


HOE KUNNEN WE CO₂ HERGEBRUIKEN?

KOOLSTOF WORDT GRONDSTOF

Willen we de klimaatdoelen van Parijs halen, dan moeten we iets met CO₂. Ondergronds opslaan is een mogelijkheid, maar koolstofdioxide is ook als grondstof in te zetten. Vooral voor grootproducenten als de staalindustrie is dat een aantrekkelijk perspectief. tekst drs. Timo Können





Op papier is het simpel. Wil je geen uitstoot van CO₂, produceer dan alle energie met zon, wind, aardwarmte en waterkracht, en je bent klaar. Punt is alleen: zo snel gaat dat allemaal niet. Ook zijn er gerede twijfels of we het met alleen die bronnen wel redden. Kernenergie dan? Dat levert veel op, maar het lukt nu al nauwelijks nieuwe centrales op tijd en binnen budget klaar te krijgen, nog los van het nucleaire afval.

Er is een andere optie: doe iets met het CO₂ dat nu wordt uitgestoten, met name bij intensieve bronnen als elektriciteitscentrales en de energie-intensieve industrie. Dat kan door het koolstofdioxide ondergronds op te slaan. Punt is alleen: dat kost ook weer energie en uiteindelijk is het niet meer dan een vorm van afvalverwerking. Veel aantrekkelijker is dan het idee om het CO₂ te gebruiken als grondstof voor brandstoffen of chemicaliën.

Nieuw is dat idee niet. Fabrieken maken er al een handvol producten van, zoals bakpoeder en ureum voor kunstmest. Omdat de processen daarvoor eenvoudig zijn en geen hoge eisen aan de zuiverheid stellen, kunnen de rookgassen van een energiecentrale of staalbedrijf simpelweg per pijpleiding naar de fabriek worden gevoerd.

Punt is alleen: de markt voor deze producten is verzadigd. Daarvoor valt dus niet meer CO₂ om te zetten dan nu al gebeurt. Dat het maar om een paar stoffen gaat, is ook niet zo vreemd. Als eindresultaat van energieleverende processen zoals verbranding is CO₂ een typisch afvalmolecuul met een lage inwendige energie, oftewel: de bindingen tussen de atomen zijn sterk. Het

molecuul reageert pas als er weer genoeg energie aan wordt toegevoerd om die bindingen te verbreken. Om dan met concurrerende producten te komen, blijkt geen sinecure.

Er is nog een belangrijk argument waarom er nu een push is om te zoeken naar nuttig gebruik van CO₂: het is een van de manieren om overtollige stroom in energierijke producten om te zetten. De verwachting is dat er bij grootschalige toepassing van wind en zon periodes zullen zijn waarin er veel meer stroom wordt geproduceerd dan op dat moment nodig is en de prijs van elektriciteit dus heel erg laag is. Een van de manieren om dat overschot nuttig aan te wenden, is om die CO₂-moleculen ermee op te breken en er bijvoorbeeld brandstoffen van te maken. Vanwege de lage elektriciteitsprijzen kunnen die dan concurreren met op olieproducten gebaseerde chemie. Maar ook daar past de kanttekening dat als apparatuur alleen kan draaien wanneer er een stroomoverschot is, je niet uit de kosten komt.

Vooraf ingegeven door de klimaatdiscussie wordt er inmiddels hard gewerkt aan gebruik van CO₂. Willen we dat niet uitstoten, laten we er dan maar nuttige producten van proberen te maken. Met name bij de staalindustrie, wereldwijd verantwoordelijk voor 7% van de totale CO₂-uitstoot, lopen verschillende projecten. Bijkomend voordeel is dat de hoogovens niet alleen CO₂ produceren, maar ook het meer energierijke CO. En bij de energiebedrijven en de cementindustrie met veel CO₂-uitstoot wordt eveneens gewerkt aan hergebruik van de rookgassen. Reden genoeg om eens op zoek te gaan naar de pioniersprojecten.

