

### **3.3 Keramik muss nicht teuer sein – wirtschaftliche Verbundsysteme**

- Rainer Steven  
Ulrike Wiech  
ETEC Gesellschaft für Technische Keramik mbH  
Lohmar

*Die Folien finden Sie ab Seite 231.*

#### **3.3.1. Einleitung – Warum Keramik?**

Keramische Werkstoffe haben sehr vielfältige Eigenschaften, welche zum einen durch die chemische Zusammensetzung und zum anderen durch den Herstellungsprozess bestimmt werden. Zu den positiven Eigenschaften zählen z. B. Form- und Hochtemperaturstabilität, Korrosion- und Verschleißfestigkeit, hohe Härte und niedrige Dichte. Hierdurch erschließen sich breite Einsatzgebiete in fast allen industriellen Anwendungsbereichen.

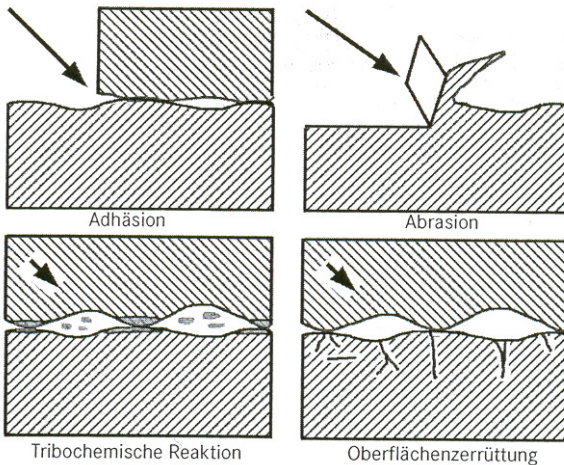
In der heutigen Zeit steigen mit der fortschreitenden technischen Entwicklung die Anforderungen an einsatzfähigen Werkstoffen. Herkömmliche Materialien, wie Stahl oder Kunststoffe, stoßen hier häufig an ihre Grenzen. Gerade in abrasiven und korrosiven Anwendungen werden aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, z. B. Verlängerung der Lebensdauer, Wartungsintervalle aber auch aufgrund von Umweltaspekten immer häufiger keramische Werkstoffe eingesetzt.

#### **3.3.2. Eigenschaften keramischer Werkstoffe im System**

Verschleiß und Korrosion sind wesentliche Faktoren, die die Wirtschaftlichkeit eines Tribosystems beeinflussen. Sie bestimmen Standzeiten, sind die Ursache für Stillstandzeiten und Reparaturkosten. Verschleiß ist nach DIN 50320 (1987 zurückgezogen) definiert als fortschreitender Materialverlust der Oberfläche eines festen Körpers, hervorgerufen durch mechanische Ursachen d. h. Kontakt und Rela-

## Vortragsblock 2

tivbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers. Verschleiß wird im Wesentlichen durch Reibung verursacht. Die beim Verschleißvorgang ablaufenden Prozesse werden Verschleißmechanismen genannt. Hierbei werden 4 Hauptverschleißmechanismen unterschieden: Adhäsion, Abrasion, Tribochemische Reaktionen und Oberflächenzerrüttung.

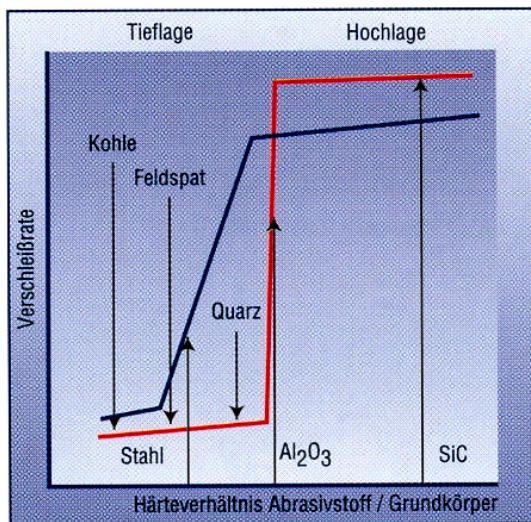


**Bild 1:** Hauptverschleißmechanismen

Adhäsion:	lokale Kaltverschweißung, welche durch Relativbewegung abgesichert werden
Abrasion:	ritzende Beanspruchung durch stark unterschiedliche Härte
Tribochemische Reaktion:	Phasenbildung durch „hot spots“
Oberflächenzerrüttung:	Bildung von Ermüdungsrissen und Ablösen von Materialteilchen

Der Abrasivverschleiß wird grundlegend durch die Wahlsche Hoch/Tieflagebeziehung beschrieben. Sie sagt aus: Der Grundkörper muss härter sein als der Gegenkörper. Sie leitet sich im Prinzip bei der Mohsschen Härteskala ab, die belegt, dass ein härterer Körper ein weiches Material ritzt. Man erkennt, dass in der Verschleißtieflage die Verschleißbeträge niedrig sind. Sie steigen drastisch an, wenn die Härten von Grund und Gegenkörper sich angleichen (z. B. Quarz Mohs Härte 7 HV(10) 9,5 GPa und Aluminiumoxid Mohs Härte 9 HV(10) 16-22 GPa).

Keramik sollte in der Verschleißtieflage - wie alle anderen Werkstoffe auch - theoretisch keinen Verschleiß zeigen. In der Praxis tritt aber auch in der Tieflage messbarer Verschleiß auf. Dieses ist auf sich überlagernde Effekte zurückzuführen. In der Hochlage findet nur ein moderater Verschleißanstieg statt.



**Bild 2:** Tief- und Hochlagebeziehung

## Vortragsblock 2

Mineral	Härte [Mohs]	Vickerhärte HV (10) [GPa]	Bemerkung
Talk	1	0,4	mit fingernagel schabbar
Gips	2	0,7	mit Findernagel ritzbar
Kalkspat	3	1,3	mit Kupfermünze
Flussspat	4	1,9	mit Messer leicht ritzbar
Apatit	5	4,5	mit Messer noch ritzbar
Feldspat	6	6	mit Stahlfeile ritzbar
Quarz	7	9,5	ritzst Fensterglas
Stahl		2 - 10	
Topas	8	14	
Hartmetall		16 - 18	
Korund	9	16 - 22	
Siliziumnitrid		18	
Siliziumkarbid		25	
Borkarbid (kubisch)		29	
Bornitrid (kubisch)		47	
Diamant	10		härtestes natürlich vorkommendes Mineral

### Bild 3: Mohs Härte

Folgende Einflussfaktoren bestimmen das Verschleißverhalten von keramischen Werkstoffen maßgeblich. Neben der Normalkraft, sind Härte und Bruchzähigkeit die wichtigsten Faktoren.

$$W_v = f (F_N H^{-1/2} * K_{Ic}^{-3/4} )$$

mit

$W_v$  = Volumenverschleiß (m<sup>3</sup>)

