

Diese Nachteile, gepaart mit einer gesteigerten Anspruchshaltung der Patienten im Hinblick auf Ästhetik und Biokompatibilität, waren der Anstoß zu einer Renaissance der vollkeramischen Restaurationen und zur Entwicklung alternativer Materialien und Technologien.

Um die keramischen Massen auch chemisch einordnen zu können, verschaffen wir uns im folgenden Abschnitt einen Überblick über die Einordnung der Dentalkeramik innerhalb der silikatischen Werkstoffe und die Silikatchemie.

6.2. Einordnung der Dentalkeramik innerhalb der silikatischen Werkstoffe

siehe Abbildung 122

6.3. Siliziumdioxid und Silikate

Siliziumdioxid (SiO_2) besteht anders als z. B. CO_2 nicht aus Molekülen, sondern bildet eine stabile, kristalline oder amorphe Struktur mit einem dreidimensionalen Raumnetz aus kovalenten Bindungen. Es kommt in kristalliner Form als Quarz im Seesand, in Sandstein und in Granit vor. Die einzelnen Modifikationen des Quarzes haben wir schon im Abschnitt der Einbettmassen (2.3.2.2.) kennengelernt. „Silicate (nicht mit Silikonen zu verwechseln!) sind Salze der Monokieselsäure (Orthokieselsäure, Anm. des Verfassers) und der Polyokieselsäuren [und] entstehen beim Zusammenschmelzen von SiO_2 mit Metalloxiden, -hydroxiden oder -carbonaten.“ [Mortimer, C. und U. Müller (2010). „Chemie: Das Basiswissen der Chemie.“ Thieme Verlag, Stuttgart 10. Auflage ^[94]]

Als **Kieselsäuren** werden die Sauerstoffsäuren des Siliziums bezeichnet. Die einfachste Kiesel-

