

TECHNIEKEN EN PROJECTEN VOOR DE AFVANG VAN CO₂
BIJ DE PRODUCTIE VAN PORTLANDCEMENTKLINKER

CO₂-afvang bij de productie van cement

De route naar klimaatneutraal cement en beton bestaat uit meerdere stappen, waaronder het efficiënter ontwerpen van betonconstructies en het vervangen van fossiele brandstoffen. Ook zal wereldwijd het aandeel portlandcementklinker in cement verder worden verlaagd door gebruik van alternatieven zoals gecalcineerde klei en gerecyclede cementsteen. Portlandcementklinker blijft echter onmisbaar als basis voor cement. Bij de productie hiervan komt door het verhitten van kalksteen onvermijdelijk veel CO₂ vrij. Het afvangen van CO₂ is daarom een belangrijk onderdeel van de route naar CO₂-neutraal cement en beton. Voor deze carbon capture bestaan verschillende technieken. Actuele projecten tonen de potentie aan.

WAAROM CO₂-AFVANG?

Bij de productie van de belangrijkste grondstof voor cement, portlandcementklinker, komt veel CO₂ vrij. Het grootste gedeelte komt vrij bij het verhitten van

kalksteen. Bij ongeveer 900 °C wordt de kalksteen (CaCO₃) omgezet in vrije kalk (CaO) en CO₂. Het gaat om ongeveer 510 kg CO₂ per ton klinker. Daarnaast komt er CO₂ vrij door gebruik van brandstoffen voor het verhitten



van de cementoven. Voor de brandstoffen zijn alternatieven in gebruik (secundaire brandstoffen) en in ontwikkeling (groene waterstof), maar het vrijkomen van CO₂ uit kalksteen kan niet worden voorkomen. Daarom wordt er door de cementindustrie hard gewerkt aan de ontwikkeling van technieken om deze CO₂ af te vangen en vervolgens elders te gebruiken of op te slaan. In dit artikel gaat het voornamelijk om de eerste stap: het afvangen van CO₂.

Alle in ontwikkeling zijnde technieken om CO₂ af te vangen, richten zich op het concentreren van de CO₂. De rookgassen van een cementoven bevatten namelijk grofweg 25% CO₂ en dat is veel te laag om het efficiënt te kunnen afvangen en te gebruiken of op te slaan. In dit artikel wordt ingegaan op drie verschillende technieken voor het concentreren van de vrijkomende CO₂: oxyfuel, amines en separate calcinatie (Leilac).

Er wordt natuurlijk ook gekeken naar alternatieven voor portlandcementklinker. Maar vanwege de enorme vraag naar cement, de beschikbaarheid van grondstoffen en de chemische randvoorwaarden zal portlandcementklinker voor het grootste deel de basis blijven voor cement. Lees over de achtergrond hiervan en over mogelijke alternatieven voor portlandcementklinker het artikel 'CO₂-reductie: opties voor cement' (*Betoniek* 2019/3 en *Cement* 2020/1).

OXYFUEL

De eerste techniek waar we naar kijken wordt aangeduid met de term oxyfuel en betreft kort samengevat het gebruik van zuivere zuurstof in plaats van lucht voor het brandproces in de klinkeroven.

Principe oxyfuel

In een cementoven wordt lucht geblazen om de voor het verhitten van de oven gebruikte brand-

stoffen van zuurstof te voorzien. Het gaat om grote hoeveelheden lucht, waardoor de CO₂ die vrijkomt uit de kalksteen en uit de brandstoffen sterk wordt verdund. Lucht bestaat immers uit 78% stikstof en 21% zuurstof. Bij het 'pure' oxyfuel-proces wordt in plaats van lucht uitsluitend zuivere zuurstof in de oven geblazen, waardoor de rookgassen hoofdzakelijk uit CO₂ bestaan. Er komt tenslotte geen stikstof meer in de oven en de zuurstof reageert met de brandstoffen tot CO₂.