METHANOL UIT CO

Tata Steel en ECN zijn met enkele andere partners het proefproject FReSMe begonnen: From Residual Steel gases to Methanol. Dat moet de rookgassen afkomstig van een staalfabriek in het Zweedse Luleå gaan omzetten in methanol. De Zweedse reder Stena wil die methanol vervolgens als brandstof voor een van zijn schepen gebruiken. Afgezien van wat restjes bestaan die rookgassen voor een kwart uit CO₂, voor een kwart uit CO en voor de helft uit stikstof (N₂). FReSMe, dat 11,5 miljoen euro subsidie krijgt van het Europese onderzoeksprogramma Horizon 2020, richt zich specifiek op het CO – waar nog energie in zit – en niet op het energetisch vrijwel uitgeputte CO₂. Milieuwinst is er dan echter nog steeds, aangezien staalfabrikanten het CO anders alsnog in CO₂ omzetten door het te verbranden voor elektriciteits- of warmteproductie.

Het door Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) ontwikkelde SEWGS-proces (*Sorption Enhanced Water-Gas Shift*) neemt de eerste omzettingstappen voor z'n rekening. SEWGS (spreek uit 'sieweks') combineert de hoogovengassen bij een temperatuur rond 400 °C met stoom, zodat de zogenoemde *water-gas-shift*-reactie op gang komt: $CO + H_2O \rightleftharpoons CO_2 + H_2$. Die evenwichtsreactie loopt voortdurend heen en weer, waardoor de concentratie van de vier stoffen constant blijft.

'Van links naar rechts wordt de energie uit het CO door het H₂ overgenomen', zegt dr.ir. Jaap Vente, innovatiemanager bij ECN. 'Dat waterstofgas is een chemische bouwsteen waarmee van alles is te maken. Het mooie is dat we twee vliegen in één klap kunnen slaan door de reactie te combineren met het afvangen van het CO₂.' Niet alleen komt die stof daardoor niet meer in de lucht, ook verstoort het afvoeren van CO₂ en H₂ het concentratie-evenwicht. Het mengsel streeft ernaar het evenwicht te herstellen door extra CO₂ en H₂ te vormen, en dat verhoogt de opbrengst. Voor het afvangen gebruikt SEWGS een kleiachtig materiaal, hydrotalciet, in de vorm van pillen waar het gasmengsel langs stroomt. Is de klei verzadigd, dan wordt stoom door de reactor gepompt om het CO₂ los te maken en af te voeren voor opslag. Die afwisseling van adsorptie en desorptie is kenmerkend voor CO₂-afvanginstallaties en vraagt altijd een flinke hoeveelheid warmte. Dat is de belangrijkste reden waarom zulke installaties niet populair



foto Swerea

Bij het Zweedse onderzoeksinstituut Swerea in Luleå komen proeven met de omzetting van hoogovengas in de brandstof methanol.

zijn bij eigenaren van kolen- en gascentrales: er gaan al gauw tientallen procenten van de net opgewekte energie in zitten. 'Bij SEWGS valt de warmtebehoefte echter relatief mee, omdat er maar weinig stoom nodig is om het CO₂ te verdrijven', zegt Vente. Op die manier heeft ECN dus een proces bedacht om waterstof te produceren.

Om vervolgens methanol (CH₃OH) te produceren, worden het CO₂ en de H₂ uit de SEWGS-reactor gecombineerd met extra waterstof. Die waterstof wordt gemaakt door elektrolyse: tussen twee elektrodes in water loopt een elektrische stroom, waardoor er aan de ene elektrode zuurstof ontstaat en aan de andere waterstof.

Het proces om methanol te maken, is afkomstig van het IJslandse bedrijf Carbon Recycling International (CRI). Over hoe dat proces precies in zijn werk gaat, wil CRI weinig loslaten, behalve dat de energie ervoor eveneens uit het stopcontact komt. Het is dus mogelijk om alle in de methanol opgenomen energie uit wind- en zonnestroom te laten komen. Los van de vraag hoe groot de markt voor CO₂-neutrale methanol is, verschilt ook de hoeveelheid uitstoot die er uiteindelijk mee wordt bespaard van geval tot geval, zo benadrukt Vente. 'Het hangt af van veel factoren, die we nog in detail moeten onderzoeken. Ik sluit dan ook niet uit dat voor het terugdringen van de CO₂-uitstoot opslag in de bodem toch een beter idee blijkt. Dat is in het algemeen gewoon de meest effectieve en betaalbare manier om van het CO₂ af te komen.'

