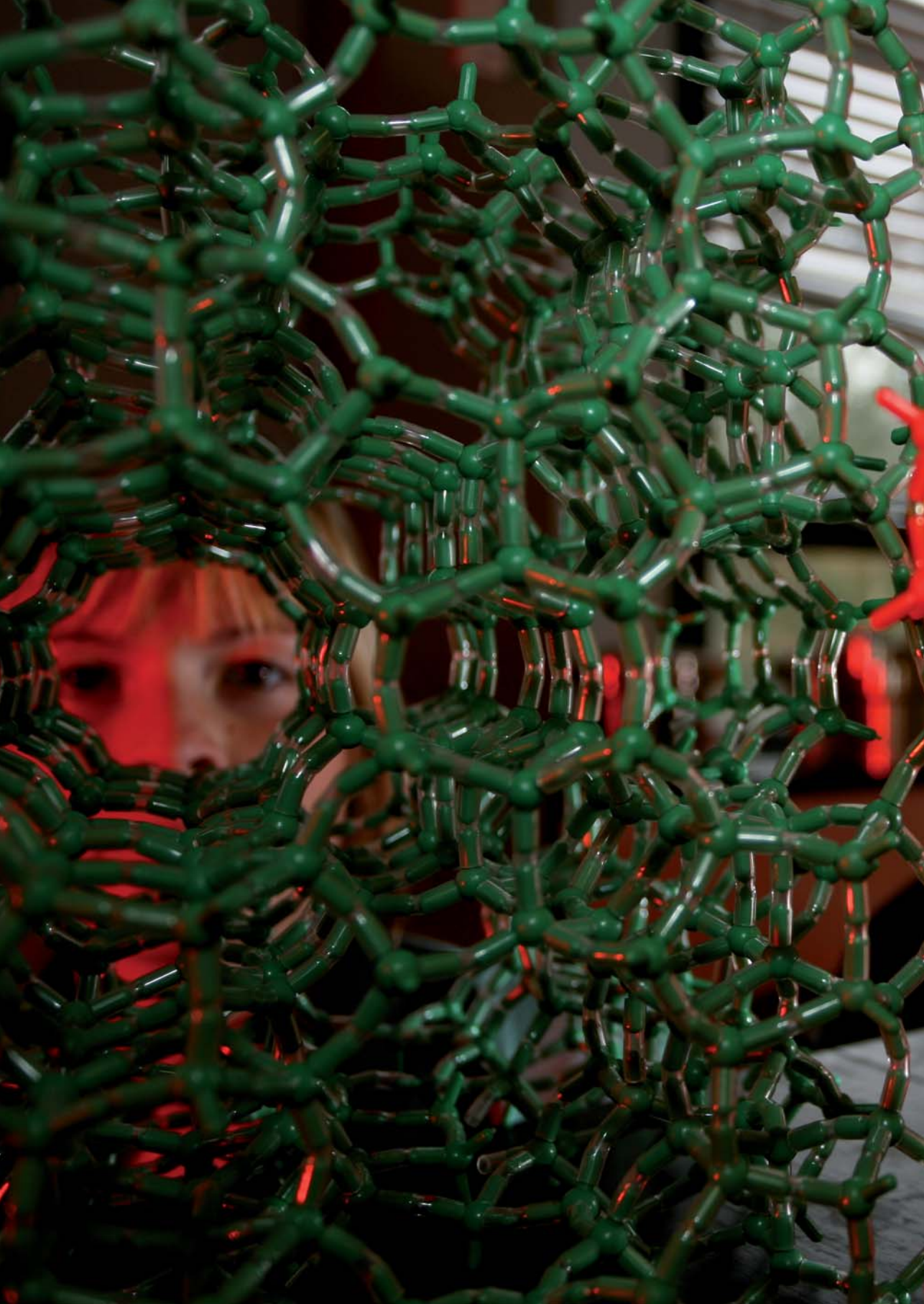
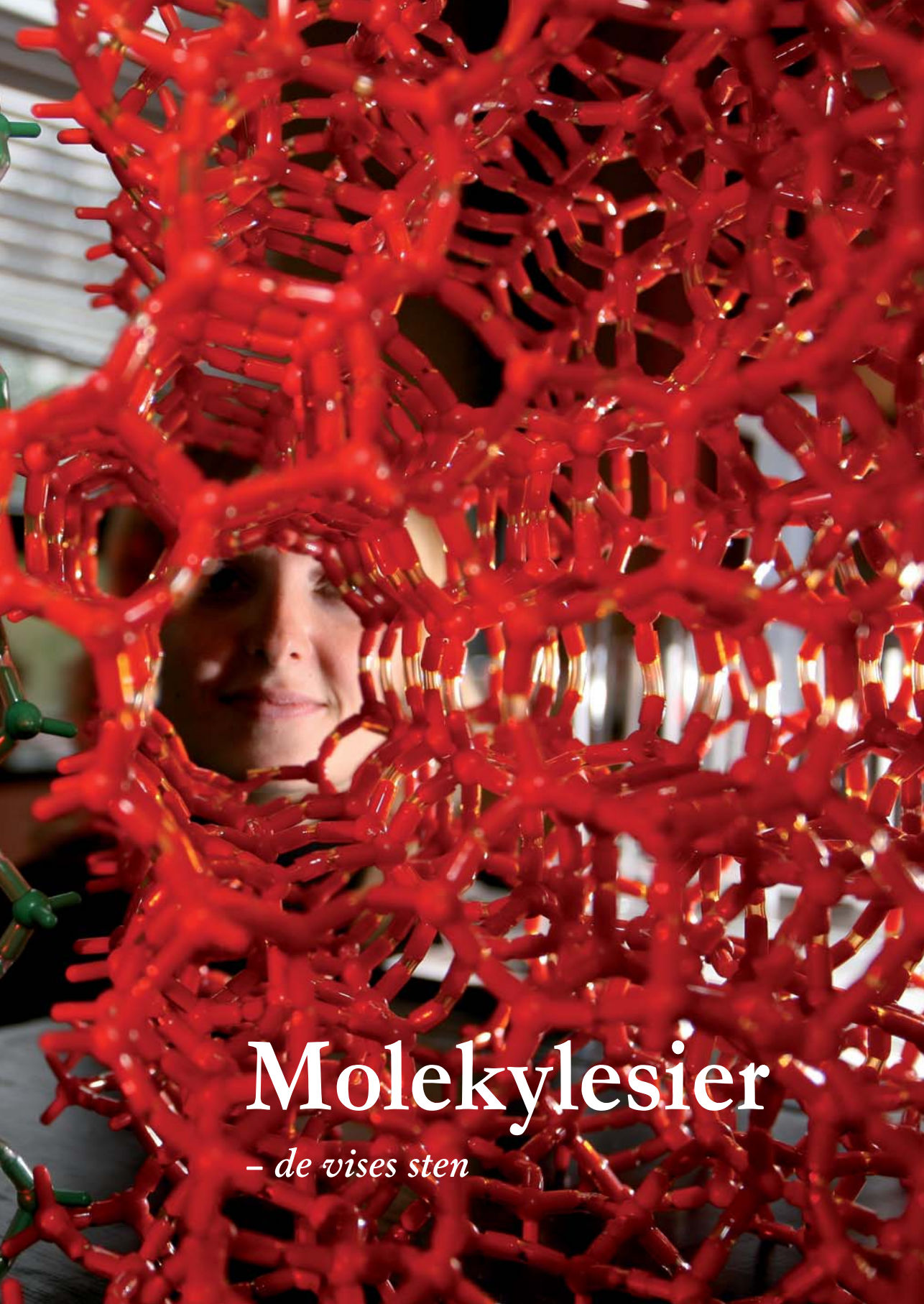




