

Helene Meyer Tvinnereim, Marit Øilo og Gunhild Vesterhus Strand

## Porselen og andre keramer

Keramiske materialer har vært brukt i produksjon av bruks- og pyntegjenstander fra tidlig steinalder. Porselen ble først fremstilt i Kina på 900-tallet e.Kr. og ble introdusert som dentalt materiale i Europa på 1700-tallet. Denne artikkelen beskriver keramers kjemiske sammensetning og karakteristiske egenskaper. Videre belyses hvordan keramiske materialer har vært fremstilt og brukt gjennom historien, både i husholdningen og i odontologisk praksis, spesielt med fokus på porselenet, som var den første typen keram brukt som dentalt materiale. Til slutt gis en oversikt over de forskjellige typer keramiske materialer som brukes i protetisk tannbehandling i dag.

**V**i skiller gjerne mellom tre hovedgrupper av materialer, både innen odontologien og i våre omgivelser: metaller, polymerer og keramer (1). Metall kan anvendes i ren form, men brukes i hovedsak som legeringer av flere metaller. Polymerene forekommer som naturlige materialer, som for eksempel cellulose og silke, eller syntetiske som polyester og akrylat. Det karakteristiske ved polymerene er at de er organiske materialer, det vil si karbonforbindelser. Polymere materialer består av store molekyler som er sammensatt av en rekke mindre enheter, monomerer. Keramene utgjør den tredje hovedgruppen. De forekommer i krystallinske og ikke-krystallinske (amorfe) former, og er tilgjengelige i naturlige og syntetiske former. Bergartene og deres erosjonsprodukter, stein, sand og leire, regnes som naturlig forekommende keramiske materialer, og gjenstander i keramikk ble produsert fra leire allerede mange tusen år før vår tidsregning (2).

### Forfattere

Helene Meyer Tvinnereim, førsteamanuensis, dr.odont.  
Fagområdet odontologiske biomaterialer, Det odontologiske fakultet, Universitetet i Bergen

Marit Øilo, Ph.D. stipendiat. Fagområdene Odontologiske biomaterialer og Protetikk, Det odontologiske fakultet, Universitetet i Bergen

Gunhild Vesterhus Strand, førsteamanuensis, dr.odont.  
Fagområdet gerodontologi, Det odontologiske fakultet, Universitetet i Bergen

### Definisjon

En vanlig definisjon på keramer er uorganiske, ikke-metalliske materialer som består av en forbindelse mellom metaller eller halvmetaller og ikke-metaller, f.eks. silisiumoksid ( $\text{SiO}_2$ ), aluminiumoksid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) og kalsiumkarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) (3). Disse forbindelsene, som ofte er metalloksider, har helt andre egenskaper enn rene metaller eller metallegeringer, og betraktes derfor som ikke-metaller. Innen odontologien har begrepet keram tradisjonelt vært knyttet til materialer som krever høy temperatur ved fremstilling, og denne egenskapen er da gjerne inkludert i definisjonen på keramer. I andre sammenhenger utelates denne delen av definisjonen, og da faller flere materialer inn under definisjonen, som for eksempel hydroksyapatitt i mineralisert tannvev og benvev, koraller og skjell samt kalsiumaluminat som tannfyllingsmaterialet DoxaDent bygger på (4).

Begrepet keram kommer fra det greske ordet «keramos» som betyr brent leire, eller pottemakerleire. Keramikk brukes i dagligtale om keramiske produkter av leire, mens keram omfatter alle typer keramiske materialer, fra betong, vaskeservanter og

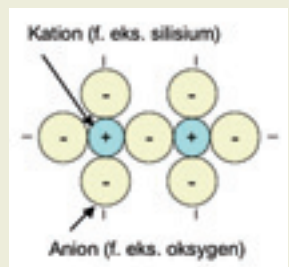


Fig. 1. Regelmessig plassering av silisium- og oksygenioner i silisiumoksid ( $\text{SiO}_2$ ). Hvert silisiumatom er bundet til fire oksygenatomer, og hvert oksygenatom er bundet til to silisiumatomer.

