

# ENCYCLOPAEDIA CINEMATOGRAPHICA

Editor: G. WOLF

---

*E 2247/1976*

## **Zugbeanspruchung von spritzgegossenem Standard-Polystyrol**

### **Bildung von Fließzonen, Einschnürung und Bruch Variation der Dehngeschwindigkeit**

Mit 1 Abbildung

GÖTTINGEN 1976

---

INSTITUT FÜR DEN WISSENSCHAFTLICHEN FILM

## Zugbeanspruchung von spritzgegossenem Standard-Polystyrol

### Bildung von Fließzonen, Einschnürung und Bruch Variation der Dehngeschwindigkeit

K. P. GROSSKURTH, Stuttgart

#### Allgemeine Vorbemerkungen<sup>1</sup>

Amorph erstarrte, transparente Polymere zeigen unter Zugbeanspruchung beim Überschreiten kritischer Dehnwerte in Mikrobereichen Deformationserscheinungen, die bei entsprechendem Lichteinfall aufgrund von Lichtbrechungseffekten mit bloßem Auge deutlich sichtbar sind. Hierbei handelt es sich um Fließzonen, die im angelsächsischen Sprachraum crazes genannt werden.

Zunächst hielt man diese Zonen für echte Gefügetrennungen und gab ihnen deshalb die unzutreffende Bezeichnung „Spannungsrisse“. Zahlreiche elektronenmikroskopische Untersuchungen erbrachten jedoch unabhängig von dem verwendeten Präparationsverfahren den Nachweis, daß Fließzonen örtlich eng begrenzte Bereiche darstellen, in denen die Makromoleküle in Belastungsrichtung gereckt sind (GROSSKURTH [2], KAMBOUR [4], SPURR et al. [6]). Bei Polystyrol ergaben Lichtbrechungsindexmessungen (KAMBOUR [5]) und rasterelektronenmikroskopische Betrachtungen sauerstoffionengeätzter Probenoberflächen (GROSSKURTH [3]), daß das Fließzonenmaterial eine wesentlich geringere Dichte als die umgebende, unversehrte Polymermatrix besitzt. Folglich geht das Fließzonenwachstum und die damit verbundene Volumenvergrößerung mit einer Auflockerung des Werkstoffs einher. Während die Fließzonen zu-

<sup>1</sup> Angaben zum Film und kurzgefaßter Filminhalt (deutsch, englisch, französisch) s. S. 11—13.

nächst weiterhin lastübertragungsfähig sind, entsteht in ihnen bei zunehmender Belastung durch Vereinigung mikroskopischer Hohlräume ein makroskopischer Riß, der sich schnell zum Bruch vergrößert.

Molekulare Orientierungen üben einen wesentlichen Einfluß auf das Verformungs- und Bruchverhalten amorpher Thermoplaste aus. Technisches Interesse besitzen in der Praxis die als Folge zahlreicher Verarbeitungsprozesse entstehenden ortsvariablen Orientierungszustände. Ihre Auswirkungen auf die durch zügige Zugbeanspruchung bei Raumtemperatur hervorgerufenen Fließzonen werden am Beispiel spritzgegossener glasklarer Polystyrolprobekörper besonders deutlich.

Die Fließzonenbildung setzt in den Bereichen ein, deren Fließzonen auslösende, kritische Dehnung — auch Verformungsgrenze genannt — überschritten wird. Als Ursachen hierfür kommen einerseits Spannungsspitzen in der Umgebung von Fehlstellen, andererseits ein durch ortsvariable Orientierungszustände lokal unterschiedliches Verformungsverhalten in Frage. Infolgedessen gehen Fließzonen in thermisch entspannten, orientierungsfreien Proben bevorzugt von der Probenoberfläche aus, die naturgemäß eine besonders hohe Fehlstellenkonzentration aufweist.

Beim Spritzgießen von Probestäben in kalten Formen hingegen führt die Scherung der Schmelze vor allem in Formwandnähe zur Ausrichtung der Makromoleküle. Durch rasche Abkühlung werden daher in der äußeren Schicht starke Orientierungen eingefroren. Sie nehmen beim Spritzgießen mit geringem Spritznachdruck zur Probenmitte hin ab. Einerseits verringert sich dort die Scherung der Schmelze, d. h. es entstehen von vornherein weniger Orientierungen als in Formwandnähe. Andererseits erhöht sich die für Desorientierungsvorgänge verbleibende Zeit mit wachsendem Abstand von der Formwand. WIEGAND und VETTER [7] sowie WINTERGERST [8] haben über diese Zusammenhänge ausführlich berichtet.