VAN CO₂ NAAR SYNGAS

Het maken van syngas staat centraal in het project Carbon2Chem dat staalfabrikant ThyssenKrupp en chemieconcern Bayer samen met zeventien andere bedrijven en onderzoeksinstellingen zijn begonnen, met 60 miljoen euro subsidie van de Duitse overheid.

Net als bij FReSMe (zie 'Methanol uit CO') en Steelanol (zie 'Biobrandstof uit CO') gaat het om fabricage van brandstoffen en chemicaliën, vooral voor plastics, uit hoogovengassen. De Duitsers willen het de chemische bedrijven echter gemakkelijk maken door die gassen eerst grondig voor te bewerken. Na toevoeging van waterstof voeren ze met behulp van elektrokatalyse de reactie $H_2 + CO_2 \rightarrow CO + H_2O$ uit. Het zo ontstane en het al aanwezige CO worden dan met nog meer H₂ samengevoegd tot syngas,

een mengsel dat fabrikanten graag gebruiken als basis voor allerlei stoffen. Elektrokatalyse betekent dat de energie voor de reactie wordt geleverd met elektriciteit, en dat er voor de reactie een katalysator nodig is. Die toegevoerde energie komt, los van verliezen, in de uiteindelijke producten terecht.

Het voordeel van deze aanpak is dat hij goed aansluit op bestaande processen. Nadeel vormen de geweldige hoeveelheden waterstof die het plan vraagt. Het idee is die waterstof grotendeels uit aardgas te maken door elektrokatalyse van methaan, waarbij de wind als energiebron dient.

Dat aardgas een fossiele brandstof is, hoeft daarbij geen bezwaar te zijn: de bij de katalyse vrijkomende koolstof kan kolen voor de hoogovens vervangen, waardoor de CO₂-balans op nul uitkomt. Het aantal van vierhonderd nieuwe windturbines dat nodig is, vormt een lastiger obstakel. En de chemische routes om plastics en brandstoffen uit syngas te maken, zijn complex, met veel tussenschappen waarbij onvermijdelijk energie verloren gaat. Zeker bij het produceren van brandstoffen maakt dat het lastig om prijstechnisch te concurreren met eenvoudiger processen. Ook het relatief prille ontwikkelingsstadium van de benodigde elektrokatalytische technologie helpt niet.



foto ThyssenKrupp

Het hoogovencomplex van ThyssenKrupp gaat van hoogovengas syngas maken, dat een grondstof is voor allerlei producten.

BIOBRANDSTOF UIT CO

'Over een paar maanden begint de bouw van Steelanol, onze fabriek bij de hoogovens van ArcelorMittal in Gent, die 65 000 ton ethanol per jaar moet produceren. Het terrein is al opgehoogd en gelijkgemaakt', zegt dr.ir. Wim Van der Stricht, technologiestrategus van ArcelorMittal. Steelanol is een biotechnologisch project: microben van het Amerikaanse bedrijf LanzaTech zullen de omzettingen uitvoeren. 'Hun technologie was het verst gevorderd en leek ons het meest veelbelovend', verklaart Van der Stricht die keuze. LanzaTechs fermentatieproces beleefde zijn eerste pilot al in 2008 en functioneert inmiddels in een aantal fabrieken, onder meer in China. Het bedrijf kweekte zijn microben uit stammen die op de bodem van oceanen leven, waar ze zich voeden met de koolstofrijke gassen en warmte uit heetwaterbronnen. De gecultiveerde variant zet het CO uit de hoogovengassen om in ethanol (C₂H₅OH) en CO₂. Het maken van ethanol op deze manier scheelt 87 % in de CO₂-uitstoot vergeleken met directe productie uit fossiele brandstoffen, zegt Van der Stricht. 'Dat staat gelijk aan 1 tot 2 % van onze totale uitstoot.' Die indirecte besparing gaat er nog van uit dat het CO₂ dat de microben produceren ver-

