

# Chemische Feitelijkheden

#334

Editie 83

juli 2017

Harmen Kamminga



## Keramiek

### Van tegel tot micro-elektronica

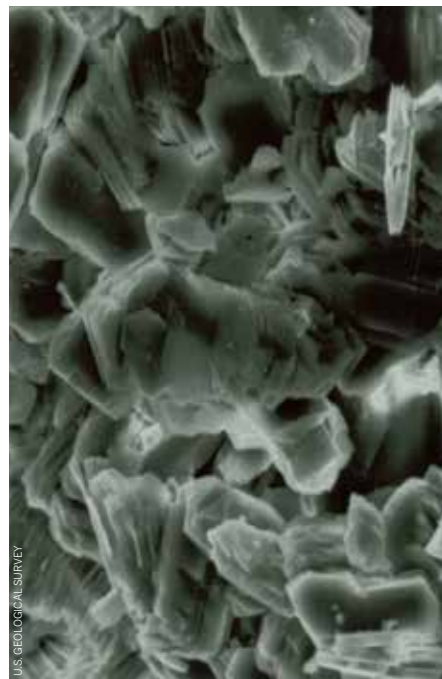
Bij keramiek denken weinig mensen direct aan scheikunde of materiaalwetenschappen. Een keramist is een pottenbakker. Scheikunde houdt zich veel meer bezig met metalen en hun zouten, polymeren en organische verbindingen. Toch is keramiek een van de oudste door mensen gefabriceerde materialen. Het vormt een van de fundamenteën van zowel de chemie als van onze manier van leven. Sinds mensenheugenis omgeven wij ons met keramiek. Van servies tot bakstenen, dakpan-

nen, wand- en vloertegels, wastafels en wc-potten, ramen, bloempotten, sculpturen en sieraden, stoeptegels, rioolbuizen en onderdelen van kookplaten, cv-ketels, waterkranen en zo'n beetje alle elektronica in onze leefomgeving. Keramisch materiaal is zo alomtegenwoordig dat het nauwelijks nog opvalt. Maar wat is keramiek eigenlijk? Hoe zit het chemisch in elkaar? En wat kun je er nog meer mee dan bouwen of bewaren voor de eeuwigheid?

# Van tegel tot micro-elektronica

*Keramik is het stadium van eenvoudig gebruiksvoorwerp of kunstvoorwerp allang ontstegen. Afhankelijk van de microstructuur heeft het materiaal bijzondere magnetische, elektrische, optische of biochemische eigenschappen. De toepassingen zijn hierdoor talrijk.*

In ons dagelijks leven zijn we voortdurend omringd door keramische materialen. Dat de wc-pot, servies, tegels, bakstenen en dakpannen ervan zijn gemaakt, ligt voor de hand. Maar je vindt keramik ook in ledlampen, de luidsprekers van je koptelefoontje, de honderden microscopisch kleine condensatoren in je smartphone, de betere kwaliteit kogellagers en remschijven, op boorbitsjes en op de snijvlakken van messen. Dat is best indrukwekkend voor een materiaal dat je misschien vooral associeert met een workshop pottenbakken.



Een scanning elektronenmicroscop (SEM) kan bij zeer hoge vergroting (x 1.340 bij deze opname) de structuur van kleikristallen in vlakke laagjes zichtbaar maken.

De associatie met pottenbakken is overigens niet vreemd. Het woord keramik komt van het oud-Griekse *keramikos*, dat zoveel betekent als voorwerp van pottenbakkersklei. Tegen de tijd dat de oude Grieken hun aardewerk keramik gingen noemen, waren overigens al duizenden jaren van pottenbakken voorbijgegaan.

## Gebakken klei

Klei komt overal ter wereld voor en waarschijnlijk ontdekten verschillende groepen mensen onafhankelijk van elkaar en op diverse momenten hoe je aardewerk vervaardigt. In Japan zijn potscherven gevonden van naar schatting 15.000 tot 16.500 jaar oud. Langs de Nijl maakten de oude Egyptenaren in elk geval 10.000 jaar geleden al aardewerk.