Door de hoeveelheid zuurstof af te stemmen op de voor de brandstoffen benodigde hoeveelheid, ontstaat er samen met de CO₂ uit de kalksteen een CO₂-concentratie van meer dan 90%. Door deze hoge CO₂-concentratie hoeven de rookgassen alleen nog ontdaan te worden van waterdamp en wat verontreinigingen. Daarna kan de CO₂ worden gecombineerd en getransporteerd voor opslag of gebruik.



1 De eerste fabriek ter wereld waar grootschalig CO₂ wordt afgevangen is de fabriek van Heidelberg Materials in Noorwegen (Brevik)

2 Schematische weergave van de nieuw te bouwen installaties bij de cementfabriek in Lägerdorf. In blauw de nieuwe oxyfuel ovenlijn en in geel de installatie voor het afvangen van CO₂



Het klinkt als een eenvoudige oplossing, maar er komt een hoop bij kijken. Zo moet het brandproces worden aangepast omdat er door het gebruik van pure zuurstof anders hogere verbrandingstemperaturen zouden ontstaan. Er moet uiteraard zeer veel zuivere zuurstof worden geproduceerd (voor een gemiddelde klinkeroven zo'n 30 ton zuurstof per uur) waarvoor een luchtsplitsingsinstallatie nodig is. En de gehele ovenlijn moet zo luchtdicht mogelijk worden gemaakt, wat bij de hoge temperaturen en draaiende delen niet eenvoudig is.

Catch4climate

Het principe van oxyfuel is jaren geleden bedacht en zelfs al in een proefinstallatie getest in 2017. Vier cementproducenten, Dycerhoff, Heidelberg Materials, Schwenk en Vicat, werken nu samen aan het project catch4climate, waarin het principe op grote schaal zal worden toegepast. Voor dit project wordt door thyssenkrupp Polysius in Duitsland een demonstratiefabriek op semi-industriële schaal gebouwd bij de cementfabriek van Schwenk in Mergelstetten. Het wordt de eerste fabriek gebaseerd op het oxyfuel-principe. In de fabriek zijn op basis van de ervaringen met de eerdere proefinstallatie de nodige verbeteringen doorgevoerd. De productielijn, die naar verwachting eind 2024 operationeel zal zijn, kan 450 ton klinker per dag produceren. Ter

Door de cementindustrie wordt hard gewerkt aan de ontwikkeling van technieken om CO₂ af te vangen

vergelijking: met een reguliere klinkeroven kan een paar duizend ton klinker per dag worden geproduceerd. De installatie heeft dus weliswaar een forse schaalgrootte, maar is niet direct bedoeld als productielocatie. De installatie dient vooral voor verder onderzoek en ontwikkeling van de oxyfuel-techniek.

Volledige afvang van CO₂ met oxyfuel

De 'pure' oxyfuel-technologie is veelbelovend. Zowel de CO₂ van de calcinatie van kalksteen als de CO₂ van de brandstoffen worden hiermee geconcentreerd afgevangen, zonder complexe systemen om de CO₂ uit de rookgassen te halen en te concentreren. De deelnemende producenten verwachten na succesvolle afronding van dit project deze technologie op volledige industriële schaal te kunnen gaan toepassen.

Twee projecten voor het met behulp van oxyfuel volledig afvangen van CO₂ op industriële schaal zijn al gestart. Het betreft het project GeZero van Heidelberg Materials voor de cementfabriek in Geseke en het project Carbon2Business van Holcim voor de cementfabriek in Lägerdorf. De ervaringen van het catch4climate-project zullen worden benut bij

de bouw van de nieuwe ovens, waarmee in 2026 zal worden begonnen. Naar verwachting zal vanaf 2029 de cementproductie bij deze fabrieken volledig klimaatneutraal zijn.

