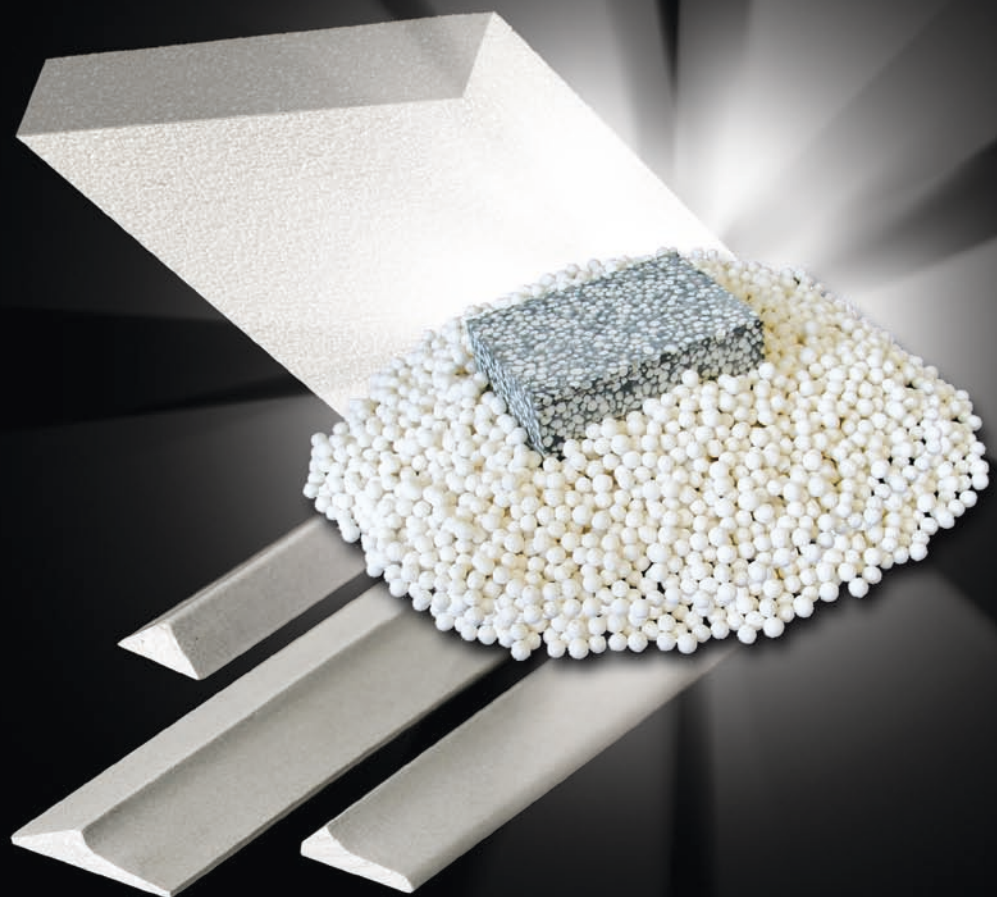


poraver[®]
by Dennert

Kunststoff-Applikationen.

- Harzgebundene Systeme
- Thermoplastische Systeme
- Mineralschaum-
verbundwerkstoffe
- Sonderanwendungen





poraver[®]
by Dennert

Harzgebundene Systeme.

Poraver ist aufgrund seiner Vielzahl an positiven Produkteigenschaften hervorragend geeignet zur Verarbeitung mit organischen Bindemitteln. Dies ermöglicht immer neue Anwendungen in Polyurethanen, Acrylaten, Epoxid-, Polyester-, Phenol- und anderen Harzen.

In diesen Systemen werden sehr hohe Füllgrade mit Poraver erreicht (bis über 90%). Speziell für Leichtbauanwendungen ist Poraver aufgrund seines äußerst geringen Gewichtes besonders geeignet.

Anwendungsgebiete sind u. a. folgende Verbundwerkstoffsysteme:

- Reaktionsharzmörtel
- Polymerbeton und Mineralguss
- Platten, Formteile und Mineralschaumverbundwerkstoffe

Poraver[®] macht Harze zur runden Sache



Die Poraver-Vorteile:

- sehr leicht
- nicht brennbar (nach DIN 4102)
- hervorragende Schallabsorptionseigenschaften
- thermische Isolierung
- chemisch beständig
- ökologisch ausgezeichnet

Anwendungsbeispiele:

Organisch gebundene Schüttungen:

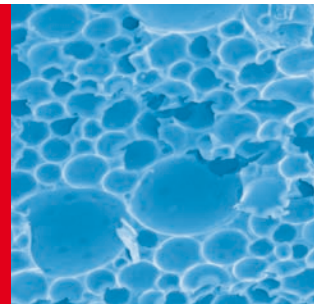
Gefälleausgleich (PUR-gebunden), Ausgleichschüttungen (EP-gebunden), Drainage- und ultraleichter Schiffsestrich, Hinterfüll- und Brandschutzmassen

Plattensysteme:

Akustik-, Leichtbau- und Sonderplatten (z. B. Fassadenträgerplatte auf Basis EP)

Formteile:

Profile und Bauelemente (z. B. Profile aus EP), Polymerbeton und Mineralguss (z. B. Waschbecken)



sehr leicht · nicht brennbar · hervorragende Schallabsorptionseigenschaften



Thermoplastische Systeme.

Schonende Verarbeitungstechniken ermöglichen den Einsatz von Poraver auch in thermoplastischen Systemen.

Daraus resultieren eine Vielzahl von Produkt- und Verarbeitungsvorteilen, wie beispielsweise: Gewichts- und Kostenreduktion, thermische und akustische Isolierung, Brandschutz und Energieabsorption, Reduktion von Schwindung und Verzug sowie Oberflächeneffekte.

Anwendungsbeispiele:

Rotationsformen:

Bei der Herstellung großer Formteile im Rotationsverfahren kann Poraver vorteilhaft eingesetzt werden. Neben der Gewichts- und Kostenreduktion können auch Oberflächeneffekte erzielt werden (z.B. Terracottaeffekt bei Blumentöpfen).

Syntaktische Schäume:

Durch die Verwendung thermoplastischer Gießharze (insbesondere Gusspolyamid) lassen sich besonders leichte Formteile mit Poraver herstellen (beispielsweise Crash-Absorber). Neben der Gewichts- und Kostenreduktion werden auch interessante

- Vorteile durch Poraver:
- Gewichts- und Kostenreduktion
 - thermische und akustische Isolierung
 - Reduktion von Schwindung und Verzug
 - Brandschutz
 - Oberflächeneffekte
 - Energieabsorption



physikalische Eigenschaften erzielt (Energieabsorption). Derzeit werden derartige Systeme zu einer neuen Werkstoffklasse weiterentwickelt (Mineralschaumverbundwerkstoffe).

Durch spezielle schonende Verarbeitungsverfahren lässt sich Poraver auch in PP (Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme von Poraver in PP), PVC-Pasten (gefärbtes PVC-gecoatetes Poraver) und anderen Polymeren einsetzen.

Derzeit wird Poraver in diversen Systemen getestet und es sind neue Anwendungsgebiete zu erwarten.