A woman's face is visible through a complex, three-dimensional molecular model made of red sticks and spheres. The model is dense and intricate, filling most of the frame. The woman's face is partially obscured by the structure, with her eyes and nose visible through the openings. The lighting is soft, highlighting the texture of the model and the woman's features.

Molekylesier

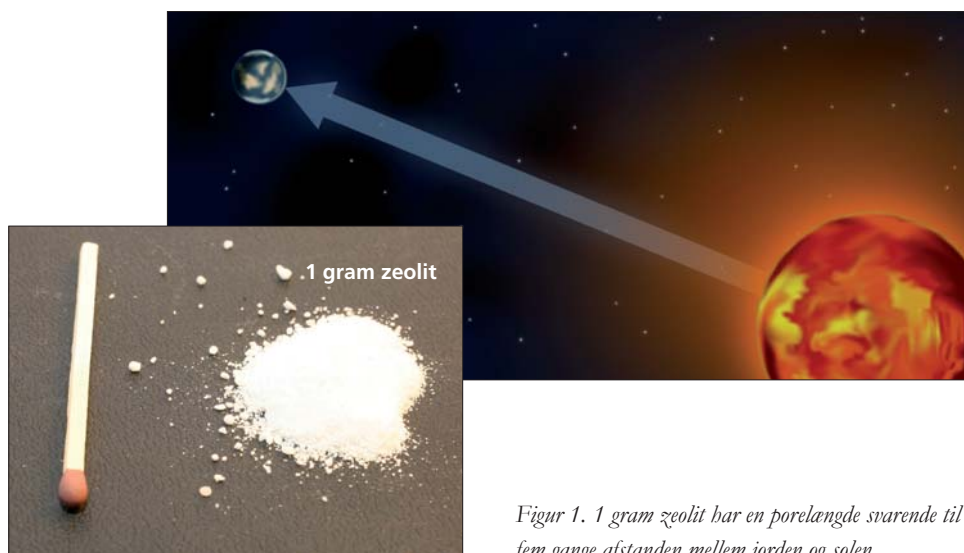
- de vises sten

En molekylesi er ganske enkelt et materiale, der er i stand til at si molekyler. Ligesom en almindelig si kan adskille objekter af varierende størrelse kan en molekylesi adskille små molekyler på basis af deres størrelse. For at et materiale kan fungere som en molekylesi skal dets porer være i samme størrelsesorden som små molekyler. Små molekyler med en diameter mindre end porerne kan derved komme ind i poresystemet, mens større molekyler må blive ude. Molekylsier spiller i dag en afgørende rolle i kemien. Ikke blot til at si molekyler, men også som faste syrer, vandsugende materialer, ionbyttere eller som katalysatorer. Alle disse anvendelser udspringer af molekylsiernes specielle struktur og kemi.

Hvad er molekylsier, og hvad bruges de til?

