

# Rezept für eine Extraportion Leitfähigkeit

## Wärme- und elektrische Leitfähigkeit durch Graphit-Additive anpassen

Durch seine gute thermische Leitfähigkeit ist Graphit als funktioneller Füllstoff in Kunststoffcompounds für das Wärmemanagement in Elektronikanwendungen, Automobilen und Apparatebau geeignet. Dabei gibt es Unterschiede in der Leistungsfähigkeit verschiedener Graphite. Durch die Auswahl geeigneter, teils modifizierter Graphite lassen sich die Eigenschaften für den jeweiligen Einsatzbereich anpassen.



Der traditionelle Rohstoff Graphit wird nicht nur in Bleistiften, sondern wird auch in Kunststoffen als Additiv für Wärmeleitfähigkeitsanwendungen eingesetzt © Georg H. Luh

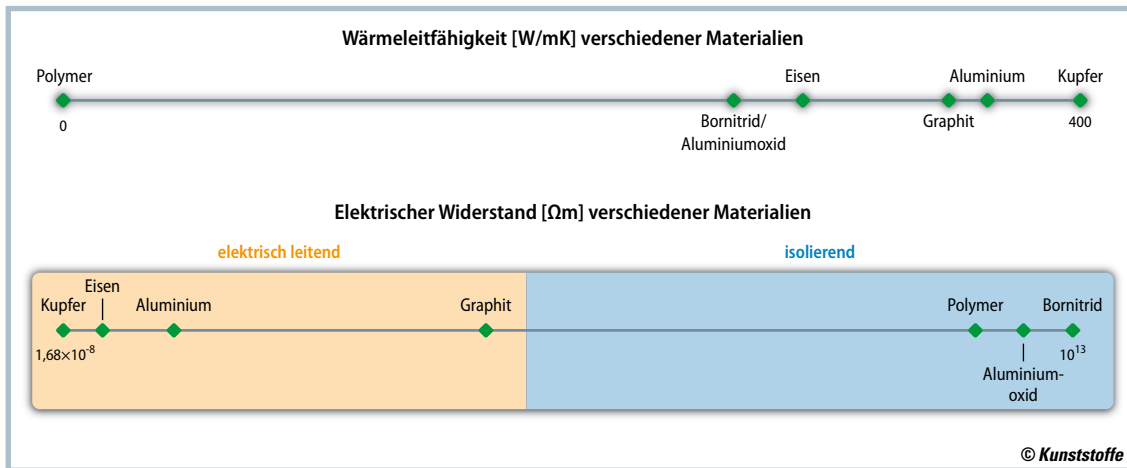
Die Nachfrage nach Compounds, die einerseits gute mechanische Eigenschaften aufweisen und gleichzeitig Wärme leiten, steigt stetig. Mit Graphit gefüllte Kunststoffe sind frei formbar, einfach zu verarbeiten und leicht. Das mineralische Multifunktionsadditiv besteht wie Diamant ausschließlich aus kristallinem Kohlenstoff und besitzt neben guten elektrischen und Wärmeleiteigenschaften auch eine abrasionsreduzierende Wirkung. Diese Eigenschaften des Graphits sind auf die schichtartige Kristallstruktur zurückzuführen. Graphit eignet sich als Additiv, da er chemisch inert und ungiftig ist und darüber hinaus ein gutes Preis-

Leistungs-Verhältnis bietet. Die elektrische Leitfähigkeit von reinem Graphit beträgt  $3 \times 10^6 \text{ S/m}$ , die Wärmeleitfähigkeit liegt bei etwa  $150 \text{ W/mK}$  und damit auf einem ähnlichen Niveau wie Metalle (Bild 1). Mit dieser Kombination an Eigenschaften ist Graphit ein leistungsfähiges Additiv für Kunststoffanwendungen, die hohe Wärmeleitfähigkeiten erfordern. Die neuesten Ergebnisse einer Studie der Georg H. Luh GmbH, Walluf, in Zusammenarbeit mit der ZBT GmbH, Duisburg, zeigen, dass es je nach Anforderungsprofil der Anwendung unterschiedliche graphitbasierte Füllstoffkonzepte gibt, die zu geeigneten Ergebnissen führen.