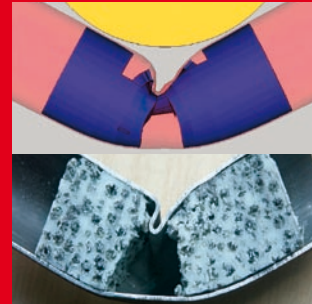


Poraver® optimiert Kunststoffe

haftend · thermische Isolierung · Energieabsorption · chemisch beständig



Mineralschaum-
verbundwerkstoffe
mit Poraver:
Eine neue Werkstoffklasse.



poraver[®]
by Dennert

Mineralschaumverbundwerkstoffe.

Besondere Beachtung verdienen mit Poraver hergestellte zellulare Verbundwerkstoffe, die eine völlig neue Werkstoffklasse darstellen. Hierbei handelt es sich um syntaktische Schäume, deren Hohlräume mit Poraver gefüllt sind und die in speziellem Gießverfahren hergestellt sind.

Diese zellularen Kugelverbundwerkstoffe (z. B. mit Polyamidmatrix) sind im Vergleich zu konventionellen syntaktischen Schäumen für mehrachsige Beanspruchungen besser geeignet, da die Schubfestigkeit ca. 63 % und die Zugfestigkeit ca. 73 % der Druckfestigkeit beträgt; derzeit werden entsprechende Werkstoffe entwickelt. Ferner wird eine hohe Energieabsorption erzielt, die neue Anwendungsgebiete im Leichtbau ermöglicht.

Anwendungsbeispiele:

Crash-Absorber:

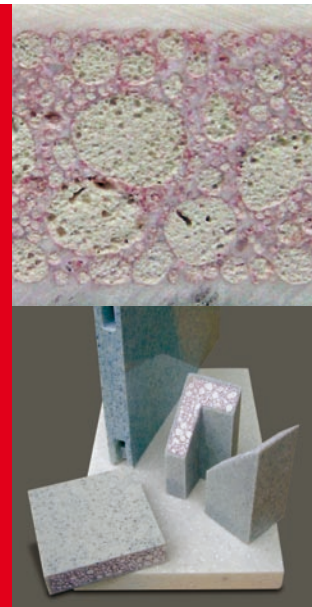
Im Fahrzeugbau wird die hohe Energieabsorption zur Erhöhung der Sicherheit durch Crash-Absorber z. B. aus Gusspolyamid und Poraver getestet. Zusätzlich wird dadurch auch eine Gewichts- und Kostenreduktion erreicht.

Sandwichelemente:

Als Kernmaterial für Sandwichelemente führen die Mineralschaumverbundwerkstoffe zu leichten Formteilen mit hoher Festigkeit bei großer Querbeanspruchung. Neben technischen Einsatzgebieten im Transportwesen sind auch Verbundwerkstoffe für Arbeitsflächen (solid surface, engineered stone, cultured marble) in Küchen, Sanitär und anderen Bereichen zu nennen.

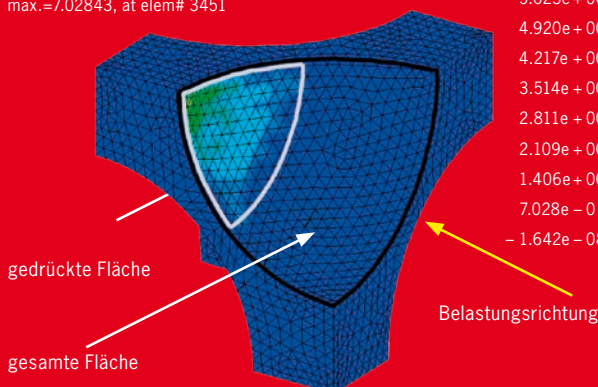
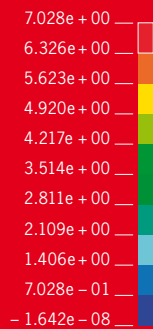
Trägerplatten und Formteile:

Die zellularen Verbundwerkstoffe werden auch als Trägerplatte verwendet, die mit unterschiedlichen Deckschichten beklebt werden, und es können leichte Formteile gegossen werden.



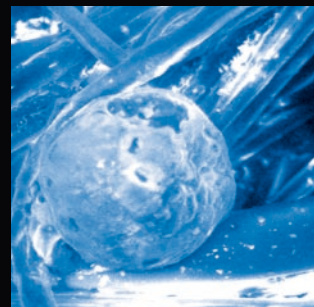
VIERTEL EZ
Time=0.052924
Contours of Interface Pressure
min=1.64235e-08, at elem#5286
max.=7.02843, at elem# 3451

Fringe Levels

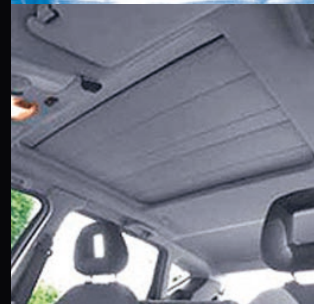


Poraver[®] rollt in eine völlig neue Werkstoffklasse.

ig · ökologisch wertvoll · sehr leicht · nicht brennbar · hervorragend



Poraver –
auch in Kunststoffen
vielseitig einsetzbar.



poraver[®]
by *Dennert*

Sonderanwendungen.

Aufgrund der zahlreichen Vorteile von Poraver ergeben sich immer neue, vielfältige Sonderanwendungen rund um den Kunststoff. Hier einige Beispiele:

Formenbau:

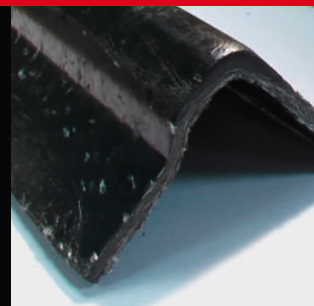
Insbesondere bei großen Formteilen und geringen Stückzahlen wird gerne Poraver als leichter Füllstoff eingesetzt. Bei teuren Matrixmaterialien (z. B. bei Rotationsguss- oder Rotationssinter- und Lasersinterverfahren) kann neben Gewicht auch Rohstoff eingespart werden.

Trockenverfahren zur Gewebeamprägung:

Durch ein spezielles Trockenimprägnierungsverfahren (von Fibroline France) lassen sich Hochleistungsmaterialien verschiedenster Art herstellen. Durch Poraver können damit bei

Vliesstoffen, offenen Schaumstoffen, Natur- oder synthetischen Faserstoffen und anderen Geweben Gewicht und Rohstoff eingespart und die thermische und akustische Isolierung verbessert werden. Einsatzgebiete sind u. a. in der Bau-, Transport- und Möbelindustrie.

Beispiel: Glasfaserverstärkter Verbundwerkstoff mit PP und Poraver.





poraver[®]
by Dennert

Die Kugel die alles kann.

Poraver wurde in mehrjähriger Forschungsarbeit von der Dennert Poraver GmbH entwickelt. Neue Ideen und außergewöhnliche Herausforderungen „rund um die kleine Kugel“ werden konsequent und engagiert weiterverfolgt.

