

Keramik: Definition und Abgrenzung

1. Einleitung

Was ist eigentlich Keramik? Diese scheinbar einfache Frage lässt sich gar nicht so eindeutig beantworten. In einigen Regionen der Erde haben keramische Werkstoffe eine lange Tradition, hier ist die Keramik häufig zu einem Kulturbegriff geworden. In anderen Regionen fehlt die keramische Tradition, dort ist die Keramik nicht mehr als ein oft notwendiges aber unspektakuläres kommerzielles Produkt. Damit wird verständlich, dass der Begriff „Keramik“ in unterschiedlichen Kulturlandschaften oft unterschiedlich bewertet und definiert wird.

2. Werkstoffe

Feste Stoffe, die der Mensch zu seinem Nutzen verwendet, werden als „Werkstoffe“ bezeichnet. Damit er sie als Bauteile, Werkstücke oder Formkörper einsetzen kann, müssen sie noch einem speziellen Formgestaltungsprozess unterzogen werden. Die Werkstoffe lassen sich zunächst in drei Hauptgruppen unterteilen, eine vierte Hauptgruppe stellt dann der Verbund aus unterschiedlichen Werkstoffen dar (Bild 1). Bemerkenswert ist, dass es in der englischen Sprache kein Synonym für den deutschsprachigen Begriff "Werkstoff" gibt.

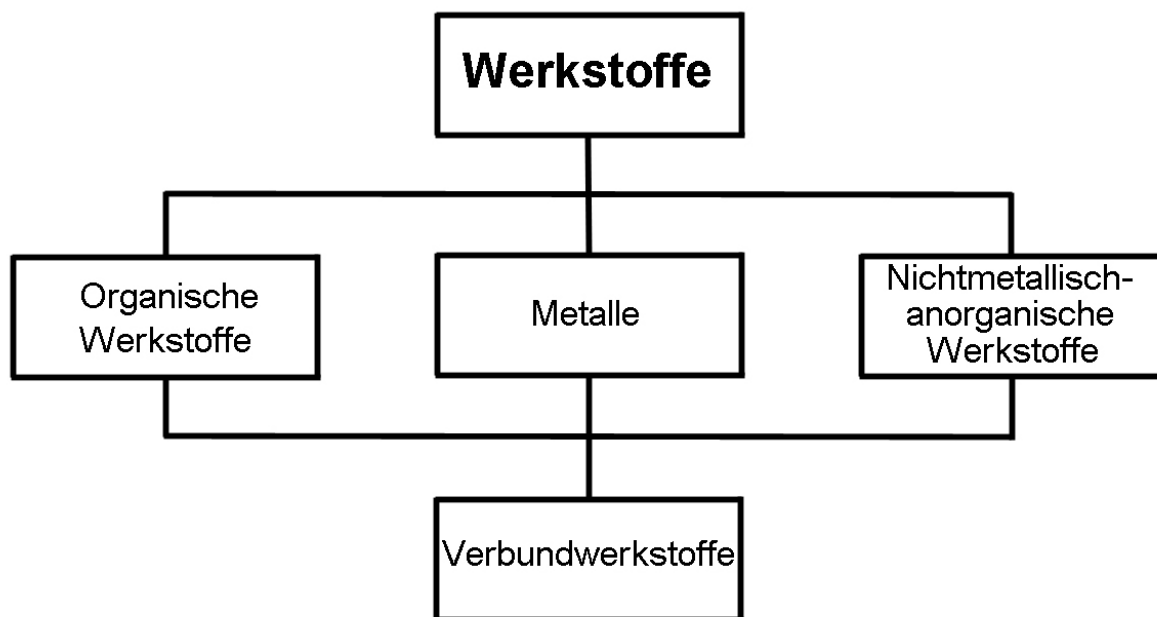


Bild 1: Klassifikation der Werkstoffe nach den Hauptgruppen

Organische Werkstoffe bestehen aus organischen Polymeren, also aus Großmolekülen mit kovalent gebundenen Kohlenstoffatomen in ihrer Hauptkette. Zu ihnen gehören natürliche Holzprodukte, Leder sowie Kunststoffe. Organische Werkstoffe haben eine geringe thermische und elektrische Leitfähigkeit und verfügen über eine geringe Dichte. Sie schmelzen oder zersetzen sich bei relativ niedrigen Temperaturen.

