

# Fachbeitrag Entwässerungssysteme

Autor: Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Elmar Lesch

## Gleichwertig oder besser?

## Hochlast-Abwasserrohrsysteme aus Polypropylen im Vergleich

**Bild 1:**



**Bild 1: Abwasserrohre aus PP-MD**

*Bildquelle: Magnaplast GmbH, Emstek*

## Erfüllen mineralisch veredelte PP-Rohre höhere Anforderungen als unveredelte?

### Ausgangssituation

In den letzten Jahren haben sich unterschiedliche Polypropylen- Abwasserrohrsysteme verstärkt am Markt durchgesetzt und damit zunehmend traditionelle Werkstoffe verdrängt. Entscheidend für die starke Marktdurchdringung des flexiblen Werkstoffs Polypropylen sind vor allem seine ausgezeichneten Eigenschaften wie hohe Festigkeit und Rissunempfindlichkeit. Neben den reinen PP-Rohren gibt es auch mineralisch veredelte Polymer-Verbundwerkstoffe aus PP-MD (Polypropylen mit mineralischen Additiven). In der Praxis wird oft aus Unkenntnis der Einsatz hochwertiger mineralischer Modifier zur Veredelung, wie beispielsweise bei modifizierten PP-Rohren, mit „minderwertigen“ Füllstoffen verwechselt. Diesbezüglich stellt sich für Planer und Auftraggeber bei der Rohrauswahl die Frage nach der Gleichwertigkeit von PP-Rohren aus reinem Polypropylen und einem mit mineralischem Modifier veredeltem Polypropylen, wie z.B. dem KG 2000. Für eine objektive Gesamtbeurteilung müssen sowohl die Qualitätseigenschaften des eingesetzten Modifiers berücksichtigt, als auch die praxisrelevanten Qualitäts- und Leistungskriterien bei Lagerung, Verlegung und Betrieb miteinander verglichen und nachgewiesen werden. Im folgenden Fachbeitrag werden die wesentlichen Kriterien für beide unterschiedlichen Rohrsysteme gegenübergestellt und beurteilt.

### Hochwertiger Modifizier oder „minderwertiger“ Füllstoff?

In der Praxis wird oft der Begriff Füllstoff pauschal mit dem Begriff „minderwertig“ gleichgesetzt und gleichzeitig mit hochwertigen mineralischen Additiven als Verstärkungsmaterial in einen Topf geworfen. Hier ist zunächst eine fachliche Richtigstellung dringend erforderlich.

Für einen Rohrhersteller gibt es in aller Regel drei Gründe, dem Polymer bei der Rohrherstellung mineralische Rohstoffe beizumischen:

- Verbesserung des Verarbeitungsverhaltens, wie z.B. eine Verkürzung der Prozesszeiten während der Extrusion.
- Reduzierung der Materialkosten durch Füllstoffzusatz. Dabei wird lediglich ein bestimmtes Volumen des Polymeren durch einen „minderwertigeren“ preiswerteren Füllstoff ersetzt. Dies erfolgt beispielsweise bei Kabelschutzrohren oder bei Kabelrezepturen. Hierbei werden in aller Regel keine verbesserten Fertigteileigenschaften erzielt.
- Verbesserung und Modifizierung spezifischer Fertigteileigenschaften wie bei Hochlast-Abwasser-Kanalrohrsystemen aus Polypropylen, wie z.B. beim Rohrsystem KG 2000 aus PP-MD. Die Abkürzung MD steht dabei für Modifizier (mineralisches Additiv).

Im Gegensatz zum reinen Polypropylenrohr werden beim Polymer-Verbundwerkstoff PP-MD dem Polymer hochwertige mineralische Modifizier in Form von Calciumcarbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) als Verstärkungsmaterial zur Veredelung in einem definierten Verhältnis beigemischt. Beim eingesetzten Modifizier handelt es sich um ein fein gemahlene, natürliches Calciumcarbonat nach Normvorgabe. Dank der hohen chemischen Reinheit des verwendeten  $\text{CaCO}_3$  kann ein möglicher negativer Einfluss auf die Alterung sicher ausgeschlossen werden. Mittels Coating bzw. der Oberflächenbeschichtung wird eine homogene Verteilung des Modifiers bzw. Dispergierbarkeit erreicht. Damit wird eine konstante Materialeigenschaft im gesamten Rohrbereich unterstützt, **siehe Bild 2**. Aufgrund der vollständigen Benetzung des hochwertigen Calciumcarbonates durch die Polymermoleküle werden Lunker und Fehlstellen vermieden. Um ein hohes und konstantes Qualitätsniveau dauerhaft zu gewährleisten, sind die Arten und Eigenschaften der zugelassenen mineralischen Additive sowie der maximale Gehaltsanteil für das PP-MD-Rohrsystem in der DIN EN 14758-1 genau vorgeschrieben.