foto ArcelorMittal

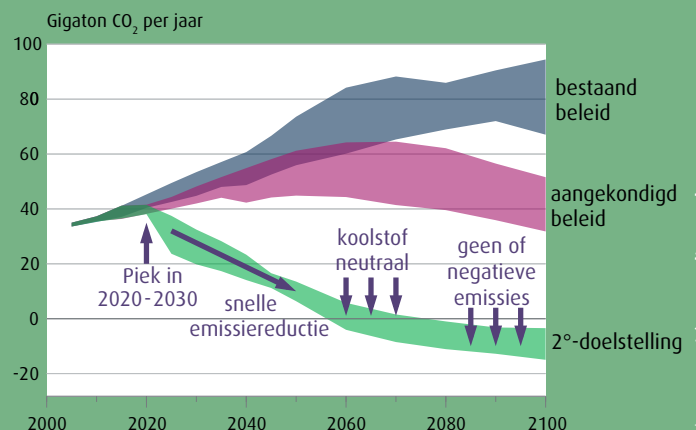


GAAT CO₂-GEBRUIK ECHT HELPEN?

Niet iedereen is ervan overtuigd dat al die aandacht voor CO₂-omzetting zo'n goed idee is. Zo ziet prof.dr. Ernst Worrell, hoogleraar Energie, Materialen en Milieu van de Universiteit Utrecht, er weinig in. 'Het wordt nu gehypet als een panacee, terwijl de potentie voorlopig klein is', zegt hij. 'Omdat er zoveel energie bij moet, zijn alleen speciale, dure chemicaliën waar beperkt vraag naar is winstgevend te produceren. Ook valt te bezien of de elektriciteit tijdens productiepieken wel echt zo goedkoop wordt. Er zijn namelijk meer ontwikkelingen gaande die daarop inspringen, zoals huishoudens met slimme wasmachines die aangaan op een moment dat de stroom onder een bepaalde prijs zakt.'

Mocht een individueel bedrijf CO₂-omzetting als een goede oplossing zien, dan kan het daar natuurlijk voor kiezen, vindt Worrell. 'Maar het is geen alternatief voor opslag, een techniek die we al goed in de vingers hebben. In Parijs is afgesproken dat de netto uitstoot in 2050 nul moet zijn. Als omzetting daaraan ooit een merkbare bijdrage kan leveren, is het pas over decennia, aangezien de benodigde katalyse-oplossingen

nog in de kinderschoenen staan. Daaraan publieke middelen besteden die zijn bedoeld voor het terugdringen van het CO₂ in de atmosfeer is in feite betalen voor vertraging.'



De CO₂-uitstoot zonder extra klimaatbeleid (grijs), met aangekondigd beleid (paars) en om de 2°-doelstelling te halen (groen).

bron Tawoni/Nature Climate Change



Bij de staalfabriek van ArcelorMittal in Gent gaat LanzaTech hoogovengas biologisch omzetten in de biobrandstof ethanol.

volgens 'gewoon' de atmosfeer in gaat. ArcelorMittal is echter in gesprek met bedrijven die het CO₂ kunnen hergebruiken of opslaan. 'Met zo'n afnemer erbij komt de besparing in uitstoot in totaal op 10 % uit, wat voor een staalfabriek heel veel is.'

En komt het project ook uit de kosten? Het Europese onderzoeksprogramma Horizon 2020 heeft een subsidie van 10,2 miljoen euro ter beschikking gesteld, maar dat is niet veel vergeleken met de geraamde 120 miljoen euro aan bouwkosten. Van der Stricht: 'We zijn blij dat de EU na overleg met ons heeft besloten onze ethanol het predicaat biobrandstof te verlenen. Daardoor profiteren we van de doelstelling in allerlei landen om in ecobenzine een bepaald percentage – nu 10 % – biobrandstof bij te mengen. Steelanol heeft dat nodig om zichzelf terug te verdienen.'

