

Openbaar eindrapport

Projectnummer: TESN221015

ONTWIKKELING VAN EEN CO₂ NEUTRALE EN CIRCULAIRE BAKSTEEN



Samenvatting van de uitgangspunten en de doelstelling van het project

De baksteen industrie is al sinds vele tientallen jaren bezig met het verbeteren van de energie efficiëntie van het productie proces. Het baksteenproces heeft een energieverbruik van ca 3 GJ/ton eindproduct. Deze warmte wordt opgewekt door het stoken met aardgas en veroorzaakt een overeenkomstige hoeveelheid van 0,23 kg CO₂/kg gevelsteen¹. Uitgaand van een jaarlijkse productie van zo'n 1.8 miljoen ton bakstenen² komt dit overeen met een jaarlijkse emissie van zo'n 414.000 ton CO₂. Er zijn verschillende mogelijkheden om de CO₂ emissie te beperken. De eerste is verder gaande verhoging van de energie efficiëntie van het gehele proces, waardoor er minder aardgas nodig is en dus ook minder CO₂ emissie zal plaatsvinden. Hier zijn echter de grootste slagen al (lang geleden) gemaakt, zodat via deze weg alleen graduele voortgang te verwachten valt. Een tweede mogelijkheid is gelegen in het gebruik van biogas of waterstof gas. Beide vragen (in verschillende mate) een ander brandersysteem en ovenproces die nog ontwikkeld moeten worden voor deze toepassing (en betreffen los daarvan noodzakelijkerwijs (kostbare) aanpassingen aan de oven(sturing)). Veel belangrijker is dat groene waterstof nog nauwelijks beschikbaar is en biogas in veel te geringe mate om substantieel in de energiebehoefte van de baksteenindustrie te kunnen voorzien. Dus de opties zijn zeker interessant voor de verdere toekomst, maar vragen nog wel een paar stappen voordat ze grootschalig toepasbaar zijn. De derde optie is gelegen in de elektrificatie van het baksteenproces. TCKI³ geeft aan dat dit deels (warmte voor de drogerij) goed mogelijk zal zijn. Voor het stookproces vraagt dat echter een zodanig ander type oven en procesvoering, dat elektrificatie hiervan voorlopig niet als haalbaar wordt beschouwd.

In onderhavig project is dan ook voor een geheel andere aanpak gekozen. Hierbij wordt niet zozeer het baksteenproces veranderd, maar wordt de vrijgekomen CO₂ gebruikt om een nieuw soort steen te produceren in een aan de bestaande oven gekoppeld proces. Hierbij vindt de productie van de nieuwe steen plaats door gebruik te maken van enerzijds geselecteerde reststoffen (met name staalslak en een bepaald type minerale vliegias), die na persen verhard worden met de CO₂ houdende afgassen en de hierin aanwezige restwarmte van de betreffende baksteen fabriek. Beide componenten zijn nodig om een steen van de gewenste kwaliteit binnen een aanvaardbaar tijdsbestek te kunnen produceren (CO₂ voor het vormen van verbindingen die de sterkte moeten realiseren en de warmte om het proces snel genoeg te laten verlopen).

Door deze opzet worden de volgende doelstellingen gerealiseerd:

- Er vindt geen emissie van CO₂ meer plaats (deze wordt tijdens de productie van de nieuwe steen omgezet)
- Ongebruikte restwarmte uit het keramische ovenproces wordt gebruikt voor het versnellen van de verharding. Deze restwarmte is van voldoende omvang om het voor de verharding gewenste temperatuur verloop te realiseren, zodat er geen extra energie nodig is voor de productie van de nieuwe steen.

Dit resulteert in de situatie dat de-facto alle geproduceerde stenen (zowel de bakstenen van het huidige proces, als de nieuwe stenen) CO₂ neutraal zijn en de overall energie efficiency voor de productie van alle stenen lager is en dus ook bij de productie van de bakstenen uit het huidige proces energie bespaard wordt (door gebruikmaking van de afval restwarmte).

