

Kunststoffe - anwendungsgerechte Charakterisierung und Modellierung

R.Hafellner, B.Mlekusch,
4a engineering GmbH / vor Unternehmensausbau advanced polymer engineering GmbH (ape),
www.4a.co.at, www.ape.co.at, Leoben, Austria

Abstract

Zur mechanischen Charakterisierung von Kunststoffen und Komponenten für Finite-Elemente-Berechnungen wird ein Prüfsystem – Impetus II – eingesetzt, welches ein instrumentiertes Pendel darstellt. Die Materialarten werden mit Hilfe eigener Prozeduren bzw. mittels FE-Analyse und Optimierung rückgerechnet. Auf diese Weise lassen sich sehr einfach Materialdaten unter möglichst realitätsnahen Belastungszuständen ermitteln. Die gesamte Vorgehensweise wird anhand von Beispielen aus den Themenbereichen Schaumwerkstoffe, kompakte Kunststoffe und Komponentenversuche dargestellt.

1. Theoretische Aspekte

Kunststoffe und hier vor allem Thermoplaste haben aufgrund ihrer einfachen und massenproduktionsauglichen Verarbeitung im Spritzgussprozess breiten Einzug in technischen Anwendungen gefunden. Sie zeigen im allgemeinen ein sehr komplexes Materialverhalten, welches durch Abhängigkeiten bezüglich Belastungsgeschwindigkeit, Temperatur und Feuchte (speziell z.B. bei Polyamid) geprägt ist. Hinzu kommen fertigungsbedingte Einflüsse, wie Morphologie, Kristallinität und Molekülorientierung, welche die Werkstoffeigenschaften beeinflussen. Werden Verstärkungsstoffe – in der Regel Glasfasern – den Thermoplasten beigemischt, so orientieren sich diese während der Formteilfüllung und rufen starke Richtungsabhängigkeit (Anisotropie) der Werkstoffeigenschaften im Bauteil hervor.

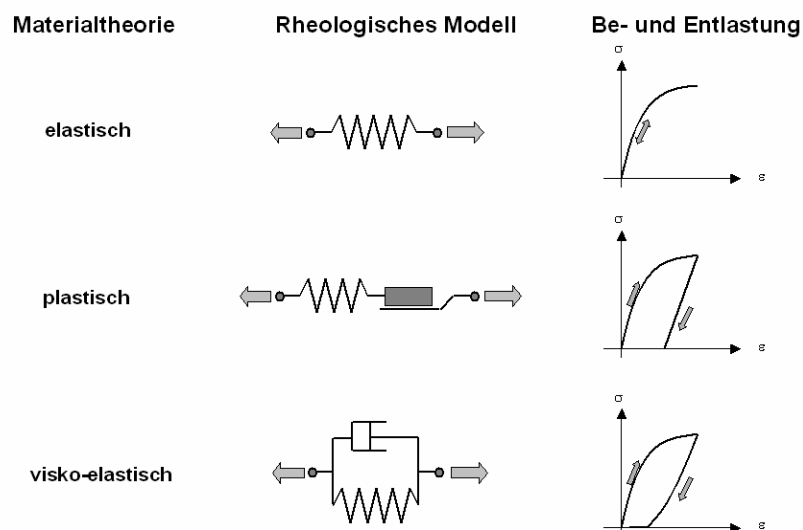
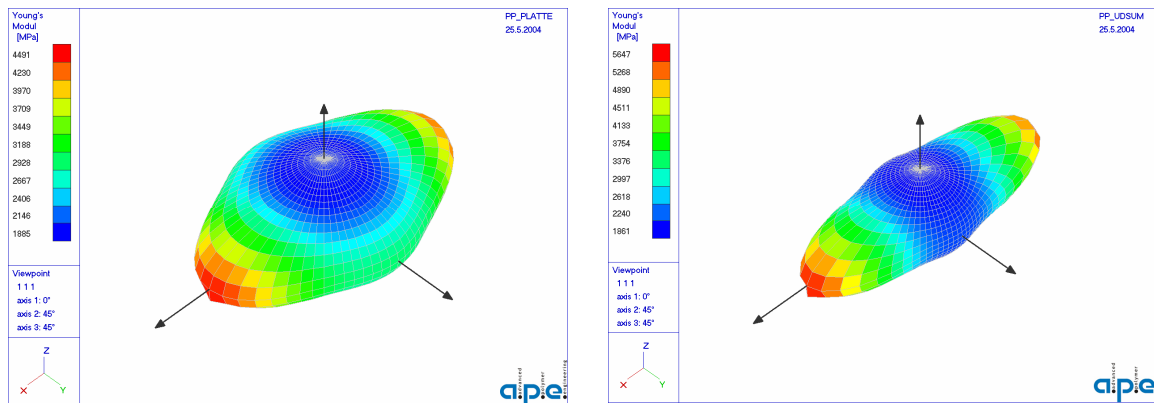


