

Metingen met TGA dragen bij aan optimalisering van 'direct air capture' proces

# Carbyon haalt CO<sub>2</sub> uit de lucht met flinterdun laagje carbonaatzout

Na ruim vijf jaar onderzoek en conceptontwikkeling begint bij het Eindhovense bedrijf Carbyon de machine voor het afvangen van CO<sub>2</sub> uit omgevingslucht meer en meer vorm te krijgen. Met als meest recente mijlpaal de installatie in het lab van een qua grootte nog bescheiden demomachine, is de planning om in 2024 te starten met het ontwerp van de full-scale machine, die 'direct air capture' veel efficiënter (en dus ook goedkoper) maakt dan nu mogelijk is. Het minutieus testen op verschillende typen materialen en procescondities met behulp van onder meer TGA (thermogravimetrische analyse) draagt bij aan de benodigde optimaliseringslag.



**Senior onderzoeker Gerben van Straaten** in het laboratorium van Carbyon bij de door Salm en Kipp geleverde Themys van Setaram, een analyse-instrument voor TGA. Onderaan de opstelling is de massaspectrometer te zien; links de luchtvochtigheidsgenerator.

**M**et nu rond de 420 ppm CO<sub>2</sub> in de lucht heeft de mensheid er sinds de industriële revolutie een behoorlijk potje van gemaakt. Tot die tijd was er honderden miljoenen jaren lang sprake van een stabiele CO<sub>2</sub>-concentratie van zo'n 280 ppm. De 50% toename in ruim anderhalve eeuw brengt –zo is nu wel duidelijk– het klimaatstelsel van moeder aarde zodanig uit evenwicht dat er door de snellere mondiale temperatuurstijging dan voorzien onomkeerbare processen ontstaan als het smelten van de poolkappen en gletsjers en zullen we moeten dealen met steeds extremere weerfenomenen.

### Ambitieuw

Het op de Eindhovense High Tech Campus gevestigde Carbyon heeft de ambitie om aan de hand van 'direct air capture' iets aan die hoge CO<sub>2</sub>-concentraties te gaan doen. Dat is een hele opgave, als je nagaat wat er bij komt kijken om ook maar één ppm-tje van die 420 af te knab-

belen. Alleen al daarvoor moet je een kleine 10 gigaton zien te verwijderen (en dan maar hopen dat de 40 gigaton die er nu nog jaarlijks bijkomen zijn omgebogen naar de voor 2050 door industrie en overheden beloofde netto

nul-uitstoot). Aan de 'direct air capture' systemen van Carbyon, die nu nog in ontwikkeling zijn, wordt afhankelijk van plek en weersomstandigheden een capaciteit toegedicht van tussen de 50 en 400 ton per jaar; gemiddeld zo'n 100 ton per jaar. Om 10 gigaton te verwijderen zouden dan 10 miljoen machines nodig zijn.

Dergelijke aantallen zijn niet ondenkbaar, maar Carbyon zelf mikt vooralsnog op een wat meer bescheiden schaal-grootte van 1 gigaton per jaar, wat neerkomt op 1 miljoen machines. "Dat denken we te kunnen bereiken in 2050. In 2025 willen we het ontwerp van de machine gereed hebben, waarna we hem uitvoerig in de praktijk gaan testen en pilots draaien. We denken in 2030 de eerste commerciële machines in het veld te hebben staan. Parallel aan de commercialisering willen we de productie opschalen, zodat we tussen 2030 tot 2050 de benodigde machines wereldwijd kunnen wegzetten", aldus Beatrix Bos, project manager en woordvoerder bij Carbyon.

### Rendabel

Voor commercieel succes is de kostprijs per ton gevangen CO<sub>2</sub> cruciaal. Die zit deels in de (afschrijving van de) machine, maar vooral in de operationele kosten. "Ten opzichte van bestaande concepten op het gebied van 'direct air capture' zijn we erin geslaagd om het proces veel efficiënter te maken, waardoor je met een qua grootte vergelijkbare installatie tot wel tien keer meer CO<sub>2</sub> kan afvangen. Als je daarmee gaat rekenen kom je uit op een kale kostprijs per ton gevangen CO<sub>2</sub> van rond de 50 euro, en als je alles meeneemt blijven we onder de 100 euro. Daarmee kan je rendabel produceren, want in het Emis-

sion Trading System (ETS) wordt CO<sub>2</sub> al voor meer dan 100 euro per ton verhandeld, en die prijzen gaan nog verder stijgen", vertelt Beatrix.

