

MicroMegazine

1e jaargang • nummer 2 • oktober 2009

De kunst van vernevelen;
medicijnen via longen veel effectiever

Chemische reacties op milliliterschaal

Magnetisch gelagerde microfreesmachine

Minder zendmasten door microkoeling
tot -269°C op de chip

Micro  Ned

ISSN 1877-301X

Microreactoren beloven re

Procestechnologie krijgt trekken van de elektronica



Roterende schijfreactor waarbij via inlaten aan de rand zowel gas als vloeistof kan worden toegevoerd om een chemische reactie te laten verlopen. Dit is bijvoorbeeld een hydrogeneringsreactie, waarbij het gasvormig waterstof reageert met een vloeibare organische verbinding onder invloed van een katalysator op het draaiende schijfoppervlak. Hierbij worden verzadigde verbindingen gevormd, zoals alkanen, alcoholen, of amines.

Microreactoren, een technologie waarbij het om micrometers tot millimeters gaat, beloven een ware revolutie in de chemische procestechnologie teweeg te brengen. Door de verkleining van de afmetingen van de reactievaten kunnen de chemische processen veel beter worden gestuurd dan in de 'macrochemie' van vandaag en is het ook veel makkelijker om chemische processen aan elkaar te knopen. Dat betekent niet alleen minder verspilling van materiaal en energie, maar ook een veel flexibeler chemie, waarbij het overschakelen van het ene proces op het andere veel eenvoudiger zal zijn dan bij de huidige nogal starre 'macrochemie'. Micro betekent echter niet dat slechts kleine hoeveelheden kunnen worden geproduceerd. DSM heeft in het Oostenrijkse Linz een fabriek staan waar met een microreactor 1700 kilo polymeerproduct per uur wordt vervaardigd. Prof.dr.ir. Jaap Schouten, als aanjager van het onderzoek naar microreactoren, plaveit aan de TU in Eindhoven de weg van deze beloftevolle techniek naar de praktijk. Inmiddels zijn er twee spin-off bedrijfjes actief geworden op de campus.

DOOR ARNO SCHRAUWERS

volutie in de chemie



Het is een feit dat er al vaker revoluties zijn beloofd die nooit zijn waargemaakt. In de jaren '70 en '80 werd heilig geloofd in de grote mogelijkheden van membraantechnologie en destijds werd voorspeld dat de destillatietorens, waarin vloeistoffracties worden gescheiden, in tien jaar uit het 'luchtruim' van het Rotterdamse Rijnmondgebied zouden zijn verdwenen. Dat is niet gebeurd. Membraantechnologie is een niche-toepassing gebleven. Het is echter niet al te gewaagd te voorspellen dat dit lot de microreactortechnologie niet zal overkomen. Prof. dr.ir. Jaap Schouten, hoogleraar chemische reactortechnologie aan de Technische Universiteit Eindhoven, is wat voorzichtig, maar hij sluit niet uit dat microreactoren met een jaar of vijf in bepaalde sectoren van de chemische industrie vaste voet aan de grond zullen hebben gekregen.

En dat over tien jaar de destillatietorens verdwenen zullen zijn? Schouten: "Die uitspraak zou ik niet voor mijn rekening durven nemen."

Procesintensificatie

De Nederlandse overheid heeft net bekend gemaakt dat ze € 13,5 miljoen heeft uitgetrokken voor een actieplan om procesintensificatie (PI) in de Nederlandse procesindustrie versneld in te voeren. Microreactortechnologie zou je één van de ontwikkelingen kunnen noemen in die trend naar een compactere procestechnologie. Schouten kent al een mogelijk onderzoeksvorstel voor dit nieuwe programma beschikbaar te hebben. Daar is hij bedreven in geworden. Zo heeft Schouten ook geld gekregen voor onderzoek van MicroNed, heeft hij vorig jaar een grote Europese onderzoekssubsidie verworven en hij werd in 2006 Simon Stevin Meester, hetgeen hem ook nog eens een half miljoen aan onderzoeksgeld van STW opleverde. (Micro) reactortechnologie of althans Jaap Schouten is heel populair bij de geldverstrekkers. Hoe weten we dat microreactortechnologie of procesintensificatie niet de volgende hypes zijn? Schouten: "Zo'n twee jaar geleden is de Europese Roadmap tot stand gekomen voor procesintensificatie. Verder is "chemie" door het Nationale InnovatiePlatform van premier Balkenende als sleutelgebied aangemerkt. Met dit nieuwe actieplan is procesintensificatie eindelijk daarbij ook voluit op de Nederlandse kaart terecht gekomen."

Chemiesector conservatief

Schouten en zijn groep van vier wetenschappelijk medewerkers en zo'n 20 promovendi zijn geen luchtfietsers. Hij probeert met zijn onderzoek dicht in de buurt van de dagelijkse werkelijkheid te blijven.

"Je moet wat je onderzoek betreft natuurlijk aan het front zitten. Het kan eigenlijk niet gek genoeg zijn, maar bijna alle projecten doen we samen met de industrie. De centrale gedachte is dat PI op zichzelf goed is, maar dat daar in de praktijk helaas toch maar weinig van terecht komt. We hebben hier in Eindhoven bijvoorbeeld het idee van de draaiende schijvenreactor opgepakt. Dat is mooi, zeggen bedrijven dan, maar zo'n ding wordt in de praktijk niet gebruikt." ➤