Voorwerpen van klei drogen en bakken in open vuur, zoals aanvankelijk gebeurde, leverde slijt- en vormvaste, maar veelal porieuze bouwmaterialen en graanpotten op. Vloeistofdichte potten vergen langer hogere temperaturen dan de 600 tot 800 °C die je in open vuur kunt halen. Afhankelijk van de precieze chemische samenstelling van de klei, gaan de atomen aan de gewelfde randen van de kleideeltjes zich pas bij temperaturen boven 850 °C zodanig herschikken dat de deeltjes een meer afgeplat oppervlak krijgen, waardoor ze compacter in elkaar kunnen schuiven. Dit proces heet sinteren. Door te sinteren bij hoge temperaturen gaat de klei over in een zeer hard, dicht materiaal. De kleine, steeds meer afgeplatte kleideeltjes vullen daarbij ook de microscopische holtes die ontstaan door de verbranding van in de klei aanwezige organische vervuiling. Die heter gebakken keramik noemen pottenbakkers steen-

goed. De uitvinding van de broodoven maakte dat ze in Mesopotamië vanaf ongeveer 8.000 v. Chr. steengoed konden bakken op beheerste hoge temperaturen tot zo'n 1.200 °C.

## Bandkeramik en trechterbekers

Overal ter wereld leerden mensen gaandeweg het materiaal maken en gebruiken. (Zie ook kader 'Blast from the past'). Veel van de vroegste sporen van onze geschiedenis bestaan uit resten keramik. De verschijningsvorm, denk bijvoorbeeld aan bandkeramik of trechterbekers, geeft archeologen houvast als ze hun vondsten in de tijd ordenen. Daarnaast bestuderen zij in toenemende mate ook de fysische en de chemische samenstelling van keramikresten. Zulk onderzoek verschaft waardevolle aanwijzingen over de herkomst van de grondstoffen, over de gebruikte toevoegingen en over de productiewijze en de baktemperatuur. Het geeft onderzoekers een indruk van de technische vaardigheden van de oorspronkelijke pottenbakkers. Nog altijd vormt klei de belangrijkste grondstof voor veelgebruikte traditionele keramische materialen. Klei vormt zich doordat zeer kleine schilfertjes van aardmineralen uit water neerslaan. Individuele kleischilfers zijn meestal kleiner dan 2 µm. Net als in de rest van de aardkorst, waarvan de deeltjes afkomstig zijn, bestaan die minuscule kleischilfertjes (lutum) voornamelijk uit de elementen silicium, aluminium en zuurstof. Door de ligging aan de benedenloop van grote rivieren en op de voormalige zeebodem, bevat de Nederlandse ondergrond rijke kleivoorraden.



► **Blast from the past**

Misschien hadden zij nog helemaal niet de bedoeling om aardewerk te maken. Wellicht vermengden zij de klei uit het stroompje waarlangs zij leefden alleen maar met vermalen mammoetbotten om het beter kneedbaar te maken, zodat zij er gemakkelijker hun poppetjes van leeuwen, mammoeten, paarden, neushoorns en mooie vrouwen van konden kleien. Het zou kunnen dat de uitgegraven vuurplaatsen waar zij hun werkstukjes in brandden nog niet bedoeld waren om in te bakken en stopten ze de klei zelfs met opzet nat in die ovens, om de figuren ritueel uit elkaar te zien spatten. Of misschien wisten ze nog niet dat je met klei de kachel niet kunt aanmaken of dat je voor een meer duurzaam resultaat de klei voor het branden eerst goed moet laten drogen. Het blijft gissen. Hoe dan ook, de mammoetjagers die rondtrokken in de buurt van waar nu het dorpje Dolní Věstonice in Tsjechië ligt, hebben de ongeveer 2.300 kleifiguren en de primitieve ovens die archeologen daar tussen 1924 en 1938 terugvonden niet zomaar gemaakt. Ze leren ons dat deze mensen in de weer waren met klei vormen en bakken en dus keramiek maken. En dat de door hen vervaardigde voorwerpen 30.000 jaar later nog altijd bestaan.



In 1925 vonden archeologen bij het Tsjechische plaatsje Dolní Věstonice dit 11 cm hoge beeldje. Het vrouwenfiguurtje is zo'n 30.000 jaar geleden gemaakt en is daarmee het oudste keramische voorwerp ooit gevonden.