Vand er et relativt lille molekyle mens eksempelvis benzen er en del større. Hvis en molekylesi med en kanalstørrelse, der ligger mellem størrelsen af vandmolekylet og benzenmolekylet, hældes ned i en blanding af vand og ben-

zen, så vil udelukkende vandmolekyler kunne optages i molekylesien. Det er altså lykkedes at si vand fra benzen. Dette kan lade sig gøre, fordi molekylsier er meget porøse materialer med helt ensartet porestørrelse. Et porøst materiale er et materiale, der indeholder ganske små kanaler, kaldet porer.



Figur 1. 1 gram zeolit har en porelængde svarende til fem gange afstanden mellem jorden og solen.

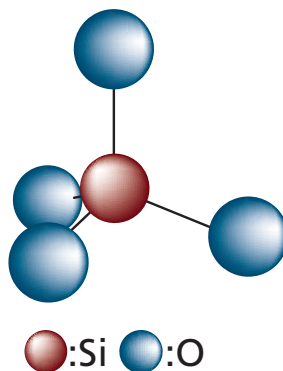
Den måske vigtigste gruppe af molekylesier er de såkaldte zeolitter. Zeolitter er en klasse af krystallinske forbindelser, der udmærker sig ved at være særligt porøse. Da zeolitter er krystallinske materialer, er deres opbygning, og dermed også deres porøsitet, særdeles veldefineret. Alle porerne i en zeolit med MEL-struktur er eksempelvis 0,55 nm i diameter (se næste afsnit). Faktisk er zeolitter så porøse, at hvert eneste atom i en zeolit er en del af dens overflade! Da alle atomerne er overfladeatomer har zeolitter generelt utroligt store overfladearealer. Faktisk svarer overfladearealet af 1 gram zeolit til arealet af en hel fodboldbane! Deres imponerende porøsitet kan man ogsåanskue på en anden måde: Hvis man forestiller sig, at alle kanalerne i 1 g zeolit udfoldes og lægges i forlængelse af hinanden, vil de tilsammen have en længde svarende til fem gange afstanden fra jorden til solen!

Betegnelsen zeolit, fra græsk zein (at koge) og lithos (sten), stammer fra den svenske mineralog A. F. Cronstedt, der tilbage i 1756 erfarede, at mineralet stilbit tabte store mængder vand under opvarmning. Siden er en række andre mineraler end stilbit også blevet klassificeret som zeolitter, således at der i dag kendes godt 50 naturligt forekommende zeolitmineraler. Ud over de naturligt forekommende zeolitmineraler har det også vist sig muligt at fremstille zeolitter syntetisk i laboratoriet, og antallet af kendte zeolitskrukturer er nu kommet op på mere end 170 forskellige. Dertil kommer at den kemiske sammensætning for mange zeolitter kan varieres på et nærmest uendeligt antal måder. Denne mangfoldighed gør zeolitter ganske unikke ud fra et materialekemisk synspunkt, da man er i stand til at skræddersy zeolitter til specifikke formål ved både at kontrollere porestrukturen og den kemiske sammensætning. Zeolitter vil derfor komme til at spille en stadig større rolle i fremtiden på grund af deres tilgængelighed som ”designer-

materialer”. Foruden funktionen som molekylesier finder zeolitter også stor anvendelse som heterogene katalysatorer i den kemiske industri, eller som ionbyttre i hverdagsprodukter som vaskepulver. Andre anvendelser er i kattegrus, hvor de sikrer en sugeevne svarende til mere end 500 bars tryk og i mellemrummet mellem de enkelte ruder i termoruder, hvor de opsuger evt. fugt og dermed sikrer et uforstyrret syn på omgivelserne.

Righoldig strukturkemi

Zeolitter består fortrinsvis af silicium og oxygen, men kan også indeholde en mindre mængde af andre grundstoffer som f.eks. aluminium. For en zeolit der kun består af silicium og oxygen, er den kemiske formel altså SiO_2 . Strukturelt er alle zeolitter opbygget af den samme elementære grundbyggesten, nemlig af *tetraedriske* SiO_4^{4-} -ioner, som er vist i figur 2 nedenfor. Hvis man binder (kondenserer) uendeligt mange SiO_4^{4-} -tetraedre sammen ved at bruge alle oxygenatomer som broatomer mellem siliciumatomer, så ender man med til slut med at have formelen SiO_2 . Eksempelvis får man på denne måde først $\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$ ved at binde to SiO_4^{4-} -tetraedre sammen og dernæst $\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$ ved at binde tre sammen således, at ilt- og siliciumatomer udgør en seks-leddet ring.



Figur 2. SiO_4^{4-} -tetraeder der har samme opbygning som eksempelvis methan.

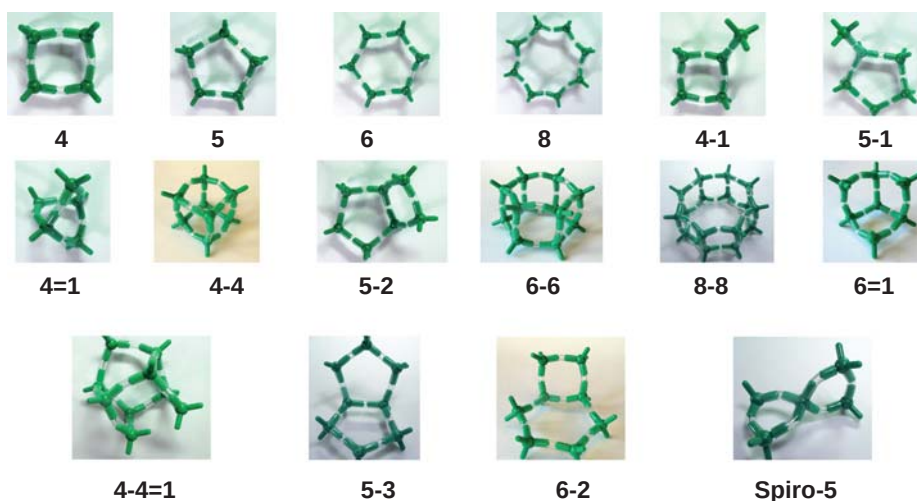
Disse tetraedre danner 3-dimensionelle netværk, idet hvert oxygenatom danner bro mellem to siliciumatomer. Det er netop de mange muligheder for opbygning af sådanne netværk, der gør zeolitternes strukturkemi så mangfoldig.

