

E. Braun GmbH
Entwicklung und Vertrieb von technischem Zubehör
Am Markt 1
91126 Kammerstein

Entwicklung einer innovativen Temperiertechnik zur effizienten Steuerung der
Werkzeugwandtemperatur beim physikalischen Schäumen von Großformteilen

SchäumTemp



Abschlussbericht über das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte
Entwicklungsprojekt, AZ 37126/01 - 21/0

von

Andreas Braun, E. Braun GmbH

91126 Kammerstein, 07. Oktober 2021

Der Bericht ist über die Firma erhältlich.

Projektkennblatt

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Der Einsatz physikalischer Schäumverfahren ist ein wichtiger Baustein für den ressourcenschonenden und nachhaltigen Einsatz von Kunststoffen in den unterschiedlichen Branchen wie Automobil, Verpackung, Elektronik, weiße Ware und andere mehr.

Der Anteil an geschäumten Bauteilen an allen hergestellten Spritzgussteilen liegt bisher im Promillebereich, die allermeisten Teile werden im Kompaktspritzguss ohne Schäumen hergestellt. Betrachtet man Ökonomie und Ökologie als Gesamtpaket, wäre es sinnvoll, mindestens 10% der Formteile mit Schaumanteil herzustellen. Bei der konsequenten Planung und Umsetzung einer Produktion von Kunststoffteilen mit dem Schwerpunkt physikalisches Schäumen sind folgende Umweltvorteile erreichbar:

- kleinere Maschinengröße wegen geringerer Drücke
- Materialersparnis 7-10 % und mehr am Bauteil
- kürzere Zykluszeiten um 5-40 %
- höhere Bauteilqualität, Reduzierung innerer Bauteilspannungen, keine Einfallstellen
- flexibleres Teile- und Werkzeugdesign
- mehr Spielraum zur Prozesseinstellung, schnellere Werkzeugfreigabe, höhere Dimensionsstabilität
- dadurch insgesamt verringerter CO₂-Ausstoß

Will man die Verbesserungspotenziale durch das Schäumen nutzen, muss man die Kavitätstemperierung durch eine gezielte und effiziente Steuerung der Kavitätsoberflächentemperatur im Zyklus beherrschen. So kann die Formteilerfläche, die Übergangsrandschicht und die innere Schaumstruktur gezielt beeinflusst und die Schaumstruktur nach geforderter Bauteilqualität ausgebildet werden. Im Ergebnis bedeutet dies Schäumen für Sichtbauteile anzuwenden, eine hohe Dimensionsstabilität und Gewichtseinsparung zu erreichen sowie in Kombination mit Negativprägen (Öffnungsprägen) und Wechseltemperierung Serienbauteile mit Class-A-Oberflächen zu produzieren.

Im vorliegenden DBU-Projekt wurde deshalb eine Wechseltemperiertechnik für Großwerkzeuge entwickelt, die es beim physikalischen Schäumen von Großformteilen ermöglicht, die Werkzeugwandtemperatur effizient zu steuern.

Durch das neue, auf die optimale Temperierung speziell zugeschnittene Werkzeugdesign in Kombination mit einer neuen, auf jedes Werkzeug speziell anpassbaren Temperiertechnik, wird das Schäumen mit Großwerkzeugen technisch und ökonomisch interessant und umweltfreundlicher.

Die entwickelte leistungsstarke Wechseltemperierung lieferte in Kombination mit einem Pilotwerkzeug und der Materialvorgabe PC/ABS eine Werkzeugwandtemperatur zwischen 150°C für die Abformung beim Einspritzen und 80°C für die Ausformung des Bauteils. Die Energieeffizienz mit einer Geräteleistung von 36 kW ist hervorragend. Mit der Temperiertechnik wurden sehr gute Oberflächen- und Bauteilergebnisse mit Schaumanteilen über 40% sowie Zykluszeiten unter 60 Sekunden erzielt.



Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	2
1. Zusammenfassung	8
2. Einleitung.....	9
3. Hauptteil	12
3.1 Anforderungen an das Temperiergerät und Zusammenarbeit mit Wirth Werkzeugbau GmbH	12
3.2 Arbeitspakete und Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die ursprüngliche Zielsetzung.....	15
3.3 Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse	29
3.4 Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse:	32
4. Fazit	35
5. Literaturverzeichnis	37

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Schematischer Prozessablauf mit Schäumen und Negativprägen	10
Abbildung 2 - Demonstrator Deko-Schale - gewölbtes und flächiges Bauteil - Thermoplast PC/ABS	11
Abbildung 3 - Konturnahe Temperierung für die Deko-Schale.....	12
Abbildung 4 - Formteil Deko-Schale mit Temperierlayout und umgebender Werkzeugmasse	13
Abbildung 5 - Simulation Strömungsgeschwindigkeiten und Temperaturverläufe.....	14
Abbildung 6 - Pumpenkennlinien von FU-Pumpen.....	16
Abbildung 7 - Aufbau des Wechseltemperiergerätes (CAD-Konstruktion)	18
Abbildung 8 - Steuerung und graphische Auswertung	18
Abbildung 9 - gebautes Gerät für Funktionstests.....	19
Abbildung 10 - Ventilstation.....	20
Abbildung 11 - Steuerung und Bedieneinheit für elektrische Heizeinsätze.....	21
Abbildung 12 - Funktionstest an einem genuteten Einsatz mit elektrischer Beheizung in Kombination mit eine Wasser-Wechseltemperierung.....	22
Abbildung 13 - Wechseltemperiergerät und Leistungssteller mit Ventilstation - Deko-Schale Sichtseite - Funktionstests	22
Abbildung 14 - Elektrische Heizstäbe - Steuerung über einzelne Thermoelemente in den Heizstäben oder über Thermoelemente in der Fläche möglich - Funktionstests	23
Abbildung 15 - Untersuchungen mit Wärmebildkamera	24
Abbildung 16 - erreichte Bauteilqualität Formteil Deko-Schale; ganz rechts: erstarrte Randschicht und Poren in Vergrößerung	25
Abbildung 17 - Im Werkzeug verbaute Sensorik und Monitoring im Spritzgusszyklus	25
Abbildung 18 - Zusätzliches Display	26

Abbildung 19 - Versuche: Wechseltemperierung - Wärmebildkamera-Bild - Überprüfung mit Terahertz-Photonik - Visualisierung der Ergebnisse	27
Abbildung 20 - Bilder der Inline-Bauteilqualitätsmessung mit Terahertz-Photonik	28
Abbildung 21 - Schadensfall an einer Pumpe	29
Abbildung 23 - Schaumstruktur Deko-Schale / ca. 8% Schaumanteil.....	30
Abbildung 24 - Schaumstruktur Deko-Schale / ca. 45% Schaumanteil.....	30
Abbildung 25 - Verformungsmessung an der Deko-Schale.....	31
Abbildung 26 - Verformungsmessungen	31
Abbildung 27 - K-Profi-Artikel - 09/2021	33
Abbildung 28 - Wirth Innovationstage in Helmbrechts, Präsentationen und Vorführungen im Technikum - 23.+24.09.2021	33
Abbildung 29 - Messe Fakuma in Friedrichshafen, Messestand E. Braun - 12.-16.10.2021...	34

Symbolverzeichnis - entfällt

1. Zusammenfassung

In der Produktion von Großformteilen im physikalischen Schaumspritzguss kann mit einer effizienten Steuerung der Werkzeugwandtemperatur viel Material, Zykluszeit und Energie gespart werden. Somit kann unter Verwendung kleinerer Maschinen kostengünstiger und umweltfreundlicher produziert werden. Dafür wurde eine wasserbasierte Wechseltemperierung weiterentwickelt, zusätzlich eine elektrische Temperierung im Gerät integriert und eine zentrale Steuerung programmiert.

