

# 1 Einleitung und Zielstellung

Das Potential der Polyethylen-Werkstoffe liegt darin, zu ökonomisch und ökologisch sinnvollen Lösungen vielseitiger Probleme z.B. in der Automobil-, Verpackungs- und Verbrauchsartikel-industrie sowie in der Trinkwasser-, Bewässerungs- und Abwassertechnik beizutragen. Für die Polyolefine sprechen dabei ihr Preis-Leistungs-Verhältnis, die Erschließung neuer Märkte durch die Entwicklung der Metallocen-Katalysatoren, ihre physiologische Unbedenklichkeit und der Aspekt der Umweltverträglichkeit durch problemloses thermisches Recycling.

Die wachsenden Anforderungen an Polyethylen-Werkstoffe im Tank- und Behälterbau, im Rohrleitungsbau und in der Verpackungsindustrie verlangen nach Werkstoffen mit hoher Festigkeit und gleichzeitig hoher Zähigkeit, guter Verarbeitbarkeit und einem breiten Eigenschaftsprofil.

Eine wichtige Eigenschaft polymerer Werkstoffe, die deren technische Anwendung häufig begrenzt, ist die Zähigkeit, d.h. der Widerstand gegenüber stabiler und instabiler Rissausbreitung bzw. Bruch [1]. Speziell für die Anwendung von Polyethylen als Rohre für Wasser- und Gasleitungen stellt das instabile (schnelle) Risswachstum vor allem nach stabiler (langsamer) Rissausbreitung bei Raumtemperatur und langen Standzeiten ein Problem dar. Deswegen wird ein hoher Risswiderstand gegenüber instabiler Risseinleitung gefordert.

Ansatzpunkt der Untersuchungen zum Zähigkeitsverhalten von Polyethylen hoher Dichte (PE-HD) liefert das unterschiedliche Zähigkeitsverhalten von PE-HD-Werkstoffen in Abhängigkeit von der Dichte und dem Molekulargewicht. Bei hohen Kristallinitäten (Dichten) kommt es zum ungeklärten Auftreten von hohen Kerbschlagzähigkeiten durch große Rissverzögerungsenergien und zu dominant stabilem Risswachstum, wie es für die PE-HD-Werkstoffe mit hohem Molekulargewicht bekannt ist. Einen weiteren Ansatzpunkt stellt das ungeklärte Rissinitiierungs- und Rissausbreitungsverhalten von teilkristallinen Kunststoffen vor allem in Abhängigkeit von der Kristallinität und strukturellen Veränderungen dar.

Eine wesentliche Voraussetzung für die Zähigkeitsoptimierung von teilkristallinen Kunststoffen sind quantitative Morphologie-Zähigkeits-Korrelationen, die nur möglich werden, wenn der Einfluss der Struktur auf das Rissinitiierungs- und Rissausbreitungsverhalten bekannt ist. Bei der Quantifizierung dieser Einflussgrößen sind noch viele Fragen offen [2]. Die bruchmechanische Werkstoffprüfung in Verbindung mit Methoden zur Strukturanalyse und Methoden zur Aufklärung von Verformungsmechanismen leistet unter Berücksichtigung polymerspezifischer Auswertemethoden einen wesentlichen Beitrag auf diesem Gebiet der Kunststoffentwicklung [3].

Ein Problem beim Verständnis der Deformations- und Bruchmechanismen in teilkristallinen Kunststoffen resultiert aus ihrer Aufteilung in eine amorphe und eine kristalline Phase, die zu einer großen Vielfalt von Mikrostrukturen führen kann [4]. Diese mikrostrukturelle Vielfalt wird von der chemischen Struktur und den Verarbeitungs- und Abkühlungsbedingungen bestimmt. Die Morphologie der teilkristallinen Kunststoffe kann durch eine Reihe von verschiedenen Strukturparametern der molekularen (Primär- und Sekundärstruktur) und übermolekularen Ebene (Kristallisationsgrad, Sphärolith- und Lamellenabmessungen) beschrieben werden. Nach der Polymerisation von teilkristallinen Kunststoffen sind vor allem die Strukturparameter der übermolekularen Ebene als durch Verarbeitung und Kristallisation veränderbare Parameter anzusehen.

Die vorliegende Arbeit verfolgt die grundlegende Zielstellung mit Hilfe geometrieunabhängiger bruchmechanischer Werkstoffkenngrößen in Kombination mit Morphologieanalysen und einer Charakterisierung der Rissausbreitungsprozesse Morphologie-Zähigkeits-Korrelationen für Polyethylen hoher Dichte aufzuzeigen. Bruchmechanische Untersuchungen bei schlagartiger Beanspruchung zur Ermittlung des Risswiderstandes gegenüber instabiler und stabiler Rissausbreitung eignen sich zur differenzierten Betrachtung der Zähigkeit in Abhängigkeit von Strukturparametern. Die experimentelle Basis der bruchmechanischen Untersuchungen bei schlagartiger Beanspruchung stellt der instrumentierte Kerbschlagbiegeversuch dar. Bei zähem Werkstoffverhalten, wie es für Polyethylen hoher Dichte vorliegt, werden vor allem die Konzepte der Fließbruchmechanik zur Beschreibung des Zähigkeitsverhaltens angewendet.

Neben den bruchmechanischen Prüfungen sind dazu Untersuchungen und Berechnungen zur Morphologie- und Strukturausbildung in den PE-HD-Werkstoffen erforderlich. Mit Hilfe eines Modells nach Huang [5] zur Bestimmung der Wahrscheinlichkeit der Bildung von Tie-Molekülen kann die Anzahl der Tie-Moleküle abgeschätzt werden. Die Anzahl der Tie-Moleküle spielt in den Betrachtungen des Zähigkeitsverhaltens teilkristalliner Kunststoffe in Abhängigkeit von strukturellen Größen eine wesentliche Rolle.

Anhand von Bruchflächenanalysen und Studien zum Rissprozess sind weiterhin ergänzende Aussagen zum Rissinitiierungs- und Rissausbreitungsverhalten der untersuchten Polyethylen-Werkstoffe möglich.