

4.2 Verschleißschutz mit Keramik

- Heinz Albert
CERA SYSTEM Verschleißschutz GmbH
Hermsdorf

Die Folien finden Sie ab Seite 321.

4.2.1. Einleitung

Keramische oder keramisch ausgekleidete Ausrüstungen werden seit fast 80 Jahren großtechnisch und industriell hergestellt und genutzt. Firmen, wie die HESCHO Hermsdorf, die Friedrichsfeld AG, die KPM Berlin, die Süddeutschen Steinzeugwerke oder die Krauschwitzer Steinzeugwerke entwickelten sich rasch. Die ersten Ausrüstungen waren Behälter, Reaktoren und Rohrleitungen. Später kamen Armaturen in Form von Kükenhähnen und Pumpen hinzu. Die keramischen Werkstoffe waren vor allem Steinzeug und Hartporzellan. Diese Werkstoffe wurden wegen ihrer guten Korrosionsfestigkeit gegen Säuren verwendet.



Bild 1: Fertigung von Chemikeramik



Bild 2: Vakuumkolonnen und Säureabscheider

Ende der 70-iger / Anfang der 80-iger Jahre kam Aluminiumoxid als hochverschleißfester Werkstoff bei Auskleidungen, in Küken- und Kugelhähnen, sowie in Rohrleitungen zum Einsatz. Damit entwickelte sich eine ganz neue Richtung, nämlich der Verschleißschutz mit Keramik.



Bild 3: Küchenhahn in keramischer Chemieanlage

Parallel dazu entwickelt sich auch die Keramische Industrie selbst. Werkstoffe, wie Siliziumkarbid und Zirkonoxid fanden großtechnische Anwendungen. Bis heute, d. h. in den letzten 25 Jahren, hat sich die Keramikindustrie überproportional expansiv entwickelt, ganz neue Werkstoffe wurden entwickelt. Die Preise haben sich im Schnitt kräftig nach unten entwickelt. Die Breite und Vielfalt der Anwendungen keramischer Werkstoffe ist inzwischen so groß wie bei keiner anderen Werkstoffgruppe. Denken wir doch von Elektrokeramik (keramische Isolatoren) bis zu Hochleistungskeramik (z.B. keramischen Wärmetauschern oder keramischen Zündelektroden), von Baukeramik (keramischen Bausteinen und Dachziegeln) bis Sanitärkeramik (Waschtische und WC – Becken), von Ingenieurkeramiken in Ausrüstungen bis Keramikwolle in hocheffizienten Isolationsanlagen.



Bild 4: Hochspannungsisolatoren



Bild 5: Keramische Hochtemperaturisolierwolle

4.2.2. Keramik in klassischen Verschleißschutzanwendungen

Die ersten Verschleißschutzanwendungen mit Aluminiumoxid waren Auskleidungen. Dazu ist im vorherigen Vortrag schon ausführlich eingegangen worden. Es soll deshalb hier von den weiteren Entwicklungen die Rede sein. Rohrleitungen mit keramischen Auskleidungen, zum Beispiel, zur Förderung extrem schleißender Medien entwickelten sich ebenfalls relativ schnell, gab es doch schon lang keramisch gepanzerte Rohrleitungen (z. B. mit Schmelzbasalt und Hartporzellan).

Bei Industriearmaturen liegt der Beginn der heutigen Ära der Keramikarmaturen in den 70-iger Jahren.

Klassische Anwendungen derartiger Keramikarmaturen sind Rauchgasentschweflungsanlagen (REA) in Festbrennstoffkraftwerken.



Bild 6: KW Jänschwalde, Haupteingang

Mit der Einführung der REA-Technologie haben die Kraftwerke ihre berühmt-berüchtigten Schornsteine verloren.



Bild 7: Typisches Bild eines Kraftwerkes

Vor allem beim Handling der Kalksteinsuspension bzw. der Kalkmilch wurden Keramikarmaturen eingesetzt.

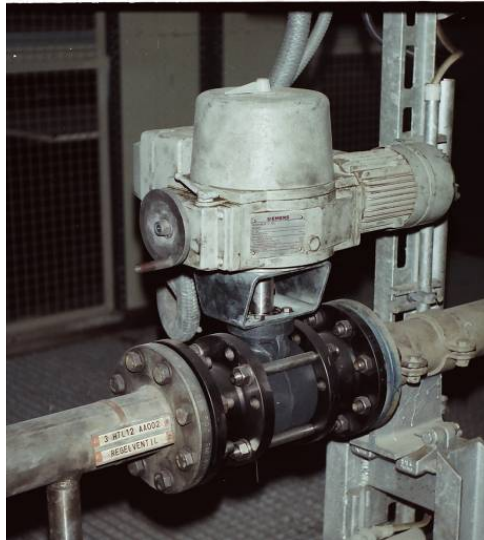


Bild 8: Typische Kalkmilchregelarmatur

Heute gibt es europaweit nur noch wenige Kraftwerke, die nicht mit REA – Technik und entsprechend mit Keramikarmaturen ausgerüstet sind.



Bild 9 und 10: KW Pronerov, CR

In den letzten Jahren sind es vor allem die Chinesen, die jedes Jahr eine große Anzahl von Kohlekraftwerken bauen und in Betrieb nehmen.



Bild 11: Lieferung für China

Inzwischen sind in den Kraftwerken eine Reihe anderer Anwendungsfälle, wie die Verarbeitungsstrecken von Gips, die Behandlung bestimmter Prozesswässer oder auch Schwefelverbindungen bei der Schwefeldirektherstellung hinzugekommen.



Bild 12: Prozesswasserstrecke im Kraftwerk



Bild 13: Hydrozyklonanlage Gips

Ein weiterer klassischer Einsatzfall von keramischem Rohrverschleißschutz, einschließlich Armaturen, sind die sogenannten Kohleenblasungen. Mittels pneumatischer Systeme werden hier sowohl die Rohstoffe, wie auch die Brenn- und Zuschlagstoffe eingeblasen.

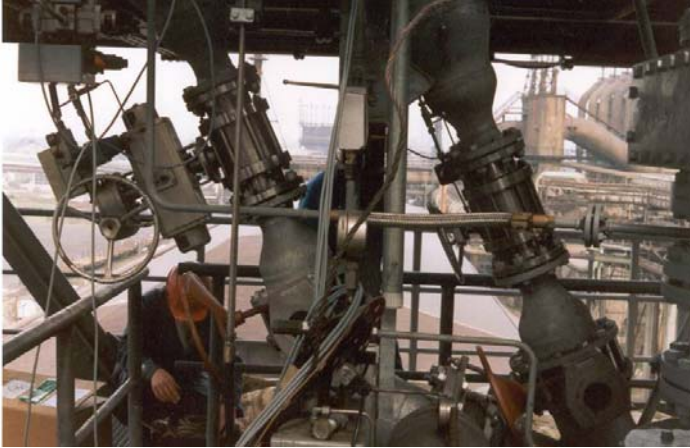


Bild 14: Kohleenblasung



Bild 15: Einblaslanzen



Bild 16: Ausschleusearmatur unter Sendegefäß

Kalksteinsuspension und Kalkmilch werden inzwischen in den verschiedensten Bereichen, wie z. B. in der Zuckerindustrie eingesetzt, wo natürlich die Keramikarmaturen genauso Einzug gehalten haben.



