



Arnold Hohmann/Werner Hielscher

Lehrbuch der Zahntechnik Band 3

Werkstofftechnik

5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

 **QUINTESSENZ VERLAG**

Quintessenz Verlags-GmbH
Berlin, Chicago, Tokio, Barcelona, Istanbul, London, Mailand, Moskau,
Neu-Delhi, Paris, Peking, Prag, São Paulo, Seoul, Singapur und Warschau

Inhaltsverzeichnis



<i>Vorwort</i>	10
<i>Zahntechnischer Arbeitsbereich</i>	
Zahntechnik	14
Zahntechnischer Arbeitsablauf	16
Zahntechnischer Arbeitsplatz	18
Erweiterter Arbeitsplatz	22
Keramik- und Edelmetalltechnik	26
Prothetik- und Kunststoffverarbeitung	30
Unfall- und Gesundheitsgefahren	32
Arbeitssicherheit	34
Umgang mit Arbeitsstoffen und -mitteln	36
Gesundheitsschutz und Hygiene	38
Infektion durch Mikroorganismen	40
Gefährdung durch Schleifstaub und Allergene	42
Erste Hilfe	44
Medizin-Produkte-Gesetz	46
Auszüge aus dem Medizin-Produkte-Gesetz	48
<i>Universalien der Werkstoffkunde</i>	51
Werkstoffe und Hilfswerkstoffe	52
Atomaufbau	54
Atomhülle	56
Periodensystem der Elemente	60
Aggregatzustand der Materie	62
Physikalische und chemische Vorgänge	64
Maßeinheiten	66
Wärme und Energie	68
Temperatur	70
Materialeigenschaft Farbe	72
Farbwahrnehmung	74
Farbmischung	76
Farbkontraste	80
Farberleben	82
Farbestimmung bei Zähnen	84
Zahnfarbwahl nach Vitapan 3D-Master	88



Säure, Salze, Basen und Laugen	90
Elektrolytische Dissoziation und pH-Wert	92
Säuren in der Zahntechnik	94
Brenngase	98
Brenngase in der Zahntechnik	100
Hilfswerkstoffe	101
Abformung	102
Abformverfahren	104
Manuell hergestellter Abformlöffel	106
Mukostatische Abformung	108
Abformwerkstoffe	110
Thermoplastische Abformwerkstoffe	112
Chemoplastische Abformwerkstoffe	114
Elastomere Abformwerkstoffe	116
Modellwerkstoffe	118
Gips	120
Gipstypen	122
Gipsverarbeitung	124
Beeinflussung des Abbindevorgangs	126
Alternative Modellwerkstoff	128
Modellherstellung	130
Sägeschnittmodelle	132
Abbindeexpansion bei Arbeitsmodellen	134
Giroform-Modellsystem	136
model-tray-system	138
Stumpfmodelle	140
Modellierwerkstoffe	142
Wachse und Harze	144
Wachsarten	146
Dentalwachse	148
Gusswachse	150
Physikalische Eigenschaften von Wachs	152
Temperaturverhalten von Wachs	154
Wachsverarbeitung	156
Isolieren in der Zahntechnik	158
Isoliermittel	160
Einbettmassen	162
Zusammensetzung der Einbettmassen	164
Eigenschaften der Gusseinbettmassen	166
Expansion der Einbettmassen	168
Beschreibung der Einbettmassen	170
Grundsätze zum Einbetten von Gussobjekten	172



Fertigungsverfahren	174
Urformen/Gießen von Metall	176
Schmelzen von Metallen	178
Vorwärmen der Gussformen	180
Gussvorgang	182
Gusskanalsysteme	184
Analyse der Gussfehler	188
Unvollständiger Guss	190
Gießtechnik nach Sabath	192
Umformen	194
Trennen/Spanende Umformung	196
Schleifen und Polieren	198
Schnittgeschwindigkeit und Schneidleistung	200
Schneidengeometrie rotierender Instrumente	202
Fehleranalyse zur spanenden Umformung	204
Rundlauffehler der Instrumente	208
Fräswerkzeuge	210
Verzahnungsart und Schneideigenschaften	212
Schleifwerkzeuge	214
Bindungsarten	216
Einbettung der Schleifkörnung	218
Handhabung von rotierenden Instrumenten	220
Fügen/Verbinden	222
Laserschweißen	224
Löten in der Zahntechnik	226
Herstellung einer Lotnaht	228
Kleben	230
Stoffeigenschaftändern	232
Wärmebehandlungen	234
Kunststoffe	236
Atombindung	238
Quantenmechanische Struktur der Atombindung	240
Molekülbildung des Kohlenstoffes	242
Alkane, Alkene, Alkine, Karbonsäuren	244
Alkohole und Veresterung	246
Polyreaktionen	248
Polymerisationslenkung	250
Polykondensation und Polyaddition	252
Struktur der Methacrylate	254
Struktur der Makromoleküle	256
Polymerisationsgemische und Mischpolymerisate	258
Prothesenkunststoffe	260



Verbundkunststoffe	262
Kunststoffverarbeitung	264
Kunststoffverarbeitung/Nachpress-Injektortechnik	266
Porenbildung beim Kunststoff	268
Kunststoff-Metall-Verbund	272
Chemische Haftvermittlung	272

Metalle

Metalldefinition	276
Metallbindung	278
Energiebändermodell	280
Kristalliner Aufbau der Metalle	282
Gitterstrukturverhalten bei Energiezufuhr	286
Materialkonstanten	288
Erstarren aus der Schmelze	290
Einkristall und Vielkristall	292
Gefüge von Legierungen	294
Austausch- und Einlagerungsmischkristall	296
Zustandsdiagramme von Zweistofflegierungen	298
Innerkristalline Seigerung	300
Zustandsschaubild für beschränkte Löslichkeit	302
Zustandsschaubild für völlige Unlöslichkeit	304
Dreistoffsysteme	308
Technisch-physikalische Eigenschaften	312
Härteprüfung für metallische Werkstoffe	314
Härteprüfung nach Vickers	316
Festigkeit	318
Spannungs-Dehnungs-Diagramm	320
Biegeversuch	322
Metallographische Prüfverfahren	324
Feinstrukturuntersuchung von Metallen	326
Biologische Wirkung von Metallen	328
Elektrochemische Spannungsreihe	330
Elektrochemisches Verhalten von Metallen	332
Korrosionsformen	334
Galvanisches Element	336
Elektrolytische Verfahren	338
Elektroerosive Bearbeitung	340
Galvanische Metallabscheidung	342
Reine Metalle	344
Dentallegierungen	364
Hochgoldhaltige Legierungen	366
Goldreduzierte Legierungen	368



Palladiumbasis-Legierungen	370
Edelmetallfreie Legierungen	372
Kobaltbasis-Legierungen	374
Titanbasis-Legierungen	376
Eigenschaften der Aufbrennlegierungen	378

Dentalkeramik

Keramik	380
Ionenbindung	382
Ionengitter	384
Silizium und Siliziumoxid	386
Silikate	388
Tone	390
Porzellan	392
Dentalkeramische Massen	394
Dentalkeramische Massen - Brennen	396
Dentale Keramiksysteme	398
Aufbrennkeramik	400
Fehleranalyse Aufbrennen	402
Metall-Keramik-Verbund	404
Zirkoniumdioxidkeramik	406

CAD/CAM-Technik

Elemente eines Computersystems	408
Systemkomponenten des Computers	410
Software	414
Konventionelle und computergestützte Fertigung	416
Digitale Datenerfassung	418
Datenerfassung, optische Verfahren	420
Intraorale Datenerfassung	424
Datenaufbereitung	426
CAD-Software	428
Prinzip der CAM-Fertigung	430
Additive CAM-Verfahren	432
Subtraktive CAM-Verfahren	434
Werkstoffe der CAM-Fertigung	436
CAD-CAM-Prozesskette	438
CAD/CAM System by DeguDent	440
Ceramill CAD-CAM-System	444

Sachregister	448
--------------	-----

Literaturverzeichnis	472
----------------------	-----

Keramik

Der Name Keramik ist von dem griechischen Wort „keramos“ (Töpfererde, Ziegel, Tongefäß) abgeleitet und bezeichnet sowohl die Erzeugnisse aus gebrannten ton- bzw. kaolinhaltigen Massen als auch die Technik ihrer Herstellung.

Keramik lässt sich in Grob- und Feinkeramik unterscheiden; bezogen auf die Verwendung unterscheidet man zwischen Bau-, Geschirr- (bzw. Haushalts-), Sanitär-, Kunst-, Schneid- und Dentalkeramik sowie technischer Keramik. Zur Grobkeramik gehören Grobsteinzeug, Baukeramik, feuerfeste Baustoffe.

Grobsteinzeug ist glasierter oder unglasierter, dichter, farbiger Scherben (Scherben ist die Bezeichnung für gebrannten Ton) mit hoher mechanischer Festigkeit, geringer Wasseraufnahme und Säurebeständigkeit. Neben Kanalisationssteinzeug werden Gefäße und chemisch-technische Geräte aus Grobsteinzeug hergestellt. Als Rohstoffe dienen Steinzeugtone, Quarzsand und flussmittelhaltige Feldspate oder feldspathaltige Gesteine. Nach der Formgebung erfolgt das Brennen bei 1100 bis 1400 °C.

Der **Grad der Sinterung** entscheidet zwischen Tongut (Irdengut) und Tonzeug (Sintergut). Tongut wird bei niedriger Temperatur (900 bis 1200 °C) gebrannt; es entsteht ein poröser wasserdurchlässiger, nicht durchscheinender, relativ weicher Scherben. Tonzeug wird bei Temperatur zwischen 1200 bis 1500 °C zum dichten, nicht porösen Scherben gebrannt, der wasserundurchlässig und sehr hart ist.

Baukeramiken sind alle aus Lehm, Ziegeltone oder tonigen Rohstoffen unter Verwendung von Ziegelmehl, Aschen u. Sand hergestellten grobkeramischen Erzeugnisse, die als Baumaterialien verwendet werden.

Feuerfeste Baustoffe werden im Dauerbetrieb bei Temperaturen über 1000 °C verwendet. Die Herstellung feuerfester Steine erfolgt durch Formen; gebrannt wird bei Temperaturen zwischen 1300 bis 1700 °C.

Feinkeramische Erzeugnisse werden meist mit einer Glasur versehen, die teilweise in einem Brand zusammen mit der Bildung des Scherbens, zum Teil aber in einem zweiten Brand auf den vorgebrannten Scherben aufgeschmolzen wird. Die Bemalung mit keramischen Farben erfolgt entweder vor dem Auftragen der Glasur (Unterglasurmalerie) oder nach dem Einbrennen der Glasur (Aufglasurmalerie); hier ist ein zweiter oder auch dritter Brand zum Aufbrennen erforderlich.

Tonwaren sind keramische Erzeugnisse aus farbigen, porösen Scherben mit transparenter oder getrüübter Glasur, die unterhalb von 1100 °C gebrannt werden. Dazu gehören Töpferwaren, Blumenvasen, Aschenbecher, kunstgewerbliche Gegenstände, Ofenkacheln u. a.

Steingut sind weiße, poröse und beim Anschlagen klingende Scherben mit durchsichtiger Glasur; dazu gehören Haushaltswaren (Geschirr), Wandfliesen, sanitärkeramische Erzeugnisse, Kunstgegenstände sowie technische Artikel (z. B. Tonzellen, Filterkörper). Gebrannt wird zwischen 1260 bis 1330 °C.

Feinsteinzeug aus Ton, Kaolin, Quarz und Feldspat sind doppelt gebrannte, dicht gesinterte, hellfarbige bis weiße, nichttransparente Scherben, wie Haushaltsgeschirr, Sanitärwaren, Ausgussbecken, Kanalisationsrohre, Bodenfliesen und säurefeste Platten.

Porzellan bezeichnet feinkeramische Erzeugnisse mit und ohne Glasurüberzug, die einen dichten, transparenten sowie im Allgemeinen weißen Scherben aufweisen. Die edlen keramischen Porzellanscherben, die erstmals 700 n. Chr. in China und in Europa 1709 am sächsischen Königshof hergestellt wurden, sind durchscheinend, weiß, sehr hart, klingend. Die dentalen Keramikmassen sind aus dem Porzellan entwickelt worden; dazu wurde 1940 das Vakuumbrennverfahren entwickelt; kurz danach gab es die ersten vakuumgebrannten Prothesenzähne.

Keramische Massen dienen in der Zahnheilkunde zur Herstellung von Keramikzähnen und für Einlagefüllungen; Glaskeramiken aus nicht rein konventionellen keramischen Massen dienen als Implantatmaterial. Dentalkeramisches Material ist kein Porzellan und auch kein Glas, weil Dentalkeramik Anteile von kristalliner Struktur zeigt. Der wesentliche Unterschied zwischen Porzellan und Dentalkeramik besteht in der thermischen Vorbehandlung der Feldspatanteile, damit eine homogene Masse entsteht, der Schmelzbereich der Massen herabgesetzt wird, die Transparenz erzeugt und der Schrumpfungsverlauf beeinflusst werden kann. Die Grundstoffe der dentalkeramischen Massen und der Industriekeramik (Porzellan) sind sehr ähnlich, nämlich Feldspat, Quarz und Kaolin. Dentalkeramik enthält nur sehr wenig oder gar kein Kaolin. Im Folgenden sollen die Grundstoffe und deren chemische Struktur zunächst untersucht werden.



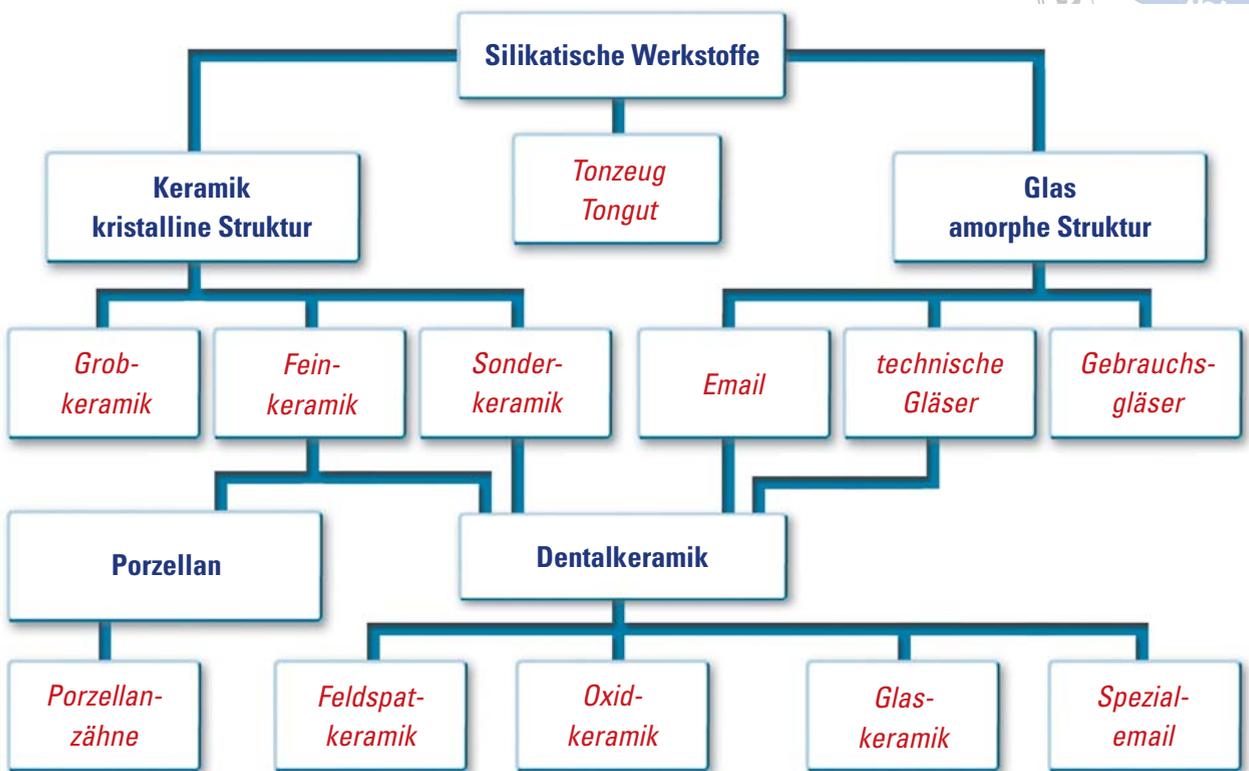


Abb. 611 Übersicht zu silikatischen Werkstoffen und die Einordnung der Dentalkeramik

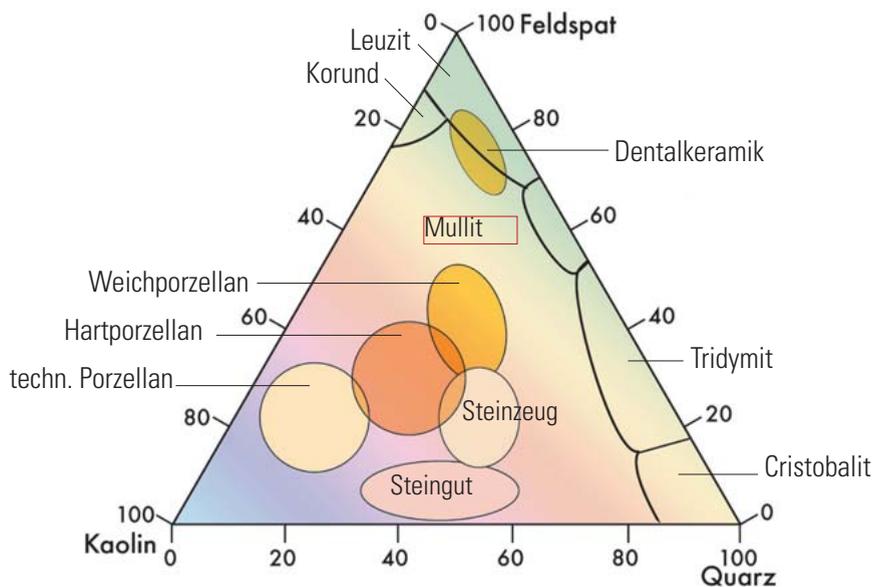


Abb. 612 Einordnung der Keramiken einschließlich der Dentalkeramik im Dreistoffsystem von Kaolin, Quarz und Feldspat. Die Unterschiede in den keramischen Massen zu den Porzellanen bestehen in der Zusammensetzung der drei Komponenten, den Brenntemperaturen und dem Sinterungsgrad. In den chemischen und physikalischen Eigenschaften sind die Massen untereinander vergleichbar (nach G. Gehre).

Ionenbindung

Die Grundstoffe der keramischen Massen weisen die chemische Struktur der Ionenbindung auf, weswegen diese Bindungsart und im Weiteren die Silikatchemie untersucht werden soll, weil die Modifikationen des Siliziumoxids die Grundstruktur fast aller Rohstoffe für keramische Massen bieten.

Atome haben das Bestreben, in ihrer Elektronenhülle eine Edelgaskonfiguration zu erreichen, d. h., ihr äußeres Hauptenergieniveau mit acht Elektronen abzusättigen. Die Edelgaskonfiguration wird von Nichtmetallatomen erreicht, indem Valenzelektronen aufgenommen werden, während Metallatome ihre Valenzelektronen abgeben. Im Gegensatz zu den Edelgasatomen tragen Atome, die Elektronen aufnehmen oder abstoßen, eine elektrische Ladung, weil immer eine Ladungsdifferenz zwischen der Elektronenhülle und dem Kern besteht. Atome, die eine elektrische Ladung tragen, werden als Ionen bezeichnet.

Ion (gr.) heißt „das Wandernde“; gemeint ist damit, dass ein Ion in einem elektrischen Feld wandert. Das positive Ion wird als Kation bezeichnet, weil es zum negativen Pol, der Kathode, wandert. Das negativ geladene Ion nennt man Anion, weil es zum positiven Pol, der Anode, wandert.

Ionen tragen eine elektrische Ladung und können in Wechselwirkung miteinander treten. Gleichsinnig geladene Teilchen stoßen einander ab, während entgegengesetzt geladene TeilcheneineentsprechendanziehendeWirkungausüben. Die **elektrostatische Anziehung** zwischen entgegengesetzt geladenen Ionen bewirkt einen Zusammenhalt zu Molekülen (und von Molekülen) untereinander. Die Bindungskräfte sind qualitativ nicht anders als bei der Atombindung. Die elektrostatisch bedingte Bindung wird Ionenbindung genannt.