Die Wechseltemperiertechnik wurde am Beispiel eines Pilotwerkzeugs für das Formteil "Deko-Schale" - mit optimierten konturnahen Temperierkanälen - ausgelegt und konzipiert. Zusätzlich gab der geplante Thermoplast mit seinen Material- und Verarbeitungskennwerten die zu erreichende Werkzeugwandtemperatur und die Kühlzeit bzw. Zykluszeit sowie die erreichbare Bauteilqualität vor. Das Zusammenspiel der einzelnen Komponenten der Temperiertechnik wurde in Spritzgießversuchen optimiert, die Bedienung angepasst, notwendige Sensorik eingebunden sowie Schnittstellen und die Steuerung entwickelt und verifiziert.

Am Ende stand eine leistungsstarke aktive Wechseltemperierung für das Pilotwerkzeug zwischen 150°C für die Abformung beim Einspritzen und 80°C für die Ausformung des Bauteils zur Verfügung. Die Energieeffizienz mit einer Geräteleistung von 36 kW ist hervorragend. Mit der Temperiertechnik wurden sehr gute Oberflächen- und Bauteilerggebnisse mit Schaumanteilen über 40% sowie Zykluszeiten unter 60 Sekunden erzielt.

Nach der Entwicklung der Temperiertechnik sind als nächste Schritte die Einstellung der Schaumstruktur, unterstützt durch gezieltes Temperieren, sowie das erweiterte Scannen des Bauteils direkt im Zyklus zur Überprüfung der erzielten Schaumstruktur und ein Inline-Nachjustieren der Prozessparameter zum optimierten Schäumen geplant.

Das vorliegende DBU-Forschungsprojekt, gefördert unter dem Az: 37126/01 - 21/01 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, ergänzt das von Wirth Werkzeugbau mit der HS Aalen durchgeführte ZIM-Kooperationsprojekt "InForWe", das im ZIM-Innovationsnetzwerk „WinInMo“ integriert ist.

2. Einleitung

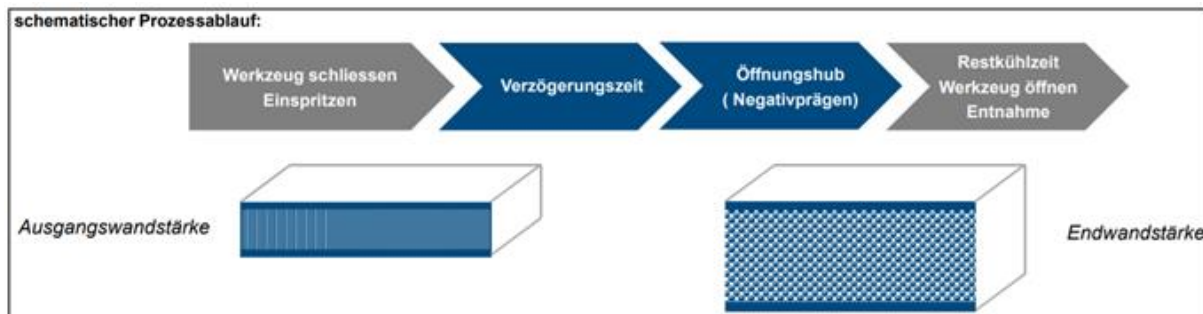
Der Einsatz physikalischer Schäumverfahren ist ein wichtiger Baustein für den ressourcenschonenden und nachhaltigen Einsatz von Kunststoffen in den unterschiedlichen Branchen wie Automobil, Verpackung, Elektronik, weiße Ware und andere mehr.