Abbildung 1: Rheologische Modelle zur Darstellung der verschiedenen Materialtheorien.

Für die Materialbeschreibung werden alle gängigen Materialmodelle eingesetzt, welche von elastisch (nicht-linear) über plastisch (visko-plastisch) bis hin zu viskoelastisch reichen. In der Kurz-Zeit-Dynamik (Crashrechnung) haben sich die visko-plastischen Modelle durchgesetzt [1,2], obwohl diese Theorie ihren Ursprung in der Beschreibung metallischer Werkstoffe findet. Dem Wesen der Polymere (insbesondere auch für längere Belastungsdauern) besser

entsprechend wurde die Viskoelastizitätstheorie entwickelt, welche z.B. auch in der Lage ist die Entlastungsphase samt Rückverformung mit abzubilden. Zudem bietet die Viskoelastizitätstheorie die Möglichkeit über sogenannte Zeit-Temperaturverschiebungen neben der Belastungsgeschwindigkeit auch die Temperaturabhängigkeit des Werkstoffes geschlossen zu beschreiben. Im Überblick lassen sich die verschiedenen Theorien mittels einfacher, rheologischer Modelle darstellen (Abbildung 1).

Für die durch Faserverstärkung hervorgerufene Anisotropie gilt, dass diese nicht mehr mittels klassischer Werkstoffprüfungsmethoden beschreibbar bzw. vom Aufwand her abprüfbar ist. Anstelle von 2 Werkstoffkonstanten zur Beschreibung eines isotropen Körpers treten bei Orthotropie (= rechteckige Anisotropie) 9 Konstante bzw. bei Verwendung der Viskoelastizitätstheorie 9 Funktionen. Diese sind dann vom vorherrschenden Faserorientierungszustand abhängig, also in jedem Punkt des Bauteils unterschiedlich. Um hier einen Ausweg in der Modellierung des Werkstoffverhaltens zu finden werden mikromechanische Modelle eingesetzt [3]. Selbiges gilt nicht nur für die Materialbeschreibungsgleichungen (konstitutive Beziehungen) sondern auch für Versagens-hypothesen zur Beschreibung der Festigkeit [4].



**Abbildung 2: Anisotropie faserverstärktes PA:
Darstellung E-Modul bei unterschiedlicher Faserorientierung.**

2. Materialprüfsystem Impetus II

Neben der Wahl der geeigneten Materialtheorie ist das Verwenden korrekter Materialdaten von entscheidender Bedeutung für eine erfolgreiche FE-Analyse. Diese müssen zum einen schnell verfügbar sein, zum anderen sollten die Probekörper möglichst fertigungsnahe hergestellt sein. Ziel der Entwicklung eines neuen Prüfsystems war es, möglichst einfach und mit wenigen Versuchen aussagekräftige Materialdaten zu ermitteln.

Nach Untersuchung mehrerer Konzepte fiel die Wahl auf ein instrumentiertes Pendelsystem, mit dem unterschiedlichste Versuche durchgeführt werden können: Für kompakte Kunststoffe Biegeversuche und für Schäume bzw. Dämpfungsmaterialien Kompressionsversuche. Zudem besteht die Möglichkeit Komponentenversuche darzustellen. Die mögliche Ausführung als Doppelpendel gestattet es, besonders hohe Belastungsgeschwindigkeiten zu realisieren. So kann mit einer Pendelarmlänge von 0,5 m eine Geschwindigkeit erzielt werden, für die ein Fallturm mit 4 m Höhe erforderlich ist. Das System ist durch mehrere Patentanmeldungen geschützt.

