

Strahlenvernetzung

Kunststoffveredelung durch Bestrahlung



BGS

IDEEN PLUS ENERGIE



BGS: An drei Standorten optimieren wir Ihre Produkte.

Strahlenvernetzung bei BGS

Was wir tun, machen wir mit Energie

Die Behandlung von Kunststoffen mit hochenergetischer Elektronen- oder Gammastrahlung ist die kostengünstige Alternative zu teuren Hochleistungspolymeren. BGS Beta-Gamma-Service GmbH & Co. KG hat als Pionier auf diesem Gebiet mehr als 25 Jahre Erfahrung in der industriellen Anwendung von Beta- und Gammastrahlung. Wir sind ein gefragter Partner unterschiedlichster Branchen, wenn es darum geht, neue Herausforderungen zu meistern.

Die Strahlenvernetzung verleiht preiswerten Massenkunststoffen und technischen Kunststoffen die thermischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften von Hochleistungskunststoffen. Und das, ohne in den Produktionsprozess einzugreifen: Die Strahlenvernetzung erfolgt nach der Formgebung als letzter Verarbeitungsschritt in der Prozesskette – auf dem Weg zum Endabnehmer. Die Produkte können zum Bestrahlen als Strangmaterial auf Trommeln, lose in Gitterboxen oder – bei Spritzgussteilen – als Schüttgut in Kartons verpackt angeliefert werden.

Die Strahlenvernetzung zeichnet sich durch hohe Prozesssicherheit sowie Reproduzierbarkeit aus und erspart kunststoffverarbeitenden Betrieben hohe Investitionen. BGS erbringt mit jahrzehntelangem Know-how und hochmodernen Bestrahlungsanlagen für jeden Kunden die optimale Dienstleistung. Wir helfen dabei, den Einsatzbereich und damit die Wertschöpfung von Kunststoffprodukten zu steigern – etwa durch deren erhöhte Hitze- und Abriebbeständigkeit.

Vertrauen Sie, wenn es um die Optimierung Ihrer Produkte mit hochenergetischer Strahlung geht, einem innovativen Unternehmen mit zertifizierter Qualität: BGS.

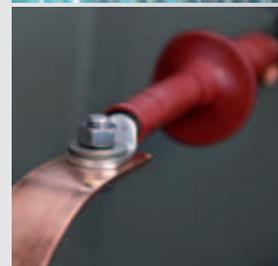
BGS – Ihr Partner mit langjähriger Erfahrung in der Spezialbehandlung sensibler Güter

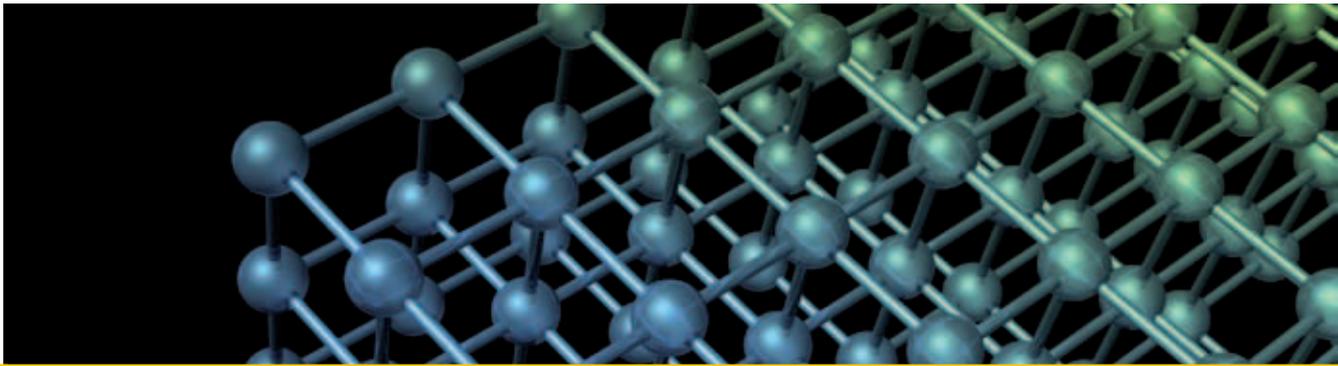
Der umfassende Service von BGS ist Ausdruck des Bestrebens, ein „Rundum-sorglos-Paket“ zu bieten – bei welcher speziellen Aufgabenstellung auch immer:

- Wir integrieren unsere Dienstleistungen kosten- und ressourcenschonend in Ihren Produktionsprozess: Sie senden uns Ihre Ware zur Bestrahlung. Diese erreicht anschließend direkt ihren definitiven Bestimmungsort.
- Wir unterstützen Sie bereits in der Entwicklungsphase, um Ihre Produkte bestmöglich auf nachfolgende Behandlungen abzustimmen.
- Unsere dokumentierte Qualität gibt Ihnen zertifizierte Sicherheit.

■ Inhalt

Strahlenvernetzung von Werkstoffen	4
Eigenschaftsveränderungen	6
Thermische Eigenschaftsverbesserungen	6
Mechanische Eigenschaftsverbesserungen	8
Tribologische Eigenschaftsverbesserungen	10
Chemische Eigenschaftsverbesserungen	12
Anwendungen	14
Elektro	14
Kabel/Leitungen	16
Automobil	18
Rohre/Schläuche	20
Schrumpfprodukte	22
Sonstige	23
Recycling	25





Strahlenvernetzung von Werkstoffen

Das Prinzip

Die Strahlenvernetzung beruht auf der Wirkung hoch-energetischer Beta- und Gammastrahlen. Der Kunststoff wird einer exakt festgelegten Dosis an Gamma- oder Betastrahlen ausgesetzt und so die Vernetzung der Kunststoffmoleküle präzise gesteuert. Die Materialeigenschaften werden im Voraus genau definiert und durch die punktgenaue Bestrahlung erreicht.

Bei der Vernetzung absorbiert das Material die Strahlungsenergie. Chemische Bindungen werden gespalten, es entstehen freie Radikale. Diese gehen im nächsten Schritt die gewünschte Molekularverbindung ein. So entsteht ein extrem belastbares „Netzwerk“. Die Modifikation findet am fertigen Kunststoffprodukt statt. Durch Abschirmung lässt sich der Vernetzungsgrad sogar innerhalb eines Formteils variieren. Auch die Bestrahlung von Rohstoffen ist möglich.

Strahlenvernetzung eignet sich grundsätzlich für Kunststoffe, bei denen auch die chemische Vernetzung mittels radikalischer Initiatoren (z. B. Peroxiden) möglich ist. Anders als bei den chemischen Vernetzungsverfahren findet die Strahlenvernetzung bei niedrigen Temperaturen statt. Mengemäßig am bedeutendsten ist die Vernetzung von Polyethylen (PE), Polyamid (PA), Polybutylenterephthalat (PBT) und Polyvinylchlorid (PVC). Die Vernetzung von thermoplastischen Elastomeren (TPE) gewinnt zunehmend an Bedeutung, auch Polypropylen (PP) lässt sich strahlenvernetzen.

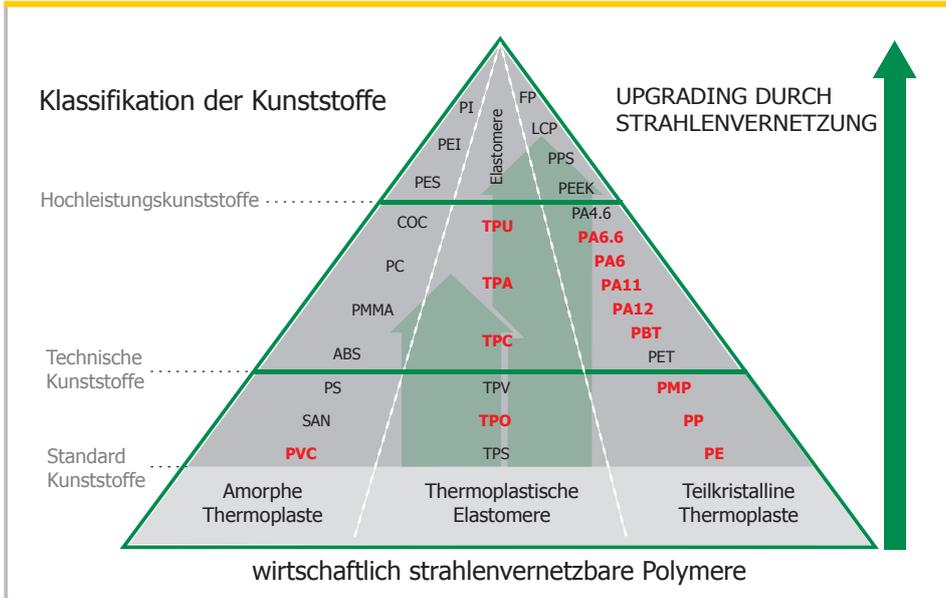
Die Wirkweise der Strahlenvernetzung ist der seit Langem genutzten Vulkanisation bei Kautschuken vergleichbar. Als physikalisches Verfahren hat die Bestrahlung den Vorteil, dass Effekte bereits bei niedrigen Temperaturen erzielt werden und sich die Ergebnisse exakt und ohne qualitative Schwankungen erreichen lassen. BGS trägt mit der bedarfsgenau abgestimmten Anwendung von Beta- oder Gammastrahlen dazu bei, die Werkstoffeigenschaften von Kunststoffen zu optimieren und neue Anwendungsbereiche für etablierte Rohstoffe zu eröffnen.