Der Anteil an geschäumten Bauteilen an allen hergestellten Spritzgussteilen liegt bisher im Promillebereich, die allermeisten Teile werden im Kompaktspritzguss ohne Schäumen hergestellt. Betrachtet man Ökonomie und Ökologie als Gesamtpaket, wäre es sinnvoll, mindestens 10% der Formteile mit Schaumanteil herzustellen. Bei der konsequenten Planung und Umsetzung einer Produktion von Kunststoffteilen mit dem Schwerpunkt physikalisches Schäumen sind folgende Umweltvorteile erreichbar:

- kleinere Maschinengröße wegen geringerer Drücke
- Materialersparnis 7-10 % und mehr am Bauteil
- kürzere Zykluszeiten um 5-40 %
- höhere Bauteilqualität, Reduzierung innerer Bauteilspannungen, keine Einfallstellen
- flexibleres Teile- und Werkzeugdesign
- Größeres Prozessfenster, schnellere Werkzeugfreigabe, höhere Dimensionsstabilität
- dadurch insgesamt verringerter CO₂-Ausstoß

Will man die Verbesserungspotenziale durch das Schäumen nutzen, muss man die Kavitätstemperierung durch eine gezielte und effiziente Steuerung der Kavitätsoberflächentemperatur im Zyklus beherrschen. So kann die Formteiloberfläche, die Übergangsrandschicht und die innere Schaumstruktur gezielt beeinflusst und die Schaumstruktur nach geforderter Bauteilqualität ausgebildet werden. Im Ergebnis bedeutet dies Schäumen für Sichtbauteile anzuwenden, eine hohe Dimensionsstabilität und Gewichtseinsparung zu erreichen sowie in Kombination mit Negativprägen (Öffnungsprägen) und Wechseltemperierung Serienbauteile mit Class-A-Oberflächen zu produzieren.

Abbildung 1 - Schematischer Prozessablauf mit Schäumen und Negativprägen



Dieses Projekt diente als Ergänzung zu einem ZIM-Kooperationsprojekt („InForWe“) der Wirth Werkzeugbau GmbH und der Hochschule Aalen. Dort werden Entwicklungen am Werkzeug gemacht, um das Schäumen mit exzellenter Bauteil- und Oberflächenqualität zu erreichen. E. Braun GmbH hat dazu ergänzend die passende Temperiergeräteentwicklung sowie Steuerung gemacht, sodass beide Firmen gemeinsam mit ihrem neu gewonnenen Know-how an den Markt gehen können. Es wurde dafür eine Temperierung mit wechselnden Temperaturen über den Spritzzyklus (Wechseltemperierung) und die Kombination verschiedener Temperiertechniken entwickelt.

Folgende Entwicklungen waren nötig:

1. Temperierung mit wechselnden Temperaturen über den Spritzzyklus (Wechseltemperierung) und die Kombination verschiedener Temperiertechniken.
2. Eine wesentlich verbesserte Wasser-Wechseltemperiertechnik, die energieeffizient an die spezifische Werkzeugauslegung angepasst werden kann und in Kombination mit elektrischen Heizelementen die Kavitätsoberflächentemperatur, in einer materialspezifischen Breite, über den Zyklus steuern kann. Als Gesamtpaket aus Technik (einzelne Komponenten und das Zusammenspiel), Sensorik und Steuerung/Regelung.

Um die Kunden im Spritzguss mit einem langfristig zu überzeugen, sollten die Vorteile mit einem Pilotwerkzeug (Demonstrator Deko-Schale - siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) und optimierter Peripherie-Technik im hauseigenen Technikum von Wirth Werkzeugbau GmbH im Zusammenhang vorgeführt, mit Zahlen belegt und vermittelt werden.