Mit dem von Poraver entwickelten Herstellungsverfahren werden seit 1984 für europäische und internationale Kunden jährlich über 150.000 m³ Poraver produziert. In zahlreichen Kooperation mit namhaften Instituten, Universitäten und Unternehmen werden immer neue Einsatzgebiete erschlossen. Unzählige Ergebnisse finden sich heute in Form erfolgreicher Produkte namhafter Hersteller in den verschiedensten Märkten weltweit.

Poraver ist der beliebte und bewährte Leichtzuschlag in:

- Putzen und Mörtel
- bauchemischen Produkten (z. B. Fliesenkleber)
- Leichtbeton
- Klebe- und Spachtelmassen
- Schüttungen
- Plattensystemen
- Deko-Material und vielen anderen



Innovative, mit Poraver veredelte Produkte werden mit dem Poraver-Anwendersiegel ausgezeichnet.

Wenn Sie mehr über die vielfältigen Einsatzgebiete von Poraver wissen möchten, besuchen Sie uns ganz einfach im Internet:

www.poraver.de

info@poraver.de

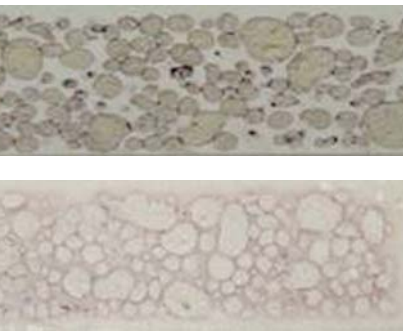
oder rufen Sie uns an:

Info-Telefon: +49 9552 92977-0

Dennert Poraver GmbH · Mozartweg 1 · 96132 Schlüsselheld · Germany

ZoE[®]light: Leichtbauplatten, Formteile und Profile für starke Anforderungen

Preiswerte Herstellung von
Formteilen als Prototypen,
Klein- oder Großserien



ZoE[®]light



ZoE[®]light wird vom Zentrum of Excellence (ZoE) hergestellt. Unter dieser Bezeichnung sind Bauteile wie Platten, Formteile und Profile zusammengefasst, die einen Kern geringer Dichte und eine Deckschicht mit höherer Dichte besitzen. Ihre Anwendung finden sie im Baubereich, z.B. als Trennwände, Arbeitsflächen, Möbelfronten oder Arme von Robotern.

Die Platten, Formteile und Profile bestehen aus Gießharzen, Mineralien oder Glasfasern und dem Leichtbaugranulat Poraver[®]. Ihr Kern hat eine Dicke von 0,4 cm bis 4 cm und ist entweder auf zwei Seiten oder rundum von einer oder mehreren Deckschichten umgeben, die 0,5 mm bis einige Millimeter stark sind.

Aufgrund einer besonderen Verfahrenstechnik besteht zwischen Kern und Deckschicht keine Klebe- oder Trennfuge. Daraus ergibt sich ein wesentlicher Vorteil: Man erhält einen idealen Verbund und damit eine Erhöhung der Steifigkeit. Durch die Zugabe von Glasfasern kann dieser Effekt noch verstärkt werden.

Neu ist, dass die Deckschichten von weniger als 1 mm bis zu mehreren Zentimetern variiert werden können. Ebenso kann die Kernschicht von weniger als 0,4 cm auf mehr als 4 cm vergrößert werden. Dadurch sind nicht nur Material- und Gewichtseinsparungen möglich, sondern auch die Anhebung der mechanischen Werte. Die in die Matrix eingebundenen Mineralien steigern nicht nur die mechanischen Werte, sondern bewirken zusätzlich neben einer verbesserten Brandfestigkeit auch eine erhöhte Oberflächenhärte. So lassen sich die Bauteile ganz einfach verschrauben.

Ihr spezielles Verfahren ermöglicht der ZoE GmbH & Co. KG die Herstellung von günstigen Prototypen oder die einfache Serienfertigung, die dann direkt am Markt auf entsprechende Akzeptanz geprüft werden können.

Info-Telefon: +49 (0) 99 21 / 95 95-934
Mobil: +49 (0) 1 60 / 1 91 46 03
e-mail: info@zoe-germany.de
Internet: www.zoe-germany.de

ZoE
Zentrum of Excellence

alles kann
die Kugel





Poraver® optimiert Bauelemente aus Kunstharzmörtel

MARMO-STAIR® Tritt- und Setzstufen, MARMOX® Shower Slope, POLYPROFIL® Hohlkehlen und Tropfleisten, COSYSTONE® und COSYPEDES® Elektroheizungen



MARMOX® Shower Slope
Gefälle-Element



POLYPROFIL® Tropfleiste



POLYPROFIL® Treppenkante

Die Dr. Lietz Marketing Services GmbH setzt Poraver® als vielseitigen Leicht-Füllstoff bei seinen innovativen Kunstharz-Baustoffen ein. Bei MARMO-STAIR® Tritt- und Setzstufen handelt es sich um dekorative Treppenelemente, die als Belag auf Außen- und Innentritten verwendet werden. Sie bestehen aus einem zweischichtigen Kunstharzmörtel, dessen dünne obere Schicht als Nutzbelag durch eine mit Granit vergleichbare Verschleißfestigkeit gekennzeichnet ist und rückseitig mit dem tragenden Mörtel aus Poraver® verbunden ist. Die besonderen bauphysikalischen Eigenschaften von Poraver® tragen wesentlich zu den Vorteilen von MARMO-STAIR® bei. So weist der Treppenbelag eine hervorragende Stabilität bei geringem Gewicht auf, ist sehr UV-beständig und weitgehend resistent gegenüber chemischen Beanspruchungen. Außerdem lässt er sich sehr einfach verarbeiten und zuschneiden. Durch die Struktur des Mörtels aus Poraver® ist die Verklebung mit dem Untergrund sowohl mit zementösem Fliesenkleber im Dick- und Dünnbettverfahren als auch mit Kunstharzklebstoffen möglich.

MARMOX® Shower Slope Gefälle-Elemente werden bei der Anfertigung von barrierefreien Duschtassen auf Unterböden aller Art eingesetzt. Die Verbindung von Poraver® mit einem speziellen Zementmörtel und einer geeigneten Armierung erlaubt sehr dünne, leichtgewichtige und stabile Gefälle-Elemente in allen gängigen Größen, auf denen gängige Fliesenklebstoffe ausgezeichnet haften. Dank Poraver® lassen sich die Gefälle-Elemente auch leicht zuschneiden.

Seit vielen Jahren sind POLYPROFIL® Hohlkehlen und Tropfleisten, hergestellt aus einem Mörtel aus Epoxidharz und Poraver®, im Beton- und Bautenschutz bekannt. Eingesetzt als Abtropfprofil zum Schutz von Flächenunterseiten oder als Hohlkehlenprofil bei Industriebodenbeschichtungen, verdanken sie ihr geringes Gewicht, ihre hohe Festigkeit und Chemikalienbeständigkeit ganz wesentlich Poraver®.

Die hervorragenden wärmeisolierenden Eigenschaften von Poraver® kommen bei dem zweischichtigen Aufbau der COSYSTONE® und COSYPEDES® Elektroheizungen zum Tragen. Der Grundaufbau ist hier eine nur ca. 3 mm dicke verschleißfeste Nutzschicht, in der sich ein elektrischer Heizdraht befindet, und eine Trag- und Isolierschicht aus Poraver®-Kunstharzmörtel.

