

Keramik mit Durchblick

Glaskeramik ist aus unseren Küchen nicht mehr wegzudenken. Als Kochfläche für Elektroherde hat sich dieses Material durchgesetzt, denn es ist gleichzeitig temperaturbeständig, hart wie Keramik und transparent wie Glas.



Abb 1: Ceran-Kochfelder vereinigen die vorteilhaften Eigenschaften von Glas und Keramik. (Fotos: Schott)

Ein Produkt, dessen Erfolgsgeschichte seinesgleichen sucht, ist das Ceran-Kochfeld, das 1972 erstmals auf der Weltmesse für Hausgerätektechnik in Köln zu bestaunen war. Es war zunächst eine ziemlich verrückte Idee der Ingenieure der Firma Schott. Wesentlicher teurer als ein herkömmlicher Herd mit Stahlgussplatten und sogar mit höherem Stromverbrauch, war der Ceran-Herd ein äußerst ungeliebtes Projekt in dem Unternehmen. Die Ingenieure hielten aber an ihrer Vision fest, mit Erfolg. Auf vier von fünf Elektroherden glühen heute Ceran-Kochfelder; über 60 Millionen Exemplare wurden seit dem Produktionsbeginn vor 30 Jahren gefertigt. Der Markenname Ceran ist in unseren Wortschatz übergegangen wie Nutella oder Tempo.

Vor einem Vierteljahrhundert war die Öffentlichkeit überrascht davon, dass man auf Glas kochen kann, gilt dieser Werkstoff doch als eher schlechter und zudem zerbrechlicher Wärmeleiter. Aber natürlich handelt es sich nicht um normales Glas, sondern um einen Werkstoff, der genau die Eigenschaften aufweist, die man normalerweise bei Glas nicht haben möchte.

Zunächst soll Glas vor allem transparent sein, d. h. möglichst wenig Licht absorbieren und streuen. Diese Eigenschaft gewährt die amorphe Glasstruktur, also ein Zustand, bei dem die Atome keine geordnete Struktur bilden, sondern unregelmäßig angeordnet sind. Glas ist ein typisches amorphes Material, herge-

stellt aus einer unterkühlten Schmelze, die beim Abkühlen nicht erstarrt, sondern elastisch bleibt. Die große Kunst der Glasherstellung besteht somit darin, eine ungewollte Kristallisation, auch Entglasung genannt, zu vermeiden. Dieser gefürchtete Prozess führt zu hohen Spannungen im Material, weil es nun in einen Mix aus zwei Phasen übergeht, die sich unterschiedlich ausdehnen. Wenn ein derartig verunreinigtes Glas nicht bereits bei der Herstellung zerspringt, so dann doch spätestens bei der weiteren Verwendung – das Glas ist also unbrauchbar.

Vom Schaden zum Nutzen

Wie so oft im Leben und in der Physik liegt in der Krise jedoch eine Chance, sprich: lassen sich gerade die negativen Erscheinungen positiv nutzen. Die kristallinen Bereiche in schadhafte Gläsern bereiten ja deshalb Probleme, weil es sich um relativ große und zudem isolierte Einschlüsse in der Glasstruktur handelt. Kombiniert man Glas hingegen mit vielen kleinen Kristallen, erhält man einen neuen interessanten Werkstoff, wie in den fünfziger Jahren der Chemiker Stanley D. Stookey von den Corning-Glaswerken in den USA erkannte. Der neue Werkstoff erbt sowohl Eigenschaften von Glas, ist aber auch einer Keramik ähnlich – die Glaskeramiken waren geboren.

Stookey stieß in der Tat durch einen Unfall auf seine Erfindung. Eigentlich war er mit der Entwicklung und Verbesserung der ebenfalls von ihm erfundenen, mithilfe von Licht formbaren Gläser (Fotoform) beschäftigt, doch eines Tages überhitzte er ein Stück Fotoform und entdeckte dabei, dass das Glas teilweise kristalline Strukturen gebildet hatte, ähnlich wie bei einer Keramik. Allgemein versteht man unter Keramiken anorganisch-nichtmetallische Materialien, die durch Brennen bzw. Sintern bei 900 bis 2000 °C ihre typischen Werkstoffeigenschaften erhalten. Für technische Anwendungen hat man eine Vielzahl spezieller Keramiken entwickelt, die sich etwa durch besondere Temperaturbeständigkeit oder Härte auszeichnen.