Bild 17: Zuckerfabrik



Bild 18: Wasseraufbereitungsanlage



Bild 19: Wasseraufbereitungsanlage

Müllverbrennungsanlagen

Die Müllverbrennungsanlagen sind von Anfang an mit entsprechenden REA´s ausgerüstet worden, d.h. sie waren und sind klassische Anwendungen von keramisch ausgekleideten Ausrüstungen. Hier kam

natürlich die chemische Komponente der Belastungen stärker zum Tragen als bei den Kraftwerken. Bei der Verbrennung von Müll, noch extremer bei Sondermüll, entstehen oft auch Stoffe, die einer chemischen Behandlung bedürfen und das mal basisch und mal sauer.

4.2.3. Anspruchsvolle Anwendungsfälle von Keramik im Verschleißschutz

4.2.3.1. Kraftwerke

Zur Erhöhung des Wirkungsgrades eines Kraftwerkes hat die ABB/ALSTOM eine Technologie entwickelt, bei der die Kohle gemahlen, getrocknet und vorgeheizt wird. Den höheren Wirkungsgrad hat man sich mit erheblichen zusätzlichen Verschleißproblemen eingekauft.

Die Kohleförderleitungen sind alle in Druckstufe PN 160 ausgeführt und zusätzlich keramisch ausgekleidet.



Bild 20: Hochdruckkohleförderleitung



Bild 21: Rohre für Hochdruckkohleförderleitung

4.2.3.2. Grund- und Baustoffe

Die positiven Erfahrungen mit keramischem Verschleißschutz haben sich bald auch in der Grund- und Baustoffindustrie herumgesprochen. Sowohl in Zementwerken, beim pneumatischen Transport von Zement und deren Rohstoffen, bei der Befuerung der Drehrohröfen, wie auch bei der Aufbereitung von Kaolin oder bei der Herstellung von Alpha – Gips wurden Rohrleitungen, Armaturen, Zyklone, Behälter, Schurren und Rutschen voll- oder teilerkeramisch ertüchtigt.

In den Jahren 1995/96 wurden an Filterpressen erstmals keramische Kugelhähne für die Druckstufe PN100 (Nennweite DN100) mit Erfolg eingesetzt.



Bild 22: Kaolinwerk

Inzwischen sind dort ganze Batterien von Dosier- Regelstrecken mit keramischen Kugelhähnen ausgerüstet worden.



Bild 23: Regelstrecke mit keramischen KH

Alpha – Gips ist ein begehrter hochfester Baustoff, der allerdings bei der Herstellung erhebliche Probleme bereitet. Sowohl die Förderung als auch das Zentrifugieren sind mit erheblichen Verschleißproblemen behaftet. Hinzu kommt, dass die Suspension zum Aushärten neigt. Aus diesem Grunde sind hier keine Kugelhähne, sondern tottraumfreie Scheibenschieber im Einsatz.



Bild 24: Gipswerk

Wegen der hohen abrasiven Wirkung sind bei der Planung der Anlagen oft die Rohrleitungen recht groß dimensioniert worden. Die Strömung in einer Rohrleitung ist aber in den seltensten Fällen homogen. In der Regel gibt es Zonen starker Strömung und Zonen von Strömungsschatten. Bei aushärtenden Medien führt das zum systematischen „Zuwachsen“ der Rohrleitungen. Die Strömungsgeschwindigkeit nimmt in den noch offenen Querschnitt ständig zu. Da die Ablagerungen aber nicht gleichmäßig die Wandungen schützen, kommt es letztlich zu erhöhtem und beschleunigtem Verschleiß. Keramische Rohrleitungen verkraften dagegen Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 20 m/s, was das Absetzen total verhindert, ohne wesentlichen Verschleiß.



Bild 25: keramischer Regelschieber



Bild 26: keramische Regelschieber

4.2.3.3. Pigmente

In vielen Farben und Werkstoffen ist Titandioxid als Weißmacher enthalten. Titandioxid ist ein sehr abrasiver Stoff



Bild 27: Titanoxidhersteller in Slovenien

Der Weißmacher Titandioxid wird in vielen Materialien als Pigment verarbeitet. Unter anderem wird Titandioxid in der Papierindustrie eingesetzt. In den Farbküchen, wo die Streichfarben angemacht und kontrolliert werden müssen, kommt es auf konstante Verhältnisse an. Dieser Forderung kommen am besten keramische Armaturen nach. Hier kommt oft hinzu, dass sehr kleine Mengen präzise geregelt werden müssen und dass keine Strömungsschatten ein selektives Absetzen der Pigmente möglich machen. Untersuchungen haben gezeigt, dass sich hierfür keramische Scheibenschieber am besten eignen.



Bild 28: Teil einer automatischen Farbküche

3.3.3.4. Salz-Industrie

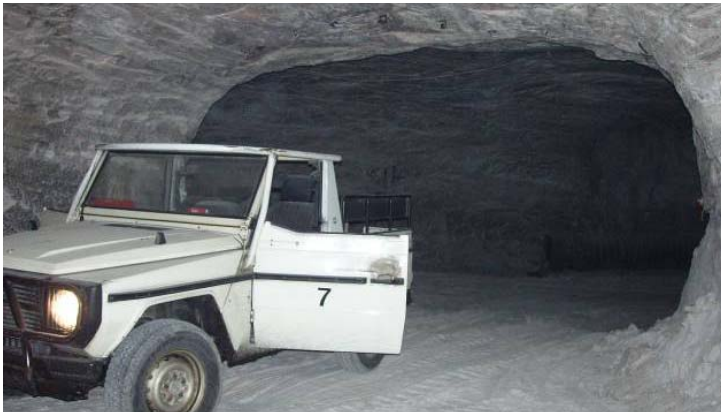


Bild 29: Untertagebau – Salz-Industrie

Ein breites Einsatzfeld für keramischen Verschleißschutz bieten die Werke in der Salzindustrie. Ob Abstreifer an den Bandfiltern, Begaser in den Flotationsbecken, Rohrleitungen über und unter Tage, Verteilerboxen in der Spülversatzanlage, Armaturen in der Bandfilterbeschickung und Reststaubbörderanlage oder einfache Behälterausklei-

dungen, überall bewährt sich vor allem Aluminiumoxid als hervorragender und effektiver Verschleißschutz. Manchen Rohrleitungen kann man schon von außen ansehen, welcher Belastung sie im Inneren zu bewältigen haben. Keramische Dreischieber eignen sich für gesättigte Salzlösungen besonders gut, weil die Dichtflächen sich gegenseitig abdecken und damit schützen bzw. durch die messerscharfen Kanten ständig frei geschabt werden.



