



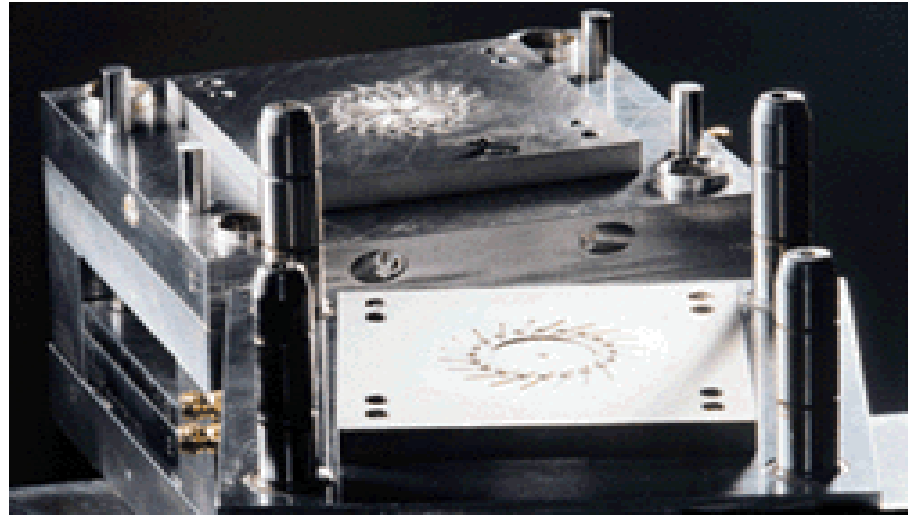
# Temperierbohrungen von Druckgußwerkzeugen

**Thomas Tometzki**

# Gliederung

- 1. Einleitung
- 2. Problemdarstellung
  - Relevante Begriffe beim Spritzgießen
  - Temperierung von Spritzgießwerkzeugen
- 3. Existierende Lösungsansätze für das optimale Auslegen von Temperierbohrungen
  - Das Optimierungsproblem
  - Konturangeplichene Kühlkanäle
  - Evolutionäres Optimierungsverfahren

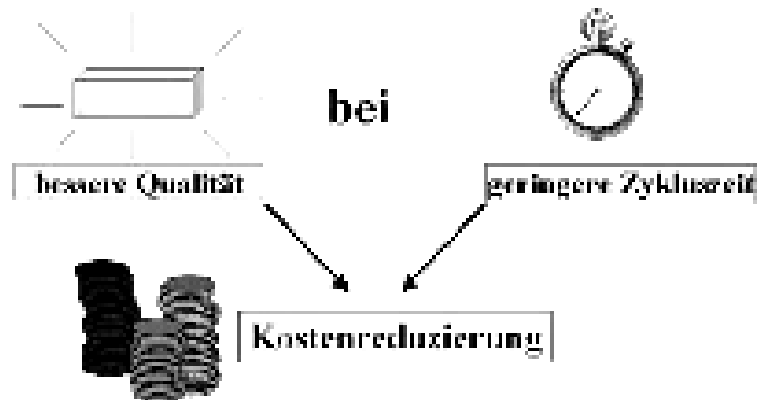
# 1. Einleitung



- „Temperierbohrungen von Druckgußwerkzeugen“ ist ein Beispiel aus der industriellen Praxis für die Anwendung von heuristischen Optimierungsverfahren
- Beim Druckgießen müssen mittels eines Bohrungsnetzes große Energiemengen abgeführt werden
- Das Bohrungsnetz muss technischen Anforderungen genügen
- Optimale Positionierung der Bohrungen ist ein komplexes Problem und kann mit Hilfe heuristischer Verfahren gelöst werden

## 2. Problemdarstellung

- Oberstes Ziel: Kostenreduzierung und Erhöhung der Produktivität bei Herstellung von Werkstücken
- Kann durch geringere Zykluszeit erreicht werden
- Weitere Ziele sind
  - Steigerung der Teilequalität
  - Maßgenaue Teile
  - Gute Oberflächenqualität
  - Gute mechanische Kennwerte
  - Geringer Verzug



## 2.1.1. Begriffe: Kühlzeit und Zykluszeit

- Die Kühlzeit ist bei den meisten Spritzgießprozessen für die Zykluszeit am stärksten bestimmende Größe
- Lässt sich entweder rechnerisch oder durch Versuche bestimmen
- Es ist die Zeit, in der ein stabiles Teil entformt wird, bei dem keine Verzugerscheinungen mehr auftreten
- Bei der Kühlzeit ist die Wirtschaftlichkeit ein entscheidender Aspekt, hat aber auch einen starken Einfluss auf die Qualität der Formteile