Die Verformungsgrenze  $\epsilon_F$  steigt bei amorphen Polymeren mit dem Orientierungsgrad an. Entsprechend dem in Abb. 1 schematisch dargestellten Verlauf liegt sie also in der äußeren Schicht spritzgegossener Proben höher als in dem nur mäßig orientierten Probeninneren. Ferner sind in der äußeren Schicht Druckspannungen, im Inneren Zugspannungen vorhanden. Daher beginnt die Fließzonenbildung bei Spritzgußteilen aus amorphen Thermoplasten im Probeninneren. Die ebenfalls an den Oberflächen existierenden Fehlstellen tragen somit in diesem Fall nicht zur Initiierung von Fließvorgängen bei. Die laterale Ausdehnung der Fließzonen, die sich stets orthogonal zur Zugbeanspruchung ausbreiten, resultiert gemäß Abb. 1 aus den Schnittpunkten des Verlaufs der tatsächlichen Dehnung ( $\epsilon_1$  bzw.  $\epsilon_2$  in Abb. 1) mit dem der Verformungsgrenze  $\epsilon_F$ .

Entstehung und Wachstum der Fließzonen, ihre geometrische Lage und Verteilung in kompakten transparenten Proben sowie bruchauslösende Verformungsprozesse lassen sich in ihrem zeitlichen Ablauf auf kinemato-

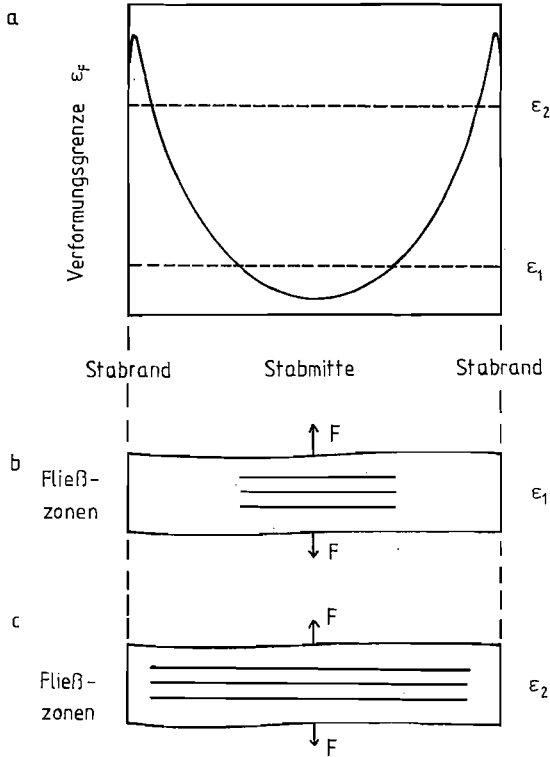


Abb. 1. Einfluß der Verformungsgrenze  $\epsilon_F$  auf die Ausbreitung von Fließzonen in spritzgegossenem Polystyrol

$\epsilon_1, \epsilon_2$ : im Zugversuch aufgebraachte Gleichmaßdehnungen;  
 $F$ : Zugkraft

graphischem Wege erfassen. Mit Hilfe der Kinematographie können Zusammenhänge zwischen Veränderungen der Deformationserscheinungen und dem Spannungs-Dehnungs-Verhalten qualitativ beurteilt werden. Eine gezielte Auswertung der Filmaufnahmen eröffnet ferner die Möglichkeit, die ermittelten Zusammenhänge zu bewerten.

## Zur Entstehung des Films

### *Versuchswerkstoff:*

Für die Untersuchungen wurde ein handelsübliches, glasklares Standard-Polystyrol verwendet. Dabei handelt es sich um ein ataktisch polymerisiertes Styrol, d. h. die Phenylsubstituenten sind längs der Molekülketten räumlich unregelmäßig angeordnet. Mit Hilfe der Gel-Permeations-Chromatographie wurde das Zahlenmittel des Molekulargewichts mit  $\bar{M}_n = 115000$  ermittelt. Das Verhältnis zwischen Gewichts- und Zahlenmittel beträgt  $\bar{M}_w/\bar{M}_n = 3,1$ .