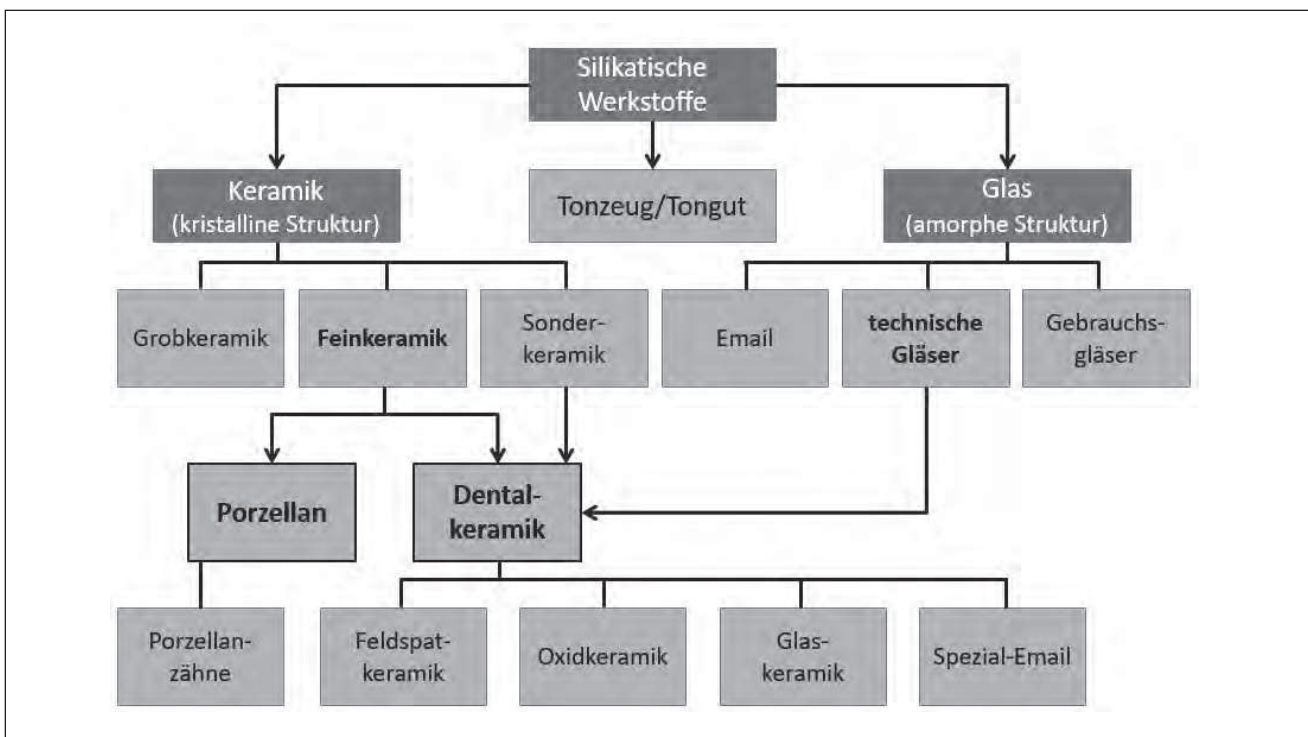


Abbildung 122:

Übersicht zu silikatischen Werkstoffen und Einordnung der Dentalkeramik nach Kappert/Eichner, ^[67] modifiziert von Hohmann/Hielscher ^[68]

säure ist Monokieselsäure (Orthokieselsäure) $\text{Si}(\text{OH})_4$.

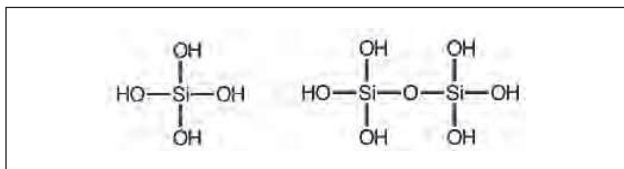
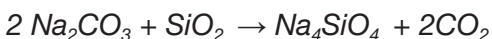


Abb. 123:
Orthokieselsäure und Orthodikieselsäure

Durch intermolekulare Abspaltung von Wasser bildet sich über die Dikieselsäure und Polykieselsäuren das Kieselgel (Silicagel), welches als gallertartige Masse ausfällt. Getrocknetes Kieselgel ist eine amorphe Form von SiO_2 (Siliziumdioxid).

Zurück zu den Silikaten: Ein einfaches Silikat ist z. B. das Natriumsalz der Orthokieselsäure, das Natriumorthosilikat:



Als Strukturformel sieht Natriumorthosilikat so aus (Abb. 124):

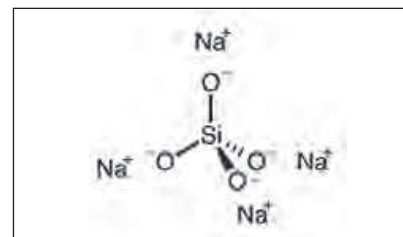


Abb. 124:
Natrium(ortho)silikat

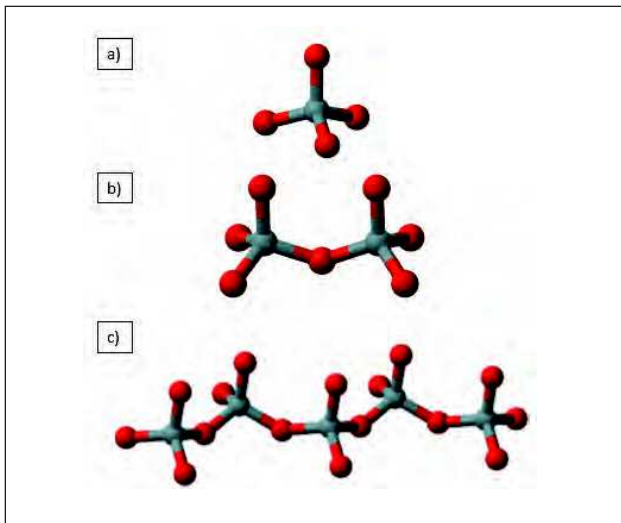
Man beachte, dass das SiO_4^{4-} -Tetraeder-„Bauteil“ einen vierfachen negativen Ladungsüberschuss hat, weil die Sauerstoffatome nur mit einer Einfachbindung an das Silizium gebunden sind; damit kann das Anion leicht mit positiven Metall-Ionen wie z. B. Natrium wechselwirken. Das einfachste Silikat-Anion haben wir damit schon kennengelernt, das Monosilikat SiO_4^{4-} , das auch Abbildung 125a in der räumlichen Ansicht zeigt; einmal von der Seite, einmal von oben.

