EATC - Eigenschaftsermittlung und Prüfung von langfaserverstärkten Thermoplasten

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Allgemeine Hinweise 2
1.1 Wie geht man um mit Faserorientierung? 2
1.2 Wie geht man um mit Materialqualität: Faserlänge und Dispersion? 2
1.3 Wozu verschiedene Platten / Proben für das Pressverfahren und Spritzgießen? 4
2 Plattengeometrie und Fertigung 5
2.1 Pressverfahren 5
2.1.1 Plattengeometrie 5
2.1.2 Plattenfertigung 7
2.2 Spritzgießen 8
2.2.1 Plattengeometrie 8
2.2.2 Plattenfertigung 10
3 Zugeigenschaften, isotrop 11
3.1 Prüfkörperpositionen 11
3.1.1 Pressverfahren 11
3.1.2 Spritzgießen 12
3.2 Prüfkörpergeometrie, Präparation 12
3.2.1 Pressverfahren 12
3.2.2 Spritzgießen 12
3.3 Zugversuche 12
3.4 Berechnung der isotropen Eigenschaften 13
3.5 Präsentation der Zugprüfungsergebnisse 13
3.6 Weitere Hinweise zur Zugprüfung 14
4 Bruchfestigkeitseigenschaften beim Durchstoßversuch 15
4.1 Prüfkörperpositionen 15
4.2 Prüfkörpergeometrie und -Präparation 15
4.3 Durchstoßversuch 15
4.4 Präsentation der Ergebnisse 16
5 Fasergehalt 17
6 Dichte 17
7 Weitere Eigenschaften - optionale Tests 18

1 Allgemeine Hinweise

Nachstehend wird die Prüfung der Materialeigenschaften von langfaserverstärkten Thermoplasten beschrieben, die sowohl im Formpressverfahren als auch im Spritzguss- oder ähnlichen Verfahren verarbeitet werden. Bekanntlich hängen die Materialeigenschaften von der Faserlänge, der Faserdispergierung und der Faserorientierung ab; daher sollten diese Faktoren als Kennwerte für die Eigenschaften berücksichtigt werden.
Die im folgenden definierten Richtlinien gelten für glasfaserverstärkte Polypropylen Materialien, bei anderen Polymeren können zusätzliche Richtlinien nötig sein.

1.1 Wie geht man um mit Faserorientierung?

Die Faserorientierung ist größtenteils strömungsbedingt und richtet sich nach der jeweiligen Position innerhalb des Produkts beziehungsweise der Prüfplatte. Zudem hängt die Faserorientierung beim Verpressen auch stark von der Vororientierung im GMT-Halbzeug oder Extrudat ab, wenn das Material den Extruder verlässt und in die Pressform eintritt. (Extrudat = extrudierte "Materialwurst", die manchmal auch als Plastifikat bezeichnet wird.)
Die Entnahme unterschiedlich orientierter Proben aus einer Formplatte, beispielsweise in 0°- beziehungsweise 90°-Orientier ung zur Fließrichtung, vermittelt einen Eindruck von der strömungsbedingten Materialanisotropie; jedoch ist die Kenntnis des mittleren Eigenschaftsbildes für Designberechnungen oder Materialvergleiche denkbar unzureichend.
Das in diesem Text beschriebene Prüfverfahren zur Ermittlung der isotropen Eigenschaften löst das Problem der Erfassung des Eigenschaftsbildes in einer Prüfplatte bei unbekannter Orientierung. Das isotrope Eigenschartenniveau ist genau das Niveau, das erreicht wird für dasselbe Material, wobei die Fasern gleichmäßig in alle Richtungen verteilt sind. Es ist unabhängig von der tatsächlichen Faserorientierung in einer Prüfplatte.
Das isotrope Eigenschaftsbild kann beispielsweise für Materialvergleiche oder vorläufige mechanische Berechnungen verwendet werden, wobei die Faserorientierung, die sich infolge des Füllverhaltens einstellt, noch nicht bekannt ist, da die Anspritzpunkte/Extrudat-Einlagen noch definiert werden müssen.
Die isotropen Eigenschaften werden rechnerisch aus den Prüfergebnissen in 0°, 45° und 90°-Richtung ermittelt.
In diesem Zusammenhang ist zudem darauf hinzuweisen, dass direkt spritzgegossene Zugstäbe, wie sie häufig in den Materialdatenblättern der Materiallieferanten vorkommen, eine sehr hohe Faserorientierung aufweisen und nur in Ausnahmefällen als Maß für die Materialkennwerte bei den Formteilen in der täglichen Praxis dienen können.

1.2 Wie geht man um mit Materialqualität: Faserlänge und Dispersion?

Bei einem gegebenen Material bestimmen zwei weitere Einflussgrößen die Qualität des aus dem Produktionsprozess hervorgehenden Materials:

1. Die Faserlänge (oder, besser gesagt, die Faserlängenverteilung)
2. Die Faserdispergierung

Die Dispersion beschreibt die Art der Glasfaserverteilung innerhalb der thermoplastischen Matrix. Die Möglichkeiten reichen von der gleichmäßigen Verteilung bis hin zur Konzentration in Glasbündeln.

In Abhängigkeit von der Faserlänge und Faserdispergierung ändert sich auch das isotrope Eigenschaftsbild.

Unterschiedliche Maschinen und Prozesseinstellungen können ein unterschiedliches Materialeigenschaftsbild ergeben; daher ist unbedingt festzuhalten, in welcher Weise die Prüfplatten hergestellt wurden. Vorzugsweise sollte man dabei Produktionsparameter wählen, die eine für industrielle Anwendungen typische Materialqualität ergeben.
Zur Charakterisierung der Materialqualität in der Prüfplatte werden zweckmäßigerweise entsprechende Röntgenaufnahmen zur Klärung des Dispersionszustands und Faserlängemessungen hinzugezogen. Diverse Dispersionszustände sind beispielhaft der Abbildung 1 zu entnehmen. (Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass diese Röntgenbilder gleichzeitig zur Überprüfung der Homogenität und Faserorientierungsrichtung verwendet werden können. Entsprechende Einzelheiten sind der Beschreibung zu diesem Prüfverfahren zu entnehmen).

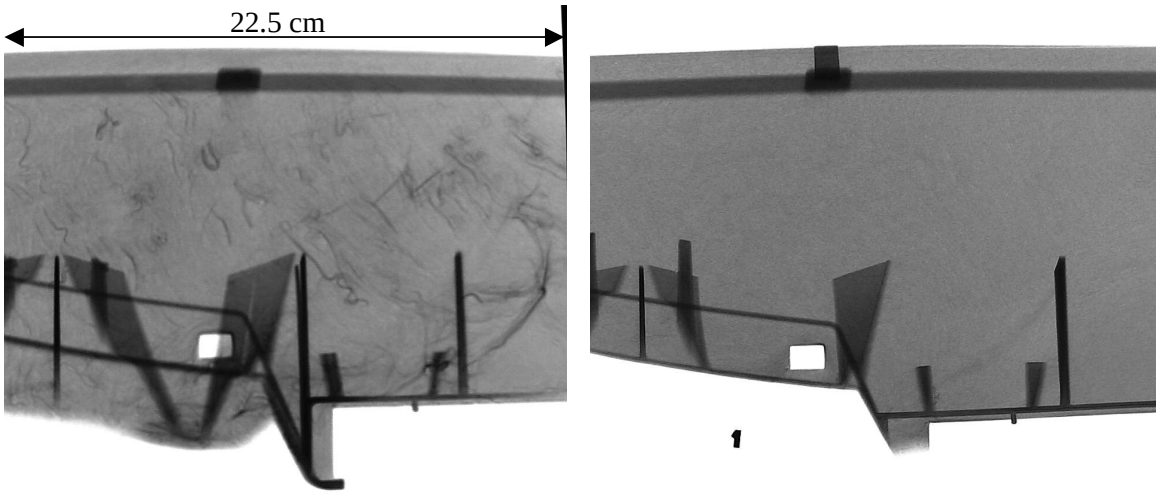


Abbildung 1: Beispiel für eine grobe (links) beziehungsweise feine Dispersion (rechts), jeweils in einer Röntgenaufnahme.

