

# Wahl des Umschaltzeitpunkts beim Einfahren von Spritzgießwerkzeugen

Von Ole Johansen, B. Sc. Eng., Lyngby/Dänemark

Mitteilung aus der Abteilung Plasttechnologie der Dänischen Technischen Hochschule, Lyngby

Die Phase des Einfahrens eines Spritzgießwerkzeugs ist für die Wirtschaftlichkeit der Produktion und die Qualität des Produkts von entscheidender Bedeutung. Ein wesentliches Kriterium stellt in diesem Rahmen die Wahl des Umschaltzeitpunkts von Spritz- auf Nachdruck dar. Durch Spritzgießversuche mit unterschiedlichen Umschaltzeitpunkten wird der Einfluß auf die Qualität des Spritzgußteils gezeigt. Es wird ein praxisnahes Verfahren zum Auffinden des optimalen Zeitpunkts dargestellt.

Nachdem mit großer Sorgfalt die Funktion und Gestalt eines Spritzgußteils bestimmt wurde, fehlen oft die Zeit, die nötige Personalkapazität oder die erforderliche Sachkenntnis, um mit gleicher Sorgfalt die Herstellung des Produktes vorzubereiten. Beim Einfahren eines Werkzeugs begnügt man sich oft damit, nach vorliegenden schematischen Anleitungen eine Behebung auftretender Probleme zu versuchen, bis brauchbare Spritzgußteile produziert werden. In Anbetracht der großen Investitionen, die in der Regel bis zu diesem Zeitpunkt auf das Projekt verwendet worden sind, und in Anbetracht dessen, daß die Parameter, die beim Einfahren festgelegt werden, für die gesamte Lebensdauer des Produktes und Werkzeugs gelten sollen, hat das Einfahrergebnis beträchtliche wirtschaftliche Konsequenzen.

Wenn auch bei unterschiedlichen Parameterkombinationen brauchbare Produkte erzielt werden, so ist die optimale Wirtschaftlichkeit doch nur bei einer bestimmten Kombination erreichbar. Um diese zu finden, bedarf es während des Einfahrens einer systematischen Vorgehensweise [1]. Am Beispiel der Ermittlung des Umschaltzeitpunkts wird diese systematische Vorgehensweise erläutert. Gleichzeitig wird gezeigt, daß von der Wahl des Zeitpunkts die Qualität des Spritzgußteils abhängt.

## Wahl des Zeitpunkts zur Umschaltung von Spritz- auf Nachdruck

Spritzgießmaschinen erlauben heute in der Regel ein Einstellen verschiedener Drücke, so daß mit unterschiedlichen Einspritz- und Nachdrücken gefahren werden kann. Hieraus resultiert der Vorteil, daß bei einem hoch eingestellten Spritzdruck hohe Einspritzgeschwindigkeiten erreicht werden und ein niedrig eingestellter Nachdruck ein Vermeiden unnötiger

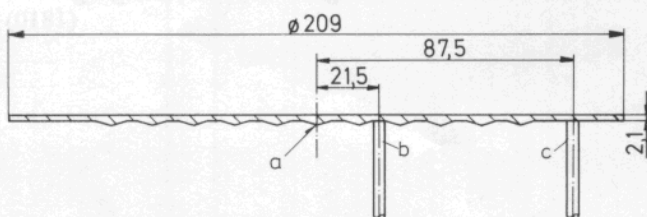


Bild 1. Streulinse aus Polystyrol für Flughafenbeleuchtungskörper als Versuchsspritzgußteil

a: Punktauß, Dmr. 1,5 mm, b: Meßstelle für den Werkzeuginnendruck (angunah), c: Meßstelle für den Werkzeuginnendruck (angußern)

Spannungen im Spritzgußteil ermöglicht, ohne daß Einfallstellen entstehen. Die Umschaltung von Spritz- auf Nachdruck kann nach verschiedenen Kriterien erfolgen:

- Umschaltung nach volumetrischer Füllung des Formnestes  
Ein Umschalten nach der volumetrischen Füllung des Formnestes ist in vielen Fällen üblich. Dabei steigt der Druck im Formnest bis zum Umschaltzeitpunkt erheblich an.
- Umschalten unmittelbar, bevor das Formnest volumetrisch gefüllt ist

Das Umschalten unmittelbar vor der volumetrischen Füllung des Formnestes gestattet die Nutzung des maximal möglichen Hydraulikdrucks für das Einspritzen. Damit werden minimale Füllzeiten erzielt, ohne daß ein Überfüllen der Form erfolgen kann.

Zum Einstellen der Umschaltung unmittelbar vor der volumetrischen Füllung des Formnestes wird empfohlen [1], während des Einfahrens den Nachdruck auf Null zu stellen. Daraus folgt ein Stoppen des Schneckenvorlaufs zum Zeitpunkt der Umschaltung. Beginnt man mit einer teilweisen Formfüllung und erhöht den Füllgrad stufenweise, so läßt sich der Zeitpunkt erkennen, bei dem der Füllgrad stabil ist und etwa 99% beträgt. Dieser Zeitpunkt wird als Umschaltzeitpunkt gewählt. Die erforderliche Höhe des Nachdrucks ergibt sich dann aus seiner fortlaufenden Steigerung, bis keine Einfallstellen mehr auftreten.

## Experimenteller Vergleich der Umschaltzeitpunkte

Nach beiden Verfahren wurden gleiche Spritzgußteile hergestellt, wobei die Versuchsparameter mit Ausnahme der verfahrensbedingten Unterschiede identisch und reproduzierbar waren.

### Versuchseinrichtung

Für die Versuche wurde ein Werkzeug verwendet, mit dem Streulinse aus Polystyrol (PS 143 E) für Flughafenbeleuchtungskörper hergestellt werden konnten. Bild 1 zeigt die Hauptmaße dieser Linse sowie die Stellen, an denen angußnah und angußfern die Werkzeuginnendrucke ermittelt wurden. Verwendet wurde eine Spritzgießmaschine mit 1350 kN Schließkraft und einem Schneckendurchmesser von 45 mm.

### Versuchsparameter

#### Druckumschaltung nach volumetrischer Formfüllung

Die in Bild 2 dargestellten Versuchsparameter wurden erzielt mit einem in der Einspritzphase auf 700 bar begrenzten Einspritzdruck. Die Einstellung der Einspritzgeschwindigkeit entsprach der auf der Maschine maximal möglichen. Zeitabhängig erfolgte die Umschaltung auf den Nachdruck von 100 bar nach 2,5 s.

#### Druckumschaltung unmittelbar vor volumetrischer Formfüllung

Bild 3 zeigt die mit diesem Verfahren erzielten Versuchsparameter, wobei der Spritzdruck in der Einspritzphase nicht

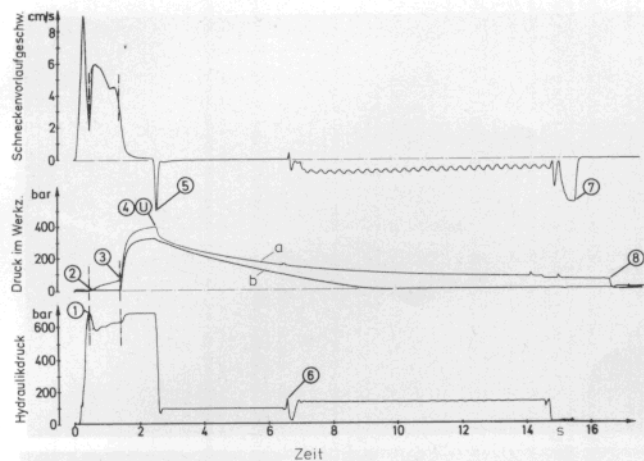


Bild 2. Meßschiebe für die Versuchsparameter Schneckenvorlaufgeschwindigkeit (oben), Druck im Werkzeug (Mitte) und Hydraulikdruck (unten) als Funktion der Zeit für das Verfahren der Druckumschaltung nach der volumetrischen Formfüllung