Die SiO_4^{4-} -Tetraeder können getrennt oder durch Sauerstoffatome miteinander verknüpft in verschiedenen Raumstrukturen vorliegen. In der folgenden Tabelle sind einige Beispiele für natürlich vorkommende Silikate aufgezählt, von denen uns vor allem der Orthoklas (Feldspat) in diesem Kapitel noch oft begegnen wird.

Typ	Formel d. Anions	Beispiele für Mineralien
Inselsilikate	SiO_4^{4-}	Zirkon $\text{Zr} [\text{SiO}_4]^*$
Gruppensilikate	$\text{Si}_2\text{O}_7^{6-}$	Thorveitit $\text{Sc}_2 [\text{Si}_2\text{O}_7]$
Ringsilikate	$\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$	α -Wollastonit $\text{Ca}_3 [\text{Si}_3\text{O}_9]$
Ringsilikate	$\text{Si}_6\text{O}_{18}^{12-}$	Beryll $\text{Be}_3\text{Al}_2 [\text{Si}_6\text{O}_{18}]$
Kettensilikate	$(\text{SiO}_3)_n$	Pyroxene, z. B. Enstatit $\text{Mg}[\text{SiO}_3]$
Schichtsilikate	$(\text{Si}_2\text{O}_5)_n$	Kaolinit $\text{Al}_2(\text{OH})_4 [\text{Si}_2\text{O}_5]$
Gerüstsilikate	$(\text{AlSi}_3\text{O}_8)_n$	Feldspate, z.B. Orthoklas $\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$

Tab. 36:
Typen von Silikaten, modifiziert nach Mortimer/Müller^[94]

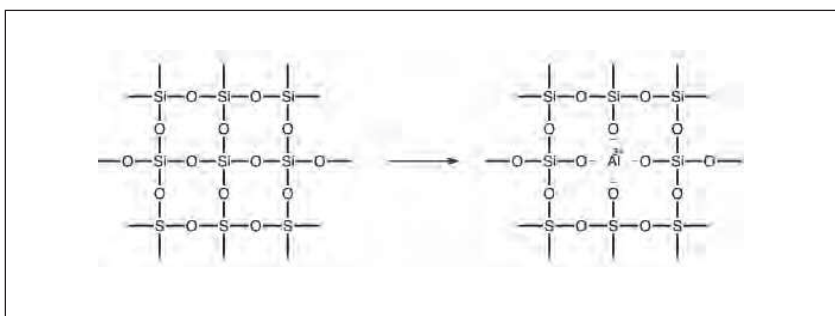
* Achtung, auch Zirkon wird uns bei den Keramiken begegnen; dabei ist jedoch regelmäßig nicht das über seine chemische Formel ZrSiO_4 definierte Silikat Zirkon gemeint, sondern Zirkoniumdioxid (ZrO_2) mit geringen Beimengungen von Yttriumoxid zur Erzielung herausragender Materialeigenschaften. Das Silikat Zirkon hingegen wird in der Wiederherstellungsmedizin nicht eingesetzt.

**Abb. 125:**

- a) Inselsilikat
- b) Gruppensilikat
- c) Kettensilikat

Darstellung mit ChemSketch 3D

Bei den Alumosilikaten (Feldspate) sind die Silizium-Atome teilweise durch Aluminium-Atome ersetzt, die gewöhnlich käfigartig eingeschlossen sind, siehe Abbildung 126. In den tunnelartigen Raumnetzstrukturen können sich Wassermoleküle einlagern. „Da ein Aluminium-Atom ein Valenzelektron weniger als ein Silizium-Atom einbringt, muss das Aluminiumsilikat-Ion zur Wahrung der Elektronenstruktur pro Aluminium-Atom eine zusätzliche negative Ladung haben. [...] Wenn jeweils alle vier Sauerstoff-Atome der SiO_4 -Tetraeder als Brückenatome auftreten, resultiert das dreidimensionale Gerüst einer SiO_2 -Struktur.“ [Mortimer/Müller, Chemie, 10. Auflage, 2010, S. 457, Thieme Verlag, Stuttgart ^[94]]