Die **Ionenbindung** wird erreicht, indem der Übergang eines oder mehrerer Elektronen von Atomen des einen Elements zu Atomen des anderen Elements erfolgt. Dadurch erlangen die beteiligten Atome die stabile Edelgaskonfiguration. Eine Ionenbindung ist nur zwischen einem elektropositiven und einem elektronegativen Element möglich.

Elektropositive Elemente sind die Metalle; sie besitzen wenig Außenelektronen und gehen durch Abgabe von Elektronen in positiv geladene Ionen über. **Elektronegativen** sind die Nichtmetalle, die durch Aufnahme von Elektronen in negativ geladene Ionen übergehen.

Die **Edelgaskonfiguration** bei einer Ionenbindung wird dadurch erreicht, dass von einem Metallatom die Außenelektronen an ein Nichtmetallatom abgegeben werden, damit dessen äußeres Hauptenergieniveau aufgefüllt wird, während das Metallatom ebenfalls eine stabile Edelgasstruktur zeigen kann.

Das **Prinzip der Ionenbindung** wird an der Verbindung zwischen Natrium und Chlor deutlich gemacht: Natrium ist ein Metall der 1. Hauptgruppe und hat ein Außenelektron; Chlor ist ein Nichtmetall der 7. Hauptgruppe und hat sieben Außenelektronen.

Wenn das **Natriumatom** ein Außenelektron abgibt, erhält es die stabile Elektronenbesetzung des Edelgases Neon; wenn hingegen das Chloratom dieses abgestoßene Elektron des Natriums aufnimmt, weist es die Edelgasstruktur des Argons auf.

Aus dem **ungeladenen** Natriumatom (Na) wird ein einfach positiv geladenes Natriumion (Na⁺) und aus dem ungeladenen Chloratom (Cl) wird ein einfach negativ geladenes Chlorion (Cl⁻); denn bei beiden Atomen stimmt jetzt die Anzahl der Protonen mit der Anzahl der Elektronen nicht mehr überein. Während bei der **Atombindung** sich die halbbesetzten Orbitale überlappen und so eine Bindung durch gemeinsam aufgefüllte Orbitale entsteht, werden bei der Ionenbindung keine gemeinsamen Molekülorbitale gebildet, sondern durch den Elektronenübergang entsteht ein vollständiges Atomorbital beim Nichtmetallatom. Deswegen kann die Ionenbindung als Grenzfall einer **polarisierten Atombindung** betrachtet werden.

Als **polare oder heteropolare Bindung** bezeichnet man die Ionenbindung, die kennzeichnend für die anorganischen Verbindungen und deren salzartigen Charakter ist. Man kann auch sagen, die Ionenbindung sei charakteristisch für die Salze. Wenn das Chloratom zum Auffüllen seines äußeren Hauptenergieniveaus ein Elektron aufnimmt, wird dabei mehr Energie freigesetzt, als zur Abtrennung dieses Elektrons vom Natriumatom nötig war. Um das Elektron vom Chloratom wieder abzutrennen, muss größere Arbeit geleistet werden als vorher beim Natriumatom. Das Molekül Na⁺Cl⁻ besitzt einen energieärmeren Zustand als das Paar Na und Cl als neutrale Atome. Wenn durch den Elektronenwechsel der energieärmere Zustand erreicht ist, tritt die elektrostatische Wechselwirkung der Ionenbindung ein.



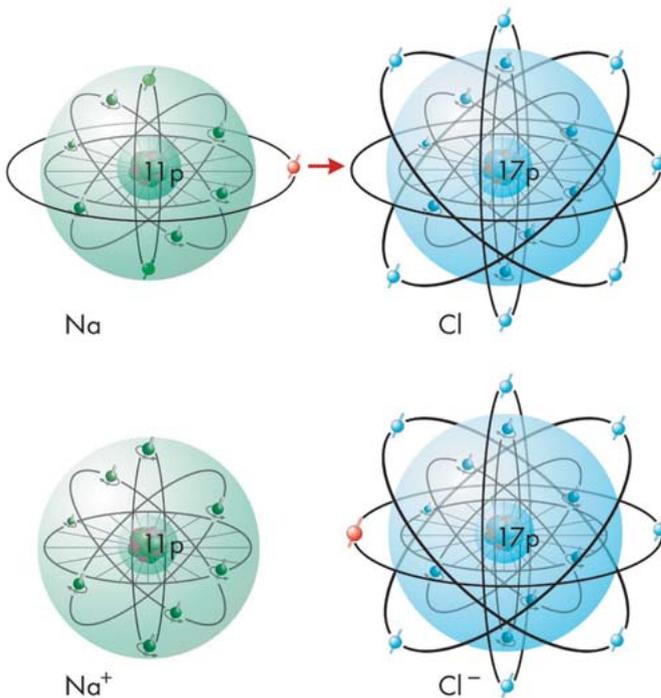


Abb. 613 Natrium (I. Hauptgruppe) besitzt ein Außenelektron, während Chlor (VII. Hauptgruppe) sieben Außenelektronen besitzt. Gibt das Natriumatom sein Außenelektron an das Chloratom ab, so erreicht Chlor mit acht Außenelektronen die stabile Elektronenbesetzung des Edelgases Argon, während das Natriumatom die stabile Elektronenbesetzung des Edelgases Neon erreicht, da die nächst niedrigere Elektronenschale zur Außenschale wird. Aus dem neutralen Natriumatom ist ein einfach positiv geladenes Natriumion Na^+ und aus dem neutralen Chloratom ein einfach negativ geladenes Chloridion Cl^- geworden. Die beiden gegenpolig geladenen Ionen ziehen sich gegenseitig an und sind in der sogenannten kovalenten Bindung bzw. Ionenbindung verbunden.

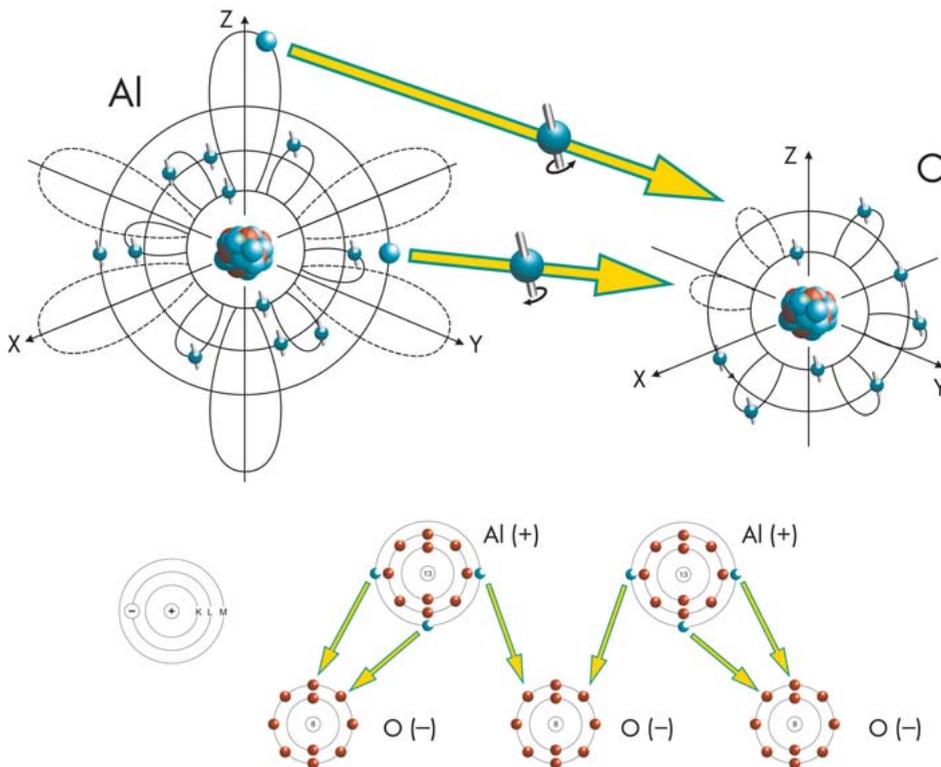


Abb. 614 - 615 Am Beispiel des Aluminiumoxids soll die Ionenbindung geklärt werden. Dem Sauerstoff fehlen zur Ab-sättigung seiner äußeren Elektronenhülle zwei Elektronen, während das Aluminiumatom drei Valenzelektronen besitzt. Der Austausch der Elektronen erfolgt, indem drei Sauerstoffatome die sechs Valenzelektronen zweier Aluminiumatome übernehmen. Die Aluminiumatome ionisieren zu positivem und die Sauerstoffatome zu negativem Ladungsüberschuss. Es werden keine Molekülorbitale ausgebildet, sondern die Bindung erfolgt über die Anziehung der unterschiedlichen elektrischen Ladungen.

Ionengitter

Bei der Atombindung vereinigen sich ungeladene Atome zu diskreten Molekülen in festen Mengenverhältnissen, so dass eine exakte Angabe der Struktur und der Summe der Atome möglich und sinnvoll wird. Ionen vereinigen sich zwar auch miteinander in einem niedrigsten Energieniveau, sie bauen aber keine Einzelmoleküle auf, sondern bilden sehr viel größere Riesemoleküle in Form des Ionengitters bzw. Ionenkristalls.

Die **chemische Formel** (Summenformel) für die Benennung der Ionenverbindung bezeichnet nur das Verhältnis der am Bau des Ionengitters beteiligten Ionen. Im Ionengitter des Natriumchlorids besteht das Verhältnis 1:1 zwischen Natriumionen und Chlorionen; das Verhältnis im Ionengitter des Aluminiumoxids Al_2O_3 ist 2:3 zwischen Aluminiumionen und Oxidionen.

Wie ist die **Bildung des Ionengitters** zu erklären?

Im Gegensatz zu räumlich orientierten Atombindungen zeigen sich bei den entgegengesetzt geladenen Ionen keine bevorzugten Richtungen der elektrostatischen Anziehung; d. h., die anziehenden Kräfte wirken in alle Richtungen gleichermaßen. Darum können sich die beteiligten Ionen nur in einer festen räumlichen Anordnung zusammenfinden.

Die **Form des Ionengitters** wird von der Größe der Ionen und deren Ladungen bestimmt. Das Gitter muss geometrisch so aufgebaut sein, dass die Anziehung der ungleichnamigen Ladungen größer ist als die elektrostatische Abstoßung der gleichnamigen Ladungen. Es kommen daher sehr symmetrische Gitterstrukturen zustande, deren Bauprinzip nicht nach dem Prinzip der dichtesten Packung wie bei Metallen, sondern der unbedingt gleichmäßigen geometrischen Anordnung unterschiedlicher Ladungen erfolgt. Die **Ionen** befinden sich auf den **Gitterpunkten** in einer Gleichgewichtslage und schwingen infolge thermischer Eigenbewegung um ihre Ruhelage; die Ähnlichkeit zum Raumgitter der Metallbindung ist hier unübersehbar und sie geht noch weiter. Die Bindekräfte wirken innerhalb des Gitters auf alle Nachbarionen gleichmäßig und die Ionen sind im Gitter sehr fest gebunden; anders gesagt: Jedes Ion geht innerhalb des Gitters zu seinen gleichweit entfernten Nachbarn eine relativ große Zahl von Bindungen ein. Die salzartigen Ionenverbindungen sind bei Zimmertemperatur fest und weisen verhältnismäßig hohe Schmelzpunkte auf. **Ionenkristalle** mit der ihnen eigenen hohen strukturellen

Ordnung sind im Allgemeinen Isolatoren, denn die feste geometrische Anordnung der Ionen bietet keine freien Elektronen zum Transport des elektrischen Stroms.

Der **Stromfluss** in einem Ionenkristall ist an einen Materietransport gekoppelt. Gemeint ist damit, dass die Ionen selbst elektrischen Strom transportieren würden, wenn sie sich im Gitter, in der Schmelze oder im Elektrolyt bewegen. Anders gesagt: Wenn sich die Ionen in einem elektrischen Feld bewegen könnten, so transportierten sie auch elektrischen Strom. Damit ist das Prinzip der Leiter zweiter Klasse angedeutet, bei denen der Ladungsfluss über Ionen erfolgt, im Gegensatz zum Leiter erster Klasse, bei dem Elektronen den Stromfluss sichern.

In der **Schmelze** einer Ionenverbindung ist der Stromfluss am größten. Hier sind die Ionen jedoch nicht völlig beweglich, wie z.B. die Metallatome in ihrer Schmelze, sondern die immer noch wirksamen Anziehungskräfte erzwingen einen möglichst hohen Ordnungsgrad (quasikristallin), die Schmelze ist zäh.

Der **Stromfluss mittels Ionen** kann jedoch auch erfolgen, wenn die Stoffe, die auf Ionenbindung beruhen, ein Elektrolyt bilden. Wenn die heteropolaren Moleküle des NaCl im Wasser zu Na^+ und Cl^- zerfallen und eine Elektrolytlösung bilden, verhalten sich beide Ionen chemisch inaktiv, aber es wird ein Stromfluss über diese Ionen möglich.

Destilliertes Wasser z. B. leitet keinen elektrischen Strom; wenn jedoch Salz eingestreut und aufgelöst wird, ist ein Stromfluss über die Ionen möglich.

Nun soll die Möglichkeit betrachtet werden, wie in einem festen Ionenkristall ein Stromfluss möglich werden kann. In den regelmäßigen, periodischen Gitterstrukturen können sich Fehleranordnungen der Ionen ergeben, sogenannte **Kristalldefekte**. Die einfachste Fehleranordnung ist eine Gitterleerstelle, das ist ein fehlendes Ion im Gitter. Oder eine Zwischengitterstelle ist mit einem Ion aus einer Leerstelle besetzt. Leerstellen und Zwischengitterionen bilden bewegliche Zentren, mit denen Ladungen durch das Ionengitter transportiert werden können.

Dieser **Ladungstransport** über bewegliche Ionen setzt allerdings die Schwingungen der Ionen um die Gitterpunkte voraus; mit steigender Temperatur nehmen die Gitterschwingungen zu und im gleichen Maß steigt die elektrische Leitfähigkeit.



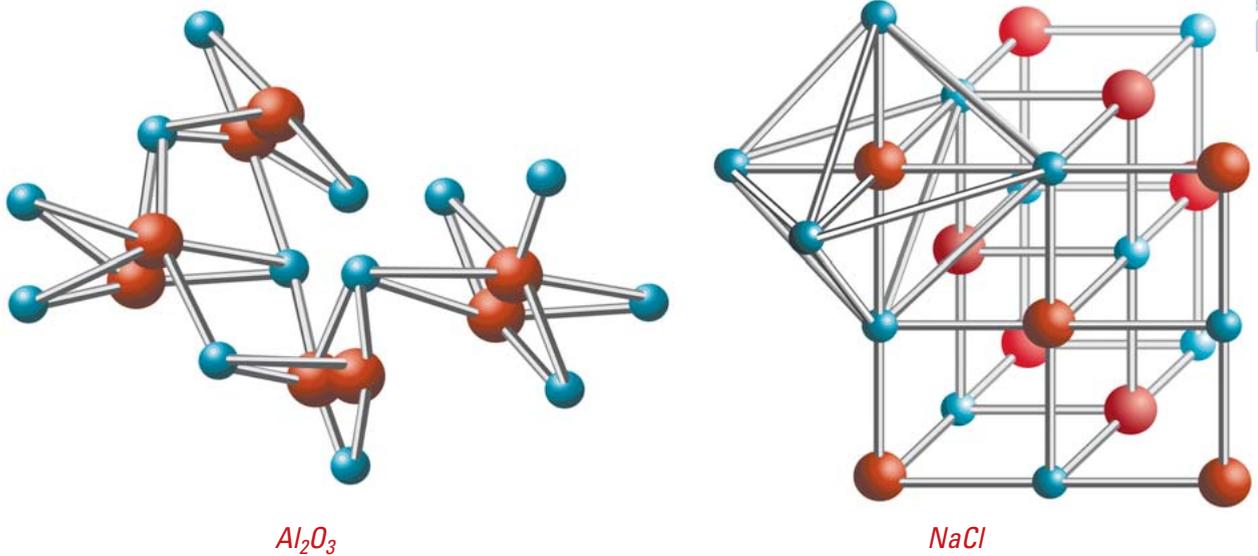


Abb. 616 Durch den Elektronenaustausch finden sich in der Ionenbindung die Atome immer in festen Verhältnissen zusammen; es lässt sich dieses Mengenverhältnis ähnlich wie bei der Atombindung mit chemischen Formeln beschreiben. Außerdem bilden die Atome der Ionenbindung ein Raumgitter, in dem sich die Atome regelmäßig zueinander anordnen. Es bilden sich ganz unterschiedliche Kristallgitter, die Ionengitter, heraus, wozu die Gitter des Al_2O_3 (Korund) und des NaCl (Kochsalz) als Beispiele dienen sollen.

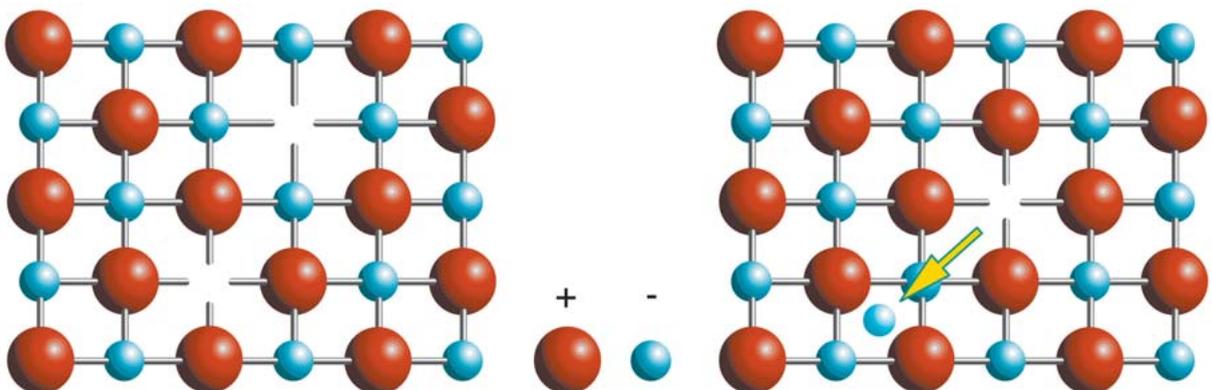


Abb. 617 Ionenkristalle sind in der Regel Isolatoren, d. h., sie leiten keinen elektrischen Strom. Ein Stromfluss ist jedoch dann möglich, wenn in dem Ionengitter ein Materiefluss einsetzen könnte. Die Ionen tragen selbst eine elektrische Ladung und könnten damit elektrischen Strom transportieren. In einem festen Ionengitter ist das nur dann möglich, wenn in dem Gitter Leerstellen vorhanden wären. Der Ladungstransport geschieht bei Ionengittern über Kristalldefekte. Mit steigender Temperatur nimmt dabei die elektrische Leitfähigkeit zu.



Silizium und Siliziumoxid

Moleküle können nach außen einen elektrischen Ladungsüberschuss aufweisen und in Wechselwirkung miteinander treten. Diese ionisierten Moleküle bilden Ionengitter, bei denen die Gitterpunkte durch die Molekülonen besetzt sind. Es entstehen umso komplexere Strukturen, je höher der Ordnungsgrad der Molekülonen ist. Die Kristallstruktur eines Ionengitters aus Molekülbausteinen soll am Beispiel der Silizium-Sauerstoffverbindungen betrachtet werden.

Silizium (lat. silex ; Genitiv: silicis; Kieselstein) ist ein Element der IV. Hauptgruppe des Periodensystems wie der Kohlenstoff und hat die gleichen Wertigkeiten, zeigt aber in vielen Fällen ein anderes chemisches Verhalten als der Kohlenstoff. Reines Silizium ist dunkel, metallglänzend und bildet ein Raumgitter aus, das der unpolaren Atombindung des Diamanten entspricht. Siliziumatome sind größer, haben einen weiteren Abstand im Raumgitter zueinander als Kohlenstoffatome und ihre Atombindung ist schwächer; daher ist Silizium nicht so hart wie Diamant.