Zur Faserlängenmessung kann man das direkte Verfahren verwenden (indem man eine Vielzahl von Faserlängen zählt) oder mit dem Durchstoßversuch auf indirektem Weg vorgehen. Im letzteren Fall sollte das Verhältnis zwischen der Faserlänge und den Schlagzähigkeitswerten für das spezifische Material verfügbar sein, und der Einfluss der Probenstärke und des Dispersionsgrads muss ebenfalls bekannt sein. Generell ergibt dieses indirekte Verfahren ein gutes Maß für die Materialqualität, ist jedoch trotzdem weniger präzise.
Zur Vereinfachung kann die Materialqualität anhand einer einzigen Ziffer für die massegemittelte Faserlänge (l_w) ausgedrückt werden, obwohl diese Zahl kein Maß für die Faserdispergierung bietet. Bisher kann die Faserdispergierung lediglich qualitativ mithilfe von Röntgenaufnahmen erfasst werden.

Wenn man die Materialqualität in dieser Weise charakterisiert, ermöglicht das den Vergleich der Materialqualität konkreter Teile mit der Materialqualität der verwendeten Prüfplatten, die im Hinblick auf die isotropen und weiteren Eigenschaften umfassend untersucht werden können. Bei konkreten Teilen aus der Praxis ist das normalerweise aufgrund der geometrischen Einschränkungen nicht möglich.

1.3 Wozu verschiedene Platten / Proben für das Pressverfahren und Spritzgießen?

Beim Pressverfahren und Spritzgießen gibt es unterschiedliche Platten- und Probengeometrien. Dafür gibt es zwei Gründe:

Der Grund liegt im Wesentlichen darin, dass die beiden Verfahren eine unterschiedliche Faserorientierungsverteilung bei den Formplatten ergeben. Insbesondere beim Spritzgießen zeigt die Faserorientierung häufig einen mehr oder weniger kreisförmigen Verlauf im Kern. Das ist sogar dann der Fall, wenn ein Filmanguss zum Einsatz gelangt, wobei die Platte in einer Richtung gefüllt wird. Kreisförmige Fließlinien entstehen dadurch, dass das Material aus einem kleinen Anspritzpunkt in das Werkzeug eintritt. Aufgrund dieser kreisförmigen Fließlinien ist unbedingt darauf zu achten, dass die Proben immer in der gleichen Position entnommen werden und dass die Faserorientierung über den gesamten Messbereich der Probe konstant ist. Die Ausbildung von Fließlinien in konzentrischen Kreisen bedeutet definitionsgemäß eine nicht konstante Verteilung der Faserorientierung. Eine konstante Verteilung lässt sich somit nur approximieren, indem man recht kleine Proben im Verhältnis zur Plattengröße entnimmt. Andererseits ergeben kleine Proben weniger präzise Ergebnisse als größere Proben. Daher ist hier ein Kompromiss zwischen realistischer Plattengröße und optimaler Probengröße erforderlich.
Im Gegensatz dazu lassen sich verpresste rechteckige Platten mit sehr homogener Faserorientierung in nur einer Richtung herstellen, bei denen sich keine solchen kreisförmigen Fließlinien ausbilden. Dabei können jedoch gewisse örtliche Schwankungen aufgrund der Bündelstruktur auftreten. Die Präzision wird dann verbessert, indem man relativ große Proben entnimmt.

Der zweite Grund für die unterschiedliche Plattengröße liegt in der Verfügbarkeit der Plattenwerkzeuge bei den verschiedenen Firmen beziehungsweise Instituten, die generell größenmäßig zur vorhandenen Plastifiziermaschine passen müssen. Sehr große Platten beispielsweise lassen sich nicht mit relativ kleinen Spritzgießmaschinen füllen. Daher müssen die optimalen Werkzeugabmessungen in Anbetracht der oben erwähnten Empfehlungen zu den jeweiligen Größenvorgaben passen.

2 Plattengeometrie und Fertigung

Da beim Pressverfahren und beim Spritzgießen unterschiedliche Plattengeometrien, Probenpositionen und Probentypen zum Tragen kommen, werden diese nachstehend getrennt besprochen.

2.1 Pressverfahren

2.1.1 Plattengeometrie

Hier gelangt eine rechteckige Platte zum Einsatz, wobei das Extrudat oder Plastifikat an einem Ende positioniert wird und die Proben gemäß Abbildung 2 aus dem Fliessbereich entnommen werden:

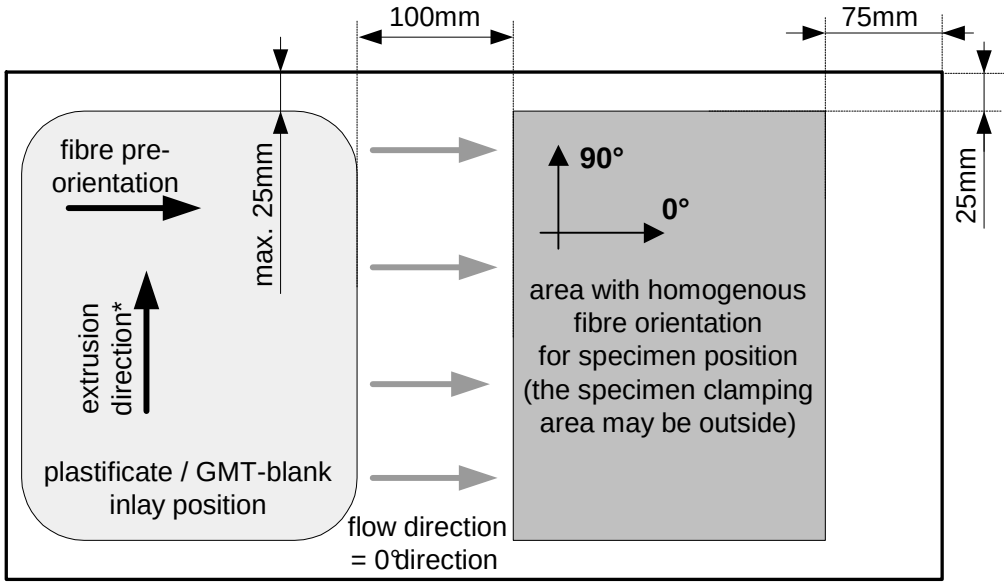


Abbildung 2: Verpresste Platte
**Bei extrudierten Materialien sind die Fasern normalerweise senkrecht zur Extrusionsrichtung vororientiert.*

Wenn das Halbzeug oder das Extrudat/Plastifikat gemäß der Darstellung in Abbildung 2 positioniert wird, ergibt das Pressverfahren einen relativ großen Bereich mit homogener Faserorientierung. Die 0°-Richtung ist definitionsgemäß die Fließrichtung. Im Regelfall entspricht diese der Hauptfaserorientierung.
Die Faserorientierung unmittelbar an den seitlichen Rändern ist zwar homogen, jedoch sind im Randbereich am Fließwegende durchaus Inhomogenitäten zu erwarten. In diesem Bereich können ganz andere Fließverhältnisse auftreten; daher ist vom Fließwegende ein größerer Abstand einzuhalten. In der Abbildung 2 beträgt diese Distanz 75 mm.

Die Prüfkörperentnahme sollte nur in Bereichen mit homogener Faserorientierung erfolgen. Eine Röntgenaufnahme der Platte (siehe Abbildung 3) bietet Aufschluss über die Homogenität der Faserorientierung und der Faserkonzentration. Ein Röntgenbild mit guter Homogenität zeigt Abbildung 3.