Info-Telefon: +49 (0) 30 / 47 75 03 50
e-mail: lms@polyprofil.de
Internet: www.lms-berlin.de

LMS

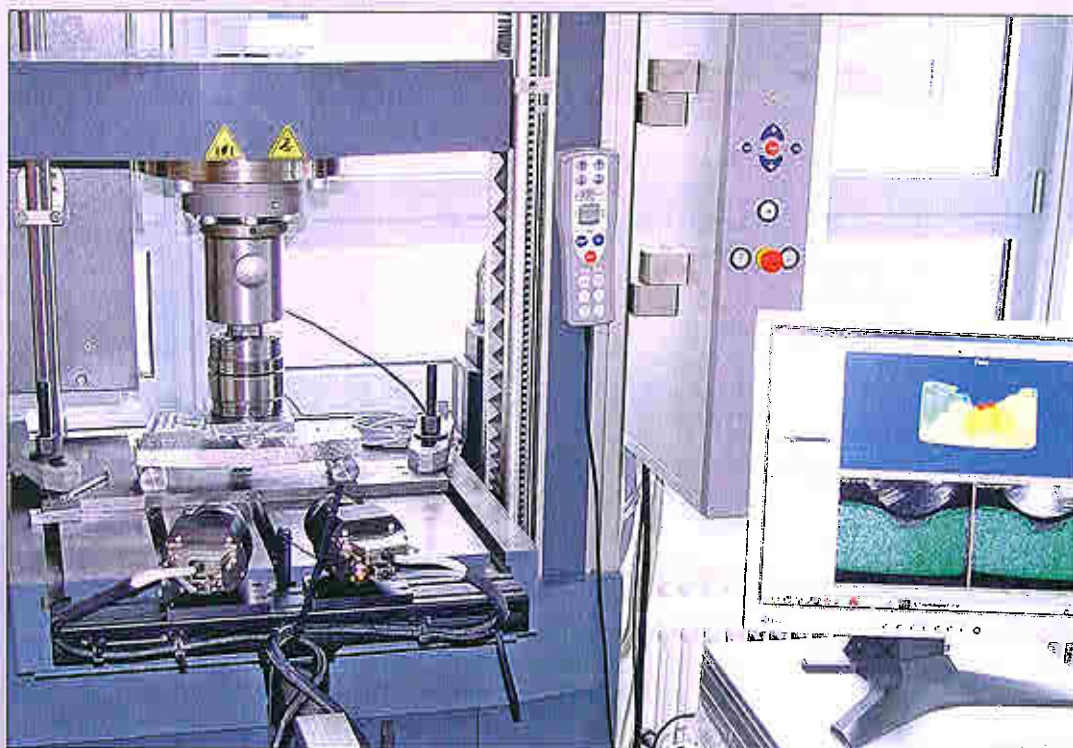
Dr. Lietz Marketing Services GmbH

COSYSTONE®
und COSYPEDES®
Elektroheizung

Automotive Materials

Entwicklung | Anwendung | Recycling

Sonderdruck aus der
Ausgabe 5/07
September 2007



Zellulare Verbundwerkstoffe im Automobilbau

Altglas für den Leichtbau



Dennert Poraver GmbH
Mozartweg 1
96132 Schlüsselfeld
Germany
Tel.: +49 9552 92977-20
Fax: +49 9552 92977-26
E-Mail: info@poraver.de



GIESEL Verlag

Zellulare Verbundwerkstoffe im Automobilbau

Altglas für den Leichtbau

Die Herstellung zellulärer Werkstoffe durch ein Umgießen von leichten zellulären Platzhaltern aus Altglas bietet Vorteile bezüglich der mechanischen Materialeigenschaften. Im Forschungsprojekt IMVAL (Innovative Mineralschaum Verbund Applikationen für den Leichtbau) wurden neben den mechanischen Eigenschaften die Einsatzmöglichkeiten zellulärer Verbundwerkstoffe in Leichtbaustrukturen anhand von Anwendungsbeispielen untersucht.

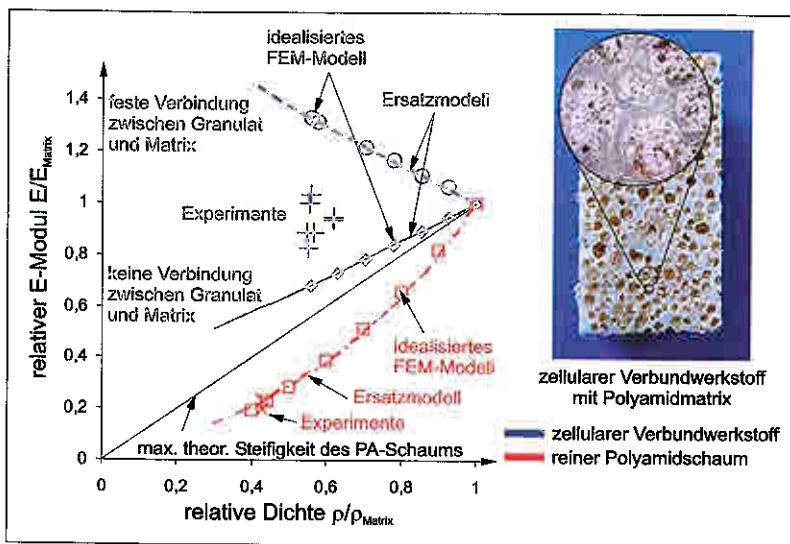


Abb. 1: Relative Steifigkeit eines zellulären Verbundwerkstoffs in Abhängigkeit der Dichte

Zellulare Werkstoffe werden im Automobilbau überwiegend für die Energieabsorption eingesetzt, da sie nach Überschreiten der Druckfestigkeit in erster Näherung ideal-plastisches Materialverhalten aufweisen. Dadurch können große Energiemengen bei kleinen Kräften absorbiert werden. Die verwendeten zellulären Werkstoffe werden zumeist durch ein Aufschäumen mittels Treibmittel hergestellt. Für einen Einsatz als Konstruktionswerkstoff erweist sich dabei als hinderlich, dass die mechanischen Eigenschaften dieser konventionellen zellulären Werkstoffe mit abnehmender Dichte im Vergleich zum massiven Grundmaterial überproportional sinken [1]. Zelluläre Materialien können auch durch das Umgießen von leichten Platzhaltern,

die im Werkstoff verbleiben, hergestellt werden. Diese zellulären Werkstoffe werden als syntaktische Schäume bezeichnet. Die bekanntesten syntaktischen Schäume bestehen aus Mikrohohlglaskugeln in Kunststoffmatrices [2]. Glasschaumgranulate, die aus Recycling-Glas hergestellt werden, stellen mit einem Preis von ca. 0,5 EUR/kg eine interessante und kostengünstige Alternative zu Hohlkugeln dar. Es ist zu erwarten, dass bei syntaktischen Schäumen die Abnahme der mechanischen Eigenschaften mit sinkender Dichte durch steife Schaumgranulate reduziert werden kann. Die Überprüfung dieser Hypothese war u.a. das Ziel des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Verbundforschungsprojekts IMVAL,

das aus neun Industrie- und vier Forschungspartnern bestand (BMW AG, CADFEM GmbH, Dennert Poraver GmbH, DST Dräxlmaier Systemtechnik GmbH, FH Ingolstadt, FH Landshut, Grillo Werke AG, Havelländische Zink-Druckguß GmbH & Co. KG, Hörmann Engineering GmbH, ITWM Fraunhofer Institut, Quadrant EPP, TU Freiberg, Zentrum of Excellence GmbH & Co. KG) und sich mit der Herstellung, Charakterisierung und Anwendung syntaktischer Schäume mit zellulären Platzhaltern beschäftigte. Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen dieses Projekts im Kompetenzzentrum Leichtbau der Fachhochschule Landshut erarbeitet.

