

Konzepte für die Werkzeugtemperierung

Eine Übersicht mit Erfahrungen aus der Praxis

Martin Koch, Aachen

Welche Temperierkonzepte sind heute Standard und wie bewähren sich die verschiedenen Temperiersysteme in der Praxis? Der Autor hat einige Kunststoff verarbeitende Betriebe besucht und nachgefragt.

Das Spritzgießen thermoplastischer Materialien ist durch ein komplexes Zusammenwirken von Werkstoff, Anlagen- und Verfahrenstechnik gekennzeichnet. Die zu verarbeitende thermoplastische

Werkzeugwandtemperatur sinkt	
Zykluszeit	↓
Bauteilqualität	↓
Orientierungsgrad	↑
Eigenspannungen	↑
Nachschwindung	↑
Kristallinität	↓
Nachkristallisation	↑
Schwindung	↑
Abmaße, Toleranzen	↓

Bild 1. Einfluss der Werkzeugwandtemperatur auf die Bauteileigenschaften

Formmasse muss zunächst aufgeschmolzen werden, um dann mit hohem Druck in eine „kalte“ Form eingespritzt zu werden. Wegen der niedrigeren Werkzeugtemperatur kühlt das Spritzgussteil ab und kann nach dem Erstarren aus dem Werkzeug entformt werden. Die einzelnen Prozessschritte – Aufschmelzen, Einspritzen, Abkühlen – bestimmen die Qualität des späteren Formteils. Einen großen Anteil an der Qualität von Spritzgussteilen hat die Werkzeugtemperierung. Die Werkzeugtemperatur beeinflusst aber nicht nur die Bauteilqualität, sondern ebenso die Kühlzeit, deren Länge über eine wirtschaftliche und effiziente Fertigung entscheidet.

Unter wirtschaftlichen Aspekten ist daher das grundlegende Ziel eine möglichst kurze Kühlzeit bei der Herstellung. Dies geschieht in der Regel durch einen schnellen Wärmeentzug der Schmelze, bis die Entformungstempera-

tur erreicht ist. Jedoch lassen sich die Werkzeugtemperaturen nicht beliebig absenken, da die Bauteilqualität zunehmend beeinträchtigt wird. Die Werkzeugtemperatur ist stets ein Kompromiss zwischen Produktivität und Qualität des Formteils (Bild 1).

Inhomogene Temperaturen im Werkzeug gehen mit unterschiedlichen Abkühlbedingungen und lokalen Schwindungsunterschieden einher. Der Forderung, die Zykluszeit bei optimaler Bauteilqualität weiter zu reduzieren, muss der Anwender durch eine geeignete Werkzeugtemperierung Rechnung tragen. Aus diesem Grund wurden in der Vergangenheit die Temperierkonzepte stetig weiterverbessert und neu entwickelt. Für die Temperierung von Spritzgießwerkzeugen stehen dem Anwender heutzutage eine Vielzahl unterschiedlicher Temperierkonzepte zur Verfügung. Hierzu zählen Konzepte auf Seiten der Werkzeugtechnik ebenso wie Konzepte auf Seiten der Anlagen-

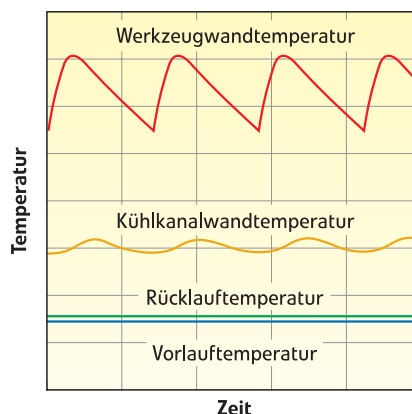


Bild 2. Zeitlicher Temperaturverlauf an verschiedenen Orten am Spritzgießwerkzeug

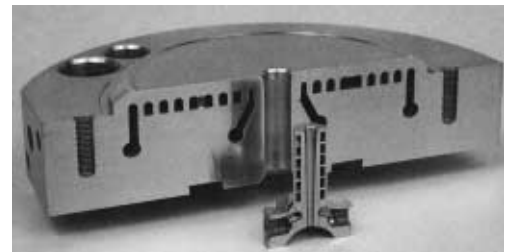


Bild 3. Matrize und Angussbuchse zur CD-Herstellung (Quelle: Bodycote)

und Prozesstechnik. Ziel dieses Beitrags soll es sein, einen Überblick über die derzeit auf dem Markt gängigen Verfahren und Temperierkonzepte zu geben und mit Erfahrungen aus der Praxis zu hinterlegen.

Konzepte auf Basis der Werkzeugtechnik

Dem Spritzgießwerkzeug kommt bei der Herstellung von Kunststoffbauteilen besondere Bedeutung zu. Die in der Regel mit einem Kühlmedium durchflossenen Kühlkanäle sorgen für den Temperaturausgleich zwischen der durch die Schmelze eingebrachten Wärmemenge und Wärmeverlusten durch Strahlung, Konvektion und Wärmeleitung. Dabei richtet sich die Werkzeugtemperatur nach dem Polymer (Tabelle 1).

