

Spritzgießen

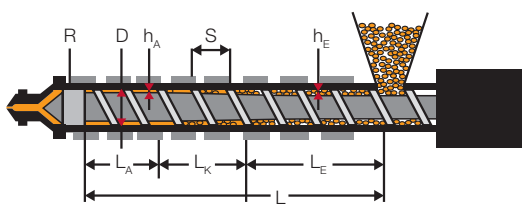
Das Spritzgießen ist für Ultraform® das wichtigste Verarbeitungsverfahren. Ultraform® lässt sich auf allen handelsüblichen Spritzgießmaschinen verarbeiten, entscheidend ist aber die richtige Auslegung der Plastifiziereinheit.

Spritzeinheit

Dreizonenschnecke

Für die Spritzgießverarbeitung von Ultraform® eignen sich die üblichen eingängigen Dreizonenschnecken. Bei modernen Maschinen beträgt die wirksame Schneckenlänge 20-23 D und die Gangsteigung 0,8-1,0 D. Diese bewährte Geometrie für Dreizonenschnecken ist Abb. 20 zu entnehmen. Das Einziehen und Aufschmelzen des Granulats wird wesentlich durch die Temperaturführung am Zylinder und die Schneckenkengtiefe bestimmt. Empfehlenswerte Gangtiefen für verschiedene Schneckendurchmesser sind in Abb. 21 aufgeführt. Bei Verwendung von flachgeschnittenen Schnecken ist die Plastifizierleistung etwas geringer als bei Standardschnecken. Sie nehmen weniger Material auf als tiefgeschnittene Schnecken. Es wird jedoch eine schonendere Aufschmelzung, eine kürzere Verweilzeit im Zylinder und eine bessere Schmelzehomogenität erzielt; daraus ergeben sich Vorteile für die Qualität der Formteile aus Ultraform®.

Von einer Verarbeitung auf Entgasungsschnecken ist abzuraten.



D	Schneckenaußendurchmesser		
L	wirksame Schneckenlänge	20-23	D
L_E	Länge der Einzugszone	0,5-0,55	L
L_K	Länge der Kompressionszone	0,25-0,3	L
L_A	Länge der Ausstoßzone	0,2	L
h_A	Gangtiefe in der Ausstoßzone		
h_E	Gangtiefe in der Einzugszone		
S	Steigung	0,8-1,0	D
R	Rückstromsperre		

Abb. 20: Schneckengeometrie; Begriffe und Maße von Dreizonenschnecken für Spritzgießmaschinen

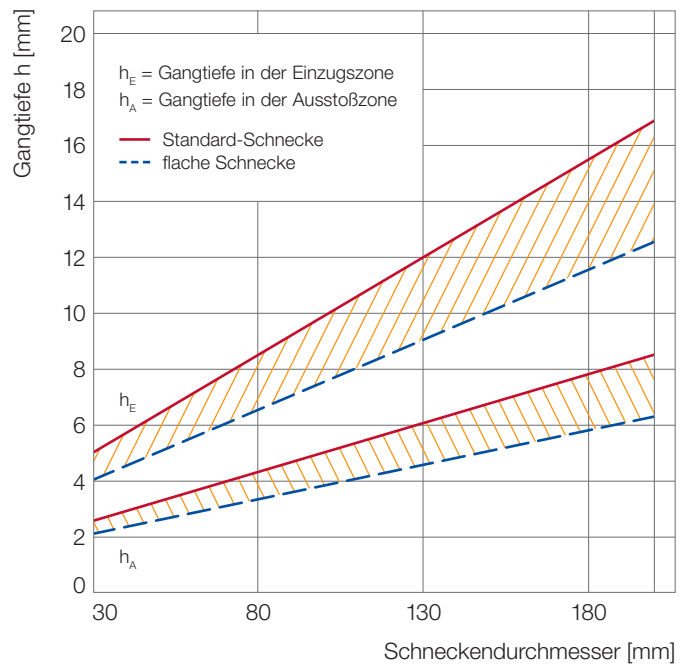


Abb. 21: Schneckenkengtiefen von Dreizonenschnecken für Spritzgießmaschinen

Maschinendüse, Rückströmsperre

Im allgemeinen reicht zur Spritzgießverarbeitung von Ultraform® eine offene Düse aus. Neben der sehr einfachen, strömungsgünstigen Konstruktion hat diese Düsenart den Vorteil, dass bei einer thermischen Schädigung des Materials Gase, die sich durch Zersetzung bilden, drucklos aus dem Zylinder entweichen können. Das kann bei unbeabsichtigten längeren Standzeiten, bei hoher Temperatur der Schmelze, bei Pausen oder anderen Unterbrechungen der Fall sein.