**Kristallen in laagjes**

Anders dan zand, dat in wezen bestaat uit hele kleine rotsblokjes, kristalliseren kleimineralen uit in vlakke laagjes van enkele kristallen dik, met door hun vorm en chemische samenstelling een meer positief en een meer negatief geladen kant. Het verschil in polariteit leidt tot aantrekking en daaropvolgend stapeling van de kristallaagjes. Bovendien maakt het dat kleimineralen goed water (eveneens polair) vasthouden. Ten opzichte van de sterke chemische binding binnen het kleikristal, zijn de bindingen tussen afzonderlijke laagjes relatief zwak. Dat geeft klei zijn schilferige karakter. Klei is geen homogene chemische stof. De keramiekgrondstof bestaat uit mengsels van diverse kleimineralen, die mede op ba-

sis van hun chemische samenstelling en microstructuur meestal worden onderverdeeld in de drie groepen illiet, smectiet en kaoliniet. De precieze samenstelling en de verdeling van de verschillende kleimineralen in een klei en dus ook in de resulterende keramiek variëren met de herkomst van de klei.

**Bakken verandert de structuur**

De verhitting van de klei tijdens het bakken geeft aanleiding tot een aantal processen die de structuur en het uiterlijk van het materiaal veranderen. Verhitting tot boven het kookpunt van water (100 °C) zorgt er in eerste instantie voor dat het vrije water dat zich nog in de drogende klei bevindt verdampt en als stoom de klei verlaat. Bij

wat hogere temperaturen gaan organische bestanddelen en zwavelhoudende verbindingen in de klei oxideren. Ondanks die veranderingen kun je tot 300 °C sterk gedroogde klei met enig geduld en voldoende water terugvormen tot natte, bewerkbare klei. Verhitting tot hogere temperaturen heeft veranderingen in de kristalstructuren van verscheidene ingrediënten van de klei tot gevolg. Zo gaan vanaf 573 °C SiO<sub>2</sub>-kristallen van een overwegend trigonale (romboëdrische) naar een hexagonale structuur (de zogenoemde kwartssprong). Bij afkoelen onder die temperatuur keert het materiaal terug in zijn trigonale vorm. Klei sinteren, waarbij het product sterk krimpt en zeer verhardt en verdicht, gebeurt pas boven de 850 °C, een tempera-

tuur die de ovens van de meeste hobbykeramisten niet halen. Traditioneel keramiek heeft na het bakken veelal een andere kleur dan de klei aanvankelijk had. De aanwezige organische materialen bepalen grotendeels de kleur van (natte) klei. Die verdwijnen als je de klei verhit. Bij zeer zuivere klei, zoals de kaolien die je gebruikt om porselein te vervaardigen, levert dit in principe een helder wit eindresultaat. De aanwezigheid van bepaalde metalen en hun oxides kunnen keramiek echter een andere kleur geven. In de praktijk speelt vooral de aanwezigheid van ijzeroxides een rol: zelfs een zeer gering ijzeroxidegehalte geeft gebakken klei al een geelbruine kleur, terwijl een hoog gehalte aan ijzeroxides een intens donkerrode kleur tot gevolg kan hebben. Daarnaast zijn de hoeveelheid zuurstof in de bakatmosfeer en de hoogte van de baktemperatuur medebepalend voor de uiteindelijke kleur.

**Glazuren**

Om keramische voorwerpen waterdicht en slijtvaster te maken, ze te beschermen tegen de inwerking van vuil en chemische verwerking en om ze te verfriaaien, breng je aan de oppervlakken van het materiaal vaak een dun glasachtig laagje aan. Dit kan al door zout of soda aan te brengen op het voorwerp en dit op hoge temperatuur (meestal tussen 1.100 en 1.250 °C) mee te bakken. De kationen uit het toegevoegde zout vormen, samen met reeds in de aardewerk aanwezige metaaloxiden, een dunne, gladde en harde oxidelaag aan het oppervlak. De meeste glazuren bestaan echter voor het grootste deel uit de 'glasvormer' siliciumdioxide (SiO<sub>2</sub>), meestal toegevoegd als kwartszand of veldspaat, samen met kaolien (Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub>) als bindmiddel en carbonaten van alkalimetalen (bijvoorbeeld Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, soda) als 'smeltmiddelen'. Hoe het glazuur zich precies vormt, hangt meer af van de precieze verhouding tussen de verschillende grondstoffen, hun structurele eigenschappen en aanwezige defecten en vervuilingen en de baktemperatuur dan van de elementaire chemische samenstelling. Dit maakt glazuren en kennis daarvan meer een ambacht dan een exacte wetenschap. Zeer veel bouwmaterialen en gebruiksvoorwerpen krijgen een keramische gla-

