

### 6.2 Keramikverbunde - Module anstelle von Monolithen

- Dr. Hans Hoppert  
ETEC Technische Keramik GmbH  
Siegburg

*Die Folien finden Sie ab Seite 523.*

Kompliziert geformte oder große Keramikbauteile lassen sich nicht oder nur mit erheblichen Aufwand herstellen. Der Aufbau von keramischen Bauteilen in **Modulbauweise** bietet in vielen Fällen Vorteile. Wesentliche Faktoren hierfür sind:

- Wirtschaftlichere Herstellungsverfahren der Einzelbauteile
- Anhebung der Beanspruchbarkeit  
(Einfluss der Bauteilgröße auf die Festigkeit)
- Reduzierung der mechanischen und thermischen Spannungen – bei der Formgebung,
- beim Brand und in der Anwendung
- Funktionstrennung

Grundsätzlich ist zwischen den folgenden Fügeverfahren zu unterscheiden:

- Stoffschlüssige Verfahren
- Kraftschlüssige Verfahren
- Formschlüssige Verfahren

Die Einsatzbedingungen bestimmen die Auswahl der anzuwendenden Füge­technik: Mechanische, korrosive und thermische Belastung. An dieser Stelle soll überwiegend über stoffschlüssige Verfahren, z.B. Kleben, Vulkanisieren, Zementieren, berichtet werden.

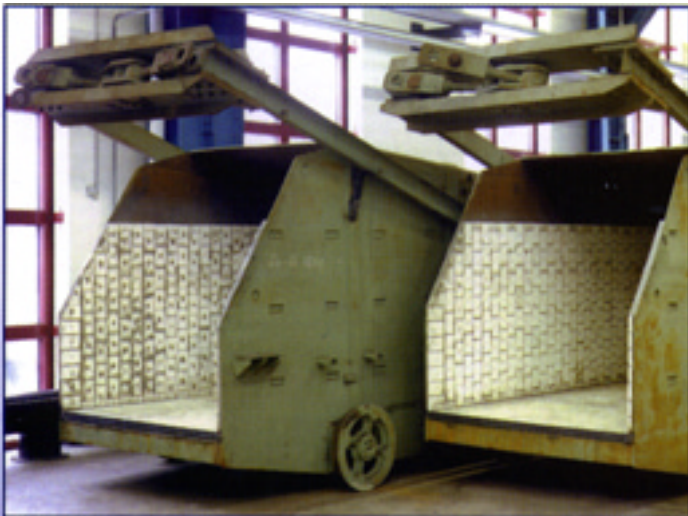
In den folgenden Beispielen werden die Vorteile der Füge­technik an ausgewählten Beispielen erläutert. Sie sollen Anregungen für den

Konstrukteur geben, diese Modelle auf spezifische Anwendungsprobleme zu übertragen.

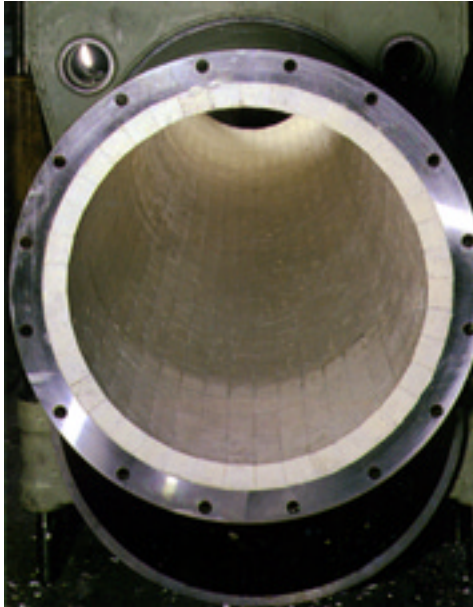
### 6.2.1. Verschleißfeste Auskleidungen für die Aufbereitungs- und Fördertechnik

Ein Nachteil der keramischen Fertigungstechnologie besteht darin, dass keine großformatigen Bauteile hergestellt werden können. Man ist deshalb auf die Verwendung von Fügetechniken angewiesen. Diese Werkstoffverbunde haben die Aufgabe die vorteilhaften Eigenschaften der Fügepartner so zu nutzen, ohne dass die negativen Eigenschaften schadenswirksam werden. So ist die Keramik hart und verschleißfest, aber spröde; der Stahl dagegen, duktil aber wenig verschleißbeständig.

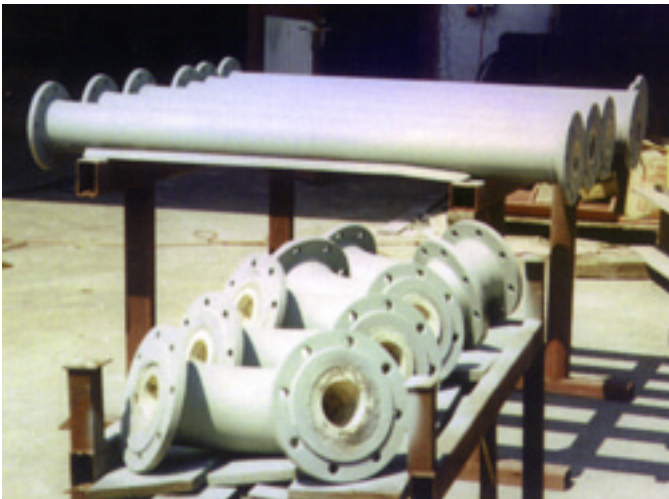
Das wichtigste und am häufigsten angewandte Verbundsystem ist das System **Stahl/Keramik**. Bei den hier diskutierten Anwendungen bestimmt die Stahlkomponente die Konstruktion und wirkt als tragende Komponente. Die Keramik ist verantwortlich für die Funktion.