¹ Zie MRPI gevelsteen

² Zie KNB bouwkeramiek jaarverslag 2018

³ Technisch Centrum Keramische Industrie in het vakblad KGK

Doelstelling

Het primaire doel van dit project is om bij Klinkers een CO₂ neutrale en circulaire baksteen te produceren en op de markt te brengen, gebruikmakend van de eigen ontwikkelde technologie. De receptuur en vereiste procescondities zijn reeds op laboratoriumschaal ontwikkeld. Ook hebben al op beperkte schaal testen bij een installatie leverancier plaats gevonden. Voordat echter een eerste opschaling naar een pilot plant kan plaatsvinden, is de doelstelling van deze tussenfase een antwoord te krijgen op de volgende haalbaarheidsvragen:

- Kan binnen economische randvoorwaarden bij voortduring een op CO₂ harding geproduceerde steen worden geproduceerd, die enerzijds voldoende CO₂ opneemt en anderzijds aan alle daaraan te stellen eisen voldoet?
- Kunnen bij het produceren van de CO₂ neutrale steen de afgassen van de baksteenoven worden gebruikt, zonder het veroorzaken van ongewenste neveneffecten of emissies en/of zijn er CCS technologieën voor kleinschalige toepassingen beschikbaar en toepasbaar in het concept?
- Is er voldoende vertrouwen in het proces en product dat overgegaan kan worden naar de volgende fasen c.q. een pilotproject?

Beschrijving van de behaalde resultaten

Om deze vragen te kunnen beantwoorden is het project in 5 werkpakketten verdeeld, welke deels zelfstandig en deels interactief zijn uitgevoerd.

WP1: CO₂-opname

Voor het waarborgen van de beoogde CO₂-opname is het van belang om inzicht te verkrijgen in de samenstelling van verschillende staalslak bronnen. Hiervoor zijn verschillende monsters van één bron, welke op verschillende momenten zijn getrokken (en dus een individuele grondstof en proces geschiedenis hebben) op hun bruikbaarheid en CO₂-opname beoordeeld.

Hierbij is nagegaan of alle staalslak afkomstig van deze bron in principe bruikbaar is of dat hier problemen te verwachten zijn doordat bijv. componenten aanwezig zijn die in het beoogde proces de gewenste CO₂-opname verstoren. Verder is het voor de uiteindelijke economische haalbaarheid ook van belang om niet van één bron afhankelijk te zijn. Derhalve is ook staalslak van 2 andere bronnen beoordeeld op hun bruikbaarheid.

Uit deze testen zijn keuzes gemaakt met betrekking tot de grondstoffen, mengsamenstelling en verhardingsmethode.

WP2: Vorstdooi en uitloging eigenschappen van het nieuwe product

In de ontwikkelingsfase is gebleken dat bij de initiële grondstofsamenstelling en verwerkingswijze er nog vorst dooi issues aanwezig zijn. Vandaar dat in deze fase gekeken is of er een combinatie van samenstelling en verwerkingscondities gevonden kan worden waarmee een vorstbestendiger matrix/poriënsysteem verkregen wordt. Hiertoe zijn fabriekstesten uitgevoerd, waarbij de korrelopbouw en mengsamenstelling gevarieerd zijn.

Op basis van de resultaten van WP1 zijn 3 verschillende mengsamenstellingen geselecteerd voor het uitvoeren van grootschaliger testen.

Van elk van deze samenstellingen is ca. 500 kg gemengd en vervolgens zijn in een fabriekspers van een Duitse kalkzandsteenfabriek stenen geperst bij een persdruk van 120-150 bar (zie onderstaande foto's).



Bij geen van de mengsels zijn tijdens het persen problemen geconstateerd. De stenen zijn handmatig op pallets geplaatst en naar Steenfabriek Klinkers getransporteerd, waar ze op 2 verschillende manieren verhard zijn. Van een aantal stenen zijn vervolgens de druksterkte en de volumieke massa bepaald.

Op basis van deze resultaten is besloten om stenen van mengsel 1 naar TCKI te sturen voor het bepalen van de vorstbestandheid conform EN 772-22 (Methods of test for masonry units - part 22: Determination of freeze/thaw resistance of clay masonry units).