Voor de bestemming van het gewonnen CO<sub>2</sub> kan je denken aan via ETS gefinancierde opslag in de bodem, zodat je echt CO<sub>2</sub> aan de atmosfeer onttrekt. De CO<sub>2</sub> kan ook dienen als bouwsteen voor de productie van duurzame kerosine, wat nu nog te duur is, maar met een inkoopprijs van rond de 100 euro wel uit zou kunnen. Met dergelijke synthetische brandstoffen draag je weliswaar niet bij aan het onttrekken van CO<sub>2</sub> (want bij verbranding komt het weer vrolijk vrij), maar door hergebruik komt er in ieder geval niets extra's bij.

### Poreuze drager

Voor de efficiëntere technologie heeft Carbyon-oprichter Hans de Neve inspiratie geput uit zijn werk bij TNO aan dunne filmmaterialen voor zonnepanelen. Zou je met ALD ('atomic layer deposition') ook niet een heel dun laagje materiaal, waarmee je CO<sub>2</sub> kan absorberen, op een drager kunnen aanbrengen? Dat bracht wel wat meer hoofdbrekens dan bij de mooi gedefinieerde vlakke zonnepanelen. Immers, om een ook ruimtelijk efficiënt proces te bereiken is het zaak dat de lucht langs een zo groot mogelijk oppervlak kan stromen. Een poreus materiaal als actieve koolstof biedt per gram bijna een half voetbalveld aan oppervlak, maar zie dat maar eens netjes in alle hoeken en gaten van een mooi dun laagje te voorzien.

Dat proces is inmiddels zo ver onder controle dat met het dunne laagje adsorbent op de poreuze materialen de CO<sub>2</sub> veel beter uit de buitenlucht kan worden gefilterd als bij de tot nu toe gebruikte pellets of korreltjes. Om dergelijke systemen volledig te benutten moet de CO<sub>2</sub> immers tot binnenin het materiaal diffunderen en dan kan het wel uren duren voordat het systeem helemaal verzadigd is. Dit in tegenstelling tot het dunne laagje op de poreuze drager, dat binnen enkele minuten verzadigd is.

### Fast swing

Voor het binden van het CO<sub>2</sub> zijn verschillende opties, zoals carbonaatzouten. De carbonaationen van het zout reageren met CO<sub>2</sub> en water (dat ruimschoots aanwezig is in omgevingslucht) tot bicarbonaten. Het gebonden CO<sub>2</sub> kan vervolgens worden vrijgemaakt door het materiaal op te warmen, waarbij het bicarbonaat ontleedt tot carbonaat, CO<sub>2</sub> en water.

De afvangcapaciteit van je systeem hangt samen met de snelheid waarmee je die sequentie van CO<sub>2</sub>-absorptie en -afgifte kan uitvoeren en de mate waarin het CO<sub>2</sub> bij iedere sequentie kan worden gebonden en weer afgegeven. De ontwikkelde technologie biedt voor beide factoren een gespreid bedje vanwege de gemakkelijke diffusie van het CO<sub>2</sub> langs het laagje carbonaatzouten op de drager, dat door de monolayer-configuratie snel te verzadigen is. Om die sequentie optimaal uit te voeren wordt gewerkt aan de ontwikkeling van verschillende machineconcepten. Het concept waar Carbyon al iets over kwijt wil is dat van de 'rotating drum', een soort van open cilinder als bij

**Om 10 gigaton te verwijderen zouden dan 10 miljoen machines nodig zijn.**



een wasmachine. Het sorbent zit aan de buitenkant van de trommel. Aan de ene kant van de trommel vindt absorptie van het CO<sub>2</sub> plaats. Na enkele minuten draait de trommel een halve slag en komt dat gedeelte in de desorptiekamer waar door verhitting de CO<sub>2</sub> weer vrijkomt. Het sorbent van de andere helft van de trommel absorbeert dan weer een nieuwe lading CO<sub>2</sub>.