Da sich die Vernetzung als externer Schritt an den Produktionsprozess beim Hersteller anschließt, wird die optimale Prozessgeschwindigkeit nicht beeinträchtigt. Als weiterer Vorteil der nachgelagerten Bestrahlung fertiger Spritzgussteile lassen sich anfallende Kunststoffreste, beispielsweise Angussstücke, problemlos in den Produktionsprozess zurückführen.

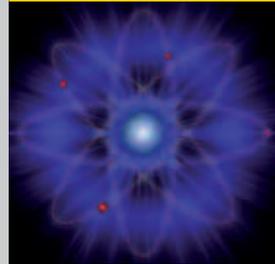
Vorteile der Strahlenvernetzung:

- Kostenersparnis bei Rohstoffen durch Verzicht auf teure Hochleistungskunststoffe
- neue Eigenschaften und damit Einsatzgebiete für bestimmte Rohstoffe
- exakt reproduzierbares Verfahren
- schnelles Verfahren
- Minimierung von Produktionsabfällen

„Upgrading“ durch Strahlenvernetzung



Strahlenvernetzung
von Werkstoffen



Aus Masse wird Klasse

„Upgrading“ für Kunststoffe: Die Strahlenvernetzung verleiht preiswerten Massenkunststoffen oder technischen Kunststoffen die mechanischen, thermischen und chemischen Eigenschaften von Hochleistungskunststoffen. Nach der Strahlenvernetzung können Kunststoffe unter Bedingungen eingesetzt werden, denen sie ansonsten nicht standhalten würden.

Die Strahlenvernetzung findet grundsätzlich nach der Formgebung statt – das Spritzgießen, Extrudieren oder Blasformen nimmt wie gewohnt der Hersteller mit den üblichen Rohstoffen vor. Dementsprechend fallen keine Kosten für die Anschaffung neuer Werkzeuge oder Maschinen an. Die Strahlenvernetzung erfolgt bei Raumtemperatur und löst als physikalisches Verfahren die Vernetzungsreaktionen über Radikale im Polymer aus.

Welches Eigenschaftsspektrum sich erzielen lässt, hängt vom jeweiligen Basispolymer ab. Für einige Kunststoffe sind Vernetzungsverstärker erforderlich. Die Zugabe der Vernetzungshilfen kann bei der Herstellung des Kunststoffgranulates (Compoundieren) oder unmittelbar vor der Formgebung (z. B. Masterbatches) erfolgen. Die Additive ermöglichen oder verbessern die Vernetzbarkeit und können die Eigenschaftsprofile des Kunststoffs weiter optimieren. Zum Einsatz kommen die aus der Kunststoff- und Kautschukindustrie bekannten Vernetzungshilfen.

Zur Beurteilung der erzielten Eigenschaftsveränderungen kann BGS im Anschluss an die Bestrahlung spezielle Kunststoffprüfungen vornehmen.

Strahlenvernetzbar Polymere

	Bezeichnung	Vernetzungsadditiv	
		ja	nein
Thermoplaste	Polyethylen PE (LLDPE/LDPE/MDPE/HDPE/UHMWPE)		x
	Polypropylen PP (Homo-/Copolymere)	x	
	Polyamide PA (Polyamid 6/6.6/11/12)	x	
	Polybutylenterephthalat PBT	x	
	Polyvinylidenfluorid PVDF	x	
	Ethylen-Tetrafluorethylen ETFE	x	
	Polyvinylchlorid PVC (nur Weich-PVC)	x	
	Ethylvinylacetat EVA		x
	Chloriertes Polyethylen (PE-C)		x
Thermoplastische Elastomere	Polyetherester Blockcopolymer (TPE-E)		x
	Polyurethan Blockcopolymer (TPE-U)	x	
	Polyether Blockamid (TPE-A)		x
Elastomere	Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR)	x	
	Silikonkautschuk		x

Eigenschaftsveränderungen

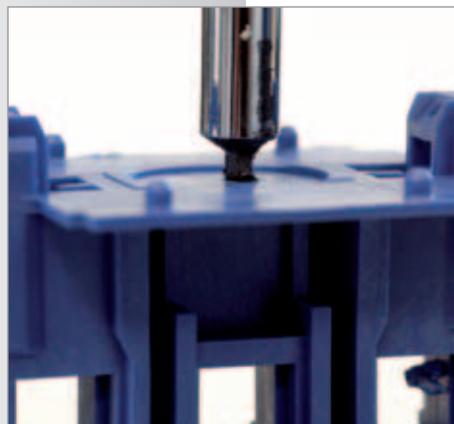
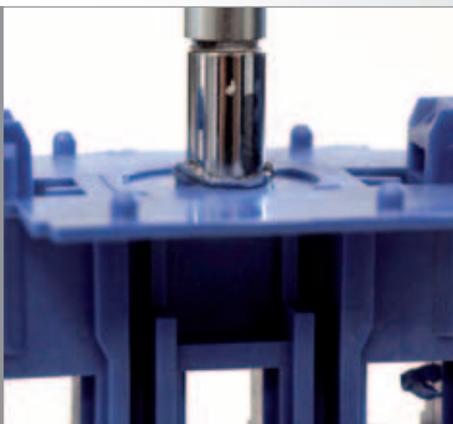
■ Thermische Eigenschaftsverbesserungen

Thermoplastische Materialien werden bei der Strahlenvernetzung thermoelastisch. Durch die Vernetzungsreaktion entsteht ein Netzwerk, das die Fließfähigkeit des Kunststoffs unterbindet – bei höheren Temperaturen verhält sich das Material wie ein Elastomer. Die verbesserte Temperaturbeständigkeit und die bei erhöhten Temperaturen deutlich verbesserten mechanischen Kennwerte sind wesentliche Kennzeichen der Strahlenvernetzung.

Demnach fallen bei unvernetztem PA-6.6 die Moduln oberhalb der Kristallitschmelztemperatur praktisch auf Null. Dagegen gewährleisten die wesentlich höheren Moduln eines vernetzten Kunststoffes eine ausreichend hohe Festigkeit auch bei Temperaturen von mehr als 350 °C. Zusätzlich verringert sich der thermische Ausdehnungskoeffizient. Ein vernetztes PA-6.6 weist einen um 20 °C verbesserten Temperaturindex auf (5.000 h; 60 % Abfall der Bruchdehnung).

Thermische Eigenschaftsverbesserungen durch Bestrahlung:

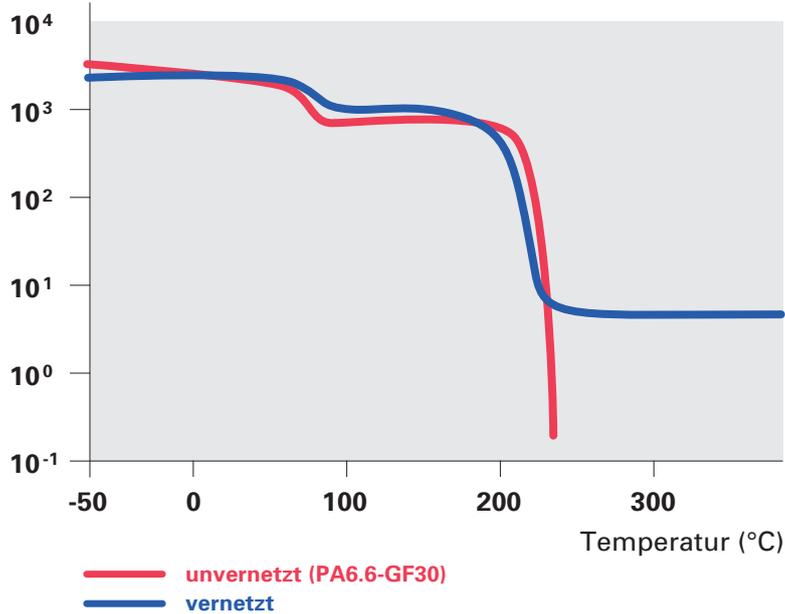
- Verbesserung der Wärmeformbeständigkeit
- gezielte Einstellung der Wärmedehnung (Hot-Set/ Hot-Modulus)
- Verbesserung des Druck-/ Zugverformungsrestes
- Erhöhung der Glühdrahtfestigkeit
- Erhöhung der Alterungsbeständigkeit



Überprüfung der Wärmeformbeständigkeit von vernetzten Bauteilen durch den LötKolbentest (li.: unvernetzt, re.: vernetzt, Material: PA-6 GF 30, Gewicht: 1.000 g, Temperatur: 350 °C).