$F_N$  = Normalkraft (MPa)

H = Härte (HV)

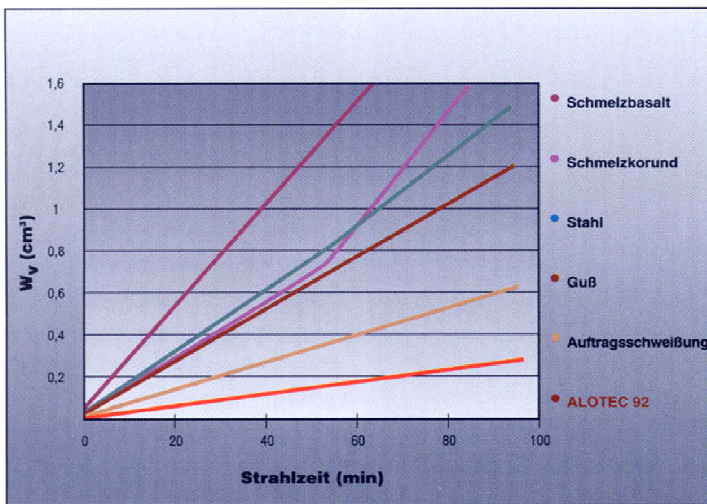
$K_{Ic}$  = Bruchzähigkeit (MPa m<sup>1/2</sup>)

Bei all diesen Betrachtungen ist zu berücksichtigen: Verschleiß ist keine reine Werkstoffeigenschaft sondern eine Systemeigenschaft.

Die Höhe der Exponenten wird in der Literatur unterschiedlich beschrieben und ist im Wesentlichen auf unterschiedliche Versuchseinrichtungen zurückzuführen.

Kurz gefasst muss ein Optimum zwischen Härte und Bruchzähigkeit gefunden werden, um ein Maximum an Verschleißfestigkeit (Verschleißwiderstand  $1/W_v$ ) gegen Abrasivverschleiß zu erreichen. Bei überwiegend Gleitverschleiß ist Keramik allen anderen Werkstoffen überlegen und ermöglicht sichere und vor allem wirtschaftliche Systemlösungen.

Die Auswahl des richtigen Werkstoffes für den Einsatz als Verschleißschutzwerkstoffes erfolgt nach dem Anforderungsprofil. Neben den bereits erwähnten Werkstoffeigenschaften Härte, Festigkeit, Bruchzähigkeit und Korrosionsbeständigkeit spielen auch die Bauteilkosten eine entscheidende Rolle.



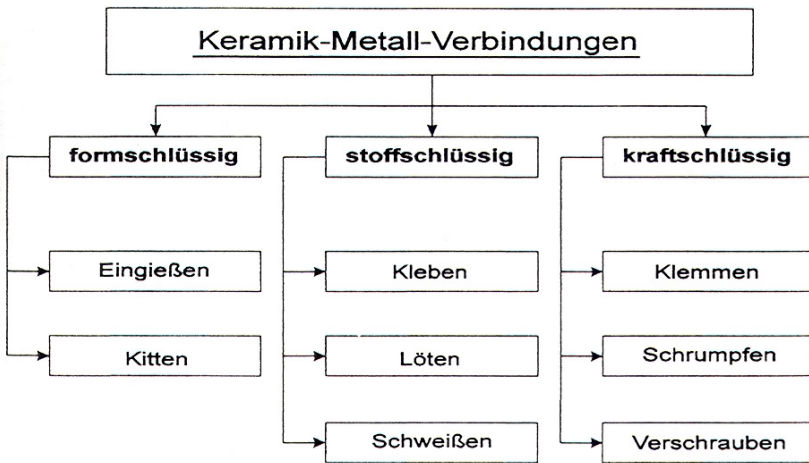
**Bild 4:** Vergleich der Verschleißfestigkeit von  $Al_2O_3$  – Keramik zu anderen Verschleißschutzwerkstoffen

Kosten sind ein wesentlicher Gesichtspunkt für den Einsatz keramischer Bauteile. Nachfolgend werden Beispiele des vergleichsweise

kostengünstigen  $\text{Al}_2\text{O}_3$  mit einem Gehalt von ca. 92 % an diversen Praxisbeispielen aufgezeigt.

### 3.3.3. Fügetechniken – Warum Verbundsysteme?

Keramische Bauteile mit komplexer Struktur und großen Abmessungen lassen sich aus fertigungstechnischen Gründen – z. B. Schwindung von bis zu 20% beim Sintern – nur sehr schwer herstellen. Als Alternative wird deshalb die Fügetechnik eingesetzt. Wichtige Verbundsysteme sind: Keramik/Keramik, Stahl/Keramik, Stahl/Polymere. Die für die Keramik wichtigsten Fügesysteme sind in der folgenden Abbildung beschrieben.



**Bild 5:** Fügetechniken für Keramik -Verbundsysteme

Für die Verwendung von Stählen sprechen das schadenstolerante Verhalten und die hohe Festigkeit. Polymere werden in der Regel aus wirtschaftlichen Gründen, des gummielastischen Verhalten oder des niedrigen Gewichts ausgewählt.

Ziel aller Werkstoffverbunde ist:

Die vorteilhaften Eigenschaften der Einzelkomponenten nutzen, ohne dass die nachteiligen Eigenschaften versagenskritisch werden.

Krafteinleitung und Fügetechnik müssen der einzelnen Komponente entsprechen, z. B. E-Modul, thermische Dehnung u. a. Die Werkstoffe müssen Funktionstrennung verwirklichen, so dass die Nachteile des

einen Werkstoffes durch den anderen Verbundpartner kompensiert werden. Zur zuverlässigen Verbindung der Keramik mit seinem Verbundpartner können stoff-, form- und kraftschlüssige Techniken verwendet werden. Hierzu zählen z. B. Eingießen, Kleben oder Klemmen. Hier gewinnt vor Allem das Kleben immer größere Bedeutung.

Die heutigen Kleber liegen in so einer großen Bandbreite vor, dass es fast für jeden Einsatzfall einen geeigneten Kleber gibt. Beim Verbinden div. Teile im Automobilbau ist es Stand der Technik und hat viele herkömmliche Verfahren, wie z. B. Nieten oder Schweißen, in weiten Bereichen abgelöst. Die wohl bekannteste Klebeverbindung in der Keramik sind die Kacheln auf dem Hitzeschild des Spaceshuttles.