Geradlinige Rohrkühlbohrung

Bei der geradlinigen Rohrkühlung werden die Kühlkanäle durch spanende Bearbeitungsverfahren (Bohrtechniken) in das Werkzeug eingebracht. Die geometrischen Freiheiten der Kühlkanalanordnung sind jedoch durch die Fertigungs-

Tabelle 1.
Empfohlene Werkzeugtemperaturen für verschiedene Werkstoffe (Quelle: BASF, Bayer, Ticona)

Thermoplast	Werkzeugtemperatur in °C	Schmelzetemperatur in °C
PP	20–80	180–240
PS	20–70	170–280
POM	80–120	170–210
TPU	20–50	190–245
PA 6	80–100	260–280
PA 6 GF	80–120	270–290
PC	80–100	280–320
ABS	60–80	220–260
PBT	80–100	250–270
PMMA	40–95	170–270
PEEK	160–200	360–400
PES	140–170	340–390
PPS	120–180	300–360
LCP	80–120	270–340

technik eingeschränkt. Dies führt dazu, dass die Kühlkanäle nicht optimal positioniert werden können und lokale Überhöhungen der Temperatur im Werkzeug entstehen. Die kurzzeitigen Temperaturschwankungen infolge des Einspritzens von Polymerschmelze bleiben aufgrund der Trägheit des Systems weitgehend unberücksichtigt und können von den angeschlossenen Temperiergeräten nur bedingt ausgeglichen werden (Bild 2).

Das Konzept der geradlinigen Rohrkühlung kann alleine verwendet oder mit Zusatzelementen versehen werden. Typische Zusatzelemente sind Spiralkerne, Umlenkstäbe, Finger- oder Wendeltemperierung, um die Kühlleistung infolge zunehmender Kontaktzeit mit der Werkzeugwand zu erhöhen (z.B. Hasco, EOC, Strack).

Konturangepasste Temperierkanäle

Um den Nachteilen verminderter Zugänglichkeit durch die Temperierkanäle zu entgehen, bietet sich eine konturangepasste Temperierkanalanordnung an. Dabei erfolgt die Anordnung der konturangepassten Temperierkanäle nach Mög-

lichkeit so, dass die Kühlkanäle der Kontur der Kavität folgen. So kann durch entsprechende Kühlkanalanordnung eine lokale Temperaturüberhöhung z.B. an Schmelzeanhäufungen vermieden werden, was in einer optimalen Kühlzeit resultiert (Bild 3). Auch wenn die konturangepasste Temperierung heutzutage in aller Munde ist, ist sie nicht neu. Während in der Vergangenheit versucht wurde, mit getrennten Werkzeugplatten zu arbeiten, um einen Konturverlauf zu realisieren, kommen heute verstärkt Fügetechniken wie Hochtemperatur- oder Hartlöten zum Einsatz.

Beim Hartlöten ist es wichtig, dass der Konstrukteur sowohl die kunststofftechnischen Randbedingungen als auch diejenigen für den Lötvorgang berücksichtigt. Hier bieten vereinzelt Werkzeugbauer ihr Know-how an. Zum Beispiel darf kein Lot in die Kühlkanäle eindringen und den Kanaldurchmesser verkleinern. Die Lötverbindung muss hinreichend dicht sein (Bild 4).

Ein unter dem Namen Contura (Anbieter: Innova) bekanntes Verfahren sieht die Bearbeitung von Werkzeugeinsätzen mit konturangepassten Kühlkanälen in

		ALUMOLD	DIN 1.2312	Amcoloy 83	Moldmax HH
Zugfestigkeit R_m	[MPa]	550 bis 610	1080	1310	1170 bis 1280
Brinellhärte	[HB]	155 bis 180	315	380	290
Dichte	[kg/dm ³]	2,8	7,8	8,26	8,35
Wärmeausdehnung	[$\mu\text{m/m K}$]	23,7	12,3	17,5	17
Wärmeleitfähigkeit bei 20°C	[W/mK]	153	36	106	105

Tabelle 2. Kenngrößen verschiedener Werkzeugmaterialien (Quelle: Almet amb, Eckart, Uddeholm)

Name	Adresse	Web-Adresse	Angebot/Produkt/System/Leistung
Werkzeugtechnik			
Hasco Normalien GmbH	Lüdenscheid	www.hasco.de	Werkzeugnormalien
EOC GmbH	Lüdenscheid	www.eoc.de	Werkzeugnormalien
Strack Norma GmbH	Lüdenscheid	www.strack.de	Werkzeugnormalien
Uddeholm	Düsseldorf	www.uddeholm.de	Werkzeugstähle, Moldmax
Eckart GmbH	Geretsried	www.ampcometal.net	Werkzeugstähle, Ampcoloy
ALMET amb GmbH	Waiblingen	www.almetamb.de	Aluminiumhalbzeuge, Alumold
Dr. Betz GmbH	Mühlheim a. d. Ruhr	www.mecobond.de	System Mecobond
Innova Engineering GmbH	Menden	www.innova.de	System Contura
Anlagentechnik			
Regloplas	St. Gallen, CH	www.regloplas.com	Temperiergeräte
Grossenbacher Apparatebau AG	St. Gallen, CH	www.hb-therm.ch	Temperiergeräte
Single	Wernau	www.single-temp.de	Temperiergeräte
Wittmann	Wien, A	www.wittmann-robot.at	Temperiergeräte, Quasi-kontinuierliche Temperierung
GWK	Kierspe	www.gwk-kierspe.de	Temperiergeräte, Quasi-kontinuierliche Temperierung
PSG	Mannheim	www.psg-online.de	Temperiergeräte, Quasi-kontinuierliche Temperierung
ONI	Lindlar	www.oni.de	Temperiergeräte, Quasi-kontinuierliche Temperierung
Wieder GmbH	Schweinfurt	www.wieder-international.de	Quasi-kontinuierliche Temperierung
CITO	Watertown, USA	www.pulsecooling.com	Quasi-kontinuierliche Temperierung
REPS	Bridgetown, UK	www.reps.co.uk	Quasi-kontinuierliche Temperierung
Linde Gas AG	Unterschleißheim	www.linde-gas.com	System Toolvac
Software			
Simcon kunststofftechnische Software GmbH	Herzogenrath	www.simcon-worldwide.com	Softwareprogramm Cadmould
Moldflow	Hürth-Efferen	www.moldflow.com	Softwareprogramm Moldflow
Sigma Engineering GmbH	Aachen	www.sigmasoft.de	Softwareprogramm Sigmasoft
Beratung			
GTT-Steinko GmbH	Nassau	www.gtt.de	Produkt Werkzeugauslegung, Beratung
ISK, Iserlohn Kunststoff-Technologie GmbH	Iserlohn	www.isk-iserlohn.de	Werkzeugauslegung, Beratung
KMI, Institut für Kunststoff-Maschinen GmbH	Lüdenscheid	www.kmi-web.de	Werkzeuganalyse, Beratung
IKV, Institut für Kunststoffverarbeitung	Aachen	www.ikv-aachen.de	Vergleich der Werkzeugkonzepte, Beratung