a: angußnah, b: angußfern

1: Durchbrechen des Punktangusses, 2: Formfüllung bis zum angußnahen Druckaufnehmer, 3: Formnest volumetrisch gefüllt, 4: Druckmaximum, 5: Schneckenrückstellung, 6: Ende der Nachdruckzeit, Beginn der Schneckenrotation, 7: Kompressionsentlastung der Schnecke, 8: Öffnen der Form, U: Umschalten von Spritz- auf Nachdruck  
Der Hydraulikdruck wurde auf den Druck im Schneckenorraum umgerechnet

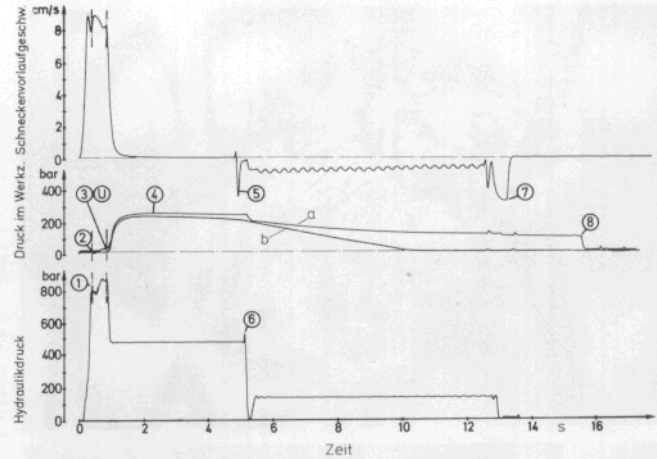


Bild 3. Meßschiebe für die Versuchsparameter Schneckenvorlaufgeschwindigkeit (oben), Druck im Werkzeug (Mitte) und Hydraulikdruck (unten) als Funktion der Zeit für das Verfahren der Druckumschaltung unmittelbar vor der volumetrischen Formfüllung

Erläuterungen: siehe Bild 2

begrenzt wurde, sondern auf Maschinenmaximum eingestellt. 900 bar werden ausgenutzt.

konnte. Die Umschaltung von Spritz- auf Nachdruck erfolgte wegabhängig unmittelbar vor der volumetrischen Füllung (Bild 3, Punkt 3). Für den Nachdruck wurden 490 bar eingestellt.

**Versuchsergebnisse**

Die zur Beurteilung der Qualität der Spritzgußteile und der Wirtschaftlichkeit der beiden verglichenen Verfahren ermittelten Meßwerte sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

**Schließkraftbedarf**

Ein Vergleich der maximalen Massedrucke im Werkzeug (Tabelle 1) zeigt, daß bei der Druckumschaltung nach der volumetrischen Füllung gegenüber der Umschaltung unmittelbar vor der volumetrischen Füllung ein erheblich höherer Wert

sowohl angußnah als auch angußfern auftritt. Im ersteren Fall beträgt die erforderliche Schließkraft 1250 kN, im letzteren 820 kN. Dieser Unterschied hat erhebliche wirtschaftliche Konsequenzen, da hiervon die Maschinengröße abhängt.

Die Versuchsmaschine mit 1350 kN Schließkraft läßt beim verwendeten Werkzeug einen maximalen durchschnittlichen Druck von 400 bar im Werkzeug zu. Da viele Werkzeuge keine Innendruckmessungen erlauben, kann beim Einfahren auch nicht erkannt werden, daß im Falle der Umschaltung nach der volumetrischen Füllung der Spritzdruck auf 700 bar begrenzt werden muß, um den Werkzeuginnendruck von 400 bar nicht zu überschreiten. Dieser Umstand kann Ursache von Werkzeugbeschädigungen sein, da Druckspitzen, die zum Überspritzen des Werkzeugs führen, nicht mit Sicherheit vermieden werden.

