

Werkstoff im Fokus: Steatit – nicht veraltet, sondern brandaktuell

U. Werr

Steatit-Werkstoffe sind nach den Porzellan-Werkstoffen, die sich aus dem schon länger bekannten Geschirrporzellan entwickelt haben, die zweitältesten Werkstoffe der Keramiken für elektrotechnische Anwendungen. Heute ist diese Gruppe der Keramik-Werkstoffe nicht mehr aus dem Alltagsleben und industriellen Anwendungen wegzudenken. Das gute elektrische Isolationsvermögen und die gute mechanische Festigkeit lassen Steatite auch weiterhin immer wieder neue Anwendungen erobern, bei denen die Anwender zunächst Oxidkeramiken geplant hatten. Das gute Kosten-/Nutzenverhältnis macht Steatit immer wieder zu einer wirtschaftlichen Alternative zu Oxidkeramiken, wie beispielsweise zu Aluminiumoxid.

Einführung

Der Begriff Steatit leitet von griechisch „stéar“ ab, welches „Fett“ bedeutet. Dies deutet auf die erste Bedeutung dieses Begriffes hin, denn mit Steatit wird auch der Speckstein bezeichnet, der sich bekanntlich fettig oder seifig anfühlt (daher auch der englische Begriff „soapstone“). Viel häufiger ist aber die zweite Verwendung des Begriffes Steatit für eine Werkstoffgruppe technischer Keramiken, die auf Speckstein als wesentlichem Rohstoff basieren [1]. Diese Keramiken haben aber durch den Brand die weiche, seifige Konsistenz des Specksteins komplett verloren.

Technische Keramiken für elektrotechnische Anwendungen sind in der DIN EN 60672-3 genormt. Diese Norm geht in ihren Anfängen auf die DIN 40685 zurück, in der bereits 1940 auch der Steatit aufgeführt wurde [2]. Neben den elektrotechnischen Anwendungen wird Steatit auch als verschleißbeständiger keramischer Werkstoff für Mahlkörper und Mühlenauskleidungen

verwendet. Allerdings hat dessen Marktanteil für Mühlenanwendungen in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung verloren, da inzwischen oft andere keramische und polymerbasierte Werkstoffe an dieser Stelle eingesetzt werden.

Historischer Hintergrund

Mit Einführung der Gasbeleuchtung auf Basis von Leuchtgas 1792 und später Acetylen entstand ein Bedarf an keramischen Brennern, die temperaturbeständig sein und aus einem Werkstoff bestehen mussten, der eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzt. Dieser Werkstoff wurde in gebranntem Speckstein, dem Steatit, gefunden.

Der Rohstoff Speckstein wurde in Gruben im Fichtelgebirge abgebaut und zu den benötigten Brennern verarbeitet, indem dieser auf Drehbänken etc. spanabhebend bearbeitet wurde.

Anschließend wurde der Speckstein zu Steatit gebrannt und erreichte damit die erforderliche Festigkeit und Temperaturbeständigkeit. Auch als um 1895 die sog. „AUERschen“ Lampen mit nitratgetränkten Glühstrümpfen Einzug hielten, benötigten diese weiterhin einen keramischen Stützring auf Basis von Steatit [3].

Bei dieser Bearbeitung – dem Arbeiten „aus dem Vollen“ – entstanden sehr große Mengen an Steatitstaub oder -spänen. So waren anfangs 100 kg Speckstein erforderlich, um 1 kg Specksteinbrenner herzustellen; selbst als die Produktionsverfahren verbessert wurden, entstanden immer noch 50–95 %

Abfall. Ingenieure der Siemens-Schuckert-Werke begannen damit, diese pulverisierten Abfälle mit keramischen Rohstoffen zu mischen, zu pressen und anschließend zu brennen. 1889 gelang es dann eine Rezeptur zu entwickeln, die eine Serienfertigung keramischer Bauteile zuließ [3].

In den Folgejahren wurden Kleinbauteile aus diesem Werkstoff gefertigt, da sich damit präzise Bauteile durch Pressen in großen Stückzahlen anfertigen ließen. Einen weiteren Schub erhielten die Steatit-Werkstoffe, als sich in den 1920er Jahren die Funktechnik und das Radio weiterverbreiteten.