Tabelle 3. Übersicht der beteiligten Firmen

Kombination mit einer Teilbereichstemperierung durch mehrere Temperierkreisläufe vor. Dabei wird nach Aussagen der befragten Verarbeiter eine einheitliche Werkzeugwandtemperatur erreicht, so dass kürzere Zykluszeiten möglich sind. Allerdings ist der Kostenfaktor für dieses System nicht zu vernachlässigen, so dass es bislang vor allem bei Massenartikeln und Werkzeugen mit hohem Budget eingesetzt wird. Für kleine Werkzeugeinsätze ($100 \times 100 \times 140 \text{ mm}^3$) können generativ mit Werkzeugstahl arbeitende Verfahren wie das

Laser-Schmelzen (Fraunhofer ILT, Aachen) zum Einsatz kommen.

Das exakte Abmaß der Einsätze muss im Vorfeld feststehen. Da die eingebrachten Kühlkanäle mitunter sehr dicht unter der Oberfläche verlaufen, ist eine Nachbearbeitung der Einsätze oft nur bedingt möglich. Weiterhin bedingt die konturangepasste Kanalführung, die in der Regel einen geringen Durchmesser hat, eine Verlängerung der Kühlkanallänge und einen Anstieg der Druckverluste im Werkzeug. Dabei muss sichergestellt bleiben, dass ein genügender Temperier-

mittelstrom („turbulente Strömung“) realisiert wird und die Temperierleistung effektiv bleibt.

Materialien unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit

Ein drittes Konzept der Werkzeugtechnik sieht den Einsatz alternativer Materialien vor. Hierzu zählen Werkstoffe oder Werkstoffverbunde mit hoher Wärmeleitfähigkeit, um die Wärme möglichst schnell von der Oberfläche der Kavität abzuführen. Das Konzept bietet sich an

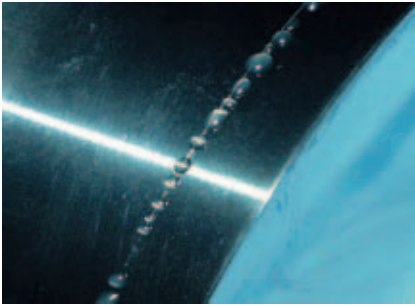


Bild 4. Dichtigkeitsprobleme bei hartgelötetem Werkzeugeinsatz (Quelle: IKV)

für Teilbereiche, aus denen eine hohe Wärmemenge abgeführt werden muss, oder für unzugängliche Bereiche. Wichtig ist, dass der Werkstoff mechanische Eigenschaften wie Härte und Festigkeit aufweist, die den Prozessbedingungen genügen. Der optimale Werkzeugwerkstoff weist eine hohe Härte und eine hohe Wärmeleitfähigkeit auf, was jedoch nur

Moldmax (Hersteller: Uddeholm), Ampcoloy (Eckart) oder Aluminiumlegierungen, z.B. Alumold (Almet amb, Tabelle 2).

Alternativ können Kupferkerne eingesetzt werden. Diese werden entweder in Hohlräume des Werkzeugs platziert oder man setzt einen stoffschlüssigen Werkstoffverbund ein (Mecobond, Dr. Betz). Dieser kann z.B. mit einer harten Stahlhaut und einem weichen Kupferkern hoch-

Weitaus häufiger wird jedoch der Weg gewählt, dass das Werkzeugkonzept auf die vorhandene Anlagentechnik zugeschnitten wird.

Konzepte auf Basis der Anlagen- und Prozesstechnik

Derzeit gibt es auf dem deutschen Markt über 30 Temperiergerätehersteller, die vor allem die kontinuierliche Temperie-

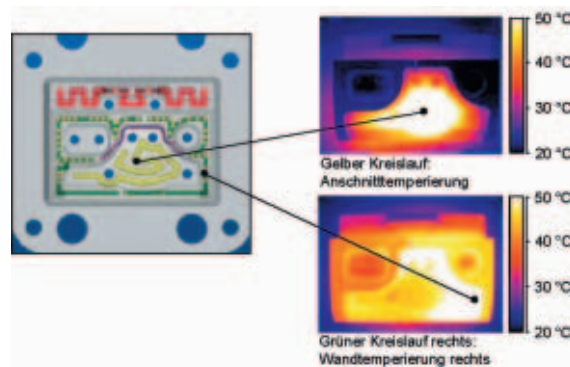


Bild 6. Beeinflussung der lokalen Werkzeugtemperatur mit einer Mehrkreistemperierung (Quelle: Innova)

her Wärmeleitfähigkeit versehen sein. Ebenso werden vereinzelt Wärmeleitrohre oder Temperierstifte für einen beschleunigten Wärmetransport aus schwer zugänglichen Bereichen eingesetzt, wobei Untersuchungen gezeigt haben, dass eine direkte Wassertemperierung nach wie vor die größte Wärmeabfuhr ermöglicht [1].