Anforderungen an gute Klebstoffe:

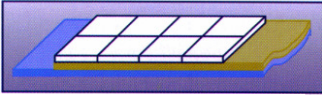
- Gute Benetzbarkeit der Komponenten
- Hohe Scherfestigkeiten
- Kein sprödes Aushärten
- Je nach Anwendung Temperaturstabilität
- Einfache Verarbeitbarkeit
- Umweltverträglichkeit

Der Einsatz der herkömmlichen, wirtschaftlich sinnvollen Kleber beschränkt sich zurzeit auf eine Einsatztemperatur von ca. 150°C. Darüber hinaus ist es notwendig, ausgesuchte Kleber z. B. Zemente, Wasserglas u. a. zu verwenden. Aufgrund ihrer geringen Festigkeit ist hier eine zusätzliche mechanische Unterstützung notwendig. Diese kann durch Schweißen mit Anschweißhülsen oder durch eine Schraubverbindung erfolgen. Weiterhin kommen T-Nut-Formen zum Einsatz.

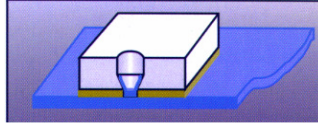
Neben der Montagetechnik hat das Layout einen gleich hohen Stellenwert. Um Auswaschungen an der Schwachstelle Fuge zu vermeiden werden, die Auslegungen entsprechend der Beanspruchung geplant. D. h. durchgehende Fugen in Strömungs- oder Förderrichtung werden vermieden. Für eine passgenaue Auskleidung werden heutzutage immer größere Anforderungen an die Toleranzen der Einzelkomponenten gestellt. Toleranzen von 0/-1% - in Sonderfällen <0,2 mm as fired - sind heute Stand der Technik. Hierdurch kann eine engfugige Verlegung <1 mm gewährleistet werden.



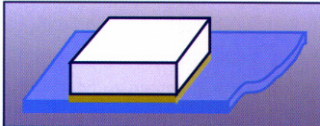
## Vortragsblock 2



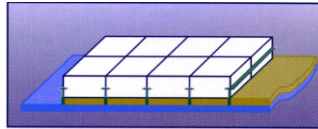
Vulkanisieren von  
Mosaiken in Gummi



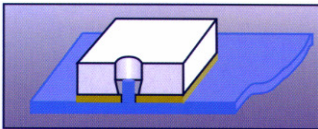
Kleben bzw. Zementieren in  
Kombination mit Schrauben:  
Beste, aber aufwändige Füge-technik



Direktes Verkleben bzw.  
Zementieren auf Stahl

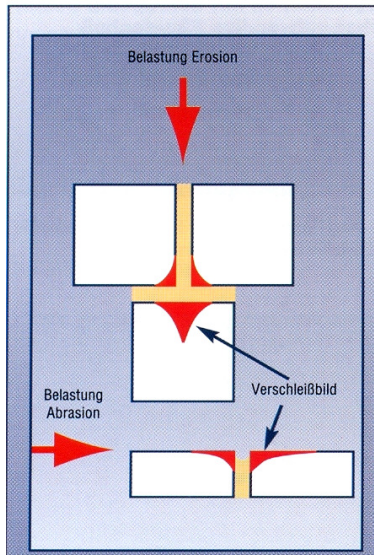


T-Nut-Verfahren in Kombination  
mit Kleben bzw. Zementieren



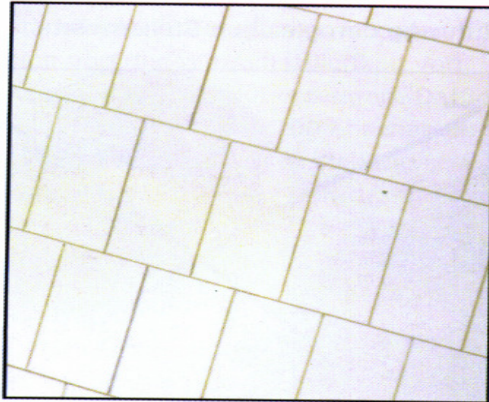
Kleben bzw. Zementieren in  
Kombination mit Schweißen

**Bild 6:** Montagetechniken für die Auskleidung großer Flächen



**Bild 7:** Zu breite Fugen verstärken Abrasion und Erosion





**Bild 8:** Engfugige Verlegung verhindert Auswaschungen

### **3.3.4. Anwendungsbeispiele aus der Praxis**

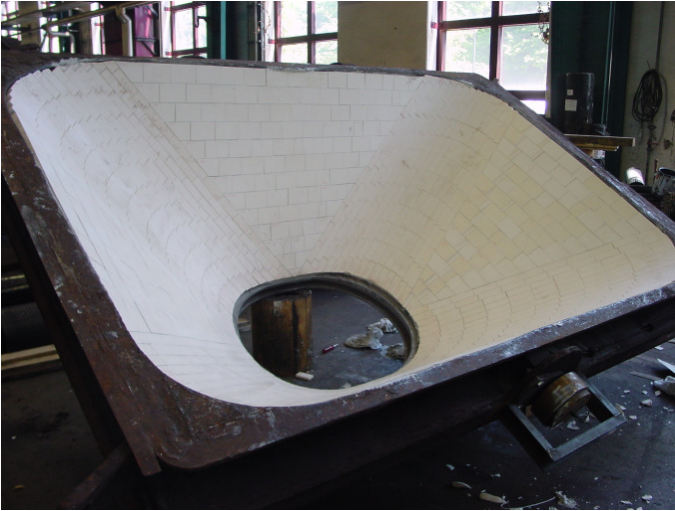
Im Wesentlichen lassen sich industrielle Anwendungen in folgende Bereiche unterteilen.

- Fördern und Transportieren
- Rühren und Mischen
- Mahlen und Brechen
- Klassieren

#### **3.3.4.1. Fördern und Transportieren**

Es gibt fast nichts was nicht transportiert werden muss, z. B. Kohle, Erze, mineralische Rohstoffe, Lebensmittel, Granulate oder Schlacken und abrasive Stäube. Dabei wird zwischen mechanisch angetriebenen Fördersystemen, Gravitation und dem Transport in Rohrleitungen unterschieden. Typische Beispiel für den Transport durch Gravitation sind Rutschen, Rinnen oder Übergaben. Die Übergaben werden z. B. im Stahlwerk eingesetzt und mit relativ dicken Auskleidungen von ca. 50mm versehen. Die Anforderungen an die Auskleidungen bzgl. der Standzeit liegen bei min. 5 Jahren, das entspricht den heutigen Revisionszyklen der Feuerfestauskleidungen für den Hochofen. Diese ho-

hen Forderungen lassen sich nur durch Aluminiumoxid-Auskleidungen erreichen.



**Bild 9:** Übergabetrichter Stahlwerk

Den größten Fortschritt in der Gurtfördertechnik brachte die Belegung der Antriebstrommeln für Fördergurte. Der Verschleiß in den Gurtförderanlagen wird durch Anbackungen und Korrosion zusätzlich beeinflusst. Dieses vermindert die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen z. B. durch Überschüttung, welches zusätzlich zu erhöhtem Lärm und Gesundheitsbelastung führt.