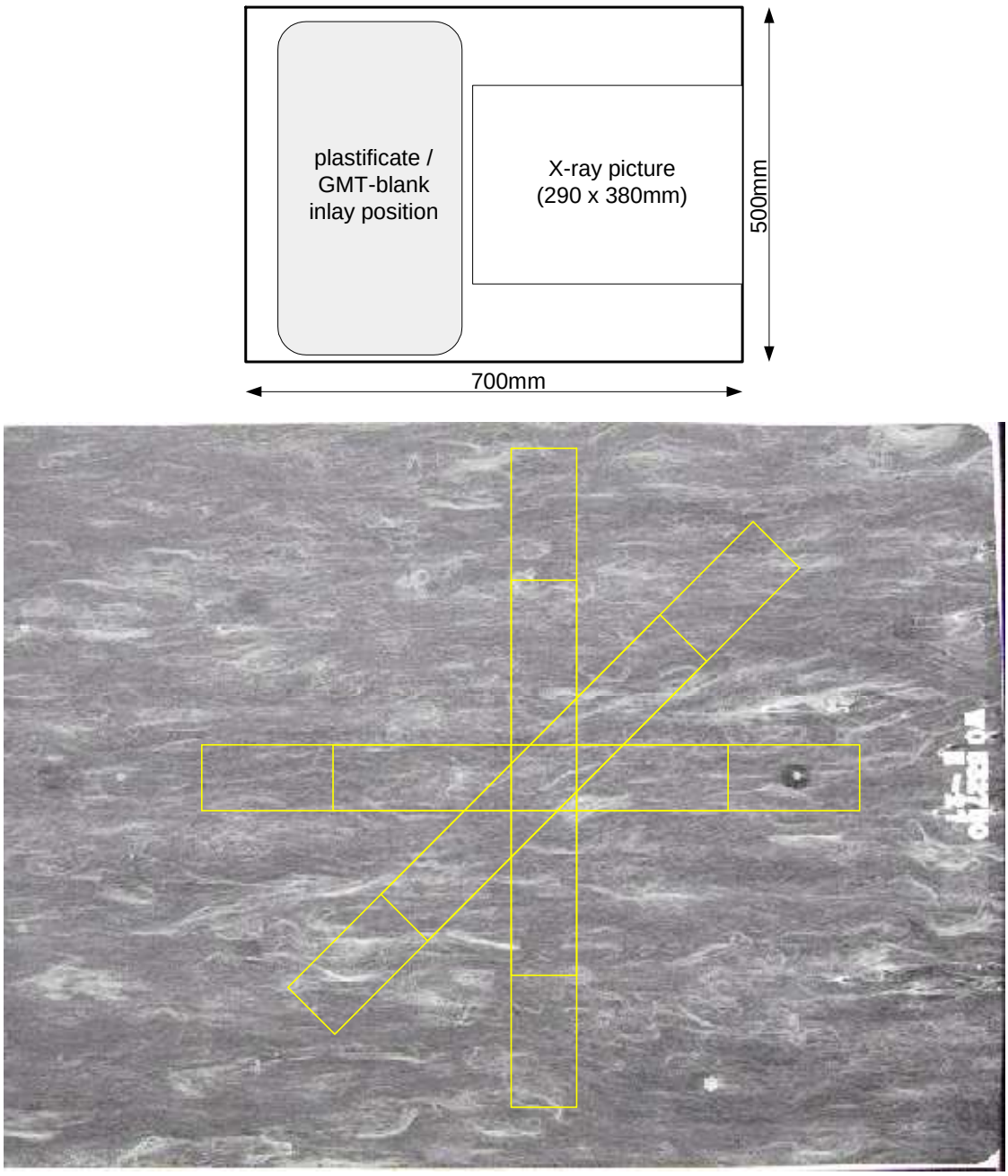


Abbildung 3: Beispielhaft ist hier die Röntgenaufnahme einer Formplatte im Bereich der homogenen Faserorientierung gezeigt.Eingezeichnet sind die beispielhaften Probekörperdimensionen.

Das Plattenwerkzeug muss mindestens 200 mm breit oder breiter sein. Empfehlenswert ist eine Werkzeuggeometrie von 250 x 600mm. Spezifischere Richtlinien sind dem Kapitel über die „Zugeigenschaften, isotrop" auf Seite 11 zu entnehmen.
Die optimale Plattenstärke beträgt 2, 3 beziehungsweise 4 mm, insbesondere wenn die Eigenschaften als Funktion der Plattenstärke ermittelt werden sollen. Soll die gesamte Prüfung bei einer einzigen Plattenstärke durchgeführt werden, empfehlen sich 3 mm.

2.1.2 Plattenfertigung

Wichtig ist die 0°-Vororientierung der Fasern im GMT-Halbzeug beziehungsweise LFT-Plastifikat. (Hinweis: Die meisten Extrudate besitzen diese Vororientierung; diese ist normal zur Extrusionsrichtung.)
Das LFT-Plastifikat beziehungsweise das GMT-Halbzeug sollten über die gesamte Breite des Werkzeugs eingelegt werden, um einen linearen Fluss in Längsrichtung zu gewährleisten.

Alle Platten werden unter Gleichgewichtsbedingungen bei konstanter Zykluszeit hergestellt, wobei sicherzustellen ist, dass beim Anfahren genügend Platten verworfen werden.

Die Fertigungsbedingungen sollten eine für die industrielle Serienproduktion typische Materialqualität ergeben. Vorzugsweise sollte man alle relevanten Prozessparameter dokumentieren.

2.2 Spritzgießen

2.2.1 Plattengeometrie

Im Gegensatz zu den verpressten Platten wird bei spritzgegossenen Platten nur ein Prüfling pro Platte präpariert, und zwar in einer Längs- (0°), Diagonal- (45°) oder Querorientierung (90°).
Zur Entnahme von Zugprüfkörpern eignet sich im Prinzip jede Formplatte, vorausgesetzt, dass der Orientierungszustand innerhalb der einzelnen Prüflinge nicht zu stark schwankt. Das verdeutlichen die nachstehenden Abbildung 4 bis Abbildung 7:

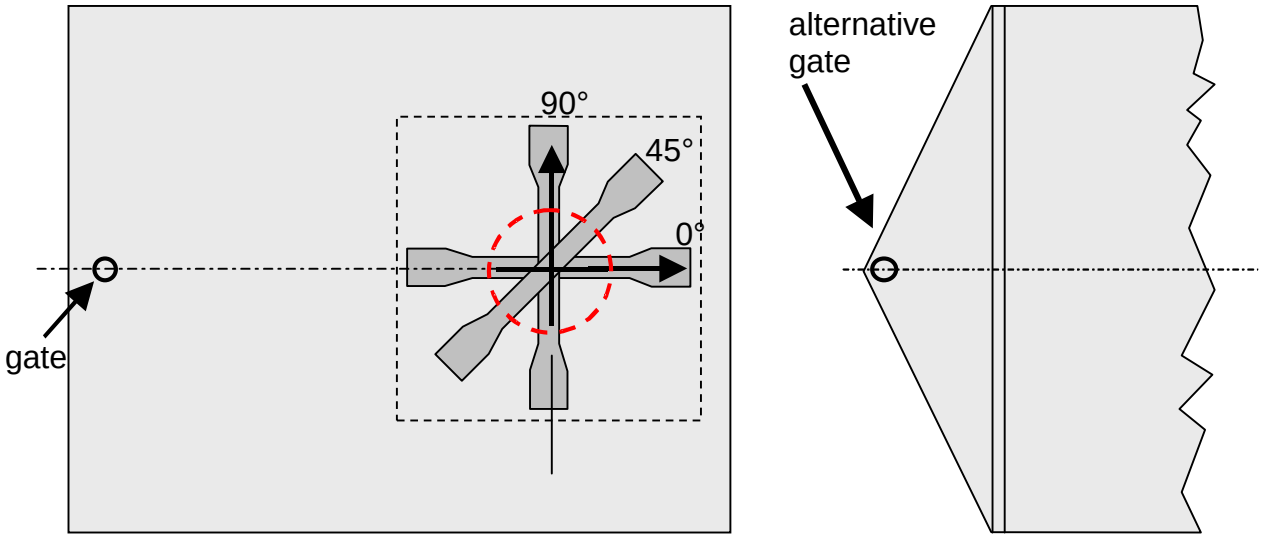


Abbildung 4: Beispiel für eine Platte, wobei die Zugprüfkörper in 3 verschiedene Richtungen orientiert sind.
Hinweis: Viele alternative Anspritzkonzepte sind denkbar, beispielsweise ist auch ein Filmanguss möglich. Die gestrichelte Linie bezeichnet den zulässigen Bereich für die Prüfkörperpräparation beim Durchstoßversuch.