Bild 30: Verteilerknoten



Bild 31: Rohrleitung „eingesalzt“

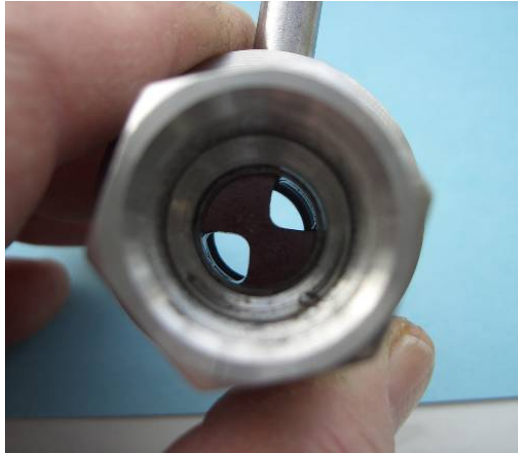


Bild 31: Drehschieber

4.2.3.5. Fördertechnik / Pneumatik

Interessante Weiterentwicklungen hat es in den letzten Jahren auf dem Gebiet der pneumatischen Förderung gegeben. Nicht nur bei der Förderung offensichtlich schleißender Medien wie keramische Pressgranulate, Flugaschen oder Aluminiumoxidpulver tritt eine enorme Verschleißbelastung auf. Nein selbst bei oft harmlos anmutenden Stoffen, wie Getreideprodukten oder gefüllten Kunststoffgranulaten ist mit starkem Verschleiß zu rechnen.



Bild 32: Auskleidungen



Bild 33: Förderschuh und Keramikeinsatz



Bild 34: Förderschuh und Keramikeinsatz

Besonders exponierte Stellen, wie z. B. Zyklone, Fördereingänge, Förderschuhe, Injektoren Verteiler und Schleusen sind erfolgreich mit entsprechendem keramischem Verschleißschutz versehen worden. Dabei hat sich gezeigt, dass vor allem die „Keramik - gerechten“ Lösungen am effektivsten ausgefallen sind Schleusen sind immer dann erforderlich, wenn mehrere Förderstellen auf eine zentrale Förderleitung arbeiten. Die Schaltzyklen sind oft sehr häufig. Wenn dann noch hohe Temperaturen im Spiel sind, ist Keramik für einen effektiven Betrieb unverzichtbar.

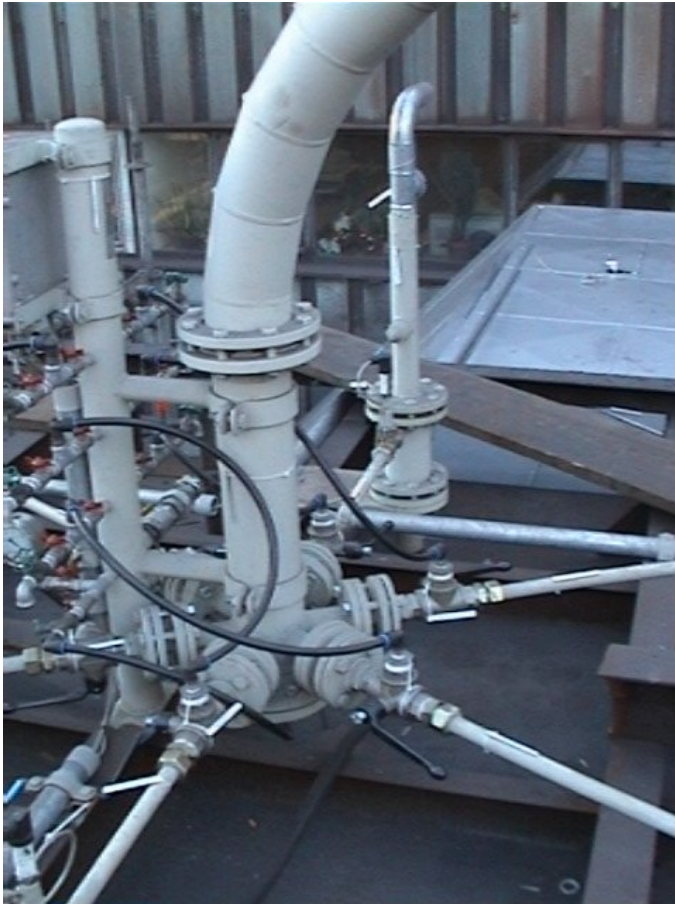


Bild 35: Jet-Verteiler



Bild 36: Jet-Verteiler

Schleusen sind immer dann erforderlich, wenn mehrere Förderstellen auf eine zentrale Förderleitung arbeiten. Die Schaltzyklen sind oft sehr häufig. Wenn dann noch hohe Temperaturen im Spiel sind, ist Keramik für einen effektiven Betrieb unverzichtbar.

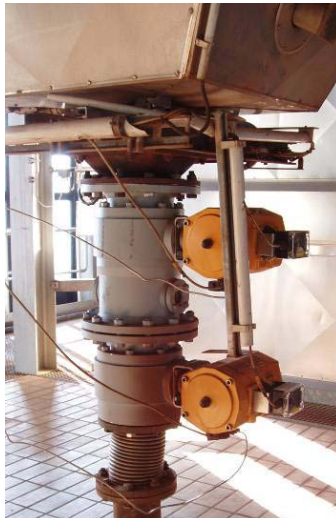


Bild 37: Doppelkugelhahnschleuse

4.2.3.6. Tabakindustrie



Bild 38: Zigarettenfabrik, Berlin

Bei der Verarbeitung des Tabaks zu Light-Zigaretten sind Bleichprozesse nötig, die erheblichen Verschleiß an Armaturen verursachen. Durch den Einsatz keramischer Kugelhähne konnten die Funktion und die geforderte Gasdichtheit dauerhaft gewährleistet werden.

4.2.3.7. Probenahme



Bild 38: Probeentnahmeschieber

Bei extremen Prozessen ist aus Sicherheitsgründen eine Probenahme nicht direkt möglich. Es wird gefordert, vor Probeabnahme den Prozessraum, aus dem die Probe gezogen wurde, wieder zu verschließen. Mit einem Probeentnahmeschieber ist diese Vorschrift problemlos einzuhalten. In einer bestimmten Stellung, die durch eine Linearbewegung angefahren wird, kann die zu ziehende Probe in ein Zwischenvolumen (Zwischenraum) gelangen.

Das Probevolumen aus dem Zwischenraum kann erst in die Probeflasche abgegeben werden, wenn nach einer Linearbewegung der Prozessraum verschlossen wurde und eine nachfolgende Schwenkbewegung ausgeführt wird.

4.2.4. Extreme Einsatzfälle – Keramik = die Lösung

Bei der Betrachtung der Extremfälle wird der Begriff des Verschleißschutzes etwas weiter gefasst. Es wird hier nicht nur der mechanische Verschleißschutz betrachtet, sondern auch hohe thermische und extreme chemische Belastung einbezogen.

4.2.4.1. Slurry mit FCC-Katalysatoranteilen, 250°C



Bild 39: PCH Schwedt, Hauteinfahrt

Nach vielen erfolglosen Versuchen und Tests mit Armaturen verschiedener Hersteller ist im PCK Schwedt im Bereich Slurry ein ke-

ramischer Hochtemperaturkugelhahn eingesetzt worden, der eine Standzeit von mehr als einem Jahr brachte. Vorher sind Standzeiten von 2 bis 10 Wochen erreicht worden.



