.pdf
Emissiefactor waterstof: met SMR aardgas	0,229	kg CO ₂ /kWhHHV H ₂	OT-model 2026
Emissiefactor: waterstof uit afval	0,128	kg CO ₂ /kWh HHV H ₂	OT-mModel 2026

Emissiefactor - SMR op groengas	0	kg CO ₂ /kWhHHV H ₂	OT-model 2026, zelf benadering omrekening naar groengas gemaakt
---------------------------------	---	---	---

Tabel 18 – Rendementen gebruikt voor CO₂-reductie voorwaarde berekening voor longlist naar shorlist

Rendement	Waarde	Eenheid	Bron
Rendement: aardgasboiler	90%	kWh-th/kWh-aardgas (%)	OT-model 2026
Rendement:-biomassa boiler	90%	kWh-th/kWh-biomassa (%)	pbl-2025-eindadvies-sde-plus-plus-2025-5472
Rendement: elektrische boiler	100%	kWh-th/kWh-elektrisch (%)	OT-model 2026
Rendement: waterstofboiler	90%	kWh-th/kWh-waterstof (%)	MIDDEN-database
Rendement: industriële warmtepomp (zonder restwarmte)	200%	kWh-th/kWh-elektrisch (%)	https://atmoszero.energy/technology/
Rendement: MVR	350%	kWh-th/kWh-elektrisch (%)	OT-model 2026
Rendement: elektrische kraker	90%	kWh-th/kWh-elektrisch (%)	OT-model 2026
Rendement: fornuis (groengas/aardgas/biomassa)	89%	kWh-th/kWh-brandstof (%)	MIDDEN-database