Der Mittelpunkt der einzelnen Prüflinge sollte sich gemäß der Darstellung in Abbildung 4 jeweils an der gleichen Stelle befinden.
Generell ist die Faserorientierung nicht homogen über die gesamte Platte verteilt, sondern folgt mehr oder weniger dem vom Expansionsfluss beim Anschnitt vorgegebenen Kurvenverlauf. (Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass ein gegebener Filmanguss diesen Effekt nur marginal beeinflusst, auch wenn sich das Füllverhalten ändert). Der in Abbildung 4 eingekreiste Bereich für die Prüfkörperpräparation sollte so gewählt werden, dass die Faserorientierung relativ zur Probenbelastungsrichtung innerhalb des Messbereichs relativ homogen ist und maximal um 10° abweicht (siehe Abbildung 5).
Obwohl diese Abbildung als Beispiel die 90°-Probe darstellt, bezieht sich die maximale 10° - Abweichungsregel auch auf die anderen Richtungen. Generell ist jedoch die 90°-Probe am kritischsten und erfordert Platten, die so breit sind, dass sich Proben entnehmen lassen, bei denen die Orientierung einigermaßen konstant ist.
Hierbei ist darauf hinzuweisen, dass die Orientierung im Kern der Platte bei langfaserverstärkten Materialien mithilfe von Röntgenbildern leicht sichtbar gemacht werden kann.

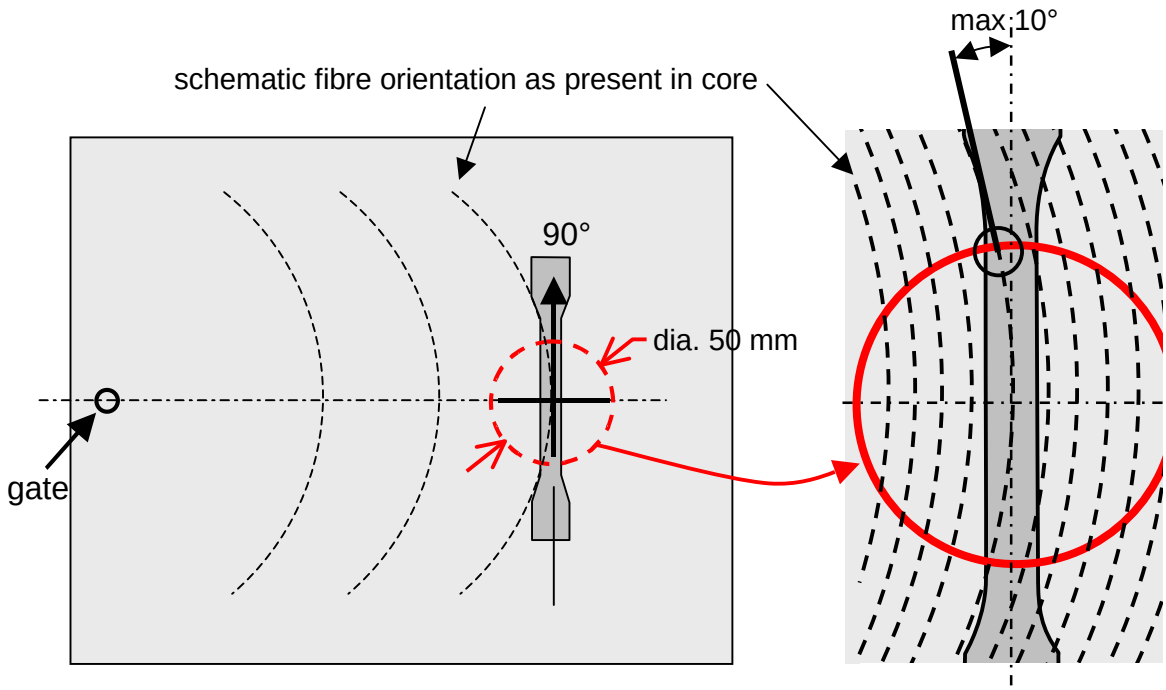


Abbildung 5: Beispiel für eine 90°-Probe, hier zus ammen mit der Faserorientierung im Kern (gestrichelte Linien). Am Rand des 50 mm - Messbereichs für den Elastizitätsmodul darf eine an diesem Punkt zur Faserorientierung im Kern eingezeichnete Tangente um höchstens 10° von der Probenachse abweichen.

Ein Beispiel für eine akzeptable Plattengeometrie zeigt die nachstehende Abbildung 6, einschließlich der Orientierung im Plattenkern auf den Röntgenbildern:

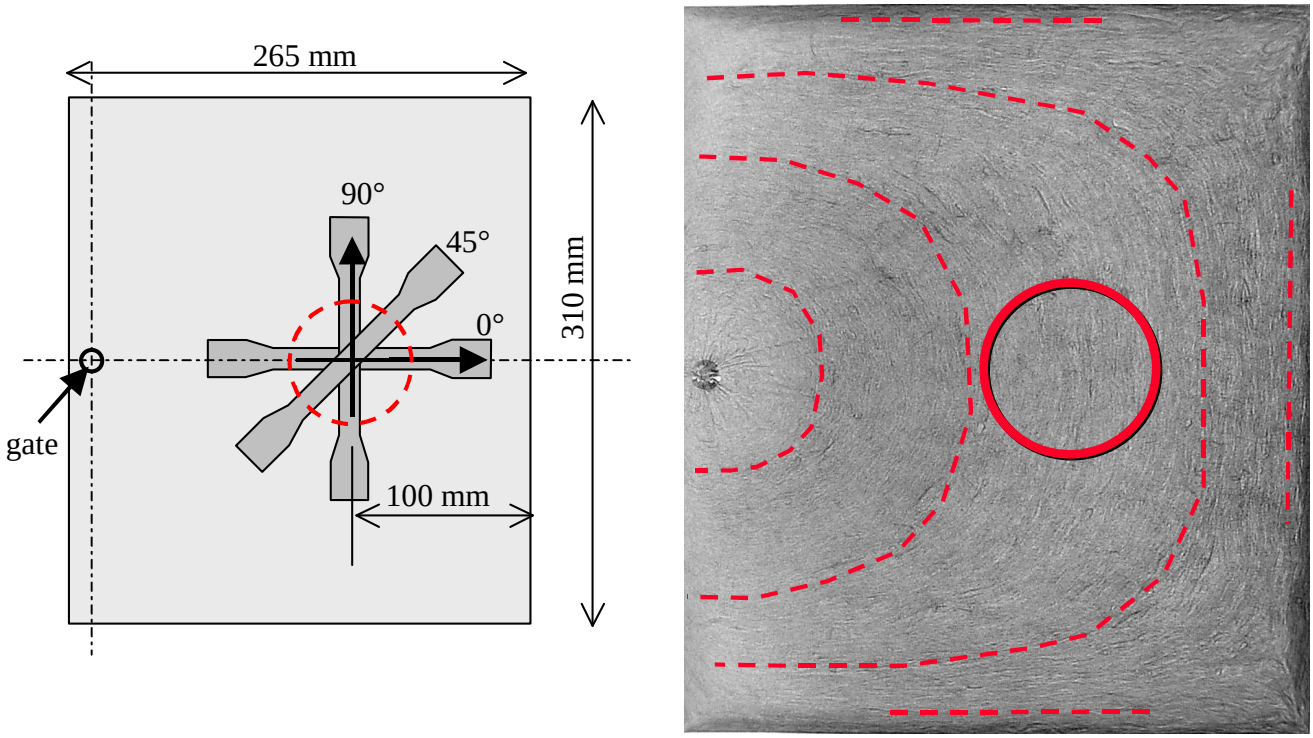


Abbildung 6: Beispiel für akzeptable Plattenabmessungen und eine akzeptable Orientierung im Plattenkern, die mithilfe von Röntgenbildern sichtbar gemacht wurden.