### Eigenschaftsveränderungen mineralisch veredelter PP-Rohre

Die Verwendung von hochwertigen mineralischen Additiven in Polymeren führt im allgemeinen zu folgenden Eigenschaftsveränderungen:

- Erhöhung der Dichte
- Erhöhung des Elastizitäts-Moduls (E-Modul). Ein Maß für die Widerstandskraft bei Verformung, d.h. je größer der E-Modul, desto höher ist der Widerstand den der Kunststoff seiner Verformung entgegensetzt.
- Reduzierung des Kriechverhaltens (Der Kriechmodul ist ein Maß für die momentane Werkstoffsteifigkeit unter Belastung)
- Veränderung der Schlagzähigkeit je nach Teilchenform des Modifiers (Kugel-, Würfel-, Quader-, Plättchen oder Faserform) sowie ihrer Haftung an der Polymermatrix
- Bessere Wärmeformbeständigkeit und geringere Schwindung nach der Extrusion.

Für eine neutrale und praxisrelevante Beurteilung der Eigenschaftsveränderungen bei mineralisch veredelten PP-MD-Rohren im Vergleich zu reinen PP-Rohren wird ein definiertes Qualitätsniveau als Vergleichsbasis vorausgesetzt.

Entsprechende qualitative und quantitative Qualitätsanforderungen sind in der DIN EN 1852 „Kunststoff-Rohrleitungen für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen - Polypropylen

(PP)“ sowie in Anlehnung an diese Norm für die veredelten PP-MD-Rohre in der DIN EN 14758 festgelegt. Folgende Eigenschaftsverbesserungen werden durch die Veredelung bei PP-MD-Rohrsystemen erzielt.

#### **Erhöhung der Ringsteifigkeit**

Für die Einstufung der Hochlast-Abwasserrohre in die Ringsteifigkeitsklasse SN 8 nach DIN EN ISO 9969 ist eine Ringsteifigkeit von größer 8kN/m<sup>2</sup> nachzuweisen. Dieser Wert wird bei vergleichbaren Wanddicken vom reinen PP-Rohrsystem erreicht und beim mineralisch modifizierten KG 2000 aufgrund des höheren E-Moduls (abhängig vom Modifizieranteil) durch entsprechende Veredelung deutlich überschritten.

Aufgrund der hohen Rohrfestigkeit beim veredelten PP-MD-Rohr kann somit die Wanddicke je Rohrdimension entsprechend reduziert werden. Dies bewirkt bei gleicher Ringsteifigkeit der veredelten Kunststoffrohre entsprechende Polymer-Rohstoffeinsparungen und damit eine Reduzierung der Herstellkosten. Konkret bedeutet dies bei einer Rohrdimension von DN 315, dass die erforderliche minimale Wanddicke für SN 8 nach DIN EN 1852 (PP-Rohr) 13,5mm und die nach DIN EN 14758 (PP-MD-Rohr) 9,7mm beträgt, d.h. eine um 28% geringere Wanddicke beim veredelten KG 2000. Darüber hinaus kann für das PP-MD-Rohr eine rechnerisch ermittelte und durch MPA-Gutachten geprüfte Ringsteifigkeit von mehr als 10kN/m<sup>2</sup> nachgewiesen werden. Dies entspricht theoretisch einer Ringsteifigkeit SN 10, welche nach Norm aber nicht vorgesehen ist.

