

**Schmelzspinnen**

**von**

**Thermoplasten**

**– Eine Einführung –**

Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.  
Abteilung Mechanik und Fadenbildung  
2007

Diese Anleitung dient ausschließlich zu Lehrzwecken für das studentische Praktikum an der Schmelzspinnanlage des Leibniz-Institutes für Polymerforschung Dresden e. V. (IPF)

überarbeitet: 2007  
Dr. H. Brüning

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Schmelzspinnverfahren</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Fadenbildung</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Textilphysikalische Kennwerte</b>	<b>8</b>
4.1	Feinheit . . . . .	8
4.2	Orientierung, Bruchdehnung und Streckverhältnis . . . . .	10
4.3	Technologisches Beispiel . . . . .	11
<b>5</b>	<b>Fragen</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Aufgaben</b>	<b>14</b>

# 1 Einführung

Synthesefasern aus organischen Hochpolymeren können nach unterschiedlichen Technologien ersponnen werden:

- *Lösungsmittelspinnen*. Das Spinnen erfolgt aus einer 20 bis 30-prozentigen Lösung durch eine kontinuierliche Fällungsreaktion im sogenannten Spinnbad (Nass-Spinnen) bzw. durch Verdampfen des Lösungsmittels (Trockenspinnen). Typische Vertreter sind Cellulosefasern (Viskose-Spinnlösung (VIS)), Polyacrylnitril (PAN).
- *Schmelzspinnen*. Das Spinnen erfolgt aus der Schmelze durch kontinuierlichen Abzug einzelner Schmelzeströme. Typische Vertreter sind Polyamide (PA), Polyethylenterephthalat (PET), Polypropylen (PP).

Einige Polymere lassen sich auch nach mehreren Verfahren verspinnen, wie z.B. die Polyurethanelastomere (PUE). Ein ganz neuartiges Verfahren stellt das *Elektrospinnen* zur Herstellung von *Nanofasern* dar.

Tabelle 1: Mögliche Spinn- bzw. Abzugsgeschwindigkeiten

	Geschwindigkeit
Lösungsmittelspinnen	10 bis 1000 m/min
Schmelzspinnen	500 bis 8000 m/min

Während beim Lösungsmittelspinnen nur der kleinere Teil der Lösung, nämlich der gelöste Polymeranteil, in die Fadenform gebracht wird, erfolgt beim Schmelzspinnen eine 100 %-ige Umformung des Polymeren aus seiner Schmelze zum Faden. Das Schmelzspinnen erlaubt zudem wesentlich höhere Spinnengeschwindigkeiten als das Lösungsmittelspinnen, es ist umweltfreundlich (keine chemikalienbelastete Prozessführung), benötigt aber die entsprechende thermische Energie zum Aufschmelzen (und späteren Abkühlen) des Polymeren.

Grundvoraussetzungen für den Schmelzspinnprozess sind:

- Das Polymer muss schmelzbar sein (thermoplastisches Polymer).
- Die Polymerschmelze muss fadenbildungsfähig sein.

Die beiden Voraussetzungen erscheinen fast trivial; sie schränken aber die Anzahl der verfügbaren Polymere (insbesondere auch unter industriellen Gesichtspunkten) stark ein. Es gibt eine Reihe von stofflich-strukturellen und rheologischen Bedingungen, die ein Thermoplast erfüllen muss, um ihn als *fadenbildungsfähig* d.h. *spinnbar*, einordnen zu

können. Eine dieser Bedingungen ist offensichtlich das Vorhandensein von Makromolekülen mit in der Regel hohem Molekulargewicht und enger Molekulargewichtsverteilung. Es sind noch nicht alle Fragen zur Spinnbarkeit gelöst, viele Abhängigkeiten sind nur empirisch gefunden worden und es wird weltweit versucht den Spinnprozess in seinen Grundzügen zu verstehen und eine Theorie der Fadenbildung zu erarbeiten. Insbesondere die komplexen Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen der Struktur des Materials, seinem Verhalten bei der Fadenbildung (die eine extreme Deformationsbeanspruchung darstellt!) und den resultierenden Eigenschaften des fertigen Fadens sind Gegenstand intensiver Forschung. Nicht zuletzt stellt der Schmelzspinnprozess ein beachtliches ökonomisches Potenzial dar: weltweit werden jährlich etwa 25000 kt Polymer zu Synthefasern verarbeitet.

## 2 Schmelzspinnverfahren

Das Schmelzspinnen wird industriell auf sogenannten Extruder-Spinnanlagen durchgeführt. Das Prinzip einer solchen Anlage, wie sie auch im IPF Dresden vorhanden ist, zeigt Abbildung 1.