Vergleich der relativen Steifigkeit

Abb. 1 zeigt einen Vergleich zwischen der relativen Steifigkeit eines Polyamidschaums und eines gewichtsgleichen zellulären Verbundwerkstoffs aus Glasschaumgranulaten in Polyamidmatrix. Der Einfluss der „Platzhalter“ auf die Steifigkeit wurde sowohl experimentell als auch numerisch mittels FEM-Simulationen mit dem Programm ANSYS an einem idealisierten Verbundwerkstoff untersucht. Die Steifigkeit des zellulären Verbundwerkstoffes kann mittels eines rheologischen Ersatzmodells beschrieben werden [3]. Die Untersuchungen zeigen, dass der Steifigkeitsabfall bei einem zellulären Verbundwerkstoff nicht nur vermindert wird, sondern dass die Steifigkeit des Verbundwerkstoffes größer ist, als die theoretisch mögliche Steifigkeit des gewichtsgleichen reinen Polyamidschaums. Die Art der Verbindung zwischen Granulat und Matrix ist dabei von wesentlicher Bedeutung

für die mechanischen Eigenschaften des zellularen Verbundwerkstoffes [3-5].

Kunststoffe besitzen in der Regel zeitabhängiges Materialverhalten. Verhält sich das Matrixmaterial im betrachteten Bereich linear-viskoelastisch, so ist eine Beschreibung des zeitabhängigen Verhaltens des Verbundwerkstoffes durch eine Erweiterung des rheologischen Ersatzmodells für das zeitfreie Materialverhalten [3, 4] um generalisierte Maxwell-Elemente möglich [4, 6]. Die Untersuchung von zellularen Verbundwerkstoffen mit Metallmatrizes zeigt, dass nicht alle Materialkombinationen ein gleich hohes Leichtbaupotenzial besitzen [7]. Durch eine Kombination der rheologischen Ersatzmodelle mit der FEM-Simulation des idealisierten Verbundwerkstoffes ist es möglich, einfach und schnell geeignete Grundmaterialien für Verbundwerkstoffe mit hohem Leichtbaupotenzial ohne teure und zeitaufwändige Experimente auszuwählen. Dadurch kann der zelluläre Verbundwerkstoff an das jeweilige Anforderungsprofil angepasst werden. Es ist Werkstoffdesign möglich. Die Untersuchungen zeigen auch, dass das elastisch-plastische Materialverhalten zellulärer Verbundwerkstoffe bei kleinen Verformungen durch das Materialgesetz *Mat. 75 der FEM-Software LS-DYNA gut abgebildet werden kann. Für eine Abbildung des Materialverhaltens für große Verformungen und hohe Dehnraten wurde an der FH Ingolstadt das Materialgesetz *Mat. 75 mit Unterstützung der CADFEM GmbH modifiziert [9]. Syntaktische Schäume mit Metallmatrizes wurden an der TU Freiberg untersucht [10].

Experimentelle und numerische Untersuchungen

Durch experimentelle und numerische Untersuchungen ist zu prüfen, ob sich das Leichtbaupotenzial des Verbundwerkstoffes in Strukturbau-

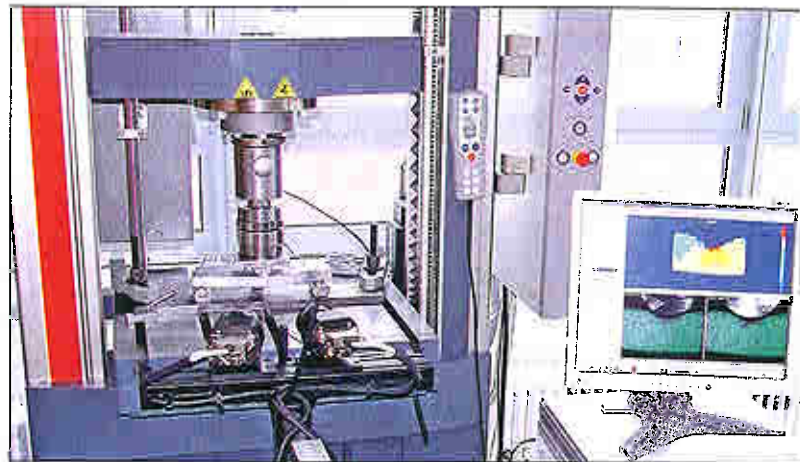


Abb. 2: Dreipunktbiegeversuch mit optischem Verformungsmesssystem

teilen positiv umsetzen lässt. Dazu werden zunächst Sandwichbalken mit gleichen geometrischen Abmessungen aber unterschiedlichen Kernmaterialien in einem Dreipunktbiegeversuch getestet. Als Deckschichten dienen Aluminiumbleche (AlMg3) mit einer Dicke von 1,5 mm, die mit einem Zweikomponenten-Epoxidharz mit dem jeweiligen Kernmaterial verklebt sind. Die große Duktilität der Aluminiumdeckschichten ermöglicht große Durchbiegungen ohne Deckschichtversagen und damit eine hohe Energieabsorption. Der Aluminiumschaum-Sandwich wurde von der Firma Alm GmbH bezogen. Diese Sandwichbalken sind nach dem IFAM-Verfahren hergestellt, d.h. Kern und Deckschicht werden vor dem Schäumen stoffschlüssig durch Walzplattieren verbunden. Abb. 2 zeigt den Versuchsaufbau mit einem optischen Verformungsmesssystem (GOM; Aramis-3D) und Abb. 3 die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen in gewichtsspezifischen Darstellungen. Abb. 3 zeigt das große Leichtbaupotenzial der zellularen Verbundwerkstoffe mit Glas- bzw. Mineralschaumgranulaten als Kernmaterial in Sandwich-Applikationen, für die neben der Steifigkeit auch die Festigkeit sowie im Versagensfall die absorbierte Energie von Bedeutung ist. Darüber hinaus bieten zelluläre Verbundwerkstoffe auf Grund der Herstellung mittels Gießen bezüglich der Komplexität der Bauteilgeomet-

rie die volle Freiheit dieses Urformverfahrens. Die Herstellung von mehrfach gekrümmten Sandwichelementen ist dadurch gut möglich. Neben dem Leichtbaupotenzial der zellularen Verbundwerkstoffe als Konstruktionswerkstoff wurde anhand eines Deformationselements im Pkw-Frontbereich auch die Eignung zur Energieabsorption untersucht. Betrachtet wurde dazu ein Fahrzeug der Kompaktklasse mit einem Gewicht von 1 t, für das Fuganti et al. [8] eine zu absorbierende Energie von 5 kJ angibt. Das Deformationselement ist konisch mit einer Länge von 200 mm (Abb. 4). Eine Variante besteht aus einer Stahlblechhülle mit einer Dicke von 0,8 mm und einem Stützkern aus dem zellularen Verbundwerkstoff Glasschaumgranulate in Polyamidmatrix mit einer Wandstärke von 14 mm. Aus der Masse dieses Deformationselements errechnet sich für ein gewichtsgleiches Bauteil aus reinem Stahlblech eine Blechdicke von 1,8 mm. Für Vergleichszwecke wurden Deformationselemente mit den verfügbaren Blechdicken von 1,5 und 2 mm gefertigt. Abb. 4 zeigt einen Vergleich der experimentell ermittelten Kraft-Verformungs-Verläufe.