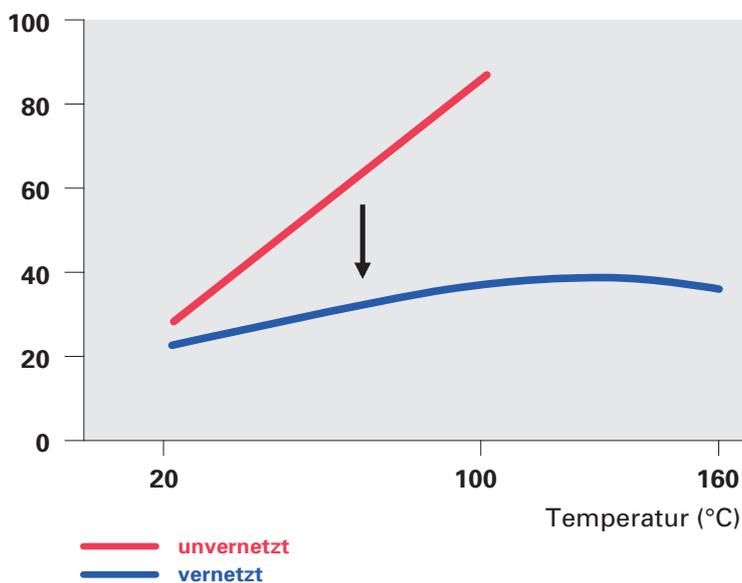
Wärmeformbeständigkeit von strahlenvernetztem PA-6.6

Torsionsmodul G'
(N/mm²)

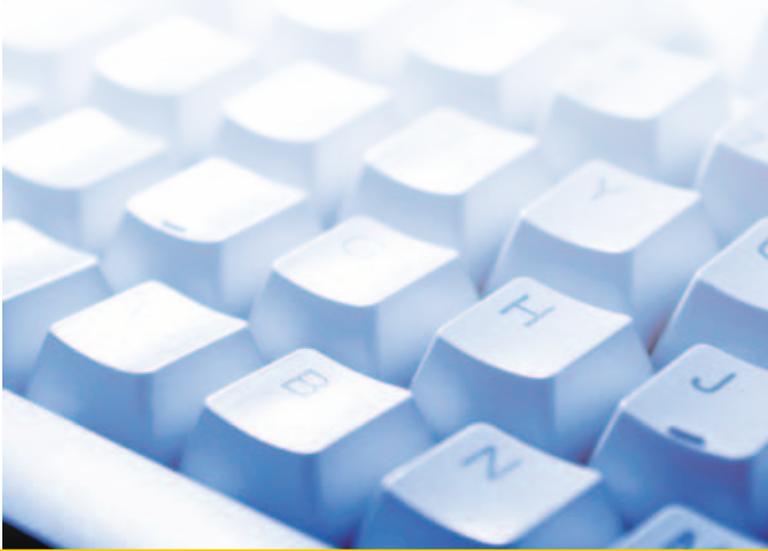


Druckverformungsrest von strahlenvernetztem TPE

Druckverformungs-
rest (%)



Die Stärken eines vernetzten thermoplastischen Elastomers zeigen sich bei höheren Temperaturen deutlich. Strahlenvernetzbare TPE-Compounds liefern selbst bei 160 °C noch gute Druckverformungswerte und liegen somit im Eigenschaftsprofil über weite Strecken gleichauf mit klassischen Elastomeren. Sie eignen sich hervorragend als Dichtungsmaterial von Teilen, die im Zwei-Komponenten-Spritzgussverfahren hergestellt werden. Die nachgeschaltete Strahlenvernetzung verbessert bei geeigneten Gehäusewerkstoffen sowohl die Eigenschaften des eingespritzten TPE als auch die des Formteils deutlich.



Eigenschaftsveränderungen

■ Mechanische Eigenschaftsverbesserungen

Die Strahlenvernetzung verbessert die mechanische Festigkeit verstärkter Kunststoffe schon bei Raumtemperatur. Hierzu trägt vor allem die bessere Ankopplung der Füllstoffe an die Polymermatrix bei, die durch eine Aktivierung der Grenzflächen verursacht wird.

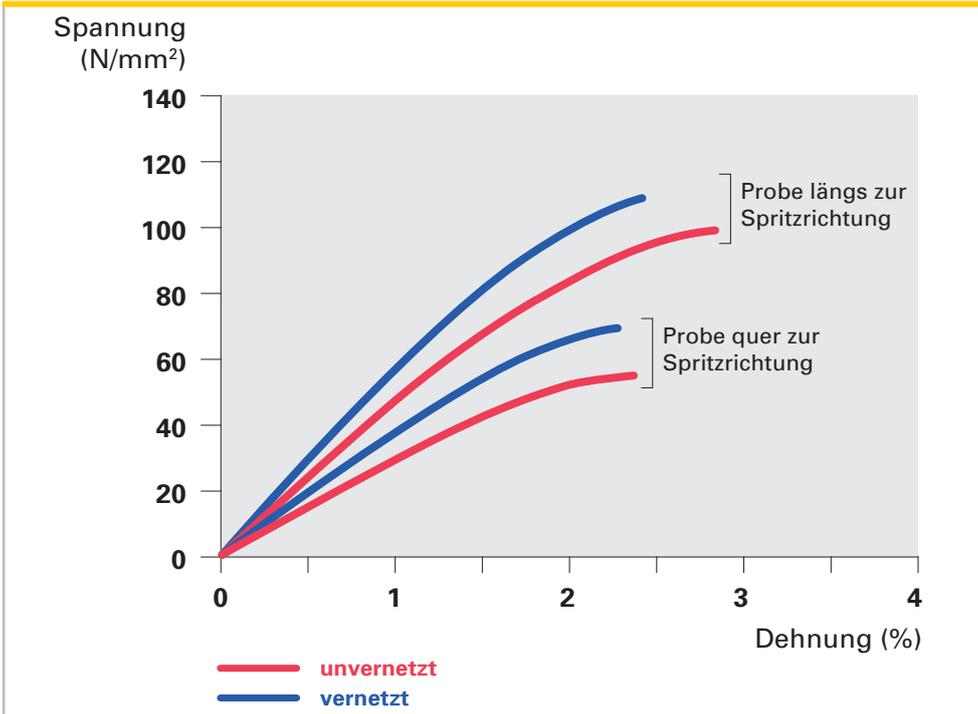
Auch die Schweißnahtfestigkeit an vibrationsgeschweißten Bauteilen sowie die Verbundfestigkeit zwischen Materialkombinationen (z. B. Polymer/Polymer und Polymer/Metall) werden durch die Strahlenvernetzung erhöht.

Mechanische Eigenschaftsverbesserungen durch Bestrahlung:

- Anstieg der Moduln
- Reduktion des Kaltflusses (Kriechen)
- Verbesserung der Wechselbiegefestigkeit
- Erhöhung der Bindehaftfestigkeit
- Verbesserung des Zeitstandverhaltens unter Innendruck



Erhöhung der Festigkeit von PA-6 GF 30

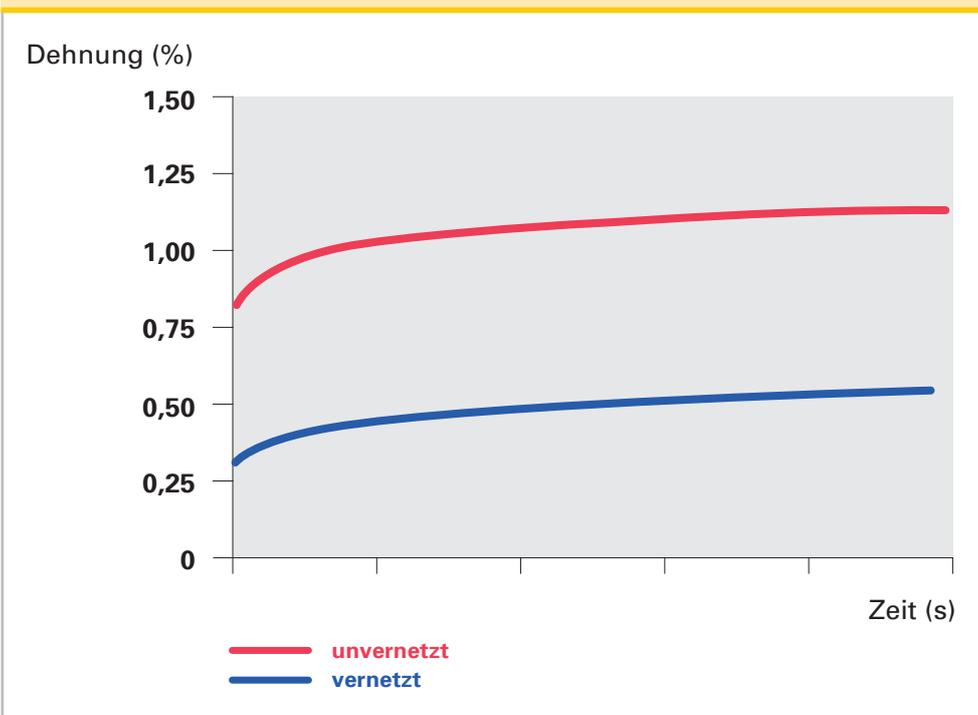


Erhöhung der Faser-Matrix-Anhaftung und Festigkeit bei PA-6 GF 30 (oben unvernetzt, unten vernetzt).



Besonders bei glasfaserverstärktem Polyamid verbessert die Bestrahlung das mechanische Verhalten erheblich. Schon bei Raumtemperatur haften Glasfaser und Polymermatrix besser an und verleihen dem Material eine deutlich höhere Festigkeit. Der Grund: die übergreifende Vernetzung an den Grenzflächen zwischen Glasfaser-Schlichte und Kunststoffmatrix.

Kriechverhalten PA-6 GF 30 bei 100 °C und 15 N/mm²



Werden Kunststoffe mechanisch belastet, neigen sie zum Kriechen. Die Vorspannungskraft und damit die Funktionalität der Kunststoffe gehen verloren. Die Strahlenvernetzung verringert die Kriechneigung von Kunststoffen. Dies ist anhand der Zeitdehnlänge des vernetzten PA-6 GF 30 gut erkennbar.



Eigenschaftsveränderungen

■ Tribologische Eigenschaftsverbesserungen

Ein wichtiges Auswahlkriterium für Maschinenelemente aus Kunststoff ist deren Reibungs- und Verschleißverhalten. Bei immer höheren Einsatztemperaturen von Gleitlagern und Zahnrädern verkürzen Reibung und Verschleiß ihre Lebensdauer. In der Regel weisen die herstellungsbedingt in der Oberfläche der Kunststoffteile erhöhten amorphen Anteile ein ungünstiges Verschleißverhalten auf. Gerade die amorphen Bereiche sind besonders gut strahlenvernetzbar, wodurch sich ihr Verschleißverhalten dramatisch verbessern lässt. Bei Polyamiden beispielsweise kann die Strahlenvernetzung die Dauereinsatztemperatur um bis zu 100 °C erhöhen und ein Aufschmelzen verhindern. Bei vernetzten Teilen aus Polyamid-6.6 lassen sich wesentlich höhere Gleitgeschwindigkeiten bei gleichzeitig reduziertem Verschleißkoeffizienten erzielen.

