

HANSER

Willi Steinko

# Optimierung von Spritzgießprozessen

ISBN-10: 3-446-40977-7

ISBN-13: 978-3-446-40977-4

Leseprobe

Weitere Informationen oder Bestellungen unter  
<http://www.hanser.de/978-3-446-40977-4>  
sowie im Buchhandel

### 10.4.1 Maschinenablauf, Maschinenbewegungen, Peripherie

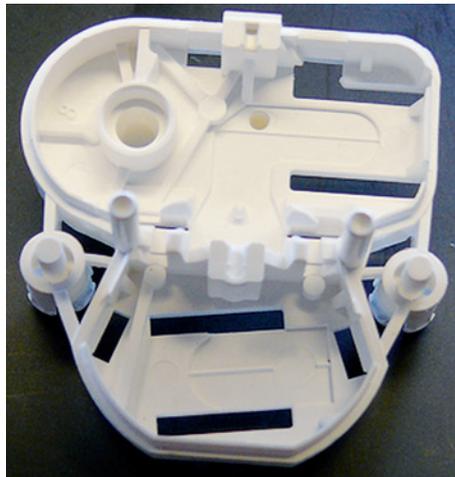
Oft nicht genügend beachtet, birgt die Maschinenbewegung im Prozess häufig ein nicht zu unterschätzendes zeitliches Potenzial. So sind die Zeiten für das Plastifizieren, Öffnen und Schließen des Werkzeuges, das Ein- und Ausfahren von Schiebern und Kernen, sowie die Pausenzeiten und Geschwindigkeiten im Ablauf der Bewegungen und der nachgeschalteten Robotik zur Entnahme auf ihre optimalen Abläufe hin sehr genau zu analysieren. Besonders bei großen Werkzeugen und längeren Zykluszeiten ist häufig festzustellen, dass gerade dieses wichtige Potenzial einer größeren Aufmerksamkeit bedarf.

## 10.5 Optimierungsbeispiele an Formteilen und Prozessen

Anhand verschiedener Produkte aus der täglichen Praxis und verschiedenen Bereichen der Verarbeitung zeigt der Autor einige interessante Optimierungsbeispiele mit den unterschiedlichsten Qualitätsanforderungen in den nachfolgenden Beispielen auf.

### 10.5.1 Feinwerktechnik, Elektronikindustrie

### 10.5.2 Messwerk – Bodenplatte für KFZ-Armaturen



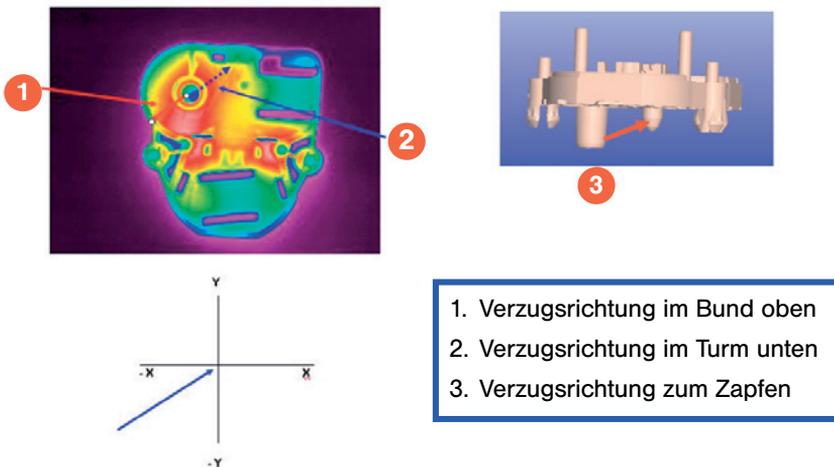
**Bild 10.10:** Bodenplatte aus PBT, talkumgefüllt [3]

Diese Formteile werden mit mehreren 8-fach Heißkanalwerkzeugen mit Nadelverschluss und Maschinen in sehr hohen Stückzahlen in höchster Präzision vollautomatisch gefertigt. Die Formteilgröße beträgt 31 mm × 29 mm × 5 mm.

### 10.5.3 Ausgangsbasis

Aus der Thermografie und der Verzugsdarstellung in Bild 10.11 ist deutlich zu erkennen welchen negativen Einfluss die Temperaturkonzentration im Bereich des „Turmes“ verursacht. Die Aufgabenstellung bestand darin, einen Weg zu finden welcher es ermöglicht, eine Rückstellung des Turmes um 0,03 mm ohne eine Formteiländerung, alleine auf thermischem Wege zu erreichen. Diese Aufgabenstellung war im Ansatz schon besonders schwierig, da die Kavitäten nur indirekt temperiert wurden, eine thermisch gezielte Einflussnahme deshalb kaum möglich ist.

Durch die filigrane Bauweise, die Kavitäten sind wie ein Puzzle aufgebaut, ist kein Platz für Temperierkanäle innerhalb der Kavität. Die durchzuführende Analyse sollte Lösungswege aufzeigen, eine größere Anzahl von Werkzeugen so zu optimieren, dass eine reproduzierbare Qualität gefertigt werden konnte.