### Hovedbudskap

- Keramer har forholdsvis enkel kjemisk sammensetning, men strukturen viser store variasjoner
- Porselen bygger på de naturlig forekommende mineralene feltspat, kvarts og kaolin
- Dekk-keramer er keramer med høy estetisk kvalitet, men begrenset styrke
- Kjerne-keramer er keramer med høy styrke, men begrenset estetisk kvalitet

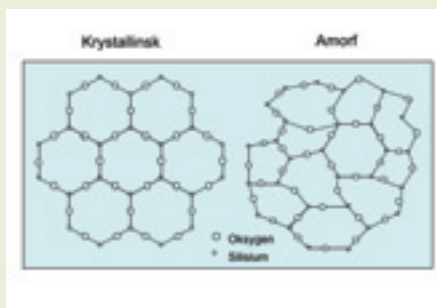


Fig. 2. Organisering av atomer i krystallinsk og amorf struktur. I den krystallinske strukturen er atomene plassert i fullstendig orden i atomgitre. Den amorfe strukturen har en mer uregelmessig romlig plassering av atomene.



Fig. 3. Skål med lokk i Meissenporse-len fra det 18. århundre.

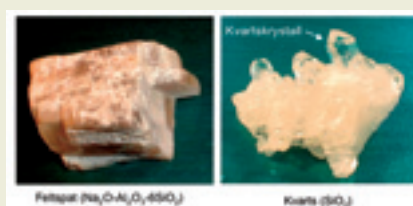


Fig. 4. Mineralene feltspat og kvarts. Bildet til høyre viser både kvarts (krystallinsk) og amorfe strukturer av silisiumoksid.

husholdningsserviser til det fineste krystallglass. Begrepet keram er ikke så godt innarbeidet i språket og brukes ofte som et synonym til porselen, selv av oss tannleger.

### Kjemiske og fysikalske egenskaper

I keramiske materialer er atomene i stor grad knyttet sammen med ionebindinger (Fig. 1) (1). Keramiske materialer er ofte enkle i sin kjemiske sammensetning slik som silisiumoksid, silisiumkarbid og aluminiumoksid. De opptrer i krystallinsk eller amorf fase, eller i en kombinasjon av begge fasene (Fig. 2). I den krystallinske formen er atomene plassert på en regelmessig måte, mens den amorfe formen har en mer uregelmessig struktur som også kalles glassfase. Glass er definert som uorganiske smelteprodukter som er avkjølt uten at det er dannet krystaller. Denne uregelmessige strukturen er vanligvis ikke så stabil som den krystallinske, og lar seg blant annet lettere etse av enkelte syrer. Keramer som er sammensatt av amorfe og krystallinske strukturer kan derfor bindes til tannvev ved hjelp av syretsing og plastbasert sement, fordi de to fasene løses ulikt ut og derfor etterlater et relieff for retensjon av sementen.

På grunn av sin kjemiske sammensetning og struktur er keramene harde, men sprø og tåler dårlig strekk og bøyebelastninger. Metallene er derimot seige og bøyelige og polymerene kan dessuten også være elastiske. Hovedutfordringen ved keramiske restaureringer er å

Tabell 1. Anvendelsesområder for keramiske materialer i odontologisk praksis

Keramere i odontologien
Fasetter (skallfasader) og skallkroner
Innlegg og «onlays»
Helkeramiske kroner/broer
Dekk-keram på metall (påbrenningskeram)
Protesetenner
Rotkanalstifter
Distanser (i implantatbehandling)
Fyllpartikler i tannfargede fyllingsmaterialer
Sementer (sinkoksid)
Gips (kalsiumsulfat)
Slippe-/pussemidler (silisiumkarbid, pimpstein, kritt)

hindre spredning av mikrosprekker. Frakturer i et keramisk materiale sprer seg oftest fra sprekker, porer eller andre defekter i den indre og ytre overflaten av restaureringen. Disse defektene kan oppstå under fremstillingen, bearbeidingen eller innprøvingen av restaureringen og kan utvikle seg videre og føre til fraktur.