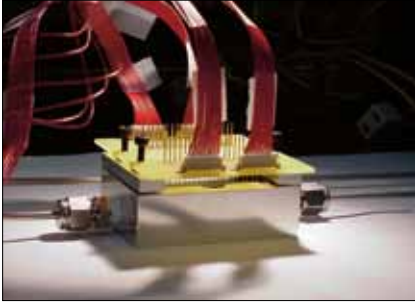
English abstract

Microreactors represent a new and highly innovative class of chemical process equipment that allows for chemical reactions to be carried out at so far unprecedented conditions. Microreactors are available in a wide range of sizes and materials, such as metal, glass or silicon, sometimes produced with cleanroom technology such as lithographic and etching techniques. Production of chemicals in these devices takes place continuously and in many parallel microchannels at the same time, allowing for reactions and operational windows that are almost impossible to realise in conventional size (batch) reactors. The small reaction volumes in these microchannels, ranging from microlitres to milliliters, permit an accurate control of the process that was hitherto unknown. Being able to mix, heat and cool very fast and extremely locally, allows "cutting corners" in the micro chemical process, as compared to conventional industrial processes. As a result chemical processes in microreactors have proven to be extremely controllable, flexible, economical and sustainable. Researchers at the Department of Chemical Engineering and Chemistry at the Eindhoven University of Technology in The Netherlands are developing a variety of new reactors to suit old (and new) chemical processes. Their portfolio includes not only microreactors, but also many other types of advanced reactor configurations for intensifying chemical reactions and processes. Microreactors, a far fetched hobby for scientists? Not at all, chemical corporation DSM replaced a 10 m³ batch reactor in their factory in Linz (Austria) by a microreactor of 65 cm length with a 3 liter reaction volume, which produces in flow some 1700 kilos per hour of a polymer product.

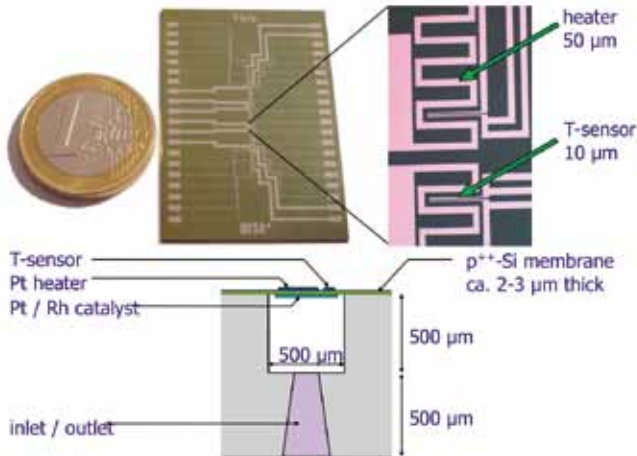
For further information about this subject, please contact Professor Jaap Schouten, email j.c.schouten@tue.nl, tel. +31 (0)40 247 3088



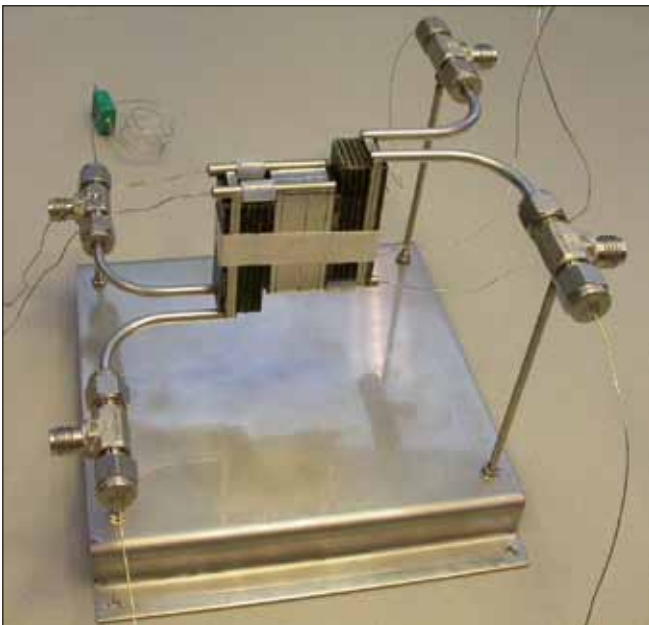
De huidige petrochemische industrie werkt op basis van grootschalige installaties voor kraak- en raffinageprocessen. Dergelijke processen kosten veel energie in de vorm van warmte. Technologen zijn het er over eens dat deze processen voor verbetering vatbaar zijn, niet alleen voor wat betreft de financiële kant voor de energierekening, maar ook wat betreft duurzaamheid. Er kan veel worden bespaard op de grondstoffen.



In 2002 werd bij de vakgroep Chemische Reactortechnologie van de Technische Universiteit Eindhoven een eerste prototype van een microreactor ontwikkeld.



Bovenaanzicht van de microreactor. Het reactiekanaal loopt door het midden van de chip; de aanliggende platina "bedradingen" vormen de verwarming en de temperatuursensoren. De reactor werd ontwikkeld om de reactiekinetiek te meten in de partiële oxidatie van methaan naar koolmonoxide en waterstof, zoals voor het maken van synthegas dat ondermeer gebruikt wordt voor het produceren van schone diesel via Fischer-Tropsch synthese.



Microreactor ontwikkeld voor de selectieve oxidatie van koolmonoxide naar CO_2 , voor het beschermen van de katalysator in brandstofcellen.

Het inlaatgas komt van een zogenoemde reformer, waarin methanol is omgezet naar onder meer waterstof. Dit gas wordt eerst afgekoeld in een warmtewisselaar voordat het naar de reactor wordt geleid, waar CO wordt omgezet naar CO_2 . De reactor is geïntegreerd met een tweede warmtewisselaar om de reactietemperatuur zo constant mogelijk te houden. Vervolgens wordt het gas verder afgekoeld met een derde warmtewisselaar tot 60 graden, de bedrijfstemperatuur van de brandstofcel.

Het probleem is natuurlijk dat de chemische industrie in zijn aard erg conservatief is: de investeringen zijn groot en de levensduur van de installaties lang. Bewijs maar eens dat je het beter kan, is dan de argwanende houding.