Abbildung 2 - Demonstrator Deko-Schale - gewölbtes und flächiges Bauteil - Thermoplast PC/ABS



Die mit dem Pilotwerkzeug hergestellten Bauteile sollen folgende Anforderungen erfüllen:

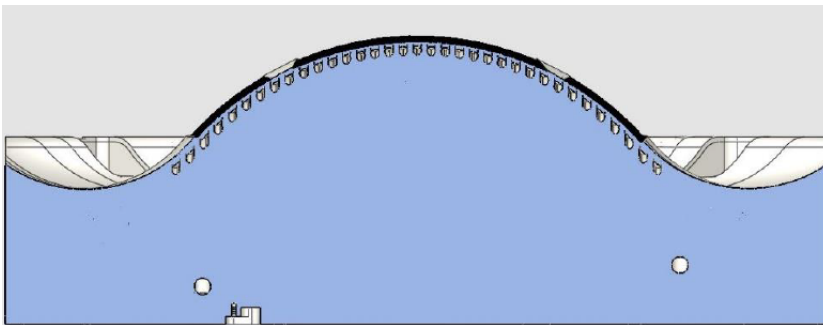
- Gewölbte, strukturierte Oberfläche mit Class-A-Oberfläche
- Mehrere Durchbrüche
- Grundwandstärke 2 mm (Dome und Rippen auf Rückseite mit 2.2mm Anbindung)
- Bauteilgröße 500 mm
- Heißkanaldirektanbindung von hinten
- Herstellung mit Schaumspritzgießen
- Zykluszeit 60 Sekunden
- Mit Öffnungsprägen von 2 mm auf 3,5 mm
- Gewichtsreduzierung mit Öffnungsprägen bis zu 45%
- Mit Temperierlayout zum Erreichen der A-Class-Oberfläche
- Dimensionsstabilität erhöhen durch Öffnungsprägen
- Einfallstellen vermeiden durch Schaumspritzgießen

3. Hauptteil

3.1 Anforderungen an das Temperiergerät und Zusammenarbeit mit Wirth Werkzeugbau GmbH

Im Pilotwerkzeug wurde von Wirth Werkzeugbau GmbH - im ZIM-Forschungsprojekt InForWe - folgendes Temperierlayout umgesetzt: Statt eines additiv gefertigten Formeinsatzes für eine konturnahe und konturfolgende Temperierung, der in der Größe limitiert ist und nur im Werkstoffstahl 1.2709 hergestellt werden kann, konnte Wirth Werkzeugbau eine deutlich kosteneffizientere und technisch bessere Lösung entwickeln und umsetzen.

Abbildung 3 - Konturnahe Temperierung für die Deko-Schale



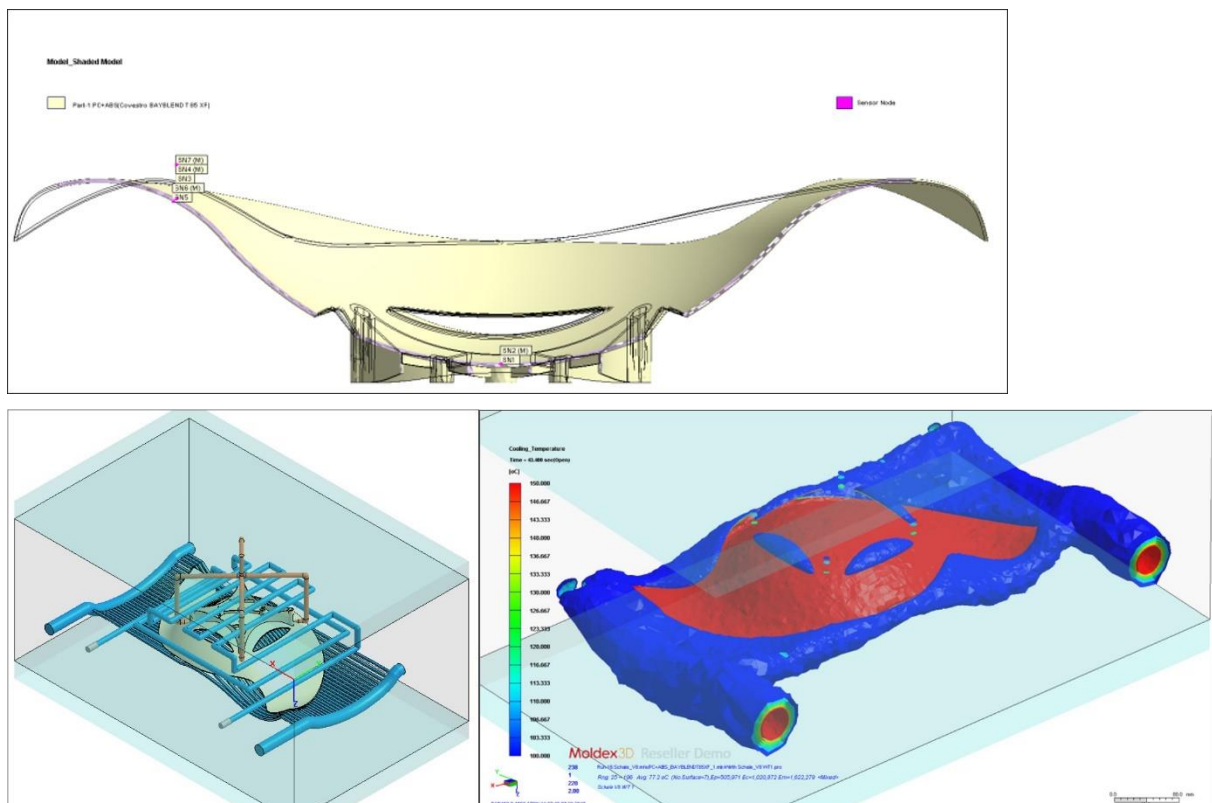
Im Detail:

- Konturnahe und konturfolgende Temperierkanäle
- Mechanische Herstellung - 2 schaliges System
- Standard-Werkzeugstähle verwendbar
- In der Größe nicht limitiert
- Reparaturen und Optimierungen kostengünstiger und schneller ausführbar
- Hohe Fertigungstiefe, Herstellung direkt im Werkzeugbau

Vorgegebener Thermoplast ist PC/ABS. Für diesen wurde im Wirth-Forschungsprojekt in einer thermischen und rheologischen Simulation das Temperierlayout und der Kanal- und

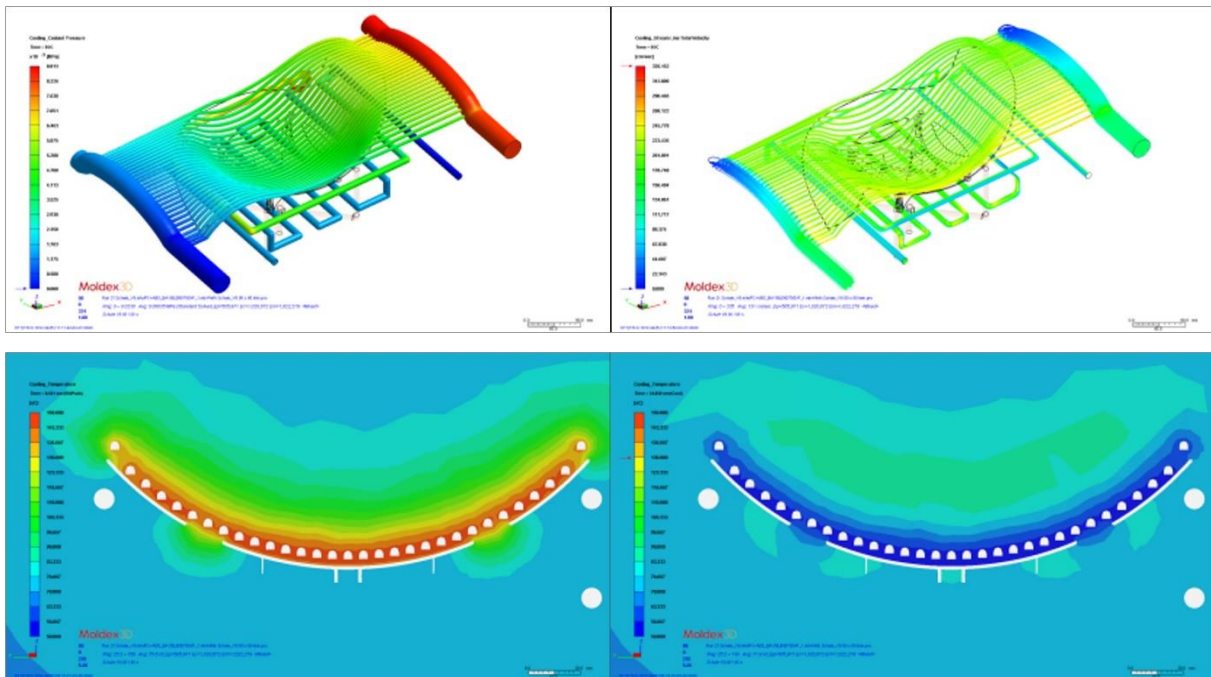
Verteilerdurchmesser optimiert. Auf Basis der Material- und Verarbeitungskennwerte wurden die Berechnungen mit einer oberen Werkzeugwandtemperatur von 150°C und einer Entformungs-Werkzeugwandtemperatur von 80°C durchgeführt. Die Temperaturdifferenz in einem geforderten Zyklus von unter 60 Sekunden betrug somit 70°C.