### Historikk

Keramikk var det mest raffinerte materialet i steinalderen (5). Menneskene laget krukker og kar av leire over leirbålet, og av denne leiren kunne man oppnå rimelig tette kar. Men materialet var for porøst til oppbevaring av væsker, fordi gjenstandene var brent ved for lav temperatur. Allerede 3000 år før vår tidsregning glasserte egypterne leirkrukkene på innsiden for å få dem tette. I Kina produserte man steintøy så tidlig som ca. 1400 år f.Kr. De konstruerte ovner som kunne brenne gjenstandene ved høyere temperatur, slik at leirpartiklene smeltet bedre sammen (sintring). Dermed ble materialet tettere, eller mindre porøst. Det var også i Kina at man utviklet porselenet i det 10. århundre e.Kr. (6). Da europeerne fikk se dette vakre, tynne, transparente og hvite porselenet, prøvde også de å produsere porselen, men det var først i begynnelsen av det 18. århundre at de lyktes med dette (2). Blant de første produktene var Meissenporse-lenet (Fig. 3).

Mot slutten av det 18. århundre kom så porselenet i bruk som dentalt materiale. En fransk apoteker laget den første protesen i porselen i 1774 (7). I 1903 kom jacketkronen i hel porselen, og på 1950-tallet kom teknikken for påbrenning av porselen på gull (PG-kronen). Keramer brukes til en rekke forskjellige formål i odontologisk praksis (Tabell 1). Utviklingen har gått fort, og det er nå så mange forskjellige typer keramer på markedet at det kan være vanskelig å få oversikt og holde seg orientert om alternativene (8,9).

### Porselen og porselenslignende keramer

Porselen er en spesiell form for keram som bygger på de naturlige forekommende mineralene feltspat, kvarts og kaolin. Feltspat og kvarts er de mest utbredte mineralene i jordskorpen (Fig. 4). Feltspat inneholder store mengder oksygen og silisium, men også aluminium og natrium eller kalium. I Setesdal har man funnet feltspat som er blant de reneste som er utvunnet hittil (Fig. 5). Kvarts og kaolin består av silisium og oksygen, men kaolin inneholder noe aluminium og vannmolekyler i tillegg. Jordskorpen består av ca. 47 % oksygen, 27 % silisium og 17 % aluminium (Fig. 6) (10), og det er disse tre elementene som dominerer i det tradisjonelle feltspatporselenet.

Produkter som er laget av mineralene feltspat, kvarts og kaolin er vist i Fig. 7.

Forskjellen mellom porselen, steintøy og keramikk ligger blant annet i mengdeforholdet mellom disse tre mineralene og temperaturen



Fig. 5. Fra Lie feltspatgruve i nærheten av Evje. Bildet viser eier, Tom Kalleberg, og hans produksjon. (Foto: G.V. Strand, 2004)

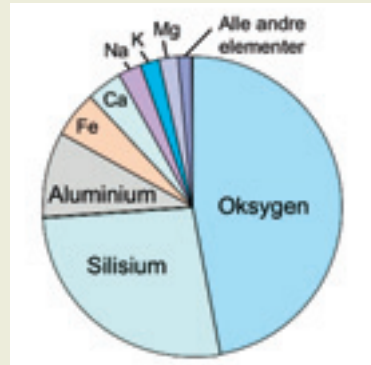


Fig. 6. Mengdeforholdet mellom elementene i jordskorpen. (<http://www.ig.uit.no/geolearning/>)



Fig. 7. Relativ sammensetning av mineralene feltspat, kvarts og kaolin i forskjellige typer produkter (1). Dentalt porselen (feltspatkeram) inneholder mye feltspat og noe kvarts, mens steintøy og keramikk inneholder mye kaolin og kvarts og mindre feltspat.

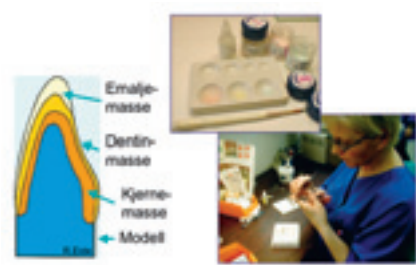


Fig. 8. Håndoppføring av dentalt feltspatkeram (pulver-suspensjonsteknikk).