#### **Optimiertes Kriechverhalten**

Thermoplastische Kunststoffe wie Polypropylen zeigen unter statischer Belastung ein viskoelastisches Verhalten durch eine stetige Abnahme der Werkstoffsteifigkeit bei konstanter Belastung. Man spricht im allgemeinen Sprachgebrauch auch vom sogenannten „Kriechen“. Darunter ist eine zeit- und temperaturabhängige plastische Verformung des Materials unter Lastbeanspruchung zu verstehen. Durch die Veredelung eines PP-Rohres mit Calciumcarbonat wird ein verbessertes Kriechverhalten erreicht, welches ein zusätzliches Sicherheitspolster im Praxisbetrieb schafft. Das von der Norm geforderte Kriechverhältnis < 4 wird problemlos erreicht.

Insgesamt ermöglichen die aufgeführten Eigenschaftsverbesserungen beim veredelten PP-Rohrsystem im Vergleich zum reinen PP-Rohr eine wirtschaftlichere Herstellung durch Wanddickenreduzierung bei absolut vergleichbaren Qualitätsanforderungen.

#### **Normative Anforderungen**

Die hohen Qualitätsanforderungen für reine PP-Rohre nach DIN EN 1852 wurden bei der Erstellung einer eigenen Produktnorm für mineralisch veredelte Polypropylenrohre - der DIN EN 14758 - vollständig übernommen. Darüber hinaus sind die einsetzbaren Arten und Eigenschaften der mineralischen Additive in der neuen Produktnorm genau definiert, um ein dauerhaft hohes Qualitätsniveau zu sichern. Für die Verwendung von reinen oder mineralisch veredelten Polypropylenrohren zum Ableiten von Abwasser außerhalb von Gebäuden ist ein Übereinstimmungszertifikat (ÜZ) als Nachweis für die Einhaltung der jeweiligen technischen Regel, wie der DIN EN 1852 für reine PP-Rohre und die DIN EN 14758 für mineralisch veredelte PP-Rohre, durch eine anerkannte Zertifizierungsstelle erforderlich.

Bei Abweichung von der technischen Regel ist gemäß Bauregelliste A, Teil 1 eine Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (Z) vom DIBt in Berlin notwendig. Mit Veröffentlichung der neuen technischen Regel DIN EN 14758 in der Bauregelliste, voraussichtlich noch in 2008, entfällt die bisher für veredelte PP-Rohre nötige Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung.

### **Auf Herz und Nieren geprüft**

Schwerpunkt für eine dauerhafte Sicherung eines hohen Qualitätsniveaus ist die werkseigene Produktions- und Rohstoffqualitätskontrolle mit regelmäßiger Fremdüberwachung durch eine unabhängige Prüfstelle, wie sie von den KG 2000 Rohrerstellern durchgeführt werden.

Hierbei wird eine regelmäßige Produktionsablaufkontrolle von der Beschaffung (Prüfung und Überwachung der Rohstoffqualität und Produkteigenschaften), über die Prozesssteuerung und Produktprüfung vom Hersteller durchgeführt und dokumentiert.

Während der laufenden Produktion werden am fertigen Formteil oder am Rohr normierte Prüfungen vorgenommen. Die hohen Prüfanforderungen für die mechanischen und physikalischen Werkstoffeigenschaften gelten sowohl für die unveredelten als auch für die veredelten PP-Rohrsysteme.

Ein Beispiel für die Robustheit im praktischen Einsatz ist der Kugelfalltest nach DIN EN 744. Hier wird die Widerstandsfähigkeit gegen die Schlagbeanspruchung der Polypropylen-Abwasserrohre bei 0°C Prüftemperatur getestet, **siehe Bild 3**. Bei Rohrnennweiten größer/gleich DN 125 darf die Bruchrate bei einer Fallhöhe von 2m nicht größer als 10% sein. Um den erforderlichen statischen Belastungen im praktischen Einsatz gerecht zu werden, müssen die Hochlast-Abwasserrohrsysteme aus Polypropylen bestimmten Ringsteifigkeiten entsprechen.

Die Einhaltung der Ringsteifigkeit ist ganz entscheidend, denn eine Rohrverformung, aufgrund von hohen Erdlasten, kann zu Undichtigkeiten im Rohrverbindungsbereich führen.