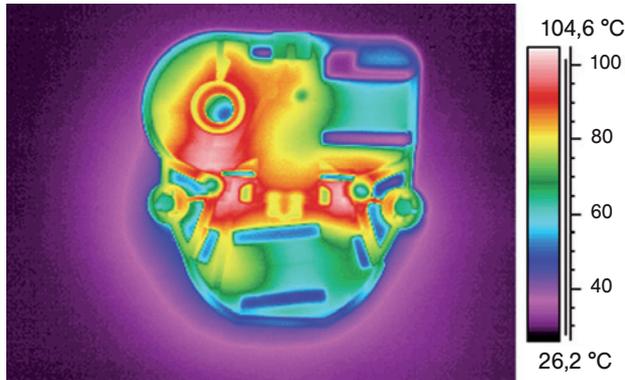


**Bild 10.11:** Problem: Schiefstellung eines Domes [2]

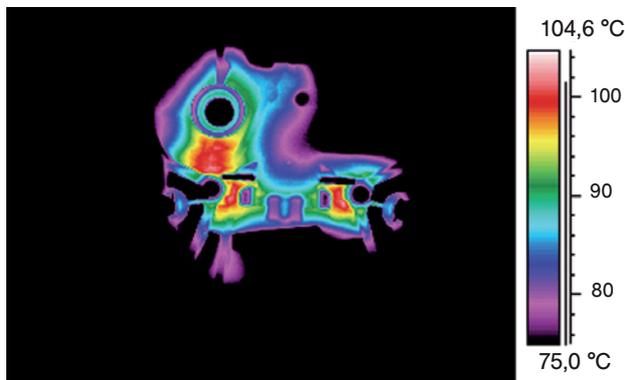
### 10.5.4 Erkenntnis aus der Ergebnisanalyse

Die Ergebnisse der Analysen zeigten, dass eine thermische Optimierung des Werkzeugs aufgrund seines filigranen segmentellen Aufbaus mit den üblichen Optimierungstechniken nicht möglich war. Die bekannten Techniken, wie das Einbringen von Stahlkernen mit Kupferseelen und Kontaktkühlplatten, scheiterten deshalb aus Platzgründen bereits im Ansatz. Auch eine Entsorgung der Wärme in diesem Bereich mit  $\text{CO}_2$  wurde angedacht, zeigte aber keinen Erfolg, wie Versuche ergaben. Eine thermische Regelung der Werkzeugwand war zu diesem Zeitpunkt noch nicht möglich.

Nachfolgende Darstellungen zeigen den Hot spot im Bereich unterhalb des Turmes welcher verantwortlich für den sich einstellenden Verzug ist. In Bild 10.13 ist der thermisch kritische Bereich vor der Optimierung gesondert dargestellt.



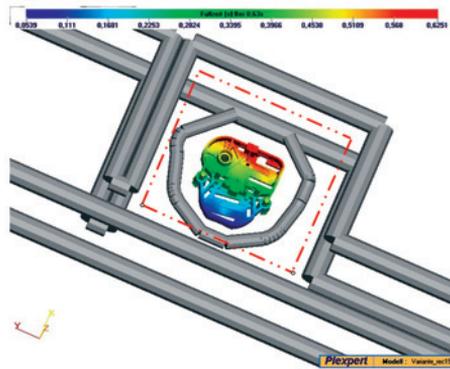
**Bild 10.12:** IR-Formteil nach Entformung [2]



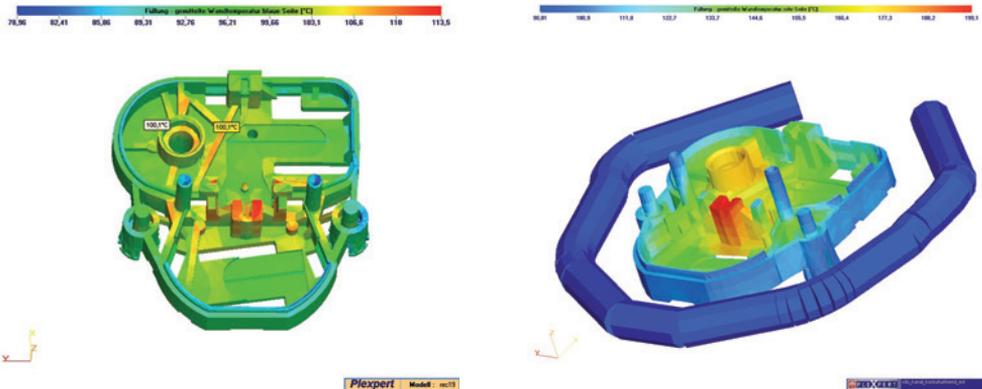
**Bild 10.13:** Thermischer Kernbereich [2]

Somit blieb nur noch die Möglichkeit die Kavitäten von Außen thermisch zu entsorgen, d.h., um die Kavität einen Temperierkanal zu legen (Bild 10.14.) über welchen die in den Einsatz (rot gestrichelter Bereich) eingebrachte Wärme abgeführt werden kann. Dies stellt allerdings einen Kompromiss dar, weil der Hot spot im Formteil damit nicht direkt erreicht und somit auch nicht zielgerichtet thermisch entsorgt werden kann.

Die mittels thermischer Berechnung unter Berücksichtigung der Prozessdaten ermittelte Oberflächentemperatur (Bild 10.15a und b) zeigte gegenüber dem thermischen Abbild des Formteils unmittelbar nach der Entformung eine deutliche Verbesserung der thermischen Situation. Es konnte also davon ausgegangen werden, dass auch die Ergebnisse der Verzugsberechnung, welche diese Tendenz ebenfalls aufzeigten dazu führen, das gesetzte Ziel, den Verzug des Turmes zu reduzieren, erreicht werden können.