Tribologische Eigenschaftsverbesserungen durch Bestrahlung:

- höhere Verschleißfestigkeit
- beständiger gegen Reibungswärme: kein Schmelzen der Gleitfläche
- erhöhte Maßhaltigkeit
- vielfältige Schmiermöglichkeiten
- höhere mechanische Belastbarkeit (übertragene Momente/Zahnräder)

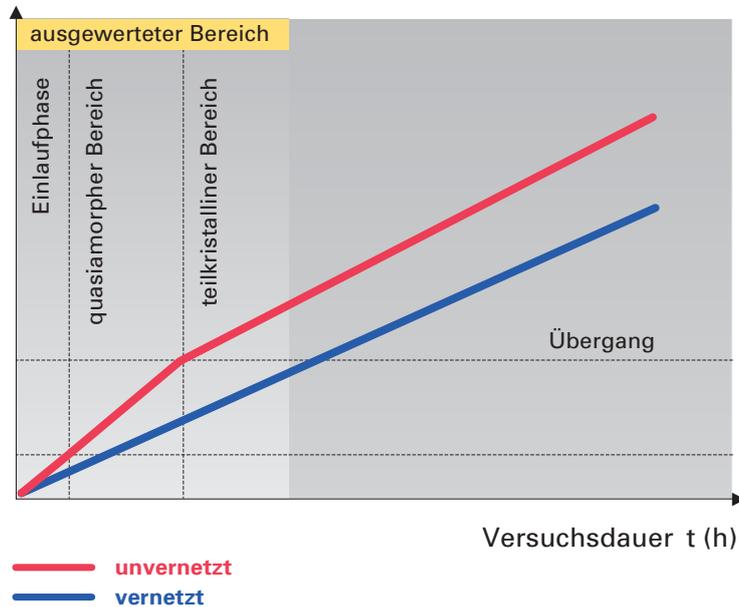




Linearer Verschleiß von PA-6.6-Proben in Abhängigkeit von der Versuchsdauer

Linearer Verschleiß
 w (μm)

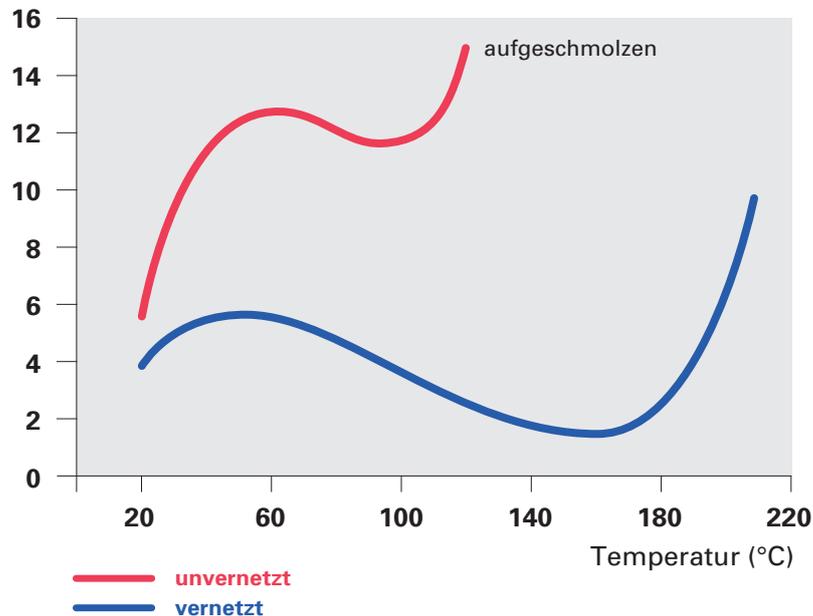
Vernetzte und unvernetzte Polyamide unterscheiden sich deutlich im Verschleißverhalten. Die vernetzten Polyamide zeigen über die gesamte Versuchsdauer einen gleichmäßigen Verschleiß, der insgesamt geringer ist. Die quasiamorphen Randbereiche der unvernetzten Polyamide weisen einen geringeren Widerstand auf, sie verschleifen schneller als die teilkristallinen Bereiche.



Einfluss der Umgebungstemperatur auf den Verschleißkoeffizienten von PA-6.6

Verschleißkoeffizient
($10^{-6} \text{ mm}^3 / \text{Nm}$)

Die Einsatzgrenze von unvernetztem Polyamid-6.6 liegt unter tribologischer Belastung bei 120°C . Die Strahlenvernetzung verhindert das Aufschmelzen und erhöht die Dauereinsatztemperatur um bis zu 100°C bei gleichzeitig reduziertem Verschleißkoeffizienten. Durch die höheren thermischen Einsatzgrenzen erreicht die Verschleißrate ihr Minimum erst bei ca. 170°C .





Eigenschaftsveränderungen

■ Chemische Eigenschaftsverbesserungen

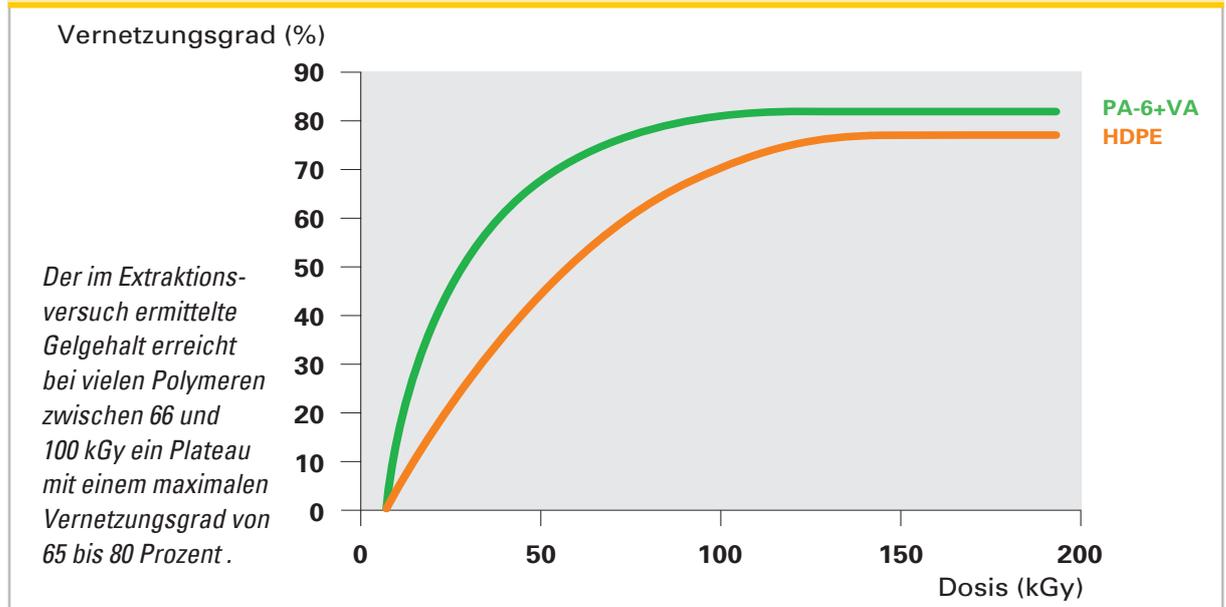
Die Vernetzung von Kunststoffen verringert die Löslichkeit bzw. die Quellung durch Lösungsmittel deutlich. Dies wird beispielsweise zur Bestimmung des Vernetzungsgrads durch den Extraktionsversuch genutzt. Der so ermittelte Gel-Wert korreliert direkt mit dem Vernetzungsgrad: Nimmt der Vernetzungsgrad zu, sinkt gleichzeitig der Quellungsgrad.

Gleichermaßen verbessert die Strahlenvernetzung die Beständigkeit gegen aggressive Medien (z. B. Bremsflüssigkeit) und Hydrolyse. Dies zeigt sich beispielsweise in verbesserter Spannungsrisssbeständigkeit und deutlich reduziertem Festigkeitsabfall nach Einwirkung von Lösungsmitteln.