Bild 40: Slurry - HT – KH

4.2.4.2. FCC-Katalysatoreinspeisung, 750°C

Bei dem FCC – Katalysator (Aluminiumoxid) – Verfahren wird in Raffinerien der Katalysator bei bis zu 750°C in den Cracker eingeblasen. Die Herausforderung besteht neben der hohen Verschleißfestigkeit in der Gasdichtheit der Armatur.

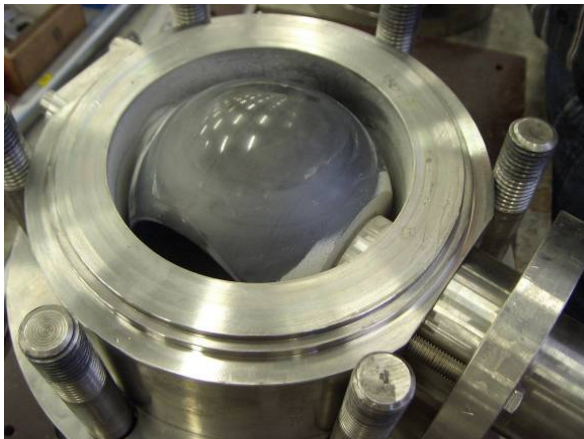


Bild 41: FCC-Katalysatordosierkugelhahn, DN 100

4.2.4.3. Großvolumige Keramikteile

Die Frage nach den möglichen dimensionen keramische Bauteile wird immer wieder gestellt.

Die Fertigungstechnologien entwickeln sich ständig weiter. Erstmals sind Zyklone aus Aluminiumoxid bis zu einer Länge von 700 mm aus Siliziumkarbid bis zu einer Länge von über 1 m im Schlickergussverfahren gefertigt worden.



Bild 42: Zyklon aus Aluminiumoxyd



Bild 43: Zyklon aus SISIC

4.2.4.4. Extreme Genauigkeit

Ein großer Vorteil der Ingenieurkeramiken ist die Möglichkeit, diese mit hoher Präzision zu fertigen. Um gasdichte Schieber bauen zu können, sind Scheiben mit extremer Ebenheit erforderlich. Im dargestellten Messprotokoll ist ersichtlich, dass eine Keramikscheibe mit einem Durchmesser von 60 mm mit einer Ebenheit von unter 50 nm zu fertigen ist.

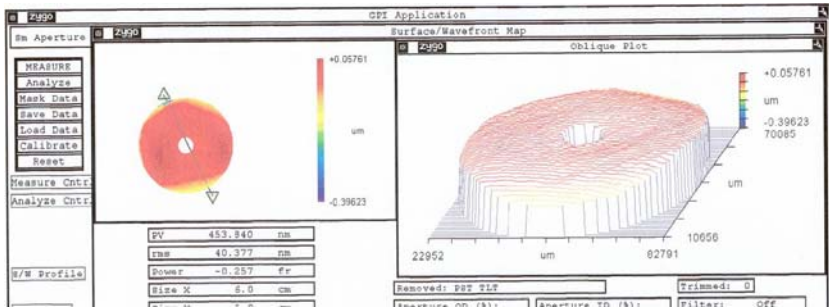


Bild 44: Messung einer Oberfläche

4.2.4.5. Drehschieber, gasdicht bis 200 bar

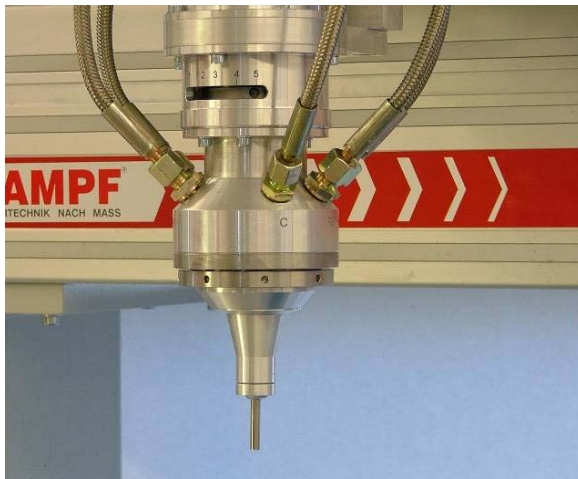


Bild 45: Dosiermischkopf

Gemeinsam mit der Firma RAMPF Dosiertechnik sind keramische Dosiermischköpfe entwickelt worden, die montiert am Roboterarm bis zu 4 Komponenten mit Drücken bis 200 bar mischen und dosieren können. Die zu mischen Komponenten reagieren bei Kontakt schnell und heftig. Die Funktion der Mischköpfe ist deshalb nur dann dauerhaft gewährleistet, wenn die Komponenten gasdicht voneinander getrennt bleiben. Hier ist vor allem die im Vorpunkt genannte hohe Ebenheitsforderung zu erfüllen.



Bild 46: Drehschieber, gasdicht bis 200 bar



Bild 47: Drehschieber, gasdicht bis 200 bar

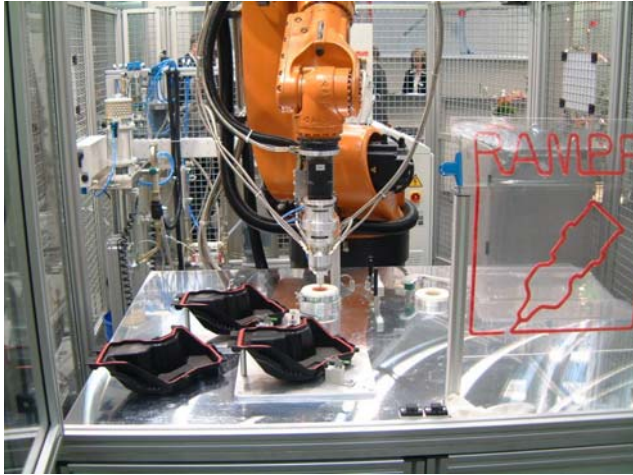


Bild 48: Drehschieber, gasdicht bis 200 bar

3.3.4.6. Hochdruckschieber, DN ½", PS 250



Bild 49: Hochdruckschieber, DN ½", PS 250

Für das Dosieren von gefülltem PUR ist ein Hochdruckschieber für 250 bar Arbeitsdruck entwickelt und gebaut worden. Zur Betätigung ist ein Hydraulikzylinder aufgebaut worden, der eine Kraft von 5 t entwickeln kann.

4.2.4.7. Hochdruckregelschieber, PS 500



Bild 50: Hochdruckregelventil

Für das Regeln des Düsenvordruckes an einer Hochdruckwaschanlage ist ein Drehschieber für 500 bar entwickelt und erfolgreich getestet worden. Zur Minimierung der Betätigungskräfte sind spezielle Maßnahmen zur Druckkompensation umgesetzt worden. Die Betätigung ist somit mit einer Hand möglich (Drehmoment kleiner 4 Nm).

4.2.4.8. Schieber mit Sperrgas für die Fluorchemie

Ein starke organische Säure in der Fluorchemie ist die Trifluoressigsäure (TFA). Obwohl die Leckagen über die Dichtungen als technisch dicht einzustufen waren, kam es nach ca. ½ Jahr im Innenraum des Schiebers zu Korrosionserscheinungen, ersichtlich an der grünen Färbung. Abhilfe konnte dadurch geschaffen werden, dass der komplette Innenraum, der ja nicht Medien – berührt ist, mit Stickstoff als Sperrgas mit einem leichten Überdruck angelegt wurde.