Eine Verschlussdüse verhindert ein Ausfließen der Schmelze während des Plastifizierens und nach dem Abheben der Düse. Federbelastete Nadelverschlussdüsen eignen sich dafür besonders gut. Für eine optimale Fertigung sollte die Schnecke auch mit einer Rückströmsperre ausgerüstet sein, die das Zurückfließen der Masse über die Schneckengänge während des Einspritzens und Nachdrückens verhindert.

Nur mit einer Rückströmsperre lässt sich ein Massepolster und ein auf die Schmelze wirkender Nachdruck erzielen.

Verschleißschutz

Bei der Verarbeitung von glasfaserverstärktem Ultraform® sollten verschleißgeschützte Plastifiziereinheiten z. B. Bi-Metallzylinder und gepanzerte Schnecken, Schneckenspitzen und Rückströmsperren verwendet werden.

Spritzgießwerkzeug

Anguss- und Werkzeuggestaltung

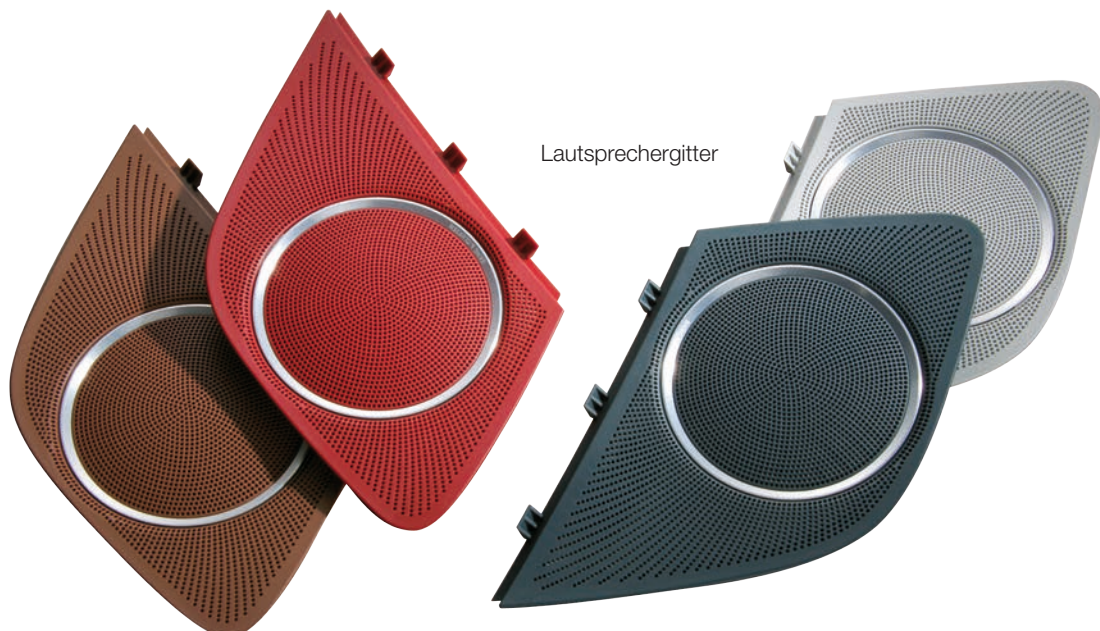
Bei der Spritzgießverarbeitung von Ultraform® sind alle bekannten Angussarten anwendbar, auch Vorkammer- und Heißkanalsysteme. Die einschlägigen Konstruktionsrichtlinien für die Anguss- und Werkzeuggestaltung von Spritzgussteilen aus thermoplastischen Kunststoffen gelten auch für Ultraform®. Angusskanäle und Anschnitte dürfen nicht zu klein sein.

Die Oberflächenkontur bildet sich wegen der niedrigen Schmelzeviskosität besonders genau ab. Deshalb müssen die formgebenden Werkzeugflächen tadellos bearbeitet sein. Dasselbe gilt für die Werkzeuggrenzflächen: Die Trennfuge darf keine Gratbildung verursachen, muss aber eine gute Entlüftung des Werkzeugs sicherstellen.

Wichtig ist, den Kühlwasserkreislauf gegen den Formhohlraum sorgfältig abzudichten. Sonst können sich durch Wassereintritt aggressive Lösungen bilden, die zur Korrosion am Werkzeug führen.

Verwendung von Metall-Einlegteilen

Metallteile können einwandfrei umspritzt werden; sie sollten jedoch vor dem Einlegen in das Werkzeug auf 80°C bis 120°C vorgewärmt werden, damit keine Eigenspannungen auftreten. Die Metallteile müssen fettfrei sein und Rändelungen, umlaufende Nuten und ähnliches zur besseren Verankerung haben. Auf eine gute Abrundung der Metallkanten ist zu achten.