Chemische Eigenschaftsverbesserungen durch Bestrahlung:

- Verminderung der Löslichkeit
- Verbesserung des Quellverhaltens
- Erhöhung der Spannungsrisssbeständigkeit
- Verbesserung der Hydrolyse- und Ölbeständigkeit

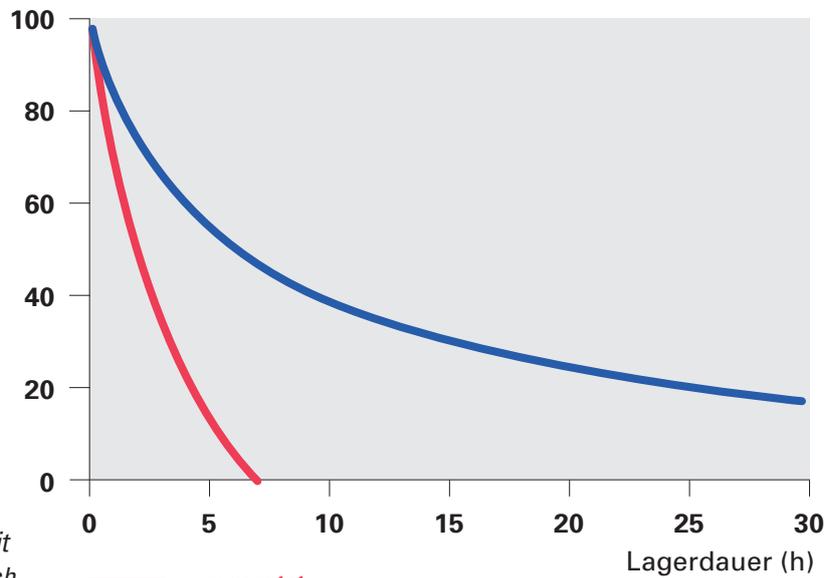
Gelgehalt (Vernetzungsgrad) als Funktion der Dosis





Hydrolysebeständigkeit von TPE-U in siedendem Wasser

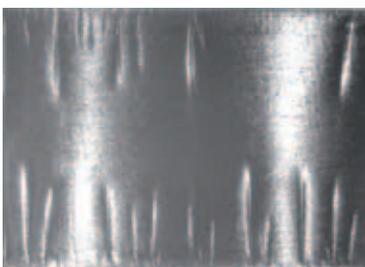
Zugfestigkeit
(% Ausgangswert)



Strahlenvernetzung verbessert die Hydrolysebeständigkeit vieler Polymere deutlich.

— unvernetzt
— vernetzt

Spannungsrisssbeständigkeit von PA



Die Vernetzung verbessert die Spannungsrisssbeständigkeit deutlich, hier von PA-6. Nach Lagerung in 30 %-Lösung ($ZnCl_2$) zeigt die unvernetzte Probe (li.) deutliche Spannungsrisse, die vernetzte Probe (re.) hingegen kaum.



Anwendungen

■ Elektro

In der Elektroindustrie werden Kunststoffe wegen ihrer guten Isolationseigenschaften und nahezu unbegrenzten Formgebungsmöglichkeiten eingesetzt. Die fortschreitende Miniaturisierung und neue Fertigungstechnologien stellen immer höhere Anforderungen an Wärmestandfestigkeit und Entflammbarkeit. So verursachen beispielsweise die heute gebräuchlichen bleifreien Lote Spitzentemperaturen von mehr als 250 °C, denen normalerweise nur Hochleistungskunststoffe wie LCP, PEEK, PES oder PEI standhalten. Diese sind allerdings teilweise sehr schlecht zu metallisieren.

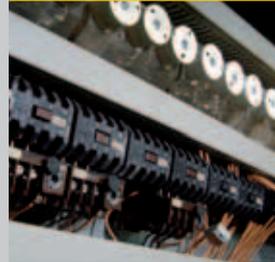
Durch die Strahlenvernetzung von PA oder PBT lassen sich die thermischen Kurzzeit-Einsatzgrenzen wesentlich erweitern, ohne dass die Bauteile erweichen oder anschnmelzen. Gleichzeitig verbessert sich die Haftfestigkeit der Metallisierung auf der Kunststoffoberfläche.

Auch die Gehäuse anspruchsvoller Funktionsbauteile für Leitungsschütze werden heute aus strahlenvernetztem PA statt aus Duroplasten gefertigt. Kommt es zum Kurzschluss, führen die hohen Temperaturen im Lichtbogen nicht mehr dazu, dass der Kunststoff aufschmilzt und die Kontaktflächen verkleben. Ein weiterer positiver Effekt der Strahlenvernetzung ist die verringerte Entflammbarkeit durch glühende Drähte (Hot Wire Ignition HWI nach UL-746A). Aufgrund der Vorschrift UL-508 kann dadurch sogar auf Flammschutzadditive im Kunststoff verzichtet werden.

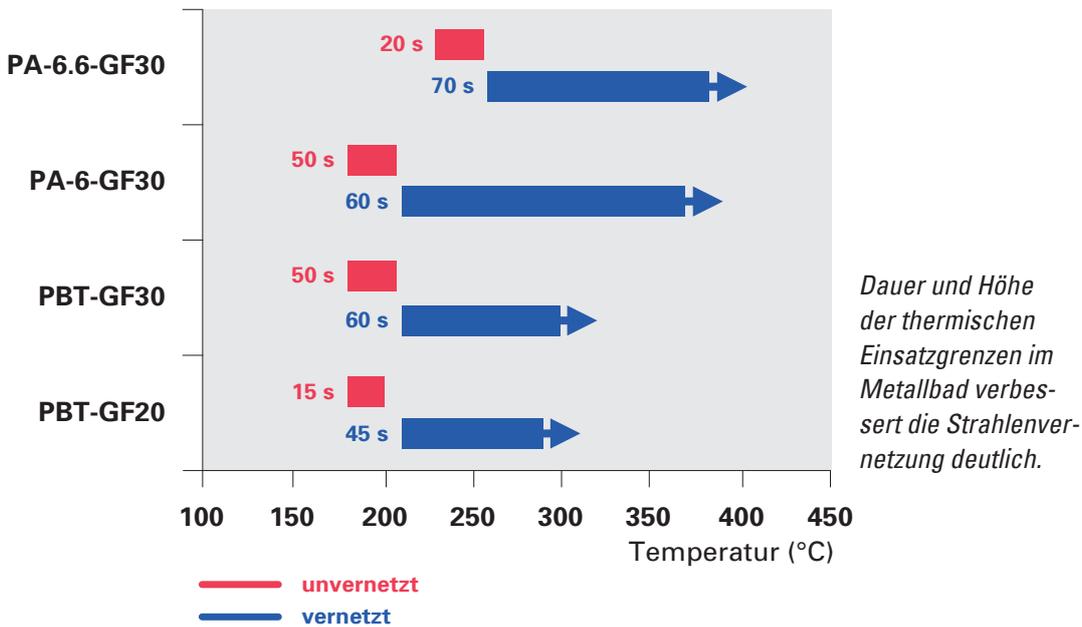
Chemische Eigenschaftsverbesserungen durch Bestrahlung:

- Verminderung der Löslichkeit
- Verbesserung des Quellverhaltens
- Erhöhung der Spannungsrisssbeständigkeit
- Verbesserung der Hydrolyse- und Ölbeständigkeit

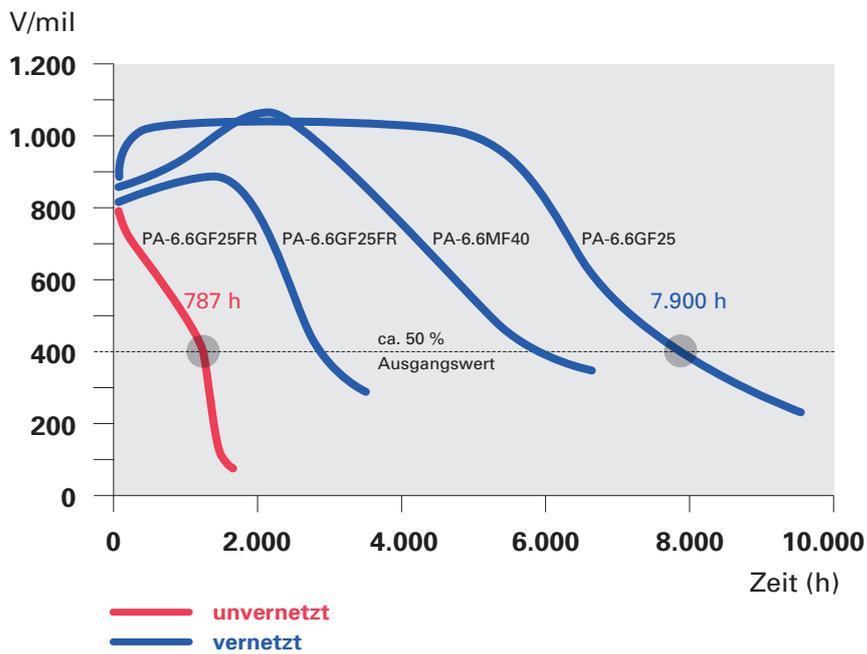




Erweiterung der thermischen Kurzzeit-Einsatzgrenzen im Metallbad



Alterungsverhalten (Temperaturindex RTI) von PA-6.6



Die Prüfung beschreibt das Alterungsverhalten eines Kunststoffs nach Lagerung bei hoher Temperatur. Unvernetztes PA-6.6 verfügt nach ca. 800 Stunden nur noch über 50 % seiner elektrischen Isolationseigenschaften. Ein strahlenvernetztes Polyamid erreicht die rund zehnfache Lebensdauer.



Anwendungen

■ Kabel/Leitungen

Dass Kunststoffe in der Kabel- und Leitungsisolation die hohen Anforderungen an Wärmestandfestigkeit und Chemikalienbeständigkeit erfüllen, ermöglicht seit Jahrzehnten die Strahlenvernetzung. Bewährte Anwendungen sind beispielsweise die Verbesserung der Schweißperlenbeständigkeit von Kabeln und Fahrzeugleitungen, um die Wärmeformbeständigkeit gemäß der Klassen C und D zu erfüllen (Einsatztemperaturen bis zu 125 °C bzw. 150 °C). Heute werden auch Energiekabel erfolgreich strahlenvernetzt, um spezielle Eigenschaftsprofile zu erzielen.