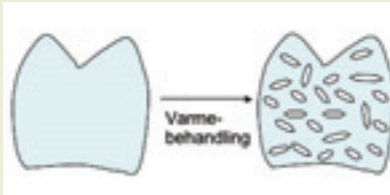


Fig 9. Dannelse av krystaller ved varmebehandling av glasskeram («keramisering»).

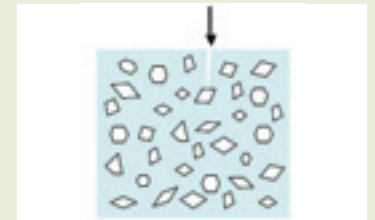


Fig 10. Aluminiumoksidforsterket feltspatisk glass. Sprekkdannelse bremset opp av aluminiumoksidpartiklene.

produktene brennes ved. Porselen inneholder mer feltspat enn steintøy og keramikk, og dentalt porselen har et spesielt høyt innhold av feltspat, noe som gjør dette keramet gjennomskinnelig og vakkert, men krevende å fremstille. Etter hvert har man fjernet kaolin fra dentalt porselen, fordi dette mineralet gir en opak effekt og dermed dårligere estetisk resultat. Man sier gjerne at dentalt porselen er et feltspatisk glass tilsatt krystallinske kvartspartikler, og ikke et porselen, siden det ikke inneholder kaolin. Men det er likevel vanlig å bruke betegnelsen feltspatporselen. Alternativet, som er noe mer korrekt, er feltspatkeram. I den siste delen av denne artikkelen belyses sammensetning, struktur og fremstilling av keramer brukt i protetisk behandling.

### Dekk-keramer

Feltspatkeramet regnes som den vakreste type dentalt keram og brukes der det er høye krav til estetisk resultat, som dekk-keram på understruktur (kjernestruktur) av metall eller kjernekeram, eller direkte limt («bondet») til tannsubstansen som for skallfasader, skallkroner, innlegg og «onlays». Tanntekniker blander kerampulver med en tilhørende væske til en pasta og legger dette lagvis på modellen av den preparerte tannen, eller på den fremstilte kjernestrukturen (Fig. 8). Innerst legges kjernemassen, et opakt lag som kan dekke en eventuell misfarging i tannen, eller metallfargen i kjernestrukturen. Deretter legges lag med dentinfarge eller dentinmasse og så legges emaljemasse. Ytterst legges gjerne glasur. Arbeidet brennes ved høy temperatur slik at partiklene i massen smelter sammen (sintring). Håndopplagte restaureringer kan bli svært vakre siden man ved hjelp av disse sjiktene kan imitere naturlige tenners oppbygning. Ke-

rampulverets sammensetning, størrelsen på partiklene, ovnstemperaturen og tiden i ovnen påvirker resultatet.

Glass-keramene er en type feltspatisk glass som ved varmebehandling danner krystaller i kontrollert størrelse og mengde (Fig. 9). En vanlig type er det leucittforsterkede feltspatiske glasskeramet, hvor leucitt danner krystallfasen. Leucitt er svært lik feltspat ( $K_2O-Al_2O_3-4SiO_2$ ). Restaureringen kan bygges opp lagvis på gipsmodell og brennes (f.eks. Fortress, Myron International), eller fremstilles ved hjelp av varmpressing (f.eks. IPS Empress, Ivoclar-Vivadent). Varmpressing er en type støping der en voksmodell investeres i ildfast investeringsmasse og brennes ut før glass-keram presses inn under trykk ved svært høy temperatur. Restaureringen etterbehandles så ved kontrollert varmebehandling slik at det dannes fine krystaller som er jevnt fordelt i glassfasen. Dette kalles keramisering. Glasskeramenes mekaniske og estetiske egenskaper påvirkes av krystallenes størrelse og mengde. Feltspatkeram og glasskeram leveres også som blokker for freseteknikk (f.eks. VITBLOCS Mark II, VITA; ProCAD, Ivoclar Vivadent).