Es stellte sich heraus, dass der Steatit im Vergleich zum Porzellan über einen niedrigeren Verlustfaktor sowie eine für viele Anwendungen günstige Dielektrizitätskonstante aufwies.

Herausgefordert durch die Hochfrequenztechnik wurden die Steatit-Werkstoffe weiterentwickelt, um auch den Anforderungen dieses Marktes besser zu entsprechen. Durch den Zusatz von Bariumcarbonat gelang es, neben der Festigkeit auch die Hochfrequenzeigenschaften des Steatits zu verbessern [3].

Unter verschiedenen Handelsnamen kam diese Werkstoffgruppe dann auf den Markt [3]: Stemag „Frequenta“ und „Steatit“ bzw. von der Hescho „Calit“ und „Calan“, weitere folgten.

In den Folgejahren verdrängte der Steatit das Elektroporzellan als Werkstoff für Kleinbauteile aus vielen elektrotechnischen Anwendungen immer mehr, da es einfacher

Ulrich Werr
Rauschert Heinersdorf-Pressig GmbH
96332 Pressig

E-Mail: u.werr@prg.rauschert.de
www.rauschert.com

Keywords: Steatit, Isolator, Speckstein,
Keramik für elektrische Anwendungen

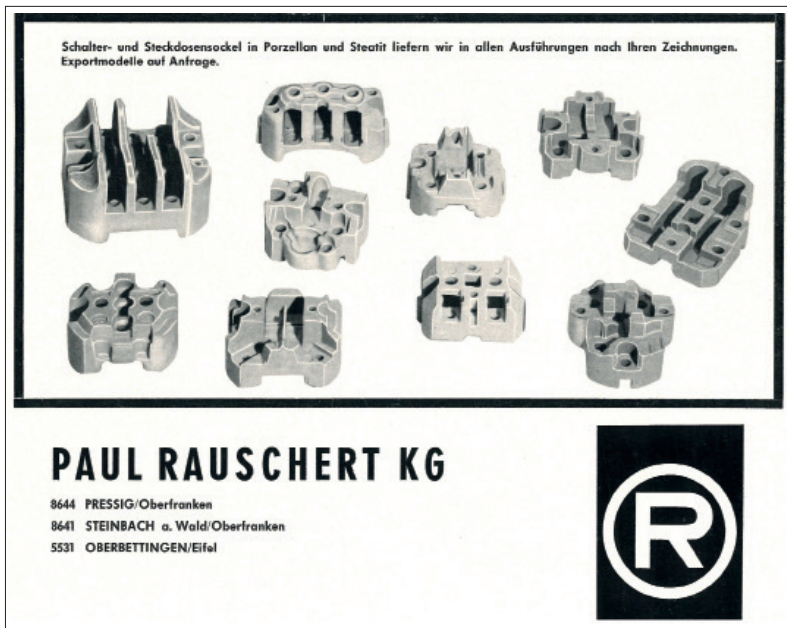


Bild 1 Ausschnitt aus einem Prospekt der Firma Rauschert (undatiert, vermutlich 1960er Jahre)

in großen Stückzahlen herzustellen war, so auch bei der Firma Rauschert (Bild 1).

Rohstoffe

Der Hauptrohstoff für Steatit-Werkstoffe ist Speckstein, der mineralisch gesehen aus Talk besteht (chemisch: $Mg_3[(OH)_2/Si_4O_{10}]$ oder $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$). Während Talk aus schuppig-blättrigen Aggregaten besteht, ist Speckstein massiv-dicht, aber sehr weich (Ritzhärte nach Mohs: 1 und damit das weichste Material auf dieser Skala) [5].

Für die Herstellung von Steatit-Keramiken werden bevorzugt Specksteine eingesetzt, die wenig Fremdminerale enthalten. Wenn aus Gründen der Verfügbarkeit und/oder Reinheit auch Talk eingesetzt werden müssen, so werden diese vorher geglüht, da es sonst durch die blättrige Struktur des Talks zu starken Texturen bei der Formgebung kommt. Der Anteil des Specksteins bzw. Talks beträgt ca. 80–90 % am Gesamtversatz. Dem Speckstein werden je nach Steatit-Variante (siehe Abschnitt: Werkstoff) verschiedene weitere Rohstoffe zugefügt [6]: Für Normalsteatit C220 werden Feldspäte sowie plastische Tone in Mengen von 5–10 % hinzugefügt. Für den Sondersteatit C221 wird zusätzlich auch Bariumcarbonat zugefügt.