**Bild 1:** Skip – Car



**Bild 2:** Mühlenauskleidung



**Bild 3:** Rohre und Bögen

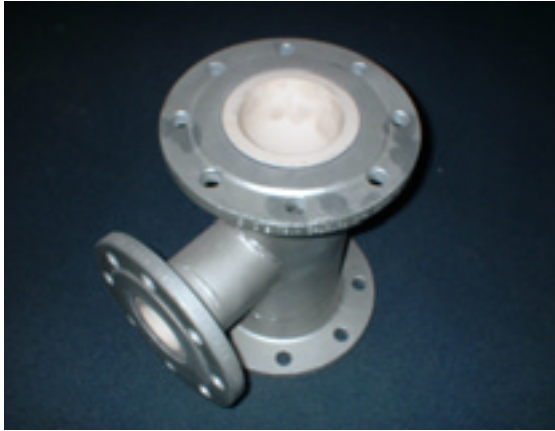


Bild 4: Rohrweiche

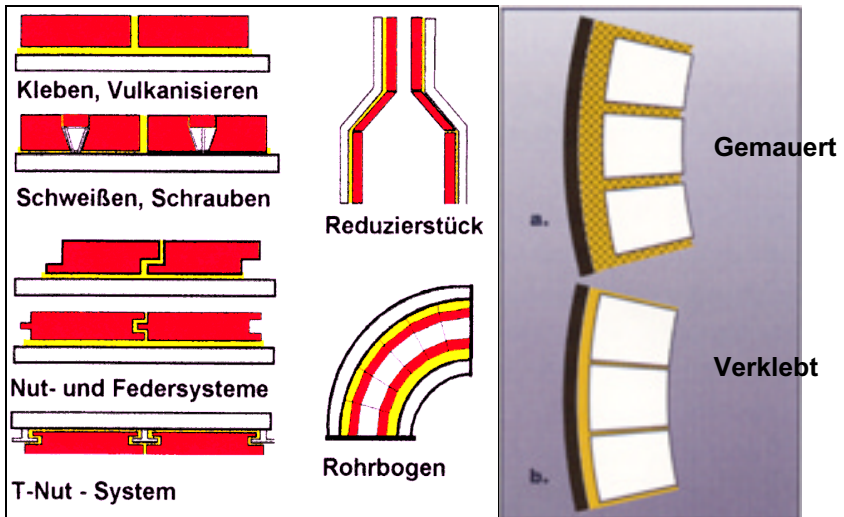


Bild 5: Montagetechniken

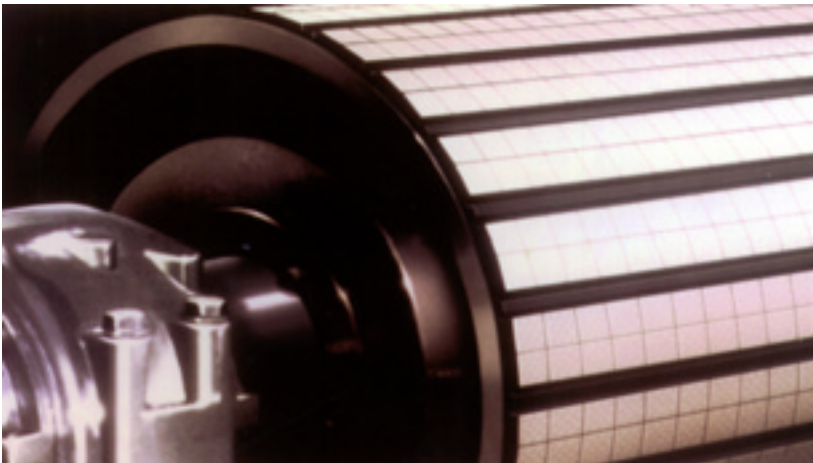
**Kleben** ist das vielseitigste Verfahren, zwei Werkstoffe stoffschlüssig zu fügen. Die Verbindung Keramik/Stahl erfordert Klebstoffe mit hoher Polarität und geringer Schrumpfeigung. Zweikomponenten - Epoxid -

Harze werden am häufigsten eingesetzt. Daneben finden Polyurethane, Polyvinylbutyrale, Polymethacrylate u.a. Anwendung.

Mit Epoxiden werden Scherfestigkeiten  $> 15 \text{ MPa}$  erreicht, allerdings sind die Einsatztemperaturen auf Werte  $< 120^\circ\text{C}$  begrenzt. Silicone sind bei Beachtung ihrer spezifischen Eigenschaften (Scherfestigkeit ca.  $5 \text{ MPa}$ , Gummielastizität) bis ca.  $250^\circ\text{C}$  einsetzbar. Hydratisch und chemisch abbindende Zemente (Portland – Phosphat – Weißzement, Wasserglas) können bei reduzierter Festigkeit ( $< 5 \text{ MPa}$ ) Vorteile durch ihre bessere Temperaturfestigkeit bringen.

Weiterhin finden mechanische Fügeverfahren – z.B. Schrauben, Schweißen, Verkeilen, Nut- und Federkonstruktion – in Kombination mit Kleben breite Anwendung.

Eine spezielle, häufig angewandte stoffschlüssige Verbindungstechnik ist das Einvulkanisieren von Keramikplatten in Gummi. Damit lassen sich großflächige Bauteile leicht und kostengünstig vor Verschleiß und Korrosion schützen. Eine sehr interessante Anwendung ist das Belegen der Antriebsrollen von Förderbändern mit in Gummi einvulkanisierten Noppenkeramiken. Dieses Verbundsystem gewährleistet gleichmäßigen Grip auch bei Nässe und bringt deutliche Standzeiterhöhung, wie auch Energieeinsparungen im Betrieb.