Lukt dat, dan is het de bedoeling dat er zusterfabrieken komen bij hoogovens van ArcelorMittal in andere landen. En zo niet, dan heeft ArcelorMittal nog een tweede ijzer in het vuur met het samenwerkingsproject Steel2Chemicals. De bedoeling daarvan is om CO van ArcelorMittal per pijpleiding van Gent naar Terneuzen te brengen, waar Dow Chemical het met eigen overtollig H₂ kan combineren tot syngas (zie ook 'Van CO₂ naar syngas'). Daaruit zijn vervolgens de grondstoffen te produceren voor bijvoorbeeld het maken van plastics.

CO₂ UIT DE LUCHT

Veel projecten voor hergebruik van CO₂ gaan uit van rookgassen met een hoge concentratie CO en/of CO₂. Intussen komen er regelmatig start-ups in het nieuws met technieken om CO₂ uit de atmosfeer te filteren. Wat voor rol zullen die spelen? Je zou denken dat met een concentratie van slechts 400 deeltjes per miljoen, oftewel 0,04 %, het afvangen uit de lucht veel duurder is dan bij een industriële bron met veel hogere concentraties.

Ir. Paul O'Connor, oprichter en directeur van het Hoevelakense bedrijf Antecy, heeft daar echter iets op bedacht: integratie van een eigen proces voor CO₂-vangst met door anderen gebouwde elektrolyse-installaties die er brandstof van maken. 'Bij het maken van waterstof en methanol met elektrolyse komt warmte vrij. Die wordt meestal weggegooid, omdat de temperatuur laag is. Ons CAIR-proces – Carbon from AIR – gebruikt die warmte als energiebron voor het afvangen van CO₂.' De chemicus, die ooit bij AkzoNobel aan katalysatoren voor olie werkte, heeft zo zijn eigen ideeën over het binden van het CO₂. Bijna alle commercieel verkrijgbare installaties gebruiken daarvoor ammoniakachtige stoffen, de zogeheten amines. 'Die zijn aan een vaste drager gehecht, waar de lucht of het gasmengsel langs wordt geleid. Maar behalve dat het dure stoffen zijn, hebben amines het probleem dat ze geleidelijk uit elkaar vallen of loslaten en als verontreiniging in het milieu terechtkomen.' Volgens O'Connor is het onschadelijke zout kaliumcarbonaat (K₂CO₃) veel geschikter. 'Die stof is goedkoop en gaat niet kapot. Mede doordat we een goede drager hebben gevonden, gaat de CO₂-adsorptie heel snel. De daaropvolgende desorptiestap



foto Carbon Engineering

Het Canadese bedrijf Carbon Engineering gaat met deze installatie CO₂ uit de lucht halen.

werkt met stoom bij rond 70 °C, terwijl dat bij amines 130 °C is.'

Dankzij die temperatuurverlaging is het mogelijk de afvalwarmte van de elektrolyseprocessen te gebruiken. Maar scheelt dat ook genoeg? 'In 2015 hebben we met Shell een haalbaarheidsstudie uitgevoerd. Daar kwam uit dat het proces winstgevend is mits de prijs van duurzame elektriciteit tot een bepaald niveau daalt. Vorig jaar dachten we nog dat dat punt pas rond 2025 zou zijn bereikt, maar het is veel sneller gegaan: nieuwe zonne-energieprojecten in het Midden-Oosten leveren al voor die prijs.' Inmiddels is Antecy door het Japanse conglomeraat Mitsubishi Hitachi Power Systems benaderd om samen een modelfabriek te bouwen. 'Er zijn echter nog wel wat tussenliggende ontwikkelingsstappen te doen. Daarvoor houden we nu een investeringsronde.'