Werkzeugtemperierung

Ein gut durchdachtes, wirksames Temperiersystem ist von besonderer Wichtigkeit, da die Werkzeugtemperatur die Oberflächengüte, die Schwindung, den Verzug und die Toleranzen von Formteilen maßgeblich beeinflusst.

Die Temperierung sollte so konzipiert werden, dass in allen formgebenden Bereichen die gleiche Temperatur herrscht. In besonderen Fällen kann es erforderlich sein, partiell gezielt abweichende Temperaturen einzustellen. So lässt sich z. B. der Verzug der Formteile in gewissem Umfang durch eine gezielt unterschiedliche Temperierung der Werkzeughälften beeinflussen. Dies ist nur mit separaten Kreisläufen möglich.

Wie bei allen teilkristallinen Thermoplasten werden auch bei Ultraform® die mechanischen Eigenschaften eines Spritzgussteils vom Grad der Kristallinität mitbestimmt. Die Kristallinität nimmt mit der Werkzeugtemperatur zu. Härte, Steifigkeit und Festigkeit erhöhen sich mit zunehmender Werkzeugtemperatur. (Abb. 22). Genau gegenläufig verhalten sich die Zähigkeitswerte (Abb. 23).

Allgemein genügt es, im Bereich von 60 °C bis 90 °C zu temperieren. Für Präzisionsteile sollte die Werkzeugtemperatur zwischen 90 °C und 120 °C betragen. Wenn es auf besondere Maßhaltigkeit ankommt, sollte die Werkzeugtemperatur mindestens so hoch eingestellt werden wie die Temperatur beim späteren Gebrauch des Formteils.

Um Wärmeverluste zu vermeiden, empfiehlt es sich, zwischen Werkzeug- und Aufspannplatte eine Isolierung anzubringen.

Spritzgießverarbeitung

Verarbeitungstemperatur

Grundsätzlich genügen Massetemperaturen von 180 °C bis 220 °C. Komplizierte Formen mit langen Fließwegen und geringer Wanddicke können in Ausnahmefällen auch Temperaturen bis 230 °C erforderlich machen. Sind höhere Verarbeitungstemperaturen notwendig, besteht die Gefahr einer thermischen Schädigung. Diese wird verhindert, wenn die Fertigungsverhältnisse eine hohe Schussfolge und damit eine entsprechend kurze Verweilzeit der Masse im Spritzgießzylinder gestatten.

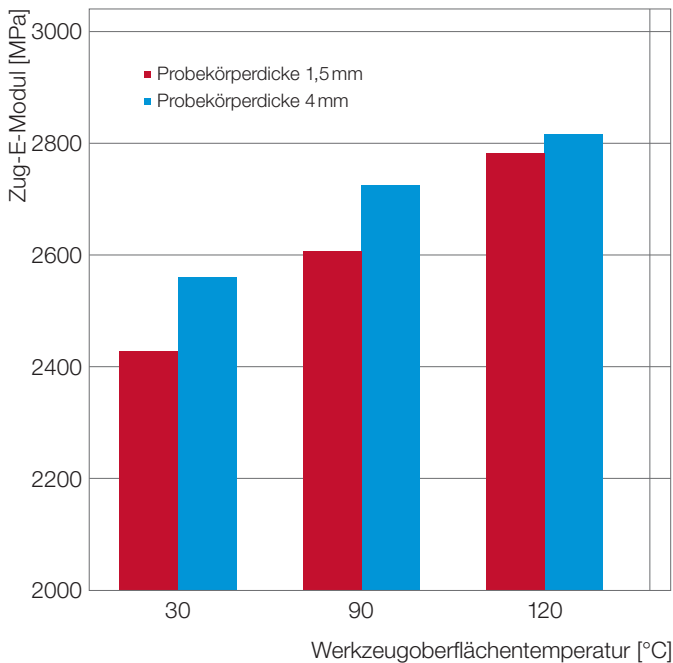


Abb. 22: Ultraform® N2320 003 – Einfluss der Werkzeugoberflächentemperatur auf die Steifigkeit von Zugstäben unterschiedlicher Dicke