**Bild 6:** Gummi/Keramik - Verbund: Antriebsrollen von Förderbändern

## 6.2.2 Fügen von keramischen Bauteilen



**Bild 7:** Zykloneinlauf - Keramik/Keramik – Verbund



**Bild 8:** Schieberegler - Keramik/Stahl - Verbund



**Bild 9:** Gehäuse für Sensoren



**Bild 10:** Hochgeschwindigkeits-Rührkopf

Grundsätzlich kann der Zykloneinlauf als monolithisches Gießteil hergestellt werden. Der Vorteil der Modultechnik liegt in der ausfallärmeren und dadurch wirtschaftlicheren Fertigung. Das Einhalten enger Toleranzen bereitet keine Schwierigkeiten

Einsätze von Keramik in Regelarmaturen sind heute Stand der Technik, ebenso Gehäuse für Sensoren. Leider ist die Anwendung dieser Bauteile bis heute immer noch begrenzt. Sie kommen nur dann zum Einsatz, wenn härteste Verschleiß- und Korrosionsbedingungen vorliegen. Stähle und Polymere beherrschen den Markt. Hier ist noch eine beträchtliche Aufklärungsarbeit zu leisten, um die Anwender von der Wirtschaftlichkeit keramischer Komponenten zu überzeugen

Beim Hochgeschwindigkeits-Rührkopf ist ebenfalls eine monolithische Lösung denkbar. Aus unserer Sicht empfehlen wir aber die Verbundkonstruktion Stahl/Keramik. Bedingt durch die sehr hohen Drehzahlen im Einsatz ( $n > 100$  U/s) treten sehr hohe Zentrifugalkräfte auf, die als Zugspannung wirksam werden. Zugspannungen führen zu verstärktem Risswachstum. Dadurch ist ein Versagen des Bauteils im Betrieb durch katastrophalen Bruch nicht auszuschließen. Weitere Vorteile der Modultechnik liegen in der problemlosen Verbindung des Rührkopfes mit der Antriebswelle und – wenn erforderlich – dem einfacheren Ausgleich der Unwucht.



### 6.2.3 Schraubverbindungen

Heute ist die Fertigung von keramischen Schraubverbindungen kein grundsätzliches Problem, sieht man von der Sprödebrüchanfälligkeit ab. Sicherer und anwendungsfreundlicher sind Keramik/Metall - Verbunde. Die Metallkomponente ist als Schraube bzw. Mutter ausgebildet. Dreh-sicherungen garantieren den festen Verbund. Zum Tragen kommt diese Technologie immer dann, wenn Verschleißteile häufig gewechselt werden müssen. Dies ist z.B. bei Düsen erforderlich.



**Bild 11a-d:** Schraubverbindungen



### 6.2.4 Fügen mit Aufgabeteilung der Fügepartner

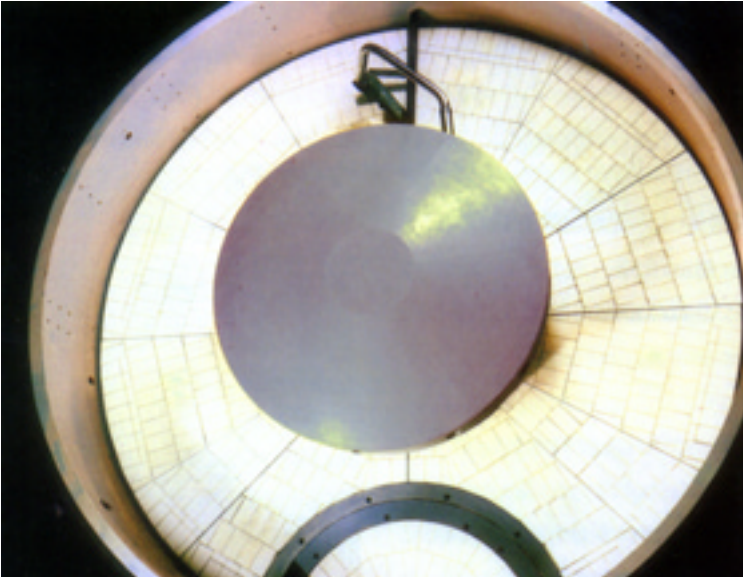
Bei den bisher vorgestellten Anwendungen hatten die Fügepartner mehr oder weniger getrennte Aufgaben zu erfüllen. Abschließend noch zwei Beispiele, bei denen sich beide Komponenten ergänzen müssen, um die sichere Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems zu gewährleisten.

#### 6.2.4.1 Impactpanels

Bei Auskleidungen wie z.B. Skip-cars oder Übergabetrichtern, aber auch beim Einsatz in Betonmischern wird die Aufgabe dadurch gelöst, dass Kleber mit einer gewissen, aber nicht zu hohen Restelastizität eingesetzt werden. Verwendet man stärkere Keramikplatten als sie z.B. als Schutz gegen Abrasion oder Erosion verwendet werden, bekommt man auch den Prall- Abrasiv - Verschleiß in Griff. Die Kantenfestigkeit der Einzelplatten kann durch engfugige Verlegung verbessert werden.



**Bild 12:** Übergabetrichter



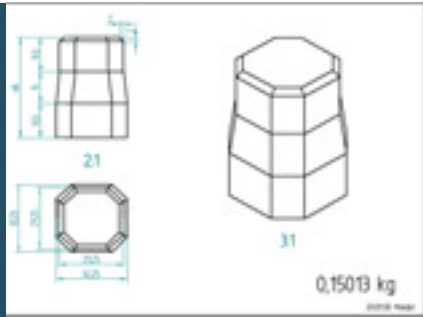
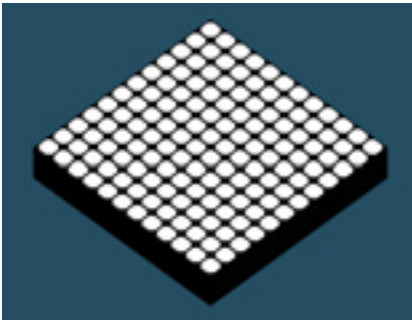
**Bild 13:** Tellermischer