Die in Gummi ein vulkanisierten Noppen verbessern entscheidend das Betriebsverhalten, z.B. sorgt die genoppte Oberfläche bei hochbeanspruchten Antriebstrommeln für einen optimalen Gripp zwischen Band und Trommel, auch bei Nässe und Schmutz. Durch den elastischen Gummiunterbau werden die Gurte geschont, da die Beläge optimal an den Durchmesser der Trommel angepasst werden können. Durch die Einzelstein Verarbeitung sind auch kleine Durchmesser zu realisieren. Die Standzeiten liegen heute bei dem 10-fachen gegenüber herkömmlichen Trommelbelägen.



**Bild 10:** Trommelbeläge

### **3.3.4.2. Mahlen und Brechen**

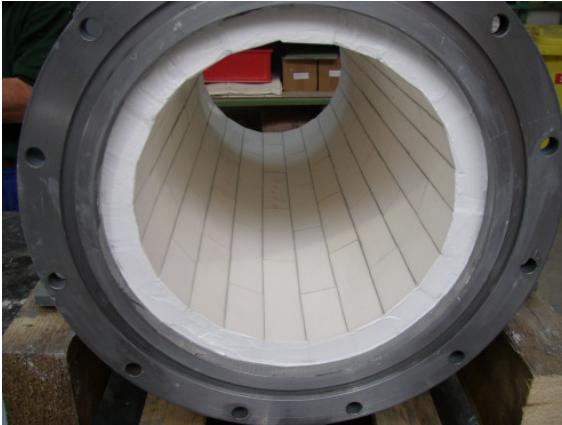
Mechanische Zerkleinerungsprozesse, wie Brechen und Mahlen, sind Grundoperationen der Aufbereitungstechnik. Ihre Aufgabe ist es, die Korngröße des Ausgabematerials zu reduzieren, den Anteil des Feinkorns zu erhöhen, Agglomerate zu zerstören, die Partikelform zu variieren, aber auch Rohstoffe zu mischen und zu homogenisieren. Während die Keramik bei der Grobzerkleinerung kaum eine Bedeutung hat, ist sie bei der Fein- und Feinstvermahlung heutzutage erste Wahl.

Mühlenfutter aus Aluminiumoxid-Keramik übertreffen in ihrer Verschleißbeständigkeit alle konventionellen Materialien, wie Natursteine, Porzellan, Steatit, Gummi, Stahl oder Guss. In vielen Anwendungen werden immer größere Anforderungen an Leistungen und Durchsatz der Mahlaggregate gestellt, verbunden mit einer höheren Kornfeinheit und engen Kornverteilungskurven. Ein wesentlicher Gesichtspunkt, der für den Einsatz von keramischen Auskleidungen in der Feinmahltechnik spricht, sind die Forderungen nach kontaminationsfreier Vermahlung. Speziell die eisenfreie Vermahlung von Rohstoffen gewinnt immer größere Bedeutung. Deshalb werden bei Hochleistungswerkstoffen immer mehr arteigene Mahlsysteme gefordert. Für die meisten Mahlprozesse werden Mahlkugeln oder Mahlzyylinder benötigt. Hier hat

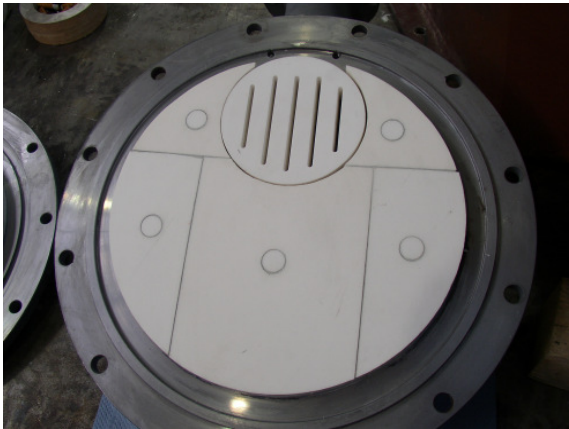
## Vortragsblock 2

---

Aluminiumoxid die herkömmlichen Flintsteine, Stahl-, Guss- oder Porzellan- und Steatitmahlkörper weitgehend verdrängt.



**Bild 11:** Exenterschwingmühle



**Bild 12:** Keramisches Austragssieb einer Exenterschwingmühle

Speziell in der Feinstmahltechnik - z. B. bei der Attritormahlung – liegt noch ein breites Anwendungsgebiet für keramische Werkstoffe. Beispiele hierfür sind Auskleidungen der Mahltöpfe, die Mahlscheiben bzw. die Mahlstifte und Mahlkörper.

### 3.3.4.3. Mischen

Eine interessante Anwendung im Bereich der Mischtechnik findet man in der Baustoffindustrie bei der Herstellung von Fertigbeton. Neben deutlicher Erhöhung der Standzeiten, sind die Auskleidungen mit geringerem Aufwand sauber zu halten. Neben den Betriebsbedingungen und dem Mischgut hat die Wahl der geeigneten Mischwerkzeuge entscheidenden Einfluss auf die Standzeit der keramischen Auskleidung. Die besten Ergebnisse werden durch den Einsatz von Kunststoffmischwerkzeugen erreicht. Weiterhin können die Reinigungsarbeiten deutlich reduziert werden, da Anbackungen durch Restbeton nicht auftreten. Durch die passgenauen Auskleidungen können auch Umbauten problemlos und kostengünstig mit einem hochwertigen Verschleißschutz versehen werden.



**Bild 13:** Keramische Mischerauskleidung für Transportbeton

### 3.3.4.4. Klassieren

Beim Zerkleinern fester Rohstoffe fallen Korngemische mit unterschiedlichen Korngrößen oder Kornformen an. In der Regel müssen die Gemische vor der Weiterverarbeitung in Kornklassen getrennt werden. Die Trennung kann in Siebmaschinen oder durch Stromklassieren erfolgen. Stromklassieren ist ein weit verbreitetes Verfahren für

## Vortragsblock 2

---

eine trockene oder nasse Trennung von körnigen oder faserigen Stoffen. Je nach Anforderungsprofil werden Sichter, Zyklone oder Hydrozyklone eingesetzt. Aerozyklone dienen zur Abscheidung des Staubes aus der Abluft von Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen sowie von Stahlwerken. Auch in diesem Anwendungsbereich haben sich Aluminiumoxid-Auskleidungen bewährt, besonders bei der Reinigung von Abgasen. Stähle versagen kurzfristig aufgrund der niedrigen Korrosions- und Erosionsbeständigkeit. Dagegen lassen sich mit der Keramik Standzeiten von mehr als 10 Jahren erreichen.

In den letzten Jahren haben keramische Hydrozyklone (Cleaner) in vielen Bereichen die konventionellen Polyurethan- und Stahlzyklone verdrängt. Angewendet werden sie zum Trennen von Stoffgemischen in wässriger Phase, z. B. bei der Aufbereitung von Rohkaolinen (Trennung von Quarz und Feldspat von Kaolin) und beim Recycling von Altpapier (Abtrennung mineralischer Bestandteile aus der Holzfasersuspension).