Størrelsen og geometrien af kanalerne er med til at karakterisere den enkelte zeolit. For at kunne skelne mellem de forskellige zeolitstrukturer, navngives de ved hjælp af en bogstavkode bestående af tre bogstaver, eksempelvis MFI eller MEL. Strukturen af netop disse to zeolitter er næsten den samme, blandt andet fordi de er bygget op af den samme såkaldte SBU-enhed, (se boks 1). I figur 3 vises kanalgeometrien for disse to forskellige zeolitter ved hjælp af balloner.

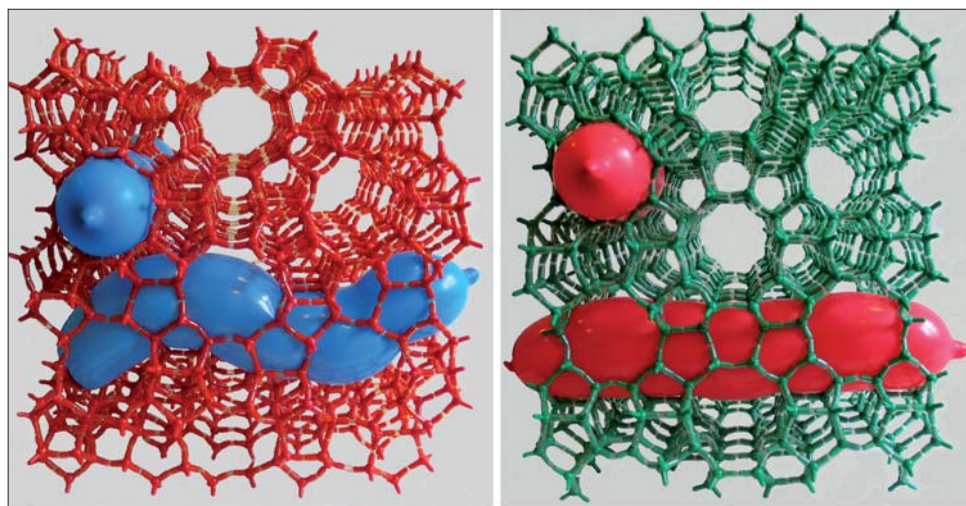
I figur 3 ses forskellen på MFI og MEL strukturerne tydeligt. I MFI strukturen findes to typer kanaler, nemlig lige og sinusformede, mens der i MEL strukturen kun er lige kanaler. I en molekylesammenhæng spiller kanalgeometrien ikke den store rolle. I denne sammenhæng er det mere kanalernes diametre, der er afgørende, og da kanalerne i MFI og MEL strukturerne er lige store, vil de to zeolitter have praktisk talt identiske molekylesiegenskaber. Anderledes forholder det sig med forskellige zeolitters katalytiske egenskaber. Her har både kanalgeometrien såvel som størrelsen stor betydning (se senere).

De fleste zeolitter er ikke udelukkende bygget op af SiO_4^{4-} -tetraedre. Silicium kan i større eller mindre udstrækning være udskiftet med aluminium så nogle af SiO_4^{4-} -enhederne er

De fleste af de mere end 170 kendte zeolitstrukturer kan konstrueres ud fra bare 18 forskellige grundbyggesten, hvoraf 16 ses i figuren nedenfor. Disse grundbyggesten, kaldet SBU-enheder (secondary building units), er alle opbygget af SiO_4^{4-} -tetraedre. Både MFI og MEL strukturtyperne er opbygget af byggestenen SBU 5-1. I princippet kan man forestille sig næsten uendelig mange forskellige zeolitstrukturer. Vi kender i dag, som sagt, 170 forskellige zeolitstrukturer, så der er masser af nye at opdage.



Boks 1. Secondary Building Units – SBU.



Figur 3. MFI og MEL zeolitter hvor porernes arkitektur er illustreret med balloner. (Foto: Susanne Helmark)

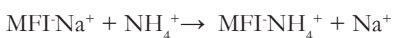
udskiftet af AlO_4^{5-} -enheder. Da aluminium har et lavere oxidationstrin (+3) end silicium (+4) vil det resulterende zeolitnetværk have et antal negative ladninger, svarende til antallet af siliciumatomer der er erstattet af aluminiumatomer. For at opnå en ladningsneutral zeolit er der således behov for kationer som f.eks. Na^+ , NH_4^+ , Mg^{2+} eller Ca^{2+} til at neutralisere netværket. Når simple kationer som disse indgår i zeolitterne, siges de derfor at være *ladningskompenserende kationer*. Ladningskompenserende kationer er derfor forskellige fra strukturelle kationer som Al^{3+} , som jo indgår i zeolitnetværket ved en såkaldt isomorf substitution af Si. Den kemiske formel for en zeolit, hvor nogle af siliciumatomerne er udskiftet med aluminiumatomer, er:



hvor M er den ladningskompenserende kation, n er ladningen af denne og x er antallet af aluminiumatomer i zeolitten. Udover aluminium kan siliciumatomerne også erstattes af andre metaller eller ikke-metaller, som f.eks. gallium, titan og fosfor.