Das **Halbmetall Silizium** ist in reinster Form ein elektrischer Halbleiter, seine Leitfähigkeit wird durch geringe Zusätze stark erhöht. Das chemische Symbol ist Si, die Ordnungszahl ist 14, das mittlere Atomgewicht beträgt 28,086 und die Dichte 2,33 g/cm³. Chemisch ist Silizium nicht so reaktionsfähig wie der Kohlenstoff; es vermag zwar auch Molekülketten zu bilden, aber Doppel- oder Dreifachbindungen sind beim Silizium nicht beobachtet worden. Silizium ist in Säuren unlöslich, es kommt in der Natur nur in Form von Verbindungen vor, entweder als Siliziumoxid oder als Silikat.

Sein **Schmelzpunkt** liegt bei 1410 °C, der Siedepunkt bei 2355 °C. Beim Schmelzen verringert Silizium sein Volumen um 10 %; die Schmelze hat weitgehend metallische Eigenschaften und leitet Elektronen sehr viel besser als das feste Silizium. Mit Metallen verbindet oder legiert es sich zu den Siliziden. Technisch wird Silizium durch Reduktion von Quarz mit Kohle im Lichtbogenofen erzeugt. Die Gewinnung von hochreinem Silizium ist für Halbleiterbauelemente nötig; dazu muss das erhaltene Silizium durch Zonenschmelzen nachgereinigt werden.

Siliziumoxid (SiO₂) ist eine in zahlreichen Modifikationen auftretende Sauerstoffverbindung des Siliziums und gilt als Anhydrid der Kieselsäuren. SiO₂ kommt in der Natur

sehr häufig vor: kristallin (z. B. Quarz), amorph (Opal) und erdig (Kieselgur).

Kristallines Siliziumoxid liegt in sechs Modifikationen des Quarzes vor: α -Quarz, β -Quarz, α -Tridymit, β -Tridymit, α -Cristobalit und β -Cristobalit. Alle Modifikationen wandeln sich bei verschiedenen Temperaturen (120 – 1470 °C) zu solchen Kristallgittern um, die ein anderes Volumen einnehmen. Die Umwandlungen erfolgen bei steigenden Temperaturen und sind grundsätzlich nicht umkehrbar, wenn sich Quarz in Cristobalit, in Tridymit, oder Tridymit in Cristobalit wandelt. Reversible Umwandlungen treten nur zwischen artgleichen Modifikationen auf, d. h. α -Quarz in β -Quarz, α -Cristobalit in β -Cristobalit oder α -Tridymit in β -Tridymit. Bei der Umlagerung werden viele Bindungen gelöst und wieder neu geknüpft, was hohe Aktivierungsenergie erfordert. Bei diesen Umwandlungen kommt es zu massiven Volumensprüngen, die zwischen 2 und 12% kubisch liegen.

Umwandlungsexpansionen und -kontraktionen des Quarzes werden bei zahntechnischen Werkstoffen und Hilfswerkstoffen gezielt genutzt. Bei keramischen Massen wird Quarz als Füllstoff eingesetzt, weil bei den irreversiblen Umwandlungen mit den bleibenden Volumenvergrößerungen die Brennschwindung etwas kompensiert werden kann. Bei Gusseinbettmassen wird die Umwandlungsexpansion des Quarzes genutzt, um eine exakt kontrollierte Expansion der Gussform zu erreichen. Damit wird die Schwindung des Metalls beim Erstarren aus der Schmelze und dem Abkühlen auf Zimmertemperatur ausgeglichen.

Quarz als wesentlicher Bestandteil der Urgesteine (Granit) bildet den größten Anteil der Erdkruste. Die Schmelztemperatur des Quarzes liegt bei schnellem Erhitzen bei 1470 °C; bei langsamem Erhitzen entsteht das α -Tridymit, das sich über 1470 °C in α -Cristobalit wandelt und dadurch den Schmelzpunkt auf 1710 °C anhebt.

Wenn die **Quarzschmelze** wieder abgekühlt wird, entsteht das nicht kristalline „Quarzglas“, weil die SiO₄-Tetraederstrukturen in einem ungeordneten, amorphen Gemisch erstarren. Hierbei sind die temperaturgebundenen Volumenänderungen sehr gering und es treten keine Volumensprünge auf. Es handelt sich eigentlich um eine unterkühlte Flüssigkeit mit der Viskosität von Festkörpern. Quarzglas ist durchlässig für UV-Licht und hat einen sehr geringen Wärmeausdehnungskoeffizienten.

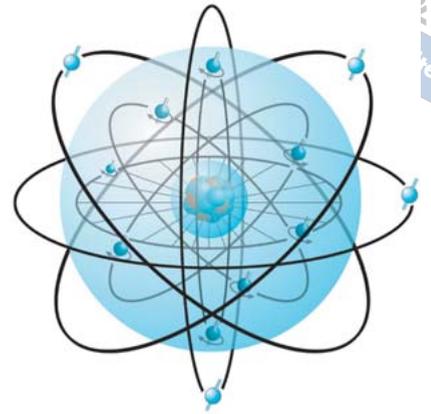


Abb. 618 Silizium ist ein dunkelgraues, stark glänzendes Halbmetall aus der IV. Hauptgruppe, das auf seiner äußeren (der dritten) Hülle vier Valenzelektronen aufweist. Es stellt in reiner Form einen elektrischen Halbleiter dar; hochreines Silizium wird daher für Halbleiterbauelemente verwendet. Es ist nicht sehr reaktionsfähig, wird von Säuren nicht angegriffen und reagiert bei starkem Erhitzen mit anderen Elementen, z. B. mit Sauerstoff zu Siliziumdioxid, mit Stickstoff zu Siliziumnitrid, mit Kohlenstoff zu Siliziumcarbid und mit Metallen zu den Siliziden.

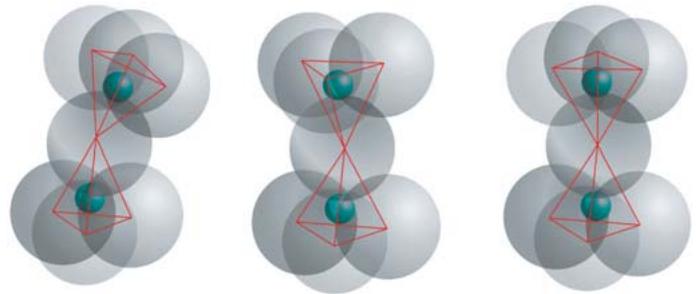
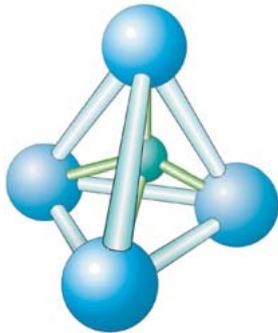


Abb. 619 Silizium ist im Ionengitter mit vier Sauerstoffatomen verbunden. Dabei bilden sich unterschiedliche, tetraederförmige Silikatstrukturen heraus. Im SiO_2 verknüpfen sich je zwei Siliziumatome mit vier Sauerstoffatomen.

Abb. 620 Die Hauptkristallarten des Siliziumoxids sind α -Quarz, α -Tridymit und das α -Cristobalit. In allen drei Fällen sind die Tetraeder mit ihren Spitzen aufeinander gestellt. Beim α -Quarz sind die Tetraeder gegeneinander gekippt, beim α -Tridymit stehen sie senkrecht übereinander und beim α -Cristobalit sind die Deck- und Bodenfläche gegeneinander verdreht. Man erkennt, dass die großen Sauerstoffatome das kleine Siliziumatom völlig umschließen.

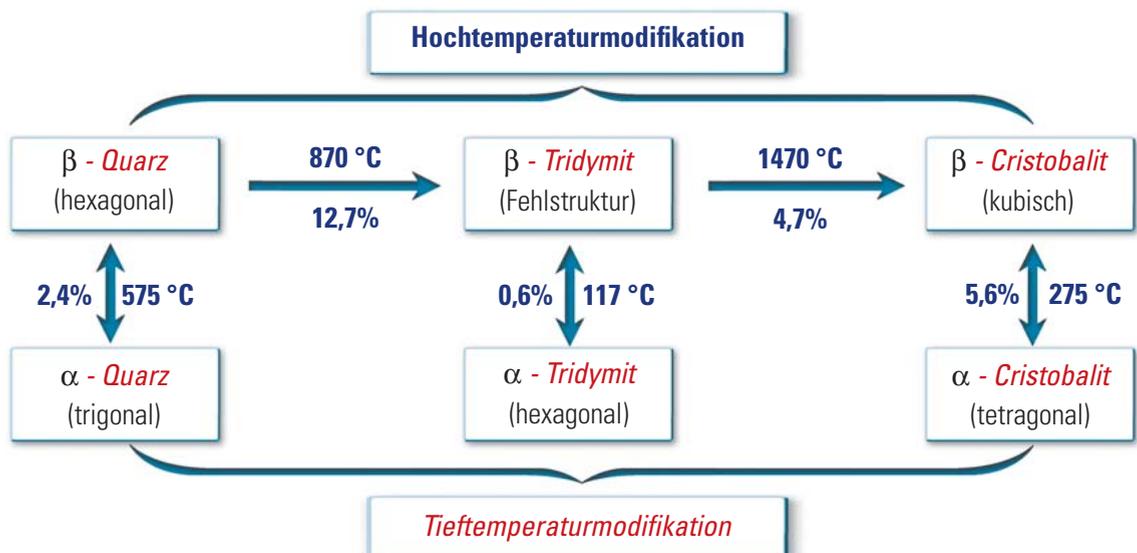


Abb. 621 Die temperaturabhängigen Strukturumwandlungen des Ionengitters der Quarzmodifikationen sind mit erheblichen Volumenänderung verbunden. Die Tieftemperaturmodifikationen des SiO_2 wandeln sich bei bestimmten Temperaturen in die Hochtemperaturmodifikationen um.



Silikate

Als **Silikate** bezeichnet man Ionengitter aus SiO_4 -Anionen. Es handelt sich dabei um Salze und Ester der Kieselsäuren und ihrer Kondensationsprodukte. Die Orthokieselsäure, als Grundform aller Kieselsäuren, ist nicht beständig, weil sie sich durch stetige Wasserabgabe zunächst in Kieselgel und schließlich in SiO_2 umwandelt:



Die **anorganischen Silikate** sind natürlich vorkommende Silizium-Sauerstoff-Verbindungen (Silikatminerale) der Erdkruste und des Erdmantels. Sie kommen als stabile SiO_4 -Tetraederstrukturen vor, in denen ein Siliziumatom von vier Sauerstoffatomen räumlich umgeben ist: Vier Sauerstoffatome bilden eine Dreieckspyramide, in deren Mitte sich das Siliziumatom befindet. Die SiO_4 -Tetraedereinheiten können getrennt oder durch gemeinsame Sauerstoffatome miteinander verknüpft sein.

Das **SiO_4 -Tetraederbauteil** hat einen negativen elektrischen Ladungsüberschuss, weil die zweiwertigen Sauerstoffatome nur mit einer Einfachbindung je Atom am Silizium gebunden sind. Es handelt sich um ein vierfach negativ geladenes Anion, das mit anderen positiv geladenen Metallionen in Wechselwirkung treten und ein Ionengitter bilden kann. Die **SiO_4 -Tetraeder** können getrennt oder, durch gemeinsame Sauerstoffatome miteinander verknüpft, in komplizierten Raumstrukturen vorliegen. Die prinzipiell unbegrenzt ausgedehnten Tetraederstrukturen werden durch positive Metallionen zusammengehalten. Bei den Raumnetzstrukturen, die die äußeren makroskopischen Erscheinungsformen bestimmen, unterscheidet man:

- Insel-Silikate (Olivin; Granat);
- Ring-Silikate (Beryll; Turmalin);
- Gruppen-Silikate (Thortveitit; Zoisit);
- Ketten-Silikate (Augite; Hornblenden);
- Schicht- oder Blatt-Silikate (Apophyllit; Glimmer);
- Gerüst-Silikate (Feldspate).

Silikate mit Ketten- oder Bandstrukturen bilden leicht faserige Modifikationen (Asbest), während solche mit Blattstruktur schichtweise angeordneten Glimmer bilden; wenn sich zwischen diesen Strukturen Wasser einlagert, entstehen die Tone. Bei Raumnetzstrukturen können statt der Siliziumatome teilweise Aluminiumatome eingesetzt sein (Aluminat-Silikate).

In den **Aluminat-Silikat-Raumnetzen** wird eine entsprechend höhere Anzahl an positiven Metallionen nötig, weil das Aluminium nur dreiwertig ist und daher einen Tetraeder mit höherem negativen Ladungsüberschuss bildet. In diesen Raumnetzen sind die Metallionen leicht austauschbar. **Silikate** bilden sich hauptsächlich mit Kalium-, Natrium-, Kalzium-, Magnesium-, Aluminium- und Eisenionen. Natürlich vorkommende Silikate sind: Quarz, Feldspate, Tone, Talkum, Asbest u. a. Künstliche Silikate sind Wasserglas (ein Gemisch verschiedener Natrium- oder Kaliumsilikate), Glas (amorphe Stoffe wie z. B. Natron-Kalk-Glas), Silikatkeramik, Zement und Beton.

Feldspate sind stark verbreitete gesteinsbildende Minerale mit der Dichte von 2,53 - 2,77 g/cm³ und der Härte nach Mohs von 6 - 6,5. Aus den Feldspaten entstehen bei der Verwitterung die Tone, indem sie Wasser aufnehmen und lösliche Kaliumverbindungen abgeben. Die Tone werden weggeschwemmt und als Sedimente wieder abgelagert. Besonders reiner Ton ist die Porzellantonerde (Kaolin).

Feldspat besitzt von allen natürlichen Silikaten die niedrigsten Erweichungstemperaturen. Er schmilzt bei ca. 1170 °C und bildet Leuzit ($\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2$) aus, das bei 1540 °C auch aufgelöst wird, wobei eine glasartige Schmelze entsteht. Diese gibt den keramischen Massen die Festigkeit, auch wenn bei relativ niedrigen Temperaturen gebrannt wird. Es zeigt sich, dass in der Schmelze makromolekulare SiO_2 Ketten entstehen, die die physikalischen Eigenschaften der Masse bestimmen: Der Schmelzpunkt sinkt, der Feldspat erhält eine amorphe, glasartige Struktur. Diese Veränderung der **Feldspateigenschaften** durch das Schmelzen wird im Gemisch der keramischen Massen ebenfalls durchschlagen; umso mehr, wenn ein hoher Feldspatanteil enthalten ist. Nach jedem erneuten Schmelzvorgang werden sich die physikalischen Eigenschaften der Masse in dem Maße ändern, wie sich die Struktur der Masse ändert.

Feldspate sind Gerüstsilikate, man unterscheidet:

- | | | |
|--|---|-----------------|
| <ul style="list-style-type: none"> - Kalifeldspate (Orthoklas)
$\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ - Natronfeldspate (Albit)
$\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ - Kalkfeldspate (Anorthit)
$\text{Ca}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ | } | Alkalifeldspate |
|--|---|-----------------|

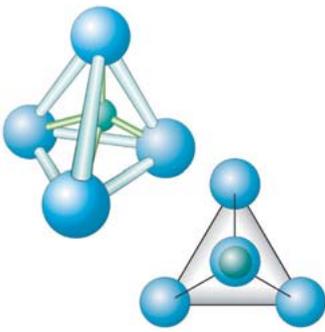


Abb. 622 Der Tetraeder des Monosilikats SiO_4 perspektivisch und von oben betrachtet zeigt das Siliziumatom zentral von 4 Sauerstoffatomen umgeben. Solche sogenannten Insel-silikate treten auf bei den Mineralen der Granatgruppe.

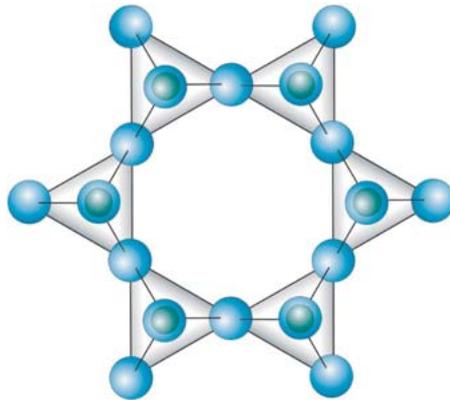


Abb. 623 Ringsilikate (Si_6O_{18}) aus sechs Siliziumatomen, die mit 18 Sauerstoffatomen eine flächige Struktur bilden, treten z. B. bei Beryll und Turmalin auf.

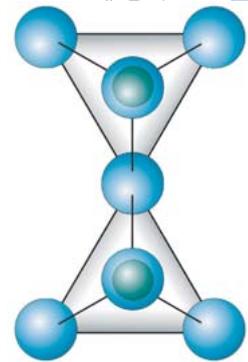


Abb. 624 Das Gruppensilikat (Si_2O_7) aus zwei Siliziumatomen und sieben Sauerstoffatomen bildet einen Doppeltetraeder, der z. B. bei Zoisit auftritt.

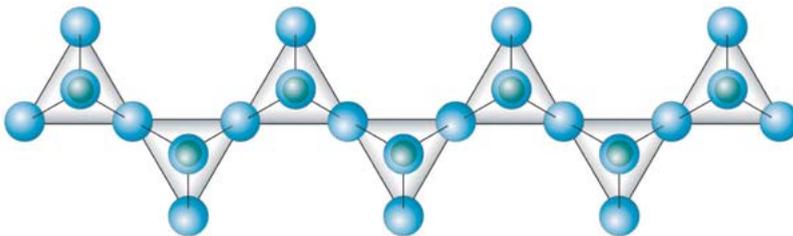
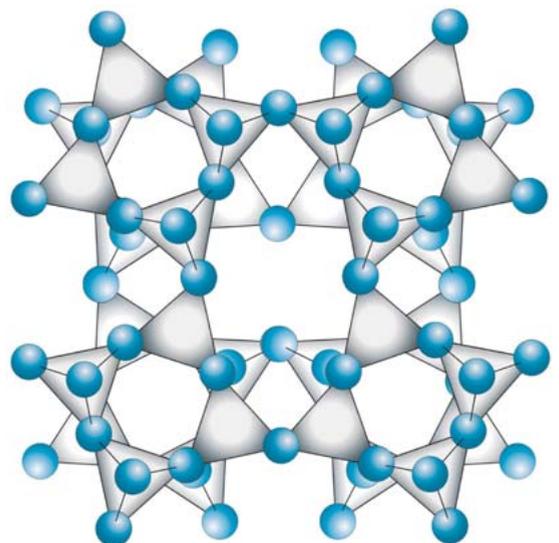


Abb. 625 Silikate in Band- oder Kettenstruktur, wie das Kettensilikat $(\text{Si}_4\text{O}_{11})_n$, bilden leicht Fasern von prinzipiell unbegrenzter Ausdehnung, wie z. B. Asbest, Augite und Hornblende.

Abb. 626 Raumnetz- oder Gerüststrukturen findet man beim Siliziumdioxid und vielen Aluminat-Silikaten. Bei den Alumosilikaten (Feldspate) ist ein Teil der Si-Atome durch Al-Atome ersetzt, die gewöhnlich käfigartig eingeschlossen sind. In den tunnelartigen Raumnetzstrukturen können sich Wassermoleküle einlagern. Silikate bestehen nicht aus diskreten Einzelmolekülen, und die Formelangaben benennen nur die kleinste Einheit beteiligter Atome, welche die periodischen Bauteile des Ionengitters bilden.



Tone

Tone sind quellfähige Alumosilikate mit Schichtstruktur, die durch die Verwitterung von Feldspaten entstehen. Sie enthalten hauptsächlich Al_2O_3 , SiO_2 und H_2O . Das Wasser ist nicht eingelagert, sondern in Form von Hydroxidgruppen (OH-Gruppen) chemisch gebunden. Erst wenn das Tonmolekül beim Erhitzen auf hohe Temperaturen zerfällt, bilden sich Wassermoleküle, die verdampfen, und es kommt zu einer starken Volumenverminderung (Schwindung).

Die kleinsten Teile der **Tonmineralien** sind zwischen 5 - 0,05 μm groß (1 Mikron = $\frac{1}{1000}$ mm = 1 μm). Die blättchenförmigen Tonmineralkristalle entstehen aus der Molekularstruktur der Alumosilikate. Die SiO_4 -Tetraeder sind schichtweise angeordnet, wobei die Tetraederspitzen der darüber liegenden Schicht zugewandt sind, die aus Al_2O_3 -Oktaedern bestehen. Das Aluminiumatom erzwingt die Oktaederstruktur, wobei an den Ecken OH-Gruppen gesetzt sind. Die beiden Schichten sind chemisch gebunden und bilden ein Schichtpaket.