Deutlich geringere Kraftschwankungen

Die Kraftschwankungen der reinen Stahllösungen sind deutlich größer und werden durch das Faltenbeulen

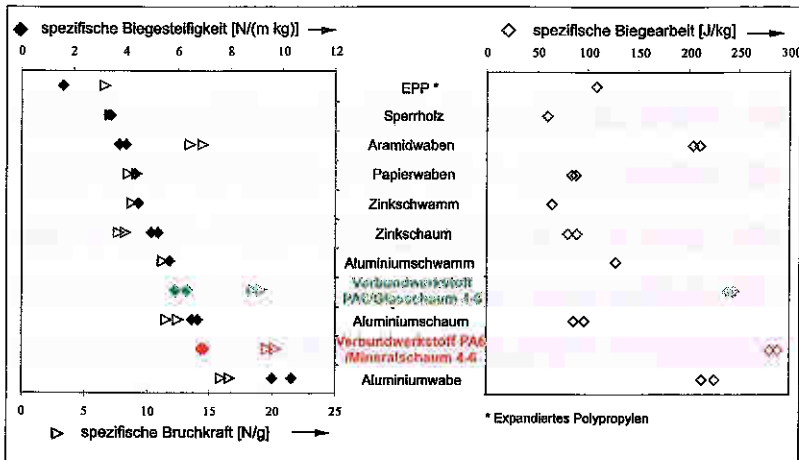


Abb. 3: Gewichtsspezifische Biegesteifigkeiten, Bruchkräfte und Biegearbeiten der untersuchten Sandwichbalken aus den Dreipunktbiegeversuchen in Abhängigkeit der Kernmaterialien [4]

der Struktur verursacht (Abb. 4). Für einen Vergleich der unterschiedlichen Kurven bietet sich die während der Deformation aufgenommene Energie E sowie die Energieabsorptionseffizienz η an (Abb. 4). Es wird der Bereich bis 100 mm Stauchung betrachtet, wobei für die beiden reinen Stahllösungen für die Berechnung von η nicht die ersten Extremwerte verwendet werden, da diese durch Sicken reduziert werden können. Das Deformationselement mit Stützkern besitzt mit $\eta = 0,81$ die beste Energieabsorptionseffizienz und die höchste spezifische Energieaufnahme von 6,64 kJ/kg. Die Stahllösung mit einer Blechdicke von 2 mm erreicht eine Energieabsorptionseffizienz von 0,69 und eine spezifische Energieaufnahme von 5,36 kJ/kg. Bei einer Blechdicke von 1,5 mm sinkt die Energieabsorptionseffizienz auf 0,59 und die spezifische Energieaufnahme auf

3,52 kJ/kg. Die experimentellen Untersuchungen zeigen, dass der Stützkern das regelmäßige Faltenbeulen der Stahlhülle behindert (Abb. 4). Trotzdem wird die spezifische Energieaufnahme des Deformationselements durch den Stützkern aus zellularem Verbundwerkstoff deutlich gesteigert. Darüber hinaus erfolgt die Energieabsorption im Deformationselement mit Stützkern deutlich gleichmäßiger. Dies ist nicht nur für die Effizienz der Energieaufnahme, sondern auch für den Insassenschutz von entscheidender Bedeutung. Neben den untersuchten Anwendungen eröffnen sich den zellularen Verbundwerkstoffen auf Grund der einfachen und reproduzierbaren Herstellbarkeit von doppelt gekrümmten Sandwichstrukturen mit integrierten, faserverstärkten Deckschichten weitere Anwendungen im Fahrzeugbau sowie im Bootsbau bis hin zu einem Einsatz

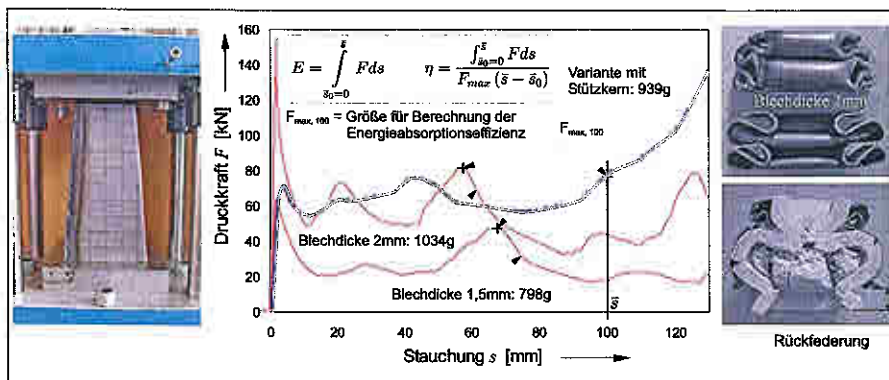


Abb. 4: Vergleich der Kraft-Verformungs-Verläufe der unterschiedlichen Deformationselemente unter einachsiger, quasistatischer Druckbelastung

im Architekturbereich.

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie sowie allen beteiligten Partnern für die Unterstützung dieses Projekts im Rahmen des Förderprogramms InnoNet.