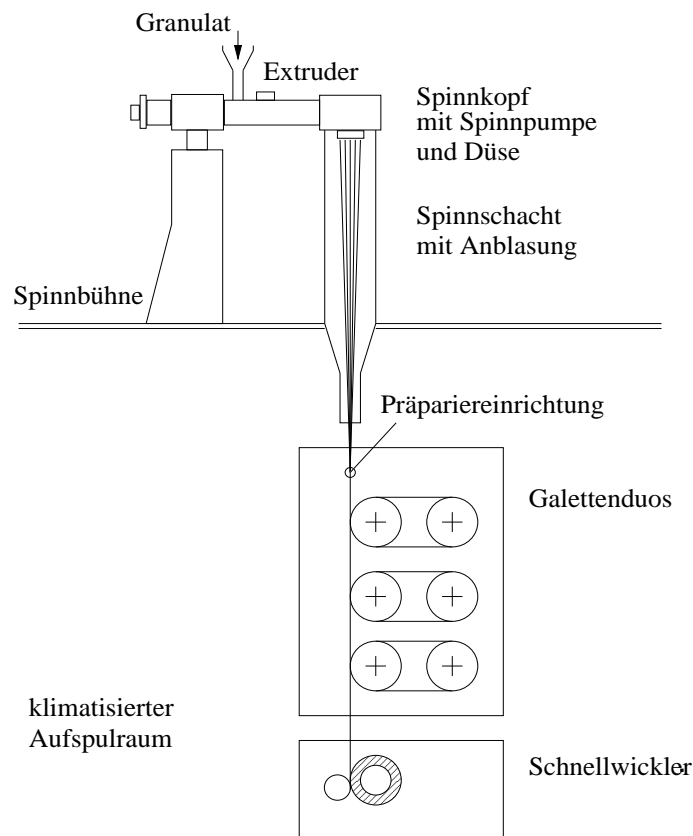


Abbildung 1: Prinzip der Schmelzspinnanlage im IPF

Das vakuumgetrocknete Polymer (Wassergehalt  $\leq 0.05$  bis  $\leq 0.003$  Prozent (Warum muss das Polymer getrocknet werden?)) wird in Granulatform dem *Extruder* zugeführt, dort aufgeheizt, geschmolzen und von der rotierenden Extruderschnecke unter Druck (20 bis 60 bar) zum Spinnkopf transportiert. Die Aufheiztemperaturen liegen etwa 50 K über der jeweiligen Schmelztemperatur des Polymeren, bei PA und PET also in den Bereichen von 240...260°C bzw. von 280...300°C. Ein Längsschnitt durch einen Extruderzylinder mit Schnecke ist in der Abbildung 2 dargestellt.

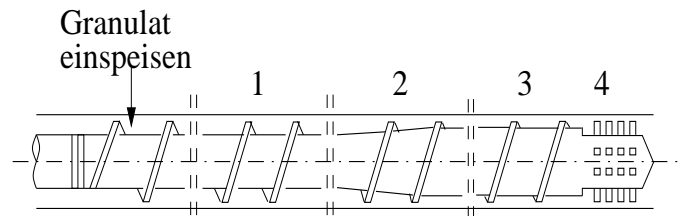


Abbildung 2: Extruderzylinder mit Schnecke (Schematisch)

Je nach Zustand des Polymeren unterscheidet man in der Materialflussrichtung mehrere Extruderzonen:

1. die Einzugs- und Vorwärmzone
2. die Kompressionszone
3. die Meteringzone
4. und ggf. die Mischzone.

Die Schmelze wird dann dem *Spinnkopf* zugeführt, der die *Spinnpumpe*, das *Filterpaket* und die *Spinndüse* enthält. (In der Industrie werden dafür gewöhnlich beheizte Schmelzleitungen verwendet, bei der IPF-Spinnanlage ist der Extruder direkt an den Spinnkopf angekoppelt.) Die Spinnpumpe ist als Zahnradpumpe ausgeführt, sie dosiert sehr genau den Schmelzestrom pro Zeiteinheit (Durchsatz  $Q$  in g/min). In der *Spinndüse*, die so viele feine Kapillar-Bohrungen (übliche Bohrungsdurchmesser liegen im Bereich 0.2 bis 0.4 mm) enthält wie Filamente im Fadenbündel vorhanden sein sollen, wird der Schmelzestrom schließlich vereinzelt. Nachdem die Schmelze die Düse verlassen hat, passieren die einzelnen kleinen Schmelzeströme den Spinnschacht, werden dabei gedehnt, verjüngt und auf die Spinngeschwindigkeit beschleunigt, kühlen dabei ab und erstarren schließlich bei der sogenannten Glasumwandlungs- bzw. Verfestigungstemperatur. Die nunmehr festen Filamente werden wieder gebündelt und mit einer wässrigen und/oder organische Öle und Fette enthaltenden, antistatischen *Spinnpräparation* versehen, die dem Filamentbündel sowohl den Zusammenhalt für die spätere störungsfreie Abarbeitung von den Spinnspulen als auch bestimmte Haft-Gleit-Eigenschaften für die Weiterverarbeitung verleiht. Die Spinn- oder Abzugsgeschwindigkeit wird üblicherweise durch ein *Galettenduo* erzeugt, es können aber auch eine Reihe weiterer Streckstufen durchlaufen werden.

Schließlich erfolgt die Aufwicklung des (jetzt als Faden bezeichneten) Filamentbündels durch einen *Fadenwickler* auf die Spinnspule.

Die Fadenabkühlung im Spinn­schacht kann durch eine Anblasung mit klimatisierter Luft (Anblasluftgeschwindigkeit 20...60 cm/s, Lufttemperatur 20°C, relative Feuchte 65 %, einstellbar) unterstützt werden.