Zur Steigerung der Temperaturwechselbeständigkeit (und Festigkeit) können auch Zirconsilicate hinzugefügt werden [7]. Für

braune Steatite werden Chrom- und Eisenoxide als färbende Bestandteile hinzugefügt.

Herstellung

Die Formgebung der Bauteile erfolgt bei Steatit meist durch Trockenpressen. Da der

überwiegende Rohstoff Speckstein/Talk sehr weich ist (Ritzhärte nach Mohs: 1), ist der Verschleiß der Werkzeuge im Vergleich zu anderen keramischen Werkstoffen gering. Zudem erlauben diese Rohstoffe sehr filigrane und komplex geformte Bauteile, die aus anderen Werkstoffen in Trockenpressen nicht herstellbar sind. Die Struktur der Rohstoffe ermöglicht auch eine Art Fließen bei der Verdichtung im Rahmen der Formgebung, wodurch sehr komplexe Bauteile rationell im Trockenpressen in sehr großen Stückzahlen in Serie hergestellt werden können. Die typischerweise recht geringe Schwindung der Steatitwerkstoffe lässt in Kombination mit der gleichmäßigen Verdichtbarkeit die Einhaltung enger Toleranzen ohne eine aufwändige und damit kostspielige Nacharbeit im gebrannten Zustand zu.

Die Formgebung durch Nasspressen wird bei Steatit fast nicht mehr eingesetzt, da das Trockenpressen eine bessere Bauteilqualität liefert und damit auch komplexe Geometrien herstellbar sind.

Neben der Formgebung durch Trockenpressen (Bild 2) werden auch viele Bauteile durch Extrusion hergestellt, insbesondere eher längliche Bauteile, wie Stäbe, Roh-



Bild 2 Steatit-Bauteile hergestellt im Trockenpressverfahren

Tab. 1 Werkstoffkennwerte der Magnesiumsilikate der C200-Gruppe in Auszügen, vollständige Angaben unter [2]

Eigenschaft	Gruppe C220					
	C210	C220	C221	C230	C240	C250
	Steatit für Niederspannung	Steatit, normal	Steatit, kleiner Verlustfaktor	Steatite, porös	Forsterite, porös	Forsterite, dicht
Offene Porosität [Vol.-%]	0,5	0,0	0,0	35	30	0,0
Rohdichte [g/cm ³]	2,3	2,6	2,7	1,8	1,9	2,8
Biegefestigkeit [MPa]	80	120	140	30	35	140
E-Modul [GPa]	60	80	110	–	–	–
Mittlerer Wärmeausdehnungskoeffizient 30–600 °C [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	6–8	7–9	7–9	8–10	8–10	9–11
Wärmeleitfähigkeit [Wm ⁻¹ K ⁻¹]	1–2,5	2–3	2–3	1,5–2	1,4–2	3–4
Durchschlagfestigkeit [kVmm ⁻¹]	–	15	20	–	–	–
Dielektrizitätskonstante	8	6	6	–	–	6
Verlustfaktor bei 1 MHz [10 ⁻³]	7	3	1,5	–	–	0,5

re oder Achsen. Die Formgebung durch Spritzgießen kommt nur in Ausnahmefällen zum Einsatz, wenn die komplexe Geometrie der Bauteile eine Formgebung durch Trockenpressen oder Extrusion – ggf. auch in Kombination mit einer Bearbeitung im ungebrannten Zustand – nicht erlaubt. Auf Grund der hohen Rohstoffkosten für den Steatit-Spritzguß-Feedstock sowie die hohen Prozesskosten durch das Spritzgießen und Entbindern ist dieses Herstellungsverfahren nur in Ausnahmefällen wirtschaftlich. Es wird aber durchaus in einigen Fällen für kleine und mittlere Serien bei der Firma Rauschert seit Jahren in Serie eingesetzt, wobei die Firma Rauschert hierbei über einen eigenen Rohstoffversatz verfügt und nicht auf Zulieferung von gebrauchsfertigem Feedstock angewiesen ist. Der Brand der Steatitbauteile erfolgt im Bereich von 1280–1350 °C, die Ausnahme dabei bildet der poröse Steatit C230.