Combinatie met windenergie en waterstof – WESTKÜSTE100

Bij de fabriek van Holcim in Lägerdorf (fig. 2) zal de voor het oxyfuel-proces benodigde zuurstof afkomstig zijn van de productie van waterstof met windenergie. Het betreft het project WESTKÜSTE100 (fig. 3) in Sleeswijk-Holstein, de noordelijkste deelstaat van Duitsland, waar tien partijen vanuit diverse industrieën samenwerken aan het opzetten van een regionale groene waterstofeconomie. Bij dit project wordt de productie van waterstof uit windenergie op ingenieuze wijze gecombineerd met het afvangen van de CO₂ die vrijkomt bij de productie van cement, de productie van synthetische kerosine en het verwarmen van huizen.

Met windenergie wordt door middel van een elektrolyse-installatie van 30 MW waterstof en zuurstof geproduceerd. De zuurstof wordt geleverd aan de cementfabriek van Holcim. De CO₂ van de cementfabriek wordt samen met water-

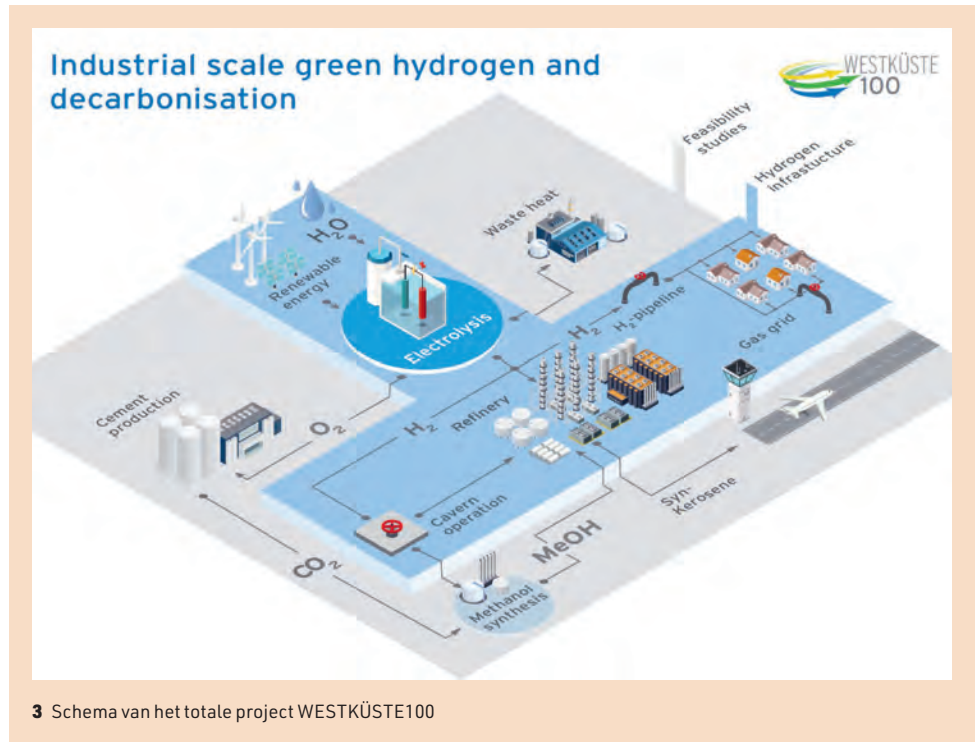
stof omgezet in methanol en vervolgens geraffineerd tot synthetische kerosine. De waterstof kan ook worden gebruikt om rechtstreeks huizen te verwarmen. Wanneer er een overschot aan waterstof is kan deze worden opgeslagen. Bij de cementfabriek zal met behulp van oxy-fuel alle vrijkomende CO₂, 1,2 miljoen ton per jaar worden afgevangen. Hierdoor zal deze fabriek al voor 2030 klimaatneutraal zijn.

AMINES

De eerste fabriek ter wereld waar grootschalig CO₂ zal worden afgevangen, is de fabriek van Heidelberg Materials in Noorwegen (Brevik). Al in 2024 zal hier CO₂ worden afgevangen, met behulp van amines. Bij deze techniek wordt kort samengevat CO₂ uit de rookgassen gehaald en daarna geconcentreerd.