## 2.1.2. Begriffe: Fließverhalten und Werkzeugkühlung

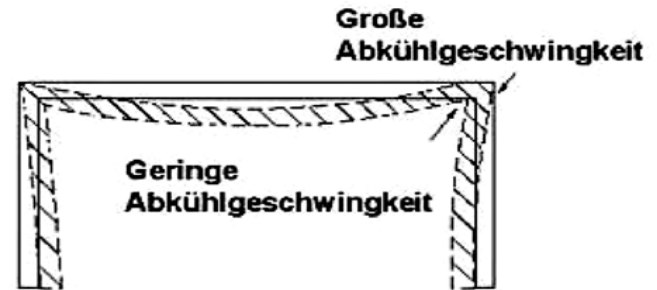
- Fließverhalten von Schmelzen wird durch entsprechende Temperaturführung im Spritzgießwerkzeug beeinflusst
- Höhere Temperaturen erhöhen in der Regel die Fließfähigkeit
- Mindesttemperatur notwendig um eine vollkommene Füllung der Kavität zu gewährleisten
- Unwirtschaftliche Abkühlzeit begrenzt die Höhe der Temperatur

## 2.1.3. Begriffe: Abkühlzeit und Werkzeugtemperierung

- Intensive Werkzeugkühlung setzt die Abkühlzeit herab
- Bei Formteilen mit unterschiedlichen und insbesondere großen Wandstärken besteht bei hohen Abkühlgeschwindigkeiten die Gefahr, dass äußere Schichten schon erstarrt sind, während innere noch plastisch sind, und es somit zu einer Verformung kommt
- Dieses Problem setzt die mögliche Abkühlgeschwindigkeit des Systems herab

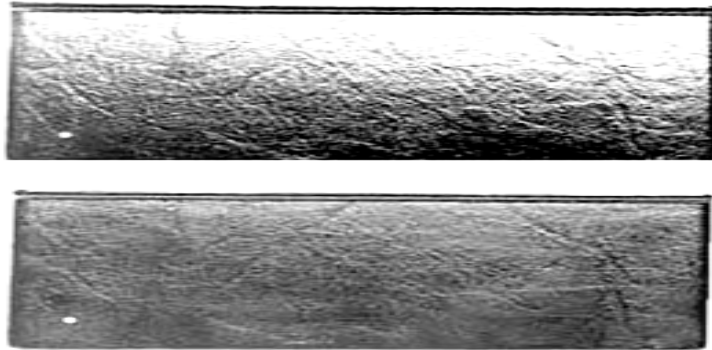
## 2.1.4. Begriffe: Werkzeugtemperierung und Verzug

- Schwindung von Formmassen ist eine Erscheinung, die von der Werkzeugtemperaturführung beeinflusst wird
- Niedrige Temperaturen lassen die gespritzten Formteile weniger schwinden als höhere
- Bei Formteilen mit amorpher Struktur passiert das Gegenteil
- Niedrige Temperaturabführung führt zu Schwindungserscheinungen während des Abkühlprozesses, unter der Gefahr von Rissbildung
- Ein ungleichmäßiges Temperaturgefälle zwischen Formteil und Werkzeug führt oft zu einem Verziehen nach dem Entformen
- Meist zeigt sich ein Verziehen an Formteilen mit unterschiedlichen Querschnitten → Anordnung und Querschnitte der Temperierkanäle





- Höhere Temperaturen verbessern die Oberflächenqualität
- Voraussetzung für hohe Oberflächenqualität sind,
  - eine verfahrensgerechte Gestaltung der Angusswege zu den Formnestern,
  - Ausnutzung des Nachdruckpotentials der Spritzeinheit,
  - sowie ein gleichmäßiges Temperaturniveau innerhalb des Werkzeug



## 2.2. Temperierung von Spritzgießwerkzeugen

- Ein Temperiersystem muss zwei Aufgaben erfüllen:
  - Eine möglichst gleichmäßige Temperaturverteilung im Werkzeug
  - Abführung der Wärme aus der mit Formmasse gefüllten Kavität
- In der Regel kann in der Praxis nur ein Kompromiss zwischen
  - technischer Qualität als Funktion der Gleichmäßigkeit der Temperaturverteilung und der Höhe der Werkzeugtemperaturund
  - wirtschaftlicher Zykluszeiten durch schnelle Wärmeabfuhr aus der mit Formmasse gefüllten Kavitätverlangt werden