**Bild 10.14:** Konturnaher Temperierkanal [2]



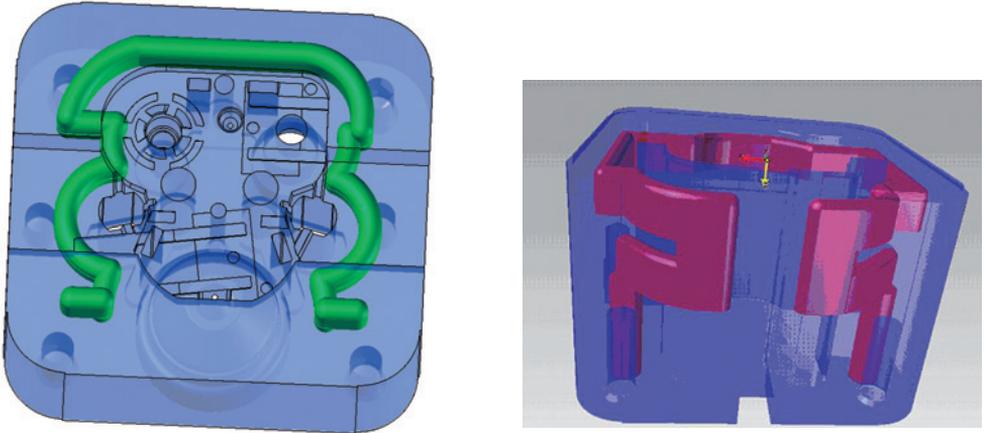
**Bild 10.15a, b:** Berechnete Oberflächentemperatur bei konturnaher Temperierung [2]

### 10.5.5 Optimierung der Werkzeugeinsätze

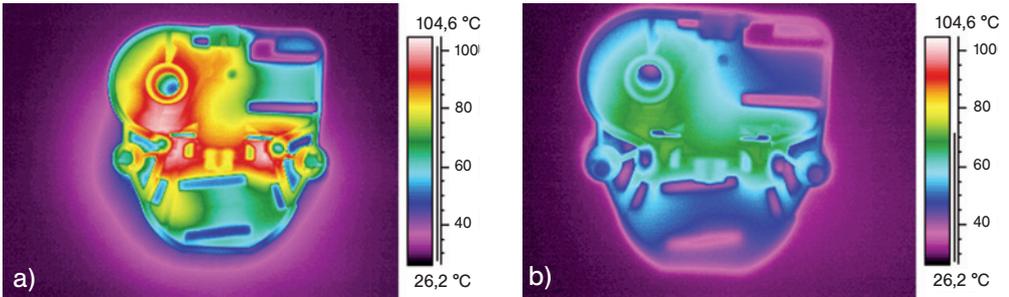
Die Durchführung der Optimierung an den Werkzeugeinsätzen wurde nach diesen Ergebnissen im Team entschieden. In Bild 10.1.16a und b ist der gefügte Temperierkanal im Einsatz dargestellt. Dieser wurde durch Ausdrahten der bestehenden Kavitäten-Einsätze und anschließendem Ausfräsen der möglichen Kanalgeometrie erzeugt. Nach diesem Bearbeitungsprozess wurden die Einsätze im Vakuumfügeverfahren wieder komplettiert und der neue Kreislauf an die Werkzeugtemperierung angeschlossen.

### 10.5.6 Optimierungsergebnis

Nach der Optimierung der Werkzeugeinsätze konnte folgendes Ergebnis präsentiert werden: Der Schiefstand des Turmes wurde bis auf 0,01 mm reduziert.



**Bild 10.16 a, b:** Temperierkanal fÜgetechnisch eingebracht [1]



**Bild 10.17a, b:** a) vor der Optimierung  $\vartheta_{\max}=104,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , b) nach der Optimierung  $\vartheta_{\max}=72,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2]

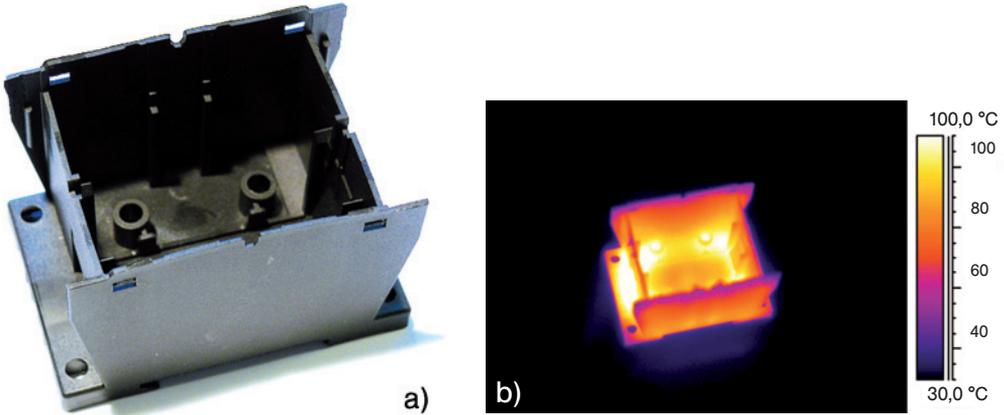
Die maximale Formteilmtemperatur wurde im Prozess gegenüber der Ausgangssituation, vor der Optimierung, um  $32,5^{\circ}\text{C}$  reduziert. Ein zusätzliches Potenzial wurde damit freigesetzt. Die Kühlzeit konnte weiter reduziert werden ohne dass die Qualität der Formteile sich negativ veränderte.