Stookey probierte verschiedene Glassorten aus und erkannte, dass er mithilfe eines Keimbildners – Titandioxid – und durch eine spezielle Temperaturbehandlung ein Mikrogefüge herstellen konnte, bei dem die einzelnen Kristalle nicht größer als ein Mikrometer

sind. Stookey konnte dabei den üblichen Herstellungsprozess für Gläser nutzen, nur dass er nun nicht mit einem Glas, sondern einer Glaskeramik endete. Der Erfindung verdankte Corning sein erstes Konsumprodukt: 1958 brachte das Unternehmen unter der Bezeichnung Corning Ware ein Glaskeramik-Kochgeschirr auf den Markt.

Stabil auch beim Erhitzen

Heute weiß man, dass Glaskeramiken äußerst interessante und nützliche Eigenschaften besitzen, die weder Glas noch Keramik alleine aufweisen. Aus beiden Welten picken sie sich sozusagen die Rosinen heraus. Das war nicht von An-

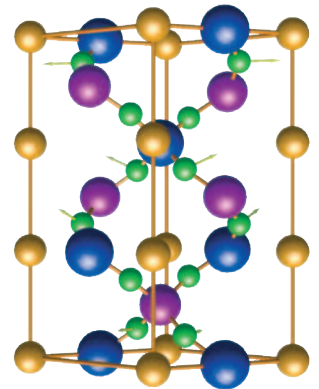


Abb. 2: Der Hauptbestandteil der Ceran-Kochplatten, ein Lithium-haltiges Aluminiumsilikat (grün: Sauerstoff, braun: Lithium, blau: Silizium, rot: Aluminium), besitzt parallel zu den Lithium-Ketten einen Ausdehnungskoeffizienten, der negativ und doppelt so groß ist wie der positive Koeffizient senkrecht dazu. In der Summe ergibt sich damit eine, über einen Temperaturbereich von ca. 1000 Grad, verschwindende Wärmeausdehnung.¹⁾ (Quelle: Physik Journal, Mai 2004, S. 44)

fang an klar, im Gegenteil, zunächst schien der neue Werkstoff keinen Vorteil gegenüber einer Keramik aufzuweisen. Durch die höheren Herstellungstemperaturen war er sogar teurer und außerdem nicht mehr transparent – was ja eigentlich das mindeste ist, was man von einem Glas erwartet. Dass daraus doch noch eine Erfolgsgeschichte wurde, ist einer Entdeckung zu verdanken, die 1951 – kurz vor Stookeys Geniestreich – am Pennsylvania State College gemacht wurde. Damals wurde beobachtet, dass bestimmte Keramiken aus einem Lithium-Aluminium-Silikat ($\text{Li}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$) sich beim Erwärmen nicht ausdehnen – wie Glas –, sondern vielmehr schrumpfen. Technisch gesprochen: Sie besitzen eine negative thermische

1) Der Volumenausdehnungskoeffizient α_V ist die Summe der linearen Ausdehnungskoeffizienten für die drei kristallographischen Achsen. Aufgrund der Kristallstruktur gilt $\alpha_V = 2\alpha_a + \alpha_c$. Wegen $\alpha_c = -2\alpha_a$ ergibt sich dann näherungsweise $\alpha_V = 0$.