Die Konzepte der Werkzeugtechnik müssen mit denen der Anlagentechnik abgestimmt werden. Welche Anlagentechnik zu welchem Werkzeugkonzept passt, muss individuell geklärt werden.

rung anbieten (Tabelle 3, z.B. Regloplas, Grossenbacher, Wittmann, GWK, Single, PSG, u.v.a.). Auf Anfrage berichten die Gerätehersteller von einem Trend, dem zufolge die Anlagen kleiner, robuster und zunehmend bedienerfreundlicher gestaltet werden. Sonderwünsche wie zentrale Ansteuerung, Bussysteme, Durchflussmessungen oder Leckstopp werden gerne angeboten.

Grundsätzlich geht der Trend, nicht zuletzt aufgrund des zehnmal höheren Wärmeübergangskoeffizienten gegenüber Öl, eindeutig in Richtung Wasserge-

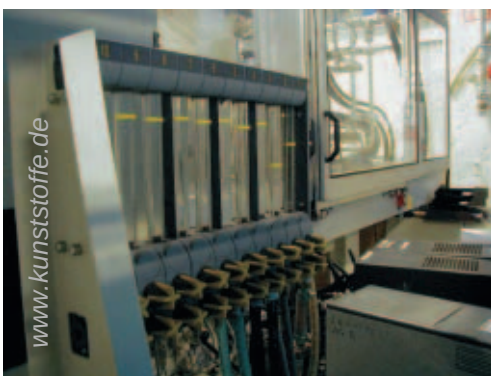


Bild 5. Ungeregelte Durchflusstemperierung

schwer gelingt. Einen Kompromiss bilden hochfeste Kupferlegierungen wie



Bild 7. Spritzgießmaschine bei Emould zur Herstellung optischer Datenträger (Quelle: Emould)

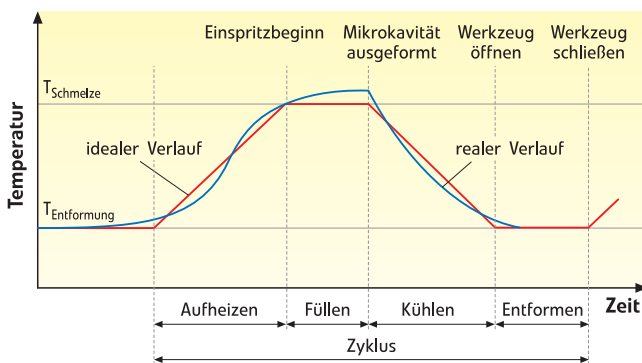


Bild 8. Prinzip der Variothermtemperierung (Quelle: IKV)

räte. Wassergeäte werden mittlerweile im Hochdruckbereich bis Temperaturen oberhalb von 200°C angeboten und decken den gesamten Bereich der Thermoplastverarbeitung ab. Am häufigsten werden einfache Anlagen mit einer Wassertemperatur im Niederdruckbereich verkauft. Wichtig ist, dass eine hinreichende Durchflussmenge vorhanden ist, wobei die Differenz zwischen Eintritts- und Austrittstemperatur im Werkzeug kleiner als 4°C sei sollte.

Der grundsätzliche Schritt, die Werkzeugtemperierung als umfassende Einheit im Spritzgießbetrieb anzusehen, nimmt mehr und mehr Form an. So ist nicht nur der direkte Wasserkreislauf an der Spritzgießmaschine, sondern der Spritzgießbetrieb als Ganzes in ein System einzufügen. Viele der Temperiergerätehersteller sind auch Systemlieferanten, die angefangen mit dem Hausnetz über die Wasseraufbereitung bis zur Werkzeugtemperierung eine Komplettlösung anbieten können (z.B. ONI, GWK).

Kontinuierliche Temperierung

Auf der Anlagenseite gibt es ebenfalls verschiedene Konzepte. Die kontinuierliche Werkzeugtemperierung strebt eine einheitliche mittlere Werkzeugtempera-

tur z.B. durch den Einsatz eines Temperiergeräts an. Dieses regelt über die Vor- oder Rücklauftemperatur des Temperiermediums oder durch externe Temperaturfühler die Temperatur im Werkzeug. Kurzzeitige Temperaturspitzen im Werkzeug, z.B. während der Einspritzphase, bleiben aufgrund der Trägheit des Systems nahezu unberücksichtigt.

Die Geräte werden nach direkter und indirekter Kühlung unterschieden. Während bei der häufig eingesetzten indirekten Kühlung ein separater Kreislauf zwischen Aggregat und Werkzeug und dem Netzwasser vorhanden ist, wird bei der direkten Kühlung das Wasser des Hausnetzes direkt in das Werkzeug überführt. Somit entspricht die Vorlauftemperatur der Netzwassertemperatur. Eine nach wie vor sehr verbreitete Art der Temperierung ist die reine unregelmäßige Durchflusstemperierung (Bild 5), bei der sich nach längerer Anfahrzeit eine annähernd stabile Werkzeugtemperatur einstellt. Der Notwendigkeit, Bereiche des Werkzeugs kälter zu temperieren als das Netzwasser es zulässt, entsprechen die Temperiergerätehersteller mit Kaltwasser-temperiergeräten.

Ein eindeutiger Trend geht in Richtung der Mehrkreistemperierung zur gezielten Beeinflussung der Formteileigenschaften und Optimierung der Zyklus-

zeit. Bild 6 zeigt die Möglichkeiten der Teilbereichstemperierung durch den Einsatz verschiedener konturangepasster Temperierkreisläufe an einem Demonstrationsbauteil. Diese ermöglicht zwar eine genauere Temperierung von Teilbereichen des Werkzeugs, jedoch ist dies mit einem höheren Prozess- und Anlagenaufwand verbunden.