Als Proben dienten 3 mm dicke, spritzgegossene Schulterstäbe, die die Form des Probekörpers Nr. 3 nach DIN 53 455 [1] besaßen. Die Spritzrichtung stimmte mit der Stablängsachse überein.

Die Massetemperatur beim Spritzgießen betrug 200° C.

### *Versuchs- und Aufnahmetechnik:*

Die Versuchseinrichtung bestand aus einer Horizontalspindelzugprüfmaschine. Bei Raumtemperatur wurden die Probekörper mit jeweils gleichbleibender Prüfgeschwindigkeit bis zum Bruch gedehnt. Da bei Standard-Polystyrol nur geringe Dehnungen auftreten, kann die Dehngeschwindigkeit als konstant angesehen werden. Um ihren Einfluß auf das Verformungsverhalten zu ermitteln, wurden bei den Versuchen Dehngeschwindigkeiten von 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 3,0 und 10,0%/min gewählt. Über die Auswirkungen unterschiedlicher Orientierungszustände in den Proben als Folge der Verarbeitungsbedingungen berichtet ein weiterer Film (GROSSKURTH [9]).

Neben der kinematographischen Dokumentation der verformungsbedingten Deformationserscheinungen ist auch die jeweils herrschende Zugspannung von Interesse. Aus diesem Grund wurde eine Anzeigevorrichtung geeigneter Größe unterhalb des Probestabes angebracht und mit der Kraftmeßeinrichtung der Zugprüfmaschine verbunden. So konnten Schulterstab und Spannungsanzeige mit einer einzigen Kamera erfaßt werden.

Die Probenbreite wurde nahe der angußfernen Schulter im schräg einfallenden Durchlicht aufgenommen. Dabei stand die Kamera in gleicher Höhe mit der Probe, jedoch bildete ihre optische Achse seitlich einen Winkel von etwa 30° zur Senkrechten der Probenoberfläche. Die Kameransicht aus dieser Einstellung ist in der 2. Übersichtsaufnahme des Films nach dem Zwischentitel:

„Schrägaufsicht — Probenrückseite mattiert“

wiedergegeben.

Diese schräg seitliche Aufnahmerichtung war erforderlich, um die Bildung von Fließzonen im Polystyrolstab besser sichtbar zu machen. Die

Mattierung der Probenrückseite erfolgte mit feinem Quarzsand. Bei den in dieser Weise mattierten Proben war die Beobachtung der Fließzonen weit besser möglich als bei den Originalproben mit formblanker Oberfläche. Eine Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften durch das Sandstrahlen wurde nicht festgestellt.

Für die zeitgleichen Aufnahmen mit 24 B/s und die schwach zeitgedehnten Aufnahmen mit 48 und 80 B/s wurde als Kamera eine ARRIFLEX 16 ST eingesetzt, während die Zeitdehneraufnahmen zwischen 2500 und 3400 B/s mit einer FASTAX 6000/16 mm (mit 2-Flächen-Prisma) hergestellt wurden.

Als Filmmaterial wurden GEVAPAN 30 und GEVAPAN 36 verwendet.

### Filmbeschreibung<sup>1</sup>

Der Film gibt den Einfluß unterschiedlicher Dehngeschwindigkeiten auf das Deformationsverhalten spritzgegossener Schulterstäbe wieder, die aus einem glasklaren Standard-Polystyrol bestehen. Die Proben werden bei Raumtemperatur im zügigen Zugversuch bis zum Bruch belastet.

Bei Dehngeschwindigkeiten von mehr als 1 %/min werden am Ende der zeitgleichen Einstellungen zeitgedehnte Aufnahmen zur besseren Anschaulichkeit der dem Bruch unmittelbar vorausgehenden Verformungsprozesse gezeigt.