Zur zweiten Hauptgruppe gehören die Metalle. Sie zeigen eine hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit. Metalle reflektieren Licht, haben dadurch einen typischen metallischen

Glanz und sind undurchsichtig. Metalle sind plastisch verformbar (duktil), aber chemisch meist weniger beständig.

Es sei hier angemerkt, dass grundsätzlich alle elementaren, intermetallischen oder als Legierungen vorliegenden Stoffe, die über eine charakteristische metallische Bindung verfügen, als Metalle bezeichnet werden. Dies ist auch dann der Fall, wenn sie (oft aus Stabilitätsgründen) nicht als Werkstoffe genutzt werden können (wie z.B. Natrium). Ferner sei erwähnt, dass in der Astronomie der Begriff „Metall“ für alle Elemente verwendet wird, die ein höheres Atomgewicht aufweisen als die beiden häufigsten Elemente des Weltraums, Wasserstoff und Helium.

Die dritte Hauptgruppe ist die älteste von den bisher genannten; trotzdem erfolgte die Namensgebung gebildet aus zwei Verneinungen erst relativ spät [1]. Im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch verwendet man für diese Hauptgruppe der „nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffe“ den Begriff „Ceramics“ [2]. Die nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffe weisen eine geringe elektrische Leitfähigkeit auf, sie sind nicht plastisch (nicht duktil) verformbar und damit spröde. Ihre chemische und thermische Beständigkeit ist hoch. Ihre Dichte liegt in der Regel zwischen der der organischen Werkstoffe und der der meisten Metalle.

Die genannten Werkstoffe besitzen jeweils charakteristische Eigenschaften und somit für ihre Nutzung Vorzüge aber auch Grenzen. Daher ist es oft sinnvoll, nachteilige Eigenschaften durch einen gezielten Werkstoffverbund mit einem zusätzlichen Werkstoff zu kompensieren, so dass ein „guter Kompromiss“ erreicht werden kann. Ein besonderer Vorteil ist aber dann gegeben, wenn durch eine Wechselwirkung zweier Phasen eine Verbesserung erzielt werden kann. Beide Ansätze führen zu Verbundwerkstoffen (Komposite, engl. „Composites“), die als mehrphasige, makroskopisch homogene Kombinationen von unterschiedlichen Werkstoffen angesehen werden können und die vierte Hauptgruppe bilden. Dabei können die einzelnen Phasen auch durchaus gleichen Hauptgruppen von Werkstoffen angehören. Entsprechend Bild 2 lassen sich die Verbundwerkstoffe nach der räumlichen Anordnung der Phasen einteilen. Bei den ersten beiden Gruppen, den Faserverbund- und Teilchenverbundwerkstoffen, bildet die Matrix eine zusammenhängende Phase; die zweite Phase wird als Faser oder als globulare, plättchenförmige (»Platelets«) bzw. längliche (»Whisker«) Teilchen eingelagert. Bei dem Durchdringungsverbundwerkstoff liegen mindestens zwei sich durchdringende Matrizen vor. Bei Schichtverbundwerkstoffen sind die Phasen schichtförmig angeordnet. Bei Verbundwerkstoffen liegt in der Regel ein stoffschlüssiger Verbund der Phasen vor.

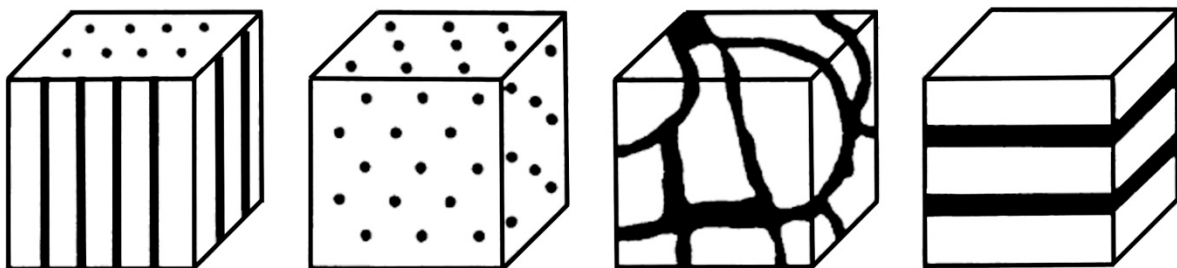


Bild 2: Verbundwerkstoffe (mit Faserverbund, Teilchenverbund, Durchdringungsverbund und Schichtverbund) [3].