## 10.6 Elektro-Schaltgerätegehäuse

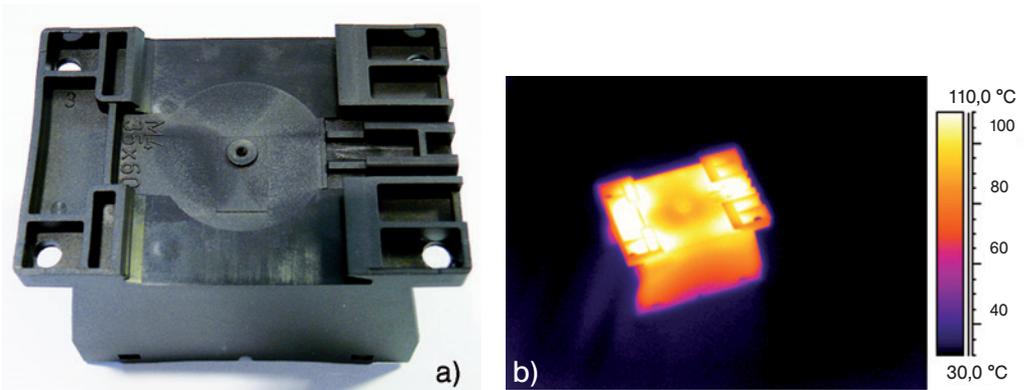
In je einem 2-fachen Werkzeug werden unterschiedliche Schaltmodule aus PA 6.6 GF 30 gefertigt welche in der Folge, nach Einbringen der Elektronikkomponenten, miteinander zu montieren sind. Die Aufgabenstellung bestand darin, festzustellen ob die erreichte Prozesszeit weiter zu reduzieren ist. Da die Stückzahlen stark ansteigen sollten wurde ebenfalls über einen Neubau der Werkzeuge mit optimierter Temperierung nachgedacht.

### 10.6.1 Gehäuse – Oberteil

Nachfolgende Bilder zeigen die Ansichten der gefertigten Bauteile sowie die unmittelbar nach der Entformung aufgenommenen IR-Thermografien.



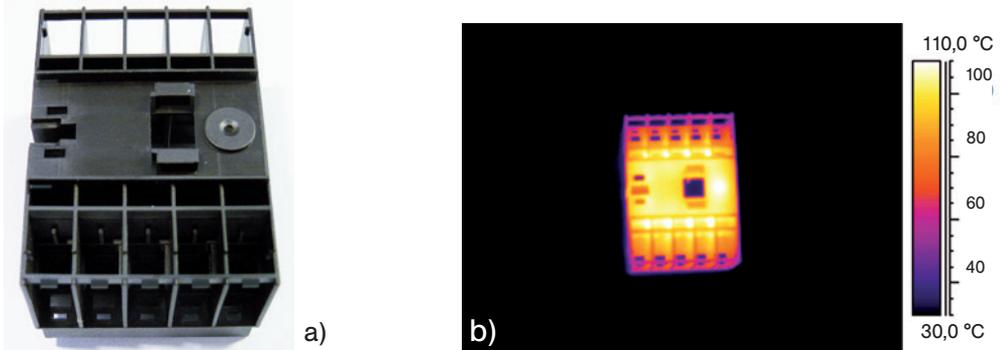
**Bild 10.18a, b:** a) Formteil Innen [2], b) Thermografie IR – Innen [2]



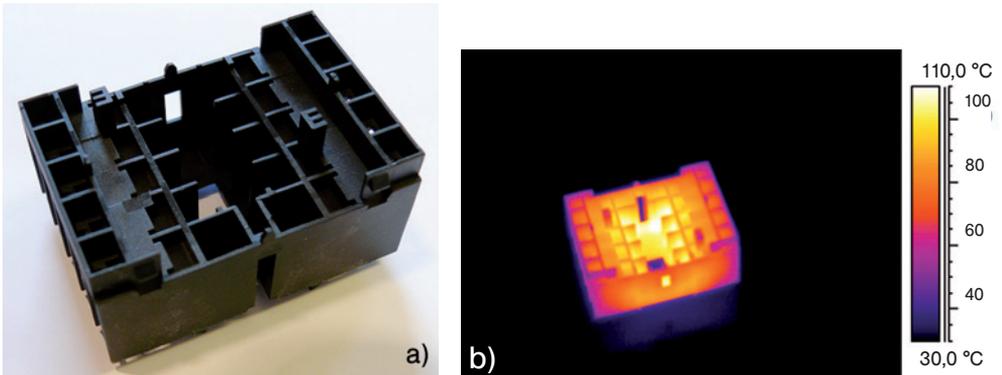
**Bild 10.19a, b:** a) Formteil Außen [2], b) Thermografie Außen [2]

### 10.6.2 Gehäuse – Unterteil

Bei diesen Ansichten werden ebenfalls die gefertigten Formteile direkt nach dem Entformen thermisch analysiert.