Der 3-Punkt Biegeversuch stellt eine einfache und belastungsgerechte Werkstoffprüfung dar. Er kombiniert Zug- und Druckbelastung, zudem besitzt er äußerst hohe technische Relevanz, da in realen Bauteilen zumeist Biegezustände vorherrschen. Nachteilig wirkt sich aus, dass die Materialdaten nicht direkt aus dem Versuch ermittelt werden können sondern per „reverse

engineering“ berechnet werden müssen. Dabei wird folgendes Konzept verfolgt: Direkt an der Prüfmaschine ist eine Software implementiert, die mittels numerischer Verfahren eine erste Auswertung der Versuche ermöglicht und Spannungs-Dehnungsdiagramme ausgibt. Zum exakteren Abgleich werden diese Kurven in einem zweiten Schritt als Startwerte für eine FE-Optimierung (z.B. mit LS-OPT) verwendet.

Die grafische Benutzeroberfläche wurde so gestaltet, dass eine einfache und intuitive Bedienung des Prüfsystems ermöglicht wird (Abbildung 4).

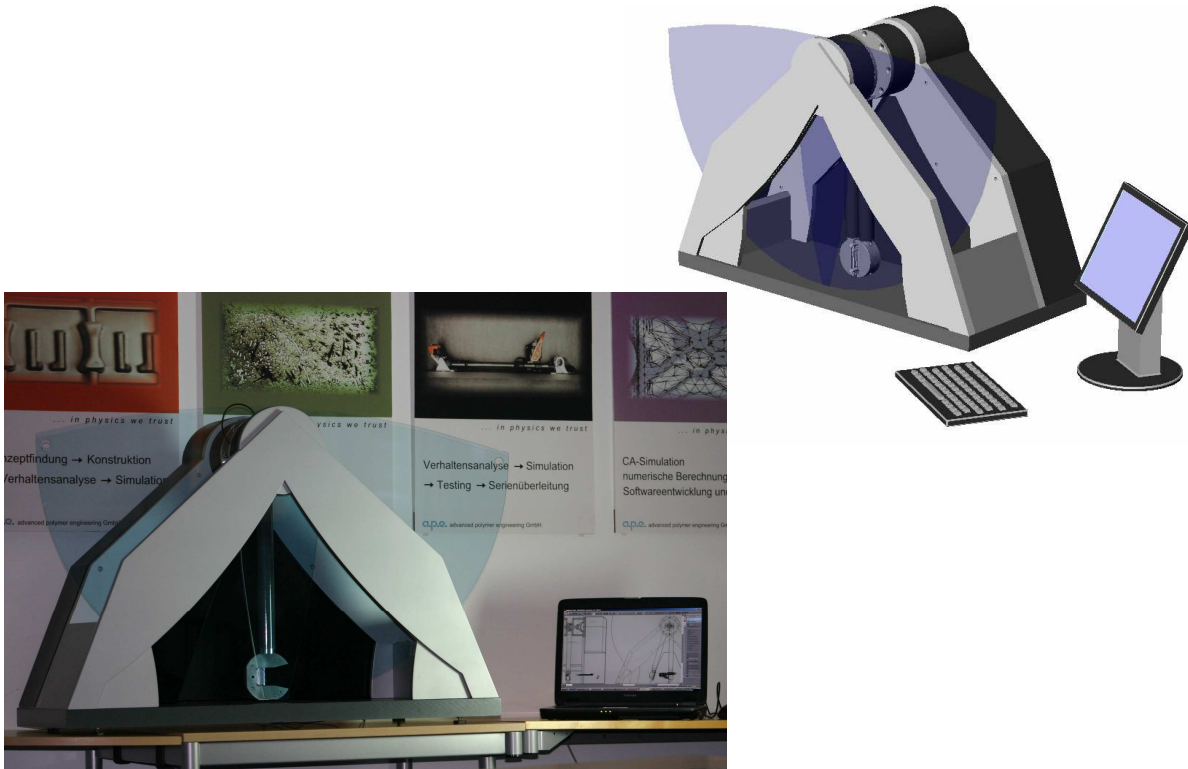


Abbildung 3: Prüfsystem Impetus II.