**Bild 14:** Hydrozyklone Keramik-Stahl-Verbund





**Bild 15:** Hydrozyklone (Cleaner), Keramik-Kunststoff-Verbund

### **3.3.4.5. Sonderanwendungen**

#### **Anlaufspuren für Sprungschanzen**

Sommerskispringen ist heute groß in Mode. In der Vergangenheit wurde bereits eine Vielzahl von Materialien hierfür getestet. So gibt es Spuren auf der Basis Porzellan, Stahl, Email und Kunststoff. Das neu entwickelte ALOSLIDE-Systeme ist allen anderen überlegen. Die Spur ist schnell und geräuscharm, verbraucht wenig Wasser als Gleitmittel und vermittelt dem Springer ein Gleitgefühl nur zu Vergleichen mit einer Schneespur. Vor allem aber ist sie gerecht, denn sie bietet allen Sportlern die gleichen Voraussetzungen. Das Geheimnis der Anlaufspur sind Keramikknoppen aus Aluminiumoxid, die in Kautschuk einvulkanisiert sind. Durch die Adhäsion bildet sich eine dünne, fest haftende, reibungsarme Schicht, die ein gleichmäßiges Gleiten der Skier ermöglicht. Im Frühjahr 2003 wurde die erste 50m-Schanze mit diesem neuen System ausgerüstet. Aufbauend auf die Erfahrungen mit Schanzen in Bischofshofen, der größten Mattenschanze der Welt, den Olympiaschanzen in Turin wird dieses System ständig weiterentwickelt. Völlig neuartig ist eine Eisspur, die auf die ALOSLIDE-Spur aufgebracht werden kann, so dass die Anlaufspuren sowohl im Sommer als auch im Winter betrieben werden können, ohne dass aufwendige



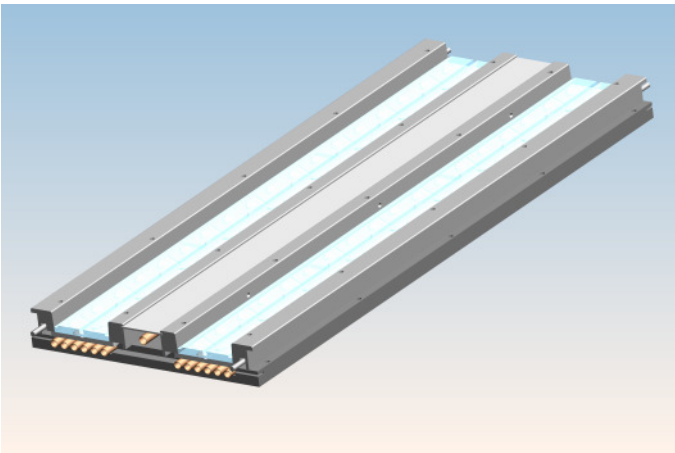
## Vortragsblock 2

---

Doppelspuren oder Unterkonstruktionen notwendig werden. ALOSLIDE ICE ist damit witterungsunabhängig und es kann aufgrund eines integrierten Kühl- und Heizsystem problemlos zwischen dem Sommer- und Winterbetrieb gewechselt werden. Basis der neuen Winterspur ist eine 15 mm starke Eisschicht, ähnlich der Flächen in Eissporthallen. Mit dieser Spur starten alle Ski-Springer unter den gleichen Bedingungen.



**Bild 16:** Anlaufspur



**Bild 17:** Prinzip der ALOSLIDE ICE Spur

### **Keramik im ballistischen Schutz**

Keramik ist spröde und dadurch stoßempfindlich. Hier stellt sich die Frage: Warum wird dieser Werkstoff im ballistischen Schutz eingesetzt?

Hochleistungskeramiken besitzen eine hohe Bruchfestigkeit, einen sehr hohen E-Modul als Voraussetzung für eine hohe Schallgeschwindigkeit und vor allem extrem hohe Härte. Ein weiteres Argument ist das niedrige Flächengewicht ( $\text{kg/m}^2$ ). Bei gleicher ballistischer Schutzwirkung liegt das Gewicht einer keramischen Verbundpanzerung zwischen 30 bis 50% niedriger als eine konventionelle Stahlpanzerung. Dieses spart Kosten für die Auslegung der Fahrzeuge, es ist z. B. keine Verstärkung der Achsen, Stoßdämpfer usw. notwendig, der Einbau von serienmäßigen Motoren und Getrieben ist möglich. Die Fahrzeuge sind beweglicher, schneller und geländetauglicher. Die Treibstoffkosten werden reduziert und die Reichweiten erhöht.



**Bild 18:** Gepanzertes Fahrzeug



**Bild 19:** Keramische Schutzwesteneinschübe

### 3.3.5. Zusammenfassung und Ausblick

Werkstoffe bestimmten schon immer das wirtschaftliche und gesellschaftliche Geschehen auf unserer Welt. Die heutige Industriegesellschaft wäre ohne die Verfügbarkeit der geeigneten Werkstoffe nicht möglich. Eine technische Idee und der technische Fortschritt können nur dann verwirklicht werden, wenn dafür die richtigen Materialien zur Verfügung stehen. Keramische Werkstoffe haben, wie in den vorangegangenen Beispielen aufgeführt, bereits einen wichtigen Beitrag geleistet.

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 26) finden sich auf den folgenden Seiten.

# ***Keramik muss nicht teuer sein - Wirtschaftliche Keramik-Verbund-Systeme***



Ulrike Wiech  
Rainer Steven  
ETEC Gesellschaft für Technische Keramik mbH



**Inhalt**



Warum Keramik?

Warum Verbundsystem?