**Bild 14:** Trogmischer

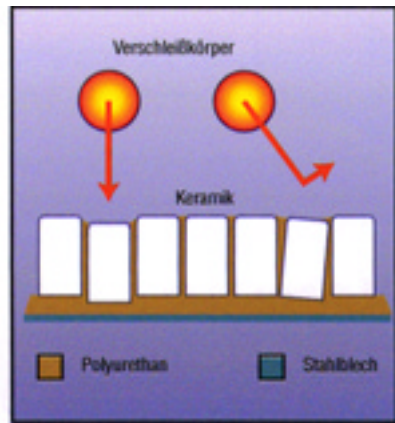
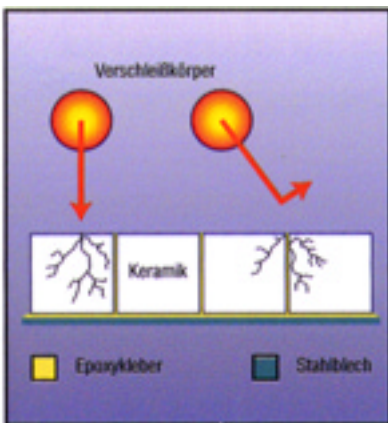
## Verbindungen und Verbunde

**Impact Panels** – ein Keramik - Polyurethan Verbund - schützen gegenüber extrem hohen Prallverschleiß, wie sie z.B. in Übergabetrichtern von Gurtbandförderanlagen vorliegen. Die Verbundkonstruktion kombiniert sinnvoll die Vorteile der beiden Werkstoffe. Die weich-elastische Polymermatrix absorbiert durch elastische Verformung die hohen Prallenergien, die harte Keramik schützt vor Abrasion. Von Bedeutung sind hier das funktionsgerechte Design der Keramikkomponenten. Durch ihre konische Struktur wird ein Herauslösen der Keramik bei Dauerbelastung praktisch unmöglich.



**Bild 15:** Impact Panel

**Bild 16:** Design Keramikquader



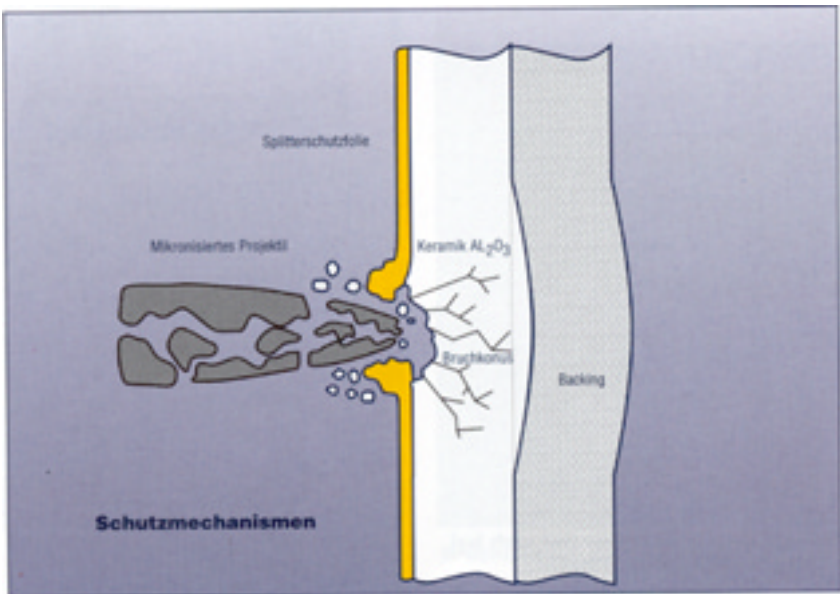
**Bild 17:** Prinzip Impact Panel

### 6.2.4.2 Ballistischer Schutz

Keramik ist spröde und dadurch anfällig gegen Prallbeanspruchung. Trotzdem wird sie für Zusatzpanzerungen für Kraffahrzeuge und auch im Personenschutz eingesetzt: allerdings wieder als Verbundsystem mit Polyamid- oder Polyethylengeweben oder mit glasfaser-verstärkten Kunststoffen.

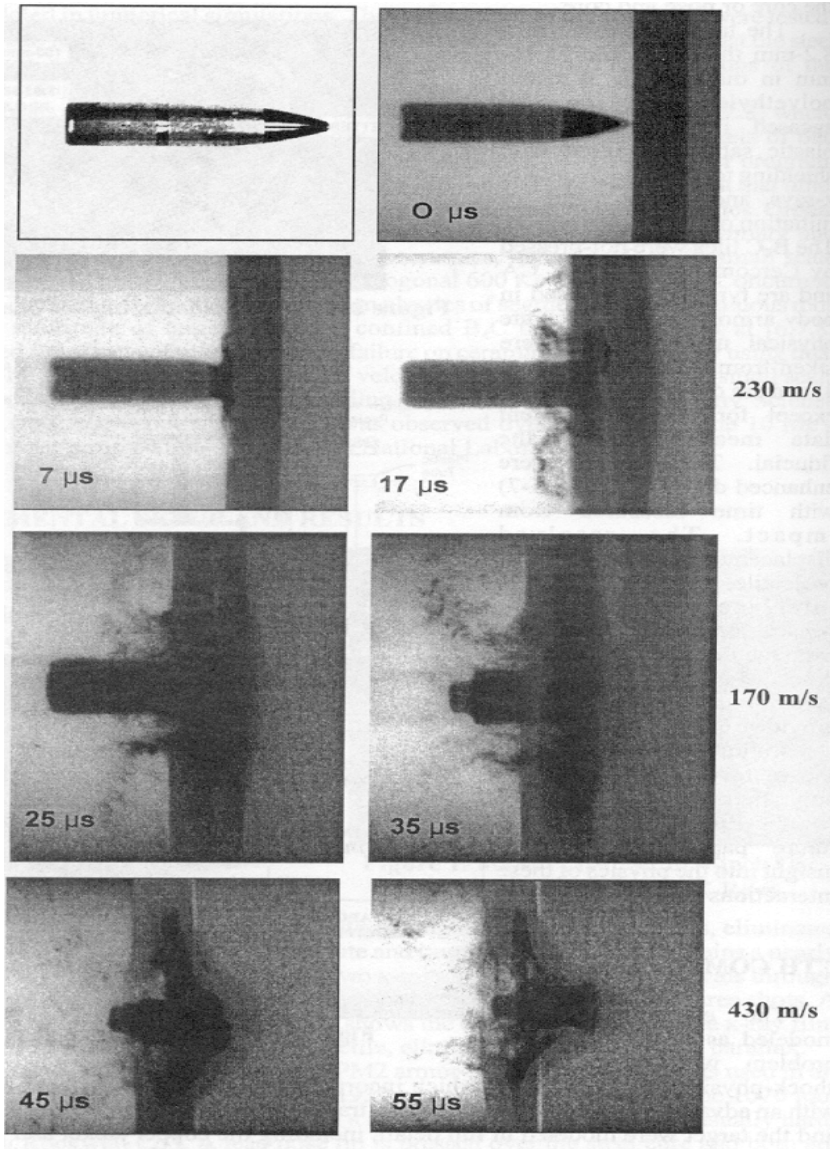
Ähnlich wie beim Impaktpanel liegt hier Aufgabenteilung vor. Die Keramik hat die Aufgabe das Geschoss beim Penetrationsprozess abzu-bremsen und soweit wie möglich zu mikronisieren. Die nach dem Durchschlagen der Keramik verbleibende Restenergie wird im Backing durch elastische/plastische Verformung absorbiert.