Abbildung 7 verdeutlicht anhand einer Röntgenaufnahme mit eingezeichneten Probekörperpositionen, wie eine unakzeptable Faserorientierung aussehen kann.

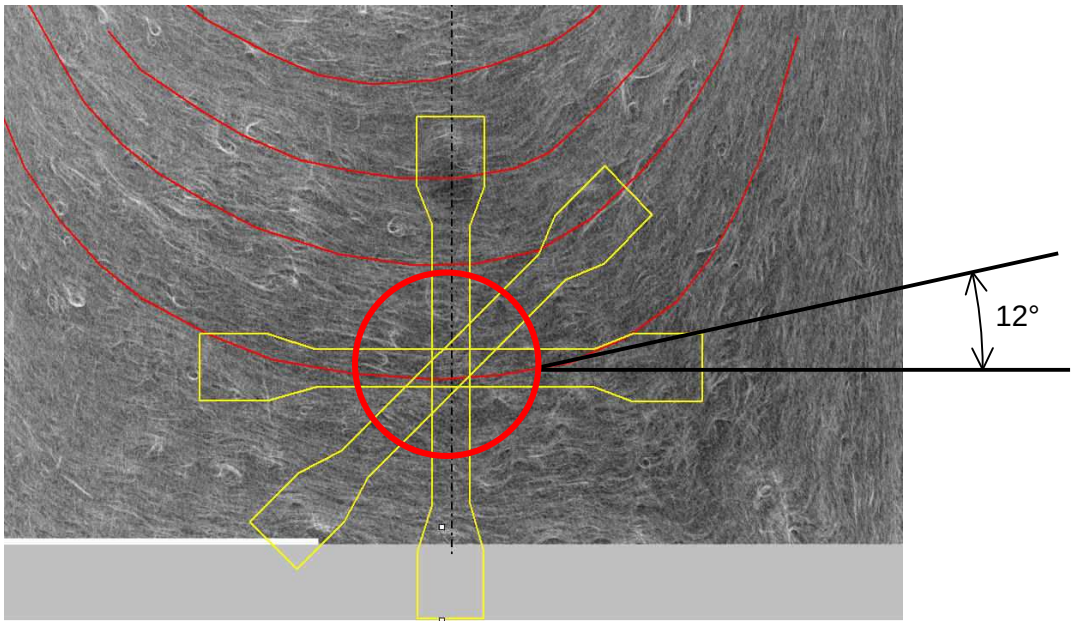


Abbildung 7: Beispiel für eine ungleichmäßige Faserorientierung in einem Prüfling, die nicht mehr akzeptabel ist.

Die Plattenstärke hat nur wenig Einfluss auf die isotropen Eigenschaften. Empfehlenswert ist eine für industrielle Anwendungen typische Stärke, normalerweise zwischen 2 und 3 mm.
Wenn die Prüfung bei einer einzigen Plattenstärke durchgeführt wird, sind 3 mm zu empfehlen.

2.2.2 Plattenfertigung

Die Fertigungsbedingungen sollten eine für die industrielle Serienproduktion typische Materialqualität ergeben. Alternativ kann ein Satz Prozessparameter verwendet werden, der dann die resultierenden Materialeigenschaften bei spezifischen Herstellungsbedingungen ergibt.

Alle Platten sollten unter Gleichgewichtsbedingungen bei konstanter Zykluszeit geformt werden, wobei darauf zu achten ist, dass beim Anfahren genügend Platten verworfen werden.
Beim Betrieb ist ein automatischer Maschinenzyklus vorzuziehen.

Vorzugsweise sollte man alle relevanten Prozessparameter dokumentieren, einschließlich der Plastifizierzeiten.

3 Zugeigenschaften, isotrop

3.1 Prüfkörperpositionen

3.1.1 Pressverfahren

Die Entnahmeposition der Proben in Abhängigkeit von der Faserorientierung ist der Abbildung 8 zu entnehmen. Der Entnahmebereich für Prüfkörper weist eine Orientierung von 0°, 45° beziehungsweise 90° relativ zur Fließrichtung (0°-R ichtung) auf.
Die dunkelgrau gekennzeichneten Flächen zeigen die zulässigen Entnahmebereiche für Prüfkörper. Die hier angegebenen Abstände können allerdings auch größer sein, sofern die Plattengeometrie dies erlaubt.
Aus einer Platte können durchaus auch mehrere Prüflinge entnommen werden.

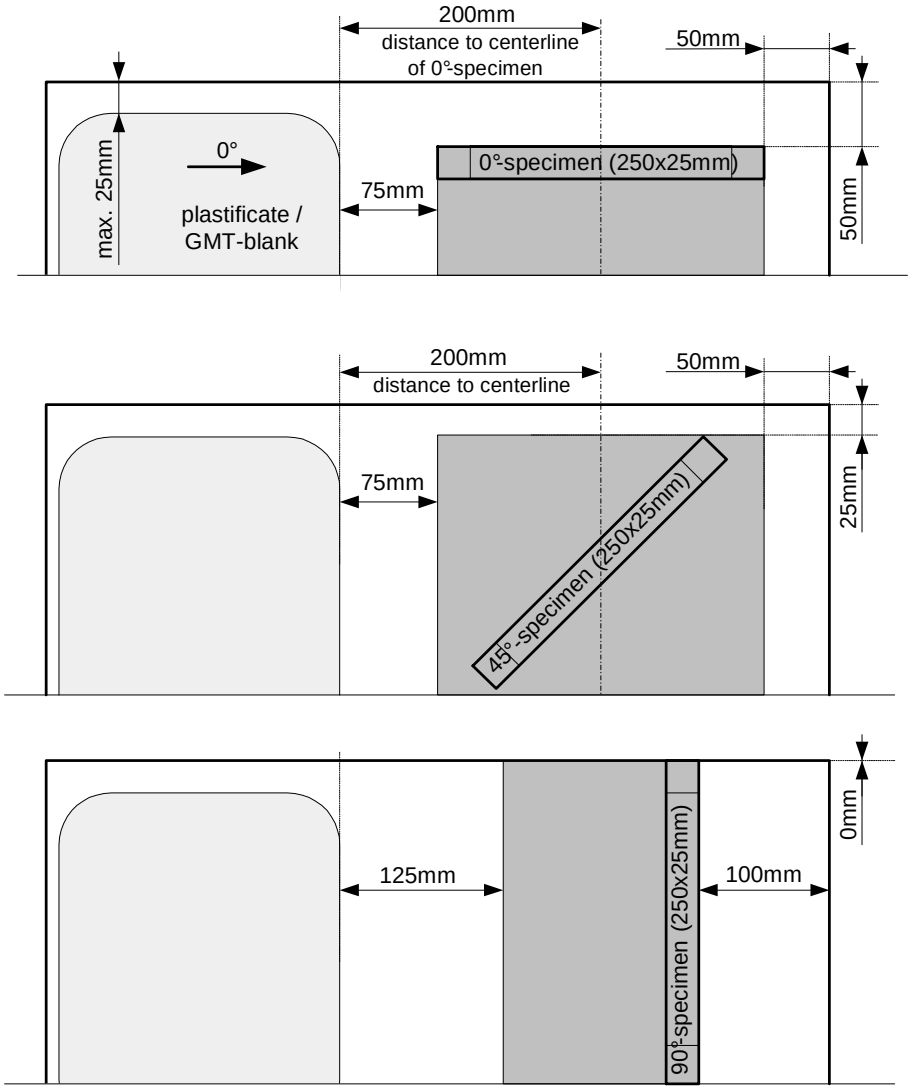


Abbildung 8: Einzelheiten zu den Plattenabmessungen beim Pressverfahren. Die dunkelgrauen Felder bezeichnen die Entnahmebereiche für Prüfkörper mit unterschiedlicher Faserorientierung. Hellgrau ist die Plastitikat/Extrudat Einlage gekennzeichnet.