Anwendungen aus der Praxis

Fördern und Transportieren

Mahlen und Brechen

Mischen

Klassifizieren

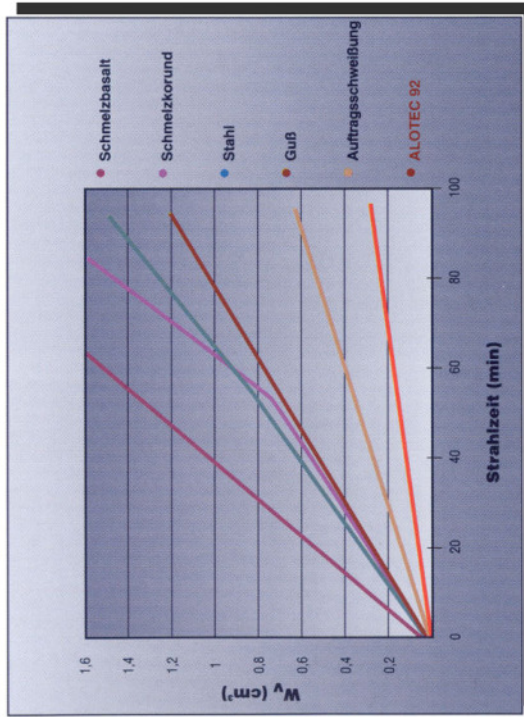
Sonderanwendungen

Skischanze

Keramik im ballistischen Schutz

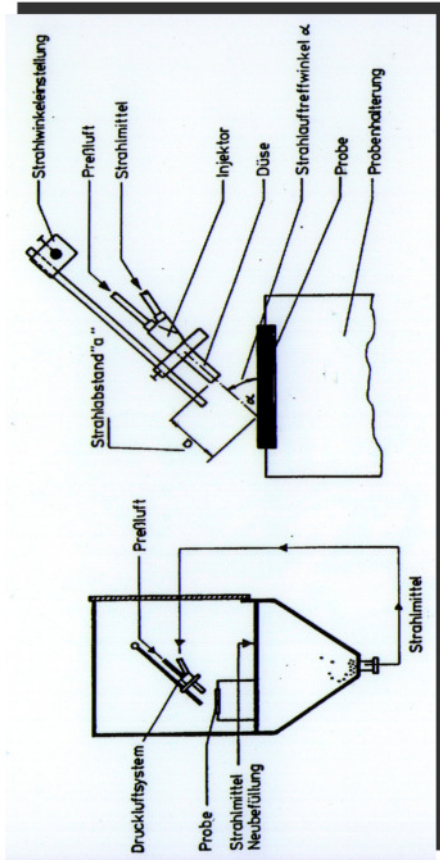


## Einführung



Vergleich der Verschleißfestigkeit von  $Al_2O_3$  – Keramik zu anderen Verschleißschutzwerkstoffen

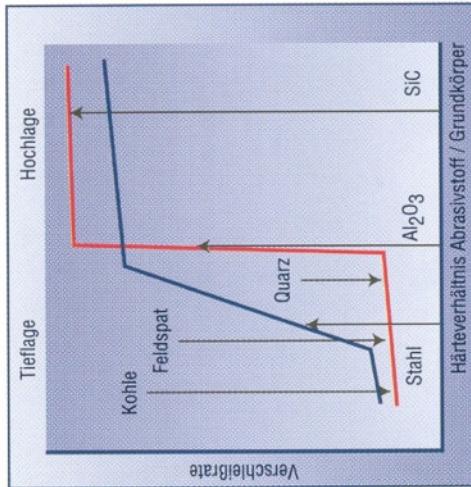
# Einführung



Versuchsanordnung Strahltest



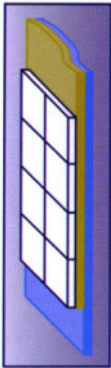
## Einführung



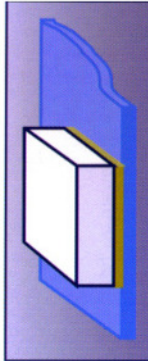
Aluminiumoxid hat von allen Verschleißschutzwerkstoffen die höchste Härte. Dadurch ist praktisch immer ein Arbeiten in der verschleißarmen Tieflege gewährt. Liegt z. B. Quarz mit einer Vickershärte von ca. 900 HV als Abrasivstoff vor, liegen Stähle, Schmelzbasalt schon in der Verschleißhochlage während Aluminiumoxid in der verschleißarmen Tieflege befindet.

## Hoch-Tieflege Beziehung

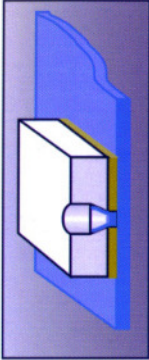
**Montagetechnik**



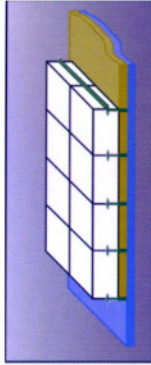
Vulkanisieren von Mosaiken  
in Gummi



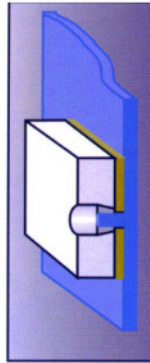
Direktes Verkleben bzw. Zementieren  
auf Stahl



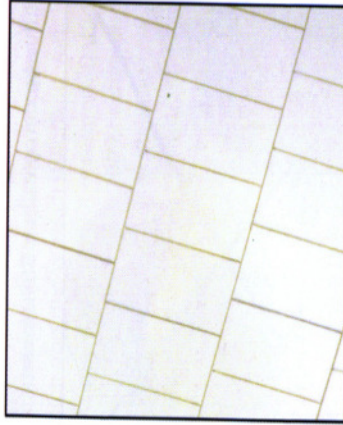
Kleben bzw. Zementieren in  
Kombination mit Schrauben.



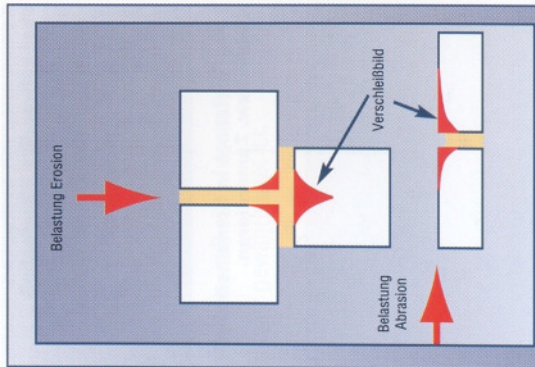
T-Nut-Verfahren in Kombination  
mit Kleben bzw. Zementieren



Kleben bzw. Zementieren in  
Kombination mit Schweißen



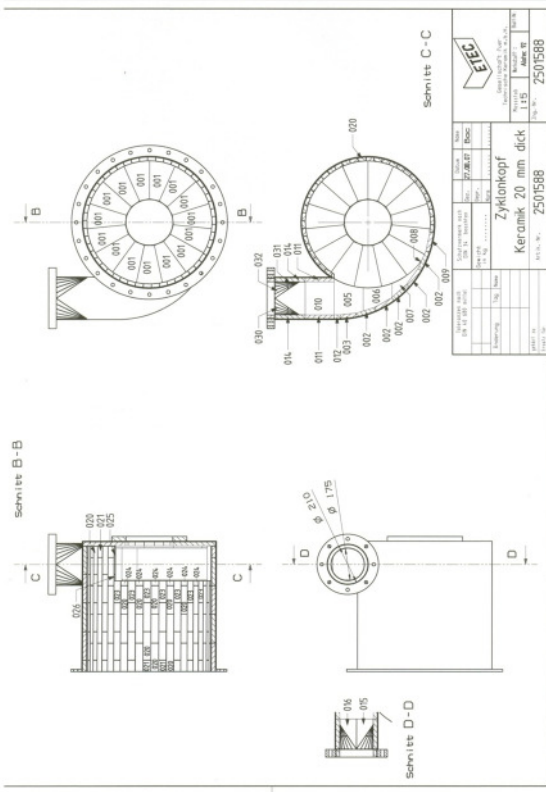
Engfuge Verlegung verhindert Auswaschungen