OPSLAG IS ONMISBAAR

Hoewel de wereld hard werkt aan milieuvriendelijke manieren om energie en producten te fabriceren, zal die omschakeling nog veel tijd vergen. Ondertussen vragen de klimaatakkoorden van Parijs om nul netto uitstoot na 2050 en een beperking van de opwarming van de aarde tot 2 °C en nog liever tot 1,5 °C. Om die doelstellingen te halen, moet er op grote schaal CO₂ worden opgeslagen in de bodem van land en zee, vindt het International Energy Agency (IEA). Het haalt daarbij het Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) aan, dat berekende dat zonder opslag de kosten van de benodigde emissiereductie meer dan verdubbelen. Hergebruik van CO₂ is dus geen alternatief voor opslag, hoogstens een aanvulling.

De trend van de afgelopen jaren is echter juist een verlies van enthousiasme voor opslag, waardoor wereldwijd verscheidene projecten zijn afgeblazen. Terwijl in Nederland maatschappelijk protest tegen de geplande opslag bij Barendrecht een grote rol speelde, wijst het Global Carbon Capture and Storage Institute (GCCSI) als belangrijkste algemene oorzaak de economische crisis en de nasleep daarvan aan. Desondanks verwacht dit instituut dat er aan het eind van dit jaar 21 grootschalige opslagprojecten operationeel zijn; meer dan een verdubbeling ten opzichte van 2010. Hun gezamenlijke capaciteit is 40 miljoen ton CO₂ per jaar, wat dan weer slechts 1 % is van wat volgens IEA uiteindelijk nodig is om beneden een temperatuur-

stijging van 2 °C te blijven. Voor na 2017 staan er weinig nieuwe projecten op de rol.

Het Nederlandse demonstratieproject ROAD (Rotterdam Opslag en Afvang Demonstratieproject) is bedoeld om de uitstoot van de in 2015 geopende kolencentrales op de Maasvlakte op te slaan in een leeg gasveld in de Noordzee. Hiervan is de financiering echter nog altijd niet rond. Het Rotterdamse havenbedrijf heeft de hoop op het slagen van dit project min of meer opgegeven. Het gaat nu de raffinaderijen in het gebied aanbieden om de door hen geproduceerde CO₂ in het gasveld op te slaan. Maar ook dat zal een project van lange adem worden, zo verwacht het havenbedrijf.



Foto Fluor

Deze installatie in Alberta, Canada, verzamelt het CO₂ dat vrijkomt bij de verwerking van oliezanden.

GRONDSTOF VOOR DE CHEMIE

Komt er voldoende CO₂-arme elektriciteit beschikbaar, dan is de lage energiewaarde van CO₂ niet per se een probleem. Met dat uitgangspunt is vorig jaar het onderzoekscentrum Chemical Building Blocks Consortium (CBBC) opgericht, een samenwerking van Nederlandse universiteiten en bedrijven voor het maken van milieuvriendelijke basischemicaliën. 'We maken die stoffen door het activeren van kleine moleculen, waaronder CO₂', zegt wetenschappelijk directeur prof.dr.ir. Bert Weckhuysen.

Het werk voor CBBC sluit aan bij Weckhuysens hoogleraarschap Anorganische Chemie en Katalyse aan de Universiteit Utrecht. Twee reacties die zijn vakgroep onderzoekt, zijn het splitsen van water om H₂ te maken en de reactie van CO₂ met H₂ tot methaan (CH₄). 'Beide doen we zowel elektro- als fotokatalytisch. Dat laatste is wat planten doen, met licht als energiebron. De weg naar commerciële toepassing daarvan is nog wel een stuk langer dan bij de elektrokatalyse.'

Het Amsterdamse chemische technologiebedrijf Avantium, bekend van de ontwikkeling van biogebaseerde frisdrankflessen voor Coca-Cola, gaat CO₂ ook chemisch omzetten, onder meer in glycolzuur, een ingrediënt van huidcrèmes. Het bedrijf doet dat met elektrochemische 'cellen', vierkante metalen modules van 1 m breed en 10 cm dik. 'We zitten nog in het teststadium', zegt technologiestrateg prof.dr. Gert-Jan Gruter. 'Maar ik verwacht dat er binnen drie jaar een geoptimaliseerde CO₂-cel is en dat de technologie binnen tien jaar op grote schaal wordt toegepast.'