### Füllstudie mit verschiedenen Naturgraphiten

Es wurde eine Füllstudie mit verschiedenen Naturgraphiten in Polyamid 6 (PA6) und Polypropylen (PP) durchgeführt. Vergleichend wurden folgende Naturgraphite untersucht:

- Graphtherm, ein durch ein spezielles Aufbereitungsverfahren hergestellter Naturgraphit für hohe Füllgrade,
- Graphcond, ein durch Delaminierung für hohe elektrische Leitfähigkeit bei geringen Füllgraden angepasster Naturgraphit,



**Bild 1.** Elektrische und Wärmeleitfähigkeit im Vergleich: Graphit vereint beide Eigenschaften in einem Additiv

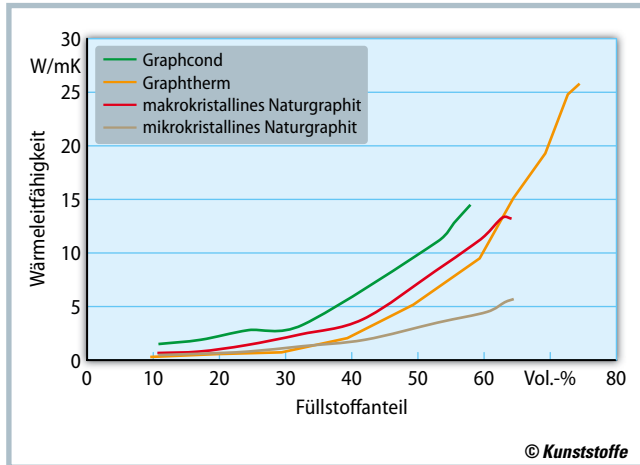
(Quelle: Georg H. Luh)

- makrokristalliner Naturgraphit, wie er in vielen technischen Anwendungen eingesetzt wird,
- mikrokristalliner Naturgraphit, ein preisgünstiger Standardgraphit für einfache Anwendungen.

Die Graphitproben wurden im Doppelschneckenextruder, beginnend mit einem Füllstoffanteil von 10Vol.-% bis zum jeweiligen maximal verarbeitbaren Füll-

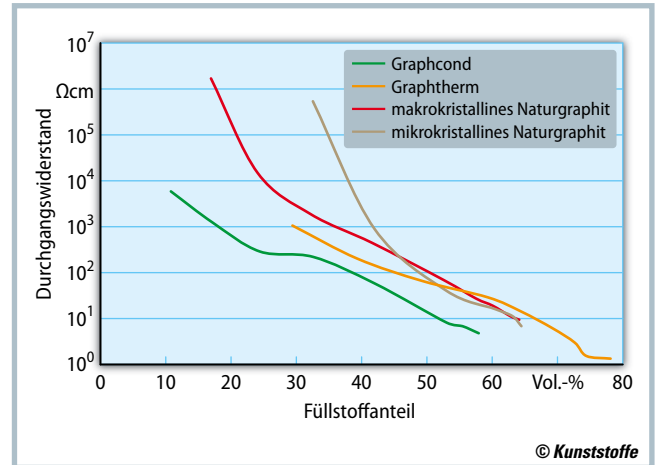
stoffanteil, in die Polymerschmelze eingebracht. Anschließend wurde mit einem Gaspyknometer die Materialdichte der Compounds ermittelt. An spritzgegossenen Probekörpern wurde die Wärmeleitfähigkeit senkrecht zur Plattenebene im Laser-Flash-Verfahren bei 25°C ermittelt. Das Laser-Flash-Verfahren ist ein eindimensionales Messverfahren, mit dem die Temperaturleitfähigkeit eines Probekör-

permaterials bestimmt wird. Der Probekörper wird dazu an der Unterseite durch einen kurzzeitigen Laserimpuls erwärmt und die Temperaturerhöhung auf der Probenoberseite mittels eines Infrarot-Detektors gemessen. Die elektrischen Durchgangswiderstände wurden im Vier-Pol-Messverfahren und die mechanischen Materialkennwerte im 3-Punkt-Biegeversuch ermittelt. »