Werkstoffeigenschaften

Die Werkstoffeigenschaften der Steatit-Werkstoffe sind in der DIN EN 606072 in der Gruppe „C200 Magnesiumsilicate“ spezifiziert. Dort sind Steatit- und eng verwandte Forsterit-Werkstoffe aufgeführt [1], die wichtigsten Eigenschaften sind in Tab. 1 zusammengefasst. Ein relevanter Grundgedanke der DIN EN 606072 ist, dass nicht die Zusammensetzung der Werkstoffe, sondern deren Eigenschaften mit Fokus auf elektrotechnische Anwendungen festgelegt sind. Es existiert keine Norm, in der die Zusammensetzung der elektrischen Isolierstoffe festgelegt wird. Typische Steatitwerk-

stoffe haben die Zusammensetzung 58–65 % SiO₂, 26–32 % MgO, 3–6 % Al₂O₃, 1,0–1,5 % Na₂O bzw. K₂O (bei C 220), bzw. bis zu 5 % BaO (bei C 221). Die einzelnen Materialien dieser Werkstoffgruppe haben ihre individuellen Eigenheiten:

- „C210 Steatite für Niederspannung“: Dieser wird nach Erfahrung des Autors heutzutage nicht mehr verwendet, da er keinerlei Vorteile gegenüber den anderen Steatit-Werkstoffen mehr bietet. Bei diesem war eine geringe Restporosität von 0,5 % zulässig. Dieser dürfte nach Einschätzung des Autors den Werkstoffen ähneln, die anfangs aus den Specksteinabfällen hergestellt wurden.
- „C220 Steatite, normal“ – im allgemeinen Sprachgebrauch auch „Normalsteatit“ genannt: Dieser Werkstoff ist noch eher vereinzelt im Einsatz; oft in Anwendungsfällen, in denen vor langen Jahren Zulassungen für bestimmte Anwendungen erlangt wurden, die mit C220 beantragt wurden. Ein Wechsel auf den allgemein weitaus gebräuchlicheren C221 wäre aber mit einer aufwändigen Neuzulassung verbunden, so dass dieser Werkstoff immer noch im Einsatz verbleibt – wenn auch in geringem Umfang.
- „C221 Steatit, kleiner Verlustfaktor“ – im allgemeinen Sprachgebrauch auch „Sondersteatit“ oder „Hochfrequenzsteatit“ genannt. Diesen kennzeichnet ein Zusatz von Bariumcarbonat, welches den Verlustwinkel $\tan \delta$ verringert und diesen Werkstoff besonders für Hochfrequenzanwendungen prädestiniert. Im Nebeneffekt wird auch die mechanische Festigkeit

weiter gegenüber dem C220 gesteigert. Seit einigen Jahrzehnten ist der C221 der mit Abstand am häufigsten verwendete Steatit-Werkstoff, auch wenn die günstigen Hochfrequenzeigenschaften für die meisten der heutigen Anwendungen keine Rolle mehr spielen. Steatit wird dort eingesetzt, da er gute mechanische Kennwerte besitzt, sehr komplexe Bauteilgeometrien in engen Toleranzen erlaubt und im Vergleich zu den meisten Oxidkeramiken wirtschaftlich sehr interessant ist.

- „C230 Steatite, porös“: Dieser bewusst porös hergestellte Werkstoff hat eine Ausnahmestellung in der Gruppe der Steatit-Werkstoffe. Er wird aus den gleichen Rohstoffen wie C220 oder C221 hergestellt, diese werden bei 650–1050 °C deutlich niedriger gebrannt als C220 bzw. C221. Damit hat dieser Werkstoff auch völlig andere Einsatzgebiete als die dicht gebrannten Steatite C220 bzw. C221. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass zur C200-Werkstoffgruppe auch noch die Werkstoffe C240 Forsterite, porös, und C250 Forsterite, dicht, gezählt werden. Porösere Forsterite C240 hatte ähnliche Anwendungsfelder wie Steatit C230, unterscheidet sich im Wesentlichen durch den höheren MgO-Gehalt vom C230. Der C230 hat den C240 inzwischen fast vollständig verdrängt. Dichter Forsterit C250 besticht durch einen höheren Wärmeausdehnungskoeffizienten als C221 und wird daher bisweilen in Metall-Keramikverbindungen eingesetzt. Auch diesen Werkstoff kennzeichnet ein höherer MgO-Gehalt im Vergleich zum C221. Die

Verwendung beschränkt sich aber auf wenige Nischen. Beide Forsterit-Werkstoffe werden in diesem Artikel nicht näher betrachtet.