Häufig werden Kühlkreisläufe mit unregelmäßiger Durchflusstemperierung und Temperieraggregate parallel eingesetzt. Die Singulus Emould GmbH, Aachen, die sich auf die Herstellung von Systemen zur Fertigung optischer Datenträger spezialisiert hat, rüstet die Spritzgießmaschinen mit Werkzeugen z.B. für die DVD-R Herstellung mit sechs Kreisläufen aus. Zwei davon sind mit einer unregelmäßigen Kaltwasser-Durchflusstemperierung ausgestattet (Bild 7). Bei Zykluszeiten unterhalb von 6 s kommt der Werkzeugtemperierung besondere Bedeutung zu. Gefordert werden hier Temperaturunterschiede zwischen Düsen- und Auswerferseite im Genauigkeitsbereich von unter 0,5°C, was nur durch ein genaues Zusammenspiel von Anlagen- und Werkzeugtechnik zu erreichen ist.

Quasi-kontinuierliche Temperierung

Kaum ein Thema wird derzeit so kontrovers diskutiert wie die quasi-kontinuierliche Temperierung. Diese Art der getakteten, dynamischen Temperierung gibt es bereits seit mehr als 15 Jahren. Nicht nur in Deutschland, auch in Europa und in den USA drängt diese Form der Temperierung verstärkt auf den Markt und verbirgt sich hinter Namen wie Impulskühlung, direkte Werkzeug-Temperierung oder zyklische Direkttemperierung (z.B. Wieder bzw. CITO, PSG, ONI, Wittmann, GWK, REPS). So musste die anfängliche Euphorie einiger Vertreter der quasi-kontinuierlichen Temperierung, die sich eine Reduktion der Zykluszeit für alle Bauteile bei verbesserter Qualität und geringeren Kosten versprochen, relativiert werden.

Tatsache ist, dass die quasi-kontinuierliche Temperierung ein hochsensibles System ist, bei dem eine Temperierung des Werkzeugs einzig mit kontrollierten Kaltwasserimpulsen durch die Kühlkanäle vorgesehen ist. Dabei wird vorzugsweise pro Kreislauf ein separater Temperaturfühler im Werkzeug oder im Tempe-

Bild 9. Abformgenauigkeiten von Mikrostrukturen durch unterschiedliche Temperierung (Quelle: IKV)

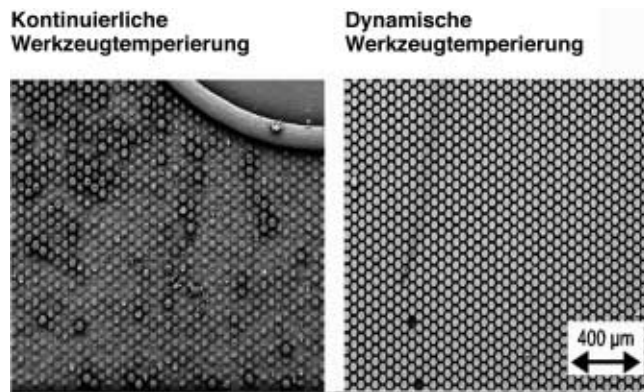


Bild 10. Teilbereichs-temperierung mit CO₂ (Quelle: ISK)



riermittelrücklauf eingepasst. Da allein die Wärmeenergie aus der Kunststoffschmelze die Temperatur der Werkzeugoberfläche bestimmt, muss beim ersten Anfahren das Werkzeug zunächst „warmgeschossen“ werden. Es liegt auf der Hand, dass nicht alle Werkzeuge z. B. mit Schieberelementen und Bauteile mit kleinen Schussgewichten mit dieser Technik temperiert werden können.

Optional kann die Impulskühlung mit einer Vorwärmeinheit gekoppelt werden, um das „Warm-schießen“ des Werkzeugs

zu vermeiden. In der Regel werden Impulskühleinheiten für 8, 16 oder mehr Werkzeugzonen oder sogar inklusive der Regelung der Heißkanäle (Wieder) angeboten. Auch gibt es Systeme, die nicht nur zyklisch kühlen, sondern auch heizen (REPS, UK).

So setzt der Automobilzulieferer Hella KG Hueck & Co., Lippstadt, als europäischer Marktführer für Kfz-Beleuchtung die Impulskühlung bei der Fertigung von Kunststoffteilen für Scheinwerfer und Leuchten erfolgreich ein. Hat man einen

hausinternen Kaltwasserkreislauf, ergibt nach Erfahrungen von Hella Impulskühlung durchaus einen Sinn. Das „Warm-schießen“ kann in wenigen Zyklen realisiert werden. So wurde bei Hella sogar eine Zykluszeitverkürzung erreicht: Grund genug für das Unternehmen, dieses Verfahren verstärkt einzusetzen.

Berücksichtigt werden sollte bei diesem Vergleich jedoch, dass durch den Einsatz der Impulskühlung wesentlich mehr Messsensorik in Form von Thermofühlern in jeden Temperierkreislauf eingebaut wurde. Dies ermöglicht eine genaue Kenntnis des thermischen Haushalts und eine genauere Temperierung. Offen bleibt hier, ob dieses Detailwissen zu einer Zykluszeitverkürzung führte.