Bei **dreischichtigen Tonkristallen** ist eine Oktaederschicht von zwei Tetraederschichten ummantelt, deren Tetraederspitzen jeweils nach innen mit der Oktaederschicht verbunden sind. Alumosilikate bestehen aus solchen Schichtpaketen, die parallel übereinander liegen und durch schwache Kräfte miteinander verbunden sind. Daher können die Schichten sehr leicht gegeneinander verschoben werden; senkrecht zu den Schichten ist eine Verformung aber nur sehr schwer möglich, weil hier chemische Bindungskräfte überwunden werden müssen.

Zwischen den **Schichtpaketen** kann sich Zwischenschichtwasser einlagern, was die Alumosilikate quellfähig macht. Die Schichtpakete umgeben sich mit einer Wasserhülle, die bei Temperaturen von ca. 300 °C ausgetrieben wird. Dadurch kommt es beim Brennen zu einer Trockenschwindung der Tone von bis zu 6%.

Beim **Brennen** von keramischen Massen aus den verschiedenen Tonen (Feldspat, Kaolinit und Quarz) tritt eine Volumenveränderung durch die Brennschwindung ein, die neben der Trockenschwindung durch die Verdunstung des eingelagerten Wassers im Ton die Gesamtschwindung bis auf fast 8% anhebt. Diese Schwindungen können durch Zuschläge von volumenbeständigen Füllstoffen (Quarzsand, gebrannter Ton), die als Magerungsmittel bezeichnet werden, teilweise aufgefangen werden.

Daneben kommt es durch einen weiteren physikalischen Vorgang beim Brennen zu einer ganz erheblichen sogenannten Sinterungsschrumpfung, die je nach dem Maß der Verdichtung bis zu 35% ausmachen kann.

Das rohe **Mineralgemisch der Keramik** besteht aus vielen kleinen Einzelkristallen (Körnern), die durch das Brennen zu größeren Kristallen verfilzen. Das Mineralgemisch aus Alumosilikaten hat keinen einheitlichen Schmelzpunkt, sondern einen Schmelzbereich. Dabei beginnt der Feldspatanteil bei etwa 1180 °C zu schmelzen und geht in die Glasphase über. In dieser Phase kann der Feldspat den Quarz und das Kaolin in sich aufnehmen. Besonders der Quarz bewirkt jetzt, dass die Feldspatschmelze länger zäh bleibt. Durch die **Schmelzerscheinungen** des Feldspats rutschen die vielen kleinen Einzelkristalle zusammen, das Mineralgemisch verdichtet sich, Hohlräume füllen sich, Poren werden geschlossen, es entsteht eine kleinere Gesamtoberfläche und in der Folge eine größere chemische Widerstandsfähigkeit. Der Vorgang des Verdichtens und Verfilzens der Einzelkristalle zu chemisch und mechanisch stabileren, großen Kristallen nennt man **Sintern**, das mit der Sinterungsschrumpfung einhergeht.

Die **Schrumpfung** stellt zunächst nur eine Verkleinerung der Form dar; denn der geformte Körper soll sich ja beim Brennen nicht deformieren. Dennoch stellt man fest, dass die Sinterungsschrumpfung zu dicken Masseteilen hin verläuft, dünne Teile scheinen stärker zu schrumpfen und sich zu verformen. Außerdem dürfen während der Sinterung bestimmte Anteile die Glasphase nicht erreichen, denn dadurch wird der Scherben zu stark deformiert.

Weil **Quarz** beim Brennen Umwandlungsvorgänge durchläuft, die mit massiven Volumensprüngen verbunden sind, ist ein hoher Quarzanteil für keramische Massen nicht problemlos. Denn die reversiblen Volumenssprünge führen beim Abkühlen zu starken Wärmespannungen. Die normale Wärmedehnung der anderen keramischen Bestandteile (z. B. Feldspatglas) wird eher linear sein, was bei den Umwandlungstemperaturen der Quarzmodifikationen die Differenz erzeugt. Beim Aufbrennen der keramischen Massen auf ein Metallgerüst verstärken sich diese Spannungen noch, weil das Metallgerüst eine lineare Kontraktion vollzieht, während die Keramik in Volumensprüngen kontrahiert.



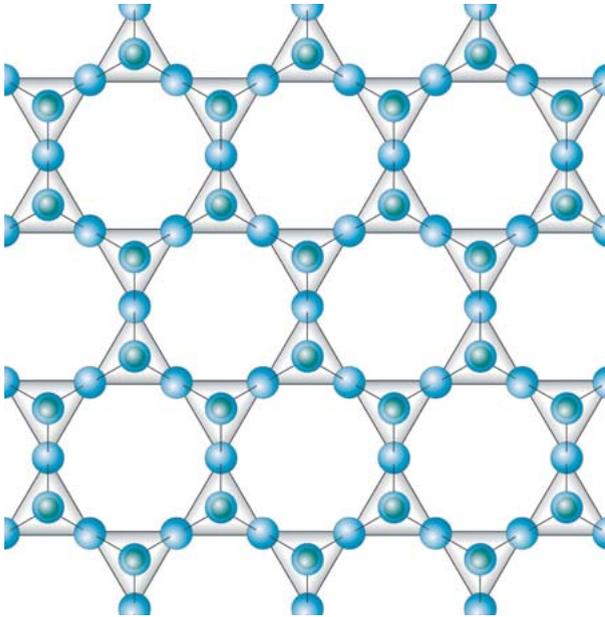


Abb. 627 Tone sind quellfähige Alumosilikate in Form von Schichtsilikaten $(\text{Si}_2\text{O}_5)_n$ mit Korngrößen von weniger als 0,002 mm. Man unterscheidet fetten Ton, mageren Ton, Lehm, Salztou und Kaolin (Porzellanerde) als hochreinen Ton. Durch tektonische Verfestigung entsteht Schieferton und Tonschiefer. Ton ist quellfähig, er nimmt durch Aufnahme von Wasser an Volumen zu, wird plastisch verformbar und wasserundurchlässig. Beim starken Erhitzen wird das zwischen den Schichten eingelagerte Wasser abgespalten und es tritt eine starke Schwindung ein. Beim Brennen sintern die Tonkristalle zusammen, wodurch es zur weiteren Schwindung kommt.

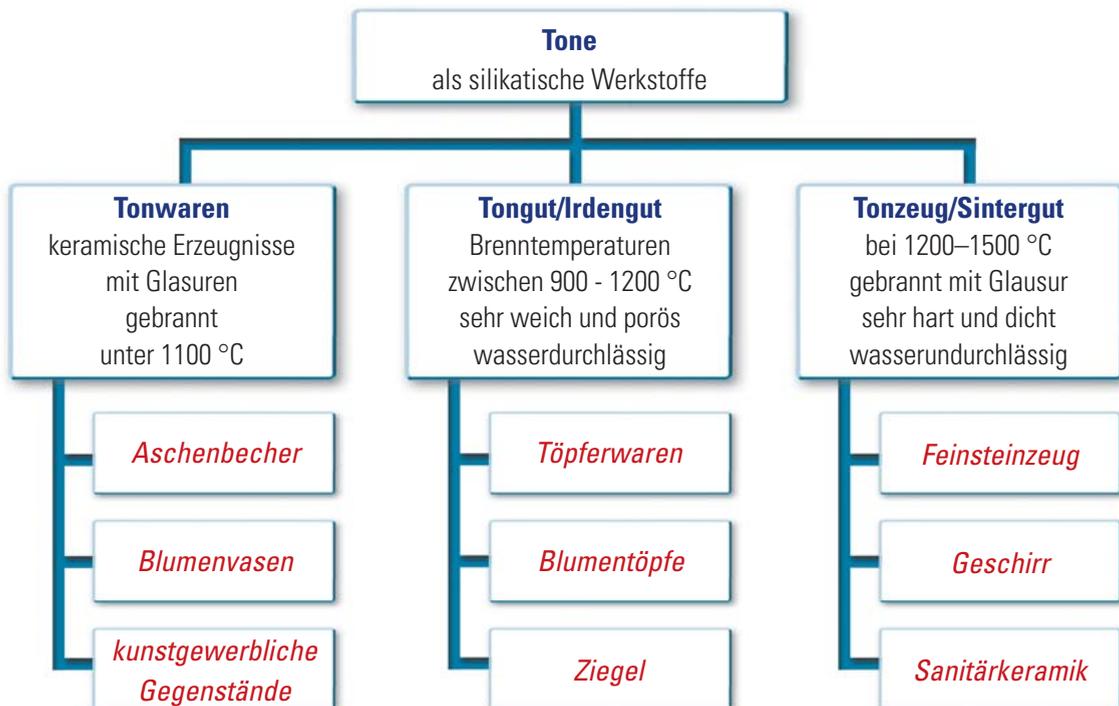


Abb. 628 Tone als silikatische Werkstoffe zur Herstellung keramischer Erzeugnisse können nach dem Grad der Sinterung und der Brenntemperatur unterschieden werden in: Tonwaren, Tongut und Tonzeug. Je höher die Brenntemperatur, umso höher ist der Sinterungsgrad, das Material wird dichter, härter und wasserfester.

Porzellan

Porzellan (ital.) ist eine feinkeramische Masse, die aus Gemischen von Kaolin, Feldspat und Quarz gebrannt wird. Die weißen, dichten, porenfreien und in dünnen Schichten transparenten Scherben werden mit Glasur versehen oder auch unglasiert in großem Umfang zur Herstellung von Gebrauchskeramik verwendet.

Durch Variation der **Rohstoffanteile** erreicht man unterschiedliche Eigenschaften des Porzellans. Die Temperaturwechselbeständigkeit und chemische Resistenz wird durch größeren Kaolingehalt, bessere Transparenz durch größeren Feldspatanteil und erhöhte mechanische Festigkeit durch größeren Quarzgehalt erreicht.

Bei hohem **Kaolinanteil** entsteht das hochschmelzende, temperaturfeste Hart-Porzellan (50 % Kaolin, 25 % Quarz und 25 % Feldspat); bei höherem Anteil an Feldspat und Quarz wird das leichter schmelzende, gegen Temperaturwechsel aber empfindlichere Weich-Porzellan (25 % Kaolin, 45 % Quarz, 30 % Feldspat) gewonnen.

Kaolin (nach einem Fundort in China, dem Berg Kaoling), auch Porzellanerde genannt, ist ein dichtes, feinerdiges Gestein, das in mächtigen Lagerstätten vorkommt. Es ist ein Gemisch der wasserhaltigen Tonerdesilikate Kaolinit, Dickit und Nakrit mit der chemischen Zusammensetzung $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Kaolin bildet mit Wasser eine modellierfähige Masse, die bei 1600 °C zusammensintert und schwer schmelzbar ist.

Kaolinit ist ein monoklines Tonerdesilikat, das in reinem Zustand weiß und feinkristallin ist; es ist der Hauptbestandteil des Kaolins: $\text{Al}_2(\text{OH})_4\text{Si}_2\text{O}_5$. Es ist ein Schichtsilikat, das wechselnde Mengen Wasser zwischen den Schichten aufnehmen und dabei aufquellen kann. Es zerfällt bei Temperaturen zwischen 450 bis 650 °C zu Metakaolinit und Wasser. Das Metakaolinit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) wandelt sich oberhalb von 950 °C in Mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) und freies SiO_2 um. Diese Umwandlung ist ein exothermer Vorgang; er ist bei Temperaturen von 1200 °C völlig abgeschlossen.

Mullit besteht dann aus feinsten nadelförmigen Kristallen, die nach langer, hoher Brennzeit miteinander verfilzen und einen hochfesten Scherben bilden. Mullitkristalle sind kennzeichnend für die Porzellane und in der Regel in den dentalkeramischen Massen nicht enthalten.

Zur **Herstellung von Porzellan** nimmt man nur sorgfältig ausgewählte Stoffe, die eine weiße Brennfarbe besitzen und frei von Eisenverbindungen sind. Kaolin wird zunächst geschlämmt und mit sehr feinen Sieben von groben Teilchen befreit, Quarz und Feldspat werden unter Zusatz von Wasser auf Korngrößen unter 60 µm zerkleinert. Danach werden die Aufschlämmungen der Rohstoffe sorgfältig durchmischt und entwässert.

Eine **vergießbare Porzellanmasse** (sog. Schlicker) erhält man bei einem Gehalt von 35 % Wasser und Zusatz geringer Mengen von Elektrolyten, z. B. 0,5 % Soda, die sich in poröse Giphohlformen eingießen lässt. Diese Formen entziehen der Masse einen Teil des Wassers, wodurch eine beschränkte Trocknung und Schwindung eintritt.

Die **Brennvorgänge** beziehen sich auf die Zusammensetzung der Porzellanmassen: Weich-Porzellan wird einmal auf 1200 bis 1300 °C erhitzt, wobei die Rohstoffteilchen zu einer einheitlichen Masse zusammensintern. Das Hart-Porzellan wird zweimal gebrannt.

Der **erste Brennvorgang** erfolgt bei etwa 1000 °C, danach wird die Glasur auf den noch porösen, gut saugenden Scherben aufgetragen; der **zweite Brennvorgang** (Garbrand) bei 1380 bis 1450 °C dauert 24 Stunden; dabei sintert der Scherben dicht, und die Glasur fließt zu einer durchsichtigen Glasschicht zusammen.

Bei **unglasiertem Porzellan** brennt man die geformte Porzellanmasse etwa 24 Stunden bei 1410 bis 1480 °C. Zur Bemalung des Porzellans trägt man keramische Farben vor oder nach dem Glasieren auf. Unterglasurdekore werden mit dem Garbrand eingebrannt, bei Aufglasurdekoren ist ein Dekorbrand nötig.

Porzellanzähne sind konfektionierte Front- und Seitenzähne aus feinkeramischen Massen mit unterschiedlichen Befestigungsvorrichtungen für den Einsatz in herausnehmbaren Prothesen, Kronen oder Brückenzahnersatz (veraltet). Man unterscheidet Langstiftzähne, Knopfzähne und Lochzähne. Bei modernen Porzellanfrontzähnen sind Goldmantelstifte (Crampons) in einer eingebrannten Hülse eingelötet; die fünf verschiedenen Farbschichten sind um einen Hartporzellankern geschichtet. Die Porzellanseitenzähne (Diatoric) besitzen einen basalen Retentionsraum für Kunststoff.



Abb. 629 Kaolin ist ein Alumosilikat mit Schichtstruktur. Die Porzellanerde ist nach dem chinesischen Fundort, dem Berg Kaoling, benannt. Es ist dichtes, feinerdiges Gemisch wasserhaltiger Tonerdesilikate, das mit Wasser eine modellierfähige Masse bildet, die bei 1600 °C zusammensintert. Die Wassermoleküle lagern sich zwischen die Silikatschichten ein, wodurch die Schichten gegeneinander verschiebbar werden, d. h., die Masse lässt sich leicht modellieren.

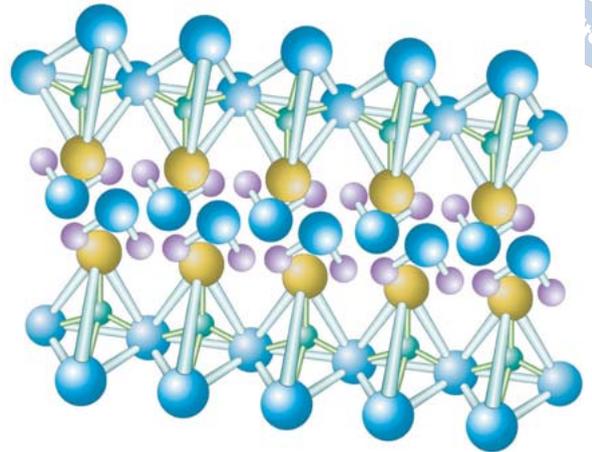


Abb. 630 Prinzip der Herstellung von Porzellanzähnen

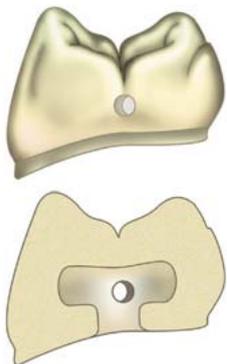
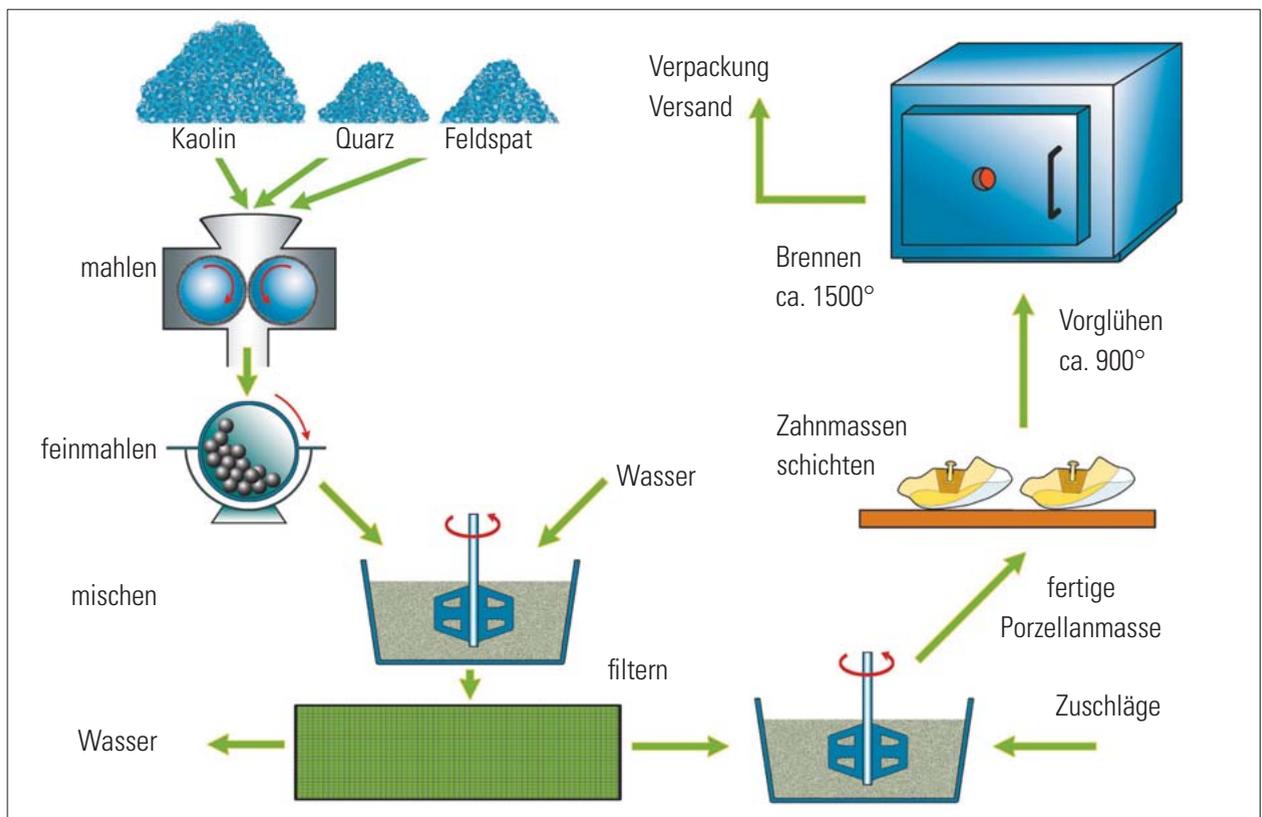
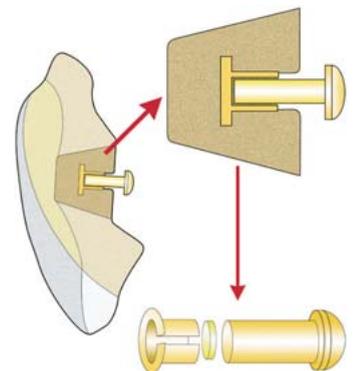


Abb. 631 Keramikzähne müssen durch mechanische Retentionsvorrichtungen im Prothesenkunststoff befestigt werden. Bei Seitenzähnen (Diatorics) ist ein pilzförmiger Retentionsraum von basal eingelassen, in den der Kunststoff eingepresst wird. Frontzähne werden durch Goldmantelstifte (Crampons) gehalten, welche in geschlitzte Edelmetallhülsen eingelötet sind.





