

Wärmeleitende Kunststoffe

Kunststoffe besitzen im Allgemeinen Eigenschaften, die sie zu einer sehr vielseitigen und interessanten Werkstoffklasse machen, wie ein geringes Gewicht, günstige Herstellungs- und Verarbeitungsmöglichkeiten, gute Chemikalienbeständigkeit und ein breites Einsatzspektrum. Darüber hinaus sind Kunststoffe klassischerweise gute thermische Isolatoren, wovon im Alltag auch immer wieder Gebrauch gemacht wird – von Styroporkaffeebechern bis hin zu Leistungspolymeren für das Bauwesen oder den Automobilbau. Gerade vor dem Hintergrund der weiteren Miniaturisierung elektrischer Systeme wäre es aber von Vorteil, wenn bestimmte, z. B. für Elektronikbauteile eingesetzte Kunststoffe auch wärmeleitende Eigenschaften aufweisen würden. Das erklärt die seit einigen Jahren beständig zunehmende Forschung auf diesem Gebiet, wobei sowohl mit geeigneten Füllstoffen versehene als auch intrinsisch wärmeleitfähige Kunststoffe, die ohne Füllstoffe auskommen, von Interesse sind.

Inzwischen konnte das Verständnis für die der Wärmeleitung zugrunde liegenden Mechanismen bereits deutlich verbessert werden. Die isolierenden Eigenschaften werden vor allem durch den Aufbau, die räumliche Anordnung und die Orientierung der sogenannten amorphen Bereiche in einem Polymer bestimmt. Sehr vereinfacht dargestellt sind diese Bereiche, in denen viele der einzelnen Polymerketten als zufällige Knäule vorliegen – ähnlich gekochtem Spaghetti. Diese verhindern, dass Wärme innerhalb der Kunststoffe frei fließen kann. Gleichzeitig liegen einige Polymerketten auch immer in kristalliner Form vor, also in geordneten, linearen Strukturabschnitten. Form und Orientierung der kristallinen Bereiche innerhalb der Polymere sowie etwaige zusätzlich eingebrachte Füllstoffe bestimmen die Wärmeleitfähigkeit des Kunststoffs. Bei Kunststoffen ohne Füllstoffe steigt die Wärmeleitfähigkeit mit der Anzahl an kristallinen Polymerbereichen. Zur Steigerung dieses kristallinen Anteils gibt es verschiedene Möglichkeiten. Beispielsweise können amorphe Polymerketten durch

bestimmte Produktionsverfahren relativ gleichmäßig parallel ausgerichtet werden, was zu deutlichen Verbesserungen des Wärmetransports führen kann. Allerdings sind die genauen Zusammenhänge zwischen dieser Streckung der Polymerketten und der Wärmeleitfähigkeit immer noch nicht gut verstanden, weshalb hier auch weiterhin Forschungsbedarf besteht. Hilfreich sind dabei beispielsweise Computersimulationen, welche die Abhängigkeit der makroskopischen Eigenschaften vom inneren geometrischen Aufbau der Kunststoffe darstellen können.

Solche Simulationen sind insbesondere auch dann von Interesse, wenn Kunststoffe mit Füllstoffen, wie Metall-, Keramik- oder Kohlenstoffnanopartikeln, betrachtet werden. Wichtige Parameter, die die Eigenschaften des Kompositmaterials bestimmen, sind neben der oben beschriebenen Anordnung der Polymere insbesondere die Menge an eingebrachten Partikeln, ihre Form, Größe, Zusammensetzung und Oberfläche sowie ihre Fähigkeit, untereinander ein wärmeleitendes Netzwerk ausbilden zu können. Je mehr Partikel in den Kunststoff eingebracht werden, desto eher kann sich ein solches Netzwerk ausbilden. Allerdings wird die Produktions- und Formbarkeit des Materials mit steigender Füllstoffmenge erschwert. Zudem bestimmt die Oberfläche der Partikel auch mit, wie groß der Widerstand der Wärmeleitung zwischen einem Polymer und den darin enthaltenen Füllstoffpartikeln ist. Mit den Füllstoffen kann neben der Wärmeleitfähigkeit auch eine elektrische Leitfähigkeit eingestellt werden. Füllstoffe wie Graphit, Metallpartikel, Kohlenstoffnanoröhrchen oder Graphen können eingesetzt werden, wenn das Material auch elektrisch leitend sein darf oder sein soll, während Füllstoffe wie Aluminiumoxid, Bor- oder Aluminiumnitrid die Wärmeleitung unterstützen, aber elektrisch isolierend wirken. Auch Kombinationen von verschiedenen Füllstoffen, wie z. B. Glaskügelchen mit Nitrid- oder Kohlenstoffpartikeln, konnten bereits umgesetzt werden. Hierbei dient das Glas der Verstärkung des Materials, während der andere Füllstoff die Wärmeleitfähigkeit

verbessert. Es wurden auch erste Kombinationen unterschiedlicher wärmeleitender Füllstoffe untersucht, wobei synergistische Effekte beobachtet werden konnten. Neben den bereits angesprochenen Anwendungen zur Wärmeabfuhr in Elektronikbauteilen können wärmeleitende Kunststoffe beispielsweise auch allgemein als Wärmetauscher oder im Bereich der Energieindustrie eingesetzt werden. Aus militärischer Sicht kommen sie zudem für thermoregulierende Textilien und zur Verbesserung von mit Explosivstoffen gefüllten Polymerkompositen infrage. Für die genannten Einsatzbereiche sind dabei sowohl Kunststoffe von Interesse, die gleichzeitig elektrischen Strom und Wärme leiten können, als auch solche, die bei gleichzeitiger elektrischer Isolation nur zur Wärmeleitung in der Lage sind.

Obgleich in den letzten Jahren bereits große Fortschritte im Bereich wärmeleitfähiger Kunststoffe gemacht wurden, besteht immer noch ein großer Forschungsbedarf bis zur breiten Einsatzbereitschaft der Materialien. Beispielsweise konnte die Verbesserung der Leitfähigkeit von ungefüllten Kunststoffen durch die Streckung von Polymerketten bisher nur im Laborexperiment gezeigt werden. Für partikelgefüllte Kunststoffe besteht zudem noch großer Forschungsbedarf in Bezug auf die Herstellung, sodass die Füllstoffe gleichmäßig im Kunststoff verteilt sind und effektive Netzwerke ausbilden können. Des Weiteren besteht auch noch Forschungspotenzial darin, die genannten Ansätze der intrinsischen und der durch Füllstoffe bedingten Wärmeleitfähigkeit effektiv miteinander zu verbinden. Auch beim Einsatz von gemischten Füllstoffen besteht noch großer Forschungsbedarf im Hinblick auf die Effektivität und weitere synergistische Kombinationen. Wärmeleitende Kunststoffe besitzen damit sowohl ein großes Forschungspotenzial als auch einen weiten potenziellen Anwendungsbereich, weshalb bereits in absehbarer Zukunft mit weiteren Fortschritten auf diesem Gebiet zu rechnen ist.

Dr. Diana Freudendahl