zuurlaag. Ook metalen oppervlakken, zoals de omkasting van wasmachines of de anti-aanbaklaag in metalen pannen, maak je met een keramisch glazuur glad, waterdicht en corrosie- en vuilbestendig. Dit glazuur heet email.

**Bredere definitie**

Uit de introductie van glazuur als keramisch materiaal blijkt al dat de definitie van keramiek breder is dan enkel materiaal op basis van gebakken klei. De materiaalkunde noemt elke anorganische vaste stof die niet bestaat uit alleen maar metaal-atomen een keramisch materiaal. Keramische materialen bestaan dus altijd uit meerdere soorten atomen. Het zijn vaste stoffen die zijn opgebouwd uit niet-metaal-atomen en/of halfmetalen, al dan

► **Microstructuur in kaart brengen**

Bij keramische materialen bepaalt de microstructuur de precieze materiaaleigenschappen. Pas sinds de tweede helft van de twintigste eeuw is het mogelijk om die microstructuur ook daadwerkelijk in kaart te brengen. Een techniek die onderzoekers hiervoor nu veel gebruiken is röntgendiffractie, in dit geval ook wel röntgenkristallografie genoemd.

In een speciaal meetinstrument, de refractometer, bestraal je preparaten van keramisch materiaal met röntgenstraling. De kortgolvi-ge straling botst met de atomen en elektronen in het materiaal, wat leidt tot afbuiging, weerkaatsing en verstrooiing. Door vanuit verschillende hoeken de variatie in stralingsintensiteit te meten, kun je de grootte en de precieze locatie van de verschillende atomen in een kristal ten opzichte van elkaar nauwkeurig berekenen.

Door de snelle verbeteringen in meetapparatuur en vooral in de reken capaciteit van computers, is het voor materiaalonderzoekers in toenemende mate routinewerk aan het worden om driedimensionale kristalstructuren, defecten daarin en bijvoorbeeld fase-overgangen in keramisch materiaal te bepalen.

niet samen met metaalatomen. Ionogene en covalente bindingen zijn de belangrijkste krachten die de atomen in het materiaal bijeenhouden.

Veel keramische materialen hebben duidelijke kristalstructuren, maar ook glasachtige en amorf keramische materialen komen voor. In feite kunnen dus vrijwel alle elementen, door middel van bijna elk type chemische binding, in vrijwel elke mate van kristallisatie of chaotische ordening, deel uitmaken van de zeer brede groep van keramische materialen. Zolang een vaste stof maar niet is opgebouwd uit enkel metaalatomen, zoals in metalen en legeringen, of uit polymeren van moleculen.

Algemene regels omtrent de eigenschappen van die zeer brede categorie van vaste stoffen zijn moeilijk te geven. Op elke vuistregel bestaan de nodige, soms zelfs extreme uitzonderingen. Toch omschrijf je keramische materialen in het algemeen als harde, maar vrij breekbare materialen, met hoge smeltemperatures en hoge weerstand tegen chemische inwerking.

Veel keramische materialen zijn niet magnetisch en bovendien slechte geleiders van elektriciteit. Er zijn echter ook keramische materialen met juist bijzonder bruikbare elektrische eigenschappen, zoals piezo-elektrisch gedrag of supergeleiding.



De spaceshuttles waren aan de onderkant voorzien van 24.000 keramische tegels. Tijdens terugkeer in de dampkring wordt de buitenkant meer dan 1.600 °C. Beschadiging van slechts één tegel heeft desastreuze gevolgen, zoals de ramp met de Columbia bewees.