Dentalkeramische Massen

Wir wählen die Bezeichnung „dentalkeramische Massen“, weil es sich bei den Mineralsalzen für die Herstellung von zahnärztlichem Kronenersatz, ob Jacketkronen oder Metallkeramik, nicht um Porzellan und auch nicht um Glas handelt.

Dentalkeramik ist kein Porzellan, denn es fehlen die typischen Mullitkristalle, die das Hartporzellan kennzeichnen. Als Glas kann sie nicht bezeichnet werden, denn sie zeigt eben doch Anteile einer kristallinen Struktur, Glas ist aber völlig amorph, d. h. strukturlos. Allerdings stehen die dentalkeramischen Massen der Struktur und den Eigenschaften von Glas näher als denen des Porzellans.

Nur die **Massenversätze** (Massen-%) zeigen deutliche Unterschiede: Reines Porzellan enthält zwischen 40 und 70 % Kaolin, 10 bis 30 % Feldspat und 15 bis 35 % Quarz; dentalkeramische Massen bestehen zu 70 bis 80 % aus Feldspat (Kali- oder Natronfeldspat) und zu 10 bis 20 % aus Quarz und nur geringen Mengen oder gar keinem Kaolin.

Dafür sind sogenannte **Flussmittel** (2 bis 4 %) zugesetzt, wie z. B. Kaliumphosphat, Kallumkarbonat, Natriumkarbonat, Borax, Bleioxid, Kaliumoxid und Manganoxid, die die Erweichungstemperatur der keramischen Massen erniedrigen sollen. Außerdem schlägt man den Einsatzgebieten entsprechend Farbkörper, Haftoxide, Bindemittel und expansive Zusätze zu. Die farbliche Angleichung der Dentalkeramik muss mit Farbstoffen erfolgen, die hitzebeständig sind; es haben sich daher Metalloxide und -salze bewährt:

Eisenoxid	rot/gelb	
Chromoxid	grün	
Kobalt	blau	
Iridium	schwarz	
Silber	orange	
Nickel	grau	
Gold	purpur	
Zinn	weiß	
Titan	gelblich-braun	
Mangan	violett	
Cerium	blau/weiß	} Fluoreszenzbildner
Samarium	rötlich	
Uran	grün/gelb	

Durch die Menge einzelner Farb-Oxide kann die differenzierte Farbabstufung der Zahnfarben erzielt werden; durch variable Mengen von Eisenoxid ist es z. B. möglich, gelbbraune, rote oder grüne Farbtöne zu erzeugen.

Auch die **Bearbeitungsbedingungen** beeinflussen die richtige Farbgebung (z. B. Brenndauer, -temperatur). Ganz entscheidend für die Farbangleichung an die natürlichen Zähne ist, dass die Keramikmassen bei Kunst- oder Tageslicht die gleichen Farbeindrücke hinterlassen wie ein natürlicher Zahn. Dieser erscheint nämlich bei Tageslicht hell-gelblich, bei Kunstlicht jedoch rötlich; durch Zugabe der Fluoreszenzbildner wird die notwendige Angleichung erreicht.

Organische Farben werden den pulverförmigen keramischen Massen zugesetzt, um die Unterscheidung während der Modellation und Schichtung zu erleichtern. Damit die Pulverpartikel modellierfähig werden, sind ebenfalls **organische Bindemittel** zugesetzt (z. B. Stärke, Zucker, Dextrin), die in Verbindung mit Wasser miteinander verkleben. Beim Brennen verdunsten das Wasser, die organischen Bindemittel und die organischen Farbstoffe rückstandsfrei. Nach dem **Brennen** entsteht eine keramische Masse, die eher die physikalischen Eigenschaften der Gläser als die der Porzellane aufweist. Es handelt sich um ein Feldspatglas, das durch Einschlüsse mit Leuzitkristallen versetzt ist.

Dentalkeramische Massen zeigen den isotropen glasartigen Zustand unterkühlter Flüssigkeiten, d. h., sie können kontinuierlich durch langsames Erwärmen ohne Bildung einer neuen Phase vom festspröden in den flüssigen Zustand übergehen, wobei die physikalischen und chemischen Eigenschaften ebenso kontinuierlich geändert werden. Dieses Erweichen und Erstarren der Masse erfolgt innerhalb eines mehr oder weniger breiten Temperaturintervalls.

Die **mechanischen Werte** der gebrannten Massen lassen sich durch die Verdichtung und die Brennführung (Dauer und Temperatur) beeinflussen. Sie weisen im Allgemeinen hohe Härte und Druckfestigkeit auf, sind aber völlig unelastisch und nicht zugfest.

Technische Werte der Dentalkeramik:

Druckfestigkeit	800 - 1000	N/mm ²
Härte	4000 - 5000	N/mm ²
Biegefestigkeit	100 - 180	N/mm ²
Zugfestigkeit	40 - 100	N/mm ²

Die geringe Zug- und Biegefestigkeit kann kompensiert werden, wenn keramische Massen im Verbund mit biegesteifen und zugfesten Materialien verarbeitet werden. Das geschieht bei der sogenannten Metallkeramik, bei der die keramischen Massen auf ein Metallgerüst aufgebrannt werden.

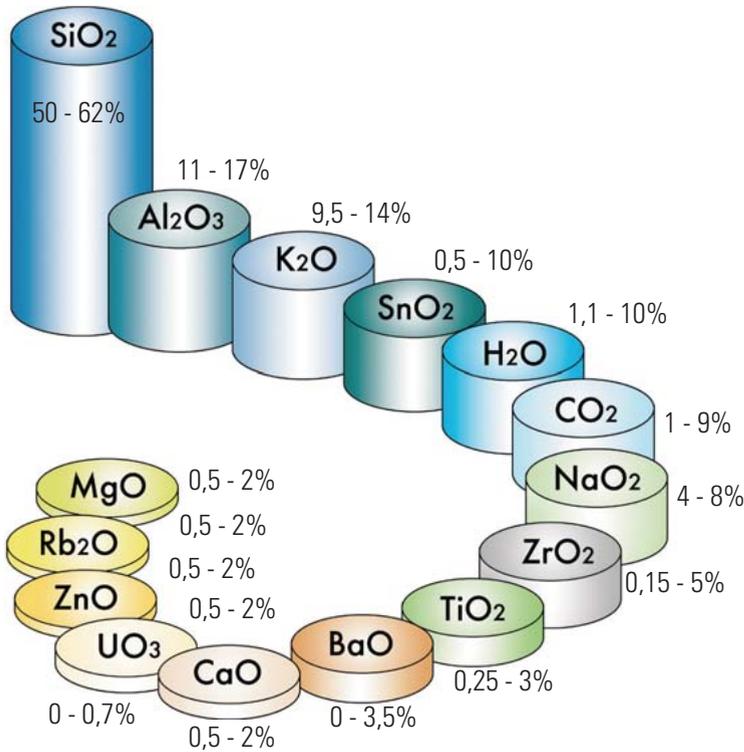
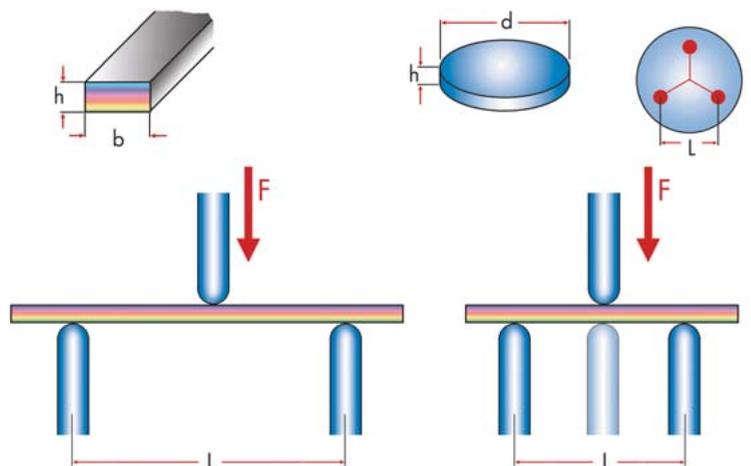


Abb. 632 Die Bestandteile der dentalkeramischen Massen nach ihren prozentualen Anteilen. Die Prozentangaben weisen die Bandbreite des möglichen Massenversatzes der aufgeführten Rohmaterialien aus.

Abb. 633 Das Sortiment von Pinseln zum Auftragen, Modellieren und Bemalen von keramischen Massen kann sowohl aus Naturhaaren als auch aus Kunsthaaren bestehen. Die Vorteile der Kunsthaare sind die hohe Lebensdauer, gleichmäßige, konische, feine Haare und die gleichmäßige spitze Pinselform



Abb. 634 Die schematische Darstellung des Normbiegeversuchs nach DIN 13 927 zeigt den Dreipunkt-Biegetest mit einem stabförmigen Prüfkörper und den biaxialen Biegetest mit einem scheibenförmigen Prüfkörper. Die Abmessungen der Prüfkörper, die Abstände der Lagerpunkte und der Kraftangriffspunkte sind genau definiert. Mit diesen Versuchen werden auch keramische Werkstoffe auf ihre Biegefestigkeit geprüft. Normale Keramiken weisen nur eine geringe Biege- und Zugfestigkeit auf; Zirkoniumoxidkeramik zeigt bei diesem Test erheblich höhere Werte.



Dentalkeramische Massen - Brennen

Der wesentliche Unterschied zwischen Porzellan und dentalkeramischen Massen liegt in der industriellen Vorbehandlung der Massen. Um nämlich eine homogene Masse zu erhalten, den Schmelzbereich der Massen herabzusetzen, die Transparenz zu erzeugen und um den Abkühlungsschrumpfungsverlauf zu beeinflussen, wird vor allem der Feldspatanteil thermisch vorbehandelt.

Man nutzt die **Eigenschaften des Feldspats**, der nach Erreichen der Glasphase in der amorphen Struktur erstarrt und dabei gleichzeitig den Erweichungsintervall senkt. Dabei wird der Feldspat transparent und steigert die mechanische Festigkeit.

Der **Kalifeldspatanteil** schmilzt bei 1170 °C nicht völlig, sondern zersetzt sich in Schmelze und sogenannte Leuzitkristalle. Erst bei 1540 °C zerschmilzt diese Kristallphase und es liegt homogene Schmelze vor. Die Leuzitkristalle sind ein ebenso eindeutiges Kennzeichen der dentalkeramischen Massen, wie es die Mullitkristalle beim Porzellan sind. In beiden Fällen geben die Kristalle den Massen beim Brennen eine hinreichende Standfestigkeit.

Die **Leuzitkristalle** sind kubisch-tetraederförmige Kristalle, die in einer Glasphase eingelagert sind. Ihre Bedeutung besteht eben darin, dass sie während des Schmelzprozesses der Keramik die Standfestigkeit sichern. Glas- oder Emailmassen weisen im geschmolzenen Zustand keine stabilisierenden Kristalle auf und zerfließen darum stark.

Der **Feldspatanteil** wird für die dentalkeramischen Massen gefrittet, d. h., das Feldspatgemisch wird zusammengeschmolzen, so dass ein bestimmter Anteil (Natronfeldspat) in die schmelzflüssige Glasphase übergeht, während andere Anteile (hauptsächlich Kalifeldspat) in der Kristallphase des Leuzits verbleiben. Die entstandenen Feldspatfritten (aus Glasphase und Leuzitkristallen) werden zu feinem Pulver zermahlen. In dieser Pulverform werden die keramischen Massen geliefert. Die nebenstehende Tabelle zeigt die Bestandteile der dentalkeramischen Massen nach ihrem prozentualen Massenversatz.

Der **Brennvorgang** wird im Wesentlichen durch die Eigenschaften des Feldspatanteils bestimmt, denn die Glasphase des Feldspats beginnt schon bei 800 bis 900 °C zu erweichen, wovon die Leuzitkristalle nicht erfasst werden. Der Schmelzvorgang beginnt an der Oberfläche der Pulverkörner, die dadurch zunächst verkleben und dann mehr und

mehr zusammensintern. Der Sinterungsvorgang ist wie schon beschrieben mit einer markanten Schrumpfung verbunden.

Sinterungsschrumpfung wird begünstigt durch:

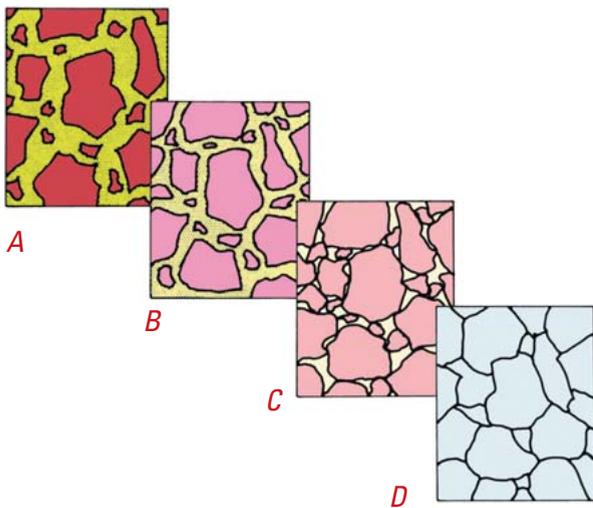
- **Flussmitteloxide** begünstigen bei einem Prozentsatz von 2 bis 4 % das Sintern ganz beträchtlich.
- **Pulvergröße** muss variieren, denn bei einer einheitlichen Korngröße bliebe ein Hohlraumvolumen von ca. 35 % des Gesamtvolumens der Masse übrig. Zwei unterschiedliche Korngrößen reduzieren die Hohlräume auf 25 %, drei Korngrößen auf mindestens 22 %.
- **Verdichtung** der Masse beim Modellieren erfolgt durch Riffeln oder Vibrieren und Absaugen des Wassers, um das Hohlraumvolumen entsprechend der Körnung so gering wie möglich zu machen.
- **Vakuumbrand** kann fast zum völligen Ausfüllen des Hohlraumvolumen führen.

Damit wird deutlich, dass die Sinterungsschrumpfung ganz unterschiedlich ausfallen wird, und zwar zwischen 25 bis 35 % kubisch schwanken kann. Im Vergleich dazu ist die Volumenänderung durch die Verdunstung des zugesetzten Wassers, der organischen Farbstoffe und Bindemittel bedeutungslos gering. Denn es handelt sich hier nicht um Trockenschwindung, wie sie beim Brennen von Tonmineralien einsetzt.

Trotz der hohen **Standfestigkeit** während des Brennens lässt sich bei der Sinterungsschrumpfung dennoch eine Besonderheit der dentalkeramischen Massen beobachten, die für die zahntechnische Verarbeitung von Bedeutung ist: Die Schwindung durch Sintern verläuft nicht gleichmäßig, sondern in bevorzugten Richtungen. Weil die geschmolzene Masse durch die Kohäsionskräfte zwischen den Pulveranteilen eine Oberflächenspannung entwickelt, zieht sich die Masse zur Kugelform zusammen; die Schwindung geschieht also in Richtung auf die größte Masse hin. Dadurch verändert sich die Oberflächenkontur.

Dünne Stellen scheinen viel stärker zu schrumpfen, weil die Masse zu den dicken Teilen hingezogen wird. Eine gleichmäßige Schichtstärke kann diese Schwindung kompensieren. Außerdem zeigt sich eine Schwindung in Richtung der Schwerkraft, die allerdings bedeutungslos ist, wenn Brenntemperatur und Brenndauer eingehalten werden.





- Abb. 635** Beim Sintern verfestigen und verdichten sich die zunächst adhäsiv zusammengehaltenen keramischen Partikel. Je niedriger die Sintertemperatur, desto geringer ist die Sinterschwindung. Die Sinterschwindung ist materialabhängig und liegt für Zirkoniumdioxid bei ca. 25 %, Aluminiumoxidkeramik von ca. 18 %. Der schematisch dargestellte Sinterungsprozess der keramischen Masse zeigt:
- die weiten Zwischenräume zwischen den Pulveranteilen der Keramikmasse sind mit Modellierflüssigkeit, organischen Bindemitteln und Farbstoffen ausgefüllt;
 - durch das Verdichten der Masse (Riffeln) und Wasserabsaugen lagern sich die Partikel dichter zusammen;
 - beim Trocknen im Ofen lagern die Partikel zusammen und es kommt zur Raumfüllung von ca. 75%;
 - bei Brenntemperatur schmelzen die Partikeloberflächen und die Teile sintern zusammen.

Abb. 636 In diesem Diagramm wird der Temperaturgang einer vollständigen Brandführung über der Zeit aufgetragen. Deutlich wird die relativ lange Aufwärmphase, bei der die geschichtete Masse getrocknet wird und die organischen Farbstoffe ausdampfen.

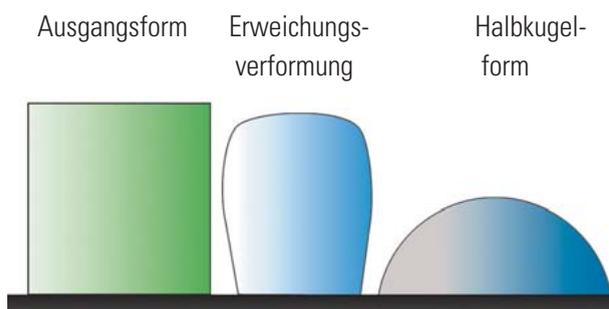
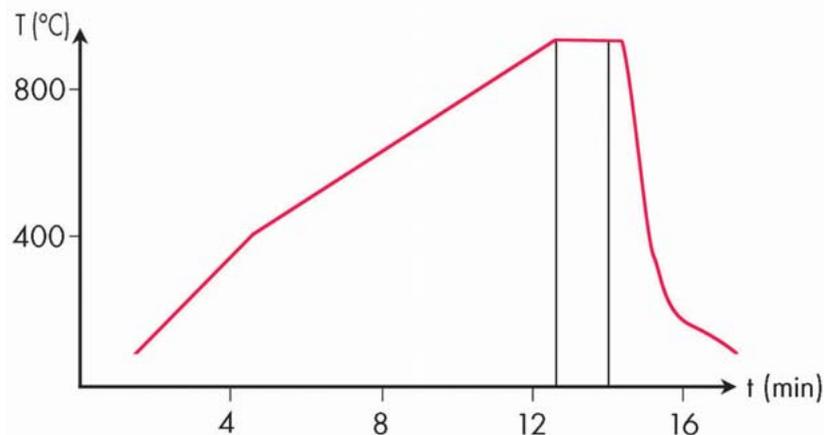


Abb. 637 Die Schrupfung eines Formkörpers durch Trockenschwindung, Sinterungsschwindung und Formverlust durch Oberflächenspannung und Schwerkraft kann im Prinzip aus einem Zylinder eine Halbkugel hervorbringen, wenn bei genügend hoher Temperatur und lange genug gebrannt wird.

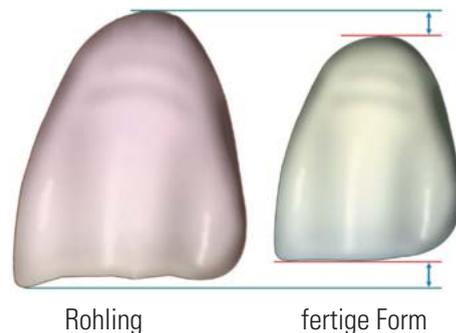


Abb. 638 Die Summe aller Schwindungsvorgänge wird beim Brennen einer Zahnform nicht nur zu einer deutlichen Größenminderung führen, sondern auch die Form verändern. Der erfahrene Zahntechniker nutzt diesen Sachverhalt aus und schichtet die Massen so aufeinander, dass durch den Schwindungsvorgang die gewünschte Zahnform entsteht.

Dentale Keramiksysteme

Die Herstellung von dentalkeramischem Zahnersatz erfolgt nach unterschiedlichen Verarbeitungsweisen zur Formgebung der keramischen Massen.

Man unterscheidet vier grundsätzliche Verfahren:

- Brennen und Sintern von Feldspatkeramik,
- Vergießen von Glaskeramiken,
- Pressen von pyroplastischer Glaskeramik,
- Fräsen von vorgesinterten Keramikkörpern.

Beim Brennverfahren wird das zahntechnische Werkstück aus dem keramischen Rohmaterial frei geformt und in einem Keramikofen unter Vakuum gebrannt. Die freie Formung erfordert bestimmte Verarbeitungseigenschaften der keramischen Massen und ein festes Gerüst, auf dem geformt wird. Bei den Brennverfahren wird konventionelle Feldspatkeramik verwendet.