### Thermogravimetrische analyse

Ontwikkeling van het sorbent en de machine gaan hand in hand, waarbij het sorbent leidend is omdat de procesparameters daarmee samenhangen. Onlangs is een modulaire testmachine ontwikkeld om verschillende typen sorbent te testen op procesparameters als luchtsnelheid en temperatuur. Uit die testen moet uiteindelijk de meest geschikte sorbent komen, waarmee de uiteindelijke full-scale machines zullen worden uitgerust.

Naast het gedrag in de machine, komt er nog wel meer kijken bij de selectie van het sorbent. Senior onderzoeker Gerben van Straaten, die

betrokken is bij zowel de machine-ontwikkeling als het materiaalonderzoek kan daar veel over vertellen. Hij is 'machine-owner' van één van de vier belangrijkste onderzoeksmachines: de door Salm en Kipp geleverde Themys van Setaram, een analyse-instrument voor TGA (thermogravimetrische analyse). Als machine-owner is hij hoofdverantwoordelijk voor het functioneren van het analysesysteem, het onderhoud ervan en de uitvoering van de experimenten.

"Feitelijk gebruiken we de Themys voor ondersteunend onderzoek. Hij is namelijk niet specifiek toegerust voor het simuleren van de uiteindelijke situatie in de capture machines, want die werken 'fast swing' en de TGA is niet in staat om heel snel temperatuur omhoog of omlaag te brengen. Dat is bij dit instrument ook juist niet de bedoeling, want dat gaat ten koste van stabiliteit van het systeem, die noodzakelijk is voor de supergevoelige gewichtsmetingen. Die voeren we uit op het dragermateriaal voor de drie volgende aspecten: QA (en daarmee

samenhangend veiligheid), de uiteindelijke capaciteit van het materiaal en de waterhuishouding."

### QA

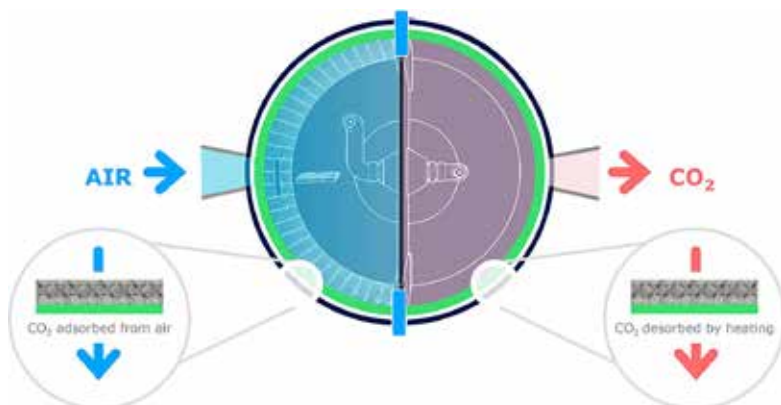
"We krijgen dragermateriaal aangeleverd van toeleveranciers", begint Gerben zijn uitleg over het QA-deel. "Dit testen we op allerlei specificaties en eigenschappen. Met de TGA zoomen we in op de oppervlaktechemie van het materiaal aan de hand van desorptie-experimenten. Hierbij warmen we het materiaal op tot een bepaalde temperatuur of met een bepaalde opwarmingssnelheid, en bepalen de desorptie als functie van de temperatuur. De TGA is gekoppeld aan een MS, dus we analyseren ook wat er precies vanaf komt. Op die manier analyseren we dus wat er eigenlijk aan het oppervlak zit, en of dat altijd hetzelfde is, of ook deze betreffende batch up-to-spec is."