*Zugstäbe Nr. 3 nach DIN 53 455*

*Probenbreite 10 mm*

*Probendicke 3 mm*

*Molekulargewicht  $\bar{M}_n = 115\,000$*

*Spritztemperatur 200° C*

1. Die Übersichtsaufnahme zeigt die verwendete Versuchseinrichtung. Auf einer Horizontalspindelzugprüfmaschine werden die 3 mm dicken und im Bereich der Meßlänge 10 mm breiten DIN-Schulterstäbe zerrissen. Die mit der rechten Einspannbacke verbundene Kraftmeßeinrichtung arbeitet nach dem Prinzip der Pendelwaage. Dies bedingt im Bild eine Wanderung der Probe von rechts nach links.

Bei Verwendung der glasklaren Zugstäbe im Originalzustand hebt sich die Probe nur schlecht vom Hintergrund ab. Selbst geringfügige Oberflächenfehler machen sich durch helles Aufleuchten störend bemerkbar. Das Auftreten der Fließzonen ist aufgrund von intensiven Lichtreflexionen mit starken Überstrahlungserscheinungen verbunden.

<sup>1</sup> Die *Kursiv*-Überschriften entsprechen den Zwischentiteln im Film.

*Schrägaufsicht*  
*Probenrückseite mattiert*

2. Die Einstellung zeigt in einer Übersichtsaufnahme den Polystyrolstab mit beiden Einspannbacken aus der Kameraspect in schräg seitlicher Versetzung. Infolge der mattierten Probenrückseite hebt sich der Schulterstab nunmehr bei schräg einfallendem Durchlicht gut gegen den dunklen Hintergrund ab. Diese 20 s dauernde Einstellung dient lediglich zur Demonstration der Versuchs- und Aufnahmesituation; eine Beanspruchung der Probe findet nicht statt.

*Dehngeschwindigkeit 0,2%/min*

3. Das zur Erfüllung der Reflexionsbedingungen an den Fließzonen notwendige, schräg einfallende Durchlicht führt zwangsläufig zu einer ungleichmäßigen Bildausleuchtung. Dieser Effekt wird zusätzlich durch die ebenfalls schräge Aufnahme­richtung verstärkt. Sie führt zwar zu einer geringen geometrischen Verzeichnung, vermittelt aber einen räumlichen Eindruck von den Fließzonen.

Bei dieser und bei den folgenden Einstellungen wurde eine unterhalb der Probe angebrachte Kraftmeßeinrichtung direkt mit aufgenommen. Ein Pfeil gibt auf der Skala synchron die jeweils herrschende Zugspannung an.

Bei einer Spannung von etwa 510 kp/cm<sup>2</sup> bildet sich in Bildmitte die erste Fließzone; weitere folgen in relativ großen zeitlichen Abständen. Die maximale Wachstumsgeschwindigkeit nimmt exponentiell mit der jeweils auslösenden Zugspannung zu. Die Fließzonenenden laufen nicht elliptisch oder gar spitz aus, sondern verbreitern sich schulterförmig. Aufgrund ihrer hohen Dehnbarkeit wird die stark orientierte Spritzhaut nicht von Fließzonen erfaßt. Die Probe bricht ohne Vorankündigung bei einer Spannung von 610 kp/cm<sup>2</sup> unter Bildung eines spröden Trennbruchs.

*Dehngeschwindigkeit 0,5%/min*

4. Die Erhöhung der Dehngeschwindigkeit um den Faktor 2,5 führt zu einem grundsätzlich ähnlichen Verhalten. Im Vergleich zur vorhergehenden Aufnahme vergrößern sich lediglich Anzahl und Wachstumsgeschwindigkeit der Fließzonen. Die Spritzhaut bleibt wiederum fließzonenfrei.

Da bei Kunststoffen sowohl Zug- als auch Reißfestigkeit mit zunehmender Verformungsgeschwindigkeit ansteigen, findet der spröde Trennbruch erst bei einer Spannung von 670 kp/cm<sup>2</sup> statt.