Die **keramischen Massen** lassen sich auf ein Metallgerüst schichten und aufbrennen, wobei es zu einem chemischen und physikalischen Haftverbund zwischen Gerüst und Keramik kommt. Das Metallgerüst kann in konventioneller Weise modelliert und gegossen, galvanoplastisch hergestellt oder im CAM-Verfahren gefräst werden.

Die Herstellung einer **metallgerüstfreien Vollkeramikkrone** kann auf einem gefalteten Platinkäppchen erfolgen, oder es wird ein keramisches Hartkerngerüst auf einem feuerfesten Einbettmassenmodell hergestellt.

Das **Brennen** von dentalkeramischen Massen erfolgt in einer automatischen Brandführung, um Trockenzeit, Aufheizen auf Brenntemperatur, die Brenndauer, Haltezeit und Abkühlzeit exakt einzuhalten. Beim Vortrocknen werden Anrührflüssigkeit und Farbstoffe verdampft, ohne dass die modellierte Masse reißt oder platzt. Das Brennen erfolgt grundsätzlich unter Vakuum. Beim Erhitzen beginnen die Rohkeramikkörner an der Oberfläche zu schmelzen, sie verkleben und rutschen dicht zusammen, die Zwischenräume werden kleiner.

Dieser Vorgang wird als **Sintern** bezeichnet, der mit einer starken Schwindung von bis zu 35% verbunden ist. Die Ursache des Sinterprozesses sind die Kohäsionskräfte zwischen den Pulveranteilen, welche im angeschmolzenen Zustand eine Oberflächenspannung entwickeln, so dass sich die Masse zur Kugelform zusammenzieht.

Das Gießen metallfreier Vollkeramikrestorationen kann im Wachsausschmelzverfahren mit verlorenen Hohlformen

erfolgen. Das zahntechnische Werkstück in Wachs wird wie beim Metallguss in Wachs modelliert und in phosphatgebundene Einbettmasse eingebettet und im Schleudergussverfahren gegossen; die Farbgebung erfolgt durch Bemalung.

Für das Gießverfahren steht eine Glaskeramik zur Verfügung, mit der sich Rohlinge mit zunächst amorpher Glasstruktur herstellen lassen, die anschließend getempert (keramisiert) werden. Vorteilhaft beim Gussverfahren ist der Wegfall der Sinterschwindung und die dadurch erleichterte Formgebung.

Das Pressen von erhitzten, blockartigen Rohlingen in feuer- und druckfeste Hohlformen erfolgt mit leuzitverstärkter Glaskeramik. Die Glasrohlinge werden unter Erhalt ihres strukturellen Aufbaus bei ca. 1050 bis 1180 °C erweicht und mit hohem Druck in die Hohlform gepresst.

Auch hier kommt es zu keiner Sinterschrumpfung des Materials. Die Hohlform ist ebenfalls eine verlorene Form und wird im Wachsausschmelzverfahren hergestellt. Press- als auch Gießkeramikobjekte können als Grundgerüst gestaltet und mit geeigneten Keramikmassen beschichtet und in Sintertechnik fertiggestellt werden.

Beim Fräsen im CAD/CAM-System können industrielle Rohprodukte im Kopierfräsverfahren oder nach erfassten und modifizierten Computerdaten zu Inlays, Halbschalen oder Kronen- bzw. Brückengerüsten geformt werden. Inlays und Halbschalen aus gesinteter Keramik lassen sich bemalen und mit einem Glanzbrand versiegeln.

Die **Kronen- bzw. Brückengerüste** aus einem vorgesintertem Keramikmaterial (meist Zirkonoxidkeramik) müssen in einem Sinterbrand vorbereitet werden, um als Trägergerüst für die konventionelle Aufbrennkeramik zu dienen. Mit dieser Technologie lassen sich aus keramischen Industrierohlingen zahnmedizinische Produkte mit gleichbleibender Materialqualität herstellen.

Nachfolgend werden die einzelnen Keramiksysteme dargestellt. Dabei wird das jeweils Grundsätzliche der Verfahren dargestellt; eine Vollständigkeit in der Darstellung aller Systeme wird nicht angestrebt. Die aktuellen Verfahrensentwicklungen sind so rasant, dass sie ohnehin in den einschlägigen Firmenveröffentlichungen zum momentanen Gebrauch nachgelesen werden müssen.



Aktivieren, Gussklammer	194	Antiflussmittel	158
Aktivierungsenergie	252	Antigen	328
Alabaster	120	Antikörper	328
Alabastergips	122	Anwenderprogramme	412
Alginat	114f	Anwendungssoftware	408
Alginatisolierstoffe	160	Anziehungskräfte, elektrostatische	92
Alginsäure	160	Arbeit	68f
Algorithmen	428	Arbeitsdruck	200ff, 210
Alkalifeldspäte	38B	Arbeitsplatz	22
Alkane	244	Arbeitsplatz, zahntechnischer	18
Alkene	242, 244	Arbeitsprozess, subtraktiver	408
Alkenmonokarbonsäure	247	Arbeitsspeicher	406
Alkine	242, 244	Arbeitssicherheit	34
Alkohole	246	Arbeitsstoffe	36
Alkoxysilan	116, 262f	Arbeitsteilung, kooperative	16
Allergene	42	Arbeitstisch	18
Allergie	42	Arbeitsvorbereitung	22
Aluminat-Silikate	388	Argentum	356
Aluminium	344	Artikulator	22
Aluminiumoxid	214, 406	ASCII Format	426
Alumosilikat	389, 390f	A-Silikon	116
Amalgam	128, 140	Atemschutzmasken	34
Amalgamation	354	Äthin	100
Ameisensäure	94, 247	Atom	54, 62, 64
Ammoniak	91	Atombindung	52, 238ff
Ammoniumhydroxid	91	Atomgewicht	54
amorpher Zustand	62, 282	Atomgitter	238
Ampere	66	Atomhülle	54, 56, 280
Analyse	64	Atomkern	54, 56, 63
Anforderungen, grundlegende	46, 48	Atomprozente	365
Anguss	222	Atomrümpfe	276, 278
Angusslegierung	222	Aufbrennen, Fehleranalyse	402
Angussverfahren	223	Aufbrennkeramik	400
Anhydrit	120, 122	Aufbrennlegierung	294, 366, 378
Anion	92, 382	Aufbrennoberfläche	404
Anisotropie	292f	Aufheizgeschwindigkeit	180
Anode	92, 336ff, 382	Auflicht-Mikroskope	335
anodische Oxydation	342	Auge	74f
anodische Polarisierung	368	Augenprimärfarben	74f
Anquellen	264	Augensekundärfarben	74
Anquellzeit	270	Augentremor	84
Anrührflüssigkeit	172	Augenverätzungen	44
Anrührzeit	126, 172	Au-Pd-Legierung	368
Anteigverfahren	264	Aurum	347





Ausarbeiten	196, 198	Benutzeroberfläche	412
Ausbettgerät	28	Benzoylperoxid	248
Ausblockwachs	148	Berufsgenossenschaft	32
Ausbrühgerät	22	Berufskleidung	34
Ausdehnungskoeffizient	378	Berührungskorrosion	334
Ausgabegerät	408	Beryllium	344
Ausfällung	364	Beschichten	174
Ausgabegerät	404	Bewegungsenergie	69f
Ausgleichsglühen	232	Bewusstseinschichten	82
Aushärtbarkeit	378	Bezugselektrode	331
Aushärten	232ff	biaxialer Biegetest	395
Ausmodellieren	156	Biegebelastung	206
Aussagen der Modellstümpfe	132	Biegefestigkeit	322
Ausscheidung	235, 302, 374	Biegespannung	204, 207
Ausscheidungselektrode	336	Biegeversuch	322
Ausscheidungshärtung	235, 304	Biegewechselbelastung	204
Ausscheidungskorn	303	Biegung	312
Ausscheidungsmischkristall	235	Bienenwachs	142ff
Außenelektronen	60	bifunktionelle Methacrylate	272
Ausspannlänge	204ff	Bilderfassung	412
Austauschmischkristall	296f, 302	Bimetallstreifen	70
Autoklavenverfahren	120	Bimsstein	218
Autopolymerisate	114, 142, 250, 260	binäre Systeme	298
Azetate	94	Bindekräfte, chemische	379
Azetylen	100, 244	Bindekräftegleichgewicht	279, 286
		Bindemittel	214f
		Bindung, elastische	217
β-Anhydrit	120	Bindung, keramische	216
β-Halbhydrat	120, 122	Bindungsarten	52f, 216
Bakterien	40	Bindungsenergie	278
Bakteriengifte	40	Bindungshärte	217
Base	60, 90f	bioinert	328
Basiseinheit	66, 70	Biokompatibilität	237, 328f, 372
Basisplattenwachs	149	bioreaktiv	328
Baukeramik	380	biotoleriert	328
Becquerel	67	Bis-EDMA	257
Beize	90	Bis-GMA	254
Beizen	338	Bismut	360
Beizgerät	26	Bisphenol	252
Belegungsichte	214, 218	Bis-Phenol-A-Glycidyl-Methacrylat	255
Beleuchtungsstärke	86	Bisserhöhung	271
Belüftungselement	334, 335	Bisswachs	148f
Benetzbarkeit	229, 272, 404	Blausäure	94
Benetzung	228f, 272	Blechlegierung	366

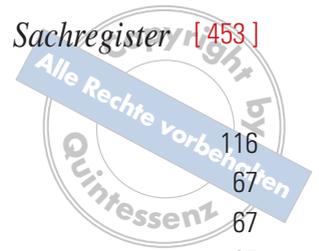
Blei	344	CAQ	415
Blinder Fleck	75	Carboxylgruppe	244
Blockwachs	150	Carnaubawachs	144, 146
Bohren	196	CCD-Chip	420
Bohrmaschine	18	CE-Kennzeichnung	48
Bohrschlauch	220	Celsius	70
Bornitrid	95, 214	Central Processing Unit	410
Borsäure	95	CE-Zeichen	46
Boxingwachs	148f	Chairside-Verfahren	430
Brandführung	397	Chemie, anorganische	64
Brechung	72	Chemie, organische	64
Brennen, Keramik	396f	Chemiegipse	120
Brenner	178	chemische Bindekräfte	379
Brennerflamme	179	chemoplastische Abformwerkstoffe	110, 114
Brennführung	398	Chloride	96
Brenngase	36, 98	Chlorophyll	350
Brenngasgemisch	100, 178	Chlorwasserstoffsäure	96
Brennschwindung	390, 400	Chrom	346, 372
Brennvorgang	396	chromatische Farben	72
Brinellhärte	314	chromatisches Spektrum	78
Bronze	350	Chromoxid	346
Bruchdehnung	318ff	CIM	414
Bruchfestigkeit	318	CMOS-Chip	420
Bruchspannung	320	CMYK-Farbraum	76
Butan	100, 244	CNC-Fräsmaschine	414
		CNC-Maschine	431f
		Cobalt	350
Cachespeicher	410	Compiler	408, 412
CAD	414	Computer Aided Design	414
CAD/CAM-System	398f	Computer Aided Engineering	415
CAD/CAM-Verfahren	376, 406f	Computer Aided Impressioning	424
Cadmium	344	Computer Aided Manufacturing	414f
CAD-Software	428	Computerarbeitsplatz	409
CAE	415	computergesteuerte Fertigung	414
CAI	417, 424	computergestützte Prozesskette	416
Calciumapatit	120	Computer Integrated Manufacturing	414
Calciumsulfat	114	Computer Numeric Control	434
CAM	414	Co-Polymerisate	258
CAM-Fertigung	430	Cornea	75
Campherchinon	250, 260f	Corpus vitreum	75
Candela	66	Coulomb	67
Candellilawachs	144	CPU	409f
CAO	415	Crampons	392
CAP	415	Cristobalit	164ff, 386



C-Silikon	116	Diffusion	226, 232, 294f, 302
Cuprum	351	Diffusionsgeschwindigkeit	294
Cyan	76	Diffusionsglühen	232, 300
Cyanoacrylatkleber	230	Diffusionsgrad	226, 228
		Diffusionszone	226
		digitale Abformung	424
Dämmerungssehen	75	digitale Datenerfassung	418
Dampfstrahlgerät	25	digitaler Datensatz	416
Dampfstrahlreinigungsgerät	22	digitaler Workflow	424f, 438
Datenaufnahme	416	digitale Volumentomographie	438
Datenbus	408, 410	Digitalisierungsprozess	416
Datenfluss	16	Digitalrechner	408
Datenreduktion	416	Dihydrat	120, 122, 124
Datensatz	416, 434	Dimensionstreue	110
Datenspeicherung	410	Dimensionsverhalten, Gips	123, 126
Datentransfer	426	Dimethylsilikon	160
Dauerbruchstelle	322	Dipolcharakter	404
Dauerfestigkeit	322	Dispersion	72
Dauerschwingversuch	322f	Dissoziation	92f
Degunorm	366	Dissoziationsgrad	92
Degussit-Stifte	217	Doppelbindung	242ff, 272
Dehnbarkeit	318	doppelbrechender Kristall	425
Dehngrenze	318, 364, 374, 378	Doppelmischabformung	108
Dehydratation	120	Dotierung	348
Dendritenstruktur	233, 301	Dowelpins	132
dentale Keramiksysteme	398	Drahtbiegezeuge	21
Dentalgipse	122	Drall	202
Dentalkeramik	380, 394	Drehmoment	313
Dentalkeramik, Farbstoffe	394	Drehzahl	200, 208, 220
dentalkeramische Massen	394	Dreifachbindung	244, 248
Dentallegierungen	364	Dreifingerzange	21
Dentalwachse	142ff	Dreistoffsystem	298, 308f, 381
Desinfektion	38	Dreistoff-Zustandsschaubild	311
Destillat	64	Druck	67, 312
Destillation, trockene	64	Druckfestigkeit	312, 322
Destillieren	64	Druckluft	100
Destillierkolben	65	Druckmessgerät	99
Detailwiedergabe	110	Druckpolymerisationsgerät	30
device driver	412	Drucktopf	30, 266
Diamant	214, 238	Druckversuch	315
Dibenzoylperoxid	250f, 260	Dubliermasse	112, 116, 266
Dichte	288f	Duktilität	118, 314, 376
Dielektrikum	340	Dunkelfeldbeleuchtung	324f
Dienstprogramme	414	Durchbruchspotential	372f



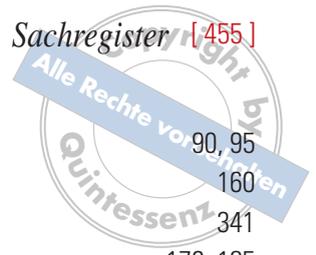
Durchlichtmikroskope	325	elastomere Abformwerkstoffe	116
Durchschallungsverfahren	334	elektrische Ladung	67
Duroplaste	252ff,	elektrische Leistung	67
Düseneffekt	185f	elektrische Spannung	67
		elektrischer Widerstand	67
Edelgase	57	elektrochemische Korrosion	330
Edelgaskonfiguration	57, 276, 382	elektrochemische Spannungsreihe	330
Edelkorund	214	Elektroerodieren	340
Edelmetalle	276	elektroerosive Bearbeitung	340
edelmetallfreie Legierung	372	Elektrolyse	336f, 342
Einbettmassen, Volumenverhalten	166	Elektrolysebad	342
Elektronen	54	Elektrolyt	90f, 328ff, 373, 384
Elektronenpaarbindung	238	Elektrolytbäder	90
Einbetten	264	Elektrolytische Dissoziation	92
Einbetten von Gussobjekten	172	elektromagnetische Strahlung	72, 326
Einbettmasse	101, 162	elektromagnetisches Spektrum	327
Einbettmassen, Bestandteile	164	elektronegative Elemente	382
Einbettmassen, Bindemittel	164	Elektronen	56, 58, 60, 63
Einbettmassen, Eigenschaften	166	Elektronenaffinität	60
Einbettmassen, ethylsilikatgebunde	165, 170	Elektronenakzeptor	276
Einbettmassen, Expansion	168	Elektronendonator	276
Einbettmassen, Forderungen	162	Elektronenhülle	54
Einbettmassen, gipsgebundene	170	Elektronenmikroskop	327
Einbettmassen, phosphatgebundene	170	Elektronenpaar	238f
Einbettung, Schleifkörner	218	Elektronenrastermikroskop	324
Einbettungstiefe	218	Elektronenschalen	54
Einbettvlies	168, 172f, 190	Elektronenspin	58
Eindruckhärteprüfung	314	Elektronenstrahl	326f
Einfachbindung	242	Elektronenüberschuss	336
Eingabegerät	408	Elektronenvervielfacher	326
Einkomponentenkleber	230	elektrophoretische Abscheidung	434
Einkristall	292f	elektropositive Elemente	382
Einlagerungsmischkristall	296f, 302	elektrostatische Abstoßung	92, 384
Einstreuzeit	124	elektrostatische Anziehung	92, 384
Einstück-Arbeitsmodell	130f	elektrostatische Wechselwirkung	278
Eisen	346	Element, chemisches	54
Elaste	254	Element, elektronegatives	382
elastische Bindung	217	Elementarzelle	279, 282ff, 293
elastische Verformung	194	Elemente	64
Elastizität	316, 320	Element, elektropositives	382
Elastizitätsgrenze	320f	Element, galvanisches	336
Elastizitätsmodul	320f, 378	Elementsymbol	54
Elastomere	114, 257	Elysierbad	338
		Elysieren	336



Emissionscharakteristik	224	exotherm	64
E-Modul	320, 364	exothermer Vorgang	392
Emulsion	64	Expansionsfehler	134
endotherm	64	Expansion, thermische	62, 278
Energie	67ff	Extensiometer	123
Energie, elektrische	68	Extensionsabformung	108
Energie, kinetische	68f	extraorale Abtastung	418
Energie, mechanische	68	Exzentrizität	208
Energie, potentielle	68f		
Energiearten	68		
Energieband	281	Fahrenheit-Skala	70
Energiebändermodell	276, 280	Fallhammer	316
Energieform	68	Farad	67
Energieniveau	55f, 60, 240	Farbbestimmung	84
Energiezustände	55	Farbbestimmung, metrische	84
Entmischungszonen	235	Farbe	72
Entspannungsspray	173	Farbeindruck	73, 86f
Epoxidharz	128, 252	Farbempfindung	74
Erdgas	100	Farben, achromatische	72
Erdwachs	144f,	Farben, chromatische	72
Erlebnisschicht	82	Farbenblindheit	84
Ermüdungsbruch	322	Farbenlehre	72
Erstarrungsfront	184ff, 290	Farbenraum	80
Erstarrungskontraktion	168, 182f,	Farberkennung	84
Erstarrungspunkt	62, 288ff, 304	Farberlebnis	74, 76, 82
Erstarrungsvorgang	290	Farbkontraste	80
Erste Hilfe	44	Farbkreis	78, 80
Erwärmungsexpansion	226, 287, 298	Farbmessung	77
Erweichungsintervall	396	Farbmischung	76
Essigsäure	94	Farbmischung, additive	73, 76
Ester	142, 247	Farbmischung, partitive	76
Ethan	242, 244	Farbmischung, subtraktive	76
Ethandiol	246	Farbordungssystem	76
Ethanol	246	Farbraum	76, 78, 88
Ethansäure	94	Farbreihe, dynamische	79
Ethen	242f,	Farbreihe, progressive	79
Ethin	242	Farbreihen	80
Ethoxysilan	116f	Farbrezeptor	74f
Ethylen	242f	Farbsättigung	86f
Ethylsilikat	164	Farbsymbolik	82
Eugenol	114	Farbsystem	88
Eutektikale	302ff, 309f	Farbsystem nach DIN 6164	79
Eutektikum	302, 304, 306	Farbtemperatur	84
EX-3-N	112	Farbtiefe	74