Schouten: "Dat is natuurlijk wel zo, maar bedrijven zijn wel degelijk bereid aan te schuiven bij veelbelovend onderzoek en hebben daar ook geld voor over. Ik ben er van overtuigd dat bijvoorbeeld microreactoren en ook andere nieuwe reactorconcepten langzamerhand hun plek wel zullen vinden. De introductie van microreactoren in de huidige procesvoering is relatief laagdrempelig, want het ruimtebeslag is klein en de kosten zijn nog alleszins beheersbaar. Opschaling van microreactoren gebeurt onder meer door het parallel plaatsen van heel veel microkanalen en hele microreactorsystemen."

Waar hebben we het dan over? Hebben we het over kleine reactoren om de ontwikkeling van nieuwe processen te ondersteunen? Of hebben we het wel degelijk over reactoren waarmee ook in grote hoeveelheden geproduceerd kan worden? Tenslotte praat de grote chemie vaak in tienduizenden en zelfs honderdduizenden tonnen en niet in kilo's die je met die microreactoren associeert?

Schouten: "Het gaat wel degelijk ook over productie op commerciële schaal. DSM heeft in Linz een microreactor ontwikkeld samen met het Forschungszentrum in Karlsruhe, waarbij een geroerd vatreactor van 10 m^3 is vervangen door een continue microreactor met 3 liter reactievolume die slechts 65 cm lang is. Daarmee heeft DSM een systeem waarmee zo'n 1700 kilo polymeerproduct per uur wordt vervaardigd. Dat is toch niet gering. Het risico dat DSM liep, was vrij klein want de originele reactor had zo weer kunnen worden teruggeplaatst."

Betere procesbeheersing

De argumenten om de procestechnologie te miniaturiseren, we praten dan over reactiekanaaltjes van enkele tienden van millimeters (=honderden micrometers), liggen vooral in de betere procesbeheersing die er in microreactoren mogelijk is.

Schouten: "Menging van reactanten in de huidige conventionele procesapparatuur is vaak niet optimaal, door bijvoorbeeld lokaal te lage turbulentie, waardoor je een te lage opbrengst krijgt of producten die je niet wilt hebben. Veiligheid is ook een belangrijk aspect, want de microtechnologie is inherent veiliger dan de conventionele techniek. Door de betere procesvoering is het ook mogelijk met minder oplosmiddel te werken en om de energierekening te reduceren. Kortom, er zijn allerlei argumenten die voor de toepassing van microreactortechnologie spreken."

Er zijn natuurlijk ook argumenten tegen. Is het niet voor de hand liggend dat de risico's van verstopping bij microreactoren, met die dunne kanaaltjes waar de vloeistoffen en gassen door moeten, veel groter zijn dan in de macrochemie?

"Dat is natuurlijk waar", beaamt de reactortechnoloog, "en het

is ook echt niet zo dat microreactoren te allen tijde de beste oplossing vormen. Er zijn bepaalde productieprocessen die niet of veel minder geschikt zijn, al is er in veel gevallen wel een adequate oplossing te verzinnen. Je zou bijvoorbeeld een methode kunnen bedenken om specifieke processtappen, waarbij vaste stoffen voorkomen in grotere (milli-)eenheden uit te voeren. Of je kan gebruik maken van de zogeheten Taylorstroming, waarbij je vaste stoffen onderbrengt in een afgesloten vloeistofvolume, wat dan pluggewijs door de kleine kanaaltjes stroomt. Wat je niet moet doen, is onderdeel voor onderdeel vervangen. Al helemaal niet in de farmaceutische industrie die sterk gebonden is aan de regels van de Amerikaanse medicijnen- en voedingsautoriteit FDA. Je zult een systeembenadering moeten hanteren waarbij je processtappen verzint en waarmee je zoveel mogelijk dit type problemen al in een vroegtijdig stadium van het reactorontwerp vermijdt." Microreactoren maken volgens de Eindhovense hoogleraar een scala aan nieuwe toepassingen mogelijk die met de huidige batchprocessen (niet-continue processen) moeilijker of zelfs helemaal niet zijn te realiseren.

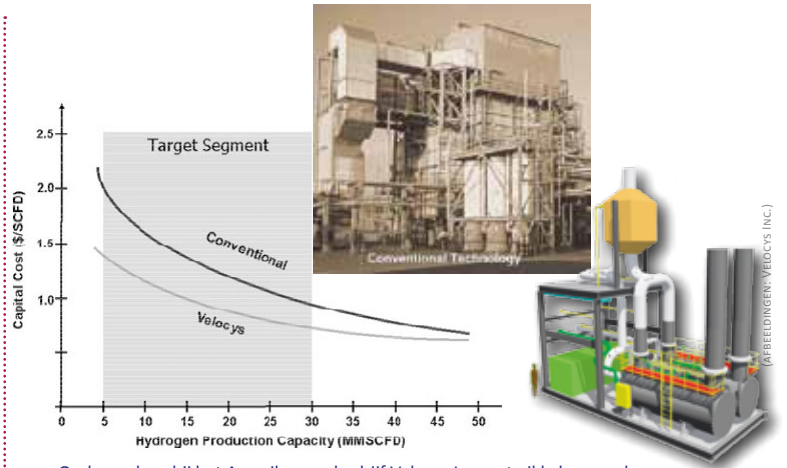
"Je kunt soms toe met minder processtappen, doordat je vaker proceshandelingen kunt combineren of zelfs helemaal uitsluiten. Bij een batchproces maak je een product, dat zet je vervolgens op het schap en dat hoop je te verkopen. Met continue processen, microreactorprocessen zijn altijd continu, kun je de productie veel beter aan de vraag aanpassen, kan je dichter bij de klant gaan zitten of misschien zelfs de productie aan de klant overlaten. Procesbewerkingen en reactiestappen kan je in microreactoren veel beter integreren door, bijvoorbeeld, in bepaalde secties te koelen of op diverse plaatsen katalysatoren (reactieversnellers; AS) aan te brengen, afhankelijk van het procesverloop. Je kunt bijvoorbeeld ook zeer snel opwarmen met microgolven."