Die Vorteile der Keramik sind ihr deutlich niedrigeres Gewicht (bis ca. 60%) im Vergleich zu früher verwendeten Panzerstählen.



**Bild 18:** Schutzmechanismen

## Verbindungen und Verbunde



**Bild 19:** Röntgenaufnahmen beim Penetrationsvorgang

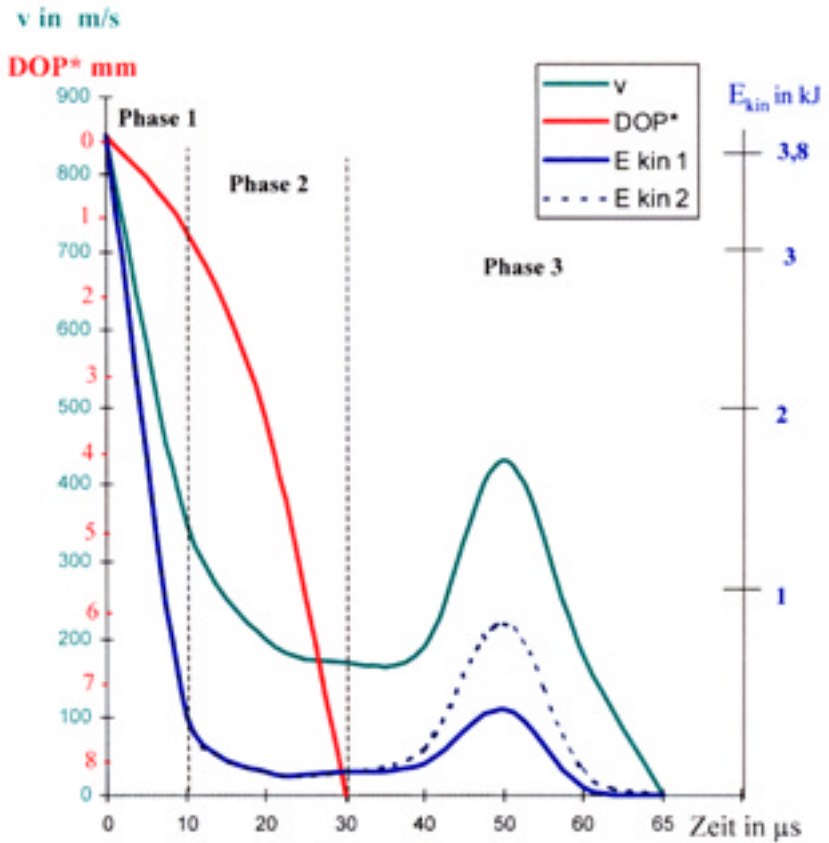
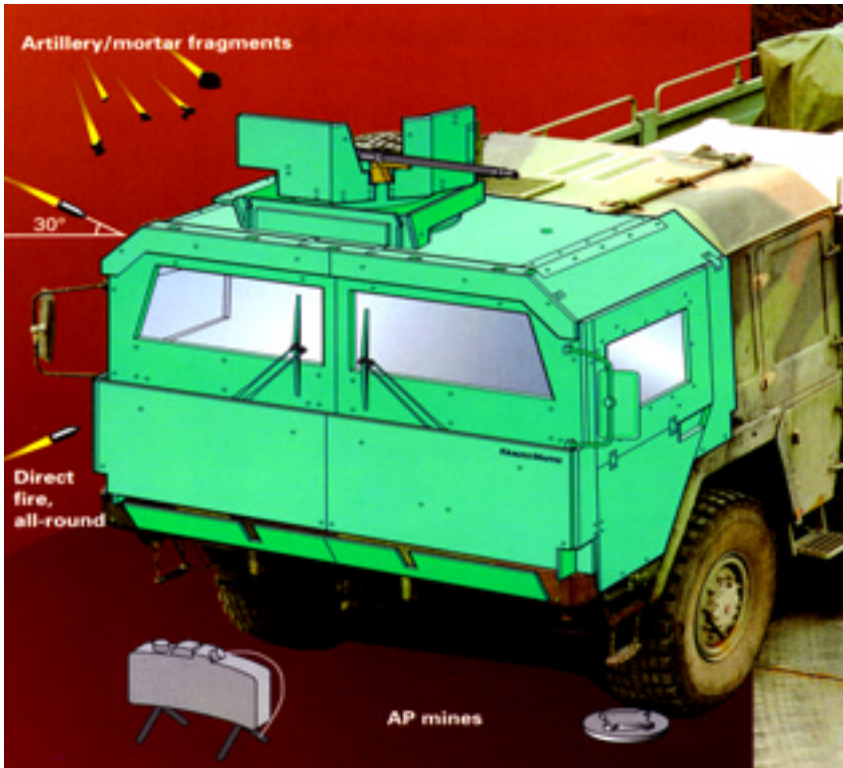


Bild 20: DOP, Geschwindigkeit,  $E_{\text{kin}}$  beim Penetrationsvorgang





**Bild 21:** Schutz der Fahrerkabine

Die verwendeten Vortragsfolien (Nr. 1 bis 14) finden sich auf den folgenden Seiten.