Farbton	74, 88	Flusssäure	90, 95
Farbtonkreis	77	Folienisolierung	160
Farbvalenzen	76, 78, 81, 88	Formelektrode	341
Farbvergleich	86	Formfüllung	176, 185
Farbwahrnehmung	74, 84	Formfüllungsvermögen	182
Fehleranalyse	416	fossile Wachse	145
Fehlguss	190	Fovea centralis	74f
Feineinbettmasse	162, 172	Fräsbahn	430
Feingehalt	365	Fräsen	196
Feinkeramik	380	Fräser	198, 202
Feinkörnigkeit	378	Fräser mit Querhieb	212
Feinschleifen	196, 198, 218	Fräser, feinverzahnte	212
Feinschleifmittel	218	Fräser, grobverzahnte	212
Feinstaub	42	Fräser, normalverzahnte	212
Feinsteinzeug	380	Fräsgerät	18
Feinstrahlgerät	26	Frässtrategie	434
Feinstrukturuntersuchung	324, 326	Fräswerkzeuge	196, 210
Feldspat	392ff,	Freifläche	202
Fernthermometer	70	Freihandschleifen	220f
Ferrum	347	Freiwinkel	202f
Fertigungstechnik	14	Frequenz	67
Fertigungsverfahren	16, 174, 194	Fresnelsche Zonenplatte	420, 425
Festigkeit	194, 312, 318	Fügen	174, 222
Festigkeitsverhalten	110	Füllstoffe	236
Festkörper-Laser	224f	Fundamentalabstand	70f
Festkörperstruktur	283	Funkenerosion	338f, 376, 434
Festplatte	410	Funkenerosionsgerät	340
Feuchtfestigkeit	122	Funktionsabformung	104ff, 112, 114
Finieren	196	Funktionslöffel	105f
Flachzange	21	Funktionsmodelle	130
Flammeneinstellung	178, 188	Funktionstasten	411
Fliehkraftgießen	176	Fused Deposition Modeling	432
Fließverhalten	182		
Flow	113, 152f,		
Fluoreszenz	86	Gallium	348
Fluoreszenzbildner	394	galvanische Elemente	328, 334f
Fluoreszenzwirkung	85	galvanisches Bad	337
Fluoride	95	Galvanisieren	128, 342f
Fluorwasserstoffsäure	95	Galvanoelement	31, 337
Flussdichte, magnetische	67	Galvanoforming	338, 342
Flüssiggas	98	Galvanoinlay	342
Flüssigkeitsisolierung	161	Galvanokappe	342
Flüssigkeitsthermometer	70	Galvanoplastik	342f
Flussmittel	188, 228	galvanoplastische Modelle	118





galvanoplastische Niederschläge	128	Gipseigenschaften	127
Galvanotechnik	336f	Gipsexpansion	136
Gammastrahlen	326	Gips, Gießzeit	122
Gasbrenner	18, 99	Gips, Härte	126
Gasdruck	98	Gips, Mischungsverhältnis	126
Gase	98	Gips, Qualitätsanforderung	122
Gasentladungslampe	224	Gips, synthetischer	120
Gasflaschen	98	Gipsbrennen	120
Gasgemische	98	Gipseigenschaften	127
Gaslaser	225	Gipsexpansion	134
Gebläse	100	Gipssilo	22
Gebotzeichen	34	Gipsspat	120
Gefahrstoffe	37	Gipsstein	120
Gefahrstoffverordnung	36	Gipstisch	22
Gefüge	290f, 304	Gipstrimmer	22, 24
Gefüge, eutektisches	304	Gipstypen	122f, 126
Gefüge, homogenes	232	Gipsverarbeitung	124
Gefüge, inhomogenes	232	Gipszange	21
Gefüge, Legierungen	294	Gitter, flächenzentriert	282, 284
Gefügeuntersuchung	324	Gitter, hexagonal	282f
Gegenbissmodelle	130	Gitter, kubisches	282
Gegenlaufräsen	200f	Gitter, kubisch-primitiv	282f
gelenkte Abkühlung	184	Gitter, raumzentriert	276, 278
Gemenge	64	Gitterebene	194f
Gemenge, homogene	64	Gittergerade	282
Gemische	64	Gitterkonstante	277ff
Gemische, heterogene	64	Gitterplatz	286, 296
Gemische, homoge	64	Gitterpunkte	278
Germanium	348	Gitterstruktur	292, 297, 318
Gesichtssinn	74	Gitterstrukturverhalten	286, 288
Gestaltwahrnehmung	83	Glänzen	338
Gesundheitsgefahren	32	Glänzgerät	28
Gesundheitsschutz	38	Glasfaserkabel	224
Gesundheitsschutz, Säuren	90	Glasinfiltrationsbrand	398
Gesundheitsvorsorge	38	Glasinfiltrationskeramik	398
Gewebsverträglichkeit	328	Glaskeramik	398
Gewichtsprozent	365f	Glaskörper	75
Gießen	176	Glasphase	396
Gießtemperatur	182f, 190	Glasur	392
Gießverfahren	264	Gleichlaufräsen	200f
Gießverfahren, Kunststoff	266	Gleichmaßdehnung	319f
Gips	118, 120	Gleitebene	292f
Gips, Abbindeexpansion	122	Glühfarben	74
Gips, Dimensionsverhalten	126	Glyzerin	246

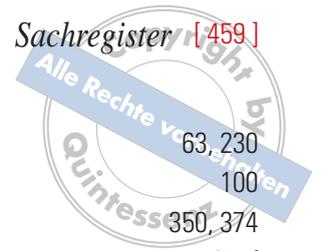
Gold	346	Haftoxide	274, 368ff, 404f
Goldbasislegierung	346	Haftsilane	274
Gold-Platin-Legierung	366	Haftvermittler	230, 272, 400
Gold-Platin-Palladium-Legierung	366	Haftvermittlung, Chemische	274
goldreduzierte Legierung	369	Halbhydrat	124
Graphitelektrode	340	Halbleiter	280, 348, 386
Graphittiegel	178	Halbmetalle	276
Grenzfläche	73	Handbohrmaschine	220
Gray Code-Muster	420	Handschleuder	176
Grobkeramik	380	Handstücke	220
Grobsteinzeug	380	Hard Disks	410
Grobstrukturuntersuchung	324, 326f	Hardware	408
Größen, skalare	66	Härte	312, 318
Größen, temperaturabhängige	70	Härte, Gips	126
Größen, vektorielle	66	Härteprüfung	312, 314, 316
Grundbeanspruchung	312	Härteprüfung, Brinell	314f
Grünkörper	406f,	Härteprüfung, Knoop	316
Gruppensilikat	389	Härteprüfung, Rockwell	316
Gussapparatur	176, 182	Härteprüfung, Shore	316
Gusseinbettmassen	162f, 386	Härteprüfung, Vickers	316
Gussfahnen	190	Härteskala nach Mohs	313
Gussfehler	188	Hartgips	122
Gussgerät	26	Hartlote	226
Gusshohlform	172f	Hartlöten	222
Gusshohlraum	184	Hartmetall	210
Gusskanäle	184	Hartparaffin	144
Gusskanalsystem	184ff, 190f	Hartporzellan	392
Gusslegierung	366	Harze	144f
Gussmuffel	180ff	Hauptenergieniveau	56ff, 240, 280
Gussmuldenformer	172f	Hauptlot	226
Gussperlen	190	Hauptquantenzahl	56
Gussreserve	190	Hautverletzungen	44
Gussschleuder	28	Heißpolymerisate	250, 260, 264, 266
Gusstiegel	188	Hellfeldbeleuchtung	324f
Gusstrichter	176, 186	Helligkeit	74, 76, 88
Gussverfahren	176	Helligkeitskontrast	80
Gussverzugszeit	182, 184	Hemihydrat	120
Gussvorgang	180, 182	Henry	67
Gusswachs	40, 144, 149ff	Hepatitis	38, 40
Guttapercha	112f	Herstellungskette	16f
		Hertz	67
		heterogen	64
Haftmechanismen	273, 379, 404	heteropolare Bindung	382
Haftoxidbildner	366, 379, 405	hexagonal-dichteste Packung	282



Hilfeleistungen	44	Induktionslötung	226
Hilfswerkstoffe	51f	Induktivität	67
Hipen	362, 437	Infektion	39, 40
Hitzezentrum	184ff	Infektionsprophylaxe	40
HM-Fräser	210	Infektionsrisiko	32
Hobeln	196	Inhibitor	248
Hochglanz	198	Inhomogenität	300
hochgoldhaltige Legierungen	366	Initiator	236, 248ff
Hochleistungskeramik	436	innerkristalline Seigerung	232, 300, 370
homogen	64	Inoffice-System	438
homogenes Legierungsgefüge	296	Inselsilikat	389
Homogenisieren	232	interaktiv	428
homologe Reihe	244	interaktive Datenbearbeitung	428
Homopolymerisat	258	Interferenzmuster	326
Hookesche Gerade	319ff,	interkristalline Korrosion	372
Hornhaut	74	intermetallische Phase	296
Humor aquosus	74	intermetallische Verbindung	296
Hybridisation	240f	Internbus	410
Hybridorbital	241f, 245	intraorale Datenerfassung	424
Hydrargyrum	354	intraorales Scannen	417
Hydraulikpresse	30f	Ionen	62f, 276, 342, 382
Hydrochinon	250	Ionenbindung	52, 238, 382
Hydrogenium	100	Ionengitter	385f
Hydrokolloid	112, 114	Ionenkristall	385
Hydrolyse	272	Ionenreaktion	246
Hydroniumionen	90	Ionisation	63
Hydroxide, amphotere	60	Iridium	348
Hydroxidgruppe	91	Iris	74
Hydroxidionen	60	Isolator	280, 384
Hydroxyethylmethacrylat	255	Isolieren	158, 268
Hydroxylgruppe	246	Isolierfilm	161
Hygiene	38	Isolierflüssigkeit	160
Hygienemaßnahmen	38	Isoliermittel	158, 160
Hygieneplan	38	Isolierschicht	158
		Isolierwerkstoffe	101
		isostatisches Pressen	362
Implantatwerkstoffe	328	Isotope	54
Impregum	116	isotrope Eigenschaft	292
Impulsechoverfahren	324	Isotropie	292
Impulsgenerator	340		
Impulslänge	224		
Indium	348	Japanwachs	144, 146
individueller Abformlöffel	106f	Joule	67
Induktionserwärmung	178f	Kadmium	344



Kaliumhydroxid	91	Klebstoffe	63, 230
Kältesteiger	189	Knallgas	100
Kaltpolymerisate	266	Kobalt	350, 374
Kaltumformung	194	Kobaltbasis-Legierung	374f
Kaltverfestigung	194, 232ff, 320, 374	Kohäsion	62, 230
Kaltverformung	174, 232ff, 374	Kohäsionskräfte	63, 228
Kalziumsulfat	121	Kohlenstoff	64, 239ff
Kaolin	388, 392f,	Kohlenstoffchemie	64
Kaolinit	390ff	Kohlenwasserstoff	144, 240ff
Kapazität	67	Kohlenwasserstoffreihe	242, 246
kapillarer Fülldruck	228	Kolophonium	144ff
Kapillarwirkung	227ff	Komposite	262
Karat	365	Kompositionsabformmassen	112
Karbonsäuren	244	Kompressionsabdruck	104
Karborundum	214	Kondensation	64
Kastenretention	272	Kondensationspunkt	62
Katalysator	116, 236, 250ff	Kondensationsreaktion	116
Kathode	92, 338f, 342f, 382	kondensationsvernetzte Silikone	116
kathodische Reduktion	342	konfokale Datenaufnahme	421
Kationen	92, 330, 382	Konformitätserklärung	46
Kautschukmassen	114	Königswasser	96, 346
KaVo Everest	413	konoskopische Holografie	420, 425
Keilwinkel	202f	Konstruktionsbedingungen	14
Kelvin	66, 70	Kontaktexzem	42
Kelvin-Skala	70	Kontaktkorrosion	333f
Keramik	380	Kontraktion, thermische	62
Keramikkofen	26	Konzentrationsdreieck	308
Keramikfüllung	399	Kooperationsverbund	16
Keramiksysteine	399	kooperative Arbeitsteilung	16
Keramiktiegel	178, 188	Kopale	145ff
Keramikverarbeitung	26	Kopierfräsgerät	26
Keramikzähne	380	Kopierfräsverfahren	398, 414
keramische Bindung	216	Körner	290f
Kernbausteine	54	Kornfärbung	324
Kernladungszahl	55	Kornfeiner	292, 358, 368
Kettensilikat	389	Kornflächenätzung	324
Kieselgur	218	Korngrenzen	290
Kieselsäure	388	Korngrenzenätzung	324
Kilogramm	66	Kornseigerung	292
kinetische Energie	68f	Kornstruktur	292
Klebefläche	230	Körnung	214, 218
Kleben	222, 230	Körperfarben	74, 85
Klebeverbindung	230	Korrekturabformung	108f
Klebewachs	148f	Korrosion	232, 332



Korrosion, elektrochemische	330ff	Kunststoff, weichbleibend	258
Korrosion, interkristalline	334, 372	Kupfer	350
Korrosion, intrakristalline	334	Kupferoxidul	188
Korrosionsbeständigkeit	210, 366	Kurzzeitpolymerisation	265
Korrosionselemente	332	Küvette	22, 31, 264
Korrosionsfestigkeit	370, 374, 376, 378		
Korrosionsformen	334	Laborantrieb	18
Korrosionsprodukte	334	Lacke	160
Korrosionswiderstand	292	Lackmus	91
Korund	214, 344	Lackmusfarbstoff	60
Kraft	67	Ladung, elektrische	67
Kreuzverzahnung	212	Ladungsüberschuss	60
Kristalle	290	Länge	66
Kristallgemische	294, 304, 306	Langzeitpolymerisation	265
Kristallgitter	68, 282f,	Laser	225
kristallin	62	Laseraggregat	224
kristalliner Aufbau, Metalle	282	Laser-Kristall	224
Kristallisation	290	Lasermedium	225
Kristallisationskeime	124, 290, 300, 304	Laserparameter	224
Kristallisationswärme	290	Laserschweißen	222ff,
Kristallite	290	Laserschweißgerät	224
Kristallstruktur	62	Lasersintern	432, 435
Kristallwasser	120	Laserstrahl	224
K-Silikon	116	Lasertriangulation	420
Kunstharze	144f, 256	Lastspiele	323
Kunststoff, Anforderung	237, 261	Lastspielfrequenz	323
Kunststoff, Gewebsbelastung	271	Lasuren	74
Kunststoff, lichthärtend	260	Laugen	60, 90f
Kunststoff, Porenbildung	268	Lecron	20
Kunststoff, weichbleibend	252	Lederhaut	75
Kunststoffbindung	217	Legierung, goldreduzierte	368
Kunststoffe	128, 236	Legierung, hochgoldhaltige	366
Kunststoffe, Anforderungen	231	Legierungen	64, 292ff
Kunststoffe, gefüllte	262	Legierungsgefüge, homogen	296
Kunststoffe, teilvernetzte	254	Legierungskomponenten	292ff, 298
Kunststoffe, unvernetzte	254	Legierungstypen	364
Kunststoffe, vernetzte	254	Leichtmetall	276, 288f
Kunststoff-Metall-Verbund	272	Leistung	68
Kunststoff, Porenbildung	268	Leistung, elektrische	67
Kunststoff-Sockelplatte	136	Leiter zweiter Klasse	384
Kunststofftypen	254	Leitfähigkeit, elektrische	280
Kunststoffverarbeitung	30, 264	Leitungsband	280f,
Kunststoffverarbeitung, chemoplastisch	264	Leuchtfarben	74
Kunststoffverarbeitung, thermoplastisch	264		



Leuzitkristalle	394, 396	Lötflächen	228
Licht	72	Lötfolge	228f
Licht, infrarotes	72	Lötgerät	29
Licht, ultraviolettes	72	Lötmodell	227f
Lichtbogen	376	Lotnaht	222, 226ff
Lichtbogenerwärmung	178	Lotspalt	227ff
Lichtbrechung	72	Lötverbindung	222
Lichtgeschwindigkeit	72	Lötverfahren	226
lichthärtende Komposits	262	Lumen	67
Lichthärtgerät	30f	Lunker	182, 184f, 188f
Lichtmikroskop	324	Lux	67
Lichtpolymerisationsgerät	29	Luxene	258ff
Lichtquelle	86		
Lichtquelle, monochromatische	225		
Lichtspektrum	72, 76	Macula lutea	74f
Lichtstärke	66, 86	Magenta	76
Lichtstrom	67	Magerungsmittel	390
Lichtzerlegung	72	Magnetitbindung	217
lineare Abbindeexpansion	122	Magnesium	350
Linksdrall	203, 212	Magnesiumphosphat	164
Linse	75	magnetische Flussschicht	67
Liquidusfläche	308	Magnetplatten	410
Liquiduskurve	298, 302ff	Magnetplattenspeicher	408, 411
Liquiduspunkt	298	Magnetpulverprüfung	324
Liquidustemperatur	182	Magnetquantenzahl	56
Lochfraß	335	Makromoleküle	64, 236f 256
Lochfraßkorrosion	334	Makromolekülkette	246, 248, 250
Löffelrandbegrenzung	106	Makroretention	272
Lokalelement	334f	Mangan	350
Löslichkeit, beschränkte	296, 302	Masse	66
Löslichkeit, Metalle	294	Maßeinheiten	66
Löslichkeit, teilweise	294	Massenversätze, Porzellan	394
Löslichkeit, vollkommene	294	Massenzahl	55
Lösung	64	Matching	424
Lösung, ionendisperse	64	Materialeigenschaft	72, 74, 84
Lösung, kolloidale	64	Materialkonstanten	62, 68, 288
Lösung, physikalische	64	Materialwerte	70
Lösungselektrode	336	Maus	408, 410
Lösungsmittel	64	medizinischen Sonderanfertigungen	14
Lösungsmittel, polare	64	Medizinprodukteberater	46, 50
Lot	226, 228	Medizin-Produkte-Gesetz	14, 46, 48
Lötblock	227	Menü	412
Löteinbettmassen	162, 171	Messing	350
Löten	222, 226f	Metakaolinit	392





Metallbindung	52, 278, 318	mittlere Schleifleistung	202
Metallbindung, galvanische	216	MMA	246, 254
Metallbindung, gesinterte	216	Modellation	142
Metалldampffieber	360	Modelldatensatz	426, 438
Metalle	60, 64, 276	Modellgalvanoplastik	342
Metalle, Einteilung	277	Modellgusstechnik	170
Metallgitter	276, 278, 288	Modellgussverfahren	150, 156f
Metallidbildung	233	Modellhärter	160
metallischer Zustand	276	Modellherstellung	130
Metall-Karbide	210	Modellierinstrumente	18, 20
Metallkeramik	394	Modellierkunststoffe	142
Metall-Keramik-Verbund	404	Modellierwachse	144, 148f
Metalloxide	60	Modellierwerkstoffe	101, 142, 150
Metalloxidphosphat	164	Modellpins	132
Metallthermometer	70	Modellsäge	21, 25
Meter	66	Modellsockel	132
Methacrylsäure	95	Modellwerkstoffe	101, 118ff, 128, 134f, 140
Methacrylate	254	Modellwerkstoffe, Abbindeexpansion	118
Methacrylate, bifunktionelle	254	Modellwerkstoffe, Arten	119
Methacrylsäure	245	Modellwerkstoffe, Dimensionsverhalten	118
Methacrylsäuremethylester	246ff, 254	Modellwerkstoffe, Eigenschaften	118f
Methan	242f	Mol	66
Methanol	246	Molekulargewicht	64
Methansäure	94	Moleküle	62, 64, 238
Methyl	244	Molekülorbitale	239
Methylmethacrylat	248, 254	Molybdän	352, 374
Mikrochip	408	Monitor	410
Mikrocomputer	408	Monomer	236f, 246ff,
Mikrofüller	262	Monomer, bifunktionell	257
Mikrolunker	182	Monomeradhäsive	274
Mikromotor	223	Monosilan	258
Mikroretention	272, 404	Monosilikat	381
Mikroskop	325	Montanwachs	144f, 147
Mikrowachs	144f	MPG	48
mineralische Wachse	144	Muffelring	190
Mischfarben	76	mukodynamische Abformung	104, 106
Mischkristalle	294, 297f, 200f	mukostatische Abformung	104, 108
Mischkristall, inhomogen	300	Mullit	392
Mischkristall, übersättigt	235	Mullitkristalle	392, 396
Mischpolymerisate	258f, 266	Multitasking	412
Mischungslücke	302, 308, 310		
Mischungsverhältnis, Gips	126	Nachlote	226
Mischungsverhältnis, Kunststoff	270	Nachpressgerät	31, 266
Mittenrauwert	198		