Zu breite Fugen verstärken Abrasion und Erosion

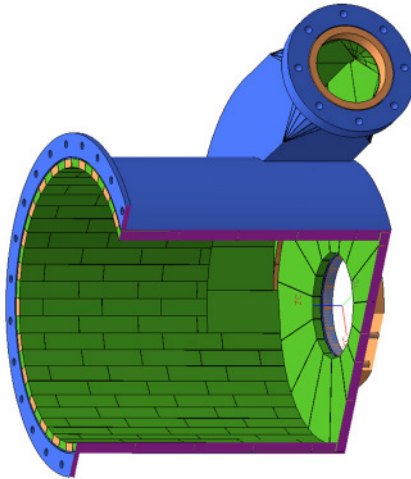
## Montagetechnik

Anwendungen aus der Praxis - Klassieren

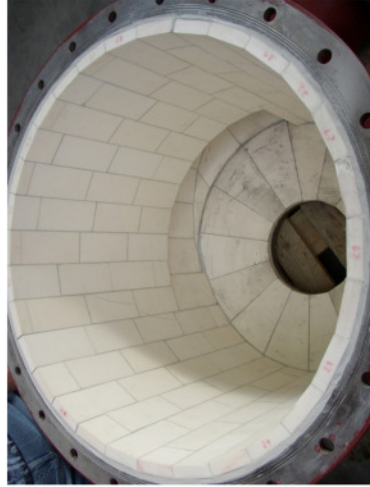


Verlegeplan keramische Auskleidung Zyklon-Einlauf

## Anwendungen aus der Praxis - Klassieren



3-D Model und keramische  
Auskleidung Zyklon-Einlauf



**Anwendungen aus der Praxis – Fördern und Transportieren**



- Anwendung:**  
Rauchgasentschwefelung
- Medium:** Kalkmilch
- Belastung:** korrosiv, abrasiv
- Lösung:** 25mm Keramik,  
geklebt und geschweißt
- Kosten:**  
Gummi / Keramik 1 : 2
- Standzeit:**  
- bis heute 1,5 Jahre,  
- gefordert sind 7 Jahre  
Kein messbarer Verschleiß



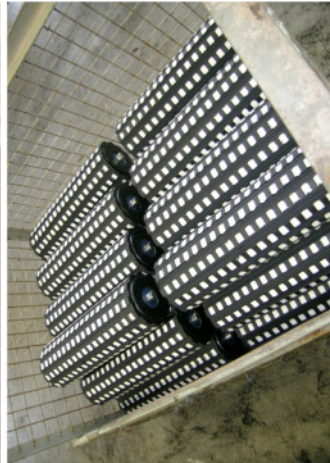
3.3 Wirtschaftliche Verbundsysteme - Folie 10



## Anwendungen aus der Praxis – Fördern und Transportieren



Anwendung: Stark beanspruchte  
Fördergurttrommeln  
Medium: alle Schüttgüter  
z. B. Erze, Sand, Kies, Kohle...  
Lösung: Keramik vulkanisiert in Gummi



Vorteil: genoppte Oberfläche sorgt für  
optimalen Grip, auch bei Nässe und  
Schmutz  
Gurtschonung durch elastischen Unterbau,  
optimale Anpassung an den  
Trommeldurchmesser  
Standzeiten: bis zu 10-fach gegenüber  
herkömmlichen Trommelbelägen



**Anwendungen aus der Praxis – Fördern und Transportieren**



Anwendung:  
Pneumatische Förderung z.B.  
Einblasleitungen  
Abfülleinrichtungen

Vorteil: Anpassung an komplexe  
Radien, temporärer Einsatz



## Anwendungen aus der Praxis – Fördern und Transportieren

Anwendung: pneumatische Förderung

Medium: Nickel Erze

Belastung: abrasiv

Lösung: Keramik-Stahlverbund

Keramikstärke: 15-20mm

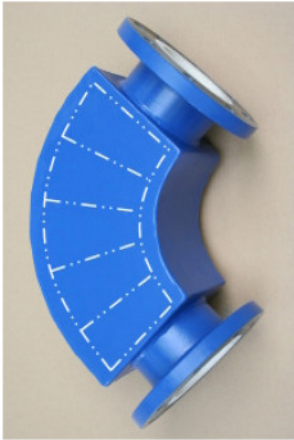
(Schmelzbasalt min: 30mm)

Kosten: Keramik/Schmelzbasalt 3:1

Standzeiten: >5-fach

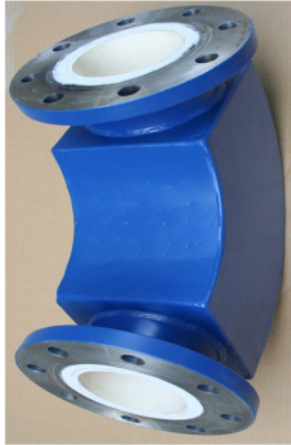


**Anwendungen aus der Praxis – Fördern und Transportieren**



Anwendung: Gießerei  
Medium: Formsand  
Belastung: abrasiv  
Lösung: Keramik-Stahlverbund

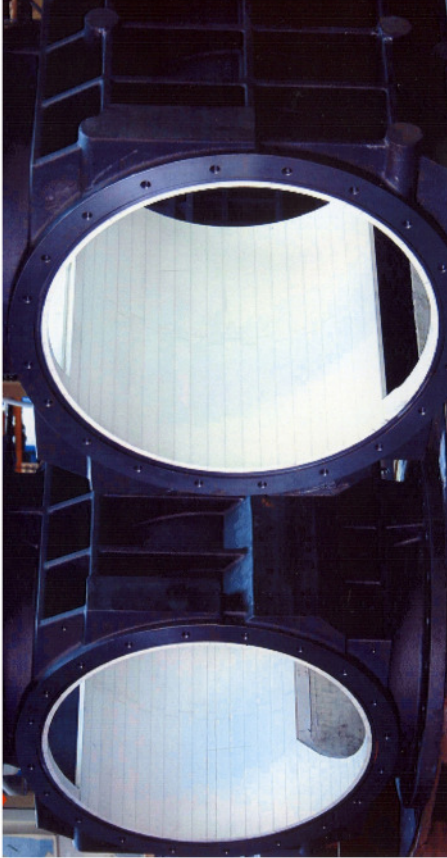
Ersetzt Umlenköpfe / Pralltöpfe  
etc.