Zo geschetst lijkt het er op dat de chemische technologie de elektronica achterna gaat met een soort chemische 'schakelingen' waarin de diverse chemische en fysische handelingen plaatsvinden en naar behoeften te combineren zijn. Schouten wil die analogie wel onderschrijven.

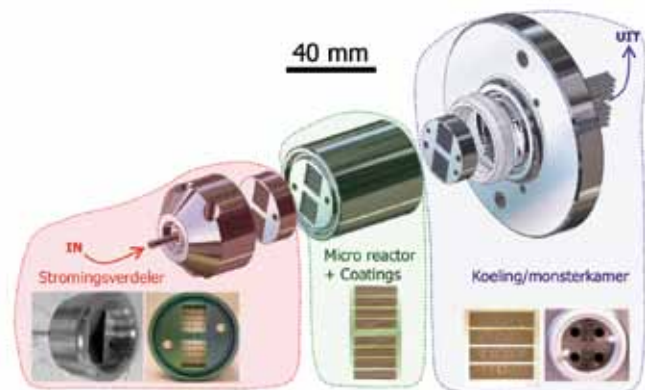
Wild werk

U had het in een recent interview over het 'wilde werk' dat elke academische onderzoeker in een deel van zijn tijd zou moeten mogen doen, maar het werk dat u met uw onderzoeksgroep doet, lijkt allesbehalve wild. U richt zich op de industrie en die is, hebben we al geconstateerd, redelijk conservatief en dus niet erg in voor rare bokkensprongen.

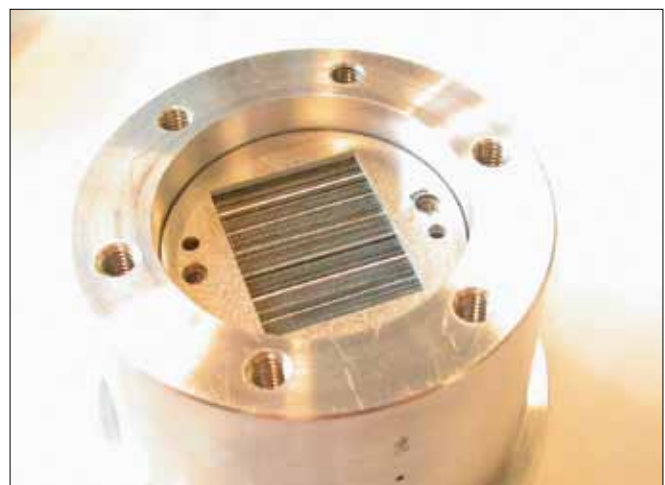
"Ik heb dat gezegd, en dat proberen we ook te doen, maar daarbij richten we ons ook op de industrie. We zijn nu eenmaal een technische universiteit. We hebben hier in mijn groep twee grote onderzoekslijnen of eigenlijk drie. Eén lijn is die van de ➤



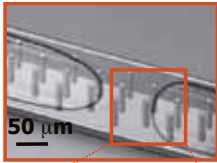
Onderzoekers bij het Amerikaanse bedrijf Velocys Inc, ontwikkelaars en bouwers van microreactoren, hebben de investeringskosten berekend van de conventionele installaties voor de productie van waterstof door het reformen van methaan, versus dezelfde opbrengst met microreactoren. De conclusie is dat voor de beoogde productiecapaciteit microreactortechnologie economisch voordeliger is. De omvang van de microreactorinstallatie (rechts) is ongeveer 10 procent van die van de conventionele installatie (boven).



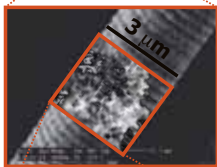
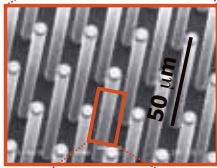
Eindhovense microreactor uit 2004 voor het snel testen en vergelijken van de activiteiten van verschillende katalysatoren voor specifieke chemische reacties. De katalysatoren, bijvoorbeeld met verschillende metalen als palladium, platina of nikkel, worden in verschillende kamers in de reactor ondergebracht. In de monsterkamer aan het uiteinde van de reactor wordt met drie probes per katalysatorkamer de gassenstelling gemeten. De geïntegreerde stromingsverdeler wordt thans door een commerciële partner uitgetest.