**Bild 10.20a, b:** a) Formteil Unten [2], b) Thermografie Unten [2]



**Bild 10.21a, b:** a) Formteil Innen [2], b) Thermografie Innen [2]

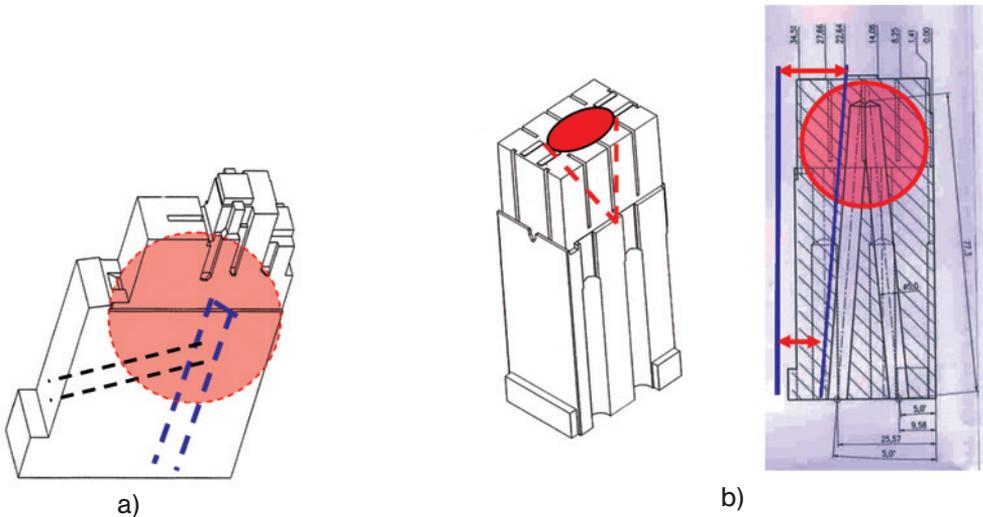
### 10.6.3 Ergebnisse der Istanalyse

Eine ausführliche Istanalyse wurde an beiden Werkzeugen und den jeweiligen Prozessen durchgeführt. Weder der Prozess noch die Formteilgeometrie wiesen Möglichkeiten eines bestehenden Optimierungspotenzials auf.

Beide Formteile zeigten besonders in den Eckbereichen sowie bei den eingebrachten Kernen aufgrund einer nicht ausreichenden thermischen Entsorgung deutliche Hot spots und Wärmestaus. Obwohl die Formteilgeometrie konstruktiv bei beiden Formteilen optimal ausgearbeitet wurde, konnten keine besseren Ergebnisse erzielt werden. Soweit haben die Konstrukteure der Formteile sicherlich eine sehr gute Arbeit geleistet.

### 10.6.4 Temperierung der Kerne nicht optimal

Die nachfolgend dargestellte und im Werkzeug so eingebrachte bohrtechnische Ausführung der Kerne (Bild 10.22, Bild 10.23,) ist keinesfalls genügend für eine optimale Temperaturabfuhr. Darüber hinaus ist die Wärmeübertragungsfläche sowie der gemessene Durchfluss (3,6 – 4,5 l/min), bedingt durch einen hohen Druckverlust und eine laminare Strömung in den Kernen, nicht ausreichend. Das auf der Werkzeugoberfläche gemessene Temperaturniveau zeigte eine Temperaturdifferenz zum Formteil von  $\Delta\vartheta_{\max} = 80,3^{\circ}\text{C}$  und von Kern zu Kern in der Kavität von  $\Delta\vartheta_{\max} = 22,6^{\circ}\text{C}$ . Diese Temperaturdifferenzen sind eindeutig zu hoch. Schlussendlich zeigte sich dies auch im auftretenden Verzug des Gehäuseoberteils bei den Versuchen einer weiteren Reduzierung der Kühlzeit.



**Bild 10.22a, b:** In das Werkzeug eingebrachte Temperierkanal-Layout (Kernbereich)  
 a) Anbindung der Temperierung, b) Bildung eines Hot spots durch Bohrungsverlauf [2]

Welche Möglichkeiten bieten sich zur Verbesserung der Situation nun an. Welche Maßnahmen sind erforderlich die Kühlzeit/Zykluszeit weiter abzusenken, ist eine weitere Reduzierung überhaupt möglich?

Hier ist nun der Werkzeughersteller bzw. der Werkzeugkonstrukteur gefordert.

### 10.6.5 Mögliche Potenziale bei geändertem Werkzeugkonzept

Die Ergebnisanalyse beider Werkzeuge zeigte mögliche Potenziale besonders in den Eckbereichen und bei den eingebrachten Kernen, welche in Stahl ausgeführt wurden. Stellvertretend für beide Werkzeuge soll ein Blick in ein Werkzeugkonzept die generelle Schwachstelle von solchen Konzepten aufzeigen.

Um zusätzliche Verbesserungen, d. h. ein weiteres Absenken der Kühlzeit zu erreichen, bieten sich als optimale Lösung drei Möglichkeiten an, welche mittlerweile als durchaus konventionelle Ausführungsarten zu werten sind (Kapitel 7).

1. Die konturnahe Vakuum-Fügetechnik zur thermischen Entsorgung kritischer Bereiche [1].
2. Das Einbringen von Kupfer-Seelen zur Wärmeabfuhr aus schlecht zugänglichen Bereichen [1].
3. Das Einschmelzen von Kupfer in einen Stahlkern; System [1], [4].