Brevik CCS

In Brevik wordt nu volop gebouwd aan de installaties die nodig zijn om CO₂ die vrijkomt bij de productie van portlandcementklinker vanaf eind 2024 af te vangen en permanent op te slaan. Aan dit project, Brevik CCS (*Carbon Capture and Storage*), zijn natuurlijk de nodige studies voorafgegaan. Al vanaf 2005 werd nagedacht over mogelijkheden om de vrijkomende CO₂ af te vangen. Op kleine schaal werd bij de cementfabriek in 2014 de technologie



3 Schema van het totale project WESTKÜSTE100

getest om met amines CO₂ uit de rookgassen te kunnen halen. Een haalbaarheidsonderzoek werd in 2016 afgerond. Het Brevik CCS-project werd gestart in 2020 (foto 4) en is onderdeel van het project Longship van de Noorse overheid. Dit Longship-project omvat naast de CO₂-afvang bij de cementproductie ook de

afvang van CO₂ van een afvalenergiecentrale in Oslo, het transport per schip van vloeibare CO₂ naar een CO₂-ontvangstterminal aan de Noorse kust en het vandaaruit via een pijpleiding transporteren van de CO₂ naar de permanente opslaglocatie onder de Noordzee. Bij de cementfabriek zal jaarlijks 400.000 ton CO₂

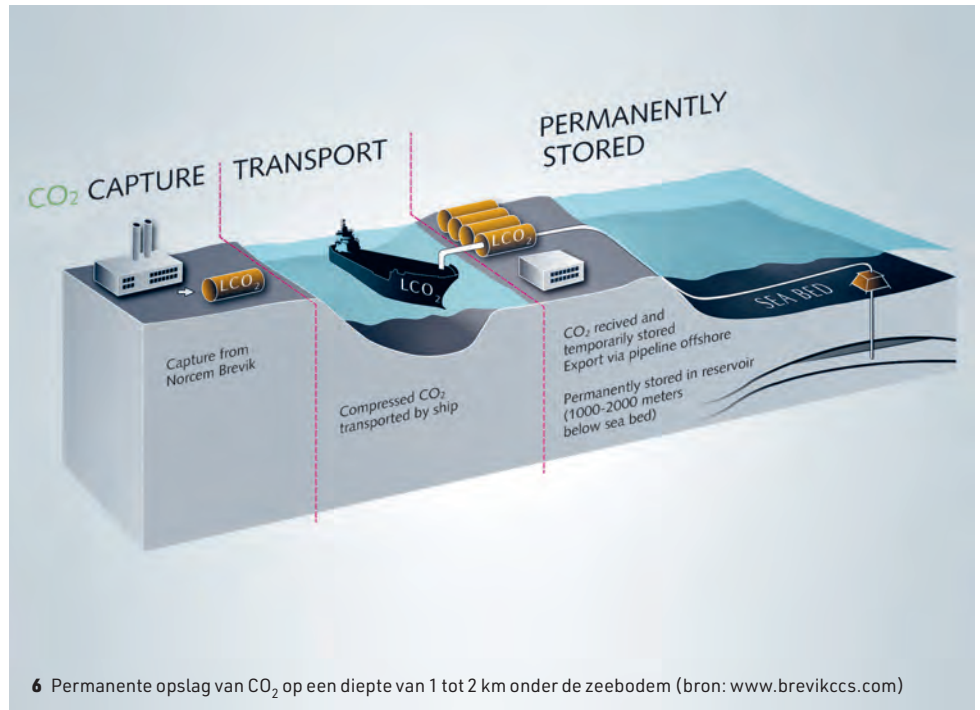


4 De bouw van de benodigde installaties van Brevik CSS is in volle gang. Hier wordt een zogenoemde absorber column geïnstalleerd, waarin de rookgassen door een oplossing van amines zullen worden geleid

worden afgevangen, ongeveer 50% van de totale CO₂-emissie.