Literatur

[1] Öchsner, A., Winter, W., Kuhn, G.: Elastic-plastic Behaviour of Perforated Aluminium under Tension and Compression, Technische Mechanik, 21/2, 2001, S. 101-108.
 [2] Klempner, D., Sendjarevic, V.: Polymeric Foams and Foam Technology, Carl Hanser Verlag, München, 2004.
 [3] Klaus, H., Huber, O., Kuhn, G.: Lightweight Potential of Novel Cellular Spherical Composites, Advanced Engineering Materials, 7/12, 2005, S. 1117-1124.
 [4] Klaus, H.: Charakterisierung, Modellierung und Anwendung zellulärer Verbundwerkstoffe im elasto-plastischen Bereich, an der Universität Erlangen-Nürnberg eingereichte Dissertation, Erlangen, Mai, 2007.
 [5] Klaus, H., Huber, O.: Schädigungsverhalten zellulärer Verbundwerkstoffe im elastisch-plastischen Übergangsbereich, in: Huber, O., Bicker, M. (Hrsg.), 3. Landshuter Leichtbau-Colloquium – Leichtbau von der Idee zum Produkt, LC Verlag, Landshut, 2007.
 [6] Klaus, H., Huber, O., Kuhn, G.: Materialverhalten eines zellulären Kugelverbundwerkstoffes im linear-viskoelastischen Bereich, Technische Mechanik, 26/2, 2006, S. 71-84.
 [7] Huber, O., Klaus, H., Dallner, R., Bartl, F., Eigenfeld, K., Kovacs, B.: Herstellung und Eigenschaften syntaktischer Metallschäume mit unterschiedlichen Matrix- und Füllmaterialien - Teil 3, Druckguss-Praxis, 5, 2006, S. 205-216.
 [8] Fuganti, A., Lorenzi, L., Hanssen, A. G., Langseth, M.: Aluminium foam for automotive applications, in: Banhart, J., Ashby, M. F., Fleck, N. A. (Hrsg.), Metal Foams and Porous Metal Structures, MIT Verlag, 1999.
 [9] Bartl, F., Dallner, R., Hartmann, M., Meyer, W.: Ein numerisches Werkstoffmodell für Mineralschaumverbundwerkstoffe für crashrelevante Anwendungen, in: Huber, O., Bicker, M. (Hrsg.), 3. Landshuter Leichtbau-Colloquium – Leichtbau von der Idee zum Produkt, LC Verlag, Landshut, 2007.
 [10] Kovacs, B.: Herstellung und Eigenschaften syntaktischer Metallschäume mit verschiedenen Matrix- und Füllmaterialien, Technische Universität Bergakademie Freiberg, eingereichte und genehmigte Dissertation, 2007.



[www.leichtbau-cluster.de/
Kompetenzentrum-Leichtbau.html](http://www.leichtbau-cluster.de/Kompetenzentrum-Leichtbau.html)

Prof. Dr.-Ing. Otto Huber, Hubert Klaus
 Dipl.-Ing. (FH), Kompetenzzentrum
 Leichtbau, Fachhochschule Landshut



Schüttdichte

Ermittlung der Schüttdichte

in Anlehnung an DIN EN 1097-3

Poraver® wird in ein Messgefäß mit 1 Liter Inhalt lose eingefüllt und überstehendes Prüfgut sorgfältig abgestrichen.

Die eingefüllte Prüfgutmenge wird anschließend gewogen. Als Schüttgewicht gilt der Quotient aus Gewicht und Volumen in kg/m^3 .

Standardkorngröße mm	0,1 - 0,3	0,25 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 4	4 - 8
Schüttgewicht kg/m^3	400 +/- 60	340 +/- 30	270 +/- 30	230 +/- 30	190 +/- 20	180 +/- 20

Sonderkorngröße mm	0,04 - 0,125	hochfest 0,2 - 0,7	0,5 - 1,25	8 - 16
Schüttgewicht kg/m^3	530 +/- 70	530 +/- 60	260 +/- 30	140 +/- 20

Abweichungen von der genannten DIN bestehen in folgenden Punkten:

- ▶ Es erfolgt keine Trocknung, da Poraver® prinzipiell trocken vorliegt.
- ▶ Eine Konditionierung auf die Ausgleichsfeuchte ist nicht erforderlich.
- ▶ Auch bei Korn größer als 4 mm weist das Messgefäß ein Volumen von 1 Liter auf.
- ▶ Je Probe wird ein Messwert angegeben.



alles kann
Die Kugel die



Kornrohichte

Ermittlung der Kornrohichte

in Anlehnung an DIN 4226

Für die Bestimmung der Kornrohichte (r) von Poraver® werden ca. 400 ml Material benötigt und eingewogen (m). Das Granulat wird in einen Zylinder mit 1 Liter Nenninhalt gegeben und 0,5 Liter Wasser eingefüllt. Eventuell vorhandene Luftbläschen werden durch Aufstoßen des Messzylinders entfernt. Ein Aufschwimmen des Granulates wird durch Einführen eines Stempels mit bekanntem Volumen (V_s) in den Messzylinder verhindert. Nach Ablesen des Gesamtvolumens (V) in cm^3 kann die Kornrohichte in kg/dm^3 nach folgender Formel berechnet werden.

Berechnungsformel

$$r = \frac{m}{V - (V_s + 500)}$$

Standardkorngröße mm	0,1 - 0,3	0,25 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 4	4 - 8
Kornrohichte kg/m^3	850 +/- 120	660 +/- 90	540 +/- 80	410 +/- 60	320 +/- 40	310 +/- 40

Sonderkorngröße mm	0,04 - 0,125	hochfest 0,2 - 0,7	0,5 - 1,25	8 - 16
Kornrohichte kg/m^3	*	850 +/- 120	530 +/- 70	270 +/- 40

* auf Anfrage

- Abweichungen von der genannten DIN bestehen in folgenden Punkten:
- ▶ Es erfolgt keine Trocknung, da Poraver® prinzipiell trocken vorliegt.
 - ▶ Diese Prüfmethode findet für Poraver®-Körnungen von 0,1 - 16 mm Anwendung.
 - ▶ Je Probe wird ein Messwert angegeben.



Die Kugel die alles kann

Druckfestigkeit

Ermittlung der Granulatfestigkeit

in Anlehnung an DIN EN 13055-1

Zur Bestimmung der Festigkeit wird 1 Liter Poraver® in einen definierten Stahlzylinder eingefüllt und verdichtet. Mit Hilfe eines aufgesetzten Stempels wird das Granulat in diesem Zylinder mittels einer Prüfpresse um 20 mm zusammengedrückt. Die dafür benötigte Kraft wird als die Kornfestigkeit in N/mm² angegeben.

Standardkorngröße mm	0,1 - 0,3	0,25 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 4	4 - 8
Kornfestigkeit in N/mm ²	2,8	2,6	2,0	1,6	1,4	1,2

Sonderkorngröße mm	0,04 - 0,125	hochfest 0,2 - 0,7	0,5 - 1,25	8 - 16
Kornfestigkeit in N/mm ²	-	6,5	1,9	0,6

Abweichungen von der genannten DIN bestehen in folgenden Punkten:

- c Unter- und Überkorn werden innerhalb der einzelnen Korngruppen nicht entfernt.
- c Der Kräfteintrag erfolgt mit konstanter Geschwindigkeit von 0,15 kN/s für alle Körnungen.
- c Je Probe wird ein Messwert angegeben.



alles kann
Die Kugel die

Wasseraufnahme

Ermittlung der Wasseraufnahme

nach DIN V 18004

Zur Bestimmung der Wasseraufnahme werden ca. 0,4 Liter Poraver® auf 0,1 g genau abgewogen.

Verfahren 1:

Für Körnungen kleiner 2 mm folgt eine Wasserlagerung in einer Filter-Nutsche, wobei der oberflächentrockene Zustand durch Absaugen des Wassers mittels einer Wasserstrahlpumpe hergestellt wird.

Verfahren 2:

Für Körnungen größer 2 mm erfolgt die Wasserlagerung in einem Pyknometer. Der oberflächentrockene Zustand wird hier durch anschließendes Abtupfen der Probe hergestellt.

Die Differenz aus der Masse des oberflächenfeuchten Zustandes und der trockenen Probe bezogen auf die trockene Probe ergibt die Wasseraufnahme W in M.-%.