### *Dehngeschwindigkeit 1,0%/min*

5. Bei weiterer Verdoppelung der Dehngeschwindigkeit entstehen an zahlreichen Stabstellen nahezu gleichzeitig Fließzonen. Ihre Anzahl nimmt rasch zu. Im Gegensatz zu den vorausgegangenen Versuchen führt eine Dehngeschwindigkeit von 1%/min offenbar dazu, daß die Reißdehnung der spritzgegossenen Polystyrolproben nunmehr höher liegt als das Maximum im Verlauf der kritischen, Fließzonen auslösenden Dehnung. Als Folge davon wachsen die Fließzonen nach Überschreiten einer Spannung von 670 kp/cm<sup>2</sup> partiell in die Spritzhaut hinein. Der Bruch kündigt sich durch eine enorme Verdichtung der Fließzonen an, die mit einer Verminderung der Lichtdurchlässigkeit einhergeht. Er erfolgt bei einer Spannung von 690 kp/cm<sup>2</sup> und zeigt stärkere plastische Verformungsanteile.

### *Dehngeschwindigkeit 1,5%/min*

*24 und 3400 B/s*

6. Das Verformungsverhalten zeichnet sich durch spontanes Auftreten zahlreicher Fließzonen bei gleichzeitig hoher Fließzonenkonzentration aus. Die zunächst fließzonenfreie Spritzhaut wird bei Spannungen oberhalb von 680 kp/cm<sup>2</sup> wiederum partiell von Fließzonen erfaßt. Ausgeprägte Fließvorgänge leiten den Bruch ein.

7. Die zeitgedehnte Aufnahme veranschaulicht das Deformationsverhalten des Zugstabes unmittelbar vor dem Bruch. Der mit abnehmender Lichtdurchlässigkeit einhergehende Anstieg der Fließzonenkonzentration führt zu einer geringfügigen Einschnürung der Probe. Während der Bereich der Spritzhaut beim Bruch durch eine erhebliche plastische Verformung gekennzeichnet ist, bricht die Probe im Inneren spröde. Einige abgesprengte Polystyrolteilchen wirbeln dabei umher. Die elastische Dehnung wird durch das spontane Rückfedern der beiden Probenhälften abgebaut.

Eine zeitliche Auflösung des Bruchfortschrittes ermöglichen die mit einem 16-mm-Laufbildfilm maximal erreichbaren Zeitdehnungsmaßstäbe nicht. Aufgrund der bei Polystyrol auftretenden, außerordentlich hohen Bruchgeschwindigkeiten würde sich der Bruch innerhalb eines einzigen Bildwechsels vollziehen. Es ist daher geplant, Bruchvorgänge in Polystyrol mit Hilfe der Hochfrequenzkinematographie zu untersuchen.

### *Dehngeschwindigkeit 3,0%/min*

*24 und 2500 B/s*

8. Eine erneute Verdoppelung der Dehngeschwindigkeit führt gegenüber Dehngeschwindigkeiten von 1 und 1,5%/min bei Betrachtung jeweils gleicher Spannungen zunächst zu einer erheblichen Verringerung der



Fließzonenkonzentration. Erst im Verlauf der brucheinleitenden Verformungsprozesse kommt es an mehreren Stellen des Zugstabes zu starken Fließzonenverdichtungen. Bei Spannungen oberhalb von  $680 \text{ kp/cm}^2$  durchziehen die Fließzonen wiederum die Spritzhaut.

9. In der zeitgedehnten Aufnahme kündigt sich der Bruch durch einseitig höhere Verformung an der Stabunterseite an. Daraus resultiert ein leichtes Einknicken des Stabes. Eine deutliche Einschnürung ist nicht zu beobachten.

*Dehngeschwindigkeit  $10,0\%/min$*

*24 und 2500 B/s*

10. und 11. Hinsichtlich der zeitgleichen und der zeitgedehnten Aufnahme von Zugversuchen mit einer Dehngeschwindigkeit von  $10\%/min$  kann im wesentlichen auf die Erläuterungen zu den beiden vorhergehenden Einstellungen verwiesen werden. Abweichend ist lediglich festzustellen, daß die brucheinleitenden Fließzonenverdichtungen weniger stark ausgeprägt sind.

*Ausweitung der Fließzonen*

*Dehngeschwindigkeit  $1,0$  und  $1,5\%/min$*

*Bildfeldbreite etwa  $3,5 \text{ mm}$ ,  $48$  und  $80 \text{ B/s}$*

Die Lupenaufnahmen zeigen die Ausweitung der Fließzonen im Gebiet der Spritzhaut. Proportional zur Projektionsbildvergrößerung nehmen die Geschwindigkeiten der Bewegungsvorgänge im Film zu. Um sie für den Betrachter in sinnvollen Grenzen zu halten, wurden die Lupenaufnahmen schwach zeitgedehnt. Im Bild ist jeweils der untere Stabrand im Gebiet des späteren Bruches dargestellt.