Die Probekörperenden (Klemmbereich) können näher am Plattenrand liegen als in Abbildung 2 definiert, weil diese Zone zum einklemmen der Probekörper in der Zugprüfmaschine benutzt wird.

3.1.2 Spritzgießen

Die Prüfkörperpositionen bei spritzgegossenen Platten hängen gemäß der Beschreibung im Kapitel 2.2.1. von der jeweiligen Plattengeometrie ab.

3.2 Prüfkörpergeometrie, Präparation

3.2.1 Pressverfahren

Die Zugprüfkörper sind Rechteckproben von 250 x 25 mm (ISO 527/4, Probentyp 2).
Falls die Entnahme von 250 mm langen Prüfkörpern nicht möglich ist, können auch Prüflinge mit einer geringeren Länge von mindestens 200 mm verwendet werden. Bei den Zugversuchen sollte die freie Einspannlänge in jedem Fall 150 mm betragen.
Die Prüfkörperpräparation kann beispielsweise mittels Fräsen, Sägen oder Wasserstrahlschneiden erfolgen. Entscheidend ist, dass in den Randbereichen der Prüflinge eine qualitativ hochwertige Endbearbeitung erfolgt. Laserschneiden oder Stanzen werden nicht empfohlen, da dadurch die Kantenqualität leidet und Vorschädigungen im Prüfkörper auftreten können.

3.2.2 Spritzgießen

Der Probentyp ist ein Schulterprüfkörper nach ISO-Norm 527/1B .

Die Proben können maschinell aus einer Platte herausgearbeitet oder mittels Wasserstrahl geschnitten werden. Wobei darauf zu achten ist, dass eine glatte Probenkante erzielt wird. Laserschneiden oder Stanzen werden nicht empfohlen, da dadurch die Kantenqualität leidet.

3.3 Zugversuche

Die Tests werden gemäß der ISO-Norm 527 Teil 4 durchgeführt.
Die Testgeschwindigkeit für die komplette Prüfung beträgt 5 mm/min.

Für jede Orientierung müssen 10 Proben getestet werden.
Bei geringen Schwankungen zwischen den einzelnen Probenergebnissen, was sich in einer Standardabweichung von < 5% des mittleren Elastizitätsmoduls für eine gegebene Orientierung manifestiert, ist es zulässig, nur 5 Proben je Orientierung zu prüfen. In allen anderen Fällen wird eine geringere Probenzahl in das Prüfprotokoll eingetragen.

Die Prüflinge für die einzelnen Orientierungen werden aus mindestens 5 verschiedenen Platten entnommen (das ist bei spritzgegossenen Platten ohnehin der Fall, da hier nur ein Prüfling pro Platte gefertigt wird).

3.4 Berechnung der isotropen Eigenschaften

Die isotropen Eigenschaften lassen sich wie folgt rechnerisch aus den 0°, 45° und 90°-Ergebnissen herleiten:

Jeder anisotrope Materialzustand, beispielsweise beim Prüfling, lässt sich anhand der folgenden Kennwerte beschreiben: E_1, E_2, G_{12}, ν_{12} und ν_{21}, das sind die Elastizitätsmodule in Richtung 1 und 2, der Schermodul beziehungsweise die Poissonzahlen in Richtung 1 und 2. (Die ersten 4 Parameter sind unabhängig, ν_{21} ist ein abhängiger Parameter).
Alle diese Kennwerte sind direkt messbar, und anhand der entsprechenden Ergebnisse kann der isotrope Elastizitätsmodul gemäß der Laminattheorie berechnet werden.
In ähnlicher Weise lässt sich der isotrope Wärmeausdehnungskoeffizient rechnerisch ermitteln. Dafür werden die anisotropen Materialparameter α_1 und α_2, die Koeffizienten in Richtung 1 und 2, benötigt. Diese Koeffizienten sind direkt messbar.
Alternativ dazu lassen sich die Werte für den Schermodul der 0°, 45° und 90°-Zugstäbe (siehe Ref. 1) in sehr guter Näherung schätzen. In diesem Fall werden E_1 und E_2 direkt als 0° und 90° - Ergebnisse gemessen, und der Schermodul wird indirekt aus dem 45°-Ergebnis des Zugversuchs hergeleitet, während die Poissonzahl ν_{12} geschätzt wird. Für diese Berechnung kann ein beliebiges Programm zur Laminattheorie verwendet werden, oder beispielsweise das Excel-Sheet, das sich unter www.eatc-online.org herunterladen lässt.

Diese Berechnungen ergeben die folgenden isotropen Eigenschaften:

- E (isotroper Modul)
- G (isotroper Schermodul)
- ν (isotrope Poissonzahl)

Ref. 1 "Charakterisierung und Kennwerte von langfaserverstärkten Materialien", W.Schijve, 8. Internationale AVK-TV Tagung Baden-Baden, September 2005

3.5 Präsentation der Zugprüfungsergebnisse

Der Prüfbericht beinhaltet Informationen über die jeweiligen Plattenabmessungen und das Fertigungsverfahren.

Die Prüfergebnisse beinhalten:

- Ergebnisse in Abhängigkeit von der Faserorientierung (längs 0°, diagonal 45° und quer 90° zur Fließrichtung): Modul, Zugfestigkeit, Bruchdehnung - einschließlich Mittelwert und Standardabweichung.
- Isotropes Berechnungsergebnis: Modul, Schermodul, Poissonzahl, Zugfestigkeit - einschließlich des jeweiligen Berechnungsverfahrens, beispielsweise Excel Sheet, oder eines firmeninternen Berechnungsverfahrens.
- Jede Abweichung vom beschriebenen Prüfverfahren ist zu erwähnen.

3.6 Weitere Hinweise zur Zugprüfung

Da die Prüflinge für den Zugversuch nicht immer hundertprozentig flach sind und die Faserorientierung nicht immer ganz genau der Prüfkörperrichtung entspricht, ist beim richtigen Einspannen der Probe und bei der Positionierung der Dehnungsaufnehmer auf der Probe Sorgfalt geboten. Abweichende Prüfbedingungen können den Messwert des Elastizitätsmoduls verfälschen. Zur Kontrolle der korrekten Durchführung der Prüfung sollte die Spannung-Dehnung-Kurve gemäß Abbildung 9 hinzugezogen werden. Ein so genannter S-Kurvenverlauf ist ein Hinweis auf schlechte Prüfbedingungen und verfälscht die Messergebnisse für den Elastizitätsmodul.

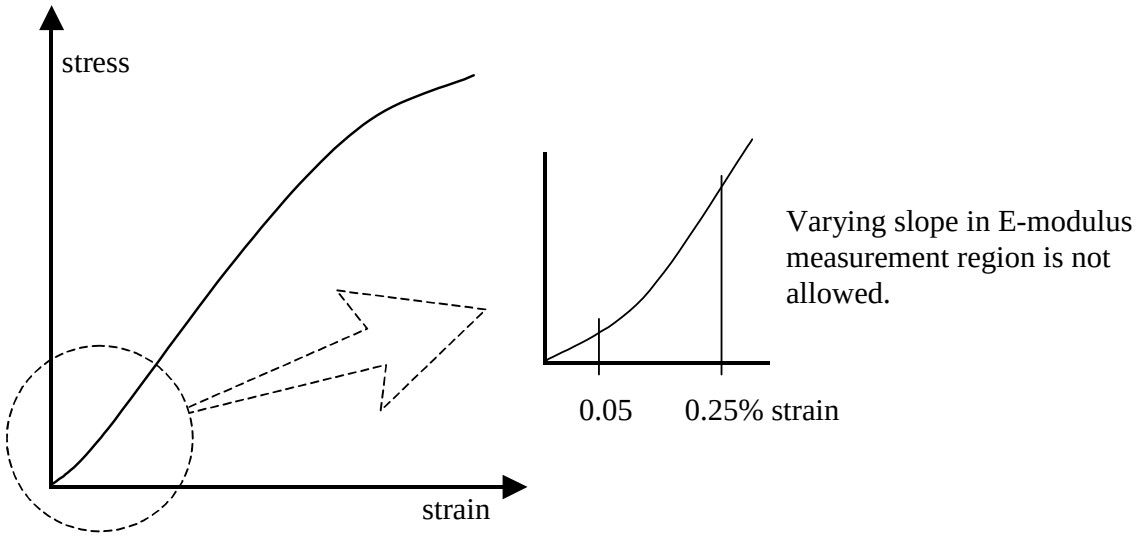


Abbildung 9: Beispiel für eine Spannung-Dehnung-Kurve mit einem „S-Kurvenverlauf", was die Ergebnisse für den Elastizitätsmodul verfälscht.