CO₂-afvang met amines

De technologie die gebruikt gaat worden om CO₂ af te vangen, is ontwikkeld door de firma Aker Carbon Capture. Deze technologie, die voor diverse industrieën geschikt is, maakt gebruik van zogeheten amines. Amines lijken op ammoniak, dat bestaat uit een stikstofatoom en drie waterstofatomen (NH₃). Amines bestaan uit een stikstofatoom met daaraan ten minste een koolstofatoom en verder waterstofatomen (bijvoorbeeld NCH₃). Amines kunnen CO₂ bij lage temperatuur (30 °C) opnemen en bij hogere temperatuur (120 °C) weer afgeven (fig. 5). De rookgassen van de cementoven worden eerst ontdaan van verontreinigingen, met name van stof, zwavel en stikstofoxiden. Daarna worden de rookgassen door een oplossing van amines geleid. De CO₂ bindt zich aan de amines, waardoor de rookgassen worden ontdaan van CO₂. De CO₂-rijke amineoplossing wordt vervolgens met restwarmte van het ovenproces verhit, waardoor de CO₂ weer vrijkomt en kan worden opgevangen. De CO₂-arme amineoplossing kan vervolgens na afkoelen weer worden hergebruikt in het proces. Met deze techniek kan tot 99% van de CO₂ uit de rookgassen worden gefilterd.



6 Permanente opslag van CO₂ op een diepte van 1 tot 2 km onder de zeebodem (bron: www.brevikccs.com)

Opslag onder de zeebodem

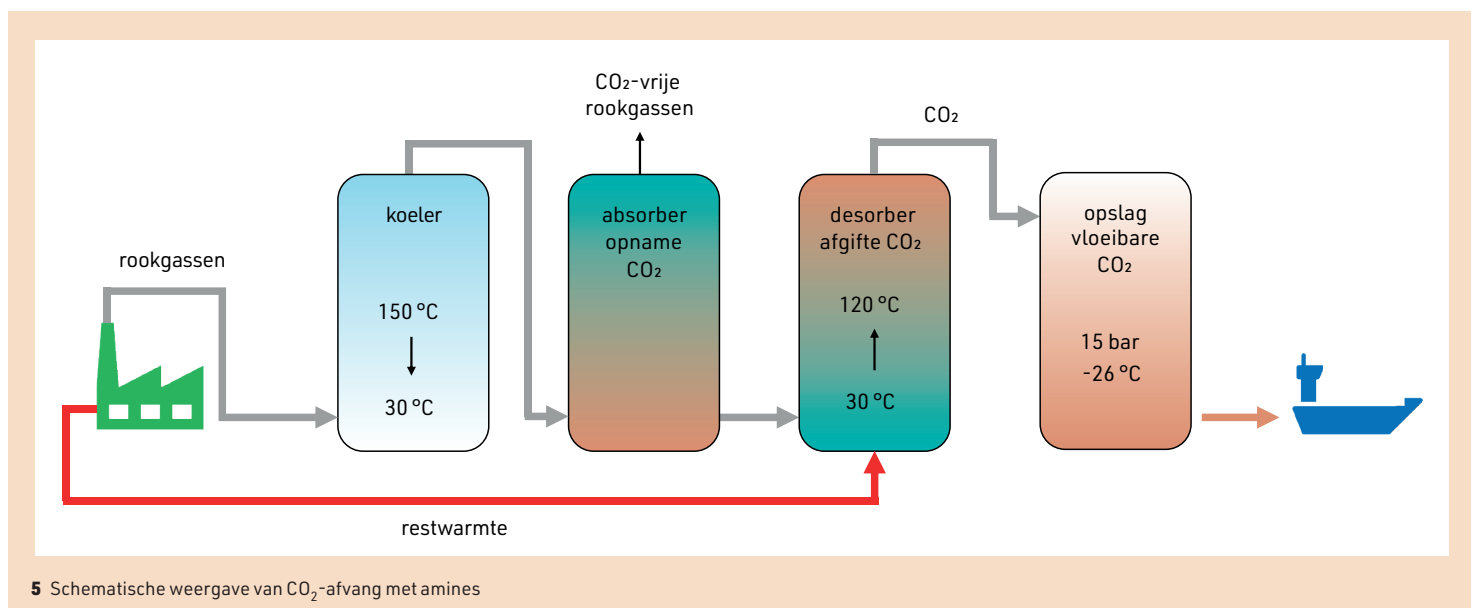
In plaats van vrijkomen van CO₂ in de atmosfeer wordt met dit project CO₂ permanent diep onder de grond opgeslagen in geologische formaties (fig. 6). Noorwegen heeft al uitgebreide ervaring met de opslag van CO₂ onder de zeebodem. Sinds 1996 is meer dan 1 miljoen ton CO₂ afgevangen en opgeslagen. Voor het Longship-project wordt een derde opslaglocatie ontwikkeld.