Es sei hier angemerkt, dass im Gegensatz zu Verbundwerkstoffen die Werkstoffverbunde makroskopisch inhomogene Kombinationen unterschiedlicher Werkstoffe darstellen. Ihre Verbindung wird über stoffschlüssige, kraftschlüssige und/oder formschlüssigen Füge-techniken erhalten. Lediglich bei schichtförmig angeordneten Verbunden ist die Zugehörigkeit zu den Verbundwerkstoffen und zu den Werkstoffverbunden nicht zu unterscheiden.

Es soll noch die Zugehörigkeit zweier Gruppen zum System der Werkstoffe gemäß Bild 1 geklärt werden. „Silikon“ oder chemisch exakter Polysiloxan ist eine Bezeichnung für eine Gruppe synthetischer Polymere, die über Silicium- und Sauerstoffatomen ein anorganisches Gerüst bilden, das durch Kohlenwasserstoffreste (meist Methylgruppen) abgesättigt wird. Damit nimmt das Silikon eine Zwischenstellung zwischen anorganischen und organischen Verbindungen ein.

Die Lage der typischen halbleitenden und metallisch glänzenden Elemente Silicium und Germanium im „Periodischen System der Elemente“ scheint auf eine Zwischenstellung zwischen den Metallen und den nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffen hin zu deuten, so dass man in der Vergangenheit diese Elemente auch als „Metalloide“ bezeichnet hat. Da aber der Elektronentransport der Halbleiter in Bezug auf den Mechanismus prinzipiell mit dem Elektronentransport der zu den nichtmetallisch-anorganischen Stoffen gehörenden „Nichtleitern“ vergleichbar ist, scheint die Verwandtschaft zu den nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffen doch größer zu sein als zu den Metallen. Noch klarer wird der Sachverhalt, wenn man die chemische Bindung der beiden halbleitenden Elemente betrachtet. Beide verfügen über eine reine kovalente Bindung und bilden Kovalenzkristalle. Damit ist eindeutig die Zugehörigkeit dieser Halbleiter zu den nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffen gegeben.

3. Nichtmetallisch-anorganische Werkstoffe

Die nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffe lassen sich wiederum in Gruppen aufteilen (Bild 3).

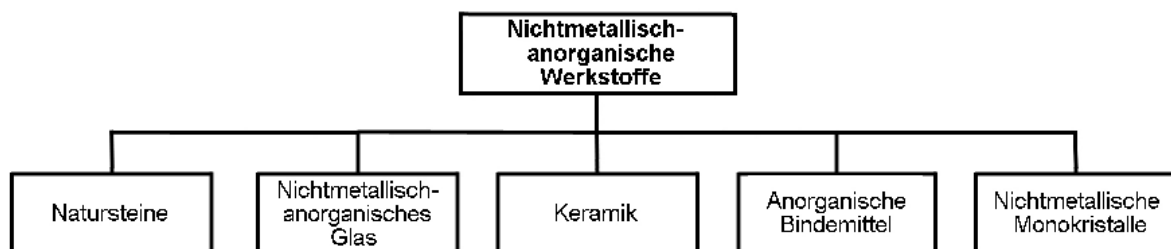


Bild 3: Klassifizierung der nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffe

Bei der ersten Gruppe handelt es sich um Natursteine, die für eine Anwendung als Werkstoff bearbeitet werden müssen (durch Steinmetzarbeiten) (Bild 4). Als Natursteine werden verfestigte Gesteine wie Magmatite (z.B. Granit, Basalt), Metamorphite (z.B. Gneis, Marmor, Phyllit) und Sedimentite (z.B. Sandstein, Kalkstein) verwendet. Natursteine sind meist polykristallin, seltener glasig (Obsidian).