Uit deze testen is gebleken dat deze stenen nog niet geheel voldoen aan de eisen met betrekking tot de vorstbestandheid. Derhalve heeft er een eerste optimalisatie plaatsgevonden en is een tweede serie stenen getest, waarbij de stenen wel aan de gestelde eisen voldoen.

Tevens heeft TCKI stenen van mengsel 1 onderzocht met behulp van een diffusieproef (Besluit Bodemkwaliteit). Hieruit is geconcludeerd dat geen van de onderzochte componenten een overschrijding laten zien van de maximaal toelaatbare emissie.

WP3: Massa, CO₂-balans en energie balans

Op basis van de gegevens uit de voorgaande werkpakketten over mengselsamenstelling, verhardingsomstandigheden en de proces specificaties/eigenschappen zijn een massa-, CO₂- en een energie balans opgesteld.

De energiebalans is bepaald door de beschikbare hoeveelheid energie die zich in de te gebruiken afgassen bevindt en de energie die het kost om het product te verharden. Het is daarmee dus de verhouding tussen energievraag en -aanbod.

Op basis van zowel de energievraag als voor de in de afgassen aanwezige hoeveelheid energie kan dus berekend worden dat er op basis van de beschikbare warmte jaarlijks zo'n 150.000 ton stenen geproduceerd zouden kunnen worden.

CO₂ opname in de steen

Uit het onderzoek is geconcludeerd dat tot 8 % CO₂ gebonden kan worden in de steen. Afhankelijk van:

- De hoeveelheid en soort staalslak,
- de gebruikte puzzolane binder en
- de verhardingsomstandigheden (CO₂ gehalte temperatuur en tijd)

blijken er grote verschillen op te kunnen treden. Hierbij moet vermeld worden dat er nog geen sprake is van een uitontwikkelde verhardingscurve. Deze kan pas verder ontwikkeld worden indien sprake is van de beschikbaarheid van een grotere hoeveelheid stenen (enkele duizenden per charge) die in een daartoe specifiek gebouwde verhardingsruimte onder instelbare condities verhard kunnen worden. Deze 8 % dient dan ook gezien te worden als een goede indicatie in welke orde grootte uiteindelijk de CO₂ binding zal plaatsvinden.

Contaminatie stenen met componenten uit de afgassen

In het concept worden de vormgegeven stenen verhard met de afgassen uit de oven. Hierbij zijn zowel de in de afgas aanwezige CO₂ als de warmte van essentieel belang. De afgassen bevatten echter nog meer componenten als alleen CO₂. Tijdens het ovenproces van de baksteenproductie ontstaan ook HF, HCl en SO_x verbindingen ten gevolge van zowel de aanwezigheid van Cl-, S- en F- verbindingen in de klei als ook in de brandstof (veelal aardgas zoals bij Steenfabriek Klinkers). Als de afgassen ongereinigd worden toegepast, worden deze stoffen mogelijk ook neergeslagen op/in de te verhardende stenen. Dit zou vervolgens weer kunnen leiden tot productschade (in de vorm van ongewenste uitbloeiingen) of verhoogde uitloging van deze componenten zodat hiermee de toepassing cf Besluit Bodemkwaliteit in het geding komt.

Om inzicht in de potentiële omvang van het probleem te krijgen en om een eerste inschatting te kunnen maken of de in de afgassen aanwezige componenten tot visuele schade aanleiding kunnen zijn, is op twee verschillende manieren een benadering gemaakt (uiteraard zal een echt inzicht pas bij verdere opschaling en grootschaliger en langdurige testen in (semi)productie omgeving kunnen plaatsvinden).

Op basis van zowel de eerder uitgevoerde experimenten, als de schattingen op basis van de bekende emissie en uitlooggegevens kan worden verwacht dat het neerslaan van componenten uit de afgassen van de oven op het verse product met een hoge mate van waarschijnlijkheid niet tot uitbloeiing van enige significantie zal leiden. De resultaten van het uitloogonderzoek bevestigen deze conclusie.

Carbon Capture

De doelstelling van dit onderdeel is het nagaan of er reeds bewezen technieken beschikbaar zijn voor het selectief verwijderen van CO₂ uit de afgassen van de oven (verder aangeduid met CC voor carbon capture). Hierbij is het van belang dat deze geschikt zijn voor de omvang van de afgastroom van Steenfabriek Klinkers. Tevens is gekeken wat de kostenindicatie voor potentieel geschikte technieken is om de economische haalbaarheid na te kunnen gaan.