Opslag onder de zeebodem is niet alleen permanent en veilig, maar er is ook zeer veel opslagcapaciteit. Uit onderzoek is gebleken dat alleen al het Noorse deel van het continentaal plat ruimte biedt voor opslag van 80 miljard ton CO₂, wat overeenkomt met de totale Noorse CO₂-uitstoot gedurende 1000 jaar.

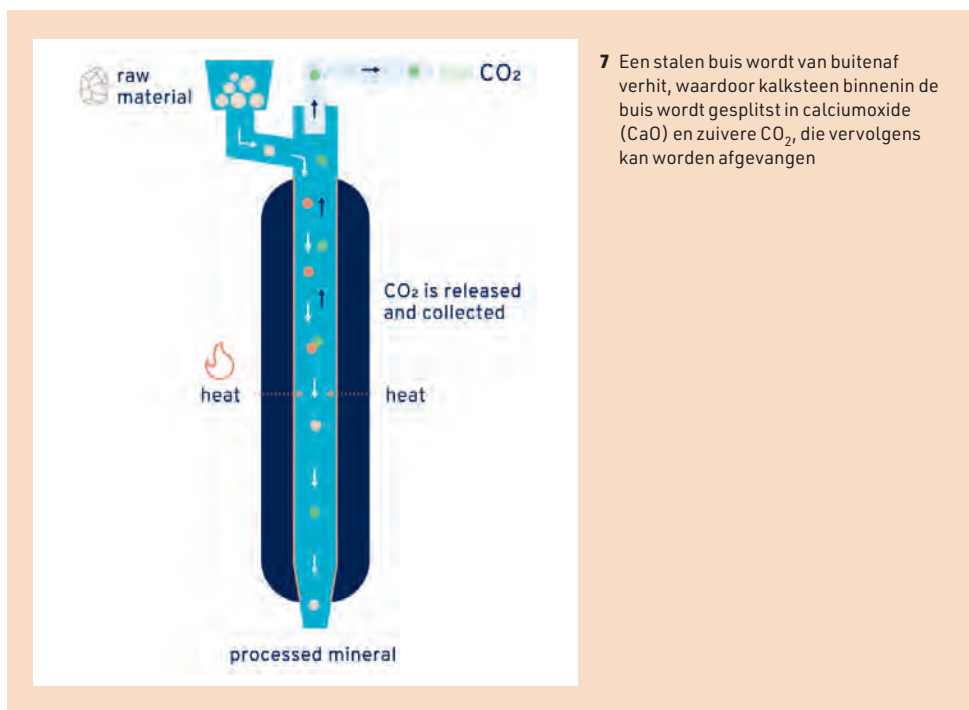
SEPARATE CALCINATIE (LEILAC)

Als derde en laatste techniek kijken we naar de separate afvang van de CO₂ die vrijkomt bij de calcinatie van de kalksteen. Deze CO₂ is heel zuiver, maar komt bij het normale productiepro-

Er worden drie technieken voor het concentreren van de vrijkomende CO₂ besproken: oxyfuel, amines en separate calcinatie (Leilac)



5 Schematische weergave van CO₂-afvang met amines



de bouw voorafgegaan, waaronder onderzoek naar de meest geschikte materialen.