En annen type glasskeram er det litiumforsterkede glasskeramet (IPS Empress 2, Ivoclar-Vivadent). Krystallene består her av litiumdisilikat ( $Li_2Si_2O_5$ ) som utgjør ca. 70 % av volumet. Det litiumforsterkede glasskeramet er sterkere enn det leucittforsterkede og gir mulighet for produksjon av små broer. På grunn av sin relativt høye styrke regnes IPS Empress 2 gjerne også med blant kjernekeramene.

### Utviklingen av høystyrkekeramer (kjernekeramer)

På grunn av metall/keram-restaureringenes begrensede estetiske egenskaper, begynte man på 1960-tallet å utvikle forsterkede kera-

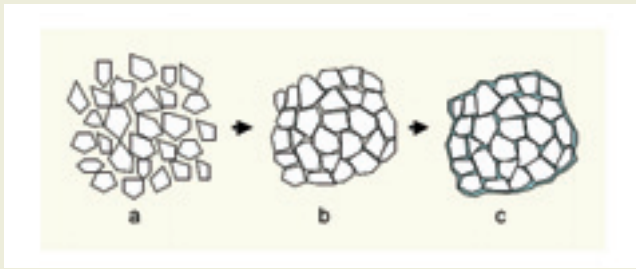


Fig. 11. Fremstilling av glassinfiltrert oksidkeram: (a) Oppslemming av aluminiumoksidpartikler før sintring. (b) Ferdig sintret oksidkeram med porer mellom partiklene. Disse skal fylles (infiltreres) med flytende glass. (c) Ferdig glassinfiltrert oksidkeram.

miske materialer (kjernekeramer) til erstatning for metallkjernen i krone/bro-restaureringer. Feltspatisk glass ble tilsatt partikler av aluminiumoksid, og man fikk dermed økt bøyestyrken til over det dobbelte av vanlig feltspatkeram, som bygger sin styrke på kvartspartikler (11). Partiklene av aluminiumoksid stopper mer effektivt sprekker som utvikler seg i materialet, fordi det kreves mer energi for at sprekken skal kunne fortsette rundt disse partiklene (Fig. 10). På den måten øker materialets styrke. Denne typen aluminiumforsterket feltspatkeram inneholder omkring 50 % aluminiumoksid (f.eks. Hi-Ceram, VITA).

På 1980-tallet kom glassinfiltrert aluminiumoksid, også kalt kombinasjonskeram, med et enda høyere innhold av aluminiumoksid (ca. 85 %) og dermed også en høyere bøyestyrke (12). Ved denne teknikken formes kjernen av en oppslemming av aluminiumoksid på en ildfast modell og sintres, dvs. brennes ved høy temperatur. Temperaturen er likevel ikke så høy at porene mellom kerampartiklene blir helt borte. Konstruksjonen impregneres, eller infiltreres så med smeltet glass – et lavviskøst lantanglass – som trekker inn i hulrommene mellom de sintrede partiklene og gir et tett materiale (In-Ceram Alumina, VITA, Fig. 11). Dette materialet inneholder mye krystallinsk aluminiumoksid og forholdsvis lite glassfase. Noe av aluminiumoksidet kan erstattes av spinell ( $MgAl_2O_4$ ) eller zirkoniumoksid ( $ZrO_2$ ). Spinell gir bedre estetisk resultat og brukes fortrinnsvis i fronten, mens tilsetning av zirkoniumoksid gir økt styrke. Restaureringer av disse materialene kan nå også produseres fra prefabrikerte keramblokker ved hjelp av freseteknikk, før de infiltreres med glass.