In het onderhavig project worden de in de baksteenoven vrijkomende afgassen direct in contact gebracht met de te verhardende stenen. Zowel de CO₂ in deze afgassen als de warmte dragen bij aan de verharding en het tempo waarin dit plaatsvindt. Deze ongereinigde afgassen bevatten echter ook overige bestanddelen (zoals HF) die mogelijk een negatieve invloed op de levensduur van de installatie kunnen hebben (zoals optreden corrosie door aanwezig HF etc.). Vandaar dat er in dit onderdeel gekeken wordt naar de mogelijkheden om in de setting van Steenfabriek Klinkers het voor de verharding benodigde CO₂ afgescheiden en als gereinigde gasstroom in te zetten.

Hiervoor is een beknopt overzicht over de achtergrond en beschikbare technieken gemaakt voor afgas stromen die overeenkomen met de CO₂ emissie van Klinkers⁴. Hierbij is tevens ingegaan op de kosten die met dit soort technieken gepaard gaan.

De eerste conclusie van dit onderdeel is dat er geen bewezen CC techniek gevonden is die aan de vereisten van omvang afgas stroom, CO₂ concentratie hierin en het niet hoeven koelen van de afgastroom voldoet. Er zijn een paar ontwikkelingen gevonden die mogelijk in de (verdere?) toekomst hieraan gaan voldoen. Bij de keuze om CC in te zetten mag niet vergeten worden dat deze technieken zelf ook energie kosten en dat dit in sommige gevallen substantieel kan zijn. Hiermee wordt het eventuele milieu voordeel (groten)deels weer teniet gedaan.

Verder bedragen, ongeacht de techniek, de laagste kosten die per ton afgevangen CO₂ zijn gevonden zo'n € 20 tot € 30. Bij kleinere installaties met een laag CO₂ gehalte (als in onderhavig project) kunnen de kosten al gauw meer dan € 100 per ton afgevangen CO₂ bedragen. Dit zal in

⁴ Met zo'n 10.000 ton CO₂ per jaar wordt dit tot de kleine installaties gerekend in vergelijking met bijvoorbeeld kolengestookte E-centrales en de cementindustrie met miljoenen tonnen/jaar

het huidige concept al snel leiden tot een kostenpost die de economische haalbaarheid van het gehele concept in gevaar brengt.

Slotconclusie is dan ook dat het apart afvangen van CO₂ voor gebruik van de verharding van de stenen op dit moment geen haalbare optie is. Of dit in de toekomst anders zal liggen (gezien het grote aantal ontwikkelingen) zal dan bezien moeten worden, maar binnen het tijdstraject van onderhavige ontwikkeling is daar geen rekening mee te houden. Daarnaast ontbreekt hiertoe vooralsnog de noodzaak, gezien de resultaten en beschouwingen.

WP4: Processchema

In dit werkpakket is ingegaan op het concept proces, waarmee de volgende stap in de ontwikkeling kan worden gemaakt. Eerst is ingegaan op de processtappen die nodig zijn om het product te kunnen maken.

Per processtap zijn de bijbehorende specifieke uitgangspunten uitgewerkt. Op basis hiervan is met geselecteerde leveranciers contact geweest om een prijsindicatie voor betreffende installatie te verkrijgen. Dit is verwerkt in een kostenoverzicht als basis voor zowel een kostprijs berekening van het nieuwe product als voor het verkrijgen van een investeringsomvang benodigd om een dergelijke installatie te laten bouwen.

WP5: Opstellen van de haalbaarheid

Nadat alle benodigde informatie over het proces, energie- en CO₂-balansen, installatiekosten e.d. zijn verzameld, is zowel een (milieu) technische als de economische haalbaarheid ingeschat. Hierbij is voor het berekenen van de kostprijs per eenheid product een rekenmodel opgesteld. Tevens zijn alle gegevens verzameld om de volgende stap naar een pilot plant te kunnen zetten (inclusief leveranciers van grondstoffen en installaties).