Bild 51: Korrosion ohne Sperrgas nach ½ Jahr



Bild 52: Schieber

Nach einem Jahr sieht man die Korrosionserscheinungen von außen. Im Innenraum ist der Edelstahl blank.

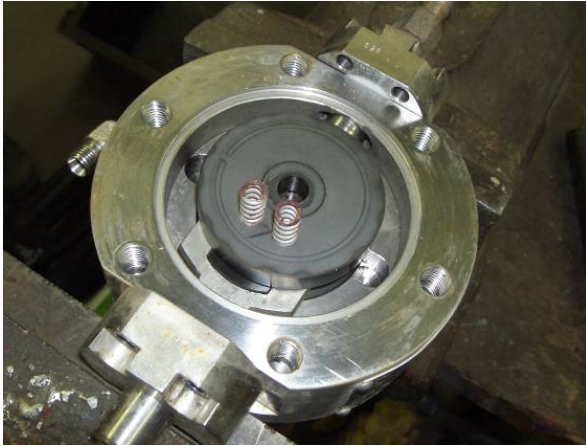


Bild 53: mit Sperrgas nach einem Jahr

4.2.4.9. Schieber mit Doppelstopfbuchse nach TA – Luft, Sperrgas und Heizung



Bild 54: Schieber DN 25 PN10 mit Heizung, Doppelstopfbuchse und Sperrgas

Mit allen Sicherheitsmaßnahmen und zusätzlich mit Heizung wurden Schieber für die Allessa Chemie in Offenbach gebaut. Die Siliziumkarbidkeramik ist als einzigstes beständiges Material getestet worden. Selbst Hastelloy musste in der „Mutterlauge“ als unbeständig eingestuft werden.

4.2.4.10. Hochkonzentrierte Salpetersäure (HOKO), 230 °C, 64 bar

Viele Jahr hat die gemeinsame Entwicklung mit dem Kunden gedauert, bis ein Kugelhahn mit Keramikinnenleben und zwei metallischen Mänteln in der Praxis eingesetzt werden konnte. Selbst leichte Leckagen des Mediums können zum Brand der Anlage führen. Zwischen den einzelnen Mänteln können feinste Leckagen dedektiert werden. Zum Wechseln der Armatur wurde eigens eine spezielle Vorrichtung gebaut.

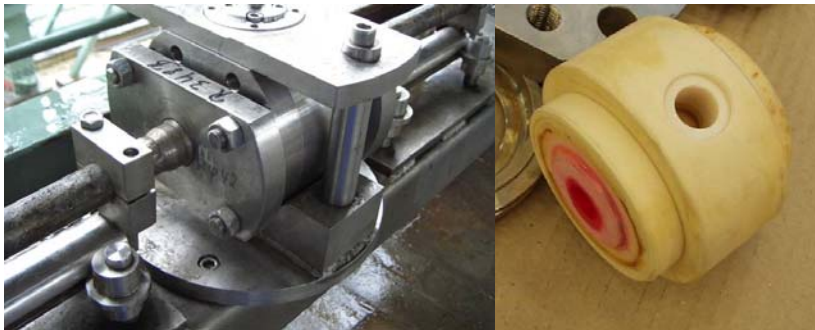


Bild 55 und 56: HOKO Regelkugelhahn DN 25 und keramisches Innenleben

4.2.4.11. Salzsäure (HCl), 750°C

Für diese Anwendung ist ein spezieller Siliziumkarbidwerkstoff entwickelt worden.

4.2.4.12. Eisenerz, 750 °C, 7 bar

Für die Eisenreduzierung sind für die Hopper - Entspannung in der Anlage Trinidat Kugelhähne geleifert worden. Die Hopper haben

einen Druck von 7 bar und eine Temperatur von 750°C. Die Armaturen stehen ständig unter einer Temperatur von 450°C. Alle 10 Minuten erfolgt eine Entspannung des Medium mit 750°C über die Armaturen.



Bild 57: Stahlwerk Trinidad

4.2.4.13. Hochtemperaturanwendungen bis 1.550°C



Bild 58: Rohr DN 80, Flansch DN 500, 1.250°C

Bei Rohrleitungen und Armaturen in diesen Temperaturbereichen muss man mit inneren Isolierungen arbeiten. Ein Rohrbogen DN 80 für

1.550°C erhält so einen Metallmantel DN 600, der eine maximale Temperatur von 550°C abbekommt. So kann Dichtaufgaben auch mit zugelassenen und zertifizierten Dichtungen verwirklichen.

Auch bei Armaturen im hohen Temperaturenbereich muss man mit inneren Isolierungen arbeiten. Besonders, wenn die Armaturen mit Antrieben versehen werden, ist Wärmeabschirmung erforderlich, sind doch die Antriebe sehr hitzeempfindlich.



Bild 59: Rohrbogen DN80, 1.550°C

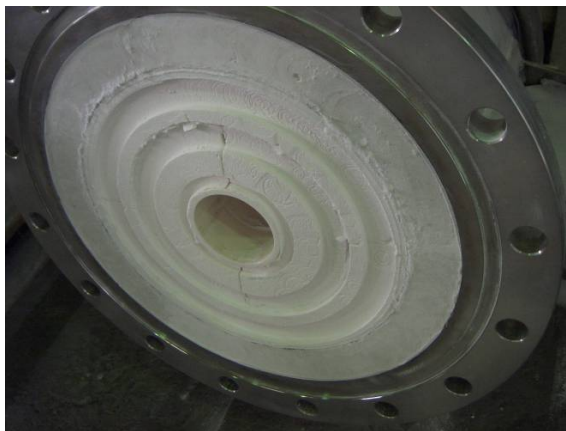


Bild 60: Hochtemperaturschieber 1250 °C bei der Montage

In der Regel werden solche Armaturen zusätzlich mit einer äußeren Isolierung versehen, die einen standardmäßigen Berührungsschutz gewährleistet.



Bild 61: Hochtemperaturschieber 1.250°C nach Isolierung

4.2.4.14. Hochtemperaturmischventil bis 1.400°C

Bei der Schwefelherstellung wird in einem sogenannten Mischventil heißes Gas (1.250 bis 1.400°C), überwiegend Schwefelwasserstoff, mit einem kühlen Gas (ca. 350 °C) gemischt. Gemeinsam mit einem renomierten Armaturenhersteller wurde für diesen Mischprozess eine Armatur DN 500 entwickelt und gebaut



Bild 62: Mischventil bei der Auskleidung



Bild 63: Sitz und Kegel beim Test

Bei dieser Anwendung war vor allem die Frage nach der Temperaturwechselbeständigkeit der Keramik wichtig. Durch den Mischprozess sind ständige Thermoschocks bis zu 1.000 K möglich. Die Praxis hat gezeigt, dass auch diese Schocks mit speziellen keramiken zu beherrschen sind.