Die entsprechende Prüfung der Ringsteifigkeit erfolgt nach DIN EN ISO 9969, **siehe Bild 4**.

In der nachstehenden **Tabelle 1** für Hochlast-Abwasserkanalrohrsysteme aus unveredeltem und veredeltem Polypropylen, sind die wichtigsten Qualitätskriterien und Prüfergebnisse, die für das Verhalten bei Transport, Lagerung, Verlegung und Betrieb & Wartung maßgeblich sind, im direkten Vergleich gegenübergestellt. Dabei kann man auf einem Blick die Gleichwertigkeit beider Abwasser-Rohrsysteme in Bezug auf die wichtigsten Qualitätskriterien erkennen, wobei das veredelte Rohrsystem KG 2000 kostengünstiger ist.

### **Anwendungsbereiche/ Einsatzgebiete**

Veredelte und unveredelte Polypropylenrohrsysteme aus PP und PP-MD eignen sich aufgrund ihrer hohen Festigkeit, Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit gleichermaßen für den Einsatz in der privaten Grundstücks- und kommunalen Entwässerung wie beispielsweise für Schmutz- und Regenwasserkanäle im Straßen-, Schienenwege- und Tunnelbau. Selbst für heiße und fetthaltige Abwässer aus Schlachthöfen, Großküchen und Industrie sind beide robusten Kunststoffrohrsysteme einsetzbar. Bei besonderen Anwendungsfällen, wie z.B. Zuleitungen zu Öl- und Benzinabscheidern im Tankstellenbereich, sind entsprechende öl- und benzinbeständige Dichtungen (aus Acrylnitril-Butadien-Kautschuk NBR) zu verwenden. Laut Herstellerangaben ermöglichen die absolut sicheren Dichtsysteme, wie z.B. das Dreifach-Dichtsystem beim KG 2000, den Einsatz des veredelten Polypropylen-Rohrsystems selbst im Grundwasserbereich bzw. in Wasserschutzzonen II und III. Beide Hochlast-Rohrsysteme sind aufgrund der hohen Ringsteifigkeit SN 8 für hohe Straßenverkehrslasten bis SLW 60 (Schwerlastfahrzeug bis 60 t) nach DIN 1229 zugelassen.

## **Fazit**

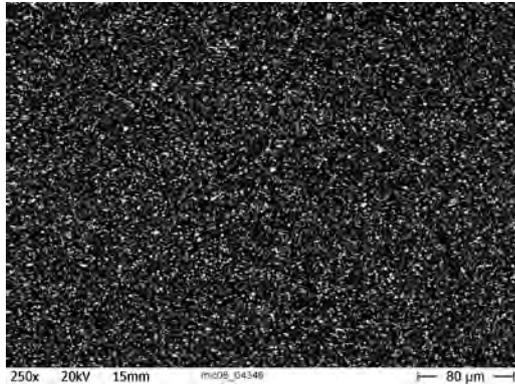
Alles im grünen Bereich! Veredelte Vollwand-Abwasser-Kanalrohrsysteme aus Polypropylen PP-MD, wie z.B. das praxisbewährte grünfarbige KG 2000, erfüllen die gleichen Qualitätsanforderungen, wie reine PP-Rohrsysteme und sind damit ohne Einschränkungen als absolut gleichwertig zu beurteilen.

Werden reine PP-Rohrsysteme nach DIN EN 1852 ausgeschrieben, können die entsprechend mineralisch veredelten PP-Rohrsysteme nach DIN EN 14758 trotz abweichender technischer Spezifikationen als gleichwertige Lösung angeboten werden und umgekehrt. Beide Abwasserrohrsysteme aus Polypropylen entsprechen in jeder Hinsicht den vergleichbaren technischen Mindestanforderungen bzw. dem geforderten Schutzniveau in Bezug auf Sicherheit, Dauerhaftigkeit und Gebrauchstauglichkeit.

Als Fazit für den Planer, Fachhändler, Bauausführenden und Bauherr kann festgehalten werden, dass es sich bei den mineralisch veredelten Kunststoffrohren aus PP-MD, wie z.B. KG 2000, um eine preiswerte Alternative zum reinen Polypropylen-Rohrsystem, ohne Qualitäts- oder Leistungseinschränkungen, handelt. Darüber hinaus führt der Einsatz von natürlichen Additiven zur Einsparung von kostbarem Erdöl- Ressourcen, als Ausgangsmaterial für Polypropylen.