### Traditioneel en technisch

Om de spraakverwarring binnen het zeer grote gebied van de keramische materialen enigszins in banen te leiden, maakt de keramiek-literatuur onderscheid tussen ‘traditioneel’ (of ‘klassiek’) en ‘technisch’ kera-

miek (*‘advanced ceramics’*). Traditionele keramiek heeft in principe klei en aardmineralen als grondstof. Technisch keramiek wordt veelal door mensen bedacht, ontwikkeld en bereid met een heel specifieke functie of speciale eigenschappen voor

ogen. Daardoor bestaat vooral technisch keramiek uit materialen met zeer uiteenlopende chemische en fysische eigenschappen. Binnen de traditionele keramiek volgt vaak nog een verdere onderverdeling in grofkeramiek, zoals bakstenen en dakpannen, en fijnkeramiek, bijvoorbeeld aardewerk, porselein en kunstobjecten. Binnen de technische keramiek onderscheiden ze structurele keramiek, waarbij vooral de eigenschappen van keramische materiaal als bouwmetaal tellen, van functionele keramiek, waarbij bijzondere magnetische, elektrische, optische of biochemische eigenschappen belangrijk zijn om het voorwerp waarin je het verwerkt te laten functioneren.

### Spacetegels en 3D-prints

Een voorbeeld van structurele technische keramiek zijn de lichte, maar tevens zeer hittebestendige keramische tegels aan de onderzijde van de Amerikaanse Space Shuttles, die tussen 1981 en 2011 in totaal 135 bemande ruimtevluchten maakten. Zonder die tegels van speciaal hittebestendig, licht glasvezelmateriaal, zouden de ruimtevaartuigen bij terugkeer in de atmosfeer en de daarbij tot boven de 1.600 °C oplopende wrijvingstemperatuur, zeker zijn vernietigd.

Van recenter datum is de ontwikkeling van

materialen en apparatuur voor 3D-printen met keramische materialen. Tot enkele jaren geleden printte je voornamelijk met kunststofpolymeren, omdat keramische materialen als te weinig flexibel en te breekbaar werden beschouwd. De laatste jaren komt daar, mede door toedoen van Nederlandse technologiebedrijven, verandering in. Door synthetische, zeer zuivere klei of zirkoniumoxide te mengen met speciale lichtgevoelige polymeren, vormt zich een composiet materiaal dat je kunt vormgeven door het laagje voor laagje met licht uit te harden. Wanneer de gewenste vorm is geprint, kun je het polymeer uit het materiaal weg branden. Het achterblijvende keramische materiaal kun je bakken en sinteren. De komende jaren zullen de 3D-printprocessen zich voor meer keramische materialen verder ontwikkelen. Sommige kunstenaars ontwikkelen zich inmiddels tot digitale pottenbakkers.

### Super(kleine) condensatoren

Dat geavanceerde elektrische apparaten tegenwoordig zo handzaam zijn als bijvoorbeeld een smartphone is mede te danken aan bijzondere eigenschappen van het functionele keramische materiaal bariumtitaanaat ( $\text{BaTiO}_3$ ). Afhankelijk van de temperatuur kan dit materiaal in vijf verschil-