Dagegen verschiebt sich der Zeitpunkt des maximalen Werkzeuginnendrucks bei der Umschaltung unmittelbar vor der volumetrischen Füllung von der Einspritzphase in die

Tabelle 1. Ergebnisse aus vergleichenden Untersuchungen hinsichtlich der optimalen Wahl des Zeitpunkts der Umschaltung von Spritz- auf Nachdruck

	Einheit	Umschaltung nach volumetrischer Formfüllung	Umschaltung unmittelbar vor volumetrischer Formfüllung
Schließkraftbedarf	kN	1250	820
maximaler Massedruck			
angußnah	bar	400	265
angußfern	bar	350	230
mittleres Formteilgewicht	g	79,57	79,38
Standardabweichung des Formteilgewichts	g	0,08	0,03
Schwindung	%	0,48	0,49
Oberflächenrauigkeit			
Mittenrauigkeit $\bar{R}_a$	$\mu\text{m}$	0,08	(0,16)*
Standardabweichung von $\bar{R}_a$	$\mu\text{m}$	0,005	(0,05)*
maximale Rauhtiefe $\bar{R}_{\text{max}}$	$\mu\text{m}$	0,8	(1,6)*
Standardabweichung von $\bar{R}_{\text{max}}$	$\mu\text{m}$	0,05	(0,18)*
Formfüllzeit	s	1,0	0,5
Zykluszeit	s	20,9	19,3

\* Werte des Werkzeugs

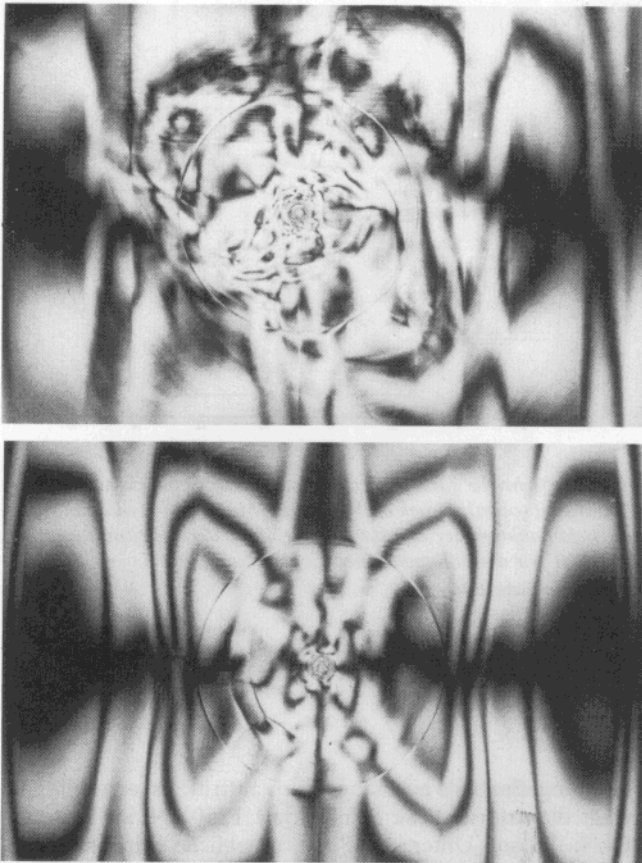


Bild 4. Polarisationsoptische Aufnahmen des Angußbereichs  
oben: Druckumschaltung nach der volumetrischen Formfüllung, unten: Druckumschaltung unmittelbar vor der volumetrischen Formfüllung

Nachdruckphase. Bei diesem Verfahren kann aufgrund der vorgeschlagenen Vorgehensweise beim Einfahren die Höhe des Nachdrucks so begrenzt werden, daß Einfallstellen vermieden werden. Dieser maximale Druck ist niedriger und leichter kontrollierbar als der in der Einspritzphase.