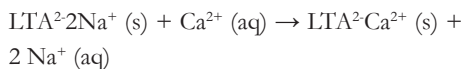
Molekylesier i miljøets tjeneste

De ladningskompenserende kationer er relativt svagt bundet til zeolitnetværket. Derfor kan de forholdsvis nemt skiftes ud med andre kationer. *Ionbytning* af en kation med en anden, dvs. udskiftning, foretages ganske enkelt ved at behandle zeolitten med en vandig opløsning indeholdende den ønskede kation i høj koncentration. Ønsker man f. eks. at ionbytte Na^+ med NH_4^+ kan man behandle zeolitten med en 1 M opløsning af NH_4NO_3 .



Det er nu ikke kun ionkoncentrationer, der spiller en rolle i forbindelse med ionbytning af de ladningskompenserende kationer. Også kationernes størrelse, zeolittens kanalgeometri og i høj grad også dens kemiske sammensætning er vigtige faktorer. For eksempel binder zeolit A, kaldet LTA, Ca^{2+} og Mg^{2+} ioner meget stærkere end Na^+ ioner, hvilket danner baggrund for denne zeolits anvendelse som blødgør i vaskepulver. Under tøjvask vil Na^+ ionerne i Na^+ -holdig zeolit A nemlig ionbyttes med de "hårde" Ca^{2+} og Mg^{2+} ioner, da de sidstnævnte bindes stærkere til zeolitnetværket.

Et reaktionsskema for udskiftning af Na^+ med Ca^{2+} kan skrives således:



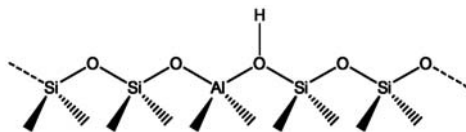
hvor LTA betegner zeolitten. Bemærk, at antallet af negative ladninger på zeolitstrukturen blot kan tilpasses til det støkiometrisk krævede, da der jo er næsten uendeligt mange ionbyttingspladser i en zeolitkrystal. Og jo blødere vaskevand er, dvs. jo lavere dets indhold af Ca^{2+} og Mg^{2+} ioner, desto mindre vaskeaktive stoffer skal der anvendes til en tøjvask. Vaskepulver indeholdende Na^+ -holdig zeolit A indeholder således også mindre mængder vaskeaktive stoffer, og belaster derved miljøet mindre end vaskepulver, der ikke indeholder blødgørere. Der anvendes årligt ca. 500.000 tons zeolitter til brug i vaskepulver.

Zeolitters egenskaber som ionbyttere anvendes også til spildevandsrensning for at fjerne NH_4^+ ioner, for spildevandet ledes ud i åer og søer. På rensningsanlæg føres spildevandet gennem kolonner pakket med f.eks. den naturligt forekommende zeolit klinoptilolit, som har en høj affinitet for NH_4^+ ioner. Således kan koncentrationen af NH_4^+ ioner reduceres til mindre end 2 ppm. Klinoptilolit er den eneste naturligt forekommende zeolit, der benyttes kommercielt i større skala.

Faste syrer og heterogene katalysatorer

Zeolitters måske vigtigste anvendelser er som heterogene katalysatorer i raffinaderiprocesser og i den kemiske industri. Langt de fleste af disse anvendelser er baseret på nogle zeolitters evne til at fungere som faste syrer. Vi kender alle væskeformige syrer som svovlsyre og saltsyre, som jo er syrer, fordi de kan protonisere molekyler som f.eks. vand eller ammoniak. På

samme måde kan sure zeolitter også protonisere molekyler, hvis zeolitten vel at mærke har protoner at donere. Og det er netop, hvad de har, hvis den ladningskompenserende kation i zeolitstrukturen er H^+ . Figur 4 viser en model af det såkaldte *sure site*, som opstår når H^+ virker som ladningskompenserende kation.

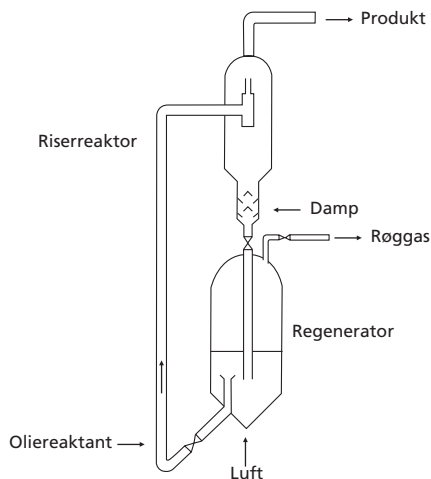


Figur 4. *Sure site*.