Die Strahlenvernetzung ermöglicht eine hohe Flexibilität in der Rohstoffauswahl sowie in Kabelkonstruktion und -aufbau. Es lassen sich nicht nur einzeln isolierte Adern, sondern auch mehrere verseilte Adern oder komplett konfektionierte Leitungen in einem Arbeitsgang vernetzen. Sollte der Einsatz strahlenempfindlicher Aderisolationen erforderlich sein, ist es sogar möglich, nur den Außenmantel zu vernetzen. Auf Wunsch unterstützt BGS bei der Abstimmung zwischen Bestrahlungsdosis und eingesetztem Polymercompound, um das Optimum von technischen Eigenschaften und Kosten zu finden. Die Strahlenvernetzung ist damit eine wettbewerbsfähige Option neben anderen Vernetzungsverfahren.

Ein wichtiges Einsatzgebiet strahlenvernetzter Kabel sind heute Photovoltaikanlagen. Nur strahlenvernetzte Kabel sind überhaupt in der Lage, die gesetzlichen Anforderungen bezüglich Dauergebrauchstemperaturen und Lichtbogenbeständigkeit zu erfüllen und der Beanspruchung durch industrielle Faktoren wie sauren Regen, Abgase, Ozon oder andere chemische Substanzen standzuhalten. Im Gegensatz zur chemischen Vernetzung wird der für Photovoltaik-Kabel üblicherweise notwendige Doppelisolationmantel in einem einzigen Arbeitsgang strahlenvernetzt.

Eigenschaftsverbesserungen durch Bestrahlung:

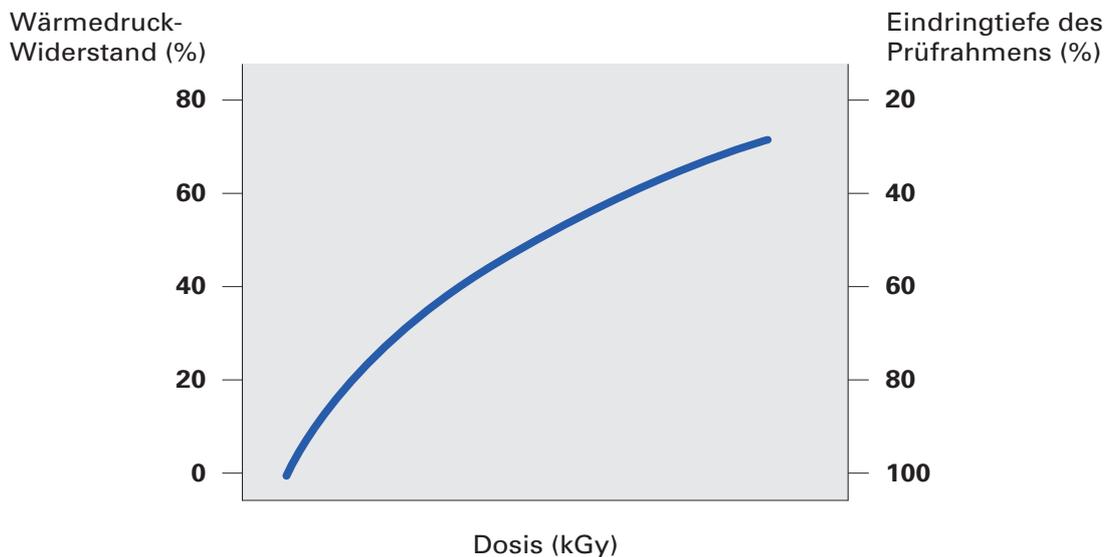
- höhere thermische Einsatzgrenzen
- Schweißperlenbeständigkeit
- Erhöhung des Wärmedruckwiderstands
- bessere Öl- und Chemikalienbeständigkeit
- bessere Hydrolysebeständigkeit
- höhere Wechselbiegefestigkeit
- bessere Abriebeigenschaften
- verbesserte Spannungsrissbeständigkeit





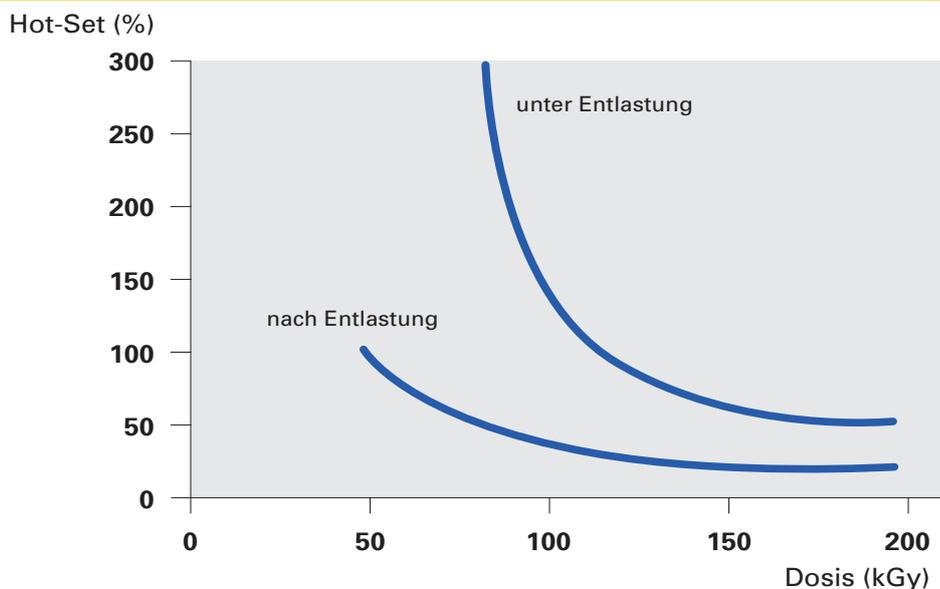
Gegenüber chemischen Verfahren bietet der physikalische Prozess der Strahlenvernetzung sehr hohe Prozesssicherheit. Das Verfahren ist exakt beherrsch- und reproduzierbar, es gibt keine möglichen Schwankungen wie bei der chemischen Vernetzung. Ein weiterer Vorteil der Strahlenvernetzung ist ihre Schnelligkeit, die weit über anderen Verfahren liegt.

Wärme-Druck-Widerstand von strahlenvernetztem thermoplastischen Polyurethan (150 °C, 4 Std.)



Die thermische Beständigkeit von Kabelmänteln kann durch Strahlenvernetzung deutlich verbessert werden.

Halogenfrei flammgeschützte Kabelmischung auf Polyolefin-Basis (200 °C, 15 Min., 20 N/cm²)



Die gewünschte Dehnung unter einer bestimmten Last bei hohen Temperaturen (Hot-Set-Wert) lässt sich materialspezifisch durch die Höhe der Bestrahlungsdosis einstellen.

Strahlenvernetzte Automobilbauteile erfüllen höchste Ansprüche hinsichtlich Temperatur- und Chemikalienbeständigkeit bei verbesserten Abriebeigenschaften.



Anwendungen

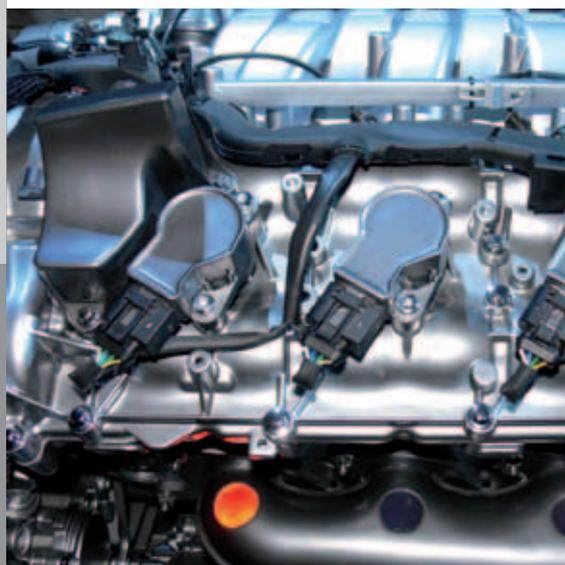
■ Automobil

Kunststoffe werden als Rohstoffe in der Automobilindustrie immer wichtiger, um die Anforderungen an Gewichtsreduzierung zu erfüllen und den Kraftstoffverbrauch zu senken. Gleichzeitig unterliegen die Materialien hohen thermischen, mechanischen und chemischen Beanspruchungen, wenn es beispielsweise um Anwendungen im Motorraum oder Abgasstrang geht. Traditionell lässt sich das Anforderungsprofil nur durch den Einsatz teurer und schwerer zu verarbeitender Hochleistungskunststoffe erfüllen. Hier bietet sich die Strahlenvernetzung als Lösung an, mit deren Hilfe das Einsatzspektrum kostengünstiger und bereits eingeführter Materialien (z. B. PA) erweitern lässt. Das hilft Rohstoffkosten zu sparen und ermöglicht gleichzeitig, die steigende Vielfalt an Rohstoffen einzugrenzen.

Sind die Kunststoffe zusätzlich zu hohen Temperaturen beispielsweise aggressiven Medien oder hohen mechanischen Belastungen ausgesetzt, verbessert die Strahlenvernetzung das Alterungsverhalten. Auch thermoplastische Elastomere bis hin zu Polyesterelastomeren, deren Einsatz häufig durch unzureichende Druckverformungsreste beschränkt ist, können durch Strahlenvernetzung so optimiert werden, dass sie die hohen Anforderungen im Fahrzeugbau erfüllen. Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind beispielsweise Elastomerdichtungen, die neuerdings im Zwei-Komponenten-Spritzguss hergestellt und anschließend strahlenvernetzt werden. Eine geeignete Werkstoffkombination vorausgesetzt, werden das Gehäuse und die eingespritzte TPE-Dichtung in einem Arbeitsgang vernetzt.