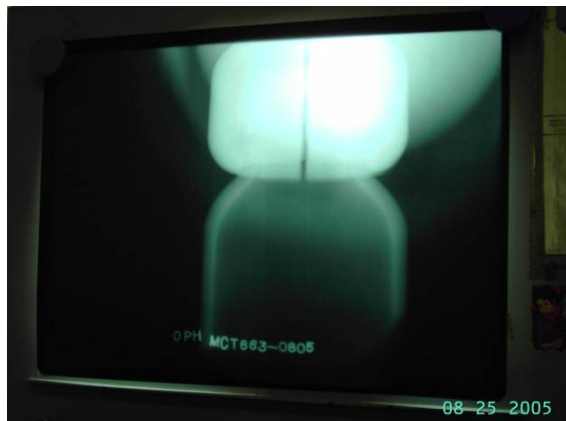


Bild 64: Röntgenbild während des Betriebes

4.2.4.15. Flüssigmetall bis 800°C

Leichtmetalle, wie Aluminium, Magnesium, Zinn oder Zink, werden immer öfter in Gießautomaten verarbeitet. Das Handling des flüssigen Metalls wird wesentlich vereinfacht, wenn Armaturen zur Verfügung stehen, die sicher die Schaltfunktion erfüllen und keine oder nur geringe Wärmeverluste verursachen. Bei der Entwicklung eines Kugelhahnes für Flüssigmetall war vor allem das Problem der Wärmeleitung über die Schaltwelle zu lösen.



Bild 65: Flüssigmetallkugelhahn



Bild 66: Flüssigmetallkugelhahn in der Anlage



Bild 67: Flüssigmetallkugelhahn, demontiert

4.2.4.16. Entspannungssysteme bis 200°C und Drücke bis 40 bar

Mit Entspannungssystemen sind Systeme aus Drosseln und Armaturen gemeint, die dazu bestimmt sind, große Drücke abzubauen. Oft treten dabei noch Phasenumwandlungen auf. Wenn technologisch bedingt, Entspannungen von Flüssigkeiten oder Gasen vorgenommen werden müssen, werden bei sauberen Medien standardmäßig mehrstufige Entspannungsventile eingesetzt. Problematisch wird die Geschichte, wenn es sich um Feststoff-beladene Gase oder Flüssigkeiten handelt. Die meisten Hersteller mehrstufiger Entspannungsventile geben vor, bei Beimengungen von Feststoffen, nur einstufige Entspannungsventile einzusetzen. Dies hängt damit zusammen, dass die metallischen Schikanen, die zur Druck- und Strömungsteilung eingebaut werden, mit Feststoffen nicht funktionieren bzw. sehr schnell verschleifen oder verstopfen. Hier, keramische Werkstoffe richtig eingesetzt, kann das Problem gelöst werden.



Bild 68: Keramischer Scheibenschieber in Kombination mit einer Festdrossel

Beispiele erfolgreicher Lösungen:

- Entspannung von Aluminiumhydroxid/Wasser
 - 220°C – 250°C
 - 20 – 25 bar gegen 0 bar
 - Partikelgröße ca. 100 µm
- Entspannung von Ruhswasser
 - 220°C – 240°C
 - 28 – 32 bar gegen 0 bar
 - Partikelgröße einige mm


 Keramischer Kugelhahn in Kombination mit zwei Festdrosseln



Bild 69: Recyclinganlage SVZ Schwarze Pumpe

- Entspannung von Ruhswasser
 - Schlacke / Wasser
 - 220°C – 230°C
 - 32 – 35 bar gegen 0 bar
 - Partikelgröße 0,1 mm



Keramischer Entspannungskugelhahn in Kombination mit zwei Festdrosseln



Bild 70: Vergasungsanlage

Entspannungskugelhähne sind Spezialkugelhähne, die von der Idee her die Kombination von zwei Festdrosseln und eines Kugelhahnes

darstellen. Durch eine gezielte mehrfache Druckteilung wird die Strömungsgeschwindigkeit soweit gedrosselt, dass diese dann von den anschließenden keramisch ausgekleideten Rohrstrecken beherrscht und weiter normalisiert werden.



Bild 71: Entspannungregelstrecke DN 150



Bild 72: Entspannungskugelhahn DN150/40

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 34) finden sich auf den folgenden Seiten.

Verschleißschutz mit Keramik

- Beanspruchungsarten
- Keramik gegen
Kavitation



Heinz Albert
CERA SYSTEM Verschleißschutz GmbH
Hermsdorf

Inhalt

- 1. Einleitung**
- 2. Beanspruchungsarten, verschiedene Lastfälle**
- 3. Vorzüge und Besonderheiten von keramischen Materialien**
- 4. Zweckmäßiger und unzumutbarer Einsatz von Keramik**
- 5. Kavitationsverhalten verschiedener Keramiken**
- 6. Anwendungen von Keramik in Kavitationsfällen**

Einleitung

Seit **über 100** Jahren
nicht nur Komponenten
sondern komplette
keramische Anlagen
- heute immer noch
Bedenken gegen
Keramik!

- Behälter/Gefäße
- Reaktoren/Kolonnen
- Wärmetauscher
- Mühlen
- Rohrleitungen
- Armaturen
- Pumpen