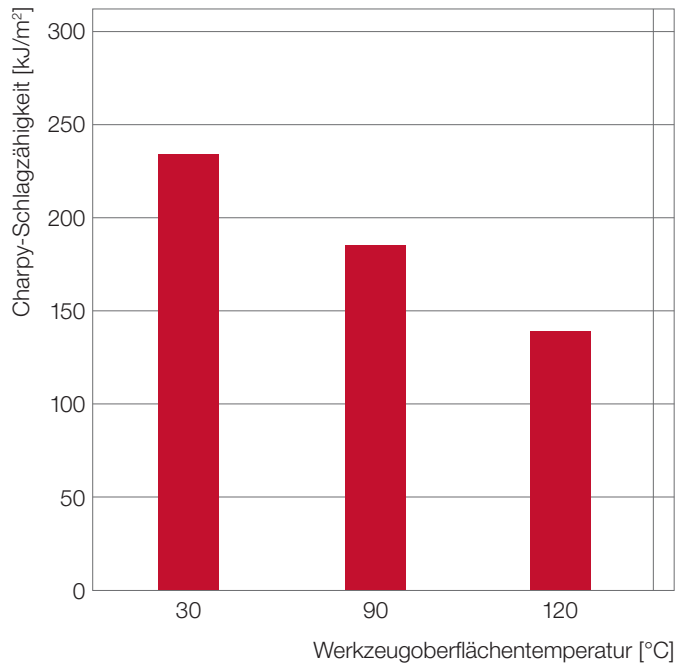


Abb. 23: Ultraform® N2320 003 – Einfluss der Werkzeugoberflächentemperatur auf die Charpy-Schlagzähigkeit (ISO 179/1eU)

Es empfiehlt sich, die Massetemperatur kontinuierlich zu messen. Die Verwendung einer Nadelverschlussdüse bietet dafür eine gute Möglichkeit, weil in dieser Düse leicht ein Thermoelement untergebracht werden kann.

Häufig können die einzelnen Heizbänder der Spritzgießmaschine auf die gleiche Temperatur eingestellt werden. Bei langen Zykluszeiten sollte man die Temperatur des ersten Heizbandes (Trichternähe) etwas tiefer wählen. Damit wird ein vorzeitiges Anschmelzen des Granulats in der Einzugszone verhindert.

Einzugsverhalten

Ultraform® wird von Standardschnecken (siehe Abb. 20, 21) einwandfrei eingezogen. Schneckengeometrie, Schnecken-drehzahl, Staudruck und Temperaturführung am Schnecken-zylinder bestimmen das Einzugsverhalten des Granulats und seine Plastifizierung.

Die bei den meisten Spritzgießmaschinen mögliche Kühlung im Bereich des Materialtrichters erlaubt gegebenenfalls eine Korrektur des Einzugsverhaltens. In Sonderfällen muss für Ultraform® N2310 P ein vom Trichter zur Düse hin fallendes Temperaturprofil eingestellt werden (z. B. 220°C → 205°C).

Die Umfangsgeschwindigkeit der Schnecken sollte 0,3 m/s nicht überschreiten.

Werkzeugfüllung

Die Qualität der Fertigteile beruht auch auf der Geschwindigkeit der Werkzeugfüllung. Eine zu hohe Füllgeschwindigkeit fördert die Molekülorientierung und führt zu anisotropen mechanischen Eigenschaften. Eine zu niedrige Füllgeschwindigkeit dagegen ergibt Teile mit mangelhafter Oberfläche.

Besonders sorgfältig ist darauf zu achten, dass beim Einspritzen der Masse die Luft im Werkzeugraum leicht an geeigneten Stellen entweichen kann, damit es nicht zu Verbrennungen durch komprimierte Luft kommt (Diesel-Effekt). Eine unzureichende Werkzeugentlüftung fördert außerdem die Bildung von Formbelag. Abb. 24 zeigt beispielhaft ein bewährtes System zur Entlüftung.

Bei Materialanhäufungen wirkt man der Lunkerbildung entgegen, indem Nachdruck und Nachdruckzeit so hoch gewählt werden, dass die beim Abkühlen der Schmelze auftretende Volumenkontraktion ausgeglichen wird. Voraussetzung dafür ist ein genügend großer und günstig gelegener Anschnitt, damit die Masse in diesem Bereich nicht schon vor dem Ende der Nachdruckzeit erstarrt und dadurch das im Innern noch plastische Formteil gegen die nachzudrückende Masse versiegelt.

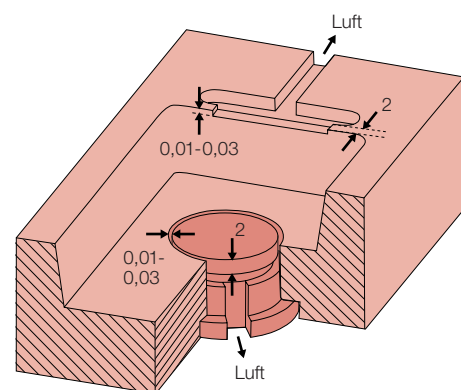


Abb. 24: Werkzeugentlüftung

Fließverhalten

Das hochmolekulare Ultraform® H4320 mit der geringsten Fließfähigkeit ist ein bevorzugter Werkstoff für die Extrusionsverarbeitung. Es eignet sich aber auch für die Herstellung von besonders zähen Spritzgussteilen mit größeren Wanddicken (ab 3 mm).