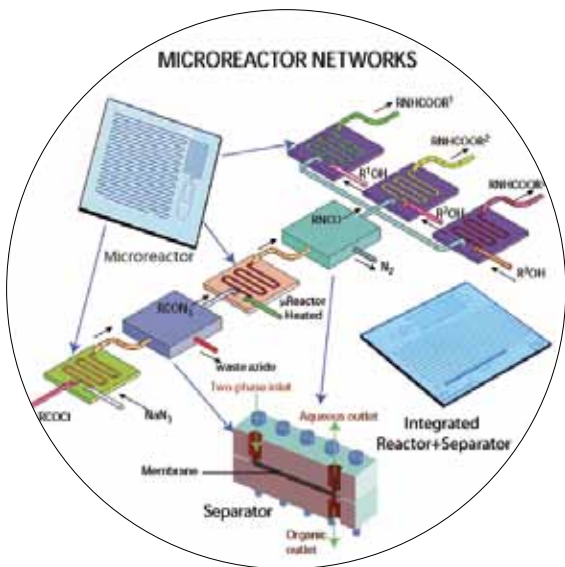
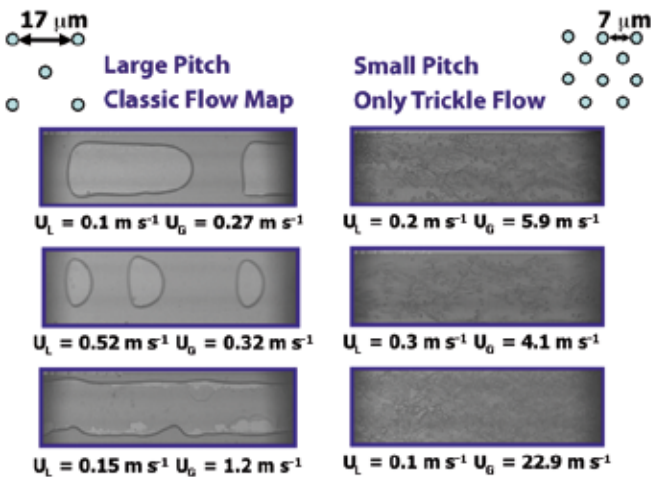
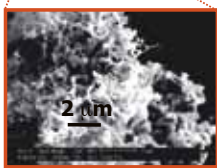
In het kader van een Nederlands-Russisch NWO-project ontwikkelde de groep van professor Schouten in 2006 een microreactor voor de verbranding van hydrazine, raketbrandstof en noodbrandstof voor gevechtsvliegtuigen. De reactor is met succes getest door het Boreskov Instituut voor Katalyse in Novosibirsk.



De Eindhovense reactortechnologen hebben in 2005 een nieuw toepassingsgebied gekozen voor de ontwikkeling van hun microreactoren. Beperkten de vorige modellen zich voornamelijk tot gasfase-reacties, de nieuwe reactoren zijn ook geschikt voor onder meer gas/vloeistof-processen. Deze processen verlopen in een rechthoekig microkanaal, waar men op micropaaltjes koolstof nanovezels heeft laten groeien. Op de nanovezels, die een enorm oppervlak hebben, is een katalysator aangebracht. In dit door MicroNed gefinancierde project, wordt samengewerkt met de onderzoeksgroepen van prof.dr. Han Gardeniers en prof.dr.ir. Leon Lefferts uit Twente (MESA*).



De TU/e-reactortechnologen ontdekten bijzondere effecten van de microschaal bij stroming van gasen en vloeistoffen door een ondiep kanaal vol met micropaaltjes: de afstand tussen de micropaaltjes blijkt van grote invloed op het stromingsgedrag. Bij 17 µm afstand tussen de paaltjes werd het stromingsbeeld waargenomen als in een leeg kanaal, terwijl bij een afstand van 7 µm een chaotisch patroon zichtbaar werd ('trickle flow').



(AFBEELDING: H. R. SAHOO, J. G. KRALL AND K. F. JENSEN, "MULTI-STEP CONTINUOUS FLOW MICROCHEMICAL SYNTHESIS INVOLVING MULTIPLE REACTIONS AND SEPARATIONS", ANGEW. CHEMIE INT. ED. 46: 5704-5708 (2007))

Professor Klavs Jensen, de microreactor-goeroe van MIT, voorziet netwerken waarin microreactoren bijna onbeperkt modulair kunnen worden gekoppeld aan verschillende procesfuncties, zoals bijvoorbeeld menging, verwarming, of scheiding, zoals in deze figuur wordt geïllustreerd.

microgestructureerde reactoren die vooral bedoeld zijn voor toepassingen in de fijnchemie en farma. Daar tegenaan zit de lijn van onderzoek op het gebied van gestructureerde katalysatoren die we aanbrengen op verschillende dragermaterialen zoals bijvoorbeeld koolstof of metaalschuimen. De derde onderzoekslijn is die van de draaiende reactoren, waarbij twee schijven, al of niet in stapeling, ten opzichte van elkaar draaien op een afstand van zo'n 1 mm."

Overdracht versnellen

Chemisch technologen houden toch niet van draaiende dingen? "Dat lijkt misschien zo, maar in een chemisch proces heb je bijvoorbeeld altijd pompen nodig, waarin ook draaiende delen zitten. Je kunt dan een paar dingen in elkaar schuiven en bovendien kun je gebruik maken van, bijvoorbeeld, een verliespost als de turbulentie, die je juist in een chemisch proces goed kunt gebruiken voor verbetering van de menging of stofoverdracht. Zo is de overdracht van de gasfase naar de vloeistoffase vaak een remmende factor in de voortgang van een proces. Als je die overdracht kunt versnellen, kun je ook met een kleiner systeem toe, tot soms zelfs een factor veertig. Onze rotating chemical

Een praktijkgeval

Micronit, Flowid en FutureChemistry, drie jonge bedrijven ontsproten uit nabijgelegen universiteiten die zich op de microreactortechniek richten, hebben onlangs met succes een chemisch batchproces 'omgebouwd' tot een continu proces. Het gaat om de zogeheten Paal-Knorr-reactie waarbij de vorming van reactiewarmte in het conventionele (discontinue) batchproces voor problemen bij de procesvoering zorgt. De microreactortechniek



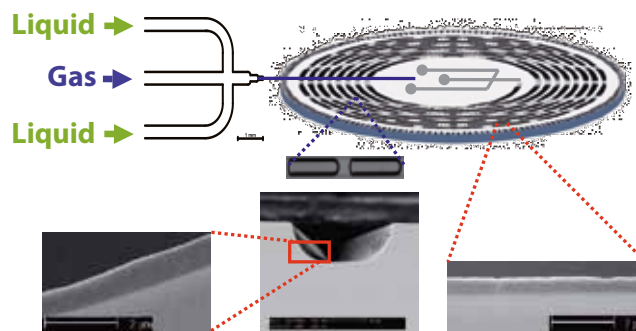
Deel van de testfaciliteiten in het lab van Flowid in Eindhoven.