Heute gibt es eine rege Nachfrage nach dem System, so dass eine Vielzahl wissenschaftlicher Untersuchungen [2-4] durchgeführt wurde, um der Impulskühlung auf den Grund zu gehen. Allerdings wurden dabei nicht immer Anlagen oder Werkzeugsensorik gleicher Qualität eingesetzt. Daher kann bis heute keine eindeutige Aussage über eine eventuelle Zykluszeitverkürzung durch Impulskühlung oder die Vorteile gegenüber leistungsfähigen kontinuierlich oder dynamisch arbeitenden Anlagen getroffen werden.

I Dynamische Temperierung

Die eigentliche dynamische Temperierung sieht ein zyklisches Aufheizen und Abkühlen der Kavität vor. Zu Beginn der Einspritzphase hat die Kavität eine maxi-

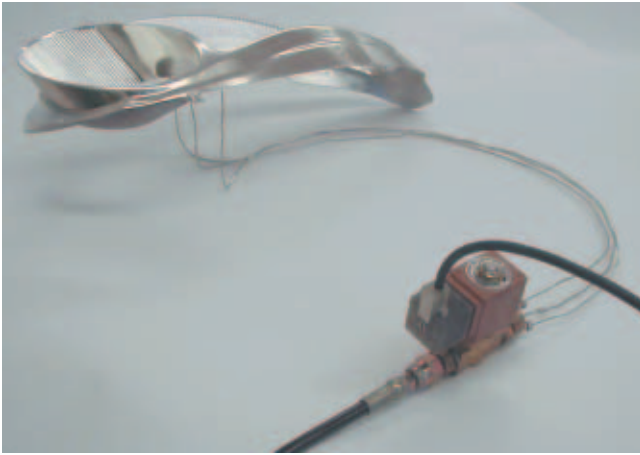


Bild 11. Notwendige Peripherie für eine CO₂-Direktkühlung (Quelle: ISK)

male Temperatur, die anschließend durch geeignete Kühlmittel schnell abgesenkt wird (Bild 8). Dadurch wird eine hohe Abformgenauigkeit der Kavitätsoberfläche und ein hohes realisierbares Fließweg/Wanddickenverhältnis erreicht.

Bei diesen Temperaturwechselsystemen können Temperieraggregate mit zwei Kreisläufen (z.B. Wittmann, Single) eingesetzt werden, in denen die gewünschten Mediumtemperaturen vorgehalten werden. Eine Alternative bietet die dynamische Werkzeugtemperierung mit Zusatzheizungen (Halogenstrahler, Induktionsheizung), die einzig die Kavitätsoberfläche aufheizen. Die auch unter dem Namen Variothermtemperierung eingesetzte Technik findet vor allem in Bereichen mit hohen Anforderungen an die Abformgenauigkeit z.B. der Mikrotechnik (Bild 9) und bei der Herstellung optischer Kunststoffbauteile Verwendung.

Sonderverfahren

Zu den Sonderverfahren zählt z.B. die Kühlung von Werkzeugbereichen durch die Expansion von flüssigem Kohlendioxid. Hierzu gehört die CO₂-Direktkühlung sowie die unter dem Namen Toolvac (Anbieter: Linde Gas) bekannte Technologie. Die CO₂-Kühlung kann ergänzend zur Wassertemperierung dort eingesetzt werden, wo viel Wärme aus dickwandigen oder schwer zugänglichen Bereichen (Bild 10) abgeführt werden muss. Bild 11 zeigt die Peripherie, die für eine CO₂-Direktkühlung notwendig ist. Diese Verfahren finden bislang nur vereinzelt Verwendung.

Auswahl des richtigen Konzeptes

Alle Temperierkonzepte der Anlagentechnik lassen sich beliebig untereinander

und mit denen der Werkzeugtechnik paaren (Bild 12), wobei die in der Praxis häufig angewandte Paarung die geradlinige Rohrkühlung mit der kontinuierlichen Temperierung ist. Wie kann der Anwender nun das richtige Temperierkonzept für eine optimale Bauteilqualität auswählen? Grundsätzliches Ziel sollte es sein, eine einheitliche Werkzeugwandtemperatur anzustreben.

Die Recherche hat gezeigt, dass der Konstrukteur die Werkzeugkonstruktion meist auf der Grundlage eigener Erfahrung durchführt. So werden die Kühlkanäle intuitiv dort platziert, wo Wärme ab bzw. zugeführt werden muss. Dabei ist nicht immer klar, ob optimale thermische Verhältnisse vorliegen. Anhand von Formeln und Berechnungssoftware kann der Konstrukteur die thermischen Verhältnisse überprüfen. Einfache Hilfe bietet das Bilanzraumverfahren für einfache Geometrien, das eine schnelle Abschätzung der Temperaturverhältnisse ermöglicht. Die Software „S-Therm“ (GWK) gibt in einer segmentweisen Betrachtung Aufschluss darüber, wo die Kühlkanäle zweckmäßig anzuordnen sind.

Werden Bauteile komplexer oder sind komplexere Werkzeuge thermisch auszulegen, müssen weitaus umfangreichere Programme zur thermischen Analyse herangezogen werden. Mehr Möglichkeiten bieten Softwareprogramme wie Cad-mould (Anbieter: Simcon), Moldflow

(Moldflow) oder Sigmasoft (Sigma). Ausgehend von der Konstruktion in 3D bieten letztere die Möglichkeit, den thermischen Haushalt des Werkzeugs nachzustellen und zu optimieren. So bietet Moldflow die Möglichkeit an, Empfehlungen für die Lage der Temperierkanäle auszugeben. Dabei muss der Anwender berücksichtigen, ob nicht Werkzeugelemente wie Schieber die Kanäle kreuzen.