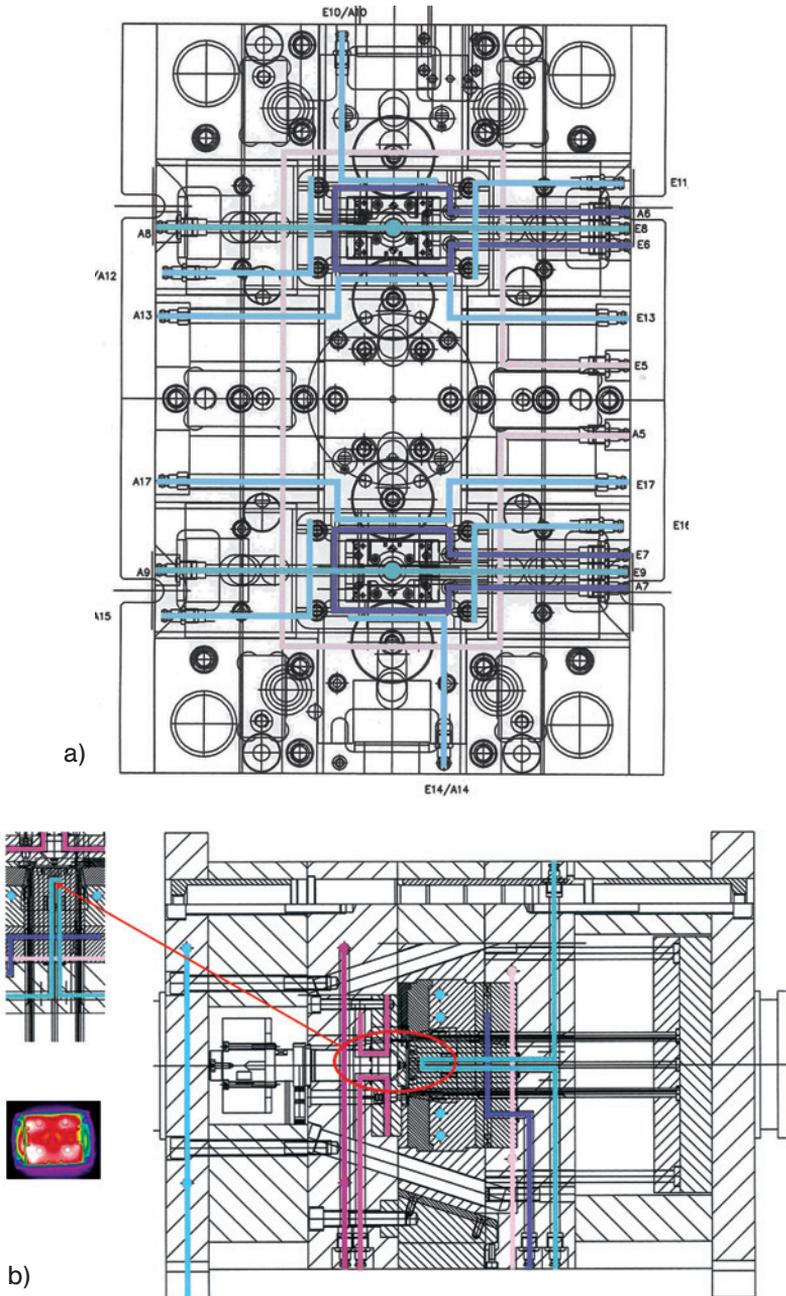
Aufgrund der Erkenntnis aus der Istanalyse bei diesen Werkzeugen wurden zwei modifizierte Werkzeuge unter Einbindung der Vakuum-Fügetechnik und der Einschmelztechnik neu projektiert und gebaut. Die Kerne und Eckbereiche der Kavitäten wurden in dieser Technik ausgeführt und die Temperierkreisläufe entsprechend getrennt, damit die entstehende Wärme zielgerichtet entsorgt werden konnte. Das so erreichte Verbesserungspotenzial führte zu Zykluszeitreduzierungen zwischen stattlichen 31 und 52 % je Werkzeug.

### **10.6.6 Steckerleisten für den technischen Elektrobereich**

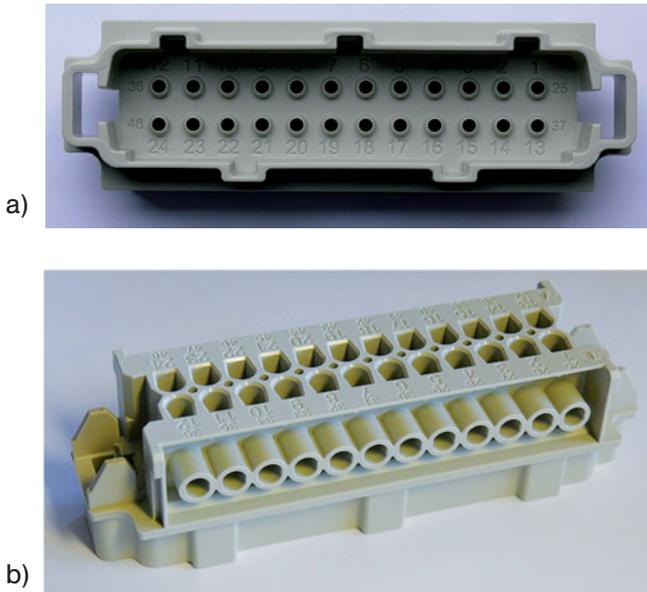
Steckerleisten und Steckverbinder gehören zu einer Kategorie der von Nichtfachleuten häufig unterschätzten Produkte. Bedingt durch die eingebrachten Stifte und Buchsen vor allem aber durch die engen Bauräume bei solchen Werkzeugen stellen sich häufig Probleme bei der Maßhaltigkeit der Fertigteile sowie der Werkzeugfunktion ein. Sehr oft werden GF-verstärkte und flammgeschützte Rohstoffe eingesetzt, welche in ihrer Handhabung bestimmten Einschränkungen bei der Verarbeitung unterliegen.

### **10.6.7 Hohe Anforderungen an die Werkzeugtemperierung**

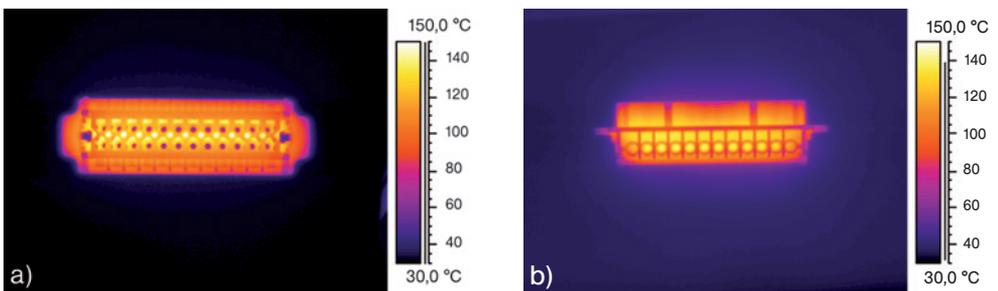
Einer kunststoffgerechten Konstruktion der Produkte muss hier ein besonderes Augenmerk gelten. Ebenfalls werden sehr hohe Anforderungen bei solchen Bauteilen an die Temperierung des Werkzeuges gestellt. Sehr oft begrenzt eine hohe Zykluszeit die Leistungsfähigkeit der Werkzeuge. Die zur Bildung der erforderlichen Bohrungen und Aussparungen erforderlichen Stifte sind häufig so dünn, dass keine konventionelle Kühlung eingebracht werden kann. Dies zeigt sich besonders bei der Fertigung solcher Elemente dadurch, dass bei unzureichender Wärmeabfuhr bzw. zu kurzer Zykluszeit die Stifte „schmieren“ und es zu Produktionsstörungen und Qualitätseinbußen kommen kann.