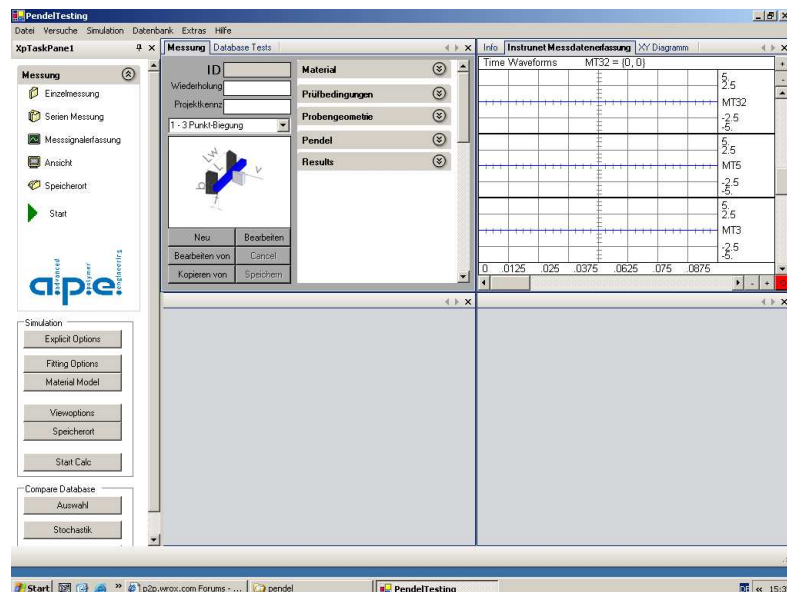


Abbildung 4: GUI - Impetus II.

3. Schaum- und Gummiwerkstoffe

Der Kompressionsversuch wird anhand von 2 Beispielen illustriert. Zum einen zur Generierung von Werkstoffdaten für EPP-Schäume unterschiedlicher Dichten [5], zum anderen von Gummi-Elementen aus Polyurethan, wie sie im BIORID (Heckcrash-Dummy) Einsatz finden.

Als deutlicher Vorteil im Gegensatz zu Hydropulsversuchen gilt zu bemerken, dass die Dehnrates über den gesamten Versuch im anwendungsrelevanten Bereich liegt und dass zudem die Belastungsphase mit aufgenommen wird. Bei Hydropulsversuchen, welche mit konstanter Belastungsgeschwindigkeit erfolgen, „explodiert“ die Dehnrates bei hoher Kompression aufgrund der geringen Restlänge. Aufgrund der belastungsgerechten Werkstoffprüfung werden sehr gute Ergebnisse in den Validierungsrechnungen erhalten.

Für die PU-Dämpfer wird ein Mooney-Rivelin Ansatz zur Beschreibung verwendet, die Materialparameter werden direkt mittels LS-OPT bestimmt.

4. Kompakte Werkstoffe

Wie schon erwähnt werden kompakte Werkstoffe mittels 3-Punkt Biegeversuch charakterisiert. Vorteilhaft bezüglich Probekörpergeometrie ist, dass reine Rechteckproben verwendet werden können. Diese lassen sich in der Regel direkt aus dem Bauteil entnehmen, die Herstellung bzw. das Spritzen eigener Schulterstäbe als Probekörper entfällt. Letztere weisen z.B. im Falle faserverstärkter Kunststoffe eine deutliche höhere Faserorientierung in Krafrichtung auf als je im Bauteil erreicht werden kann.

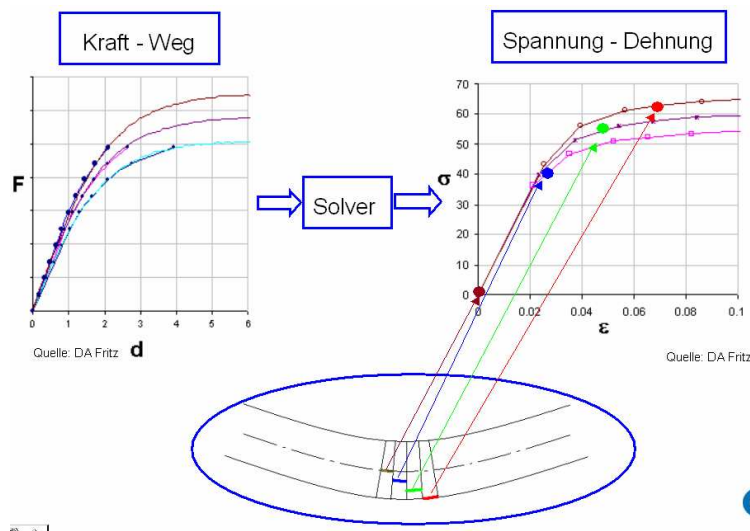


Abbildung 5: Errechnen dehnratenabhängiger Materialdaten aus dem 3-Punkt Biegeversuch.