"De oppervlaktechemie van het materiaal is van invloed op het uiteindelijke gedrag van het materiaal nadat we het carbonaat er op aanbrengen. Er is een wisselwerking, dus ze beïnvloeden elkaar", vervolgt hij. "Op deze manier kunnen we enerzijds kijken of we elke keer hetzelfde binnen krijgen en anderzijds hoe de eigenschappen van de verschillende dragers die we onderzoeken het gedrag van het uiteindelijke materiaal beïnvloeden."

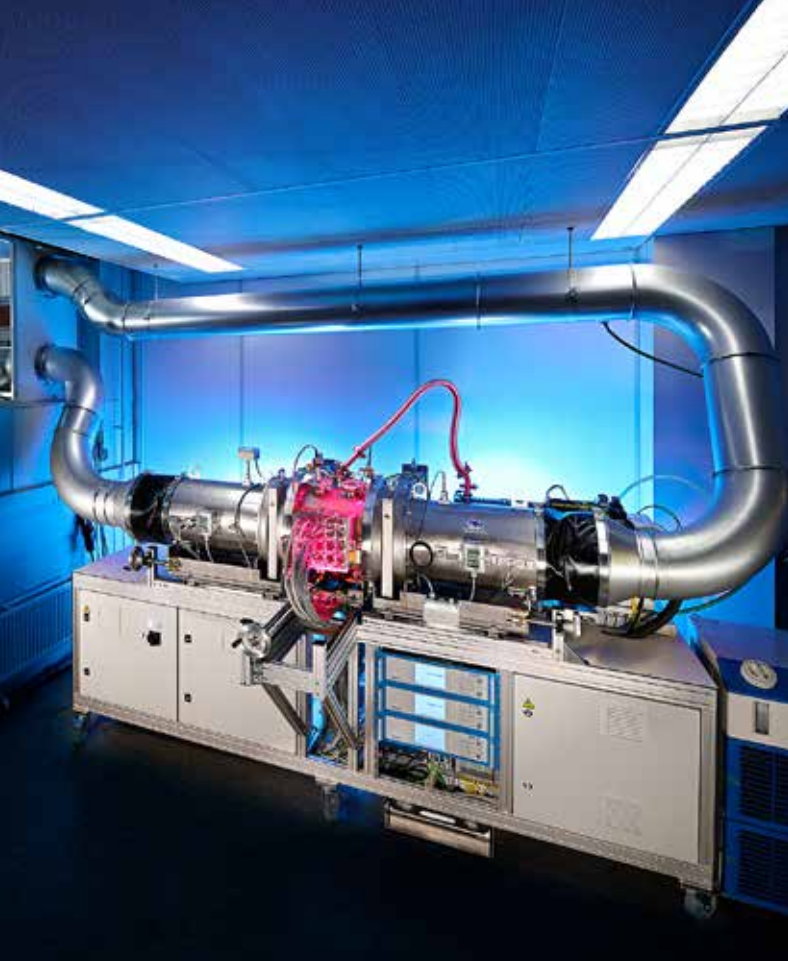
De toegevoegde waarde van TGA in dit verhaal is dat bij deze analysetechniek het gewicht onder nauwgezet gecontroleerde omstandigheden wordt bepaald. "Dat gewicht is een absoluut getal, dus we kunnen bepalen hoeveel van een bepaald type oppervlaktegroep er per vierkante meter oppervlaktmateriaal is. Door het meten van de absolute massaverandering weet je precies hoeveel CO<sub>2</sub> er tijdens het experiment is afgekomen."



**De toegevoegde waarde van TGA is dat het gewicht onder nauwgezet gecontroleerde omstandigheden wordt bepaald.**



Schematische weergave van het 'fast swing' proces volgens het 'rotating drum' principe.



Waar met de TGA op gramhoeveelheden van het sorptiemateriaal wordt getest, kunnen met dit prototype 'real world' experimenten worden uitgevoerd met aangezogen omgevingslucht op sorbent-hoeveelheden tot 2 kilogram (foto: Bert van Overbeeke).



Artist impression van een full-scale machine voor het wegvangen van CO<sub>2</sub> uit de omgevingslucht. Deze is qua grootte te vergelijken met een op zijn kant staande 20-ft zeecontainer.