Abhängig von den konkreten Spinnbedingungen (insbesondere von der Spinn­geschwindigkeit) werden mehr oder weniger *orientierte* Fäden erhalten. Um hochorientierte Fäden zu produzieren, müssen diese in der Regel ver­streckt werden um eine hohe Festigkeit und geringe Restdehnung zu erreichen. Der Streckprozess kann dabei mit Hilfe von Galet­ten­duos online in den Spinnprozess vor dem Aufwickeln der Fäden integriert oder auch offline in einem separaten Prozess-Schritt realisiert werden. In den Bildern 3 und 4 sind beispielhaft verschiedene online-Technologievarianten für die Herstellung von textilen Garnen aus PA und PET und mögliche Spinn­geschwindigkeitsniveaus dargestellt. (Verdeutlichen Sie sich die einzelnen Geschwindigkeitsniveaus: Warum wird beim Wickeln die Geschwindigkeit wieder etwas nachgelassen?)

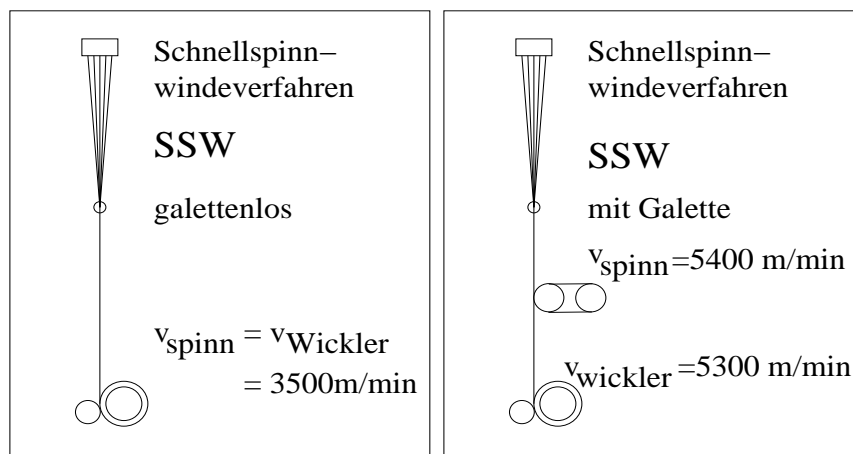


Abbildung 3: SSW-Verfahren, ohne und mit Abzugsgalette

### 3 Fadenbildung

In dem Bereich zwischen Austritt der Schmelze aus der Spinn­düse und ihrer Verfestigung findet die eigentliche „Fadenbildung“ statt. Dieser Bereich ist wie bereits erwähnt gekennzeichnet durch

- die Beschleunigung der Polymer­masse von der Austritts­geschwindigkeit  $v_0$  (Extrusions- oder auch Spritzgeschwindigkeit) auf die Spinn- bzw. Abzugsgeschwindigkeit  $v_S$ ,
- die damit verbundene Verringerung des Durchmessers eines einzelnen Schmelzestromes vom anfänglichen Düsenbohrungsdurchmesser  $D_0$  auf den Spinnfilamentdurchmesser  $D_S$  bzw. auf die entsprechende Spinn­feinheit  $Tt_S$ ,

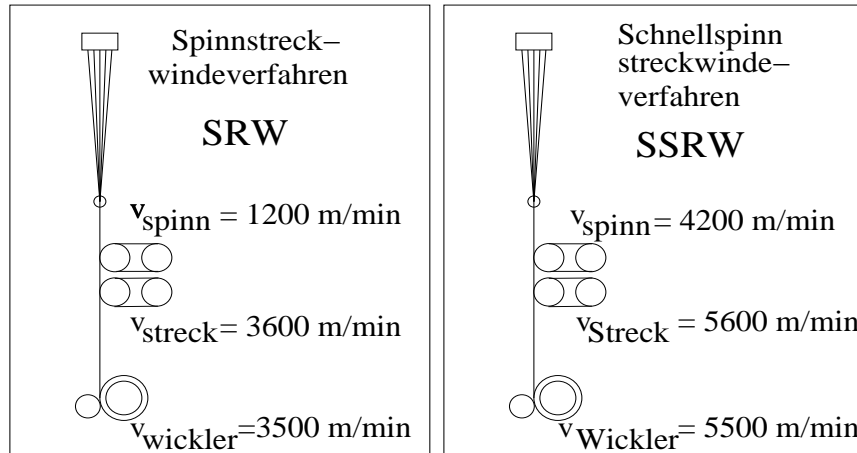


Abbildung 4: SRW- und SSRW-Verfahren

- die Abkühlung von der Schmelzetemperatur  $T_0$  am Düsenaustritt auf die Verfestigungstemperatur (solidification temperature)  $T_S$  und schließlich auf die Umgebungstemperatur  $T_U$ .

Die Fadenbildungszone ist schematisch in der Abbildung 5 (links) dargestellt.