Bild 1 Musteranlage

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Einleitung

**Vakuum-
kolonnen-
anlage
NW 600!**

**Alles
vollständig
Keramik!**

**think
alices**
TECHNISCHE KERAMIK



Bild 2 Vakuumkolonnenanlage NW 600

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Einleitung

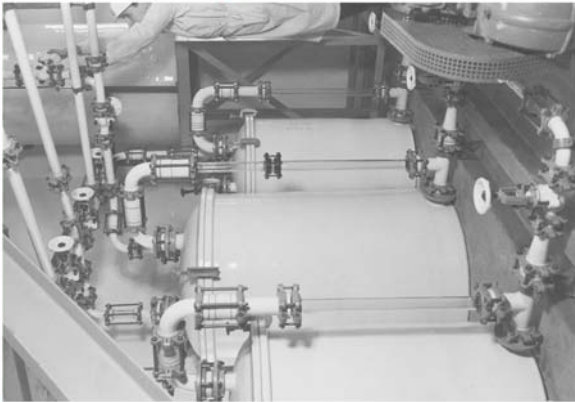


Bild 3: Standgefäße 250 und 400 Liter

**Alles
vollständig
Keramik!**

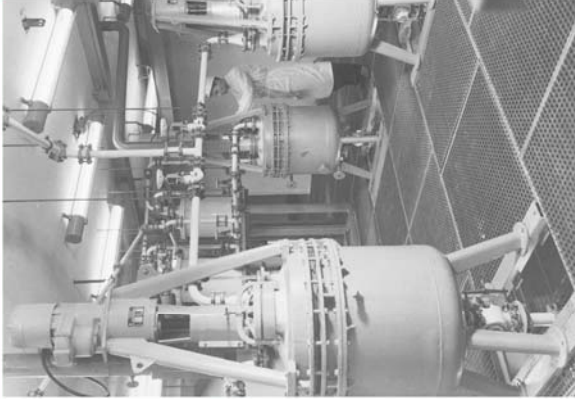


Bild 4 Rührmaschinen 1.000 Liter

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Einleitung



**Alles
vollständig
Keramik!**

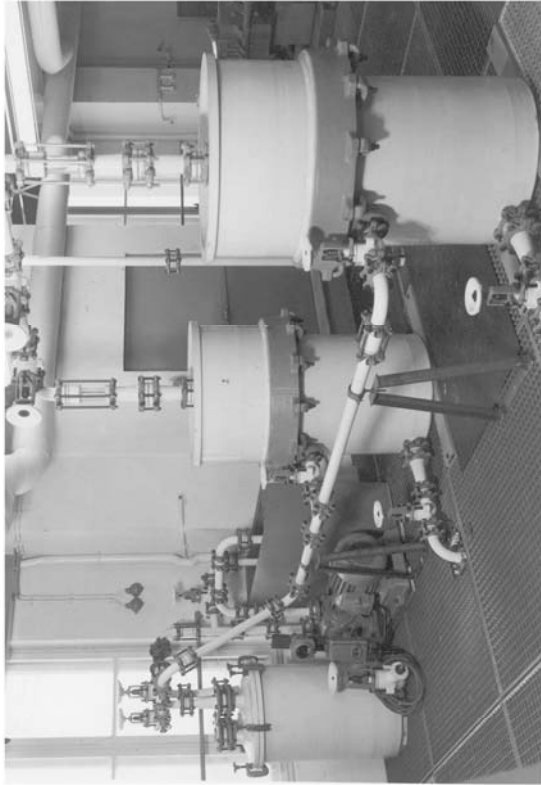


Bild 5 Nutschentfilteranlage

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Einleitung

Viele schrecken vor dem Einsatz von Keramik zurück, weil:



- Erfahrungen fehlen !
- Zu geringe Kenntnisse ?
- Vorteile unbekannt ?
- Aufwand unkalkulierbar ?
- rundherum Risiken ?!



Wir helfen Ihnen!

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Einleitung

Werkstoffgruppen in der Geschichte der Keramik

- Steinzeug
 - Hartporzellan
 - Aluminiumoxid
 - Zirkonoxid
 - Siliziumkarbid
 - Siliziumnitrid
- 20'er Jahre
 - 70'er Jahre
 - 80'er Jahre
- Chemikeramik
 - Elektrokeramik
 - Hochleistungskeramik
 - Baukeramik
 - Sanitärkeramik
 - Ingenieurkeramik

Keramik
- ein breites Feld!

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Beanspruchungsarten von Verschleiß

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Beanspruchungsarten

Beanspruchung

- chemische
- thermische
- elektrische
- mechanische
- biochemisch

Keramik:

- bei hohem Druck
- bei hoher Temperatur
- kombiniert mit Verschleiß
- im Hochtemperaturbereich
- keine Alternative**
- geringe Wärmedehnung
- Wärmeleitfähigkeit wählbar
- elektrische **Leitfähigkeit/Isolier-**vermögen wählbar
- enorme Druckfestigkeit
- Biege- Zugfestigkeit
- hohe „Steifigkeit“
- gute Maßhaltigkeit
- **Reibverschleiß**
- **Strahlverschleiß**
- **Kavitation**
- **physiologisch unbedenklich**

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Beanspruchungsarten

Verschleißarten

- Reibverschleiß
- Prall- oder Strahlverschleiß



Bild 6: Kugel ZrO_2 zerkratzt



Bild 7: SSIC - Scheibe ausgestrahlt



Bild 8: Al_2O_3 - Sitz ausgestrahlt durch Kavitation

- Kavitation

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Beanspruchungsarten

Kavitation an einer Kugel aus MgPSZ



Bild 9: Kugel ZrO2 ausgestrahlt



Bild 10: Kugel ausgestrahlte Stelle



Bild 11: Oberfläche ausgestrahlt




Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten – Kavitation

Beanspruchungsarten

Verschleißarten

Ergebnisse sehr ähnlich!

- Ursachen total unterschiedlich!

- Reibverschleiß
Nach Mohs „Wer kratzt wen?“  Rohr härter als Medium!
- Prall- oder Strahlverschleiß
Medienteilchen schlagen
„Löcher in die Oberfläche“  Konstruktive Lösung –
geringer Aufprallwinkel!
- Kavitation
Wasserblasen implodieren  Kavitationsfeste Keramik!

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

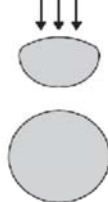
Beanspruchungsarten



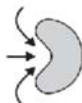
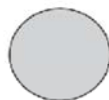
Kavitation

Die Blasenimplosion erfolgt immer ähnlich:

- Blase, die sich in einen Bereich höheren Drucks bewegt



kaum Schaden!



Schaden!

- Blase, die an einer festen Wand haftet



großer Schaden!

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Vorzüge und Besonderheiten keramischer Materialien

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Vorzüge u. Besonderheiten keram. Materialien



Vorzüge der Keramik

- extrem chemisch beständig
- extrem stabil bei hohem Druck
- enorme Druckfestigkeit
- Biege- und Zugfestigkeit gering bis gut
- hohe „Steifigkeit“
- gute Maßhaltigkeit
- sehr fest bei hoher Temperatur
- im Hochtemperaturbereich keine Alternative
- geringe Wärmedehnung
- Wärmeleitfähigkeit gut bis **sehr niedriger**
- teilweise elektrische Leitfähigkeit
- meist hohes elektrisches Isoliervermögen
- meist physiologisch unbedenklich
- nicht brennbar
- Reibverschleißfestigkeit (Ingenieurkeramik) **sehr gut**
- Kavitationsfestigkeit (Ingenieurkeramik) **teils sehr gut**
- **preislich oft attraktiv**

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Vorzüge u. Besonderheiten keram. Materialien

Besonderheiten und Nachteile der Keramik

- spröd
- spröd brechend
- Festigkeitsgrenzen sind unbedingt zu beachten
- Strahlverschleißfestigkeit meist gering
- hoher Bearbeitungsaufwand
- sehr große Vielfalt
- teils teuer
- meist gut verfügbar
- immer Brennprozess notwendig
- Ressourcen kaum beschränkt

Keramik

- ein sich ständig
entwickelndes Feld!

Keramik

- eine riesige
Variantenvielfalt!

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Vorzüge u. Besonderheiten keram. Materialien



Die Angst vor
einem Bruch ist
unbegründet!

**Keramik ist
berechenbar!**



Bild 12: MgPSZ – Kugel nach Bruchtest

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Zweckmäßiger und unzweckmäßiger Einsatz von Keramik

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Zweckmäßiger und Unzweckmäßiger Einsatz

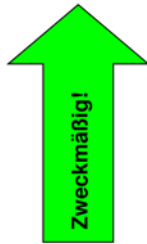


Bild 13: Förderschuh



Bild 14: Keramikeinsatz für Förderschuh

Fördertechnik
Pneumatische Förderung



Keine Stoßkanten!
Keine Fugen!



Rohrwand härter
als Medium!