# Verbindungen und Verbunde

## Keramik im System

Dr. Hans Hoppert  
ETEC GmbH  
Siegburg

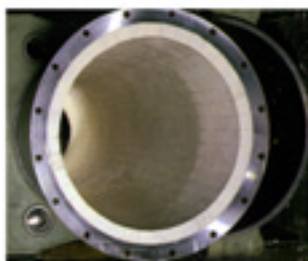
# Keramikverbunde

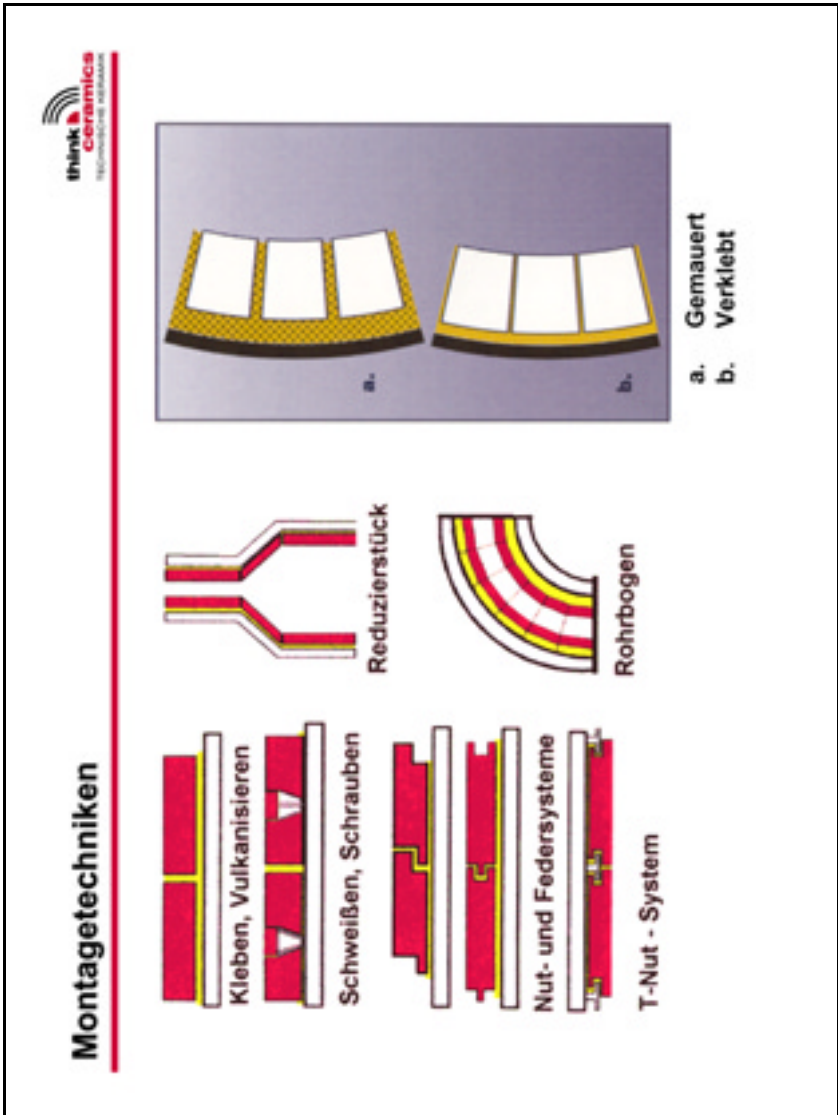
## Module anstelle von Monolithen



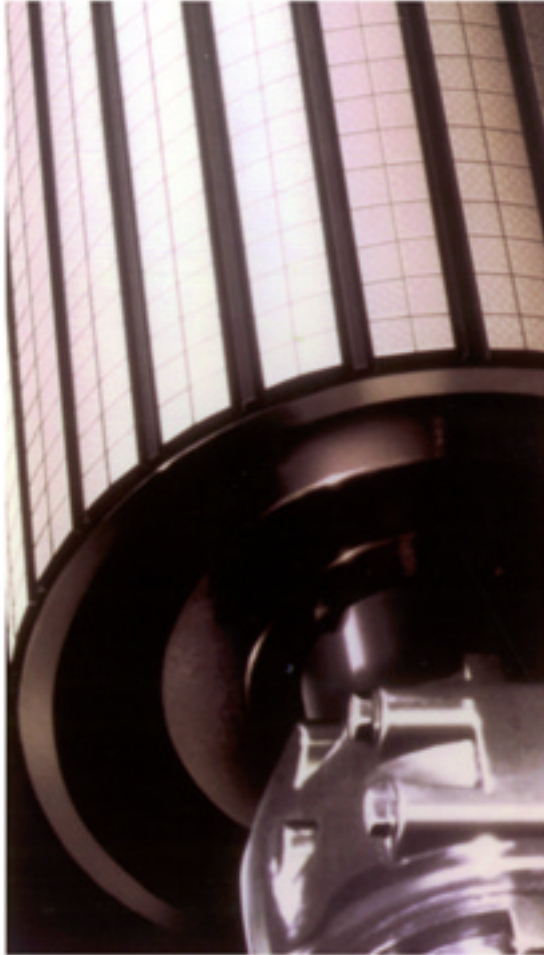
**think**  
**ceramics**  
TECHNISCHE KERAMIK