#### Formfüllzeit

Durch eine Begrenzung des Spritzdrucks wird die Einspritzgeschwindigkeit (Schneckenvorlaufgeschwindigkeit) reduziert. Daher kann für das Verfahren der Druckumschaltung nach der volumetrischen Formfüllung aus Bild 2 eine Schneckenvorlaufgeschwindigkeit von nur etwa 5 cm/s entnommen werden.

Bild 3 zeigt für das Verfahren der Umschaltung unmittelbar vor der volumetrischen Formfüllung eine Schneckenvorlaufgeschwindigkeit von etwa 9 cm/s. Entsprechend werden Formfüllzeiten von 1,0 bis 0,5 s erreicht. Kürzere Formfüllzeiten führen zu höheren Fließnahtfestigkeiten und ergeben Spritzgußteile mit geringerer Tendenz zum Verzug.

#### Gewicht der Spritzgußteile

Das Gewicht der nach beiden Verfahren hergestellten Spritzgußteile ist annähernd gleich. Wesentliche Unterschiede zugunsten der Teile, die nach dem Verfahren der Umschaltung unmittelbar vor der volumetrischen Füllung hergestellt wurden, zeigt die Streuung der Werte (Tabelle 1).

#### Schwindung

Bezüglich der Schwindung der nach beiden Verfahren hergestellten Teile ist kein nennenswerter Unterschied festzustellen.

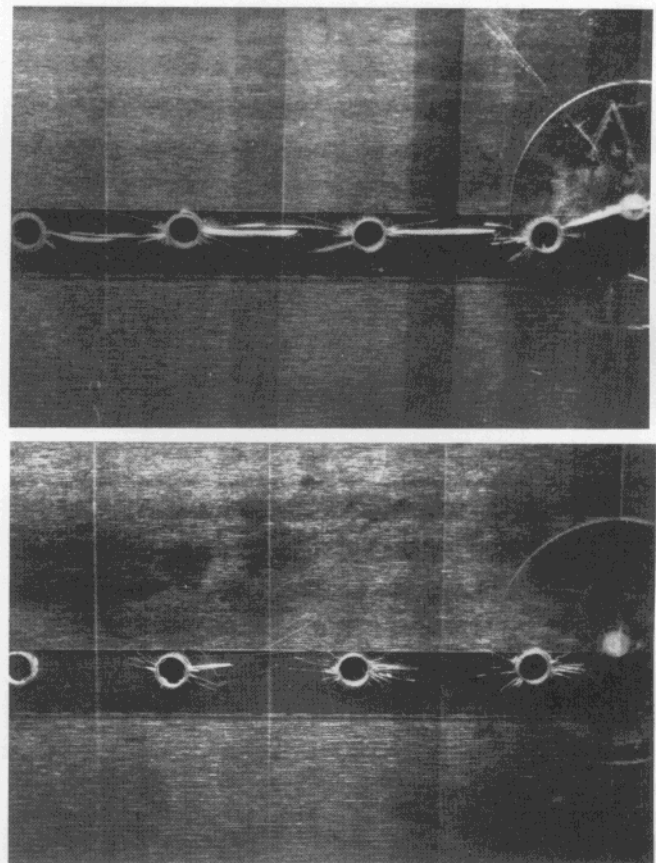


Bild 5. Spannungsrissbildung an Probekörpern bei Anwendung des Kugeleindrückverfahrens und Einlagerung in n-Heptan (50 Vol.-%) und Propanol (50 Vol.-%) während 5 min  
oben: Druckumschaltung nach der volumetrischen Formfüllung, unten: Druckumschaltung unmittelbar vor der volumetrischen Formfüllung