Antallet af sure sites i zeolitten hænger altså nøje sammen med antallet af aluminiumatomer, der findes i zeolitstrukturen. Der er netop ét surt site for hvert aluminium, som er substitueret ind i zeolitten. I praksis er grænsen for antallet af aluminiumatomer, der kan substitueres ind i en zeolit givet ved Löwensteins regel, der siger, at aluminiumatomer aldrig kan være naboer. Der findes altså ikke Al-O-Al bindinger i en zeolit, og derved bliver forholdet mellem Al/Si maksimalt på 1. Normalt er det således ret let at regulere, hvor mange sure sites en zeolit skal have, da man ganske simpelt kan justere forholdet mellem silicium og aluminium i en zeolit under dens fremstilling. Sure zeolitter anvendes som katalysatorer i rigtig mange vigtige processer, f.eks. til kraking af råolie (se boks 2).

Foruden egenskaber som faste syrer er det i industriel sammenhæng afgørende, at man også kan udnytte zeolitters molekylesiegenskaber. Det er nemlig sådan, at zeolitternes veldefinerede strukturer, ikke mindst deres porestruktur, bevirker, at de udviser en særlig form for selektivitet, kaldet formselektivitet. Denne formselektivitet opstår, fordi størrelsen og geometrien af zeolittens porer sætter fysiske grænser for, hvilke reaktioner der rent faktisk

Fluid catalytic cracking, populært kaldet FCC-proces- sen, er en af verdens allerstørste kemiske processer. I processen nedbrydes store tunge kulbrinter til mindre, mere anvendelige kulbrinter. Man siger råolien *krakkes*. Hele 40 % af al benzin i verden fremstilles via FCC-pro- cessen. Det svarer til, at der daglig behandles 2 milliarder liter olie på verdensplan! En skematisk illustration af en FCC-reaktor er vist nedenfor.



Olien forvarmes og ledes ind i bunden af reaktoren, hvor den blandes med katalysatoren. Blandingen vil bevæge sig opad i riserreaktoren som følge af den voldsomme ekspansion, der opstår, når de mindre kulbrinter for- damper og de større omdannes til mindre kulbrinter. Ved de høje temperaturer, som reaktionen foregår ved, vil der uundgåeligt dannes noget kul på katalysa- toren. Dette vil forårsage en nedsat aktivitet, men kul- let kan dog brændes af under dannelse af CO_2 og H_2O , hvorefter katalysatoren igen er klar til brug.

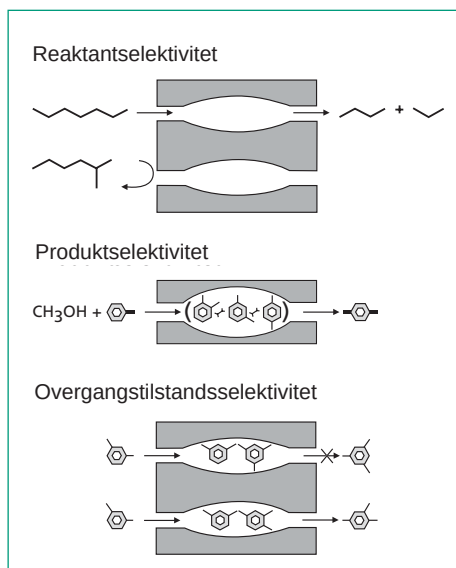
I dag anvender man en katalysator, hvor zeolitkrystal- lerne bindes sammen af kaolin (en billig lerart). Dette danner en porøs struktur, der gør adgangen til zeo- litkrystallerne nem for både reaktanter og produkter. Det er essentielt at vælge den rette zeolitkatalysator til FCC- processen, idet det er muligt at mindske kuldannelsen på katalysatoren betydeligt og derved forlænge dens levetid. Zeolit Y, som er den kommercielt anvendte zeolit i FCC, har så små kanaler, at der ikke rigtig er plads til, at dannelsen af kul kan forekomme.

Boks2. Fluid Catalytic Cracking – FCC.



Kapitlets forfattere er fra venstre ph.d. studerende Kresten Egeblad, specialestuderende Sofie Egholm Christiansen, professor Claus Hviid Christensen og specialestuderende Karen Thrane Leth.

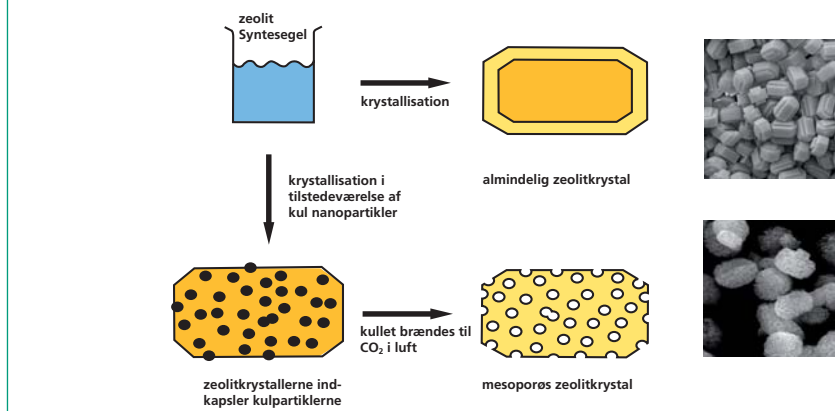
kan foregå inde i strukturen. I figur 5 vises en skematisk illustration af de tre former for formselektiviteter, nemlig reaktant-, produkt- og overgangstilstandsselektivitet.



Figur 5. Tre typer af formselektivitet.