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Zweckmäßiger und Unzweckmäßiger Einsatz

Pneumatische Förderung



**Elektrisch leitfähige Keramik
gegen statische Aufladung!**



Bild 15: Rohrbogen SISIC

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Zweckmäßiger und Unzweckmäßiger Einsatz

Armaturenbau

Armaturen ohne Strömungsumlenkung



**Keine Strömungs
Umlenkung!**



Bild 16: Kugelhahn



Bild 17: Scheibenschleieber



**Kein Element
In der Strömung!**

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Zweckmäßiger und Unzweckmäßiger Einsatz

Armaturen- und Anlagenbau



Sitzventil

**Strömungs-
umlenkung!**



Klappe

**Klappenteller
in der
Strömung!**



Anlage

**Zu hoher
Thermoschock!**

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Zweckmäßiger und Unzweckmäßiger Einsatz



**Zu hoher
Thermoschock!**

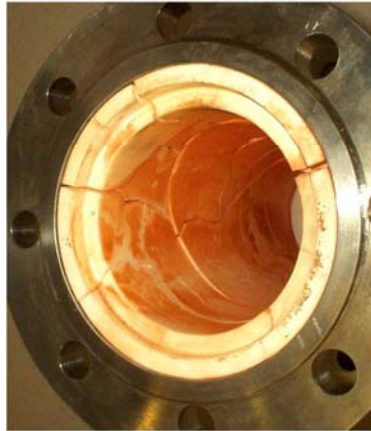


Bild 19: Staticmixer - Thermoschock!



Bild 18: Staticmixer Al_2O_3

**falsche
Keramik!**



Staticmixer aus Al_2O_3

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten – Kavitation

Kavitationsverhalten verschiedener Keramiken

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Kavitationsverhalten von Keramik



Volumenabtrag in mm³

Werkstoffprobe	Durchschnitt	Relativabtrag
Stellit 6 = Basis	0,014	1
MgPSZ - Pr. 4	0,185	13
Hartmetall - Pr. 9	0,186	13
SSIC - Pr. 3	0,314	22
SISIC - Pr. 7	0,321	23
Al ₂ O ₃ - Pr. 12	0,388	28
SSN - Pr. 8	0,801	57
Al ₂ O ₃ - Pr. 10	0,851	61
Al ₂ O ₃ - Pr. 2	1,726	123
Al₂O₃ - Pr. 1	7,962	569

Tabelle 1: Volumenabtrag Keramik

**Bis vor 5 Jahren
- meine Aussage :**

**Keramik hilft
nicht
gegen Kavitation!**

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Kavitationsverhalten von Keramik

Umfangreiches Versuchsprogramm

Vergleichend Untersuchungen zu Stellit 6:

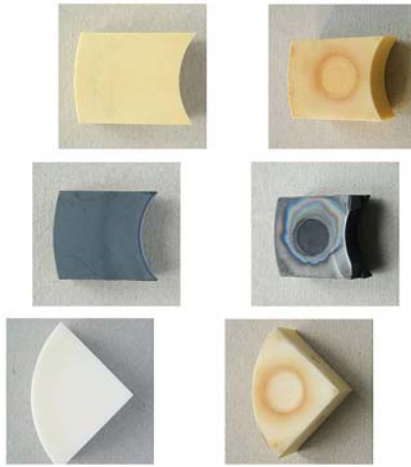
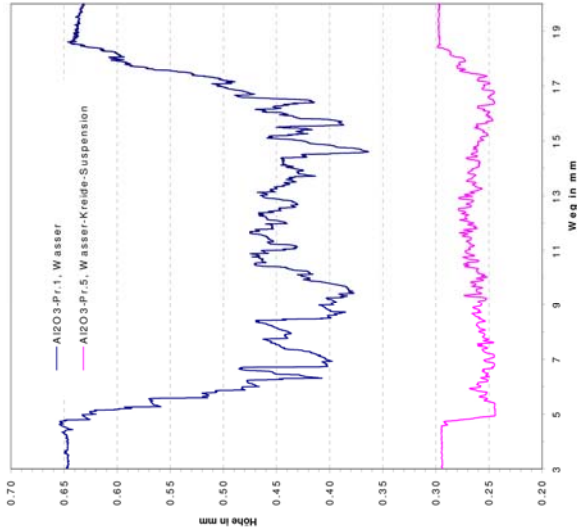


Bild 20: Kavitationsprüfstand

Bilder 21-26: Beispiel – Probekörper vor und nach Kavitation

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Kavitationsverhalten von Keramik



**Kavitation
in Suspensionen
ist
weniger kritisch
als
im reinen
Wasser!**

Grafik 1: Profil nach Kavitation mit und ohne Suspension

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Kavitationsverhalten von Keramik

Heute

- meine Aussage :

Volumenabtrag in mm³

	Durchschnitt	Relativabtrag
Mischkeramik - Pr. 2	0,008	0,6
Stellit 6 - Pr.14 = Basis	0,014	1,0
ZrO ₂ - Pr.11	0,035	2,5
HPSN - Pr. 1	0,069	4,9
MgPSZ - Pr.13	0,109	7,8

Tabelle 2: Volumenabtrag Keramik

**Keramik hilft
bei Kavitation!**

**Es gibt Keramik,
die besser als
Stellit ist!**

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Anwendung von Keramiken in Kavitationsfällen

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Anwendung von Keramik in Kavitationsfällen

Armaturen - Scheibenschieber



Bild 27: Hubscheibe mit Kavitationsschäden



Bild 28: Dichtscheibe mit Kavitationsschäden

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Anwendung von Keramik in Kavitationsfällen



Entspannungssysteme bis 200 °C und Drücke bis 40 bar

**Entspannung von
Aluminiumhydroxid/Wasser**

220° C – 250° C,
20 – 25 bar gegen 0 bar
Partikelgröße ca. 100 µm

**Keramischer Scheibenschieber in
Kombination mit einer Festdrossel**



Bild 29: Entspannungsschieber

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten – Kavitation

Anwendung von Keramik in Kavitationsfällen

Armaturen - Kugelhähne

**Entspannung von
Kreidesuspension**

90 C
2,5 bar gegen 0 bar
Partikelgröße einige 0,2 mm

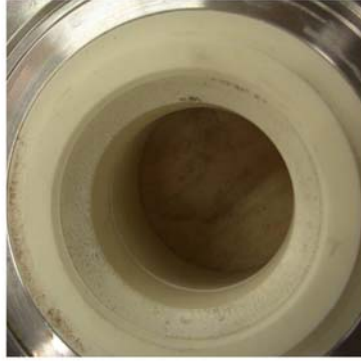


Bild 30: Sitz DN100 nach Kavitation



Bild 31: Kavitationsschäden in Kugelhahn DN50

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation

Anwendung von Keramik in Kavitationsfällen



Entspannung von Rußwasser

220° C – 240° C,
28 – 32 bar gegen 0 bar
Partikelgröße einige mm

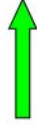


Bild 32: Recyclinganlage

Keramischer Kugelhahn in Kombination mit zwei Festdrosseln

Entspannung von Rußwasser

Schlacke / Wasser
220° C – 230° C,
32 – 35 bar gegen 0 bar
Partikelgröße 0,1 mm

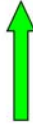


Bild 33: Vergasungsanlage

Keramischer Entspannungskugelhahn in Kombination mit zwei Festdrosseln

Verschleißschutz mit Keramik – Beanspruchungsarten - Kavitation