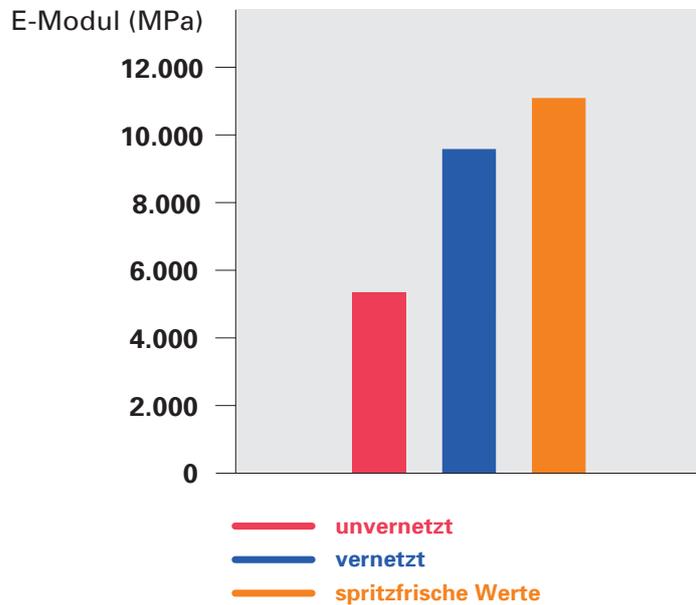
Eigenschaftsverbesserungen durch Bestrahlung:

- verbesserte Festigkeits- und Kriecheigenschaften
- höhere Wärmeformbeständigkeit und geringere Wärmeausdehnung
- Verbesserung der Alterungsbeständigkeit
- Reduktion der Quellung und verbesserte Spannungsrissebeständigkeit
- Verbesserung des Druckverformungsrestes
- verbesserte Abriebwerte und geringerer Gleitwert
- höherer Berstdruck
- verbesserte Bindahtfestigkeit

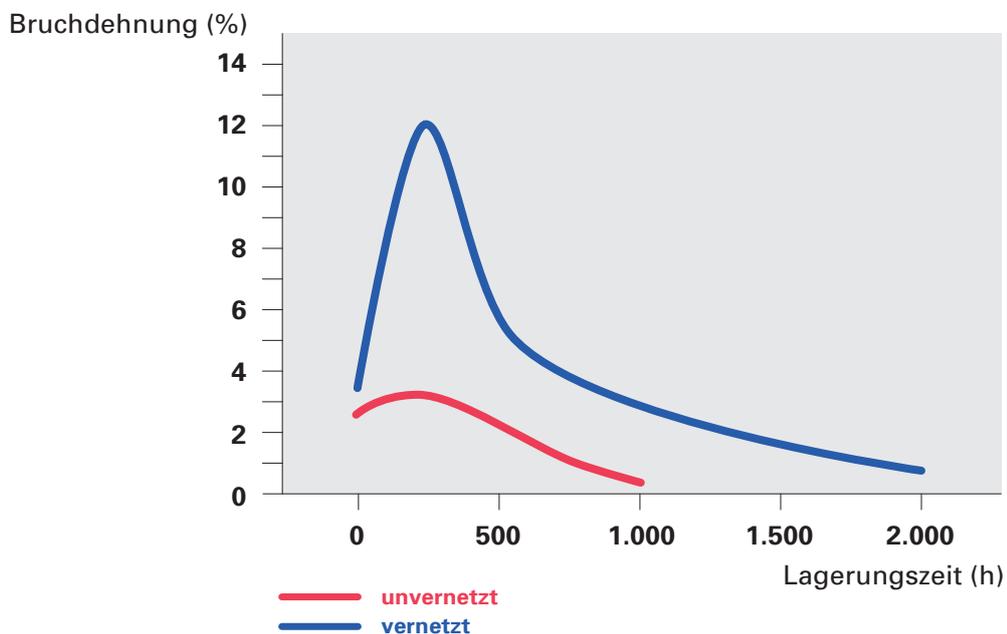




Langzeitalterung bei 200 °C über 1.000 Std. von PA-6.6 GF 30



Kühlmittellagerung bei 130 °C (Glykol/Wasser 50:50) von PA-6.6 GF 30



Im Automobilbau treten hohe Temperaturen und aggressive Medien auf. Diese beschränken die Einsetzbarkeit vieler Materialien. Strahlenvernetzung verbessert hier die Langzeitbeständigkeit deutlich.



Gängigstes Material für die Herstellung von Schläuchen ist PE. Dagegen werden medienführende Schläuche oder Rohre, die höchste Anforderungen an Temperaturbeständigkeit und Berstdruckfestigkeit erfüllen müssen, aus strahlenvernetztem PA-11 hergestellt.

Anwendungen

■ Rohre/Schläuche

Kunststoffrohre aus HDPE werden seit Jahrzehnten strahlenvernetzt, um ihre Gebrauchseigenschaften über einen sehr langen Zeitraum sicherzustellen. Besonders wichtig ist das verbesserte Zeitstandsverhalten bei erhöhten Temperaturen und Innendrücken. Mehrere Millionen Kilometer weltweit bereits installierter, strahlenvernetzter Rohre – so genannte PE-Xc Rohre – beweisen seit über 30 Jahren im täglichen Einsatz ihre Zuverlässigkeit unter schwierigen Bedingungen. Im Gegensatz zu den chemisch vernetzten PE-Xa und PE-Xb-Rohren besteht bei strahlenvernetzten PE-Xc-Rohren kein Risiko durch Rückstände aus den Vernetzungschemikalien. Zudem bietet die physikalische Strahlenvernetzung eine sehr hohe Prozesssicherheit und deutlich höhere Produktionsgeschwindigkeiten als chemische Vernetzungsverfahren.

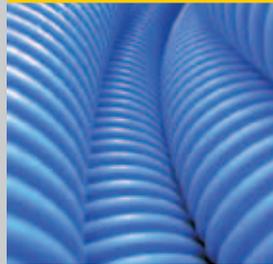
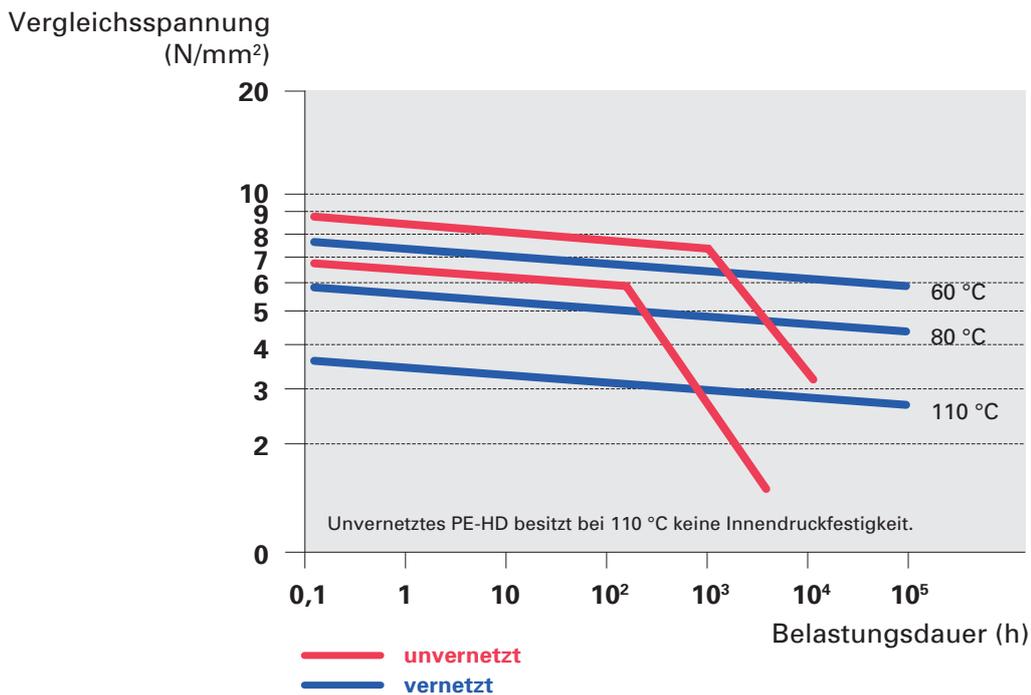
Eigenschaftsverbesserungen durch Bestrahlung:

- erhöhte Zeitstandsfestigkeiten bei höheren Temperaturen
- Verbesserung des Kaltflusses
- verbesserte Chemikalienbeständigkeit
- verminderte Rissfortpflanzung
- höhere Druckstabilität
- Vernetzung der Außen- und Innenschicht in einem Arbeitsdurchgang, auch bei Metallverbundrohren
- alle gewünschten Farben vernetzbar
- Verbesserung der Wechselbiegefestigkeit
- Erhöhung der Schweißperlenbeständigkeit



Strahlenvernetzte Wellrohre weisen bessere Dauergebrauchseigenschaften und Beständigkeit gegen hohe Temperaturen auf. Das ist wichtig für ihren Einsatz z. B. als Kabelschutzrohre.

Zeitstandverhalten im Zeitstand-Innendruckversuch von HDPE



Stranggut auf Trommeln:

- Metallverbund- und PE-Rohre
- Rohrdurchmesser: 5 bis 90 mm
- max. Trommeldurchmesser: 3,20 m
- max. Trommelbreite: 2,60 m



Stangenware:

- Metallverbund- und PE-Rohre
- max. Länge: 12 m
- max. Rohrdurchmesser: 600 mm
- max. Wandstärke: 20 mm

Schrumpfprodukte werden in der Elektroisolation sowie für die Abdichtung von Kabeln und Pipelines eingesetzt. Sie erhalten durch Strahlenvernetzung ihr Formgedächtnis.