Bild 4: Keltisches Kreuz als Beispiel für einen bearbeiteten Naturstein

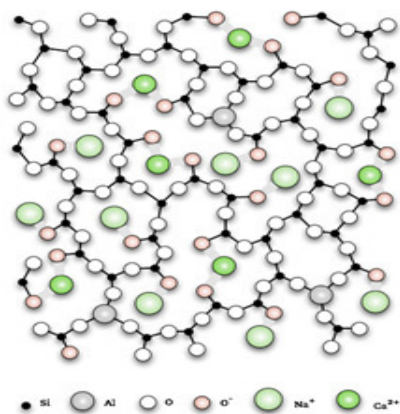


Bild 5: Strukturmodell eines gewöhnlichen Silicatglases

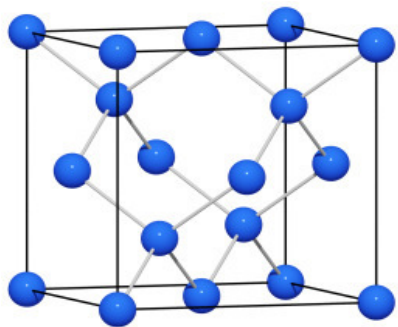


Bild 6: Elementarzellenmodell eines Siliciummonokristalls

Glas ist ein Sammelbegriff für alle nichtkristallinen Festkörper. Allerdings wird der Begriff „Glas“ meist nur im Sinne von Silicatgläsern (Bild 5) verwendet, die gemeinsam mit den Halogenid-, Chalkogenid-, Phosphat-, Borat-, Germanatgläsern und anderen [4] die Gruppe des nichtmetallisch-anorganischen Gläser bilden, die insgesamt im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch als „Noncrystalline Ceramics“ bezeichnet werden. Der Begriff „Glas“ ist jedoch nicht nur auf die Hauptgruppe der nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffe beschränkt. Auch amorph erstarrte Metalle sind Gläser. Zusätzlich müssen einige Kunststoffe wie z.B. Polymethylacrylat (PMMA, Acrylglas, Plexiglas) als Gläser angesehen werden. Gläser besitzen als amorphe Stoffe keine geordnete Struktur und sind daher in ihren Eigenschaften isotrop (richtungsunabhängig).

Anorganische Bindemittel sind Stoffe, die mit einem Magerungsmittel und Wasser in bestimmten Verhältnissen versetzt einen Mörtel ergeben, der im Zustand der Verarbeitung verformbar ist und später erhärtet [5]. Zu diesen Bindemitteln gehören Zement, Kalk und Gips.

Die anorganischen Bindemittel werden traditionsgemäß zu den nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffen gerechnet. Es erscheint aber fragwürdig, pulverförmige Stoffe wie die Bindemittel als eigenständige Werkstoffe zu betrachten. Eigentlich sind sie nur als synthetische Rohstoffe für die Werkstoffe Beton oder Putz anzusehen. Dies wurde auch schon in der Urfassung dieses Aufsatzes [6] kritisch angemerkt.

Besonders für Halbleiterindustrie werden Monokristalle (Einkristalle) benötigt, die zu „Wafers“ verarbeitet werden. Die Elektronik ist in den letzten Jahren zu einem der bedeutendsten Industriezweige geworden. Dieser Erfolg ist nicht zuletzt durch Fortschritte der Kristallzuchtverfahren zur Herstellung von gitterfehlerarmen oder -definierten nichtmetallischen Monokristallen zu verdanken. Nichtmetallische Monokristalle bilden eine eigene Gruppe innerhalb der nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffe.

Als letztes wenden wir uns der fünften Gruppe der nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffe, der Keramik, zu, die in Bild 3 eine zentrale Stelle erhält und mit der wir uns intensiver befassen wollen. Wir werden nun auch die schon eingangs gestellte Frage „Was ist Keramik?“ zu beantworten versuchen. Der im Singular verwendete Sammelbegriff „Keramik“ ist eine Bezeichnung für die Klasse der keramischen Werkstoffe. In der Pluralform, also die „Keramiken“ stehen synonym für einzelne „keramischen Werkstoffe“ der Klasse.