Discussie

De haalbaarheidsvragen van dit project zijn:

- Kunnen binnen economische randvoorwaarden bij voortduring stenen worden geproduceerd die voldoen aan de toepassingseisen.
- Kan hiervoor, zonder product schade te veroorzaken, de afgasen van het balsteenproces worden gebruikt.
- Kan op basis van alle voorliggende informatie over gegaan worden naar een pilotproject?

Uit het technische gedeelte waar diverse staalslak soorten onder diverse omstandigheden zijn verhard en getest, blijkt dat het persen en verharden van de stenen tot bruikbare producten goed mogelijk is. Hierbij is gebleken dat voldoende druksterkte voor de beoogde toepassing mogelijk is en dat zowel de vorstdooi weerstand als de uitloging voldoet aan de respectievelijk hiervoor te stellen eisen.

Ook uit de economische analyse blijkt dat al bij verhoudingsgewijze geringe productie omvang een economisch interessant product kan worden gemaakt, waarvan de productiekosten lager liggen dan de huidige verkoopprijs van stenen met dezelfde toepassing (gevelstenen). Bij een capaciteit verhoging wordt het nog een stuk interessanter (uiteraard zal het afhangen van de marktsituatie en -acceptatie hoe snel de productievergroting zal kunnen plaatsvinden). Voor dat van reguliere productie sprake kan zijn dienen uiteraard nog optimalisatie en opschaling stappen te volgen. Hiervoor dient eerst een volgende opschaling in de vorm van een pilot project te worden uitgevoerd.

Zowel uit de testen waarbij stenen werden verhard in de afgasstroom van de fabriek als uit een meer modelmatige benadering, kan worden afgeleid dat direct contact met de afgasstromen niet leidt tot enige vorm van (esthetische) product schade bij de stenen.

Uit alle resultaten van dit project blijkt dat er geen redenen zijn om aan te nemen dat een verdere opschaling en optimalisatie niet mogelijk is. De stenen voldoen reeds aan alle relevante eisen die hieraan worden gesteld. Voor optimalisatie en opschaling zal echter verder onderzoek nodig zijn, waarbij grootschaliger stenen geproduceerd kunnen worden om een aantal verdere ontwikkelingen mogelijk te maken. Dit betreft zowel het productie proces zelf (met name zien we bij de verharding nog veel optimalisatie potentieel) als bij de toepassing in het bouwwerk (waar ook toepassingsvoorschriften moeten worden ontwikkeld). Ook hiervoor zijn grotere hoeveelheden stenen nodig voor het kunnen maken van proefmuren en het monitoren hiervan).

Conclusie en aanbevelingen

Uit dit haalbaarheidsonderzoek blijkt dus dat er zowel op basis van technisch als economisch overwegingen voldoende redenen zijn om de verdere ontwikkeling door te zetten. Zoals reeds is aangegeven, is hiervoor een pilot installatie nodig om op voldoende schaal stenen te kunnen produceren om optimalisatie en toepassing onderzoek te kunnen uitvoeren. Voorts is deze schaal nodig om proces gerelateerde opschalingseffecten te kunnen bestuderen om een goede basis te kunnen leggen voor de engineering en het bedrijven van een productieplant.

Beschrijving van de bijdrage van het project aan de doelstellingen van de regeling

Dit project draagt om de volgende redenen bij aan de doelstellingen van programmalijn 1 (Sluiting kringloop van industriële ketens) en 2 (Een CO₂-vrij industrieel warmtesysteem) van de Topsector Energiestudies:

- er vindt geen CO₂ emissie bij de productie plaats (in tegendeel, het absorbeert CO₂),
- er is behoudens een kleine hoeveelheid elektrische energie voor intern transport, etc. verder geen energie nodig en
- het product wordt op basis van 100 % bij-producten gemaakt.

Op dit moment is er in de Nederlandse baksteen industrie ca. 3 GJ/ton eindproduct nodig (t.b.v. met name het droog- en bakproces). Zoals reeds vermeld is het energieverbruik over de jaren steeds verder gereduceerd en dit getal representeert dan ook de waarden voor een moderne fabriek waar alle gangbare energie reductie maatregelen zijn doorgevoerd (BAT).