Anwendungen

■ Schrumpfprodukte

Die Schrumpftechnologie ist ein wichtiges Anwendungsgebiet strahlenvernetzter Polyolefine, zum Beispiel für die Elektroindustrie und den Pipelinebau. Typische Schrumpfprodukte sind Schläuche, Folien und Formteile. In Schrumpfprodukten fügt man teilkristallinen Werkstoffen ein Formgedächtnis durch das gezielte Einbringen von Vernetzungsstellen zu. Das Formgedächtnis entsteht dadurch, dass die Strahlenvernetzung überwiegend in den amorphen Bereichen stattfindet. Wird ein solchermaßen vernetztes Produkt in der Wärme gedehnt, kann diese Form durch Abkühlen unter die Kristallitschmelztemperatur vorübergehend eingefroren werden. Wird das Produkt beim Anwender wieder über die Kristallitschmelztemperatur hinaus erwärmt, stellt sich die Ausgangsform zum Zeitpunkt der Vernetzung her.



Die bei der Strahlenvernetzung erzeugten Vernetzungsstellen sind für die Rückstellkräfte verantwortlich, die unter Erwärmung einsetzen.

Sonstige Anwendungen

Grundsätzlich lassen sich die durch die Bestrahlung hervorgerufenen Veränderungen wie Vernetzung, Verzweigung (Pfropfung) oder Molekulargewichtsabbau auch für Polymerrohstoffe nutzen. Anwendungen sind beispielsweise der gezielte Molekulargewichtsaufbau bei Ethylen(co)polymeren oder die Einführung von Langkettenverzweigungen, um höhere Verarbeitungsviskositäten oder Schmelzfestigkeiten zu erzielen.

Der Abbau von Polymerketten durch Bestrahlung wird auch bei Polypropylen genutzt. Solcherart modifiziertes PP wirkt als Nukleierungsmittel und beschleunigt die Kristallisation von unverstärktem PP, wird es in Dosierungen von zwei bis drei Prozent zugesetzt.

Besonders bei dickwandigen Formteilen reduzieren sich durch den Zusatz von bestrahltem PP-Granulat die Kühl- bzw. Zykluszeiten erheblich. Zudem erhält man ein sehr viel feineres teilkristallines Gefüge, woraus weitere Eigenschaftsverbesserungen resultieren: etwa erhöhte Temperaturbeständigkeit, Steifigkeit und Schlagzähigkeit oder eine Verringerung des Kriechens.

PTFE lässt sich durch Bestrahlung abbauen und wird als Additiv zur Verbesserung des Gleitverhaltens in unterschiedlichen technischen Anwendungen eingesetzt.

Die Bestrahlung reduziert das Molekulargewicht des Kunststoffes, wodurch die mechanischen Eigenschaften abfallen.

Dies lässt sich gewinnbringend nutzen, beispielsweise für Kunststoffampullen aus PP: Durch die Bestrahlung wird ihre Sollbruchstelle so spröde, dass der Spieß splitterfrei abgeknickt werden kann.

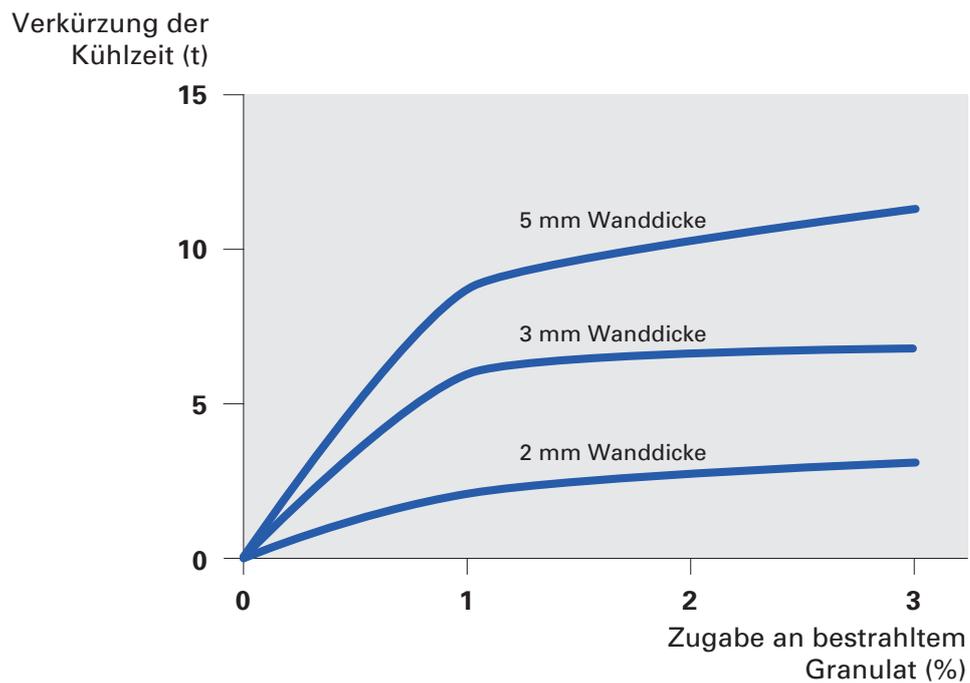


Eigenschaftsverbesserungen durch Bestrahlung:

- abhängig von der Polymerstruktur Modifizierung der rheologischen Eigenschaften (z. B. Schmelzviskosität, Schmelzfestigkeit)
- bessere Verarbeitbarkeit
- Herstellung von PTFE-Pulvern
- Abtötung von Mikroorganismen (Strahlensterilisation)



Kühlzeitverkürzung als Faktor der Zugabe an bestrahltem PP-Granulat



Die Verarbeitungseigenschaften vieler Polymerrohstoffe lassen sich durch Bestrahlung optimieren. Abhängig von der Molekülstruktur werden neue Verbindungen geknüpft oder bestehende gespalten. So lassen sich neue Eigenschaften erzielen oder wertvolle Additive herstellen.





Recycling



Strahlenvernetzte Bauteile sind extrem widerstandsfähig und somit über sehr lange Zeiträume einsetzbar. Hat eines der langlebigen Kunststoffteile das Ende seiner Nutzungsdauer erreicht, gibt es, wie für Kunststoffe generell, drei Aufbereitungsoptionen: die werkstoffliche (physikalische), die rohstoffliche (chemische) oder die energetische (thermische) Verwertung.

Bei der werkstofflichen Verwertung entstehen aus den Sekundärrohstoffen neue Kunststoffbauteile. Sind die Produktionsreste vor der Vernetzung sorten- und typenrein (etwa Angüsse oder Ausschussteile), ist eine Wiederverwendung in der ursprünglichen Anwendung möglich. Die werkstoffliche Verwertung funktioniert auch bei Anwesenheit von Vernetzungsadditiven („Regranulat“).

Vernetzte Kunststoffe können in sortenreiner Form zerkleinert und als Regranulat innerhalb bestimmter Grenzen den Primärrohstoffen wieder beigemischt werden. Diese Grenzen sind abhängig vom Material und Vernetzungsgrad und müssen im Einzelfall geprüft werden.

Ist werkstoffliches Recycling nicht sinnvoll oder möglich, können strahlenvernetzte Bauteile problemlos der rohstofflichen oder energetischen Verwertung zugeführt werden.



Impressum

BGS Beta-Gamma-Service
GmbH & Co. KG
Fritz-Kotz-Str. 16
51674 Wiehl

Telefon: +49 (0) 2261 7899-0
Telefax: +49 (0) 2261 7899-45
E-Mail: info@bgs.eu
www.bgs.eu

Sitz in Wiehl,
Registergericht Köln HRA 16938
USt.-IdNr.: DE 122 533 721

Komplementärin:
BGS Beteiligungs GmbH

Sitz in Wiehl,
Registergericht Köln HRB 38648

Geschäftsführer:
Dr. Andreas Ostrowicki

Redaktion und Gestaltung:
MediaCompany
Agentur für Kommunikation GmbH,
Bonn

Druck:
Mirgel + Schneider, Bonn

Bildnachweis:
www.fotolia.de: Titel, S. 3, 4, 5, 6 oben,
7, 8, 13 oben und rechts, 14 unten,
15, 16 unten, 18 unten, 19, 21 rechts,
22, 23 oben, 25

BGS:
S. 2, 9, 10 oben, 12, 13 unten,
21 unten rechts, 23 unten

BGS/imago:
S. 10 unten, 14 oben, 16 oben,
18 oben, 20, 24

BGS/Stefan Kiefer:
S. 6 unten, 21 unten links

Picture Alliance:
S. 17

Comstock Images:
S. 10, 11



Zentrale Wiehl

BGS Beta-Gamma-Service
GmbH & Co. KG
Fritz-Kotz-Straße 16
D-51674 Wiehl
Telefon: +49 (0) 2261 78 99-0
Telefax: +49 (0) 2261 78 99-45



Standort Bruchsal

BGS Beta-Gamma-Service
GmbH & Co. KG
John-Deere-Straße 3
D-76646 Bruchsal
Telefon: +49 (0) 7251 786-0
Telefax: +49 (0) 7251 786-33



Standort Saal

BGS Beta-Gamma-Service
GmbH & Co. KG
Industriestraße 9
D-93342 Saal a. d. Donau
Telefon: +49 (0) 9441 1777-0
Telefax: +49 (0) 9441 1777-44



Vertrieb Frankreich

Telefon: +33 474 76 12 67
Telefax: +33 474 76 17 58

Vertrieb Tschechien

Telefon: +420 518 324 510
Telefax: +420 518 324 510



info@bgs.eu | www.bgs.eu

BGS

IDEEN PLUS ENERGIE