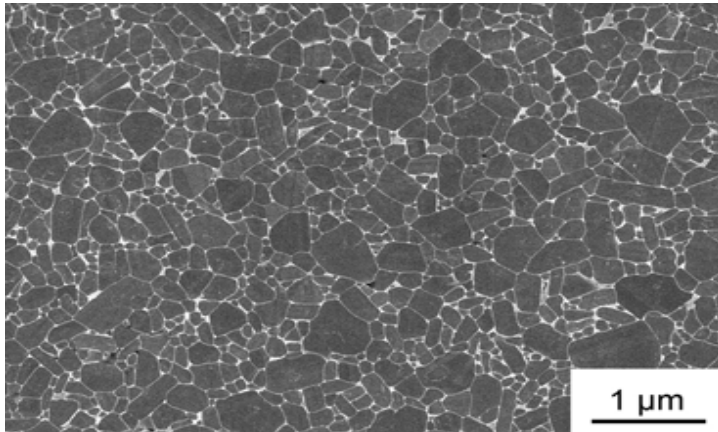


Bild 7: Gefüge einer Siliciumcarbidkeramik

Während des keramischen Herstellungsprozesses finden chemische und kristallographische Umgestaltungsvorgänge im Vergleich zu den eingesetzten Ausgangsstoffen statt. Daher sind Keramiken als synthetische Stoffe anzusehen. Die Umgestaltungsvorgänge führen dabei zur Ausbildung von polykristallinen Gefügen. Eine Keramik ist damit grundsätzlich polykristallin (Bild 7). Die finale

und wesentliche Umgestaltung des Gefügebau im keramischen Herstellungsprozess erfolgt bei Temperaturen weit oberhalb der Raumtemperatur durch die „Konsolidierung“ über physikalisch-chemische Vorgänge. Daher sind alle Keramiken durch die Hochtemperaturkonsolidierung zusätzlich charakterisiert. Durch die Hochtemperaturbehandlung bilden sich häufig Schmelzphasen, die dann beim Abkühlvorgang oft zu Glasphasen erstarren. Eine Keramik darf also eine Glasphase enthalten. Wenn aber allein eine Glasphase vorliegt, so ist dieser Werkstoff nach dem mitteleuropäischen Verständnis keine Keramik. In Tabelle 1 sind übersichtshalber die Charakterisierungspunkte für die keramischen Werkstoffe als Stoffsammlung zusammengestellt.

Tabelle 1: Stoffsammlung zur Charakterisierung keramischer Werkstoffe

Charakteristika
nichtmetallisch-anorganisch
synthetisch
polykristallin
bei hohen Temperaturen konsolidiert
<i>können</i> eine Glasphase enthalten

Mancher Leser dieses Beitrags wird in der Stoffsammlung die Nennung des Rohstoffs Ton vermissen. In der Tat spielt der Rohstoff Ton für die meisten Keramiken immer noch eine dominierende Rolle. Allerdings verzichtet man inzwischen bei der Herstellung besonders hochwertiger Keramiken auf den Rohstoff Ton, da sich mit ihm häufig speziell geforderte Eigenschaften nicht erreichen lassen. Damit ist die Verwendung von Ton und/oder von Kaolin heute nicht mehr ein charakteristisches Merkmal für eine Keramik.

Im anglo-amerikanischen Sprachgebrauch werden die Keramiken zusammen mit den nichtmetallischen Monokristallen und den anorganischen Bindemitteln als "Crystalline Ceramics" zusammengefasst.

Materialien, die nicht alle in Tabelle 1 genannten Kriterien für die Bezeichnung „Keramiken“ erfüllen, die nicht einmal Werkstoffe sein müssen, die aber in ihrer Zusammensetzung den keramischen Werk- oder Rohstoffe entsprechen, wollen wir zusammen mit den Keramiken zu den „keramische Stoffen“ oder "keramischen Materialien" rechnen. Zu ihnen gehören die bereits erwähnten nichtmetallischen Monokristalle, aber auch Moleküle, Kristallite (z.B. Sub- μ m- oder Nanoteilchen), Körnungen und Beschichtungen.

Eine nahe Verwandtschaft zu den keramischen Stoffen haben die metallischen Hartstoffe, die nur in Ausnahmefällen zu Werkstoffen verarbeitet werden. Es handelt sich dabei um Boride, Nitride, Carbide, Silicide und Phosphide von Nebengruppenelementen der Gruppen IVa bis VIIIa des periodischen Systems der Elemente [7]. Metallische Hartstoffe sind zwar metallisch glänzend, weisen auch wie Metalle eine hohe elektrische und thermische Leitfähigkeit auf, verhalten sich aber hinsichtlich Sprödigkeit wie keramische Stoffe. Die Ähnlichkeit zu den keramischen Stoffen ist so groß, dass sie neuerdings manchmal selbst von einigen Fachleuten als keramische Stoffe bezeichnet werden.