Ultraform® N2320 003 ist die Standardmarke für Formteile mit üblichen Wanddicken (über 1,5 mm) und nicht zu langen Fließwegen. Das leichtfließende Ultraform® S2320 003 wird empfohlen, wenn die Wanddicken geringer und die Fließwege länger sind.

Ultraform® W2320 003 und das besonders leicht fließende Ultraform® Z2320 003 stehen zur Verfügung, wenn wegen der oberen Begrenzung der Verarbeitungstemperatur ein vollständiges Ausfüllen des Werkzeugs mit Ultraform® S2320 003 nicht mehr zu erreichen ist.

Das Fließverhalten dieser Marken in Abhängigkeit von der Wanddicke zeigt z. B. der Spiraltest in Abb. 25. Er ist zwar nicht genormt, erlaubt jedoch eine praxisnahe Beurteilung. Das Fließvermögen oder der Fließweg eines Produktes hängt nicht nur von den Verarbeitungsparametern, wie Spritzdruck, Spritzgeschwindigkeit, Masse- und Werkzeugtemperatur, sondern auch von der Auslegung des Werkzeugs und der Maschinen ab. Einen Überblick über die Fließfähigkeit in Abhängigkeit von der Massetemperatur gibt Abb. 26. Trotz ihrer guten Fließfähigkeit neigen die Ultraform®-Spritzgussmarken nicht zur Schwimmhautbildung.

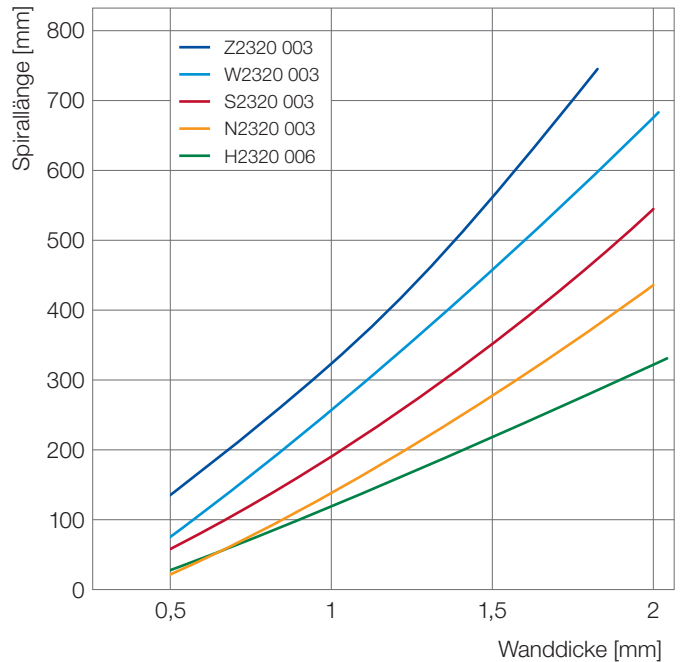


Abb. 25: Fließfähigkeit in Abhängigkeit von der Wanddicke (Spiraltest). Maschine: 1300 kN, Schneckendurchmesser: 30 mm, Werkzeug: Testspirale, Spritzdruck: 1200 bar, Massetemperatur: 210 °C, Werkzeugoberflächentemperatur: 80 °C

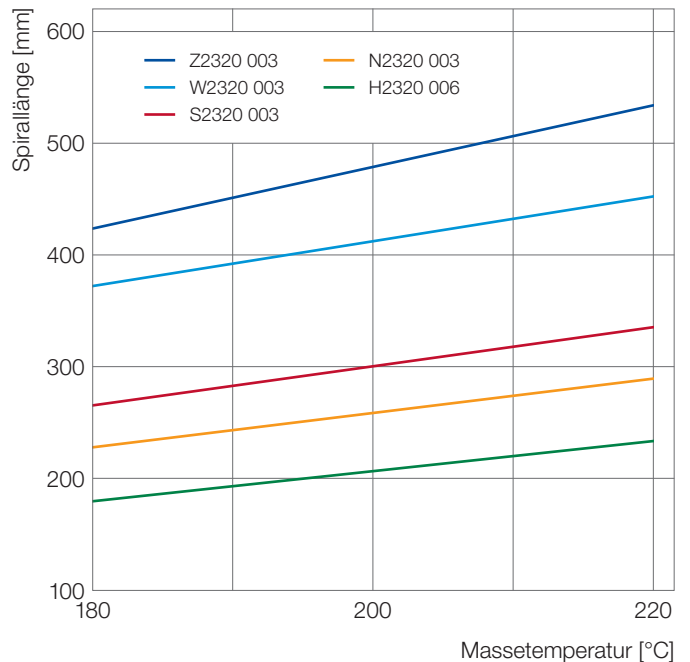


Abb. 26: Fließfähigkeit in Abhängigkeit von der Massetemperatur. Maschine: 1300 kN, Schneckendurchmesser: 30 mm, Werkzeug: Testspirale 1,5 mm, Zykluszeit: 20 s, Spritzdruck: 1000 bar, Werkzeugoberflächentemperatur: 80 °C