plant, de chemische fabriek op een draaiende as, is èn pomp èn reactor èn scheidingsapparaat ineen waarbij de draaiing van de schijven voor allerlei zaken wordt gebruikt: voor de menging, voor verbetering van het transport, en dus de reactiesnelheid, voor scheiding van componenten enzovoort, maar de schijven kunnen daarbij ook worden gebruikt voor elektrochemische deelstappen in een proces. In een klassiek proces vinden die stappen meestal achter elkaar plaats, een belangrijke gedachte van procesintensificatie is dat je processtappen efficiënt wilt integreren. We laten nu in samenwerking met de Zweedse apparatenbouwer Alfa Laval een grote schijvenreactor bouwen. We hebben al eerder zelf een kleinere versie ontworpen die we door een bedrijf hier in de omgeving hebben laten bouwen, overigens onder supervisie van onze eigen technici uit onze werkplaats. Wij hebben het concept van de draaiende schijvenreactor zelf opgepakt en zijn met een Engelse onderzoeksgroep de enige in Europa die aan dit type roterende reactoren werkt. John van der Schaaf, een universitair hoofddocent in onze groep, heeft zelfs het idee om een soort modulaire 'jukebox-reactor' te maken, waarbij delen van het systeem, denk hierbij aan katalytisch-actieve schijven, gemakkelijk vervangen kunnen

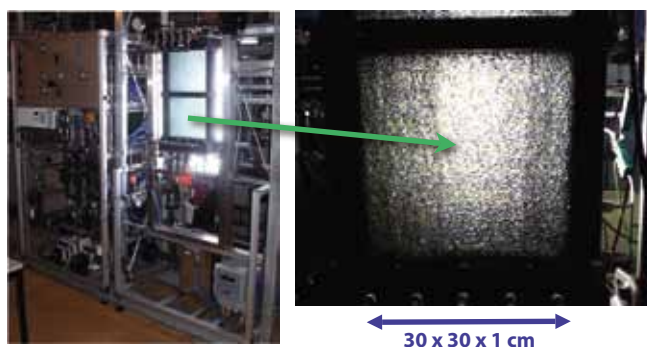
biedt in vergelijking met discontinue (batch)processen grote voordelen op het gebied van procesbeheersing, opschaalbaarheid en ruimtebeslag. In minder dan 200 uur werd het proces omgezet naar flowchemie op microliterschaal en vervolgens opgeschaald tot de milliliterschaal. Volgens Wouter Stam van Flowid uit Eindhoven, verantwoordelijk voor het opschaalproces, is daarmee ook aangetoond dat alle reactie- en procesbepalende parameters behouden blijven, zodat ook een verdere opschaling naar de, commerciële, literschaal geen probleem is. Bij dit project was Micronit uit Enschede verantwoordelijk voor het reactorontwerp en heeft FutureChemistry uit Nijmegen het batchproces 'vertaald' in een stroomproces.

Het project was voor de drie 'academische' bedrijven een vingeroefening, maar Stam stelt dat de benadering in een commercieel project niet anders is. Voor dit project, waarbij de drie bedrijven samenwerken in het consortium Access2Flow, is volgens de chemisch technoloog de belangstelling uit de industrie groot.

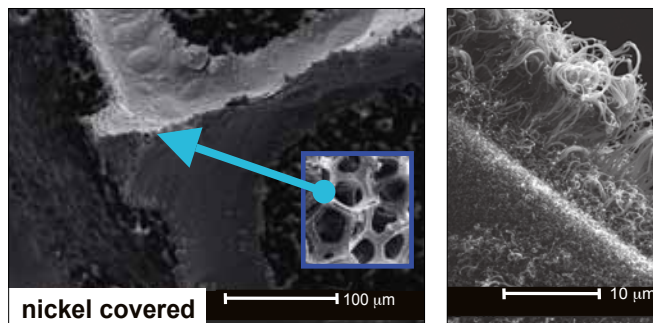
"Tot nu hebben we zo'n 18 bedrijven over de vloer gehad, waaronder alle grote chemische en farmaconcerns. Het gaat daarbij vooral om processen in de fijnchemie en de farma."



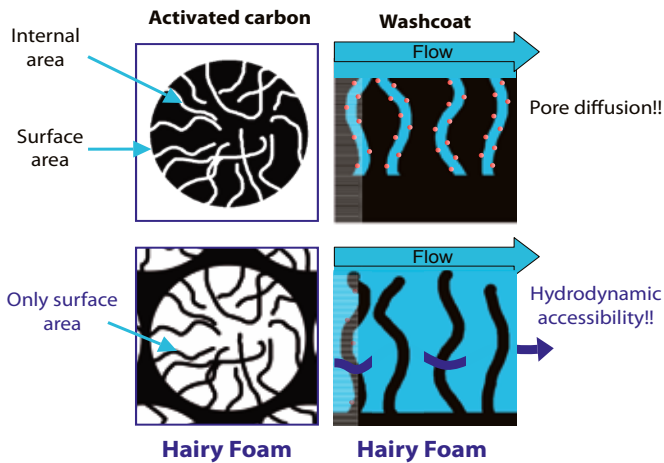
Microreactor op basis van silicium, waarin een micromenger (centrum) en een reactiekanaal zijn geëtst. Dit type reactor wordt veel toegepast voor het experimenteren met chemische reacties op microschaal. De reactiekanaal kunnen door de gebruiker vrij makkelijk worden voorzien van een katalytische coating.



In 2002 startte de Eindhovense groep een nieuwe onderzoeklijn waarin vaste schuimmaterialen worden toegepast als drager voor katalysatoren in gas-vloeistofreacties. Vaste schuimen (solid foams) hebben een groot geometrisch oppervlak en zijn gemaakt van metaal, koolstof of keramiek. Ze hebben grote, onderling verbonden poriën van 250 μm tot soms wel 5 mm, waar gassen en vloeistof doorheen kunnen stromen. Links staat een pilot scale reactoropstelling waarin platen schuim van 30 cm x 30 cm (rechts) zijn geplaatst. Hierin worden gas en vloeistof in mee- of tegenstroom door het schuim gepompt.