**Bild 2.** Mit zunehmendem Füllstoffanteil im Compound steigt auch die Wärmeleitfähigkeit. Spitzenreiter bei hohem Anteil an Additiven ist der Graphit Graphtherm, der die höchste Wärmeleitfähigkeit zeigte (Quelle: ZBT/Georg H. Luh)

ZBT/Georg H. Luh)



**Bild 3.** Kleiner Beitrag mit großer Wirkung: Bei sehr niedrigem Füllstoffanteil von 10% zeigt eine der Graphite bereits signifikante Leitfähigkeiten (Quelle: ZBT/Georg H. Luh)

## Wärme- und elektrische Leitfähigkeit durch Graphit

Der grundsätzlich positive Einfluss von Graphiten in Kunststoff-Compounds auf die Wärmeleitfähigkeit konnte für alle getesteten Graphitproben nachgewiesen werden. Mit zunehmendem Graphit-Anteil im Compound steigt auch die

Wärmeleitfähigkeit (Bild 2). Die höchste Wärmeleitfähigkeit (> 25 W/mK) konnte durch das Einbringen des Graphtherm-Additivs in Polypropylen bei einem Füllgrad von 75 Vol.-% erreicht werden. Bei niedrigen Füllgraden bewirken dieser sowie der mikrokristalline Naturgraphit deutlich geringere Wärmeleitfähigkeiten als die beiden anderen Produkte. Mit Graphcond wiederum waren bereits bei geringen Füllgraden bis 40 Vol.-% vergleichsweise hohe Wärmeleitfähigkeiten zu erzielen. So ermöglichte ein Füllgrad von 25 Vol.-% eine Wärmeleitfähigkeit von 2,8 W/mK. Dies entspricht einem Faktor von etwa 100 gegenüber dem ungefüllten PA6. Der makrokristalline Naturgraphit bewirkte bei 40 Vol.-% Füllgrad eine bemerkenswerte Wärmeleitfähigkeit von etwa 4 W/mK, was deutlich über den erreichbaren Werten anderer mineralischer Wärmeleitfähigkeitsadditive, wie z. B. Aluminosilikate oder Bornitrid, liegt.

Das Additiv Graphcond ermöglicht bei einer niedrigen Füllrate von 10 Vol.-% eine signifikante elektrische Leitfähigkeit von 0,05 S/m (Durchgangswiderstand 2035 Ωcm) auf. Alle anderen Proben haben bei diesem geringen Füllstoffanteil keine im Messbereich (10<sup>-2</sup> Ωcm bis 10<sup>6</sup> Ωcm) der eingesetzten Analytik liegende elektrische Leitfähigkeit (Bild 3). Für diese Compounds muss daher angenommen werden, dass die Perkolationschwelle, an der sich die Graphitpartikel zusammenhängend berühren, nicht erreicht wurde. Erst bei Füllgraden von 20

bis 35 Vol.-% zeigen sich bei allen Graphit-Compounds Leitfähigkeiten größer 0,1 S/m, d. h. die Durchgangswiderstände sind kleiner 1000 Ωcm.

## Einflüsse unterschiedlicher Graphite auf die Verarbeitung

Alle getesteten Graphite lassen sich gut verarbeiten und sind sowohl für die Compoundierung als auch das Spritzgießen geeignet. Für die Verarbeitung von Graphiten im Extruder gilt, dass je kleiner die Teilchen und je größer die spezifische Oberfläche, desto schwieriger die Verarbeitung zu einem Compound. Im Umkehrschluss lassen sich größere Graphitpartikel besser zu einem Compound verarbeiten. Grundsätzlich können Graphite in PP aufgrund der geringeren Dichte des Polymers höher gefüllt werden und infolgedessen höhere Wärmeleitfähigkeitswerte realisieren. Das PP-Compound zeigt eine bessere Fließfähigkeit als die PA6-Compounds, sodass im Spritzgießprozess niedrigere Einspritzdrücke notwendig sind (Bild 4), was beispielsweise die Herstellung dünnwandiger Bauteile ermöglicht. Hingegen ist die Wärmeformbeständigkeit von PA6-Compounds höher als von PP-Compounds wodurch Anwendungen mit höheren Temperaturen (etwa im Fahrzeugmotorraum) bedient werden können. Die PP-Compounds weisen eine gute chemische Beständigkeit gegen Säuren und Laugen auf, sodass auch Anwendungen in der chemischen Industrie ermöglicht werden.