## 2.2.1. Thermodynamisches System eines eingebauten Werkzeuges

- Thermodynamische Vorgänge in einem Werkzeug sind:
  - Wärmeleitung
  - Konvektion
  - Strahlung
- Die gesamte abzuführende Wärmemenge aus einem Spritzgussteil ist:

$$Q_{ab} = G_S (i_E - i_{mA}) \quad [kJ]$$

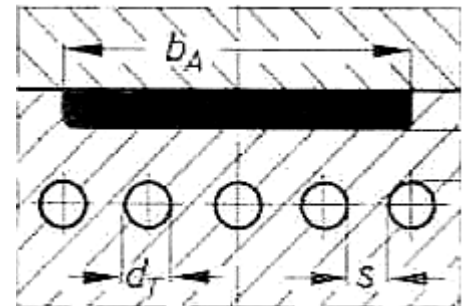
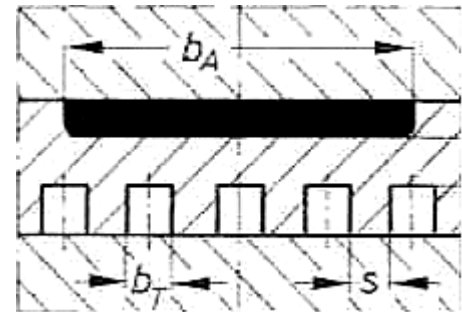
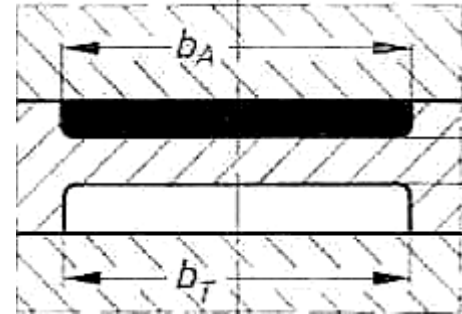
$G_S$	Gewicht des Spritzlings
$i_E$	Enthalpie bei Eintritt in das Werkzeug
$i_{mA}$	Enthalpie bei mittlerer Entformungstemperatur

## 2.2.2. Anlage von Temperiersystemen in Werkzeugen

- In der Praxis werden die Temperierkanäle oft als letzte Arbeit bei der Konstruktion von Werkzeugen geplant, mit dem Ergebnis, dass Temperierkanäle dort vorgesehen werden, wo gerade noch Platz ist
- Bei der Herstellung von Präzisionsteilen würde solch ein Vorgehen zu Schwierigkeiten führen, daher muss die Temperierung bereits im Rahmen der Grundkonzeption mit einbezogen werden

## 2.2.3. Temperierung flächenförmiger Teile

- Physikalisch ideal ist ein Temperierkanal in der Breite der zu kühlenden Fläche (Bild oben)  
Nachteil: Die Kavität würde ihre Form ändern
- Technisch optimal ist eine Unterbrechung der physikalisch idealen Kavität durch Stege, um Steifigkeit zu erreichen (Bild mitte)  
Nachteil: Aufwendig und Dichtungsprobleme
- Technisch leicht realisierbar und häufig angewandt werden Temperierkanäle mit runden Querschnitt (Bild unten)  
Nachteil: Geringere Temperierwirksamkeit als oben

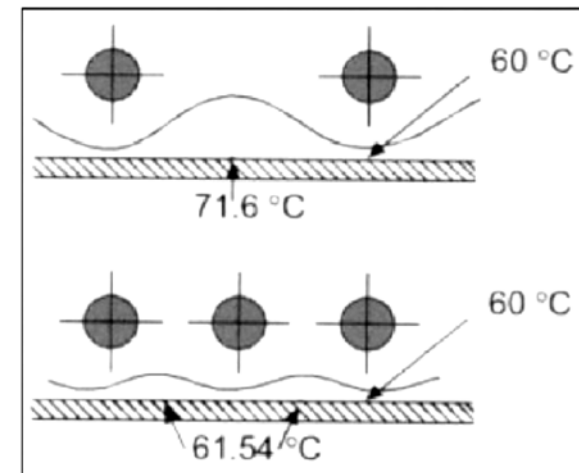


## 2.2.4. Abstand Temperierkanal-Werkzeugkavität

- Je größer der Abstand gewählt wird, um so gleichmäßiger ist die Temperatur in der Werkzeugkavität und um so höher der Temperaturanstieg an der Oberfläche der Kavität
- Positive Wirkung auf den Verzug, die mechanischen Eigenschaften und die Werkzeugfüllung
- Je kleiner der Abstand ist, um so schneller wird die Wärme abgeführt und um so kürzer ist der Zyklus