Anwendungen

Eine oder mehrere der folgenden herausragenden Eigenschaften der dicht gebrannten Steatit-Werkstoffe definieren die möglichen Einsatzgebiete für diese Werkstoffgruppe (zum Teil nach [8]):

- Sehr gutes elektrisches Isolationsvermögen: Steatite besitzen eine sehr hohe Durchschlagsfestigkeit und einen hohen Volumen- bzw. Oberflächenwiderstand.
- Kriechstromfestigkeit: Die Kriechstromfestigkeit eines Isolierstoffes wird durch dessen Wasseraufnahmevermögen und sein Verhalten bei thermischer und ionisierender (Vorentladungen) Beanspruchung beeinflusst [9]. Da die dicht gebrannten Werkstoffe (Ausnahme C210, der aber nicht mehr verwendet wird, siehe oben) keine Feuchtigkeit aufnehmen und auch von Lichtbögen etc. gar nicht oder kaum geschädigt werden, besitzen diese eine exzellente Kriechstromfestigkeit [10].
- Geringes Ankoppeln in Mikrowellenfelder: Durch den geringen Verlustfaktor $\tan \delta$ und die niedrige Dielektrizitätskonstante koppelt besonders Steatit C221 nur sehr schlecht an Mikrowellen an, erwärmt sich daher kaum beim Einsatz in solchen Feldern.
- Alterungsbeständigkeit: Äußere Einflüsse, wie Feuchtigkeit, aber auch beispielsweise UV-Strahlen können dem Steatit nichts anhaben. Die chemische Beständigkeit ist auch gegen viele Medien sehr gut, bei starkem korrosiven Angriff sind aber Oxidkeramiken den Steatiten überlegen – dies soll hier nicht verschwiegen werden.
- Hohe Festigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit: Bedingt durch die recht hohe Biegefestigkeit, die allerdings nicht das Niveau der meisten Oxidkeramiken erreicht, dem vergleichsweise niedrigen Wärmeausdehnungskoeffizienten ist die Temperaturwechselbeständigkeit auch gut. Diese Eigenschaften resultieren dann auch in einer guten Verschleißbeständigkeit.

Dazu kommen eine niedrige Wärmeleitfähigkeit (2–3 W/m·K [2]), die Steatite auch als Werkstoff zur Wärmeisolation qualifizieren. Herausragend ist allerdings das im

Tab. 2 Typische Anwendungen für Steatit-Werkstoffe und die dafür ausschlaggebenden Werkstoffeigenschaften

Anwendung	Wichtige Werkstoffeigenschaft								
	Elektrisches Isolationsvermögen	Kriechstromfestigkeit	Alterungsbeständigkeit	Festigkeit	Temperaturwechselbeständigkeit	Geringes Ankoppeln an Mikrowellen	Verschleißbeständigkeit	Korrosionsbeständigkeit	Niedrige Wärmeleitfähigkeit
Sicherungskörper	X	X	X	X	X				X
Lampensockel (auch UV/IR-Lampen)	X	X	X		X				X
Mahlkörper/Mühlenauskleidungen						X	X		
Thermostatsockel/Schaltstifte	X	X	X		X				X
Halterungen/Bauteile in Mikrowellen				X	X	X			
Antennenträger	X		X			X			
Führungselemente in Holzbearbeitungsmaschinen			X	X	X		X		X
Tragkörper für Widerstände und Potentiometer	X		X		X		X		X
Achsen und Wellen für Pumpen			X	X	X		X	X	
Gehäuse für Reihenklemmen	X	X	X		X				
Klemmleisten/Lüsterklemmen/Motorklemmbretter	X	X	X		X				
Thermoelementsockel	X		X		X			X	X
Endbuchsen für Heizpatronen/Heizelemente	X	X	X	X	X				
Stützisolatoren	X	X	X	X					
Durchführungen	X	X	X	X					
Heizleiterträger	X		X		X				X
Isolatoren für Zündvorrichtungen und Flammenfühler	X		X		X			X	