## Die Autoren

**Klaus Rathberger** ist Geschäftsführer der Georg H. Luh GmbH und seit mehr als 15 Jahren im Bereich der mineralischen Industrierohstoffe tätig; k.rathberger@luh.de

**Angelina Schöffel** ist für den Bereich Marketing und Vertrieb der Georg H. Luh GmbH verantwortlich; a.schoeffel@luh.de

**Dipl.-Ing. Marco Grundler, B.Sc.**, ist Gruppenleiter Materialien & Compoundiertechnik der ZBT GmbH; m.grundler@zbt-uisburg.de

**Paul Stannek, B.Sc.**, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der ZBT GmbH; p.stannek@zbt-uisburg.de

## Service

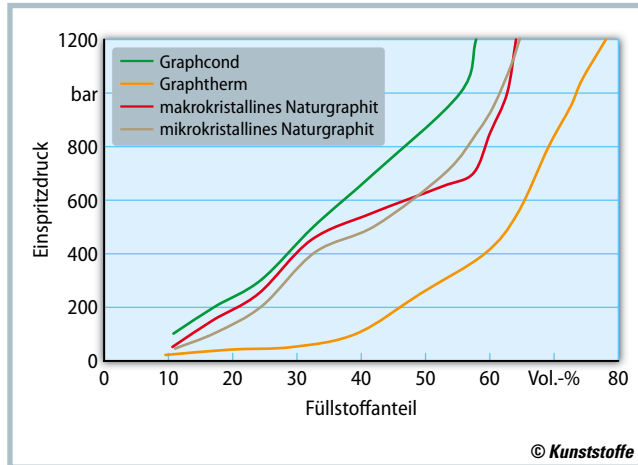
### Digitalversion

➤ Ein PDF des Artikels finden Sie unter [www.kunststoffe.de/2434463](http://www.kunststoffe.de/2434463)

### English Version

➤ Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)

**Bild 4.** Messung der Verarbeitungsparameter anhand benötigtem Einspritzdruck und Füllstoffanteil. Je mehr Graphit im Compound, desto höhere Einspritzdrücke sind notwendig  
(Quelle: ZBT/Georg H. Luh)



gen. Für Wärmeleitfähigkeiten von bis zu 25W/mK bei einer sehr guten Verarbeitbarkeit, auch bei hohen Füllraten, bietet sich Graphtherm an. Bei geringen Füllgraden erzielt Graphcond eine gute Kombination aus hoher elektrischer und guter Wärmeleitfähigkeit.

Die Studie hat darüber hinaus gezeigt, dass sowohl Graphtherm als auch mikro- und makrokristalline Naturgraphite in geringen Füllraten für Wärmeleitanwendungen eingesetzt werden können, die nur geringe oder keine elektrische Leitfähigkeit erlauben. Da in den meisten Fällen tatsächlich nur moderate Wärmeleitfähigkeitswerte erforderlich sind, stellen Graphite ein geeignetes Additiv für Wärmeleitanwendungen in Kunststoffen mit und ohne elektrischer Leitfähigkeit dar. Diese Erkenntnis lässt den Schluss zu, dass Graphite auch für Anwendungen genutzt werden können, die einerseits nicht zu hohe Wärmeleitfähigkeitswerte erfordern, andererseits keine oder nur geringe elektrische Leitfähigkeit erlauben. ■

Wie bei allen mineralischen Additiven zu erwarten, sinkt die Dehnfähigkeit mit zunehmendem Graphit-Füllstoffanteil. Die Biegefestigkeit der Compounds kann durch Naturgraphite zunächst gesteigert werden. Bei Graphcond wird bei einem Füllgrad von rund 30Vol.-% der kritische Punkt hinsichtlich der Benetzung des Graphits im Polymer erreicht

und die Biegefestigkeit lässt nach. Bei den anderen Naturgraphiten wird dieser Punkt erst bei höheren Füllgraden erreicht.

### Zusammenfassung

Die Vielfalt der Naturgraphite ermöglicht unterschiedliche Leitfähigkeitsanwendun-