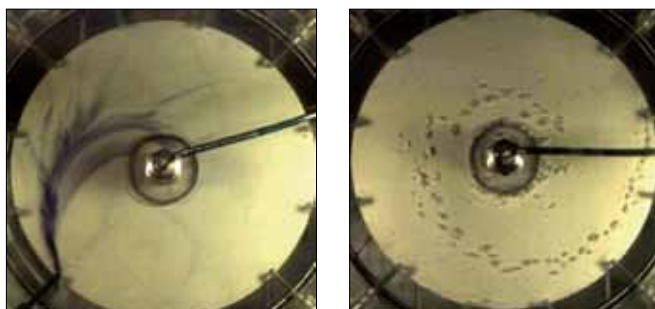


Close-up van de harde schuimstructuur waarop nikkel is afgezet (links). Het nikkel dient als kiem voor het laten groeien van koolstof nanovezels. Koolstofbevattende gassen, zoals etheen, adsorberen en ontleden op de nikkeldeeltjes ter grootte van nanometers, waarna de koolstofatomen door het nikkel diffunderen en aan de onderzijde van de deeltjes neerslaan en grafietlagen vormen. Zo groeit er een dicht "bos" van koolstof nanovezels op de schuimstructuur ("hairy foam"; rechts). Deze vezels hebben een groot oppervlak en fungeren als drager voor metalen katalysatordeeltjes.



In klassieke reactoren bevindt de katalysator zich in de poriën van de grote deeltjes (honderden micrometers tot millimeters) actieve koolstof (boven). Dat beperkt de reactie tussen de katalysator en de langsstromende vloeistof. Daarentegen stroomt vloeistof relatief gemakkelijk door het "bos" van de koolstof nanovezels op de schuimstructuur (onder). De metalen katalysatordeeltjes op de vezels zijn daardoor in direct contact met de stromende vloeistof. Recent werk in de groep van prof. Schouten bevestigt dit oorspronkelijke idee.

De harde schuimstructuur met daarop de katalysatordeeltjes kan eenvoudig worden aangebracht op de bladen van roerders in reactoren. Groot voordeel is dat de schuimroerders snel en gemakkelijk gewisseld kunnen worden, zodat achter elkaar in dezelfde reactor verschillende reacties en processen kunnen worden uitgevoerd. Tevens hoeven katalysatordeeltjes niet uit een slurry te worden gefilterd.



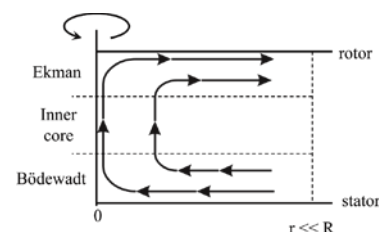
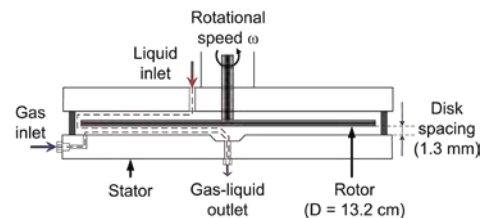
In 2006 startten prof.dr.ir. Jaap Schouten en dr.ir. John van der Schaaf in Eindhoven met onderzoek naar de ontwikkeling van een nieuwe type reactor, de roterende schijfreactor. Het onderzoek wordt gefinancierd uit de Simon Stevin Meester prijs die Schouten in 2006 ontving van de Technologiestichting STW. In 2008 werd dat onderzoek verder uitgebreid met financiering vanuit de prestigieuze Advanced Grant van de European Research Council die Schouten in dat jaar ontving. De bovenste figuur toont een rotor-stator reactor, waarbij een schijf ter grootte van een CD snel ronddraait in een vaste behuizing waarin aan de rand gas en vloeistof worden ingelaten. Bij lage rotatiesnelheden zijn duidelijk drie lagen zichtbaar in de vloeistof tussen de rotor en de stator. (Foto links)

worden door andere modules, afhankelijk van het gewenste product. We gaan waarschijnlijk ook nog een projectvoorstel, specifiek gericht op deze roterende schijfsystemen, indienen in het nieuwe PI-programma. Hopelijk wordt dat gehonoreerd. Dan kunnen we verder."

Micropaaltjes

Wat al wel gehonoreerd is, is de onderzoekssubsidie van MicroNed. In dat project werkt de groep van Schouten ondermeer samen met prof.dr. Han Gardeniers van het MESA⁺ nano-instituut van de Universiteit Twente en met het bedrijf LioniX in Enschede, dat zich bezighoudt met microsysteemtechnologie. Het doel van dit onderzoek is de zogenoemde pillared microreactor te ontwerpen die een grotere productiesnelheid heeft dan conventionele microreactoren zonder pilaartjes. Daarbij is, zoals eerder gesteld, de transportsnelheid van reactanten vaak de bepalende factor. De vraag is dan hoe je deze reagerende stoffen zo snel mogelijk bij de katalysator krijgt. De pillared microreactor bestaat uit kanalen die zijn bezaaid met micropaaltjes. Daaromheen worden koolstof nanovezels gedrapeerd waarop de 'katalysator van dienst' is aangebracht. Welke katalysator, is natuurlijk afhankelijk van de soort reactie die versneld moet worden.