Vorteile:  
Geringe Strömungsverluste  
Geringe Druckverluste dadurch  
Energieeinsparung,  
gefördertes Material wird geschont

**Innovationspreis der  
VR Bank Rhein Sieg**

## Anwendungen aus der Praxis – Fördern und Transportieren



Anwendung: Zellenradschleuse Schiffsentladung (Coperion Waeschle)

Medium: Ölsand

Ersetzt Becherwerk (Standzeit max. 3 Monate)

Geforderte Standzeit: 2 Jahre

Seit > 1 Jahr im Einsatz, kein Verschleiß sichtbar

## Anwendungen aus der Praxis – Mahlen und Brechen



05/10/2006



05/10/2006



05/10/2006

Anwendung: Mühlenauskleidung

Medium: Quarzsand

Belastung: abrasiv

Lösung: 50mm Keramik geklebt  
(Silex ca. 150mm)

Kosten: Keramik / Silex (Naturstein) 3 : 1

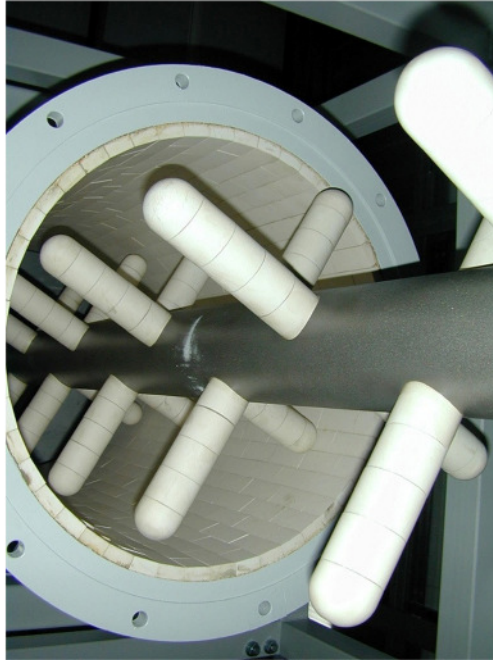
Standzeiten: > 4-fach

Vorteil: Kontaminationsfreie / eisenfreie  
Vermahlung, passgenaue Fuge,  
größerer Mahraum ->Leistungssteigerung



05/10/2006

## Anwendungen aus der Praxis – Mahlen und Brechen



Anwendung:  
Rührwerkskugelmühle  
(Hosokawa Alpine)  
Medium:  
Mineralische Füllstoffe (Trocken)  
Streichpigmente (Nass)

Feinheiten:  
Trockenmahlung:  $d_{95} = 2\mu\text{m}$   
Nassmahlung:  $d_{99} = 2\mu\text{m}$

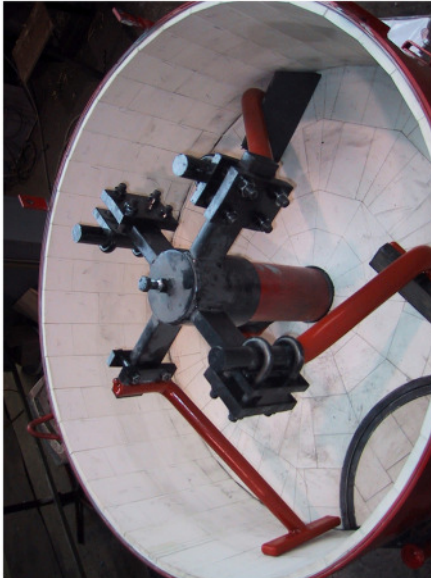
Eisenfreie Vermahlung  
Hoher Weißgrad  
Niedriger Mahlperlenverschleiß



## Anwendungen aus der Praxis - Mischen



- Anwendung:**  
Stationäre Betonmischer
- Medium:**  
Beton, Mörtel
- Lösung:**  
17-20mm Keramik gekebt
- Standzeiten:**  
2-3-fach zu Stahl
- Vorteile:**  
einfache Reinigung  
Keine Anbackungen



3.3 Wirtschaftliche Verbundsysteme - Folie 18



## Anwendungen aus der Praxis - Klassieren



Anwendung: Chemische Industrie  
Medium: z.B. Titandioxid  
Belastung: abrasiv

Lösung: Keramik-Kunststoffverbund

Kosten: ca. 5-fach zu PU

Standzeiten bis heute: ca. 20-fach

Vorteile: zusätzlicher Schlagschutz  
durch Kunststoffummantelung



## Anwendungen aus der Praxis - Klassieren

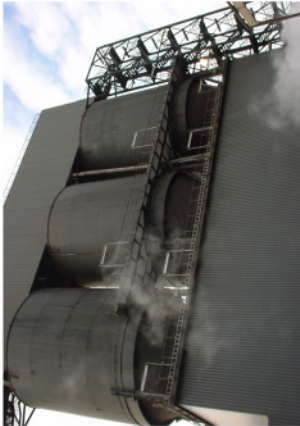


Anwendung: Hydrozyklone  
(Cleaner)  
Einsatz: Aufbereitung von  
Rohkaolinen oder Recycling  
von Altpapier

Keramik-Stahl-Verbund



## Anwendungen aus der Praxis



Anwendung:  
Entwässerungssilo (AJO)  
Belastung:  
korrosiv, abrasiv  
Lösung: gummiert Mosaik

## Sonderanwendungen - Sprungszanche



ALOSLIDE Keramik-Polymer-Verbund  
Vorteil: schnell und geräuscharm  
verbraucht wenig Wasser als Gleitmittel

„Gleiten wie auf Schnee“



**Neu: jetzt als ALOSLIDE ICE**

Sommersprungszanche Klingental

## Sonderanwendungen - Schneepflugleisten



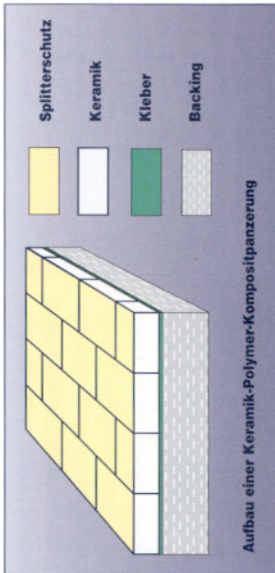
Anwendung: Schneepflugleisten  
Lösung: Keramik-Gummi-Stahl-Verbund

Vorteile:

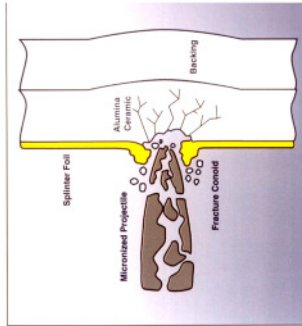
- Lange Lebensdauer
- Gute Gleiteigenschaften
- Reduzierter Kraftstoffverbrauch
- Abfahrmarkierungen



## Sonderanwendungen - Ballistik



### Aufbau einer Keramik-Polymer-Kompositpanzerung



Penetrationsmechanismus  
beim Auftreffen eines Projektils



## Sonderanwendungen - Ballistik



Gepanzerte Fahrzeuge  
VAB ASV



## Sonderanwendungen - Ballistik



Keramische Einschübe für kugelsicherer Schutzwesten