## Bilder/ Tabellen

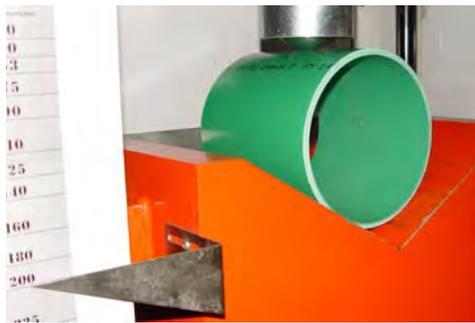
**Bild 2: Homogene und feinste Verteilung des Verstärkungsmaterials Calciumcarbonat**



**Bild: Probe von KG 2000 Rohr, REM-Aufnahme mit 250facher Vergrößerung mittels COMPO-Mode**

**Bildquelle: Omya R & T**

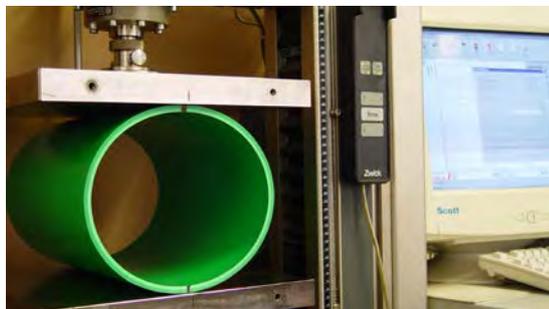
**Bild 3: Nachweis der hohen Bruchfestigkeit**



**Bild: Kugelfalltest nach DIN EN 744**

**Bildquelle: Magnaplast GmbH, Emstek**

**Bild 4: Nachweis der geforderten Ringsteifigkeit**



**Bild: Prüfung der Ringsteifigkeit nach DIN EN ISO 9969**

**Bildquelle: Magnaplast GmbH, Emstek**

## Vergleichstabelle 1:

### Hochlast-Abwasserkanalrohrsysteme aus Kunststoff PP-MD vs. PP

Quelle: LESCH CONSULT Unternehmensberatung, Würzburg

Vollwand-Kunststoff-Kanalrohrsystem für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen	Hochlast Abwasser-Kanalrohrsystem aus Kunststoff PP- MD (mit Verstärkungsmaterial) nach DIN EN 14758	Hochlast Abwasser-Kanalrohrsystem aus Kunststoff PP (ohne Verstärkungsmaterial) nach DIN EN 1852
Werkstoff Polypropylen	Kunststoff PP-MD - Polypropylen mit mineralischem Modifizier, d.h. mit hochwertigem Verstärkungsmaterial veredelt	Kunststoff PP - Polypropylen (unveredelt)
Hersteller-Produktbezeichnung	z. B. KG 2000	
Ringsteifigkeit nach DIN EN ISO 9969 (kN/m <sup>2</sup> )	<b>SN 8</b>	<b>SN 8</b>
Rechnerisch ermittelter Wert nach DIN EN ISO 9969 (kN/m <sup>2</sup> )	<b>&gt; 10kN/mm<sup>2</sup> (geprüft gemäß MPA-Gutachten) entspricht theoretisch einer Ringsteifigkeit SN 10</b>	<b>10kN/mm<sup>2</sup> (geprüft) entspricht theoretisch einer Ringsteifigkeit SN 10</b>
Profilrohrreihe nach DIN 16961	<b>5</b>	
Ringsteifigkeit nach DIN 16961 (kN/m <sup>2</sup> )	<b>&gt; 31,5</b>	
<b>1. Verhalten bei Lagerung</b>		
Schutz vor Alterung durch UV-Licht	<input checked="" type="checkbox"/>	
<b>2. Verhalten bei der Verlegung/ Einbettung</b>		
Verformungswiderstand (E-Modul in N/mm <sup>2</sup> oder MPa)	<b>bis 3.600 MPa (abhängig von der Veredelung)</b>	<b>1.700 MPa</b>
Schlagfestigkeit	<input checked="" type="checkbox"/> robustes Verhalten bei mechanischer Beanspruchung, wie z.B. Hochdruckspülung	<input checked="" type="checkbox"/> robustes Verhalten bei mechanischer Beanspruchung, wie z.B. Hochdruckspülung
Einsatz von Verfüllmaterial nach DIN EN 1610, d.h. auch kostengünstiger Ziegelbruch oder Recyclingmaterial	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Einbau im Winter, auch bei tieferen Temperaturen möglich, unter Berücksichtigung der DIN EN 1610	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>3. Verhalten im Betrieb &amp; Wartung</b>		
Hohe Oberflächengüte - glatte Oberfläche der Rohrrinnenschicht (keine Inkrustationen!)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Chemische Beständigkeit (pH2 - pH12) gegenüber aggressiven Medien gemäß DIN 8078 Beiblatt1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Hochdruckspülbarkeit	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Lebensdauer > 100Jahre	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Dauerhaft sicheres Dichtsystem	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Wartungsarm	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