Vergleich zu den Oxidkeramiken exzellente Preis-/Leistungsverhältnis, das umso stärker zu Buche schlägt, je großvolumiger die Bauteile werden: Die Rohstoffkosten betragen nur ca. 1/3 der Kosten für einen 99,7 %igen Aluminiumoxid-Rohstoff bei gleichzeitig bedeutend niedrigeren Sintertemperaturen und damit Energiekosten. Eine Übersicht über Anwendungen für dichte Steatitwerkstoffe gibt die Tab. 2 wieder.

Der poröse Steatit C230 wird in ganz anderen Feldern eingesetzt. Die Hauptanwendungsfelder sind die Elektrowärmetechnik, dort insbesondere als Brechkeramik bei der Herstellung von Heizpatronen. Hier kann der poröse Steatit eingesetzt werden, wenn Teilbereiche des Heizelementes thermisch isoliert werden sollen, denn der sonst an dieser Stelle eingesetzte Keramikwerkstoff

Magnesiumoxid besitzt eine Wärmeleitfähigkeit, die ungefähr das zehnfache höher ist als die vom porösen Steatit.

Weiterhin wird dieser Werkstoff als Diaphragma in pH-Messketten und ähnlichen Anwendungen verwendet. Dazu wird ein kleiner poröser Stab aus Steatit C230 in die Wandung des Glaszylinders eingeschmolzen. Der Wärmeausdehnungskoeffizient der Keramik wird dabei auf die des Glases abgestimmt und stellt sicher, dass eine leckagefreie Verbindung zwischen Glas und Keramik besteht, aber auch keine Risse im Glas durch thermische Spannungen entstehen.

Zusammenfassung und Ausblick

Obwohl schon eine eher alte Werkstoffgruppe der technischen Keramiken, sind die Steatit-Werkstoffe in vielen Anwendungen

nicht wegzudenken. Das günstige Preis-/Leistungsverhältnis, die bemerkenswerte Festigkeit und die herausragenden elektrischen Eigenschaften sichern den Steatiten auch in Zukunft bedeutende Marktanteile in vielen Anwendungen des täglichen Bedarfs aber auch in industriellen Anwendungen.

Literatur

- [1] NN: DIN EN 60672 Teil 1–3. Keramik- und Glasisolierstoffe. Berlin 1996
- [2] Matthes, S.: Mineralogie: Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde. Berlin, Heidelberg 1996, 142–143
- [3] Schüller, K.-H.: Steatit. In: Keramik. Hrsg.: R. Telle. Berlin, Heidelberg 2007, 713–716
- [4] Hennicke, H.W.: Silikatkeramische und oxidkeramische Werkstoffe. In: Technische Keramik: Ein neuer Werkstoff; mit hoher Innovation; für „High-Tech“-Betriebe. Essen 1988, 18
- [5] Hecht, A.: Die Steatite. In: Elektrokeramik Werkstoffe – Herstellung – Prüfung – Anwendung. Berlin, Göttingen, Heidelberg 1959, 8–11
- [6] NN: Wikipedia. 11.11.2021. Online: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kriechstromfestigkeit> [Zugriff am 11.01.2022]
- [7] Nicklas, D.; El Gammal, A.: Funktionskeramiken. In: Technische Keramiken Grundlagen, Werkstoffe, Verfahrenstechnik. Essen 2009, 602–603
- [8] NN: Keramik in der Isoliertechnik 2 – Kriechstromfestigkeit. Selbstverlag Verein der Keramischen Industrie e.V., Fachgruppe „Technische Keramik“, Selb
- [9] Röpner, H.-P.: Die Entstehung und Entwicklung der Produktion von technischer Keramik, insbesondere elektrotechnischem Porzellan und Steatitartikeln in Bayern und Thüringen bis in die 1920er Jahre. Marktredwitz 2006
- [10] Vogt, G.: Steatit. In: Technische Keramik – Grundlagen, Werkstoffe, Eigenschaften. Hrsg.: W. Kollenberg. Essen 2009, 188–191