## Verschleißfeste Auskleidungen





## Montagetechniken

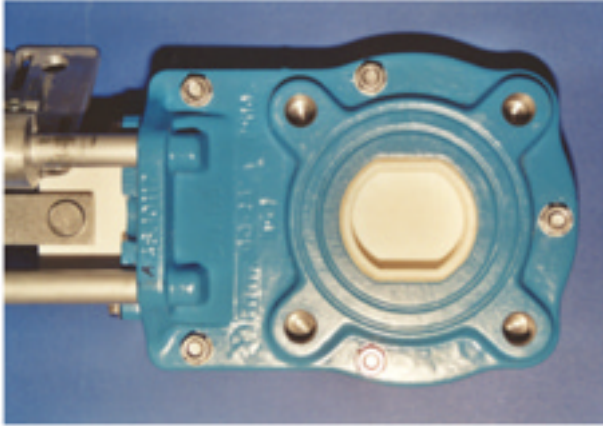


Gummi/Keramik – Verbund: Antriebsrollen von Förderbändern

**Fügen von keramischen Bauteilen**



**Zykloneinlauf**



**Schieberegler**

## Fügen von keramischen Bauteilen



Gehäuse für Sensoren



Hochgeschwindigkeits - Rührkopf





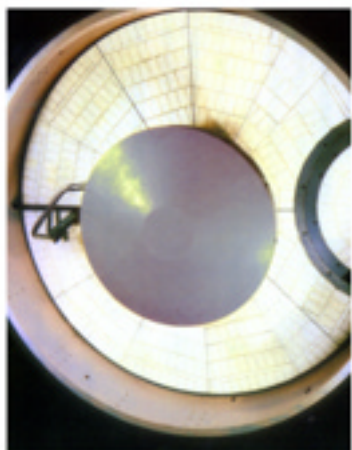
**Schraubverbindungen**



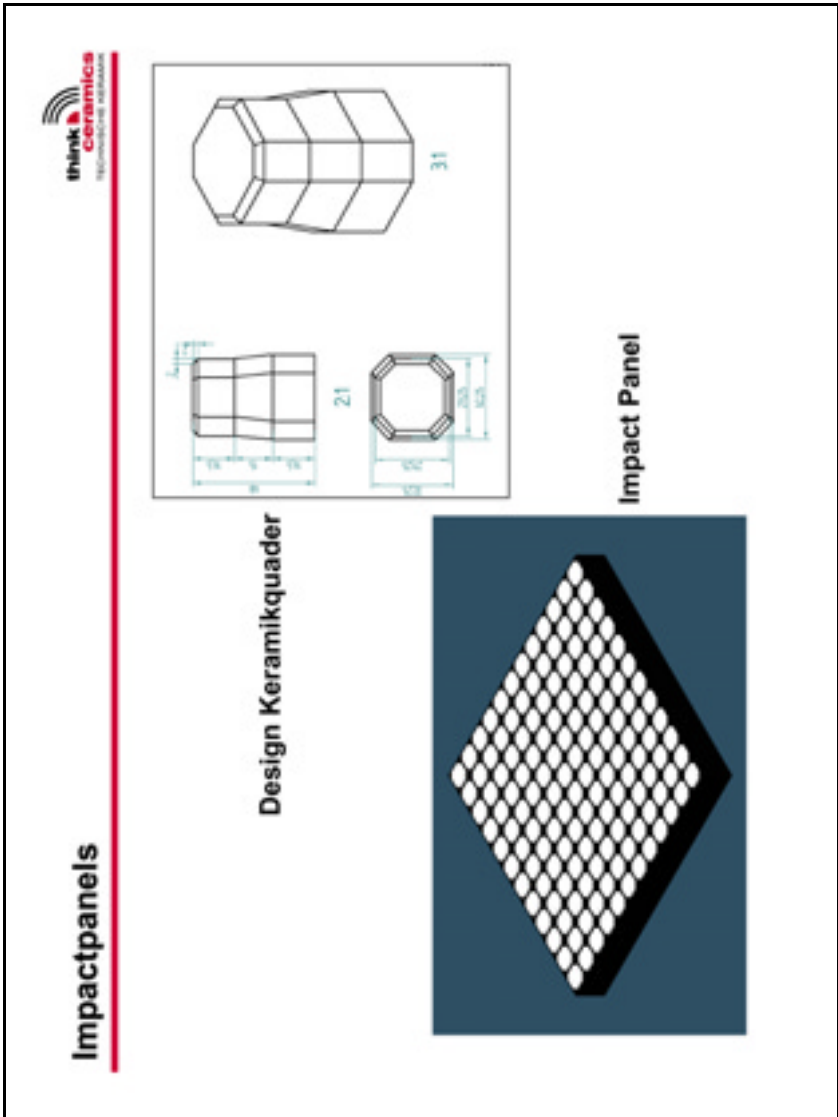
## Auskleidungen



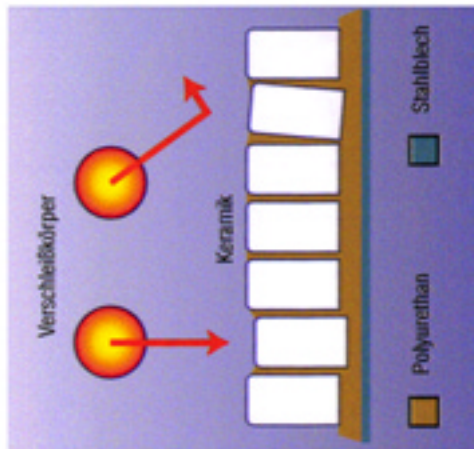
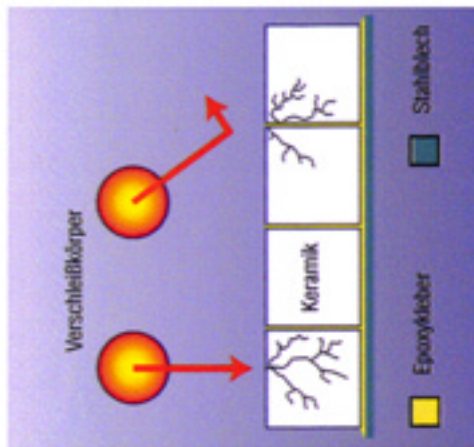
Übergabetrichter