Ein Beispielbauteil, ein so genannter Belt-Clip, mit dem ein Mobilfunkgerät an einem Gürtel befestigt wird, soll die Hilfestellung einer Simulation für den Konstrukteur veranschaulichen. Durch eine bewusst unterschiedliche Temperierung der Werkzeugbereiche wurde die Schwindung des Bauteils beeinflusst (Bild 13), so dass sich ein funktionell orientierter Verzug am Bauteil einstellt. Dieses resultiert in einer Vorspannung des Clips. Die Simulationsergebnisse können als Hilfestellung für den Werkzeugbau dienen, um schließlich Bauteile mit der gewünschten Vorspannung herstellen zu können. Bild 14 zeigt einen Vergleich zwischen Konstruktionsgeometrie und spritzgegossenem Bauteil.

Mit den leistungsfähigen Programmen kann der Konstrukteur frühzeitig durch Iterationen die optimale Kühlanordnung erarbeiten. Dass dies in der Praxis meist anders aussieht, veranschaulicht Dr. Gorzeltz, Geschäftsführer der Firma M-Tec, Herzogenrath, die sich mit 23 Mitarbeitern auf die Produktentwicklung kunststofftechnischer Bauteilsysteme spezialisiert hat. Gerade in der Automobilindustrie, in der permanenter Zeitdruck herrscht, wird eine thermische Auslegung in der Regel aus Kosten- und Zeitgründen nur bei großen Werkzeugen wie I-Tafelträgern, Luftkanälen und Stoßfängern durchgeführt. Zudem bedarf es beim Einsatz im eigenen Haus geschulten Personals.

„Lieber ein Kühlkreislauf mehr“

Häufig denkt der Kunde erst über thermische Simulation nach, wenn bereits

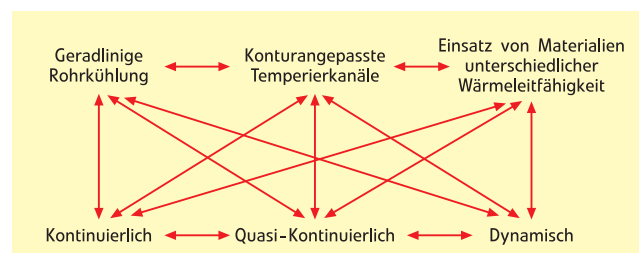


Bild 12. Kombinationsmöglichkeiten unterschiedlicher Temperierkonzepte

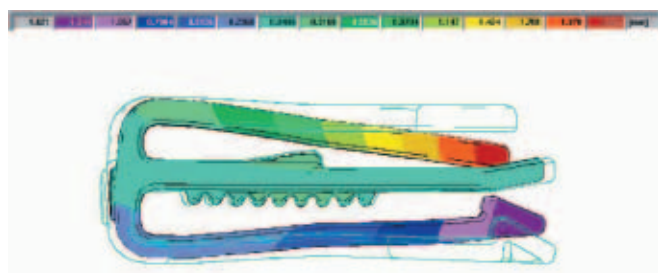


Bild 13. Möglichkeiten der Simulation zur Schwindungsberechnung mit Cadmould 6 (Quelle: M-Tec)



Bild 14. Vergleich der Bauteilkonstruktion mit dem spritzgegossenen Bauteil (Quelle: M-Tec)

ein Schadensfall wie z.B. starker Formteilverzug eingetreten ist oder der Werkzeugbauer eine minimale Zykluszeit garantieren muss. „In der Regel wird die Simulation der Füll- und Nachdruckphase durchgeführt, bei der von einer isothermen Werkzeugwandtemperatur ausgegangen wird. Die Überprüfung, ob diese Annahme grundsätzlich im Werkzeug-

bau realisierbar ist, wird anhand einer thermischen Simulation unter Berücksichtigung der gewählten Kühlkanäle nur allzu selten durchgeführt“, so Dr. Gorzelitz. So wird in der Praxis lieber ein Kühlkreislauf mehr vorgesehen in der Hoffnung, dass eine ausreichende Optimierung im laufenden Prozess zu erreichen ist.

Für eine Optimierung von Werkzeugkonstruktionen oder bestehenden Werkzeugen gibt es mittlerweile eine Vielzahl unabhängiger Organisationen (GTT-Steinko, ISK oder KMI), die den thermischen Haushalt des Werkzeugs untersuchen und eine Optimierung der Werkzeugtemperierung vornehmen. Auch das IKV, Aachen, hat sich des Themas angenommen und arbeitet zusammen mit der Industrie an einer unabhängigen Bewertung der Temperierkonzepte hinsichtlich Zykluszeit, Bauteilqualität und Wirtschaftlichkeit. Bei der thermischen Analyse des Werkzeugs findet vermehrt die Infrarot (IR)-Technik Einsatz, mit der es möglich ist, ein thermisches Abbild zu erstellen und Fehler frühzeitig zu erkennen (Bild 15).

Thermische Analyse des Werkzeugs

Probleme, die schon bei der Werkzeugkonstruktion auftreten, sind mitunter einfacher Natur. So wird in der Konstruktionsphase entweder die Wanddicke des Formteils bei der Verlegung der Tempe-