4 Bruchfestigkeitseigenschaften beim Durchstoßversuch

Da die Homogenität und die Faserorientierung beim Durchstoßversuch eine untergeordnete Rolle spielen, können für das Pressen und das Spritzgießen gleichartige Prüfkörper verwendet werden.
Es hat sich gezeigt, dass die gesamte beim Durchstoßversuch gemessene Durchstoßenergie ein gutes Maß für die Materialqualität ist, einschließlich der Faserlänge.

4.1 Prüfkörperpositionen

Die Entnahme erfolgt im Bereich der Entnahmepositionen für die Zugprüfkörper, um sicherzustellen, dass auf jeden Fall die gleiche Materialqualität geprüft wird. Einzelheiten sind Abbildung 2 und Abbildung 4 zu entnehmen.

4.2 Prüfkörpergeometrie und -Präparation

Der Probentyp entspricht ISO 6603/2 und die Probengröße beträgt 60x60 mm (quadratisch oder rund).

Die Probenstärke ist die gleiche wie die zur Bestimmung der Zugfestigkeitseigenschaften.
Hinweis: Obwohl das Ergebnis als Durchstoßenergie in Joule/mm Dicke ausgedrückt werden kann, ist dies keine reine Materialeigenschaft, sondern hängt sehr stark von der Plattenstärke ab.

Das Schneidverfahren ist frei wählbar.

4.3 Durchstoßversuch

Durchgeführt wird diese Prüfung in Anlehnung an die ISO-Norm 6603/2. Dabei gelangen eine Probenaufspannung mit einem Durchmesser von 40 mm sowie ein Impactor mit 20 mm Durchmesser und kugelförmiger Spitze zum Einsatz.
Mindestens 10 Prüfkörper aus mindestens 5 Platten werden dafür benötigt.

Abweichend vom Text der ISO-Norm 6603/2 wird hier die absorbierte Gesamtenergie sowie die Energie bei 20 mm Durchdringung des Impactors gemessen (siehe Abbildung 10).
Auf diese Weise wird immer die für den Prüfkörperbruch erforderliche Gesamtenergie gemessen. Die Auswertung bei 20 mm Durchdringung im Vergleich zur ISO-Norm 6603/2 (Auswertung bei 50% F_{max}) erlaubt eine genauere Auswertung der absorbierten Energie die weniger sensibel ist für große Schwankungen im gemessenen Kraftsignal. Zudem hat sich herausgestellt, dass die Gesamtenergie einen sehr viel verlässlicheren Rückschluss auf die Faserlänge im Prüfling erlaubt als die bei 50% erfassten Messwerte.

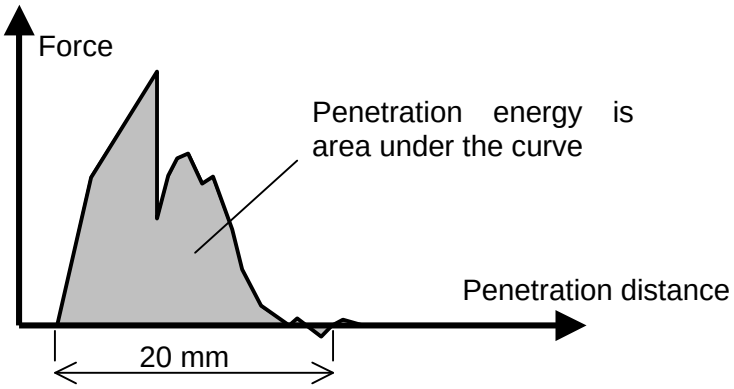


Abbildung 10: Gesamt-Durchstoßenergie bei 20 mm Durchdringung.

Zweckmäßigerweise ist zudem sicherzustellen, dass die Kraft nach der Durchdringung auf ungefähr Null zurückfällt.

4.4 Präsentation der Ergebnisse

Die Ergebnisse beinhalten die Maximalkraft sowie die Gesamtdurchstoßenergie gemäß der vorstehenden Definition, ausgedrückt in J/mm. Auch der Mittelwert und die Standardabweichung werden dokumentiert.

Da die Ergebnisse maßgeblich von der verwendeten Dicke abhängig sind, ist die tatsächlich gemessene Plattenstärke in das Prüfprotokoll einzutragen. Vergleichende Bewertungen von Materialdaten aus verschiedenen Quellen, die an Proben unterschiedlicher Dicke gemessen wurden, können nicht mit einander verglichen werden.

5 Fasergehalt

Die Proben sollten im Entnahmebereich der Prüfkörper für die Zugversuche entnommen werden, um sicherzustellen, dass die gleiche Materialqualität geprüft wird. Einzelheiten sind den Abbildung 2 und Abbildung 4 zu entnehmen.
Bei der Entnahme von Proben aus Platten (oder Teilen) ist das Fließwegende (der Plattenrand) zu vermeiden, da hier ein leicht erhöhter Glasgehalt vorliegen kann.
Die Proben werden aus mindestens zwei verschiedenen Platten entnommen.

Die Proben sollten min. 2500 mm² Fläche aufweisen, beispielsweise 50x50 mm oder größer. Alternativ können die bereits geprüften und zerbrochenen Prüfkörper aus dem Zugversuch zur Fasergehaltsbestimmung verwendet werden.

Der Fasergehalt wird in Anlehnung an das ISO 1172 – Verfahren bestimmt.

Das Ergebnis beinhaltet den Mittelwert und die Einzelwerte, oder den Mittelwert und die Standardabweichung, wenn mindestens 5 Proben geprüft werden.

6 Dichte

Die Probenahme erfolgt vorzugsweise im Entnahmebereich der Prüfkörper für die Zugversuche, um sicherzustellen, dass die gleiche Materialqualität geprüft wird. Entsprechende Einzelheiten sind den Abbildung 2 und Abbildung 4 zu entnehmen.
Die Proben werden aus mindestens zwei verschiedenen Platten entnommen.

Die Dichte wird in Anlehnung an das ISO 1183 – Verfahren bestimmt.

Das Ergebnis beinhaltet den Mittelwert und die Einzelwerte, oder den Mittelwert und die Standardabweichung, wenn mindestens 5 Proben geprüft werden.

7 Weitere Eigenschaften - optionale Tests

Darüber hinaus können zusätzliche Eigenschaften optional ermittelt werden. Auf die Details wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen. Um jedoch sicherzustellen, dass die Prüfverfahren einigermaßen einheitlich sind, wird nachstehend auf die entsprechenden Verfahren verwiesen.