Deze energie wordt opgewekt door het verbranden van aardgas en hierbij ontstaat gemiddeld zo'n 230 kg CO₂ per ton eindproduct (zie MRPI baksteenindustrie). Ook als er andere brandstoffen zouden worden gebruikt zoals biogas (of biomassa) wordt hiermee kort cyclisch CO₂ geproduceerd en vindt desalniettemin nog steeds een emissie plaats. Met het gebruik van groene waterstof gas zou wel een volledige reductie van de CO₂ emissie plaatsvinden, maar waterstof is waarschijnlijk te duur in vergelijking met alternatieven als biogas of biomassa. Hiernaast hebben zowel biogas als waterstof als nadeel dat de daarvoor benodigde technologie en toepassing kennis voor het baksteenproces niet voorhanden is en beide gas-soorten de komende tijd in onvoldoende mate beschikbaar zijn.

In deze nieuwe technologie wordt de in de baksteenoven geproduceerde hoeveelheid CO₂ geheel gebruikt voor het verharden van de nieuwe steen. Verder wordt voor de verharding gebruik gemaakt van de in de afgasstroom bevindende restwarmte. Deze restwarmte (T van ca. 160°C) is in principe voldoende om de gewenste verharding binnen daartoe gestelde tijden te kunnen realiseren. Ergo, hiervoor is dus geen extra warmtebron nodig. Daarmee wordt (behoudens 500 kWh elektrische energie voor bijvoorbeeld intern transport etc.) de steen CO₂-neutraal en energie vrij geproduceerd.

Spin off binnen en buiten de sector

Steenfabriek Klinkers heeft een jaarlijkse CO₂ emissie van zo'n 8.800 ton, waarmee ca. 50 miljoen van deze nieuwe soort stenen kunnen worden geproduceerd. Zodra van volledige productie sprake is, geeft dit bij deze fabriek (uitgaande van volledig gebruik van de vrijkomende CO₂) vanaf dat moment een CO₂ emissie reductie van 8.800 ton CO₂ per jaar. Hiernaast is het mogelijk om de technologie uit te breiden middels licenties aan andere niet concurrerende steenfabrieken in Europa of door deelname in nieuwe installaties bij de niet-steen industrie.

De techniek is namelijk in principe overal inzetbaar waar aan de volgende voorwaarden is voldaan:

- aanwezigheid van voldoende CO₂ om een minimale productie capaciteit te kunnen garanderen,
- gelijktijdige aanwezigheid van voldoende restwarmte om het verhardingsproces voldoende snel te laten verlopen en
- de verkrijgbaarheid van voldoende bijproducten die aan de specificaties voldoen.

Hieruit blijkt dat het niet noodzakelijk is om het nieuwe proces aan een baksteen fabriek te koppelen. Er kan van worden uitgegaan dat er voldoende plaatsen in de Nederlandse industrie zijn waar een combinatie van CO₂ en restwarmte aanwezig is (zoals bij elektriciteit productie). Aangezien in Nederland ongeveer 2 miljoen ton staalslak van (naar wij op dit moment aannemen) geschikte kwaliteit aanwezig is, kan in principe opgeschaald worden naar de afvang van ca. 176.000 ton CO₂/jaar. Alhoewel er ook andere industriële bijproductstromen mogelijk geschikt zijn, is dit nog niet verder onderzocht maar zouden aan het herhalingspotentieel kunnen bijdragen.

Overzicht van openbare publicaties over het project

Er zijn naast deze rapportage op dit moment nog geen openbare publicaties beschikbaar.

Deze rapportage is te bestellen bij:

Steenfabriek Klinkers

Brusselseweg 700

6219 NP Maastricht

info@steenfabriekklinkers.nl

Contactpersoon voor meer informatie: Dhr. I. Brabant

Het project is uitgevoerd met subsidie van het Ministerie van Economische Zaken en Klimaat en het Ministerie van Landbouw, Natuur en Voedselkwaliteit, Nationale regelingen EZK- en LNV-subsidies, Topsector Energie uitgevoerd door Rijksdienst voor Ondernemend Nederland