## 2.2.5. Abstand der Temperierkanäle zueinander

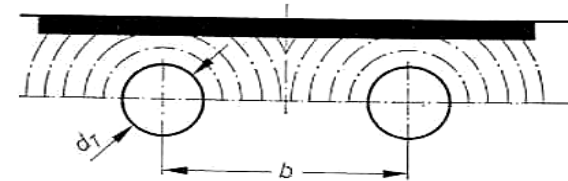
- Je kleiner der Abstand der Temperierkanäle zueinander ist, um so gleichmäßiger ist die Werkzeugtemperatur (Bild)
- Treten konstruktionsbedingt große Abstände der Temperierkanäle zueinander auf, so müssen der Abstand der Kavität und der Kanaldurchmesser ebenfalls größer werden
- Mit zunehmender Wanddicke muss mehr Wärme abgeführt werden



## 2.2.6. Durchmesser der Temperierkanäle

- Für die Lage und die Kanaldurchmesser zur Erzielung einer „weichen“ Temperierung sollten die in der Abbildung skizzierten Abmessungen angestrebt werden
- Die Zusammenhänge zwischen der Dimensionierung der Temperiersysteme und einer gleichmäßigen Wärmeabfuhr sind durch Isothermen verdeutlicht

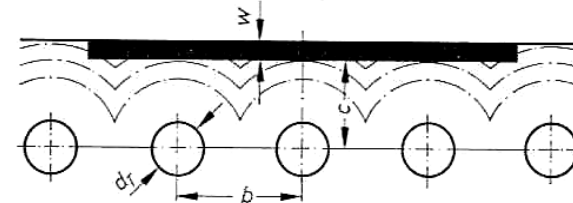
① *ungleichmäßige Wärmeabfuhr*



großer Abstand  $b$   
 + kleiner Abstand  $c$   
 + großer Kanaldurchmesser  $d_T$

*Folge: ungleichmäßige Temperatur in der Werkzeugkavität*

② *weitgehend gleichmäßige Wärmeabfuhr*



*gegeben wenn:*

Artikeldicke $w$	Kanaldurchmesser $d_T$
$\leq 2 \text{ mm}$	8 - 10 mm
$\leq 4 \text{ mm}$	10 - 12 mm
$\leq 6 \text{ mm}$	12 - 15 mm

II Abstand  $c = 2 - 3 \times$  Kanaldurchmesser  $d_T$

III Abstand  $b = \text{max. } 3 \times$  Kanaldurchmesser  $d_T$



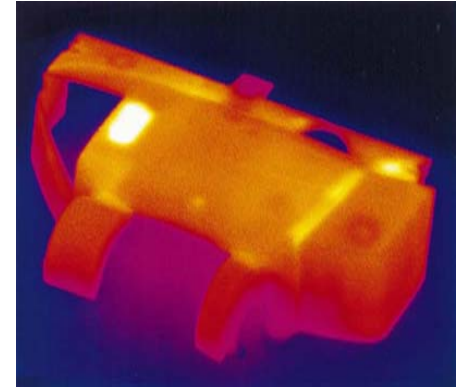
# 3. Existierende Lösungsansätze für das optimale Auslegen von Temperierbohrungen

## 3.1. Das Optimierungsproblem

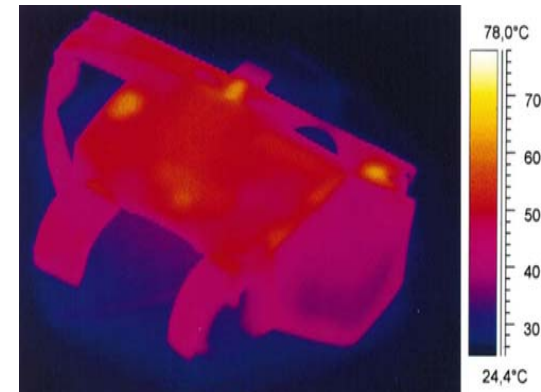
- Die Temperierbohrungen haben neben der Kühlfunktion auch eine Heizfunktion, um ideale Arbeitstemperatur zu gewährleisten
- Die Ziele einer Werkzeugtemperierung sind
  - eine mittlere Formnest-Wandtemperatur,
  - eine gleichmäßige Temperaturverteilung sowie
  - eine kurz gehaltene Kühlzeit genau einzuhalten
- Für das Optimierungsmodell sollen folgende Regeln gelten:
  - Es gilt, mit möglichst wenigen Bohrungen auszukommen, aufgrund der Kosten sowie Schwächung der Werkzeugform
  - Einzelne Bohrungen lassen sich zu Temperierbohrungszyklen kombinieren
  - Mehrfache Benutzung einzelner Bohrungen mittels Stopfen soll erlaubt sein
  - „Tote“ Kreisläufe sind nicht erlaubt, sodass Fließrichtung immer eindeutig