#### Konturwiedergabe

Zur Beurteilung der Konturwiedergabe wurden die Rauigkeit der Werkzeugoberfläche sowie an gleicher Stelle die der nach beiden Verfahren hergestellten Spritzgußteile gemessen. Durchschnittswerte und Streuungen der Mittenrauigkeit ( $\bar{R}_a$ ) und der maximalen Rauhtiefe ( $\bar{R}_{max}$ ) (nach DIN 4761) stimmen recht gut überein bei einer überraschenderweise geringfügig besseren Konturenwiedergabe bei Teilen, die durch das Verfahren mit der Druckumschaltung unmittelbar vor der volumetrischen Formfüllung spritzgegossen werden (Tabelle 1).

#### Zykluszeit

Die hinsichtlich der Zykluszeit vorliegenden Unterschiede sind auf die verfahrensbedingt unterschiedlichen Einspritzzeiten zurückzuführen.

#### Eigenspannungen und Orientierungen

Eine Überprüfung mit Hilfe der Polarisationsoptik zeigt im Bereich des Angusses größere Eigenspannungen bei den Spritzlingen, die nach dem Verfahren der Druckumschaltung nach der volumetrischen Formfüllung gefertigt wurden (Bild 4 oben).

Nachdem Löcher in die Linsen gebohrt wurden, erfolgte während 5 min eine Lagerung in n-Heptan. Dieser Test zeigte keine Unterschiede zwischen den beiden Verfahren. Dies läßt darauf schließen, daß in allen Fällen innere Zugspannungen kleiner waren als solche, die Dehnungen von 0,02% verursachen.

In Bohrungen mit mittleren Dmrn. von 3,005 mm (Streuung  $S = 0,002$  mm) wurden daraufhin Stahlkugeln mittlerer Dmr. von 3,035 mm (Streuung  $S = 0,002$  mm) gepreßt. Die so er-

zeugten Dehnungen von 1% verursachten nach einer ebenfalls 5 min dauernden Lagerung in einem Gemisch aus 50% n-Heptan und 50% Propanol Risse (Bild 5). Bei Spritzgußteilen, die mit dem Verfahren der Druckumschaltung nach der volumetrischen Formfüllung hergestellt werden, wiesen diese Risse Längen von 7,9 mm in Fließrichtung und 2,1 mm quer zur Fließrichtung auf. Beim zweiten Verfahren betragen diese Werte 3,9 bzw. 1,2 mm und waren damit etwa um die Hälfte geringer.

#### Schlußfolgerungen

Die dargestellten Ergebnisse sprechen für die Wahl des Umschaltzeitpunkts von Spritz- auf Nachdruck unmittelbar vor der volumetrischen Füllung des Formnestes. Der wohl eindrucksvollste Unterschied besteht in der geringeren erforderlichen Schließkraft der Spritzgießmaschine (66% gegenüber

dem anderen Verfahren). Die Gefahr von Werkzeugbeschädigungen ist, wie dargestellt, geringer. Dabei ermöglicht das Verfahren zugleich eine minimale Formfüllzeit. Qualitativ werden bessere Spritzgußteile erzielt, da geringere Orientierungen und geringere innere Spannungen vorliegen. Beide Verfahren sind bezüglich der Oberflächengüte vergleichbar. Während der laufenden Produktion kann der Umschaltzeitpunkt leicht kontrolliert werden, indem der Nachdruck vorübergehend auf Null gestellt und der dann vorliegende Formfüllgrad festgestellt wird.

Die beschriebenen Einfahr- und Einstellhinweise sowie die hiernach erzielten Ergebnisse wurden in vielen Fällen mit einer Vielzahl von Thermoplasten bestätigt.

#### Literatur

- [1] O. Johansen: Systematisches Verfahren beim Einfahren von Spritzgießwerkzeugen, Dänische Technische Hochschule, Lyngby, 1977. (1816)