Begin dit jaar sloeg Avantium een grote slag met de overname van het Amerikaanse bedrijf Liquid Light, toonaangevend in de elektrokatalyse van CO₂ en in het bezit van een grote patentenportefeuille. Dat bedrijf wordt nu fysiek van de VS naar het Amsterdamse Science Park

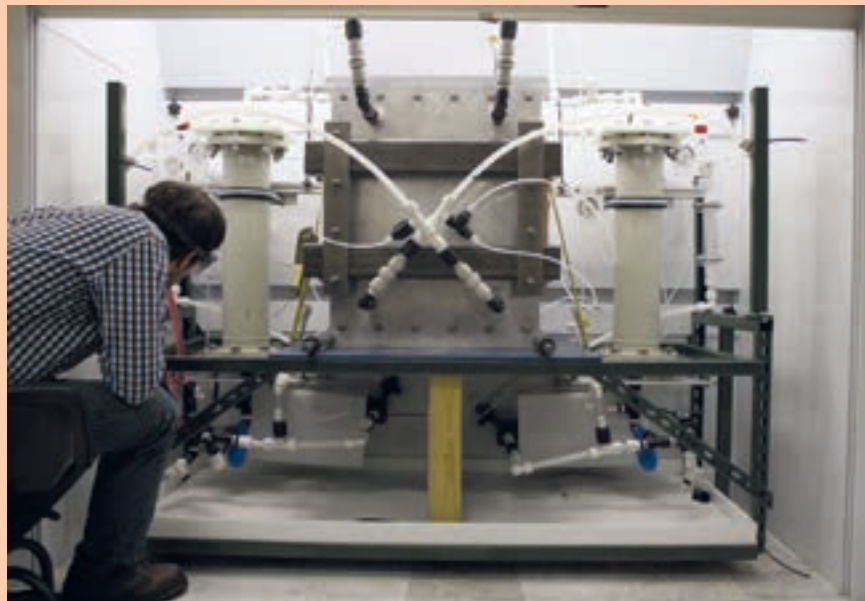


foto Avantium

Het Amsterdamse bedrijf Avantium gebruikt dit soort 'cellen' om CO₂ chemisch om te zetten in glycolzuur, dat wordt gebruikt in huidcrèmes.

getransplanteerd, om daar als Avantium-afdeling verder te gaan. Gruter: 'Liquid Light heeft zeven jaar lang alle mogelijkheden bekeken en een heel efficiënt proces ontworpen. Met hun kennis erbij zijn we in één klap een paar jaar verder.' Die efficiëntie helpt om het schrikbeeld te verjagen van een fabriek die voortdurend uit moet omdat de stroom te duur is. 'We denken dat de apparatuur 80 % van de tijd zal kunnen draaien.' De cellen 'lusten' overigens niet alleen de rookgassen van een staalbedrijf, maar ook die van een elektriciteitscentrale of cementfabriek.

Avantium, dat ruim 2 miljoen euro Nederlandse subsidie ontving voor zijn elektrochemieproject, wil eerst zelf glycolzuur gaan maken om dan later de technologie aan anderen in licentie te geven. Glycolzuur is als typisch hoogwaardig nicheproduct gekozen om mee te starten, maar Gruter verwacht snel daarna over te kunnen stappen op goedkopere producten in grotere hoeveelheden.

'Het reactorconcept is heel flexibel', legt de technologiestrateg uit. 'Opschalen gaat eenvoudig door extra cellen parallel te schakelen. Verbeteringen doorvoeren kan door telkens één reactor onder handen te nemen, terwijl de rest van de installatie doorwerkt. Op den duur moet een efficiëntie van rond 90 % haalbaar zijn. We verwachten dat tegen die tijd ook de bulkchemie (die in enorme volumes basisstoffen produceert – red.) de cellen gaat gebruiken. En dat zal een substantiële CO₂-reductie opleveren.' |