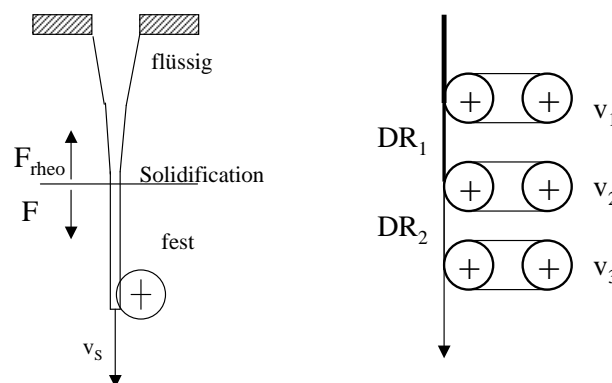


Abbildung 5: Fadenbildungszone (links) und Streckprozess (rechts), schematisch

Das Verhältnis von Spinn- zu Extrusionsgeschwindigkeit  $v_S$  zu Extrusionsgeschwindigkeit  $v_0$  wird auch als *Spinnverzug*  $DDR$  (engl. *draw down ratio*) bezeichnet:

$$DDR = \frac{v_S}{v_0}. \quad (1)$$

Die rechte Seite der Abbildung zeigt schematisch einen zweistufigen Streckprozess. Die Gesamt-Verstreckung  $DR$  und die einzelnen Streckverhältnisse  $DR_i$  (engl. *draw ratio*) sind durch die Geschwindigkeiten der Galettenduos gegeben:

$$DR_1 = \frac{v_2}{v_1}, \quad DR_2 = \frac{v_3}{v_2}, \quad DR = DR_1 \cdot DR_2 = \frac{v_3}{v_1} . \quad (2)$$

Auf das einzelne Filament wirken in der Fadenbildungszone verschiedene Kräfte:

- die Gravitationskraft
- die Trägheitskraft
- die Luftreibungskraft
- die Abzugskraft.

Diese Kräfte stehen im Gleichgewicht mit der rheologischen Kraft  $F_{rheo}$ , d. h. der Kraft, die vom Polymer seiner Verformung entgegengesetzt wird. Die Kräftebilanz ist ebenfalls in der Abbildung 5 angedeutet. Die am Filament wirksame Gesamtkraft  $F$ , genauer: die Filamentspannung  $\sigma$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad , \quad A = \text{Filamentquerschnitt}$$

bestimmt wesentlich die Entwicklung der inneren Fadenstruktur. Die in der Schmelze knäuel förmig vorliegenden Makromoleküle werden in der Fadenbildungszone (= Strukturbildungszone) entknäuel t, gedehnt, gestreckt und *orientiert* und können bei Überschreiten einer kritischen Spannung teilweise kristallisieren (*spannungsinduzierte Kristallisation*). Der Grad der Strukturausprägung (insbesondere die erreichten Orientierungs- und Kristallisationsgrade) bestimmt letztlich die textilphysikalischen Kennwerte des Filaments. Allerdings genügt die mit geringen Spinnengeschwindigkeiten ( $\leq 3000$  m/min) erzeugte Orientierung meistens nicht für eine textile Weiterverarbeitung und Anwendung, nicht zuletzt deshalb werden die Fäden daher in Folgeprozessen (Streck-, Streckzwirn- oder Strecktexturierprozess) weiter gestreckt, um die gewünschte hohe Orientierung, die die Basis für eine ausreichende mechanische Festigkeit und geringe Bruchdehnung ist, zu erhalten.

## 4 Textilphysikalische Kennwerte

Ein Schema, wie die einzelnen Parameter des Spinnprozesses bei der Entstehung der textilphysikalischen Eigenschaften zusammenwirken, ist in der Abbildung 6 dargestellt.

### 4.1 Feinheit

Die textile Feinheit (Titer)  $Tt$  eines Fadens ist definiert als Quotient von Fadenmasse  $m$  (in Gramm) und Fadenlänge  $l$  (in 1000 Meter)