Verarbeitungsgeschwindigkeit

Bestimmungsfaktoren für die Verarbeitungsgeschwindigkeit beim Spritzgießen sind zum einen die Zeitspanne, die für das Abkühlen der Masse von der Verarbeitungs- auf die Erstarrungstemperatur benötigt wird, zum anderen die Erstarrungsgeschwindigkeit, die bei teilkristallinen Thermoplasten eng mit der Kristallisationsgeschwindigkeit gekoppelt ist.

Bei dünnwandigen Teilen ist die Verarbeitungsgeschwindigkeit überwiegend von der Kristallisationsgeschwindigkeit, bei dickwandigen hauptsächlich von der Wärmeleitung des Kunststoffes geprägt.

Die Ultraform®-Marken zeichnen sich durch hohe Erstarrungsgeschwindigkeiten aus und eignen sich deshalb hervorragend für die wirtschaftliche Fertigung dünnwandiger Teile.

Entformbarkeit

Ultraform® lässt sich gut entformen. Auch bei hoher Werkzeugoberflächentemperatur neigt es nicht zum Kleben an der Werkzeugwand. Die Ausformschrägen betragen bei Spritzgusswerkzeugen normalerweise 1 bis 2 Grad. Infolge der großen Volumenkontraktion sind bei Ultraform® auch geringere Entformungsschrägen möglich. Voraussetzung sind jedoch großflächige Ausstoßer- oder Abstreifplatten.

Grundsätzlich gilt: Die Auswerferstifte sollen in Relation zum Bauteil nicht zu dünn bemessen sein. Die Formteile werden sonst bei kurzem Zyklus oder hoher Werkzeugtemperatur beim Entformen durch das Eindringen der Auswerferstifte geschädigt.

Die Kühlkanäle des Werkzeugs sollten so ausgelegt sein, dass das Formteil möglichst gleichmäßig abgekühlt wird und dadurch weitgehend verzugsfrei erstarren kann.

Schwindung und Nachschwindung

Als Schwindung bezeichnet man den Unterschied zwischen den Maßen des Werkzeugs und denen des Formteils bei Raumtemperatur. Sie wird üblicherweise 24 Stunden nach der Herstellung bestimmt und in Prozent angegeben (ISO 294-3/4). Eine möglichst genaue Vorhersage der zu erwartenden Schwindung ist vor allem für den Werkzeugbauer wichtig.

Die Werkzeugmaße müssen so ausgelegt werden, dass Formteile mit den gewünschten späteren Endmaßen gefertigt werden können. Die Schwindung ist zwar in erster Linie eine Werkstoffeigenschaft, sie wird darüber hinaus aber auch bestimmt durch die Gestalt und Wanddicke des Spritzgussteils sowie durch die Verarbeitungsbedingungen (Werkzeugoberflächentemperatur, Massetemperatur, Nachdruck, Einspritzgeschwindigkeit, Anschnittlage und -größe). Das Zusammenwirken dieser verschiedenen Faktoren macht eine exakte Vorhersage der Schwindung meist sehr schwierig. Zur Ermittlung von praxisrelevanten Schwindungsmaßen hat sich ein Testkästchen bewährt, wie es in Abb. 27 dargestellt ist. Ausgewertet wird meist die Länge A als Maß für die Schwindung des Kästchenbodens.

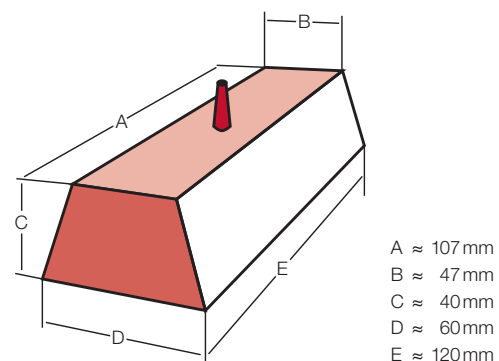


Abb. 27: Testkästchen

Den größten Einfluss auf die Schwindung haben die Temperatur der Werkzeugoberfläche und die Wanddicke des Formteils. In Abb. 28 ist diese Abhängigkeit am Beispiel von Testkästchen mit 1,5 mm, 5 mm und 8 mm Wanddicke dargestellt. Man erkennt ein starkes Anwachsen der Schwindung mit steigender Werkzeugtemperatur. Unter Werkzeugtemperatur ist hier stets die gemessene Oberflächentemperatur zu verstehen, nicht etwa die Temperatur des Temperiermediums.