Leilac-2

Hoewel het onderzoek bij de demonstratiefabriek in Lixhe nog volop doorgaat is er in 2020 gestart met een nieuw project voor de bouw van een grotere demonstratiefabriek. Deze fabriek wordt gebaseerd op hetzelfde principe, maar met de nodige verbeteringen ten opzichte van Leilac-1. De nieuwe demonstratiefabriek zal worden gebouwd bij de cementfabriek van Heidelberg Materials in Hannover en geschikt zijn om 100.000 ton CO₂ per jaar mee te kunnen afvangen. Ook aan dit project werken weer meerdere cementproducenten en kalksteenproducenten samen met kennispartners om de technologie verder te verbeteren.

KLIMAATNEUTRAAL UITERLIJK IN 2050

Het afvangen van CO₂ is een essentieel onderdeel van de route naar klimaatneutraal beton: naar verwachting moet ongeveer een derde van de totale CO₂-reductie, die nodig is om beton klimaatneutraal te maken, komen van CO₂-afvang en opslag of gebruik (*Carbon Capture and Storage (CCS) of Carbon Capture and Utilization (CCU)*). Dit is technologisch en economisch de moeilijkste stap naar CO₂-neutraal beton. Desondanks zijn er in Europa meerdere projecten die al voor 2030 zullen resulteren in gedeeltelijk of geheel klimaatneutraal cement, waarmee de cementindustrie duidelijk op koers ligt om cement en beton uiterlijk in 2050 volledig klimaatneutraal te kunnen produceren. ■

ces vrij samen met de CO₂ van de brandstoffen en de overige rookgassen.

Techniek separate calcinatie

Het idee is simpel. Het grootste gedeelte van de CO₂ bij de productie van portlandcementklinker komt vrij bij het verhitten van de kalksteen. Door de kalksteen in een aparte buis te verhitten, waarbij het verhitten aan de buitenzijde van de buis plaatsvindt, kan er zuivere CO₂ vrijkomen en worden opgevangen (fig. 7).

De praktijk is natuurlijk een stuk lastiger. Bij deze hoge temperaturen is het normaliter wenselijk de oven te bekleden met vuurvaste stenen, maar vanwege de benodigde warmteoverdracht is dat niet mogelijk. Er worden dus nogal wat eisen gesteld aan de voor de installaties toe te passen materialen.

Leilac-1

In 2019 werd bij de fabriek van Heidelberg Materials in Lixhe (foto 8) een demonstratieinstallatie voor separate afvang van de CO₂ van de kalksteen geopend. Deze installatie staat bekend onder de naam Leilac, dat staat voor Low Emissions Intensity Lime And Cement. Aan dit project werken diverse cement- en kalksteenproducenten mee, naast diverse kennisinstellingen. Doel was de techniek, oorspronkelijk ontwikkeld voor magnesiumcarbonaat door de Australische firma Calix, te testen

voor de calcinatie van kalksteen. De schaal is beperkt (25.000 ton CO₂ per jaar) en de CO₂ wordt niet afgevangen. Maar het doel was vooral te bepalen of deze techniek geschikt is voor de hogere temperaturen die nodig zijn voor de calcinatie van kalksteen. In 2021 werd geconstateerd dat met deze techniek CO₂ kan worden afgevangen met een concentratie van minimaal 95%, dat het totale energieverbruik niet toeneemt en dat de reactor niet wezenlijk wordt aangetast door de langdurig hoge temperaturen. Uiteraard is er een heel traject aan