12. Ausgehend vom mäßig orientierten Probeninneren erreichen die Fließzonen in kurzer Zeit die Spritzhaut. Mit zunehmender Annäherung an den Bereich des Orientierungsmaximums verlangsamt sich die Wachstumsgeschwindigkeit. Dabei verbreitern sich die Fließzonenenden schulterförmig. Sie wachsen zunächst nur auf der dem Betrachter zugekehrten und abgewandten Seite zipfelförmig in die Spritzhaut hinein, durchstoßen sie jedoch nicht. Der zwischen den Ausbuchtungen liegende Werkstoff beginnt zeitlich jeweils etwas später zu fließen.

Offensichtlich handelt es sich bei der verwendeten Dehngeschwindigkeit von  $1\%/min$  um eine kritische Verformungsgeschwindigkeit. Hier wurden nämlich auch Zugstäbe beobachtet, deren Fließzonen ebenso wie bei Anwendung höherer Dehngeschwindigkeiten in die Spritzhaut hineinwachsen. Ein entsprechendes Beispiel wurde in Einstellung 5 bereits gezeigt. Dehngeschwindigkeiten von weniger als  $1\%/min$  führten dagegen stets zu fließzonenfreien Spritzhäuten.

13. Bei einer Dehngeschwindigkeit von 1,5%/min nähern sich die Fließzonen der Spritzhaut in der soeben beschriebenen Weise. Nach der schulterförmigen Verbreiterung erfassen sie partiell die Spritzhaut. Es ist deutlich zu erkennen, daß sich im vorliegenden Fall nur der dem Betrachter zugewandte, wiederum ausgebuchtete Teil der Fließzonen bis zum Probenrand hin fortsetzt.

### Literatur und Filmveröffentlichung

- [1] DIN 53455: Prüfung von Kunststoffen; Zugversuch. Beuth-Vertrieb, Berlin, April 1968.
  - [2] GROSSKURTH, K. P.: Elektronenmikroskopische Untersuchung der Struktur von Fließzonen (Spannungsrisen) in Polystyrol. Kautschuk, Gummi, Kunststoffe **26** (1973), 43—45.
  - [3] GROSSKURTH, K. P.: Deformationserscheinungen in zugbeanspruchten Thermoplasten. Gummi, Asbest, Kunststoffe **27** (1974), 703—708.
  - [4] KAMBOUR, R. P.: Structure and Properties of Crazes in Polycarbonate and Other Glassy Polymers. Polymer **5** (1964), 143—155.
  - [5] KAMBOUR, R. P.: Refractive Indices and Compositions of Crazes in Several Glassy Polymers. J. Polymer Sci. A **2** (1964), 4159—4163.
  - [6] SPURR, O. K., and W. D. NIEGISH: Stress Crazing of Some Amorphous Thermoplastics. J. Appl. Polymer Sci. **6** (1962), 585—599.
  - [7] WIEGAND, H., und H. VETTER: Molekulare Orientierung in Spritzgußteilen als Folge der Verarbeitung. Kunststoffe **56** (1966), 761—769.
  - [8] WINTERGERST, S.: Orientierungen und Spannungen in Spritzgußteilen. Kunststoffe **63** (1973), 636—642.
- 
- [9] GROSSKURTH, K. P.: Zugbeanspruchung von spritzgegossenem Standard-Polystyrol — Bildung von Fließzonen, Einschnürung und Bruch — Variation der Spritztemperatur. Film E 2246 des Inst. Wiss. Film, Göttingen 1976.

#### *Anschrift des Verfassers:*

Dr.-Ing. K. P. GROSSKURTH, Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde der Universität, Pfaffenwaldring 32, D-7000 Stuttgart 80.

### Angaben zum Film

Das Filmdokument wurde 1976 zur Auswertung in Forschung und Hochschulunterricht veröffentlicht. Stummfilm, 16 mm, schwarzweiß, 110 m, 10 min (Vorführgeschw. 24 B/s).