Abb. 29 zeigt – wieder am Beispiel des Testkästchens – die Abhängigkeit der Schwindung vom Nachdruck. Durch höheren Nachdruck wird die Schwindung teilweise kompensiert.

Andere Faktoren, z. B. die Massetemperatur oder die Einspritzgeschwindigkeit, spielen hinsichtlich der Schwindung von Ultraform® keine große Rolle. Sie erhöht sich lediglich geringfügig bei ansteigenden Massetemperaturen und geringeren Einspritzgeschwindigkeiten.

An den Spritzgussteilen kommt es im Laufe der Zeit zu Maßänderungen, die Folge einer temperatur- und zeitabhängigen Nachkristallisation sind und in geringem Maße auch eines Abbaus innerer Spannungen und Orientierungen.

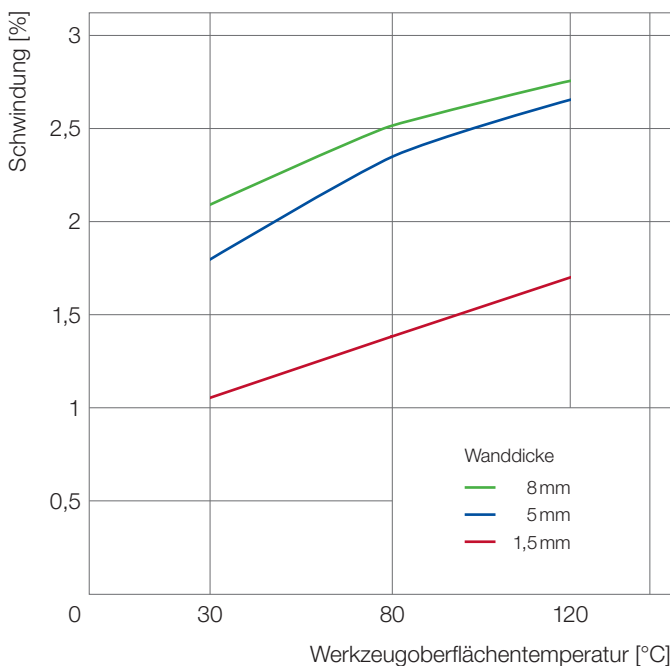


Abb. 28: Schwindung von Testkästchen aus Ultraform® N2320 003 eine Stunde nach Spritzguss (Maß A)

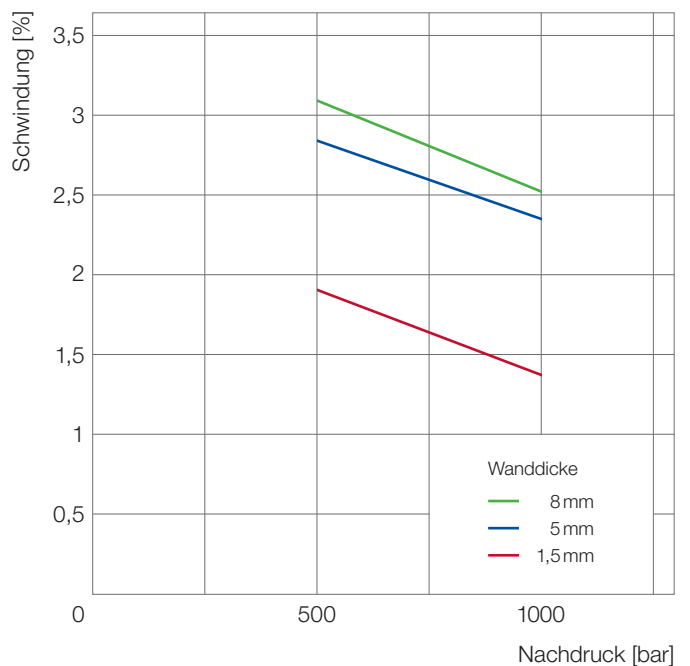


Abb. 29: Schwindung von Testkästchen aus Ultraform® N2320 003 eine Stunde nach Spritzguss (Maß A)

Abb. 30 zeigt die Schwindung gemessen am Testkästchen, nach einer Stunde (Kurve 1), 14 Tagen und 60 Tagen (Kurven 2 und 3). Die Teile wurden bei Raumtemperatur gelagert. Aus den Kurven ist die Nachschwindung, d.h. die Zunahme der Schwindung infolge Nachkristallisation, in Abhängigkeit von der Lagerzeit ersichtlich. Kurve 4 zeigt die Schwindung der gleichen Teile nach einer Wärmelagerung von 24 Stunden bei 120°C.