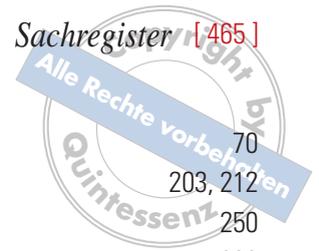
Nachpress-Injektortechnik	266,	Opaleszenz	85
Nachpressreservoir	266	optische Abtastverfahren	418
Nachtsehen	75	optische Datenerfassung	420
Nadelpenetration	152	Orbitale	56f, 60, 239f, 245, 280
Nassbrennverfahren	120	Ordinate	318
Natriumalginat	114	Ordnungszahl	54
Natriumhydroxid	91	Organisationsprogramme	412
Naturdiamanten	214	organische Chemie	238
Naturgips	120	Orthoborsäure	95
Naturwachse	142, 144	Orthophosphorsäure	95
Naturwachse, mineralische	144	Osmium	352
Naturwachse, rezente	144	Outoffice Sytem	438
Nebenenergieniveau	56, 58	Oxidation, anodische	342
Nebengruppe	60	Oxidationsglühen	232, 379, 400
Nelkenöl	114	Oxidationsmittel	330
NEM	372	Oxidbildner	370
Neodym-Ionen	224	Oxidbrand	405
Netzgrafik	426	Oxide	60, 91
Netzhaut	74	Oxide, amphotere	60
Netzmittel	155, 172f	Oxidkeramik	436
neutrale Faser	195, 322f	Oxygenium	100
Neutronen	54		
Newton	67	Packungsdichte	282
Nichtedelmetalllegierung	372	Palladium	354
Nichtmetallatome	238	Palladiumbasis-Legierung	370f
Nichtmetalle	60, 64, 276	Palladium-Gold-Legierung	370
Nickel	352	Palladium-Silber-Gold-Legierung	370
Nickelbasis-Legierung	372	Palladium-Silber-Legierung	370
Nickel-Chrom-Basis-Legierung	372	Papilla nervi optica	75
Niob	352	Paraffine	144ff, 244
Nitrate	96	Parasiten	40
Normalpotential	331	partitive Farbmischung	76
Nukleonen	54	Pascal	67
Nullpunkt, absoluter	62, 70	Passivierung	344, 368, 376
		Pauli-Prinzip	57, 280
Oberflächenkonditionierung	275	Periodensystem	54, 60
Oberflächenspannung	155, 404	Peripheriegeräte	410
Oberflächenversiegelung	160	Perlpolymerisat	262
Ofenlötung	226	Peroxide	250
offene Systeme	426	pflanzliche Wachse	144f
Ohm	67	Phasen	62
OK-Sockelform	131	Phasenübergang	62f, 286, 298
Olefine	244	Phosphate	95





Phosphatzement	128, 140	Polymerisate	236
Phosphorhydride	95	Polymerisation	248, 250, 264, 270
Phosphorsäure	94	Polymerisation, radikalische	248
Photoinitiatoren	250, 262	Polymerisationsgerät	30
Photon	56	Polymerisationsgemische	258
Photopolymere	432	Polymerisationsgrad	248f, 256, 264, 268
Photopolymerisation	250	Polymerisationskeime	248, 250
pH-Wert	92f	Polymerisationslenkung	248ff, 265, 270
Pilze	40	Polymerisationsschrumpfung	142, 254, 260ff, 270f
Pinbohrgerät	24	Polymerisationsverlauf	249, 251
Pindex-Verfahren	132f	Polymethacrylat	260
Pins	132	Polymethylmethacrylat	254
Pinsetzgerät	22	Polyreaktionen	116, 236ff, 248
Pinzette	20	Polysiloxane	116, 236
Pixel	420ff	Polysulfidabformmassen	116
Plasma	62f	Polysulfide	116
plastische Verformung	194	Polyurethan	128
Plastizität	314	Polyvinylchlorid	258
Platin	354	Porositäten, Gips	125
Platzwechselforgänge	194f	Porositäten, Kunststoff	268
Plumbum	345	Porzellan	380, 392
PMMA	254, 260	Porzellanerde	392
polare Bindung	382	Porzellanzähne	392f
Polarisation, anodische	368, 373	potentia hydrogenii	92
Poliereinheit	25	Potentialdifferenz	328ff, 334
Polierelysieren	338	potentielle Energie	68f
Polieren	196ff, 218	Präzisionsabformung	141
Polieren, elektrolytisches	338	Präzipitität	372
Polierkörper	218	Präzisionsabformung	108, 116, 140
Poliermittel	218	Präzisionsmodelle	130
Polierrot	348	Presskeramik	398f
Polierwerkzeuge	218f	Pressluft	100
Polyacetat	260	Pressvorgang, Kunststoff	265
Polyaddition	116, 252	Prisma	72, 73
Polyaddukte	236, 252	Probepressen	270
Polyamide	260	Profilkuppenhöhe	198
Polyäther	116	Profiltiefe	198
Polycarbonate	253, 260	Programme	408, 412
Polyester	252	Propan	100, 244
Polyethylenfolien	161	Propanol	246
Polyethylenwachs	144	Propantriol	246
Polykondensate	236, 252	Proportionalitätsgrenze	320
Polykondensation	116f, 252	Propyl	244
Polymere	236, 248, 250	Prothesenbasis	104

Prothesenkunststoffe	236, 260	Reaumur-Skala	70
Protonen	54	Rechtsdrall	203, 212
Prozessor	410	Redoxinitiatorsystem	250
Prozessparameter	416	Redoxreaktion	330
Prüfkraft	316	Redoxsysteme	250
Prüfverfahren	312	Reduktion, kathodische	336, 342
Pseudokontraktion	190	Reduktionsmittel	330f, 350
Pseudolegierung	294	Reduktionsnotwendigkeiten	106
Pulsleistung	224	Reflexion	72, 86
Punktewolke	419, 426	Refraktion	72
punktförmige Triangulation	421	Registrierwachs	148
Punktschweißen	222	Rehydratation	120, 124
PVC	258	Reibungswärme	198
		Rekristallisation	234
		Rekristallisationsglühen	232ff
Qualitätsmanagementsystem	47	Rekristallisationvorgänge	195
Qualitätssicherung	414	Rekristallisieren	234
Quantitätskontrast	80	Remission	72f, 76, 85f
Quarz	164, 168, 171, 386, 390ff	Reparaturlot	226
Quarzglas	386	Reparaturmaterial	266
Quarzmodifikationen	167, 387, 390	Resonanzverstärkung	225
Quasiisotropie	292f, 318ff	Restmonomer	254, 264ff, 270,
Quecksilber	354	Retentionsringe	132
Querhiebfräser	212	Retina	74f
		Retraktionsfaden	108
Radikale	244, 248ff	Rettungshinweisschilder	34
Radioaktivität	67	rezente Naturwachse	144
Radioisotopentherapie	350	Rezeptor	74
RAM	410	RGB-Farbraum	76
Rapid-Prototyping	430	Rhenium	354
Rasterelektronenmikroskop	326	Rhodium	356
Rastlinie	322f	Richtdrehzahlen	200
Rattermarken	200	Riffelinstrument	20
Rautiefe	198	Ringabformung	108f
Raumfüllung	282ff	ringlose Abformung	108
Raumfüllungsdichte	277	Ringsilikat	389
Raumgitter	282	Risswachstum, unterkritisches	406
Raumnetzstruktur	388	Risszähigkeit	406
Reaktion, chemisch-toxische	328	Ritz-Härteprüfung	313
Reaktion, elektrochemische	332	Rocatec-Verfahren	274
Reaktion, exotherme	248	Rockwell-B-Verfahren	316
Reaktionsklebstoff	230	Rockwell-C-Verfahren	316
Reaktionswärme	124	Rohwachs	144
		Röntgenspektralanalyse	326



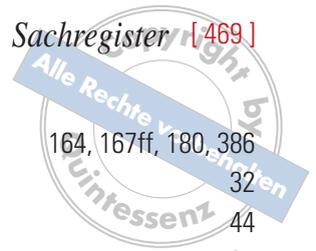
Schwindung	390	Sinterbrand	398
Schwundvakuolen	188, 268	Sintern	210, 404
Schwundvakuolen, Kunststoff	266	Sinterprozess, Grünkörper	414
Sclera	75	Sinterung	380, 401
Segregatlinie	302f, 310	Sinterungsprozess	397
Sehnerv	74	Sinterungsschrumpfung	390, 404, 407
Sehzellen	74	Sinterungsschwindung	397
Seigerung, innerkristalline	232, 300, 370	Sinterwerkstoffe	210
Seitenschneider	21	Sirius-Schleuder	176
Sekunde	66	Situationsabformung	108
Sekundenkleber	230	Situationsmodelle	108, 130
Selektives Lasersintern	432	Slicen	432
Sensibilisierung	42, 328	SLM	432
Sensor	420	Splitcast	136
Shore-Härte	316	Sockeldiagonalen	130
Sicherheitsbeauftragte	46, 49	Sockelform	130
Sicherheitsbestimmungen	44	Sockelmitten	130
Sicherheitskennzeichnung	34	Sockelplatte	136
Sicherheitsschutzbestimmungen	44	Sofortmaßnahmen	45
Siedepunkt	62	Software	412, 426
Siedepunkt, Metall	286	Softwarewerkzeuge	408
SI-Einheiten	66, 68	Solidusfläche	308, 310
Silikone	258	Soliduskurve	298ff
Silanhaftvermittler	262, 275	Soliduslinie	304
Silanisierung	263, 274f	Soliduspunkt	183, 226, 298
Silber	356	Sommerwachs	148
Silberleitlack	343	Sonderanfertigungen	46f
Silicoater-Verfahren	274	Spaltkorrosion	334
Silikate	388	spanabhebende Umformung	174, 196
Silikatisierung	274	Spanen	174
Silikatkeramik	436	Spanfläche	202
Silikatzemente	128	Spankammern	212
Silikonabformmassen	112	Spannung	312, 321
Silikonabformwerkstoffe	116	Spannung, elektrische	67, 336
Silikone	116f	Spannungs-Dehnungs-Diagramm	194, 318ff
Silikone, additionsvernetzte	116	Spannungsdifferenz	330
Silikone, kondensationsvernetzte	116	Spannungsfreiglühen	232ff
Silikonisiermittel	160	Spannungsquelle	336
Silizium	386f	Spannungsreihe	280
Siliziumdioxid	164	Spannungsreihe, biologische	331
Silizium-Karbid	214	Spannungsreihe, elektrochemische	330f
Siliziumoxid	386f	Spannungsrissskorrosion	334, 406
Simultanabformung	108	Spannzange	204, 208, 220f
Simultankontrast	80	Spanwinkel	202f, 214





Speed-Einbettmassen	170	Strukturveränderung	232
Speichereinheit	408	Stuckgips	121
Spektralfarben	74	Stumpfmodelle	140
Spektrum	73	Sublimation	62
Spektrum, elektromagnetisches	327	Substitutionsmischkristall	296
Spezialhartgipse	118	Substitutionsreaktion	244
Spezialwachse	149	subtraktive CAM-Verfahren	434
spezifische Wärme	288	subtraktive Farbmischung	76
Spin	56, 58f, 240, 280	subtraktive Verfahren	431
Splitcast-Sockel	132	Suffix	246
Splitcast-System	132	Sukzessivkontrast	80
Splitterpolymerisat	262	Sulfate	96
Spritzgussverfahren	260	Sumpfzeit	124
Spritzguss-Verfahren	266	Superhartgipse	118, 122f, 129, 140
Sprühmetalle	118,	Suspension	64
Spülköpfe	192	Symbionten	40
Stäbchensehzellen	74	Symbol, chemisches	55
Stabilisator	250	Synthese	64
Standardausrüstung	18	synthetische Wachse	142
Standard Tessellation Language	420	Systemfehler	134
Standzeit	200, 204, 208, 216	Systemsoftware	408, 412
Stannum	361		
Startphase	248	taktil	418
statischer Guss	176	taktile Digitalisierung	418
Staubabsaugung	18, 42	Tantal	356
Steingut	380	Tastatur	408, 411
Stereolithographie	430ff	Tasterzirkel	20
Stereophotogrammetrie	418, 424	Technikbohrmaschine	220
Sterilisation	38	technischen Simulation	16
Stickstoffsäure	96	Technologieaneignung	16
STL	420, 426	Temperatur	66ff
Stoffe	62ff	Temperatur, absolute	71
Stoffeigenschaftändern	174, 232	Temperatur, thermodynamische	71
Stoffmenge	66	Temperaturführung	168, 188
Strahlung, elektromagnetische	72, 326	Temperaturgrade	71
Strahlungsquantum	56	Temperaturmessung	70f
Streckgrenze	320	Temperaturskalen	70
Streifenlichtprojektion	424	Temperaturwechselfestigkeit	166
Streifenlicht-Scanner	418	Tesla	67
Streifenprojektion	420, 423	Thermometer	70
Stromfluss	384	Thermoplaste	254, 257f, 266
Stromstärke	66	thermoplastische Abformwerkstoffe	110, 112
Strukturfehler	232, 324	thermoplastische Materialien	142
Strukturprüfung	326		

Tiefziehfolien	156	Umwandlungsexpansion	164, 167ff, 180, 386
Tiefziehgerät	29, 30	Unfallgefahren	32
tierische Wachse	144	Unfallschutzbestimmungen	44
Tierwachs	145	Unfallschutzmaßnahmen	34
Titan	358, 376	Unfallverhütungsvorschriften	34
Titanbasis-Legierung	376	Universaleinbettmasse	170
Titanguss	170	Unlöslichkeit	304
Titanimplantate	358	Unlöslichkeit, vollkommene	294
Titanschwamm	377	Unterfütterungsgerät	31
Tone	388ff	unterkritisches Risswachstum	406
Tongut	380	Unterkühlung	290f
Tonwaren	380	Urformen	174, 176
Tonzeug	380		
Torsion	204, 206		
Torsionsfestigkeit	322	Valenzband	280f
Torsionsspannung	313	Vakuumbrand	396, 400
Transformationsbereich	378, 403	Vakuum-Druckguss	176, 188
transluzent	72	Vakuum-Druckgussgerät	27, 177
Transmission	72f	Vakuumeinbettung	168, 172
transparent	72	Vakuum-Keramikofen	27
Transparenz	79	Vakuum-Rührgerät	22, 25
Trennen	174, 196	Valenzen	60, 248, 259
Trennung, physikalische	64	Valenzelektronen	57, 60, 240, 276ff, 382f
Triangulation	420ff	Valenzorbitale	240
Triangulationswinkel	420ff	Valenzstrichformel	245
tribochemische Beschichtung	230, 274	van der Waalsche Kräfte	379, 404
Tridymit	164, 168, 171, 386	Vanadium	358
Trioxborsäure	94	VDU	410
Trockenbrennverfahren	120	Ventilrandabformung	105
Trockenfestigkeit	124	Verarbeitungsfahren	15
Trockenschwindung	390, 396, 401	Verarbeitungszeit	124
Tuberkulose	40	Verätzungen	33
Typ1 - 5 - Gips	122	Verbinden	222
Typ I - IV - Legierungen	364	Verbindung, chemische	64
		Verbindung, formschlüssige	222
		Verbindung, intermetallische	233
Übersetzungsprogramme	412	Verbindung, lösbare	222
Überstruktur	296	Verbindung, organische	64
UK-Sockelform	131	Verbindung, stoffschlüssige	222
Umfassungsretention	272	Verbindungen	174
Umformen	174, 194	Verbindungen, anorganische	64
Umformverfahren	194f	Verbotszeichen	34
Umformvorgänge	14	Verbrennungen	32, 44
Umsetztechnik	180	Verbrühungen	44





Verbundfestigkeit	272	Wachs, Standfestigkeit	152
Verbundkunststoffe	236, 262	Wachs, Temperaturverhalten	154
Verbundwerkstoffe	400	Wachs, Volumenänderung	154
Verdampfungspunkt	62	Wachs, Wärmeleitfähigkeit	154
Verdampfungswärme	286	Wachsalkohol	142
Verdrehung	312	Wachsausbrühgerät	25
Veresterung	246	Wachsausschmelzverfahren	162, 398
Verformbarkeit	194	Wachsaustreiben	151
Verformung	68	Wachse	142, 144f
Verformung, elastische	194	Wachse, fossile	144
Verformung, plastische	194f	Wachse, synthetische	142ff
Verformungsgrad	194	Wachse, teilsynthetische	144
Verformungsreste	117	Wachse, tierische	144
Vergüten	232, 235	Wachsmodellation	264, 268, 270
Verkohlungsrückstände	188	Wachsplotten	432
Verletzungen	33	Wachssäuren	142
Verletzungsgefahr	32	Wachsschaber	196
verlorene Formen	162, 176, 408	Wachsspannungen	154ff, 190
verlorener Kopf	186f	Wachstumsphase	248
Vernetzer	116, 254	Wachsverarbeitung	156
Vernetzung	236, 256f	Wachsverarbeitung, Sicherheitshinweise	143
Vernetzungsgrad	256	Wachsverarbeitungsfehler	191
Verschleiß	200ff, 209f, 214f, 220	WAK-Wert	62, 68, 288, 364, 368, 378f, 403
Verschleißfestigkeit	210	Waldsachszone	21
Verschleißhärte	210	Walrat	144, 146
Verzahnungsarten	211f	Wärme	68
Vickershärte	316	Wärmeabzugskanäle	189
Vielkristall	292	Wärmeausdehnung	62, 68, 278, 286
Vinylacetat	258	Wärmeausdehnungskoeffizient	62, 68, 288, 403
Vinylchlorid	258	Wärmebehandlung	232ff
Viren	40	Wärmeenergie	68, 70
Virosen	40	Wärmeexpansion	69
virtueller Artikulator	429	Wärmekapazität	68, 288
Viskosität	152	Wärmeleitfähigkeit, Kunststoff	268
Vollkeramik	398f,	Wärmeleitzahl	288
Volt	67	Wärmestau	184, 186ff, 224
Volumenschwindung	182	Warmfestigkeit	378
Vormodelle	106, 130	Warmhärte	210, 216, 220
Vorschub	200	Warmrissbildung	191f
Vorwärmen	180f	Warmrisse	191, 233
Vorwärmofen	26, 180ff	Warmrissempfindlichkeit	182
Vorwärmtemperatur	162, 180	Warmumformen	194
Wachs, Eigenschaften	152	Warnzeichen	34
Wachs, Fließverhalten	152	Washbrand	379

Wasserglas	161, 388	Zahn-Farbraum	89
Wasserstoff	60, 64, 100	Zahnfarbringmuster	86
Wasserstoffionen	90	Zahnfarbskala	88
Watt	67	Zahnfarbwahl	87f
Wechselbeanspruchung	322	zahn technische Arbeitsprozess	14
Wechselwirkung, elektrostatische	278	zahn technischer Arbeitsablauf	16
Weichlote	360	zahn technischer Arbeitsplatz	18, 20
Weichlöten	222	Zangen	21
Weichparaffin	144	Zapfensehzellen	74, 84
Weichporzellan	392	Zeit	66
Wellenbereich, sichtbares Licht	73	Zementbindung	217
Wellenlänge	72, 73	Zentraleinheit	408ff
Werkstoffauswahl	16	Zentrifugalkraft	176, 188
Werkstoffe	51, 52	Zerrei ßmaschine	318
Werkstoffgruppen	52	Zerrei ßspannung	319
Werkstoffkunde	52	Zerspanmenge	200
Werkstoffprüfung	312	Zerspanwärme	212
Werkzeugelektrode	340	Zincum	361
Werkzeugführung, abgestützte	220	Zink	360
Werkzeugstahl	210	Zinkoxid-Eugenol-Paste	114
Wertigkeit	60	Zinn	360
Widerstand, elektrischer	67	Zinnfolien	161
Widerstandsheizleiter	179	Zirconium	362
Widerstandsheizung	178	Zirconiumdioxid	363, 406
Widerstandslötung	226	Zirkoniumdioxidkeramik	300, 362, 406, 436
Widerstandsmoment	322	Zonenmischkristall	300
Widerstandsthermometer	70	Zonula ciliaris	75
Winterwachs	148	Zug	312
Wirbelströme	178	Zugbeanspruchung, einachsige	318
Wirkwinkel	203	Zugfestigkeit	318
Wismut	360	Zugprobe	319
Wolfram	360	Zugversuch	194, 312, 318ff
Wollfett	146	Zustandsdiagramm	298
Wollwachs	144, 146	Zustandsformen	62
Wood-Metall	344	Zustandsgleichung	98
WS-Fräser	210	Zustandsschaubild	298ff, 308
Wundbedeckung	44	Zweikomponentenkleber	230
		Zweistofflegierung	298
		Zweistoffsystem	308
Yttrium-Aluminium-Granat	224	Zwischengitterplätze	296
		Zyanide	94
		Zyanwasserstoff	94