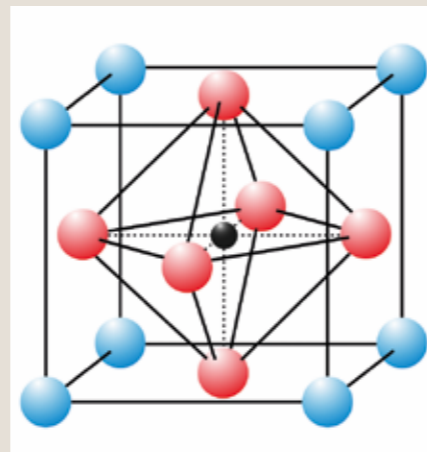
lende kristalstructuren voorkomen. Vooral bariumtitaanaat met een perovskietstructuur (zie ook kader ‘Veelzijdige perovskieten’) heeft door de beweeglijkheid van het  $\text{Ti}^{4+}$ -ion in de kristalstructuur een buitengewoon hoge relatieve permittiviteit ( $\epsilon_r = 1.200 - 10.000$ ).  $\text{BaTiO}_3$  maakt het mogelijk om veel elektrische energie op te slaan in minuscule condensatoren. Daarvan zijn er honderden verwerkt in de elektrische schakelingen van een enkele smartphone. Andere slijtvaste en corrosiebestendige keramische kristallen vinden bijvoorbeeld toepassing in microfilters voor vloeistoffen en gassen. De zeer regelmatige microstructuur van het materiaal dicteert de grootte van de microscopisch kleine poriën. Chemisch en biologisch inerte keramische filters dragen bij aan de zuivering van water en industriële vloeistof- en gasstromen. Geholpen door steeds geavanceerdere fabricage, nauwkeurigere meetinstrumenten en krachtigere computers, ontwikkelen onderzoekers jaarlijks nieuwe keramische materialen met eigenschappen die nog beter voldoen aan hun wensen en eisen. Omdat die nieuwe materialen op den duur ook weer terechtkomen in nóg weer nauwkeuriger meetinstrumenten en krachtiger computers, lijkt de ontwikkeling van steeds geavanceerdere keramische materialen voorlopig nog niet ten einde. ●

### ► Veelzijdig perovskiet

Bij keramische materialen is de microstructuur bepalend voor de toepassing, die kan namelijk bijzondere eigenschappen verschaffen. Een kristalstructuur die bij wetenschappers al decennia sterk in de belangstelling staat, is de zogenoemde perovskietstructuur. Perovskiet is een calciumtitaniumoxide ( $\text{CaTiO}_3$ ). De Duitse mineraloog Gustav Rose beschreef het voor het eerst in 1839 en vernoemde het naar zijn Russische collega Lev Perovski. Stoffen met de algemene chemische formule  $\text{ABX}_3$ , waarbij A een groot en B een kleiner kation voorstelt en X een anion (meestal O) dat bindt met beide kationen, kunnen een perovskietstructuur aannemen (zie afbeelding).

De grootte van de verschillende ionen ten opzichte van elkaar, met name de ionstralen, bepalen voor een belangrijk deel hoe stabiel deze tetragonale kristalstructuur is. Het kleine B-kation kan in het centrum van de uitgerekte kubus twee energetisch stabiele plaatsen in-

nemen. Vervorming van de ideale structuur resulteert daardoor een elektrische dipool, die het perovskietkristal zijn bijzondere elektrische eigenschappen geeft. Andersom geeft een elektrische spanning over het kristal aanleiding tot vervorming. De flexibiliteit van de bindingshoeken in de structuur maken veel verschillende vervormingen mogelijk. Materiaalkundigen hebben de afgelopen jaren talrijke en steeds complexere synthetische perovskieten ontwikkeld, zoals bariumtitaanaat ( $\text{BaTiO}_3$ ) of loodzirkonaat-titaanaat ( $\text{PbZr}_{1-x}\text{Ti}_x\text{O}_3$ ). Perovskieten pas je toe om materialen supergeleidende, magneto-resistente, ionisch geleidende of diëlektrische eigenschappen te geven. Keramische materialen die hun eigenschappen ontleenen aan de perovskietstructuur zie je veelvuldig in micro-elektronica, maar ook in zonnecellen, leds, sensoren en lasers en in de toekomst mogelijk in nieuwe vormen van computergeheugen (zogenoemde memristors).



Perovskiet  $\text{ABX}_3$ . Het kleine B-kation in het centrum van het kristal (zwart) kan twee stabiele plekken innemen tussen de grotere A-kationen (rood) en de X-anionen (blauw) onder invloed van elektriciteit, druk of temperatuur. Dit verandert de vorm van het kristal.



RUBEN VAN VLIET

Dat keramik ook verleidend kan zijn, bewijst Keramiekmuseum Prinsessehof in Leeuwarden met zijn tentoonstelling Sexy Ceramics. Klassieke Griekse vazen, verfijnd Aziatisch porselein met erotische afbeeldingen en moderne kunstobjecten met wulpse vormen prikkelen de zintuigen. Wandel tussen femmes fatales en ondeugende herders en laat je bekoren. Ook de sensualiteit van de klei zelf komt aan bod. Alle keramik, van robuust aardewerk tot delicaat porselein, is van klei gemaakt en door mensenheden gevormd, zoals het beeldje Painted Lady van Jessica Harrison uit 2016 (foto). De tentoonstelling is te bezichtigen tot 9 oktober.