Für die Endanwendung erforderliche Werkstoffeigenschaften

Materialeigenschaften im Lieferzustand				
Eigenschaft	**Standard**	**Probe**	**Einheit**	**Prüfbedingungen und spezielle Empfehlungen**
Oxidations-Induktionszeit (Oxidation Induction Time, OIT)	EN 13677	100 mm x 100 mm	min	Zeit bis zum Massenverlust > 2 % bei 230 ℃, Anlage F
Größe des Halbzeugs	EN 13677	Halbzeug im Lieferzustand	mm2	siehe Anlage D
Gewicht des Halbzeugs	EN 13677	Halbzeug im Lieferzustand	g	siehe Anlage D
Strömungseigenschaften / Energie	DIN EN ISO 12115 oder 12114		J	3 Halbzeuge 190 mm x 190 mm in der Mitte der Pressform
Strömungseigenschaften / Druck	DIN EN ISO 12115 oder 12114		Bar s	3 Halbzeuge 190 mm x 190 mm in der Mitte der Pressform
Schmelztemperatur	ISO 3146		℃	10℃/min unter Stick stoff, zweites Erhitzen
Rekristallisationstemperatur	ISO 3146		℃	10℃/min unter Stickstoff, nach dem ersten Erhitzen

Materialeigenschaften bei Formplatten; Standard-Plattenstärke 2mm, optional 3 oder 4 mm				
Eigenschaft	**Standard**	**Probe**	**Einheit**	**Prüfbedingungen und spezielle Empfehlungen**
Biegemodul RT & 80℃	ISO 178	Typ II, 80 mm x 25 mm	MPa	5 mm/min, Sekante 0,05 - 0,25 %
Biegedehnung RT & 80℃	ISO 178	Typ II, 80 mm x 25 mm	%	5 mm/min
Biegefestigkeit RT & 80℃	ISO 178	Typ II, 80 mm x 25 mm	MPa	5 mm/min
Charpy-Schlagzähigkeit	ISO 179/2fn	Typ II, 15mm Breite	kJ/m²	Flachprüfung
Charpy-Schlagzähigkeit -30℃	ISO 179/2fn	Typ II, 15mm Breite	kJ/m²	Flachprüfung
FPI Energie bei Fmax	ISO 6603	60 mm x 60 mm oder rund, d = 60 mm	J	4,4 m/s; Messung und Aufzeichnung der Plattenstärke
Zugmodul 80℃	ISO 527/4	Spritzgießen: ISO 527-1B; Pressverfahren: ISO 527-4/Typ2 (250 (min. 200) mm x 25 mm)	MPa	5 mm/min
Zugfestigkeit 80℃	ISO 527/4	Spritzgießen: ISO 527-1B; Pressverfahren: ISO 527-4/Typ2 (250 (min. 200) mm x 25 mm)	MPa	5 mm/min
Reißdehnung 80℃	ISO 527/4	Spritzgießen: ISO 527-1B; Pressverfahren: ISO 527-4/Typ2 (250 (min. 200) mm x 25 mm)	%	5 mm/min
Kompressionsmodul	ISO 14126	gemäß der Definition in der Norm		1 mm/min, Sekante 0,05 - 0,25 %
Druckfestigkeit	ISO 14126	gemäß der Definition in der Norm		1 mm/min
CTE normal / parallel	ISO 11359	gemäß der Definition in der Norm	10-6 1/K	
Wasserabsorption	ISO 62/C		%	Gewichtszunahme nach 24 Stunden
LTHA	EN ISO 4577		h	
Brennverhalten	ISO 3795		mm/min	identisch zu MVSS 302
HDT	ISO 75-2A		℃	Prüfung 0°und 90°

Weitere Hinweise zu den geeigneten optionalen Prüfverfahren:

Glasfaserlänge

Die Glasfaserlängenverteilung kann in vielerlei Weise gemessen werden und ist noch nicht standardisiert. Es ist darauf hinzuweisen, dass verschiedene Labors bisher noch sehr unterschiedliche Ergebnisse bezüglich der mittleren Glaslänge erhalten. Das liegt im Wesentlichen an den Unterschieden bei der Entnahme repräsentativer Glasfaserproben. Die entsprechenden Differenzen können ohne weiteres um einen Faktor von 2 voneinander abweichen!
Ein standardisiertes Verfahren zur Behebung dieses Problems wird noch benötigt.

Linearer Wärmeausdehnungskoeffizient (Coefficient of linear thermal expansion, CLTE)

An genau den gleichen Stellen wie die 0°- und 90°-Z ugstäbe werden auch die 0°- und 90°-CLTE-Proben entnommen, und zwar mindestens zwei Proben je Richtung und jeweils nur eine Probe pro Platte.
Das CLTE-Prüfverfahren entspricht dem EATC-Normvorschlag.
Die physikalischen und technischen CLTE-Werte werden als Funktion der Temperatur aufgezeichnet (der physikalische Wert ist der CLTE-Wert bei einer gegebenen Temperatur; der technische CLTE hingegen ist der Mittelwert zwischen zwei Temperaturen, beispielsweise 23°C und 80°C, und wird im Regelfall für einfache Berech nungen oder Datenblätter verwendet.)
Die physikalischen CLTE-Werte bei gegebener Temperatur können zusammen mit den Ergebnissen für die 0°-, 45°- und 90°-Zugprüfkörper bei der fraglichen Temperatur zur Berechnung eines isotropen CLTE bei dieser Temperatur herangezogen werden. Einzelheiten sind dem Verfahren zur Berechnung der isotropen Eigenschaften zu entnehmen.

Schlagzähigkeit, Charpy, IZOD

Alle diese Eigenschaften sind stark von der Faserorientierung sowie eventuellen Glaskonzentrationsschwankungen in Dickenrichtung des Prüflings abhängig. Diese Schwankungen wiederum können sich stark nach den jeweiligen Prozessbedingungen richten. Wenn man lediglich Proben aus geformten Produkten entnimmt, beispielsweise in zwei Richtungen, kann das somit die Ergebnisse stark verfälschen.
Daher ist es nicht empfehlenswert, diese Werte bei spritzgegossenen Materialien zu erfassen. In Fällen, wo dies trotzdem erforderlich ist, sollte zur Ermittlung der isotropen Werte das gleiche Verfahren zum Einsatz gelangen, das auch für die isotropen Zugfestigkeitseigenschaften verwendet wird; bei der Interpretation der Ergebnisse ist Vorsicht geboten.

Strömungseigenschaften

Strömungseigenschaften, wie sie beispielsweise für die Formfüllsimulation benötigt werden, kommen bei dieser Norm bisher noch nicht vor.
Generell würde eine Charakterisierung die Messung der Viskosität, des p-V-T-Diagramms, der Wärmeleitfähigkeit und der Wärmekapazität beinhalten. Kleinformatige Kapillaren sind für langfaserverstärkte Materialien weniger gut geeignet. Bei der Wärmeleitfähigkeit sollten die Faserorientierung und die Dispersion berücksichtigt werden. Zudem ist darauf hinzuweisen, dass insbesondere die Viskosität von der Faserlänge abhängt.

Entwicklung der Faserorientierung

Auf die Parameter, die die Entwicklung der Faserorientierung als Funktion von Strömungstyp und -Länge definieren, wird an dieser Stelle nicht näher eingegangen. Normalerweise würden diese Parameter die Faserinteraktionskoeffizienten beinhalten, wie sie beispielsweise bei Formfüllsimulationen nach dem Finite-Element-Verfahren zur Anwendung gelangen. Die benötigten Parameter sind im Regelfall bei den jeweiligen Materiallieferanten erhältlich.

Schrumpf

Generell sollten die Prüfplatten zur Bestimmung des anisotropen Schrumpfes eine hinreichende Strömungslänge aufweisen, um eine ziemlich gleichmäßige Faserorientierung zu erhalten (wobei der Quotient von Plattenlänge zu Plattenbreite größer als 3 sein sollte). Zudem sollte der Schrumpf bei unterschiedlichen Verarbeitungsbedingungen und Wandstärken ermittelt werden. Hier gilt ebenfalls, dass der Schrumpf stark von der Faserlänge abhängt.

Bei quadratischen Platten ist ein Filmanguss als alternatives Anspritzkonzept zur Bestimmung anisotroper Schrumpfungswerte denkbar ungeeignet, da der Filmanguss den anfänglichen Orientierungszustand nur marginal beeinflusst und somit keine höhere Orientierung ergibt.