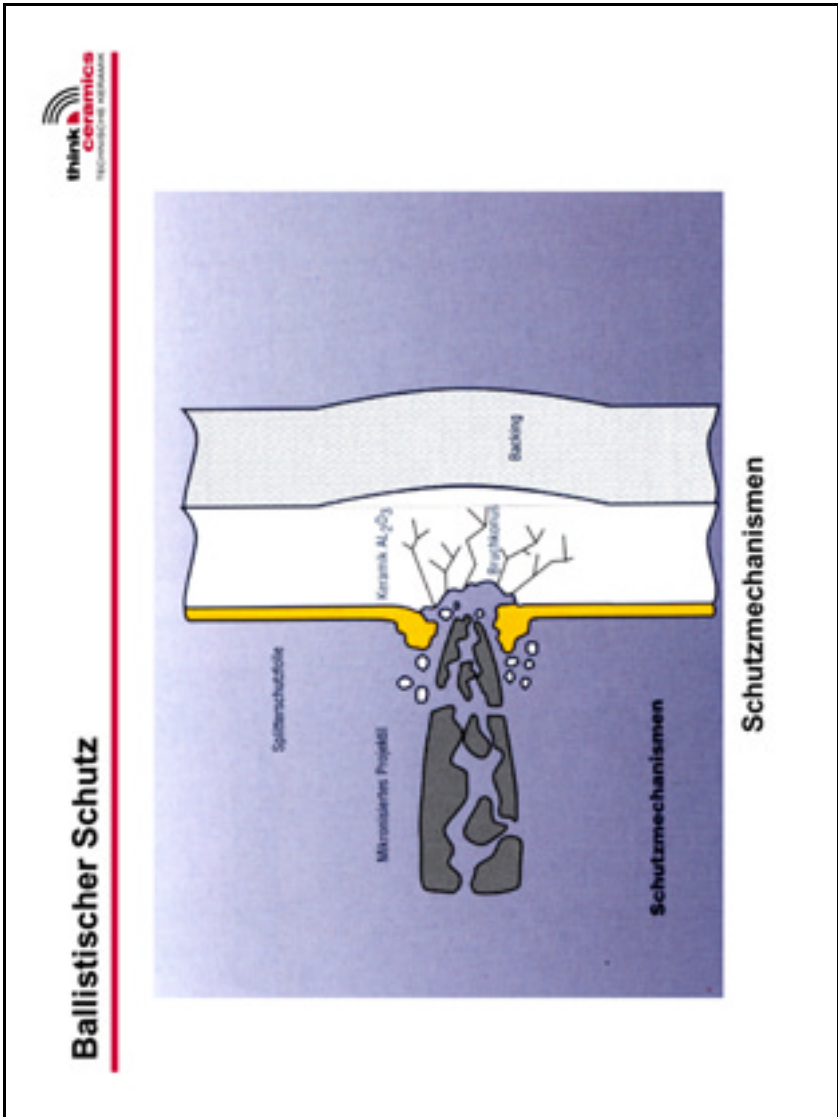
Tellermischer



## Impactpanels

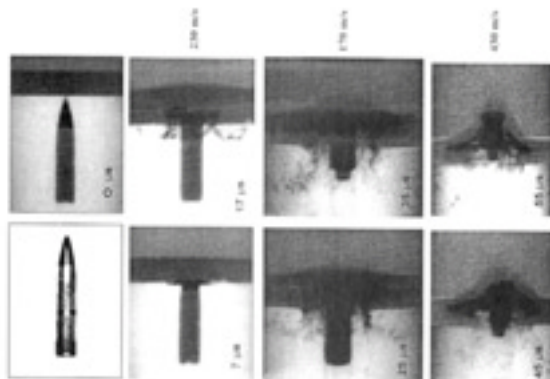


Prinzip Impact Panel

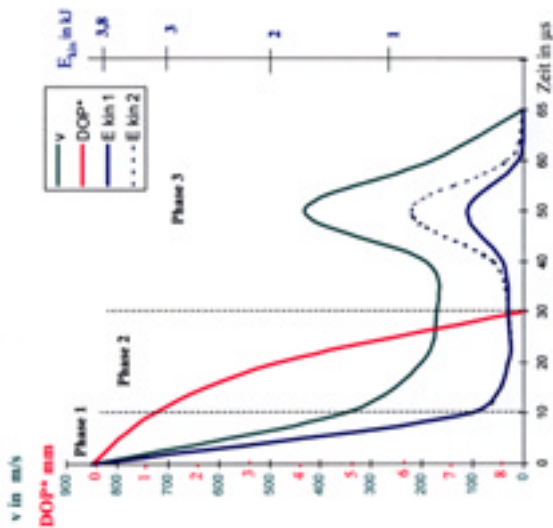


Folie 12

## Ballistischer Schutz



Eindringmechanismus  
(Röntgenaufnahme)



DOP, Geschwindigkeit, kinetische Energie  
beim Penetrationsprozess

## Ballistischer Schutz



### Werkstoffanforderungen:

- § Härte > 20 GPa HV<sub>5</sub>
- § E-Modul > 360 Gpa
- § Schallgeschw. > 10.000 m/s
- § Dichte 98% d. th. D.
- § Toleranzen < 0,3%
- § Spaltbreite < 0,2 mm
- § niedriges Flächengewicht

### Schutz der Fahrerkabine