Reaktantselektivitet betyder, at det kun er reaktanter med den helt rette form og størrelse, der kan komme ind til de katalytisk aktive (sure) sites, der alle findes inde i poresystemet, og dermed reagere. Øvrige reaktanter er simpelthen for store til at komme ind i kanalerne og bliver således ikke omdannet. Produktselektivitet gør sig gældende, hvis der kan dannes flere forskellige produkter i en kemisk reaktion. I dette tilfælde er det nemlig kun produkter med den rette form og størrelse, der kan slippe ud af poresystemet efter reaktion. Eventuelle produkter som er for store til at diffundere gennem kanalerne må nødvendigvis omdannes til mindre molekyler inden de kan diffundere ud af poresystemet. Den sidste type formselektivitet, overgangstilstandsselektivitet kan udvises, hvis en reaktion kan forløbe ad flere mulige reaktionsveje med hver deres overgangstilstand således, at det kun er reaktionsveje, hvor overgangstilstandsmolekylet kan være i kanalerne, der kan gennemføres.

Zeoliters lange kanaler kan til tider skabe problemer med hensyn til diffusion. Dette har særlig stor betydning, hvis reaktionen er diffusionsbegrænset, altså hvor reaktionstiden er markant lavere end den tid, det tager for reaktanterne at komme ind i zeolitten. For at kompensere for dette kan der fremstilles såkaldte *mesoporøse* zeolitter. Mesoporøse zeolitter har nøjagtig samme fysiske og kemiske egenskaber som de konventionelle, den eneste forskel er, at mesoporøse zeolitter også indeholder kanaler af størrelsen 100-200Å, hvor de konventionelle kun har kanaler, som ligger i størrelsen 5-20Å. Mesoporøse zeolitter kan fremstilles under tilstedeværelsen af kulstofnanorør, som hver enkelt zeolitkrystal bygger sit netværk op omkring og indkapsler. Efter strukturen er komplet, kan nanorørene fjernes ved hjælp af opvarmning i luft, hvorved kulstof omdannes til CO_2 . Ved at fremstille zeolitter på denne måde, får zeolitten – udover sine naturlige kanaler – også kanaler i nanostørrelsen. Dette ekstra netværk af kanaler tillader, at et større antal molekyler kan komme uhindret ud og ind ad kanalerne, således at en større del af zeolitten udnyttes i en katalytisk reaktion (se de gule zoner). En effekt er, at de mesoporøse zeolitter er mere aktive katalysatorer end de konventionelle, fordi der er nemmere adgang til de aktive centre.



Boks 3. Mesoporøse zeolitter.

Omkring 500.000 tons zeolitter om året
anvendes som ionbyttere i vaskepulver.



koncentreret
til kulørt vask

Irmas
tusindfryd

**COLOR
MASKINVASK®**

koncentreret
til kulørt vask

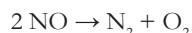
uden blegemiddel og optisk hvidt
effektiv ved 30°C

2 kg



Katalysatorer til en drømme-reaktion?

En af de helt store miljøudfordringer i dag er at fjerne nitrogenoxider, NO_x 'er, fra både bilers udstødningsgas og fra skorstensrøg fra forbrændingsanlæg. Nitrogenoxider forårsager ikke kun smogdannelse og syreregn, men kan også medvirke til dannelse af uønsket ozon i de lavere luftlag. NO_x består hovedsagelig af nitrogenoxiderne NO og NO_2 . I dag fjernes NO primært ved selektiv katalytisk reduktion (SCR), hvor NO reduceres til det uskadelige N_2 over en katalysator bestående af vanadium pentaoxid, V_2O_5 . Ulempen ved denne proces er, at der skal anvendes ammoniak som reduktionsmiddel, og ammoniak kan have fatale konsekvenser for miljøet i tilfælde af udslip. I dag findes der ikke nogle realistiske alternativer til SCR, men en kemisk drømme-reaktion er selvfølgelig at dekomponere NO til molekylært kvælstof og ilt, som jo uden videre kan udledes til atmosfæren:



For nylig har det vist sig, at visse kobberhol-

dige zeolitter er særdeles aktive katalysatorer for denne reaktion, nemlig Cu-MFI og Cu-MEL. Som beskrevet tidligere minder zeolitterne MFI og MEL strukturelt meget om hinanden, de er opbygget af samme byggesten og har stort set lige store porer. Til gengæld har deres kanaler forskellig geometri, idet MFI har både lige og sinusformede kanaler, mens MEL udelukkende har lige kanaler, som beskrevet tidligere. Denne forskel i kanalgeometri viser sig at være afgørende for Cu-holdige zeolitters katalytiske aktivitet i direkte NO dekomponering, da Cu-MEL faktisk er dobbelt så aktiv som Cu-MFI. Disse resultater tyder på, at reaktionen fortrinsvis er knyttet til de lige kanaler, og at tilstedeværelsen af de sinusformede kanaler ikke har nogen signifikant betydning for den katalytiske aktivitet. Grunden til at de sinusformede kanaler ikke bidrager væsentligt til omdannelsen af NO , kan forstås på to måder: Enten tillader de sinusformede kanaler ikke, at de aktive Cu^{2+} ioner kommer ind, ellers kan der opstå diffusionsproblemer, fordi det er sværere for molekyler at bevæge sig gennem meget små snoede kanaler end igennem helt lige.