**Abb. 126:**

Ladungsverteilung im Alumosilikat

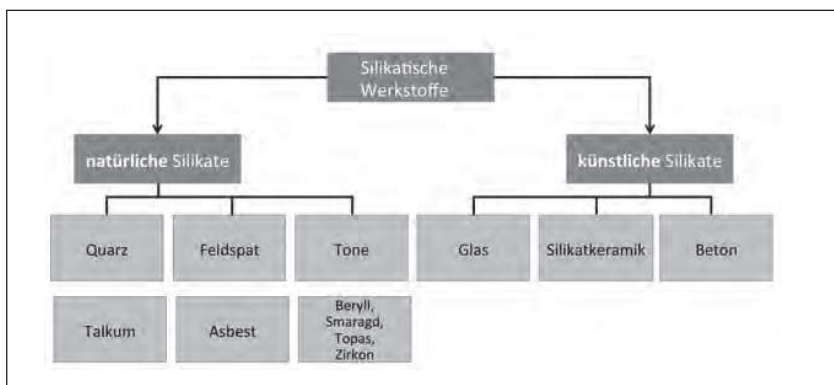
Von den oben beispielhaft dargestellten natürlichen Silikaten können des Weiteren künstliche Silikate unterschieden werden. Wir schauen uns in diesem einleitenden Kapitel lediglich einige natürliche Silikate etwas genauer an; den künstlichen Silikaten widmen wir im Rahmen der dentalen Keramiken und Gläser eigene Abschnitte.

Tone

Tone gehören zu den Schichtsilikaten $(\text{Si}_2\text{O}_5)_n$. Man unterscheidet fetten und mageren Ton, Lehm, Salztou und Kaolin als hochreinen Ton (Porzellanerde). Ton ist quellfähig, er nimmt durch Wasseraufnahme an Volumen zu, wird plastisch verformbar und wasserundurchlässig. ^[66] Das Wasser des Tons ist in erster Linie nicht eingelagert, sondern in Form von OH-Gruppen chemisch gebunden. Eingelagertes Wasser findet sich aber zwischen den Schichtpaketen. Wird er stark erhitzt (ca. 300 °C), wird das eingelagerte Wasser abgespalten und es tritt eine starke Schwindung ein (bis zu 6 %). Zu einer weiteren Schwindung von bis zu 35 % kommt es im Rahmen des Brennens durch den Sintervorgang, ^[58] siehe dazu auch unten.

Feldspate

Feldspate sind Gerüstsilikate $(\text{AlSi}_3\text{O}_8)_n$ und machen ca. 60 Massen-% aller Mineralien der Erdkruste aus, man unterscheidet folgende Alkalifeldspate (Tab. 37):

**Abb. 127:**

Einteilung der Silikate nach natürlicher und künstlicher Herkunft. Zum Quarz siehe auch das Kapitel „Einbettmassen“.

Kalifeldspate (Orthoklas)	$K[AlSi_3O_8] = K_2Al_2Si_6O_{16} = K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$
Natronfeldspate (Albit)	$Na[AlSi_3O_8] = Na_2Al_2Si_6O_{16} = Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$
Kalkfeldspate (Anorthit)	$Ca[AlSi_3O_8] = Ca_2Al_2Si_6O_{16} = Ca_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$

Tab. 37:

Feldspatarten

Kaolinit

Der Hauptbestandteil des Kaolins (siehe unten) ist Kaolinit $(Al_2(OH)_4 \cdot Si_2O_5)$, das ebenfalls ein Schichtsilikat und in reinem Zustand weiß und fein kristallin ist. Es kann wechselnde Mengen Wassers zwischen den Schichten aufnehmen und dabei aufquellen.

Talkum, Asbest

Talkum (Speckstein, $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot H_2O$) ist sehr weich (siehe auch Werkstoffkunde der Metalle) und wird teilweise auch dentalen Wachsen als Füllstoff beigemischt, um eine höhere Oberflächenverdichtung zu erzielen und um die Fließ- und Schabeigenschaften zu ver-

bessern. Teilweise ist Talkum auch Bestandteil der oben behandelten Kompositionsabformmassen oder wird als Isolationsmittel Gips gegen Gips in Lösung verwendet.

Asbest

Asbest ist eine Sammelbezeichnung für verschiedene natürlich vorkommende, faserförmige Silikate. Das „weiße Asbest“ (Chrysotil) wird industriell am weitesten häufigsten verwendet und hat die Summenformel $3MgO \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Asbest wird in der Zahntechnik nicht mehr eingesetzt (früher wurde Asbestpappe zur Muffelaukleidung und Isolierung von Öfen eingesetzt), da der Staub der Fasern beim Einatmen Lungenkarzinome verursachen kann.