Die Aufnahmen entstanden in den Jahren 1973 und 1974. Veröffentlichung aus dem Institut für Kunststoffprüfung und Kunststoffkunde der Universität

Stuttgart (Direktor: Prof. Dr.-Ing. S. WINTERGERST), Dr.-Ing. K. P. GROSSKURTH, und dem Institut für den Wissenschaftlichen Film, Göttingen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. G. WOLF), Ing. G. HUMMEL; Aufnahme und Schnitt: Ing. G. HUMMEL, J. THIENEL.

### **Inhalt des Films**

Der Film gibt Bildung und Wachstum von Fließzonen sowie brucheinleitende Vorgänge in einem spritzgegossenen, transparenten Standard-Polystyrol unter zügiger Zugbeanspruchung bei Raumtemperatur wieder. Dabei wird der Einfluß unterschiedlicher Dehngeschwindigkeiten auf das Deformationsverhalten dargestellt.

Die Proben in Form von Schulterstäben werden auf einer Horizontalspindelzugprüfmaschine zerrissen. Der Bruch tritt stets in der Nähe der angußernen Schulter ein. In diesem Bereich werden verformungsbedingte Veränderungen kinematographisch aufgenommen.

Aufgrund der über dem Schulterstabquerschnitt vorhandenen herstellungsbedingten Eigenspannungs- und Orientierungsverteilungen setzen Fließvorgänge stets im Probeninneren ein. Niedrige Dehngeschwindigkeiten ergeben eine geringe Fließzonenkonzentration, wobei die hochorientierte Spritzhaut nicht von Deformationserscheinungen erfaßt wird; der spröde Trennbruch erfolgt ohne erkennbare Vorankündigung. Höhere Dehngeschwindigkeiten führen zu einer großen Anzahl von Fließzonen, die nunmehr partiell in die Spritzhaut hineinwachsen. Der Bruch wird durch enorme Zunahme der Fließzonenkonzentration eingeleitet, die in einigen Fällen von einer geringfügigen Einschnürung begleitet ist. Er zeigt im Bereich der Spritzhaut plastische Verformungen.

### **Summary of the Film**

The film shows initiation and propagation of crazes and the nucleation of cracking processes in injection moulded transparent polystyrene subjected to uniaxial tensile load at room temperature. The elongation speed effect on deformation behavior is described.

The standard tension test specimens are strained in a horizontal tensile testing machine. Cracking only happens near the sprue distant shoulder. It is at this region that changes occurring under deformation are cinematographically recorded.

In the course of processing internal stress and molecular orientation distributions exist in the specimen cross section. These effect that tensile bars always craze internally. Low elongation speeds show a small craze concentration. Near the surface, where molecular orientations are high, the material is still uncrazed. The brittle fracture takes place without recognizable warning. Higher elongation speeds cause a great number of crazes growing partially into the oriented region near the surface. The fracture ist initiated by enormous increase of craze concentration followed by unimportant necking in some cases. In the area near the surface the fracture shows plastic deformations.

## Résumé du Film

Le film reproduit la formation et la croissance de fissures et les phénomènes précédant le craquelage dans du polystyrène standard transparent, moulé par injection, sous l'effet d'une sollicitation de traction continue, à la température ambiante. L'influence sur la déformation des différentes températures à la masse employées lors du moulage par injection est exposée.

Les échantillons, en forme de barres à épaulements, sont rompus sur une machine d'essai à la traction à tiges horizontales. Le craquelage survient au voisinage des épaulements éloignés de la trace de la carotte. Des modifications dues à la déformation sont filmées dans cette zone.

En raison des répartitions de contrainte propre et d'orientation dues à la fabrication, qui existent au-dessus de la section de la barre à épaulement, les fissurations commencent toujours au cœur des échantillons. Des vitesses d'allongement réduite entraînent une faible concentration de fissures, la couche proche de la surface orientée vers le haut n'étant pas touchée par les phénomènes de déformation; le craquelage sec survient dans que rien l'annonce de façon perceptible. Des vitesses d'allongement plus élevées entraînent un nombre plus grand de fissures, qui se prolongent alors partiellement dans la couche proche de la surface. Le craquelage s'amorce par une augmentation considérable de la concentration de fissures, laquelle s'accompagne dans quelques cas d'un faible effet de striction. Il présente des déformations plastiques dans la région proche de la surface.