En af de helt store miljøudfordringer i dag er at fjerne nitrogenoxider, NO_x 'er, fra eksempelvis bilers udstødningsgas. Hvis man kunne dekomponere NO til molekylært kvælstof og ilt, som uden videre kan udledes til atmosfæren, ville meget forurening kunne undgås. For nylig har det faktisk vist sig, at visse kobberholdige zeolitter er særdeles aktive katalysatorer for denne reaktion.

Designermaterialer

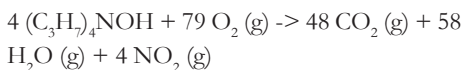
Naturligt forekommende zeolitter er ikke nær så anvendelige som de syntetiserede zeolitter. De naturlige former indeholder som regel urenheder, som f.eks. metalioner og de har mere defekte krystalstrukturer. Naturlig zeolitter er med andre ord mindre krystallinske end laboratorieprodukter. Desuden har en naturlig zeolit som regel mindre poreåbninger end samme type syntetiske zeolit. Netop poreåbningernes størrelse har stor betydning for, hvor hurtigt reaktanter trænger ind i en zeolits katalytisk aktive poresystem, og derfor er syntetisk fremstillede zeolitter ofte at foretrække som heterogene katalysatorer. En anden væsentlig fordel ved syntetisk fremstillede zeolitter er det tidsmæssige aspekt. I laboratoriet kan zeolitter syntetiseres i løbet af få dage, mens zeolitminerale i naturen tager millioner af år om at færdigudvikles. Med en mikrobølgeovn kan en syntetisk zeolit endda nogle gange fremstilles på under en halv time. Hastigheden af syntesen er et fænomen, som endnu ikke er forstået. Den gængse metode til zeolitfremstilling er ved relativt langsom krystallisation af en såkaldt syntesegel, se figur 6.

En syntesegel er ofte et to-fase system bestående af fast stof og væske. Udover at indeholde de komponenter der skal indgå i zeolitten, indeholder gelen ofte også en såkaldt organisk skabelon. Den organiske skabelon har afgørende betydning for, hvilken type zeolit der dannes, idet dens struktur i nogen grad bestemmer udformningen og størrelsen af kanaler og eventuelle hulrum. Når man har lavet en gel med de ønskede ingredienser, krystalliseres denne i en tæt lukket beholder under hydrotermale betingelser, dvs. under højt vanddamptryk og temperatur på ca. 100-200 °C. Efter krystallisation fjernes den organiske skabelon ved at opvarme råproduktet i luft ved ca. 500 °C, hvorved den nedbrydes til nitrogenoxider, carbondioxid og vanddamp. Dette



Figur 6. Syntesegel til fremstilling af zeolitter.

trin kaldes kalcinering. Et eksempel på dette er nedbrydningen af TPAOH (tetrapropylammonium hydroxid), som anvendes som organisk skabelon i fremstillingen af MFI zeolitten. Reaktionsligningen kan opskrives som:



Ofte indeholder de fremstillede zeolitter natrium som ladningskompenserende kation, når syntesen netop er overstået, men den kan dog nemt skiftes ud med eksempelvis hydrogen ved hjælp af ionbytning.

For at sikre at man har fremstillet den ønskede zeolit, benyttes ofte røntgenkrystallografi, en analyseteknik, der muliggør dannelse af 3D-billeder af zeolittens enhedscelle så man kan fastlægge den rummelige struktur.

Zeolitter i fremtiden

Verden over forskes intensivt i zeolitter, deres struktur, kemi og anvendelser. På trods af den massive indsats ved man fortsat ikke, hvorfor det er muligt at fremstille zeolitter i mikrobølgeovne med hidtil uset effektivitet, og der er stadig ingen, som præcis kan forudsige hvilken zeolitstruktur, der vil dannes i en ny syntese. Hvis det lykkedes at klarlægge og systematisere disse uafklarede spørgsmål, ligger vejen åben til en ufattelig mængde nye strukturtyper. Materialer der både kan bruges til fremstilling af omkring 40 % af al verdens benzin, og samtidig også er en afgørende ingrediens i kattegrus, har naturligvis et væld af øvrige anvendelsesmuligheder.

Der opdages for tiden omkring 5 nye zeolitter hvert år, og i fremtiden vil nye materialer

med helt nye egenskaber fortsat dukke op. Det betyder helt nye muligheder for anvendelser, og vi har ikke engang nået at afdække hele potentialet i de 170 zeolitter, som vi i dag har til rådighed. For ganske nyligt blev det påvist, at zeolitter, pga. deres høje porøsitet, kan være ekstremt gode isolatorer. Nu undersøges dette nærmere med henblik på at kunne samle flere computerchips på mindre plads. Det er ligeledes blevet vist, at zeolitter kan fange og nedbryde nogle af de skadelige partikler fra dieselmotorer. Mange forskere ser nu på det område i forhold til udvikling af fremtidens miljøteknologier. Der er fortsat masser af helt grundlæggende ting at opdage inden for molekylsiverdenen. Opdagelser, som bare venter på at blive anvendt i det virkelige liv. Molekylsiverden har virkelig potentiale som de vises sten.

Forfattere



*Speciestuderende Sofie
Egholm Christiansen*



*Speciestuderende
Karen Thrane Leth*



*Ph.d. studerende
Kresten Egeblad*



*Professor Claus
Hvüid Christensen*

For ganske nyligt blev det påvist, at zeolitter kan være ekstremt gode isolatorer. Nu undersøges dette nærmere med henblik på at kunne samle flere computerchips på mindre plads.