**Bild 10.23a, b:** Gehäuse – Werkzeugunterteil [2]  
 a) Temperaturkanalverlauf Ansicht Kernseite, – symmetrische Kanalführung  
 b) Gesamtansicht – Kernkühlung/Schnitt



**Bild 10.24a, b:** Technisch sehr aufwendig zu temperierende Steckerleisten  
a) Steckerleiste innen, b) Steckerleiste außen



**Bild 10.25a, b:** Steckerleiste vor Optimierung  
a) Innen  $\vartheta_{\max}=159,2^{\circ}\text{C}$ , b) Außen  $\vartheta_{\max}=141,3^{\circ}\text{C}$

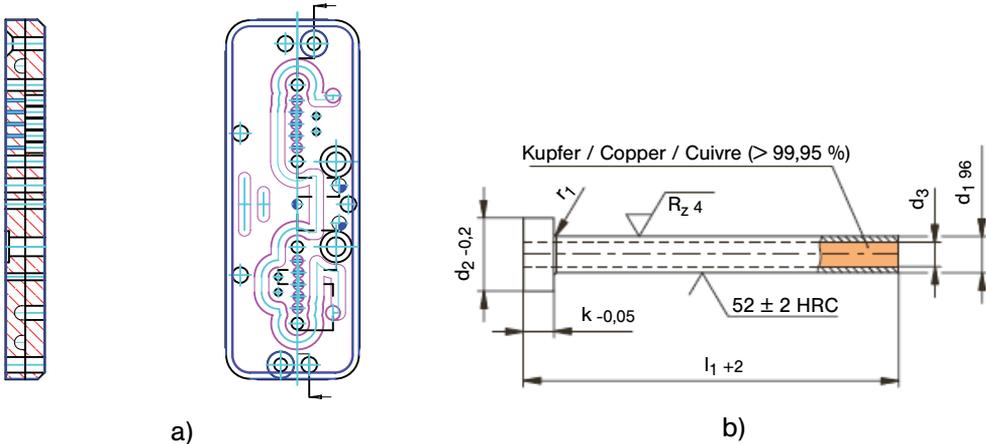
- Auf der Formteiloberfläche wurde ein  $\Delta\vartheta=70,8^{\circ}\text{C}$  gemessen.

### 10.6.8 Möglichkeiten zur Optimierung der Temperierung

Die wesentliche Einschränkung bei der Temperierung von Projekten solcher oder ähnlicher Geometrien bildet die Kühlung von Kernstiften. Um eine optimale Wärmeabfuhr zu gewährleisten ist es unabdingbar, dafür Sorge zu tragen, dass sich in den Kernstiften und den benachbarten Bereichen kein Wärmestau bilden kann. Da solch dünne Kernstifte aber mit

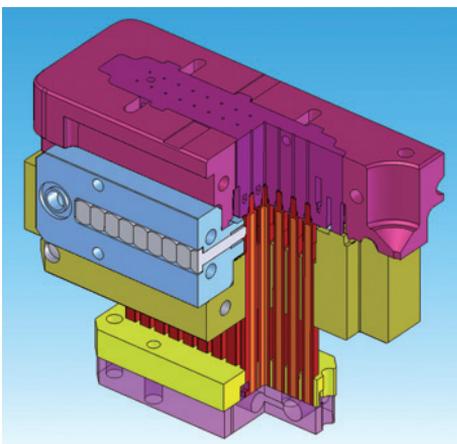
Wasser nicht direkt gekühlt werden können, besteht nur die Möglichkeit indirekt über eine Kontaktkühlung die Wärme abzuführen. Hier hat sich folgende Möglichkeit bewährt:

Mit Kupfer im Diffusionsverfahren hergestellte Normalien (Bild 10.26 b) werden auf eine mit Wasser gekühlte „Kühlplatte“ gestellt (Bild 10.26 a) oder idealerweise direkt mit Wasser in dieser umspült, vorausgesetzt dies ist konstruktiv möglich.

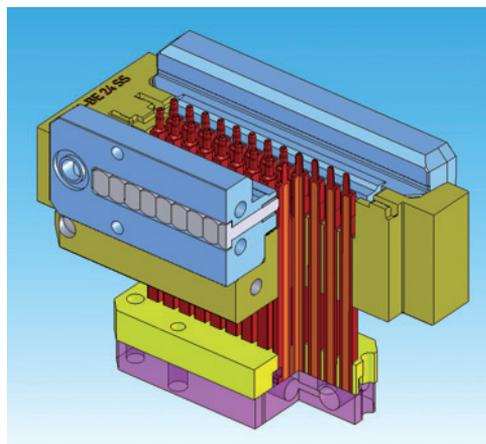


**Bild 10.26a, b:** Kontakttemperierung  
 a) Ansicht Kühlplatte [1], b) Ansicht mit Kupfer gefüllter Kernstift [4]

Der Aufbau einer thermisch optimal entsorgten Kavität für Steckerleisten Bild 10.27 a, b und 10.28 zeigt die aufwändige Konzeption zur homogenen thermischen Entsorgung solcher filigraner Werkzeugelemente.