<b>Vollwand-Kunststoff-Kanalrohrsystem für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen</b>	<b>Hochlast Abwasser-Kanalrohrsystem aus Kunststoff PP- MD (mit Verstärkungsmaterial) nach DIN EN 14758</b>	<b>Hochlast Abwasser-Kanalrohrsystem aus Kunststoff PP (ohne Verstärkungsmaterial) nach DIN EN 1852</b>
<b>4. Qualitäts- und Konformitätsnachweis</b>		
Einhaltung der Anforderungskriterien nach Norm	☑ Übereinstimmung mit den hohen Qualitätsanforderungen der DIN EN 14758 sowie in Anlehnung an die DIN EN 1852	☑ Übereinstimmung mit den hohen Qualitätsanforderungen der DIN EN 1852
<b>5. Beurteilung der Gleichwertigkeit</b>	gleichwertig aber kostengünstiger (entspricht dem Stand der Technik)	<b>gleichwertig (entspricht dem Stand der Technik)</b>

### Literaturquellen:

<b>Nr.</b>	<b>Titel</b>	<b>Verfasser/ Bezugsquelle</b>
(1)	DIN EN 1852 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen - Polypropylen (PP)“, Teil 1, 2007	Beuth, Berlin
(2)	DIN EN 14758 „Kunststoff-Rohrleitungssysteme für erdverlegte Abwasserkanäle und -leitungen - Polypropylen mit mineralischen Additiven (PP-MD) - Teil 1: Anforderungen an Rohre, Formstücke und das Rohrleitungssystem; 2006	Beuth, Berlin
(3)	DIN EN ISO 9969 „Thermoplastische Rohre - Bestimmung der Ringsteifigkeit“, 2008	Beuth, Berlin
(4)	Technische Informationen Kunststoffe, „Mineralische Zusatzstoffe für die Kunststoffindustrie“ 2001	Technology Plastics, Omya AG, Oftringen (Schweiz)
(5)	Technische Informationen Kunststoffe, „Physikalische und chemische Aspekte mineralischer Zusatzstoffe für den Kunststoffverarbeiter“ 2004	Technology Plastics, Omya AG, Oftringen (Schweiz)
(6)	Vergleichstabelle Hochlast-Abwasserkanalrohrsysteme aus Kunststoff PP-MD vs. PP, 2008	LESCH CONSULT Unternehmensberatung, Würzburg

## Verantwortlicher Redakteur

Ihr Ansprechpartner:



Dipl.-Ing. Kunststofftechnik, Dipl.-Wirtschaftsing. (FH) Elmar Lesch



Lesch Consult  
Mönchsgartenweg 1B  
97084 Würzburg

Tel. 0931-619 34 68

E-Mail: [lesch@lesch-consult.de](mailto:lesch@lesch-consult.de)

Internet: [www.lesch-consult.de](http://www.lesch-consult.de)

### Zur übersichtlicheren Darstellung erfolgte eine Untergliederung der Füllstoffe in Strukturgruppen.

- **Isotrope\* Füllstoffe (Kreide = Calciumcarbonat)**, Calcit, Schwerspat, calc. Kaolin, Kieselgur, Quarzmehl)
  - Füllstoffe mit weitgehend gleichmäßiger dreidimensionaler Partikelstruktur.
- **Anisotrope Füllstoffe** (Talkum, Kaolin, Glimmer, Wollastonit)
  - Füllstoffe mit faseriger oder plättchenförmiger (lamellarer) Struktur.
- **Neuburger Kieselerde** (Sillitin, Sillikolloid und Aktisil)
  - bildet eine eigene Gruppe, kann aber den isotropen Füllstoffen zugeordnet werden, da sich der plättchenförmige Kaolin durch die zwischengelagerten Kieselsäureteilchen nicht ausrichten kann!