Eine bedeutende Gruppe von Werkstoffen auf Basis der metallischen Hartstoffe stellen die Hartmetalle dar, bei denen metallische Hartstoffpulver durch Verwendung von Elementen der Eisengruppe (Fe, Co, Ni) über eine Flüssigphasensinterung konsolidiert werden. Hartmetalle sind also Verbundwerkstoffe aus metallischen Hartstoffen und einer duktilen „Bindemetallmatrix“ [8]. Hartmetalle haben aufgrund der Hartstoffkomponente und vor allem aber wegen der Konsolidierung durch den Sinterprozess eine große Ähnlichkeit zu den keramischen Werkstoffen. Hartmetalle werden unterteilt in den nur im Singular verwendeten Begriff „Hartmetall“, worunter man den ersten [9], aber immer noch bedeutendsten Vertreter der Hartmetalle bestehend aus Wolframcarbid (WC)-Partikeln eingebettet in einer Kobalt (Co)-reichen Matrix versteht, und den „Cermets“ [10], bei denen andere metallische Hartstoffkomponenten vorliegen. Es sei hier angemerkt, dass der Begriff „Cermet“ nicht eindeutig für eine spezielle Werkstoffgruppe steht, da man den gleichen Begriff schon vorher für eine andere Verbundwerkstoffgruppe bestehend aus metallischen und keramischen Komponenten vergeben hatte [11].

4. Zusammenfassung

In diesem Aufsatz wurde zunächst der Begriff Werkstoff erläutert und die Werkstoffhauptgruppen charakterisiert. Außerdem wurde die Zugehörigkeit zweier spezieller Gruppen zum System der Werkstoffe diskutiert. Die Hauptgruppe der nichtmetallisch-anorganischen Werkstoffe ließ sich in fünf Gruppen unterteilen, von denen eine die Keramik ist. Was alle Keramiken miteinander verbindet, wurde in einer Stoffsammlung zusammengestellt. Auf die nahe Verwandtschaft der metallischen Hartstoffe zu den keramischen Stoffen sowie der Hartmetalle zu den Keramiken wurde hingewiesen.

Literatur:

[1] Hennicke, H.W.: Zum Begriff der Keramik und zur Einteilung keramischer Werkstoffe. Ber. Dtsch. Keram. Ges. 44 (1967) 209-211.

[2] Kingery, W.D.; Bowen, H.K.; Uhlmann, D.R.: Introduction to Ceramics. 2nd edition, John Wiley & Sons, New York, 1976, 3.

- [3] Maier, H.R.: Leitfaden Technische Keramik. Werkstoffkunde II Keramik. 3. Auflage, Verlag Mainz GmbH, Aachen, 1993.
- [4] Vogel, W.: Glaschemie. 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1992, 141-229.
- [5] Petzold, A.: Chemie und Technologie der Bindemittel. Bergakademie Freiberg, Fernstudium, 1.
- [6] Kriegesmann, J.: Einteilung keramischer Werkstoffe. In: Kriegesmann, J. (Hrsg.): Technische Keramische Werkstoffe. Loseblattausgabe. Deutscher Wirtschaftsdienst, Köln, Kap. 2.1.0.0, 2. Ergänzungslieferung, 1990, 1-20.
- [7] Schatt, W. (Hrsg.): Pulvermetallurgie: Sinter- und Verbundwerkstoffe. 3. Auflage. Dr. Alfred Hüthig Verlag, Heidelberg, 1988, 484.
- [8] Kieffer, R.; Benesovsky, F.: Hartstoffe. Springer-Verlag, Wien, 1973.
- [9] Schröter, K.: Gesinterte harte Metallegierungen und Verfahren zu ihrer Herstellung. DE Patent 420689, 1923.
- [10] Ettmayer, P.; Kolaska, H. (1988). Cermets (Wolframcarbidfreie Hartmetalle). In: Kolaska, H. (Hrsg.): Schneidstoffe. Pulvermetallurgie in Wissenschaft und Praxis, Band 4, Verlag Schmid GmbH, Freiburg i. Br., 1988, 163-193.
- [11] Petzow, G.; Claussen, N.; Exner, H.E.: Aufbau und Eigenschaften von Cermets. Z. Metallkde. 59 (1968)160-179.