## 3.2. Konturangepeglichene Kühlkanäle

- Dem Formteil angegliche Kühlkanäle sichern eine optimale Wärmeabfuhr und sorgen so für kurze Zykluszeiten
- Nicht mit konventioneller Bohrtechnik herstellbar, wird durch Verwendung eines Werkzeugeinsatzes mit oberflächennahen Kühlkanälen erzielt
- Entwickelt und patentiert wurde das System „Contura“ von der Innova Engineering GmbH, Menden
- Reduzierung der Zykluszeiten um durchschnittlich 30 Prozent



Aufnahmen mit einer Infrarotkamera direkt nach dem Auswerfen der Formteile mit herkömmlicher (oben) und konturangepeglichener (unten) Temperierung



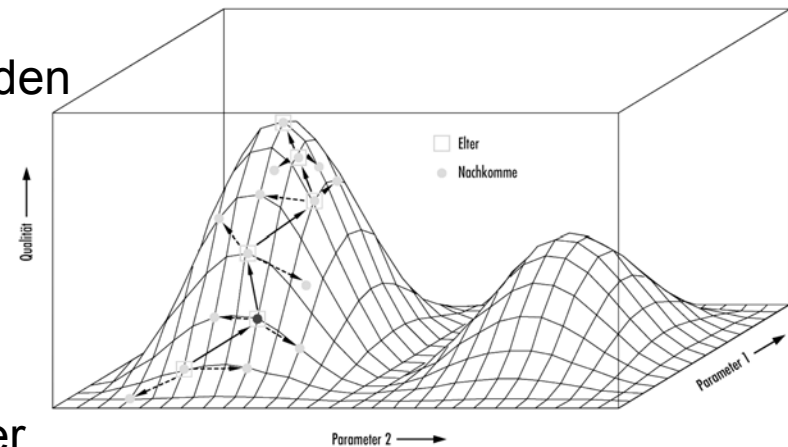
# 3.3. Evolutionäres Optimierungsverfahren

## 3.3.1. Qualitätsfunktion

- Das automatische Optimieren des Layouts von Temperierbohrungen verlangt ein rechnerisch Auswertbares Maß, eine Qualitätsfunktion (auch Kosten-, oder Zielfunktion genannt), dass
  - physikalische Eigenschaften des Wärmeaustausches,
  - Kosten durch die Fertigung der Bohrungen sowie
  - Technische Restriktionen möglichst realitätsnah und effizient wiedergibt.
- Einige dieser Restriktionen/Nebenbedingungen könnten sein:
  - Die Güte der Annäherung einer Bohrung an eine Formfläche
  - Gleichmäßigkeit der Temperierung
  - Länge der Tieflochbohrungen
  - usw....
- Das Optimierungssystem besteht aus mehreren Qualitätsfunktionen welche durch algebraisch beschreibbare Terme zu einem Gesamtwert über „Gewichtungparameter“ kombiniert ist
- Die Aufgabe ist es nun mittels geeigneter Strategien die Qualitätsfunktion und die Parameter zu optimieren!

## 3.3.2. Evolutionäres Verfahren zur Minimierung

- Ein Verfahren zur Minimierung, die Darwinstrategie wird algorithmisch durch evolutionäre Algorithmen nachempfunden
- Die Darwinstrategie beschreibt als stark vereinfachtes Modell die prinzipielle Fähigkeit der biologischen Evolution zur optimierenden Entwicklung
- Dieses Verfahren gehört zur Klasse stochastischer Parameteroptimiermethoden und ist in der Lage, auch in komplexen Aufgabenstellungen überraschend gute Lösungen zu generieren.
- Auf wesentliche Eigenschaften und Einführung in das Gebiet der Evolutionsstrategien wird hier nicht weiter eingegangen, da das bereits ein Thema eines anderen Seminarvortrages ist.



# Literatur

- [www.plastics.bayer.de](http://www.plastics.bayer.de): „Werkzeugtemperierung“
- ATI1146d BAYER AG: „Spritzgießen von Qualitätsformteilen“
- H. Gastrow: „Der Spritzgieß-Werkzeugbau in Beispielen“
- Kunststoffe 88 (1998) 7 S.984-S.985
- J.Mehnen, K.Weinert, T.Michelitsch: „Evolutionäres Design der Temperierbohrungen für Spritzguss- und Druckgusswerkzeuge“
- H.-P. Schwefel: „Evolution and Optimum Seeking“