Eine solche Temperierung ist dann sinnvoll, wenn Spritzgussteile aus Ultraform® im späteren Gebrauch höheren Temperaturen ausgesetzt sind. Die Temperung nimmt die sonst infolge Nachkristallisation zu erwartende Maßänderung vorweg. Wie Abb. 30 zeigt, kann aber auf eine Temperung verzichtet werden, wenn beim Spritzgießen mit hoher Werkzeugtemperatur gearbeitet wurde.

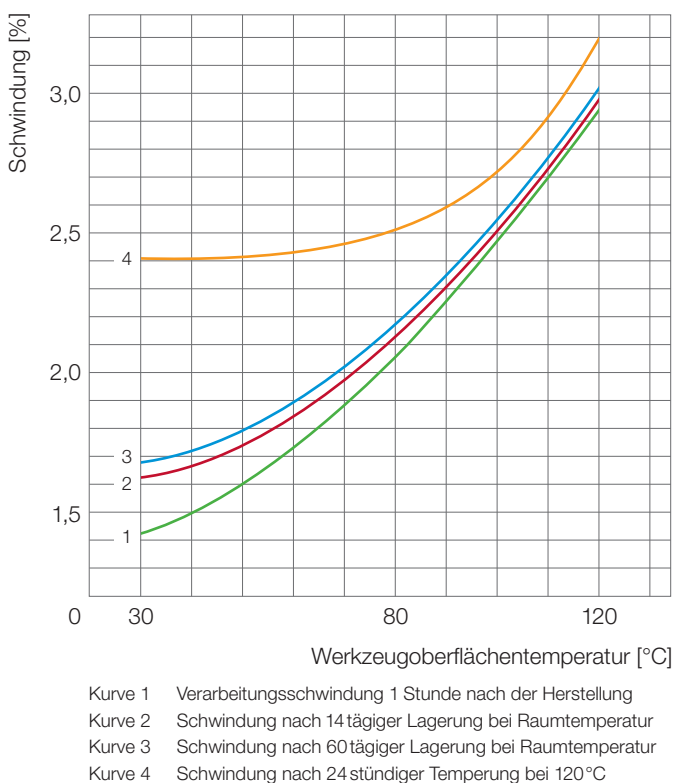


Abb. 30: Schwindung und Nachschwindung von Ultraform® N2320 003 in Abhängigkeit von Werkzeugtemperatur, Lagerzeit und Lagertemperatur, ermittelt an einem Kästchen mit einer Wanddicke von 1,5 mm. Maschine: 1300kN, Werkzeug: Testkästchen, Wanddicke 1,5 mm, Massetemperatur: 210°C, Nachdruck: 500 bar, Messlänge: A=107 mm

Die Schwindung des glasfaserverstärkten Ultraform® N2200 G53 ist wesentlich geringer als die der unverstärkten Marken. Allerdings ist die Schwindung aufgrund der Glasfaserorientierung richtungsabhängig. Je nach Gestalt, Angusslage und Verarbeitungsbedingungen kann dies ein Verziehen der Formteile verursachen.

Das mineralverstärkte Ultraform® N2720 M63 zeichnet sich dagegen durch weitgehend richtungsunabhängige Schwindung aus. In Abb. 31 sind die Schwindungen parallel und senkrecht zur Fließrichtung bei freier Schwindung von unverstärktem sowie glasfaser- und mineralverstärktem Ultraform® dargestellt.

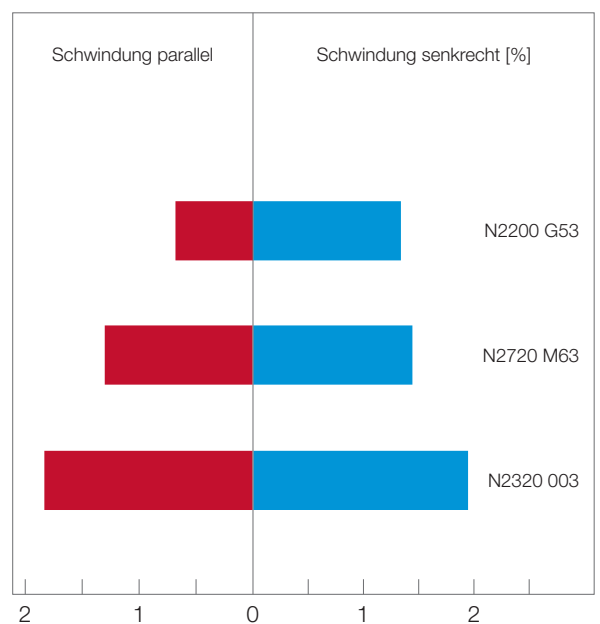


Abb. 31: Schwindungen von unverstärktem sowie glasfaser- und mineralverstärktem Ultraform® parallel und senkrecht zur Fließrichtung bei freier Schwindung, ermittelt an Platten 110·110·2 mm; Massetemperatur 200°C, Werkzeugoberflächentemperatur 80°C