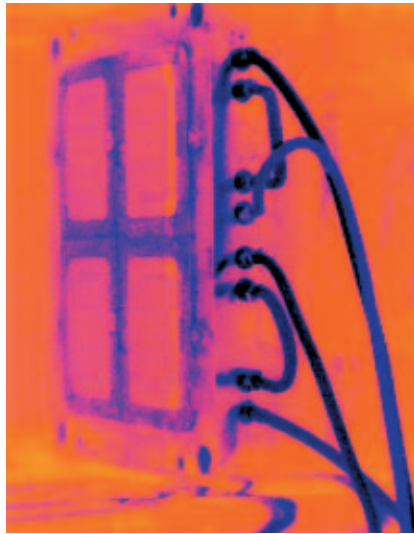
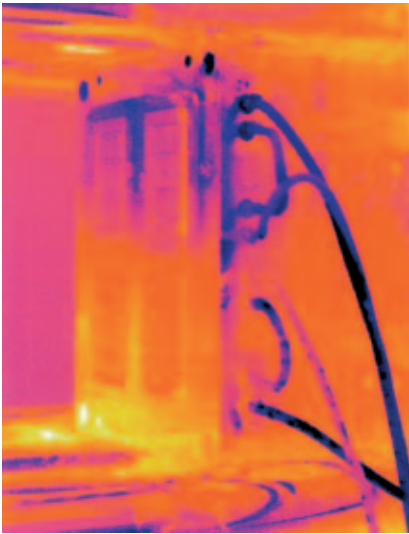


Bild 15. Infrarot-Aufnahme eines Werkzeugs vor und nach der Problembeseitigung
(Quelle: GTT, GWK)

rierkanäle nicht hinreichend berücksichtigt oder die Heißkanalisolation ist unzureichend. In der Produktion sieht das ähnlich aus. Hier treten häufig Probleme wie falsch angeschlossene Kühlkreisläufe oder zugesetzte Temperierkanäle auf. Ebenso wird die Qualität des Kühlwassers meist außer Acht gelassen. „Dinge, die selbstverständlich sein sollten, werden nicht berücksichtigt“, so Willi Steinko (GTT).

Eine langfristige Abhilfe kann nur geschaffen werden, wenn das beteiligte Personal für die richtige Temperierung sensibilisiert wird. Oftmals hilft es schon, Temperaturmessgeräte oder Schnelkupplungssysteme (Bild 16) einzusetzen, um Fehlern beim Werkzeugwechsel vorzubeugen. Ebenso sind Präventivmaßnahmen bei regelmäßiger Werkzeugwartung einzusetzen, die einen Produktionsstillstand verhindern können.

Die Recherche hat gezeigt, dass Betriebe, die die Durchgängigkeit von der Artikelkonstruktion über den Werkzeugbau bis hin zur Fertigung im eigenen Betrieb leisten, der Werkzeugtemperierung die größte Aufmerksamkeit schenken.

Fazit

Thermisch gut durchdachte Spritzgießwerkzeuge helfen, die Produktion preiswerter und sicherer zu machen. Dem Konstrukteur steht heute eine Vielzahl von Hilfsmitteln zur Verfügung, mit denen er ein Werkzeug thermisch auslegen kann. Die unterschiedlichen Konzepte unterscheiden sich sowohl in der benö-

tigten Werkzeugtechnik als auch in der Anlagentechnik voneinander. Dabei richtet sich die Entscheidung für ein mehr oder weniger aufwändiges Temperierkonzept nach den Stückzahlen und der geforderten Qualität des Artikels.

Die thermische Werkzeugauslegung sollte dort vorgenommen werden, wo die größten Fehler gemacht bzw. vermieden werden können. Hier spielt die Konstruktionsphase eine wesentliche Rolle, in der die Werkzeugbauer miteinbezogen werden sollten. Zur Werkzeugtemperierung gehört ebenso die gesamte Peripherie: Das bedeutet, dass Wasserqualität, Wasserkonditionierung und die periodische Wartung der Werkzeuge beachtet werden müssen, um eine maximale Produktivität

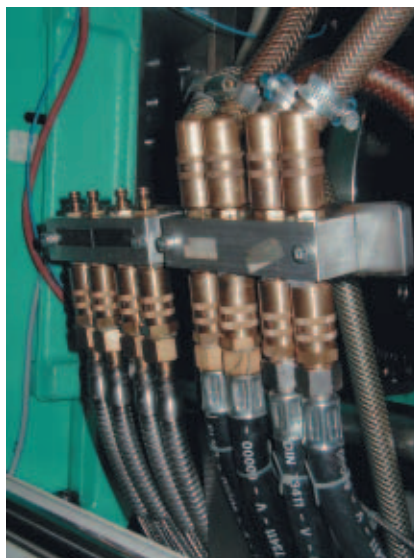


Bild 16. Temperierung in der Praxis: Schnelkupplungen

zu erzielen. Nur durch ein Zusammenspiel aller beteiligten Parteien kann ein optimales Konzept für eine wirtschaftliche Fertigung erarbeitet werden.

Dank

Der Autor bedankt sich bei

- Emould GmbH, Aachen;
- Hella KG, Lippstadt;
- M-Tec, Herzogenrath;
- GTT-Steinko, Nassau;
- Vygon, Aachen;
- ISK, Iserlohn

sowie vielen weiteren Gesprächspartnern für ihre Auskunft- und Gesprächsbereitschaft.

Literatur

- 1 Schmitt, B.; Poschet, G.; Schink, K.: Qualität und Wirtschaftlichkeit durch Kleinsttemperierung im Spritzgießwerkzeug, Abschlussbericht des AiF-Forschungsvorhabens Nr. 11706 N, SKZ, Würzburg, 2001
- 2 Allan, P. S.; Mc Calla, B. A.; Mubarak, Y.; Mulligan, D.: An evaluation of heat management in injection mould tools, SPE, Antec, technical papers, 2002
- 3 Kelly, A. L.; Woodhead, M.; Coates, P. D.; Allan, P.; Evans, R.: Effect of pulsed cooling on the injection moulding process, SPE, Antec, technical papers, 2002
- 4 Carl, T. R.; Burrows, J. L.: Comparison of energy consumption with two methods of injection mold cooling, SPE, Antec, technical papers, 2002

Der Autor dieses Beitrags

Dipl.-Ing. Martin Koch, Aachen
Kontakt: koch@ikv.rwth-aachen.de