$$Tt = \frac{m}{l} \quad , \quad (3)$$

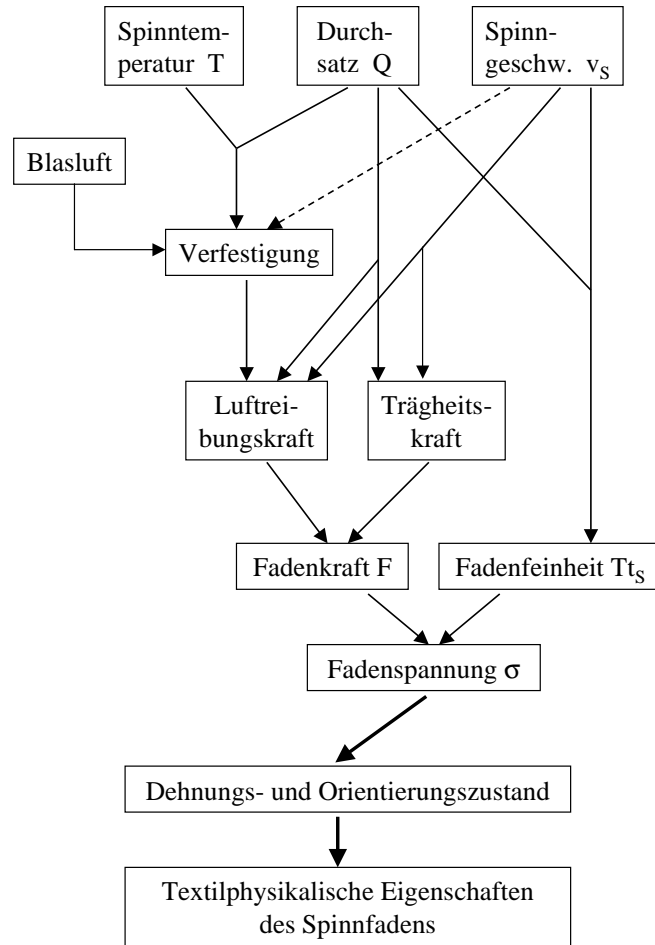


Abbildung 6: Entstehung der textilphysikalischen Kennwerte

die zugehörige Einheit ist *tex*, häufig werden Filamentfeinheiten jedoch in *dtex* angegeben. Es gilt

$$1 \text{ tex} = \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ m}} \quad , \quad 1 \text{ dtex} = \frac{1 \text{ g}}{10000 \text{ m}} \quad .$$

Für die Spinnfeinheit  $Tt_S$  findet man mit der Definition von Gl. 3 leicht die Beziehung

$$Tt_S [\text{tex}] = \frac{Q [\text{g}/\text{min}]}{v_S [\text{km}/\text{min}]} \quad , \quad (4)$$

mit  $Q$  = Massendurchsatz.

Die Gl. 4 gilt übrigens in verallgemeinerter Form an jeder Stelle des Spinnprozesses:

$$Tt \cdot v = Q = \text{const.} \quad (5)$$

Sie stellt damit eine der wichtigsten Beziehungen für das Schmelzspinnen dar. (Machen Sie sich die Bedeutung dieser Gleichung bitte ganz klar: Warum ist das so?)

Die Feinheit des Spinnfadens wird nach dem Durchlaufen einer oder mehrerer Streckstufen mit den Streckverhältnissen  $DR_1, DR_2, \dots$  weiter verringert bis zur Endfeinheit  $Tt_F$  des fertigen, voll orientierten Fadens

$$Tt_F = \frac{Tt_S}{DR_1 \cdot DR_2 \cdot \dots \cdot DR_n} = \frac{Tt_S}{DR} \quad (6)$$

Die Streckverhältnisse  $DR_i$  sind entsprechend Gl. 2 bzw. Gl. 5 mit den Geschwindigkeiten  $v_i$  und  $v_{i+1}$  beim Ein- und Auslaufen aus dem Streckfeld bzw. mit den korrespondierenden Einzelfeinheiten  $Tt_i$  und  $Tt_{i+1}$  verknüpft:

$$DR_i = \frac{v_{i+1}}{v_i} = \frac{Tt_i}{Tt_{i+1}} \quad (7)$$

## 4.2 Orientierung, Bruchdehnung und Streckverhältnis

Eine wesentliche Strukturgröße für den Spinnfaden ist der im Spinnprozess erreichte *Orientierungs- bzw. Dehnungszustand* der Makromoleküle, kurz als *Spinn-Orientierung*  $\epsilon_S$  bezeichnet. Je nach Grad der Orientierung unterscheidet man z. B. *LOY* (low oriented yarn), *POY* (partial oriented yarn), *HOY* (high oriented yarn) und *FOY* oder *FDY* (full oriented bzw. full drawn yarn). Mit einer einfachen Modellvorstellung kann man sich den Prozess verdeutlichen: In der Thermoplastschmelze liegen zunächst völlig unorientierte Knäuel von Makromolekülen vor, die im Spinnprozess während der Fadenbildung deformiert werden. Sie entknäueln sich, gleiten aneinander ab und werden gedehnt/gestreckt bzw. orientiert (Abbildung 7). Am Verfestigungspunkt wird der erreichte Dehnungs-/Orientierungszustand eingefroren. Ein solcher Faden könnte nun in der Modellvorstellung maximal noch so weit gedehnt werden, bis alle Makromoleküle voll gestreckt sind. Weiteres Dehnen darüber hinaus führt zum Bruch.

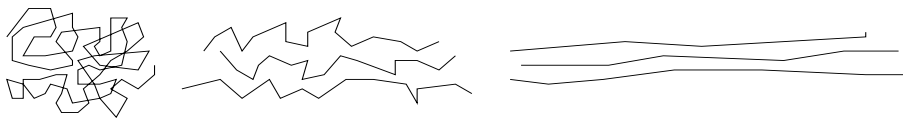


Abbildung 7: Modell für die Dehnung und Orientierung von Makromolekülen

Für die fadenbildenden Polymere wurde nun folgender wesentlicher Zusammenhang gefunden:

Es existiert ausgehend vom völlig unorientierten Zustand ein maximal möglicher Dehnungszustand  $\epsilon_{max}$ , der einen für das jeweilige Spinnpolymer charakteristischen Wert hat. Dieser ist unabhängig von der Art und Weise der durchgeführten Einzel-Dehnungen, egal ob die Dehnungen im Spinnprozess bei der Fadenbildung (Dehnungszustand  $\epsilon_S$  oder im Streckprozess (mit den Streckverhältnissen  $DR_i$  bzw. den korrespondierenden Dehnungen  $\epsilon_i$ ) durchgeführt werden:

$$\epsilon_{max} = \epsilon_S + \epsilon_1 + \dots + \epsilon_n + \epsilon_F = \text{const.} \quad (8)$$

bzw. ausgedrückt mit den Streckverhältnissen

$$DR_{max} = DR_S * DR_1 * \dots * DR_n * DR_F = \text{const.} \quad (9)$$

Die maximal mögliche Dehnungszahl für PET beträgt  $\epsilon_{max} \approx 2.3$ , für PA 6 ergibt sich ein Wert von etwa 2. Die erste Dehnungsstufe ist der im Spinnprozess erreichte Dehnungs- bzw. Orientierungszustand (Index „S“ in den Gln. 8 und 9), danach folgen ggf. die Streckprozesse mit den Dehnungsstufen 1 bis n dergestalt, dass der fertige Faden (Index „F“) nach dem Streckprozess schließlich noch über eine gewünschte Enddehnung  $\epsilon_F$  verfügt.

Der Dehnungs- bzw. Orientierungszustand des Spinnfadens (die Spinnorientierung) wird durch die während der Fadenbildung wirkende Fadenkraft (genauer: durch die maximal in der Fadenbildungszone wirkende Spinnfadenspannung, das ist die am Verfestigungspunkt wirksame Spannung  $\sigma_S$ ) bestimmt. Mit dem obigen Modell lassen sich nun eine Reihe experimenteller Befunde deuten. Zum Beispiel:

- Mit wachsender Spinnengeschwindigkeit  $v_S$  (bei gleichbleibendem Durchsatz  $Q$ ) nehmen die Fadenzugkraft und die Fadenspannung stark zu (warum?), die Spinnorientierung nimmt zu und die noch verbleibende Restdehnung bzw. das Reststreckverhältnis werden verringert.
- Mit wachsender Spinnwindigkeit  $v_S$  und proportional dabei steigendem Durchsatz  $Q$  (d. h. die Spinnfeinheit  $Tt_S$  bleibt konstant) nimmt die Fadenspannung mäßig zu (warum?), die verbleibende Restdehnung bzw. das Reststreckverhältnis werden etwas verringert.

Die ausgehend von einem bestimmten Dehnungs- oder Orientierungszustand  $\epsilon$  noch mögliche Dehnung bis zum Bruch des Fadens wird als *Bruchdehnung*  $\epsilon_B$  bezeichnet. Diese leicht messbare Bruchdehnung ist also ein Maß für den vorliegenden Dehnungs- bzw. Orientierungszustand. Sie wird üblicherweise in Prozent angegeben, da für sie als Definition die Längenänderung  $\Delta l = l_B - l_0$  bis zum Bruch, bezogen auf eine feste Ausgangslänge  $l_0$  des Fadens, verwendet wird:

$$\epsilon_B = \frac{l_B - l_0}{l_0} \cdot 100\% \quad (10)$$

Ein anderes Maß für den Dehnungs- oder Orientierungszustand ist die messtechnisch ebenfalls leicht zugängliche *Doppelbrechung*  $\Delta n$ , die in der Praxis auch oft salopp synonym für Orientierung gebraucht wird.

### 4.3 Technologisches Beispiel

Es soll ein textiles PET-Garn mit einer Fertigfadenfeinheit von  $Tt_F = 12 \text{ tex f24}$  (das heißt der Faden enthält 24 Einzelfilamente) mit einer End-Dehnung von 20% und mit einer möglichen Spinnengeschwindigkeit von 3500 m/min produziert werden. Wie muss das Streckverhältnis  $DR$  gewählt werden, wie groß ist der an der Spinnanlage einzustellende

Durchsatz  $Q$  ?

Die Abbildung 8 stellt für eine konkrete Spinntechnologie die Bruchdehnung  $\varepsilon_B$  (gemessen in Prozent) für PET und PA 6 Spinnfäden in Abhängigkeit von der Spinnengeschwindigkeit  $v_S$  dar. Nach dem Diagramm hat ein mit 3500 m/min ersponnener PET-Faden eine Bruchdehnung von  $\varepsilon_B = 100\%$ . Um einen fertigen („voll“ orientierten) Faden mit einer Enddehnung von  $\varepsilon_F = 20\%$  zu produzieren, muss dieser Spinnfaden also noch mit einem Streckverhältnis von

$$DR = \frac{1 + \varepsilon_B/100\%}{1 + \varepsilon_F/100\%} = 1.67$$

verstreckt werden. Um die gewünschte Endfeinheit von 12 tex f24 zu erreichen muss deshalb die Spinnfeinheit

$$Tt_S = Tt_F \cdot DR = 12 \text{ tex} \cdot 1.67 = 20 \text{ tex f24}$$

betragen, der einzustellende Durchsatz an der Düse ergibt sich also zu

$$Q = v_S \cdot Tt_S = 70 \text{ g/min}$$

und der Durchsatz pro Kapillarbohrung  $Q_{Kap}$  beträgt schließlich

$$Q_{Kap} = \frac{Q}{24} = 2.92 \text{ g/min} \quad .$$

Fasst man die obigen Gleichungen unter Verwendung der in Abbildung 8 dargestellten funktionalen Abhängigkeit  $\varepsilon_B(v_S)$  zusammen, folgt für die technologischen Einstellgrößen  $Q$  und  $v_S$  die Beziehung

$$Q = v_S \cdot Tt_F \cdot \frac{1 + \varepsilon_B(v_S, \dots)/100}{1 + \varepsilon_F/100} \quad . \quad (11)$$