De desorptiemetingen zijn ook van waarde voor het veiligheidsverhaal. Als er bij een bepaalde temperatuur oxidatie begint plaats te vinden, dan zie je dat terug in de meetwaarden. Die temperatuur kan worden gehanteerd als de maximale temperatuur waarbij het desorptieproces veilig kan plaatsvinden.

### Maximale capaciteit

De 'fast swing' opzet van het proces veronderstelt dat je nooit de volledige capaciteit van je materiaal zal benutten. Het is namelijk niet rendabel om het proces urenlang te rekken voor de laatste procentjes absorptiecapaciteit. Maar het is wel een belangrijke parameter voor de karakterisering van je materiaal, waarover TGA door het heel precies meten van de absolute massa uitsluitsel kan geven. Gerben legt uit: "Je kunt je voorstellen dat als je 400 ppm gas erin stuurt en je komt er uit met 399 ppm er dan 1 ppm wordt geabsorbeerd. Maar dan moet je wel het verschil tussen 400 en 399 heel goed kunnen meten wil je de laatste fase naar stabilisatie kunnen karakteriseren. Dat is voor veel systemen heel lastig, zo niet voor TGA. Die meet namelijk niet wat er uit komt, maar wat er wordt geabsorbeerd in absolute massa. Dus het maakt niet uit of er 100 seconden lang 1 ppm uit komt; de massa blijft lineair toenemen en die kan je absoluut meten. Op die manier kunnen we

heel specifiek meten: als we nu oneindig lang doorgaan met absorberen naar het thermodynamisch equilibrium, hoeveel absorberen we dan precies? En hoe verhoudt zich dat dan tot hoeveel we absorberen als we het kortere tijd doen?"

Dergelijke experimenten kunnen plaatsvinden onder gecontroleerde omstandigheden qua luchtvochtigheid, temperatuur en CO<sub>2</sub>-concentratie. Daaruit kan je afleiden hoe het sorbent zich gedraagt onder verschillende weersomstandigheden, en hoe dat zich vertaalt naar absorptie en desorptie.

### Dealen met water

De derde parameter, waarvoor een ook door Salm en Kipp geleverde aan de TGA gekoppelde luchtvochtigheidsgenerator van Setaram is aangeschaft, is de waterhuishouding van het materiaal. "We werken met zouten, die water kunnen absorberen en er zelfs door in oplossing kunnen gaan. Bovendien kunnen de kleine poriën in het hoog-poreuze materiaal zich vullen met water. Dat wil je allemaal niet, maar ondertussen zit er wel tot 60x zoveel water als CO<sub>2</sub> in de omgevingslucht. We kunnen de prestaties van het sorbentmateriaal afhankelijk van de luchtvochtigheid bepalen. Op basis daarvan kan je de afweging maken: kunnen we het ons voor een bepaald sorbent energetisch veroorloven om als voorbehandeling de lucht te drogen, of is het beter

om een ander sorbent te selecteren, dat minder last heeft van waterabsorptie?"

### Flexibel

De grote verscheidenheid aan experimenten was een belangrijk criterium bij de keuze voor de TGA. "We hebben verschillende aanbieders overwogen. Het platform van Setaram biedt ons de vereiste flexibiliteit voor de inrichting van onze experimenten. We kunnen koppelen met de massaspectrometer, verschillende gassen in verschillende configuraties door het systeem sturen, ook onder gecontroleerde luchtvochtigheid. Setaram leverde daarin de beste combinatie tussen gevoeligheid, flexibiliteit en prijs", aldus Gerben. Daarin wordt de scientist sinds de installatie van de TGA door Salm en Kipp in oktober vorig jaar niet teleurgesteld: "De ervaringen zijn prima. Het systeem is heel precies en gevoelig. We maken er dan ook veel gebruik van. En dat zal nog wel een tijdje zo doorgaan, want er is nog veel te onderzoeken aan de sorbents!" ||

### INFORMATIE

Salm en Kipp  
[www.salmenkipp.nl](http://www.salmenkipp.nl)

Carbyon  
[www.carbyon.com](http://www.carbyon.com)