Wie in Abbildung 5 gezeigt, müssen die Materialdaten für die Materialkarte aus den Versuchen errechnet werden. Dabei wird zuerst die generelle Form bestimmt, im zweiten Schritt wird die Dehnratenabhängigkeit eingearbeitet.

5. Komponenten

Durch die Möglichkeit, sehr schnell und flexibel unterschiedliche Aufspanvorrichtungen und Schlagfinnen zu realisieren, eignet sich das Testsystem für Komponentenversuche aller Art. An dieser Stelle seien ein Kabel aus dem Fahrzeuginnenraum (Abbildung 6), welches auf Druck und Biegung geprüft wird, ein PE-Schlauch, ein Airbagsack und Durchstoßversuche erwähnt. In allen Fällen erfolgt die Komponentenabbildung mittels FE-Analyse und zumeist automatischer Optimierung.

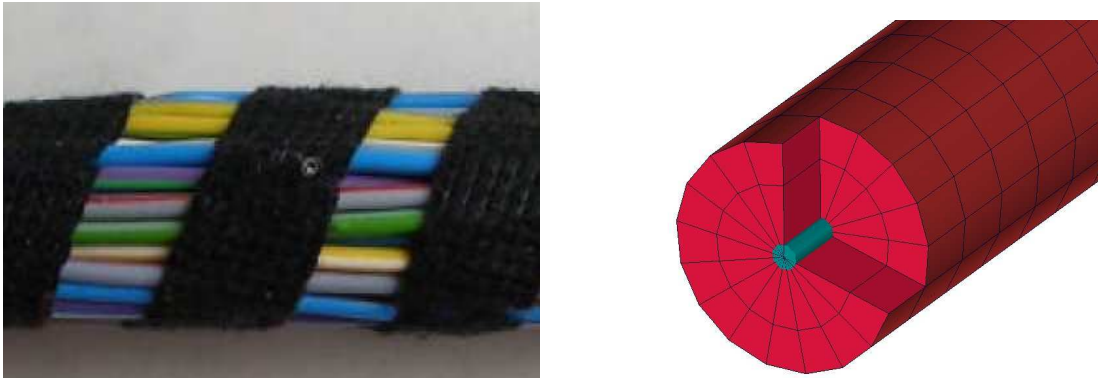


Abbildung 6: Probekörper und FE-Modell eines Kabelbaums.

6. Fazit

Kunststoffe zeigen sehr unterschiedliches Materialverhalten, zudem sind die Eigenschaften im Bauteil stark vom Herstellprozess geprägt. Belastungsgerechten Werkstoffprüfungen unter realitätsnahen Bedingungen kommt daher für die Materialdatenermittlung sehr große Bedeutung zu.

Es wird ein robustes und einfaches Prüfverfahren vorgestellt, welches eine rasche Versuchsdurchführung erlaubt. Zentraler Punkt ist ein Pendelsystem – *Impetus II*. Die Materialarten selbst werden im sogenannten „reverse engineering“ berechnet. Anhand von Beispielen wird gezeigt, wie diese Methodik für Schäume, kompakte Werkstoffe und Komponenten-Versuche angewendet werden kann. Das System ist durch mehrere Patentanmeldungen geschützt.

Literatur

- [1] Junginger M, „*Charakterisierung und Modellierung unverstärkter thermoplastischer Kunststoffe zur numerischen Simulation von Crashvorgängen*“, Dissertation.
- [2] Kolling S. et al., „SAMP-1: A Semi-Analytical Model for the Simulation of Polymers“, Dyna-User-Konferenz Bamberg, 2005.
- [3] B. Mlekusch, „Thermoelastic Properties of short-fibre-reinforced thermoplastics“, Journal of Composite Materials, 1999.
- [4] B. Mlekusch, A. Ableidinger, B. Spiegl, „A physically based Failure Hypothesis for short –fibre reinforced thermoplastics“, PPS-Conference, Portugal, 2002.
- [5] B. Scholz, M.Fritz, R. Hafellner, „*Dynamische Prüfung und Materialdatenermittlung von energieabsorbierenden Schaumwerkstoffen*“, ttp, 2005.