Die Gleichung 11 beschreibt also den Zusammenhang zwischen der Produktivität einer Anlage (ausgedrückt durch den Durchsatz  $Q$ ) und der notwendigen Spinnengeschwindigkeit  $v_S$ . Diese Größen sind für eine vorgegebene gewünschte Endfeinheit  $Tt_F$  und gewünschte Enddehnung  $\varepsilon_F$  *nicht* unabhängig voneinander. In der Abbildung 9 ist dieser Zusammenhang für die konkreten Beispiele

- PET:  $Tt_F = 12 \text{ tex f24}$ ,  $\varepsilon_F = 20 \%$  und
- PA 6:  $Tt_F = 12 \text{ tex f24}$ ,  $\varepsilon_F = 35 \%$

dargestellt. Evident ist der Zusammenhang *nichtlinear*.

*Bemerkung:* Tatsächlich ist die Bruchdehnung  $\varepsilon_B$  des Spinnfadens und damit das notwendige Streckverhältnis  $DR$ , wie in Gleichung 11 angedeutet, nicht nur von der Spinnengeschwindigkeit  $v_S$  sondern auch von anderen Spinnparametern abhängig (z.B. auch vom Durchsatz  $Q$ ). Die genaue Einstellung des technologischen Arbeitsfensters ist daher ein iterativer Prozess. Heute werden die Produktionseinstellungen zunehmend computergestützt durchgeführt.

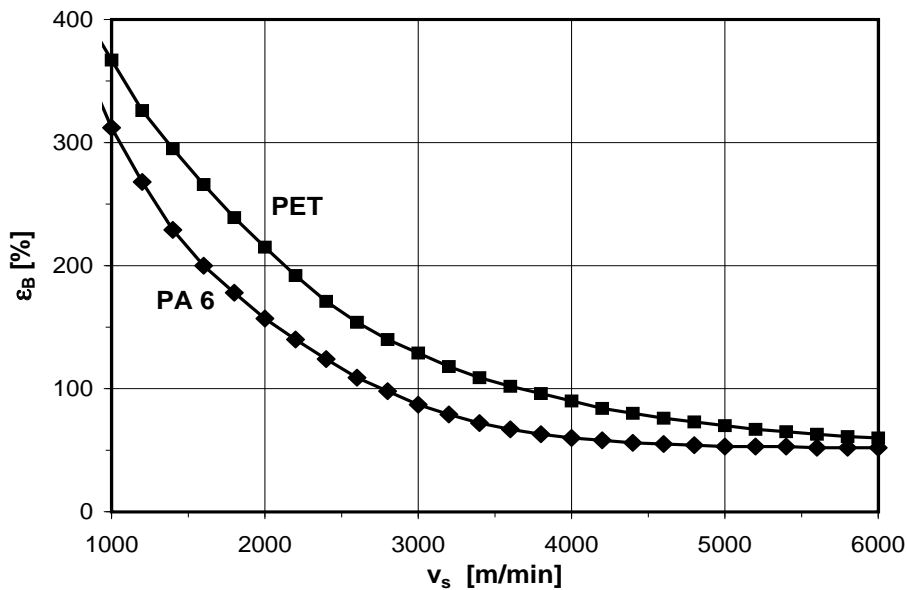


Abbildung 8: Bruchdehnung eines Spinnfadens in Abhängigkeit von der Spinnungsgeschwindigkeit

## 5 Fragen

1. Worin unterscheiden sich Lösungs- und Schmelzspinnprozess grundsätzlich? Geben sie Vor- und Nachteile beider Verfahren an!
2. Wie gelangt man von Gl. 3 zu Gl. 4 ?
3. Wie ist der Zusammenhang zwischen Spinnfadenfeinheit  $Tt_S$  und Endfadenfeinheit  $Tt_F$ ?
4. Wie entsteht beim Schmelzspinnen die Fadenorientierung? Wovon ist sie abhängig?
5. Welcher Zusammenhang besteht zwischen den Dehnungszahlen  $\epsilon_i$  und den Streckverhältnissen  $DR_i$  (Gln. 8 und 9) ?
6. Legen Sie (mit Hilfe der Abb. 8) die technologischen Einstellungen für den Durchsatz an der Spinndüse für die Produktion eines PET-Fadens fest (Enddehnung 20%), der mit 3000 m/min ersponnen werden soll und dessen Fertigfadenfeinheit 6 tex f12 betragen soll.
  - a) Wie groß ist die Spinnfadenfeinheit ?
  - b) Wie groß ist das erforderliche Streckverhältnis ?
  - c) Sie wollen die Produktion (d. h. den Durchsatz  $Q$ ) dieses Fadens bei sonst gleichen Endeigenschaften verdoppeln. Wie hoch müsste die Spinnungsgeschwindigkeit und die Wicklergeschwindigkeit sein ?