Berechnungsformel

$$WA [M.-%] = (M_f - M_{tr}) / M_{tr}$$

$$WA [V.-%] = WA [Vol.-%] \times KRD$$

M_w - Masse des aufgenommenen Wassers [g]

M_{tr} - Masse der Probe trocken [g]

KRD - Kornrohddichte [kg/m³]

Standardkorngröße mm	0,1 - 0,3	0,25 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 4	4 - 8
Wasseraufnahme WA	35 M.-%	30 M.-%	25 M.-%	20 M.-%	15 M.-%	10 M.-%

Sonderkorngröße mm	0,04 - 0,125	hochfest 0,2 - 0,7	0,5 - 1,25	8 - 16
Wasseraufnahme WA	-	20 M.-%	22 M.-%	15 M.-%

Abweichungen der Prüfverfahren von der Norm bestehen in folgenden Punkten:

- ▶ Es erfolgt keine Trocknung, da Poraver® prinzipiell trocken vorliegt.
- ▶ Das Verfahren 1 findet für Körnungen bis 2 mm Anwendung, erst für Körnungen größer 2 mm findet Verfahren 2 Anwendung.
- ▶ Standardmäßig wird in beiden Verfahren eine Wasserlagerung von ca. 5 min angewendet.



Chemische Analyse

gemäß Prüfbericht 043077.1 der MPA Hannover

lfd. Nr.	Bestandteil	bezogen auf die bei 105°C getrocknete Probe	glühverlustfrei (%)	Analysenmethode
1	Glühverlust	0,3	–	DIN EN 1744-1
2	unlöslicher Rückstand	91,5	–	EN 196-2
3	CaO	8,9	9,0	atomemissions- spektral photometrisch
4	SiO ₂	71,7	71,9	
5	Al ₂ O ₃	2,5	2,5	
6	TiO ₂	0,1	0,1	
7	Fe ₂ O ₃	0,4	0,4	
8	Mn ₂ O ₃	0	0	
9	MgO	2,1	2,1	
10	K ₂ O	0,8	0,8	
11	Na ₂ O	13,2	13,2	
12	SO ₃	0,1	0,1	
13	Cl	–	–	argentometrisch
14	Rest	–0,1	–0,1	–
15	Summe 1, 3–14	100,0	100,0	–
16	Na ₂ O-Äquivalent	13,7	–	berechnet aus 10+11

Die Analyse wurde an einer auf eine Korngröße < 0,125 mm gemahlene und getrocknete Probe durchgeführt.



Die Kugel die alles kann

Wasseraufnahme

Ermittlung der Wasseraufnahme

nach DIN V 18004

Zur Bestimmung der Wasseraufnahme werden ca. 0,4 Liter Poraver® auf 0,1 g genau abgewogen.

Verfahren 1:

Für Körnungen kleiner 2 mm folgt eine Wasserlagerung in einer Filter-Nutsche, wobei der oberflächentrockene Zustand durch Absaugen des Wassers mittels einer Wasserstrahlpumpe hergestellt wird.

Verfahren 2:

Für Körnungen größer 2 mm erfolgt die Wasserlagerung in einem Pyknometer. Der oberflächentrockene Zustand wird hier durch anschließendes Abtupfen der Probe hergestellt.

Die Differenz aus der Masse des oberflächenfeuchten Zustandes und der trockenen Probe bezogen auf die trockene Probe ergibt die Wasseraufnahme W in M.-%.

Berechnungsformel

$$WA [M. \%] = (M_f - M_{tr}) / M_{tr}$$

$$WA [V. \%] = WA [Vol. \%] \times KRD$$

M_w - Masse des aufgenommenen Wassers [g]

M_{tr} - Masse der Probe trocken [g]

KRD - Kornrohddichte [kg/m³]

Standardkorngröße mm	0,1 - 0,3	0,25 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 4	4 - 8
Wasseraufnahme WA	35 M. %	30 M. %	25 M. %	20 M. %	15 M. %	10 M. %

Sonderkorngröße mm	0,04 - 0,125	0,2 - 0,7 ^{hochfest}	0,5 - 1,25	8 - 16
Wasseraufnahme WA	-	20 M. %	22 M. %	15 M. %

Abweichungen der Prüfverfahren von der Norm bestehen in folgenden Punkten:

- ▶ Es erfolgt keine Trocknung, da Poraver® prinzipiell trocken vorliegt.
- ▶ Das Verfahren 1 findet für Körnungen bis 2 mm Anwendung, erst für Körnungen größer 2 mm findet Verfahren 2 Anwendung.
- ▶ Standardmäßig wird in beiden Verfahren eine Wasserlagerung von ca. 5 min angewendet.



Die Kugel die alles kann

Chemische Analyse

gemäß Prüfbericht 043077.1 der MPA Hannover

lfd. Nr.	Bestandteil	bezogen auf die bei 105°C getrocknete Probe	glühverlustfrei (%)	Analysenmethode
1	Glühverlust	0,3	–	DIN EN 1744-1
2	unlöslicher Rückstand	91,5	–	EN 196-2
3	CaO	8,9	9,0	atomemissions- spektral photometrisch
4	SiO ₂	71,7	71,9	
5	Al ₂ O ₃	2,5	2,5	
6	TiO ₂	0,1	0,1	
7	Fe ₂ O ₃	0,4	0,4	
8	Mn ₂ O ₃	0	0	
9	MgO	2,1	2,1	
10	K ₂ O	0,8	0,8	
11	Na ₂ O	13,2	13,2	
12	SO ₃	0,1	0,1	
13	Cl	–	–	argentometrisch
14	Rest	–0,1	–0,1	–
15	Summe 1, 3–14	100,0	100,0	–
16	Na ₂ O-Äquivalent	13,7	–	berechnet aus 10+11

Die Analyse wurde an einer auf eine Korngröße < 0,125 mm gemahlene und getrocknete Probe durchgeführt.



Die Kugel die alles kann

Druckfestigkeit

Ermittlung der Granulatfestigkeit

in Anlehnung an DIN EN 13055-1

Zur Bestimmung der Festigkeit wird 1 Liter Poraver® in einen definierten Stahlzylinder eingefüllt und verdichtet. Mit Hilfe eines aufgesetzten Stempels wird das Granulat in diesem Zylinder mittels einer Prüfpresse um 20 mm zusammengedrückt. Die dafür benötigte Kraft wird als die Kornfestigkeit in N/mm² angegeben.

Standardkorngröße mm	0,1 - 0,3	0,25 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2	2 - 4	4 - 8
Kornfestigkeit in N/mm ²	2,8	2,6	2,0	1,6	1,4	1,2

Sonderkorngröße mm	0,04 - 0,125	hochfest 0,2 - 0,7	0,5 - 1,25	8 - 16
Kornfestigkeit in N/mm ²	*	6,5	1,9	0,6

* auf Anfrage

Abweichungen von der genannten DIN bestehen in folgenden Punkten:

- ▶ Unter- und Überkorn werden innerhalb der einzelnen Korngruppen nicht entfernt.
- ▶ Der Kräfteintrag erfolgt mit konstanter Geschwindigkeit von 0,15 kN/s für alle Körnungen.
- ▶ Je Probe wird ein Messwert angegeben.



Die Kugel die alles kann