På 1990-tallet utviklet man kjernekeramer i rene krystallinske oksidkeramer (13). Disse keramene består av så godt som 100 % krystallinsk aluminiumoksid, eller zirkoniumoksid som kan være tilsatt små mengder yttriumoksid (yttriumstabilisert zirkoniumoksid). Oksidkeramene er for tiden de sterkeste kjernekeramene på markedet (Fig. 12). De produseres ved hjelp av avanserte former for sintring, for å unngå urenheter og porositeter. Disse materialene er tilgjengelige i prefabrikerte blokker som freses ut (f.eks. LAVA, 3M ESPE; DC Zircon, DCS Dental) eller den individuelle kjernestrukturen bygges



Fig. 12. Rent krystallinsk oksidkeram av tettsintret aluminiumoksid eller zirkoniumoksid. De krystallinske oksidpartiklene er smeltet helt sammen, slik at det ikke skal finnes porer i materialet.

opp på modell fra slemmet kerampulver før den sintres ved hjelp av avanserte teknikker (f.eks. Procera, Nobel Biocare) (9). Alle typene kjernekeramer er forholdsvis opake og må derfor dekkes av et dekkkeram, vanligvis feltspatkeram, for å gi tilfredsstillende estetisk resultat.

Utviklingen går videre og stadig nye keramprodukter blir tilgjengelige. Ved syntetisk fremstilling av keramiske materialer, kan de forskjellige egenskapene modifiseres og gi materialer med stadig bedre egenskaper. Det er ikke tvil om at keramene er kommet for å bli i odontologisk praksis, og det ser også ut til at bruken av disse vakre og biologisk gunstige materialene vil øke i tiden fremover.

## English summary

Tvinnereim HM, Øilo M, Strand GW.

### Porcelain and other ceramic materials

Nor Tannlegeforen Tid 2005; 115: 824–7.

Objects were made in ceramic materials as early as in the Stone Age and ceramic materials have been used within dentistry since the 18th century. This paper describes the chemical composition and characteristic properties of ceramic materials. Furthermore, we elucidate how ceramics have been produced and used through history for household purposes as well as in dentistry, with a special focus on porcelain. Finally, the different kinds of ceramic materials that are used in prosthetic dentistry are described.

## Referanser

1. van Noort, R. Introduction to dental materials. 2nd ed. Edinburgh: Mosby; 2002.
2. Charleston R. World ceramics – An illustrated history from earliest time. 2nd ed. London: Hamlyn; 1981.
3. Yanagida H, Koumoto K, and Miyayama M. The chemistry of ceramics. Chichester: John Wiley & Sons; 1996.
4. Sunnegårdh-Grönberg K, Peutzfeldt A, van Dijken JW. Hardness and in vitro wear of a novel ceramic restorative cement. Eur J Oral Sci 2002; 110: 175–8.
5. Hummel R. Understanding material science: history, properties, applications. 2nd ed. New York: Springer; 2004.
6. Huitfeldt J. Ostindisk porselen i Norge. Oslo: C. Huitfeldt forlag AS; 1993.
7. Ring M. Dentistry – an illustrated history. New York: Abradale Press, Harry N. Abrams, Inc.; 1985.
8. Qualtrough AJ, Piddock V. Dental ceramics: what's new? Dent Update 2002; 29: 25–33.
9. Øilo M, Strand GV, Tvinnereim HM. Keramer som tannrestaureringsmateriale. Nor Tannlegeforen Tid 2005; 115: 322–8.
10. Kullerud K. Mineraler. <http://www.ig.uit.no/geolearning> (avlest 18.02.05).
11. McLean JW. New dental ceramics and esthetics. J Esthet Dent 1995; 7: 141–9.
12. Probst L, Diehl J. Slip-casting alumina ceramics for crown and bridge restorations. Quintessence Int 1992; 23: 25–31.
13. Andersson M, Oden A. A new all-ceramic crown. A dense-sintered, high-purity alumina coping with porcelain. Acta Odontol Scand 1993; 51: 59–64.

Adresse: Helene Meyer Tvinnereim, Odontologiske biomaterialer, Det odontologiske fakultet, Årstadveien 17, 5009 Bergen.  
E-post: [helene.tvinnereim@odont.uib.no](mailto:helene.tvinnereim@odont.uib.no)

Artikkelen har gjennomgått eksternt faglig vurdering.