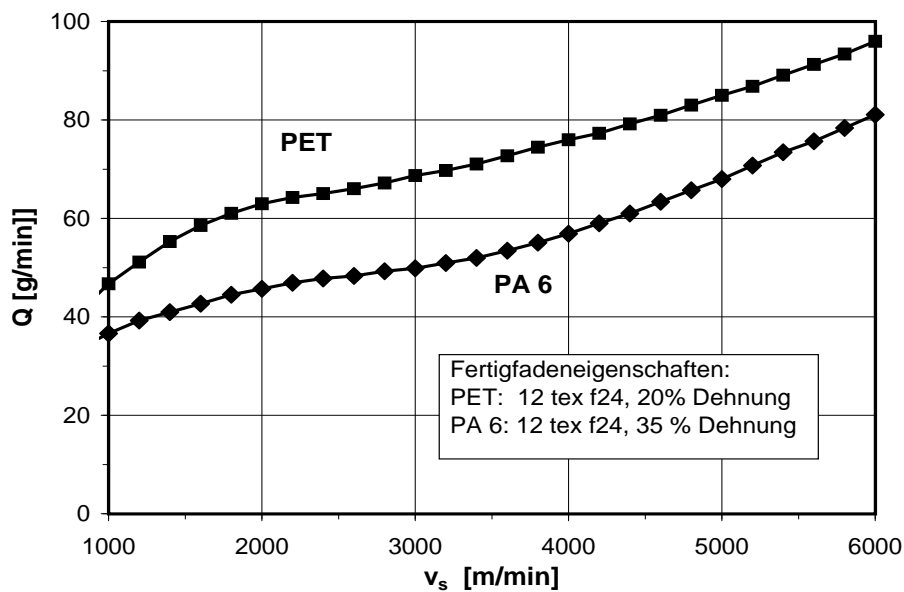


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Durchsatz und Spinnungsgeschwindigkeit für eine konkrete Fertigfadeneigenschaft

## 6 Aufgaben

### Spinnversuch

- Bestimmen Sie die textilphysikalischen Eigenschaften Feinheit, Bruchfestigkeit und Bruchdehnung von Polypropylen-Spinnfäden, die mit folgenden Einstellungen ersponnen wurden:

Tabelle 2: Einstellungen für Spinnversuch

Einstellung	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Düse	24 Loch	24 Loch	24 Loch
Spinn temperatur	240°C	240°C	240°C
Durchsatz	12 g/min	18 g/min	24 g/min
Spinnungsgeschwindigkeit	2000 m/min	3000 m/min	4000 m/min

- Führen Sie dazu die Spinnversuche unter Anleitung durch!
- Wie wären die obigen technologischen Einstellungen abzuändern, damit für den ersponnenen Faden die Enddehnung 50% beträgt? Wäre das realistisch?

## Spinn-Streck-Versuch

1. Bestimmen Sie die textilphysikalischen Eigenschaften Feinheit, Bruchfestigkeit und Bruchdehnung von Polypropylen-Spinnfäden, die mit folgenden Einstellungen er-spinnen und verstreckt wurden:

Tabelle 3: Einstellungen für Spinn-Streck-Versuch

Einstellung	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Düse	24 Loch	24 Loch	24 Loch
Spinn-temperatur	240°C	240°C	240°C
Durchsatz	18 g/min	18 g/min	18 g/min
Spinn-geschwindigkeit	3000 m/min	2000 m/min	1500 m/min
Streck-verhältnis	–	1.5	2.0

2. Führen Sie dazu die Spinnversuche unter Anleitung durch!
3. Wie wären die obigen technologischen Einstellungen abzuändern, damit für den Faden die Enddehnung 50% beträgt? Wäre das realistisch?

## Literatur

- [1] *Beyreuther R., Brünig H., Vogel R.:* Melt spinning - polymer formation under high stress conditions, In: *Polymeric Material Encyclopedia: Synthesis, Properties, and Applications*, CRC Press Inc., Boca Raton, p.4061-4074, 1996
- [2] *Falkai B.:* *Synthesefasern: Grundlagen, Technologie, Verarbeitung und Anwendung*, Weinheim, Verlag Chemie, 1981
- [3] *Fourne F.:* *Synthetische Fasern, Herstellung, Maschinen und Apparate, Eigenschaften*, Hanser Verlag, 1995
- [4] *Ziabicki A., Kawai, T. (ed.):* *High Speed Fiber Spinning, Science and Engineering Aspects*, Wiley, New York, 1985
- [5] *Beyreuther R., Brünig H.:* *Dynamics of Fibre Formation and Processing*, Springer Verlag, 2007
- [6] *Internetpräsentation:* [www.ipfdd.de](http://www.ipfdd.de) -> Department Mechanics and Fiber Formation -> Fields of Work -> Theory and Model of Fibre Formation