## Voor op school

1. Verklaar vanuit het roostertype de eigenschappen van keramik: hard, slijtvast, hittebestendig, niet elektrisch geleidend, breekbaar.
2. Geef een nauwkeurige beschrijving van het sinterproces en welke temperatuur hiervoor nodig is.
3. Welke elektrovalentie hebben de ijzerionen in gebakken klei, dat ijzeroxide bevat. Bereken dit op basis van de geelbruin tot intens rode kleur.
4. Wat zijn halfmetalen? Geef twee voorbeelden.
5. Wat is het verschil tussen een amorf structuur en een kristallijne structuur?
6. Beschrijf hoe een keramische 3D-printer werkt.
7. Leg in het kort uit hoe röntgenkristallografie werkt.
8. Wat zijn perovskieten en waarvoor pas je ze toe?
9. In een veel toepaste vorm van loodzirkonaattitanaat ( $\text{PbZi}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ ) is het massapercentage zirkonium 14,57%. Bereken de 'x' in dit  $\text{PbZi}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$ .

## Meer weten?

- [www.sciencelearn.org.nz/resources/1769-what-are-ceramics](http://www.sciencelearn.org.nz/resources/1769-what-are-ceramics), deze Nieuw-Zeelandse website belicht mede aan de hand van filmpjes veel populairwetenschappelijke aspecten van keramik
- <https://keramiektechniek.wordpress.com>, de website van de Stedelijke Academie voor Beeldende Kunst in het Vlaamse leper bevat goed toegankelijke Nederlandstalige informatie omtrent onder meer de diverse stappen in het bakproces van traditioneel keramik.
- [www.youtube.com/watch?v=1T-13Y9G8DO](http://www.youtube.com/watch?v=1T-13Y9G8DO), een recent filmpje an Omroep Brabant laat goed zien hoe het bedrijf Admatec in Moergestel keramische materialen print in 3D voor de hightech-industrie en voor sieraden, kronen en bruggen.

## Editie Keramik

editie 83 | nummer 334 | juli 2017  
[www.chemischefeitelijkheden.nl](http://www.chemischefeitelijkheden.nl)

**coverbeeld:** een simpele Griekse vaas met versiering. Klei vormt nog altijd de belangrijkste grondstof voor traditionele keramische materialen. De geelbruine kleur komt door de geringe hoeveelheid ijzeroxidegehalte.

## Colofon

### Over Chemische Feitelijkheden

Chemische Feitelijkheden is een actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Het is een losbladige uitgave van de KNCV en verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

**KNCV BETA PUBLISHERS**

### Redactie

dr. Erwin Boutsma (hoofdredacteur), drs. Franny Scholte (eindredacteur),  
Harmen Kamminga (tekst), Henk Ubbels (vragen en correctie)

### Vormgeving & Opmaak

Marjé van de Linde/Twin Media BV

### Uitgever

Roeland Dobbelaer, Beta Publishers BV  
Postbus 19949, 2500 CX Den Haag  
070-2629100, [info@betapublishers.nl](mailto:info@betapublishers.nl)

### Abonnementen

MijnTijdschrift.com

088-2266626

[chemischefeitelijkheden@mijntijdschrift.com](mailto:chemischefeitelijkheden@mijntijdschrift.com)

Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenisrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelijkheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd tenzij twee maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen. Een abonnement op Chemische Feitelijkheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale online archief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

### Tarieven (2017)

Voor particulieren: online toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap) kost € 87,75\*; leden van de KNCV, KVVCV en NVON krijgen € 10 korting.  
Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen: onbeperkt toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen) kost € 262,50\*.  
Losse nummers kosten € 9,95\* per stuk en zijn te bestellen bij Abonnementenland.  
\* Bij betaling per acceptgiro wordt € 2,95 administratiekosten in rekening gebracht.