*\*isotrop: in alle Richtungen gleiche Eigenschaften besitzend*

*\*anisotrop: bezeichnet die Richtungsabhängigkeit einer Eigenschaft*

Praxisbeispiel (1): Eigenschaftsverbesserung durch Zusatzstoffe

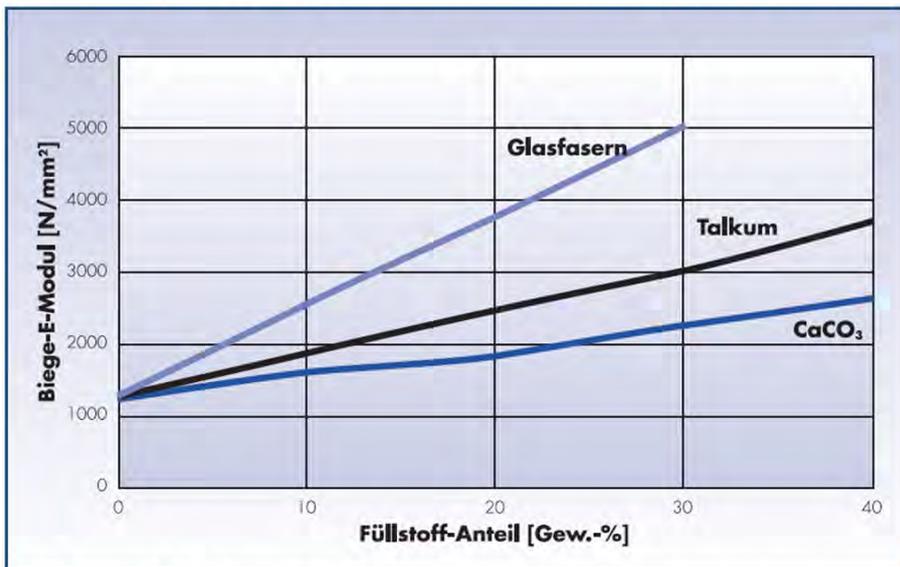
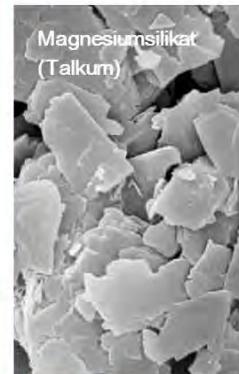


Bild: Biege-E-Modul von Polypropylen-Verbundwerkstoffe in Abhängigkeit von Gehalt und Formfaktor des Zusatzstoffes

Quelle: Omya International AG, Oftringen (Schweiz)

Praxisbeispiel (2): Eigenschaftsverbesserung durch Zusatzstoffe

Form	Kugel	Würfel	Quader	Plättchen	Faser
Aspect Ratio	1	-1	1.4-4	5-100	>10
Beispiele	Glaskugeln Silikat-kugeln	CaCO <sub>3</sub> CaSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub> BaSO <sub>4</sub>	Glimmer Talkum Kaolin Graphit Al(OH) <sub>3</sub>	Glasfasern Asbest Wollastonit Cellulose-fasern C-Fasern
Aspect Ratio: Querschnittsverhältnis L/B					



REM-Aufnahme von Talkum, 5000-fache Vergrößerung.

Verbesserung des E- Moduls (AR 1 - 4)	Verbesserung der Zug- & Reißfestigkeit, E-Modul (AR 5 – 100)
---------------------------------------	--

Bild: Teilchenformen von Zusatzstoffen für Kunststoffe

Quelle: Omya International AG, Oltrigen (Schweiz)