Ausdehnung. Das eröffnete eine interessante Perspektive: Eine Glaskeramik, die sich aus einer bei Wärme schrumpfenden Keramik-Phase und einer sich ausdehnenden Glas-Phase zusammensetzt, bleibt insgesamt über einen weiten Temperaturbereich stabil und eignet sich hervorragend für Werkstoffe mit hoher Temperaturbeständigkeit (Abb. 2). Damit nicht genug: Wenn die Kristallite nur klein genug sind (kleiner 40 nm, d. h. ca. 10^{15} Kristallite pro Kubizentimeter) und die Brechungsindexunterschiede zwischen Kristall und Restglas gering ausfallen, bleibt eine Glaskeramik transparent, taugt also als Glasersatz. Diese Erkenntnis spornte die Glasindustrie an und brachte in den folgenden Jahrzehnten eine ganze Reihe von Glaskeramiken hervor, optimiert für die verschiedensten Anwendungsbereiche. Die transparenten Glaskeramiken eignen sich besonders für Ofen- und Kaminsichtscheiben, aber auch als Reflektoren in Projektoren (Beamern), in denen Glaskeramiken für leistungsstarke Lampen die bisher verwendeten Reflektoren aus Spezialgläsern ersetzen, weil sie aufgrund der niedrigeren thermischen Ausdehnung höhere Temperaturgradienten und höhere Einsatztemperaturen überstehen können.

Den größten Erfolg bei der Anwendung von Glaskeramiken erzielten jedoch die Kochflächen. Hierfür entwickelten die Schott-Ingenieure, aufbauend auf den früheren Forschungsergebnissen, das Ceran bis zur Marktreife. Die

Leistungsfähigkeit von Glaskeramik macht man sich bei der alltäglichen Benutzung gar nicht mehr so richtig klar: Permanent ertragen sie Temperaturunterschiede von mehreren Hundert Grad und überstehen auch die Temperaturschocks, die ein ungeschickter Koch hervorruft, wenn er den Topf fallen lässt.

Dank der Temperaturunempfindlichkeit eignen sich Glaskeramiken ganz besonders für Teleskopspiegel. Bereits in den 70er-Jahren entwickelte Schott die Glaskeramik Zerodur und lieferte eine Reihe von Spiegelträgern aus, z. B. die 2,3 und 3,6 Meter großen Exemplare für die deutsch-spanische Sternwarte Calar Alto. Mit Einführung der aktiven Optik in den 1980er-Jahren war der Weg für wesentlich dünnere und dadurch auch größere Spiegel frei, die zum Teil aus mehreren Glaskeramik-Segmenten bestehen, etwa für das Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte (Abb. 3).

Die richtige Mischung für jeden Zweck

Die Glaskeramik auf Basis von Lithium-Aluminium-Silikaten ist die wirtschaftlich erfolgreichste Zusammensetzung, sie ist aber nicht zwingend; anstelle des Lithiums lässt sich z. B. auch Magnesium oder Zink verwenden. Über die Zusammensetzung kann man eine Glaskeramik deshalb gezielt für bestimmte Ansprüche gestalten. Glaskeramiken mit den Komponenten SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , K_2O und F etwa zeichnen sich dadurch aus, dass sie

mechanisch abspaltbare Plättchen vom Glimmertyp enthalten, sie lassen sich also gut mit Metallwerkzeugen bearbeiten. Da sie eine hohe elektrische Durchschlagfestigkeit und eine gute Vakuumdichtheit besitzen, kommen sie als Isolierteile bei hohen Temperaturen und als Vakuumbauteile zum Einsatz. An-



dere Glaskeramiken, die sehr steif sind, bilden das Trägermaterial für Festplatten; für die Verwendung als Chipträger in Großrechnern wurden spezielle Sinterglaskeramiken mit Cordierit-Kristallen entwickelt, die sich ähnlich wie Silizium ausdehnen, eine kleine Dielektrizitätskonstante besitzen und den Einbau von Kupferleiterbahnen gestatten.

Sicher wird die Zukunft noch weitere nützliche Glaskeramik- oder verwandte Produkte hervorbringen. Der „Renner“ wird aber noch für eine gehörige Weile das Kochfeld bleiben.

ULRICH KILIAN

Abb. 3: Einer der vier 8,2-m-Spiegelträger für das Very Large Telescope der Europäischen Südsternwarte, gefertigt aus einer Glaskeramik.

Dr. Ulrich Kilian,
science & more
redaktionsbüro,
uk@science-and-
more.de