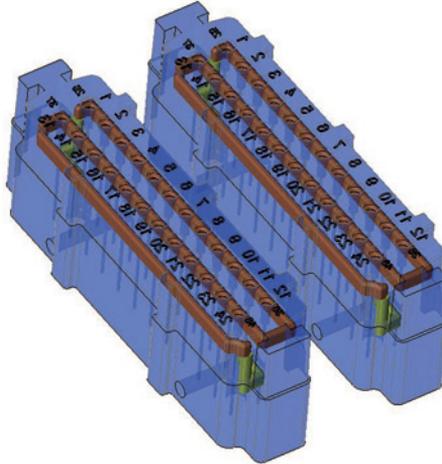


**Bild 10.27a:** Thermisch optimierten Kavität [2]

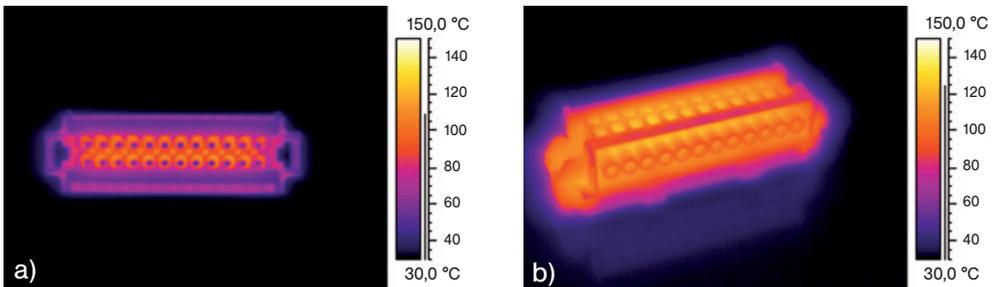


**Bild 10.27b:** Freigestellte Kernstifte [2]

Folgende Thermografien (Bild 10.29 a und b) zeigen die Aufnahmen bei der Einfahrphase des nach der zuvor beschriebenen Technologie aufgebauten Werkzeuges. Bei gleich gebliebener Werkzeugwandtemperatur von 80°C, einer mehr als verdreifachten Wärmeübergangsfläche und einer um 100% erhöhten Durchflussmenge wurden die maximalen Temperaturspitzen um bis zu 50°C abgebaut.



**Bild 10.28:** Temperierkanalanordnung zur verbesserten Wärmeabfuhr im Stiftbereich [2]



**Bild 10.29a, b:** Thermografie  
a) innen, nach Optimierung  $\vartheta_{\max} = 110,7^\circ\text{C}$  [2],  
b) außen, nach Optimierung  $\vartheta_{\max} = 127^\circ\text{C}$  [2]

### 10.6.9 Optimierungsergebnis

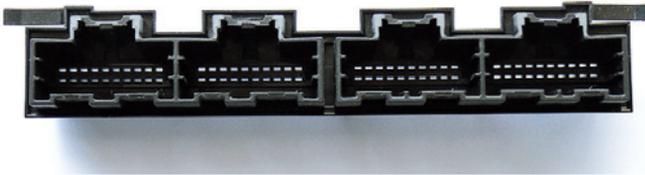
Auf der Formteileroberfläche wurde ein  $\Delta\vartheta = 47,2^\circ\text{C}$  gemessen.

Ob dieser Aufwand welcher zweifelsfrei qualitativ und hinsichtlich der erreichbaren Kühlzeit in jedem Falle zum Erfolg führt auch betriebswirtschaftlich lohnend ist, muss jeweils eine

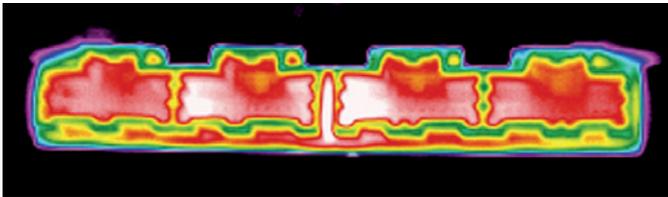
Stückkostenrechnung ergeben. Grundsätzlich ist jedoch zu bemerken, dass erst eine durch dieses Konzept mögliche Zykluszeitreduzierung in der Höhe von 42 % bei diesem Projekt erreicht werden konnte.

## 10.7 Steckverbinder für die Kfz-Elektronik

Ein 2-fachWerkzeug sollte mit den zur Verfügung stehenden konventionellen Temperiermöglichkeiten thermisch behandelt werden. Da diese Formteile bezüglich der geforderten Maßhaltigkeit sehr sensibel einzustufen sind, musste auch ein möglicher Formteilverzug weitestgehend eingeschränkt werden. Aus diesem Grunde wurde während der Konzeptionsphase eine rheologische und thermische Simulation zur Sicherstellung der Formteilqualität durchgeführt. Alle wesentlichen Bedingungen des Formteilbildungsprozesses wurden damit untersucht.



**Bild 10.30:** Steckverbinder Innen [2]



**Bild 10.31:** IR-Aufnahme Steckverbinder Innen [2]

### 10.7.1 Füllsimulation, thermische Berechnung, Verzugsberechnung

Die Temperierung wurde entsprechend dem Temperierkanalverlauf im Werkzeug (Bild 10.32) in das Simulationsmodell eingebracht und unter Berücksichtigung der Prozessdaten berechnet. Die in der Berechnung ermittelten Temperaturen (Bild 10.33) entsprechen denen der Prozessrealität.