MESA⁺ is verantwoordelijk voor de fabricage van de reactoren. Schoutens Twentse collega prof.dr.ir. Leon Lefferts is bij het project betrokken vanwege zijn kennis op het gebied van nanokoolstofvezels; Schouten en zijn groep "doen" het reactorontwerp. Schouten: "De pillared reactor is een mooi systeem, waarbij



De rechter foto toont een naar het centrum van de rotor spiraliserende stroom van gasbelletjes die van het inlaatpunt aan de rand van de schijf worden afgeslagen door de snel ronddraaiende vloeistof.

je ook nog eens kunt overwegen de paaltjes poreus te maken, zodat je via die paaltjes gas kan toevoeren. Hier zie je weer de voordelen om de kanaaltjes in sectoren te kunnen verdelen waar diverse 'bewerkingen' of reacties plaatsvinden. Wij houden ons bij dit project o.a. bezig met hydrogeneringsreacties, reacties waarbij waterstof zich verbindt met organische stoffen, maar de microreactor moet een generiek ding zijn, dat met allerlei typen reacties uit de voeten kan."

Samenwerking met industrie

We hebben er niet over gehad, maar het hoge woord moet er toch uit: geeft die intense samenwerking met de industrie voor een onderzoeker geen problemen? Een bedrijf wil de nieuwe kennis vooral voor zichzelf houden, terwijl een onderzoeker liever vandaag dan morgen publiceert en promovendi er natuurlijk aan gehouden zijn in vier jaar te promoveren aan de hand van een proefschrift met resultaten. Schouten heeft nooit problemen ondervonden.

"Je moet dat natuurlijk goed afspreken en wanneer een bedrijf geheimhouding zou eisen, dan zou dat voor mij een reden zijn om het project niet in die vorm te doen. Je kunt allerlei constructies verzinnen, want het is denkbaar dat een bedrijf bepaalde informatie niet naar buiten wil hebben, die voor het bedrijf wél, maar voor de onderzoeker niet wezenlijk is. Dan zou dat kunnen. Of wanneer een bedrijf wil experimenteren met de opstelling voor eigen toepassingen. Ook dat is mogelijk, maar dan betalen die bedrijven wel de gebruikelijke commerciële tarieven. Ook over het industrieel eigendom moet je goede afspraken maken. Voor ons is duidelijk: wij doen wetenschappelijk onderzoek en de samenwerking met een bedrijf mag daarbij niet beperkend zijn."

Die samenwerking is ook van belang omdat de groep van Schouten vooral met experimentele opstellingen werkt die nogal in de papieren lopen.

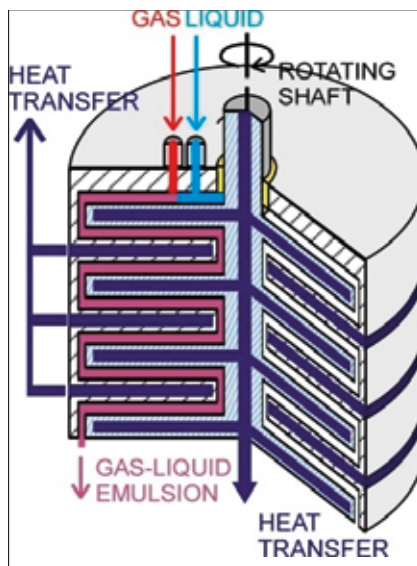
"Dan praat je over tonnen. We gebruiken weinig computers omdat de microreactoren nog niet bijster goed onderzocht zijn en de simulaties nog niet al te hoge voorspellende waarde hebben. We gebruiken wel standaard CFD-pakketten bij het reactorontwerp, maar metingen in de praktijk zullen toch moeten leren hoe het ècht in elkaar zit."

Dat zijn werk ook internationaal aanslaat bewijst de komst in 2005 als deeltijdhoogleraar naar Eindhoven van de, in kringen van microreactoren, wereldberoemde prof.dr. Volker Hessel van het Institut für Mikrotechnik Mainz (IMM). Hij is een week in de maand in Brabant.

"IMM is toonaangevend in Europa en het was mooi om hem hier binnen te halen. Dat is toch een impliciete erkenning voor het werk dat we hier doen als groep."



Voor nadere informatie over dit onderwerp, kunt u contact opnemen met prof.dr.ir. Jaap Schouten, e-mail j.c.schouten@tue.nl



Meervoudige sets van roterende schijven kunnen boven elkaar worden geplaatst waarbij uiteindelijk een complete chemische fabriek op een draaiende as wordt verkregen. De verschillende sets van ronddraaiende schijven vervullen verschillende procesfuncties, zoals menging van gassen en vloeistoffen, verpompen van vloeistoffen, verwarming en koeling van vloeistof en gas via de schijven, katalytische reactie m.b.v. een katalysator op de schijven,

en scheiding van componenten door extractie of destillatie. De verwachting is dat volumeverkleining ten opzichte van klassieke reactor- en scheidingssystemen met tientallen procenten of zelfs veel meer mogelijk is.



(Foto: DSM)

DSM heeft in haar fabriek in het Oostenrijkse Linz een microreactor in bedrijf genomen voor de productie van een grondstof voor onder andere coatings. Op de achtergrond hangt het oude geroerde vat van 10 m³ dat is vervangen door de microreactor met een intern reactievolume van 3 liter. Ondanks de beperkte afmetingen van 65 x 35 x 25 cm heeft deze door het Forschungszentrum Karlsruhe ontwikkelde microreactor een productiecapaciteit van 1700 kg per uur. De reactanten worden met elkaar in contact gebracht in tienduizenden microkanalen.



De productiecapaciteit van microreactoren kan makkelijk worden vergroot door de reactoren te stapelen. Deze stapeling van 10 parallele reactoren, ontwikkeld en geproduceerd door technologiebedrijf Micronit Microfluidics in Enschede, wordt momenteel geëvalueerd door DSM Pharmaceutical Products. De reactoren zijn opgebouwd uit verschillende lagen glas, waarin met behulp van lithografie-technieken en poederstralen kanalen zijn gemaakt. De verschillende lagen worden uiteindelijk met een thermisch proces tot één grote reactor van 100 milliliter samengevoegd.