Abbildung 4 - Formteil Deko-Schale mit Temperierlayout und umgebender Werkzeugmasse



Das Temperierlayout zeigt große zentrale Ein- und Ausgänge für die parallel angeordneten kleineren Temperierkanäle. Mit Wasser als Temperiermedium und 170°C Mediumtemperatur wurden die Temperaturverläufe beim Einspritzen und in der Aufheiz- und Kühlphase simuliert. Bei einer Förderleistung von 60 l/min betrug die optimierten Durchmesser im zentralen Verteiler 25 - 30 mm, für die Temperierkanäle wurde ein optimaler Durchmesser von 8 - 10 mm analysiert.

Abbildung 5 - Simulation Strömungsgeschwindigkeiten und Temperaturverläufe



Aus der Simulation und dem von Wirth Werkzeugbau umgesetzten Pilotwerkzeug "Deko-Schale" ergab sich das Anforderungsprofil für das vorliegende DBU-Projekt "Entwicklung einer innovativen Temperiertechnik zur effizienten Steuerung der Werkzeugwandtemperatur beim physikalischen Schäumen von Großformteilen" mit Anforderungsprofil und Arbeitsplanung:

- Hohe kurzzeitige Förderleistung der Temperierung von bis zu 75 l/min., ein hoher Förderdruck von bis zu 8 bar
- Über den Zyklus regelbarer Durchsatz
- Leistungssteller zur Einstellung der Leistungsabgabe über den Zyklus
- Kein direkter Kontakt bei der Aufheizung zwischen Medium und Heizquelle, flächige Aufheizung
- niedrige Wasservolumen, reduzierte Durchmischung unterschiedlicher Wassertemperaturen – Heizphase- und Kühlphase

- Kombination aus Wasser- und elektrischer Beheizung mit Sensorik und Steuerung der Werkzeugwandtemperatur
- Modularer Aufbau, Anpassung an unterschiedliche thermische Werkzeugauslegungen möglich

Die Simulationen aus dem Wirth-Forschungsprojekt wurden bei der Auslegung des Temperiergerätes durch Firma E. Braun mitverwendet.

3.2 Arbeitspakete und Diskussion der Ergebnisse im Hinblick auf die ursprüngliche Zielsetzung

Entsprechend den Vorgaben an die zu entwickelnde Temperiertechnik wurden der Arbeitsplan- und Zeitplan erstellt. Die Arbeitspakete mit den einzelnen Arbeitsschritten wurden im DBU-Projekt nach Plan zeitlich und inhaltlich in der Zeit vom 21.10.2020 bis zum 30.09.2021 abgearbeitet.

Arbeitspaket 1: Technologische Grundlagen (1 MM / 1.-2. Monat)

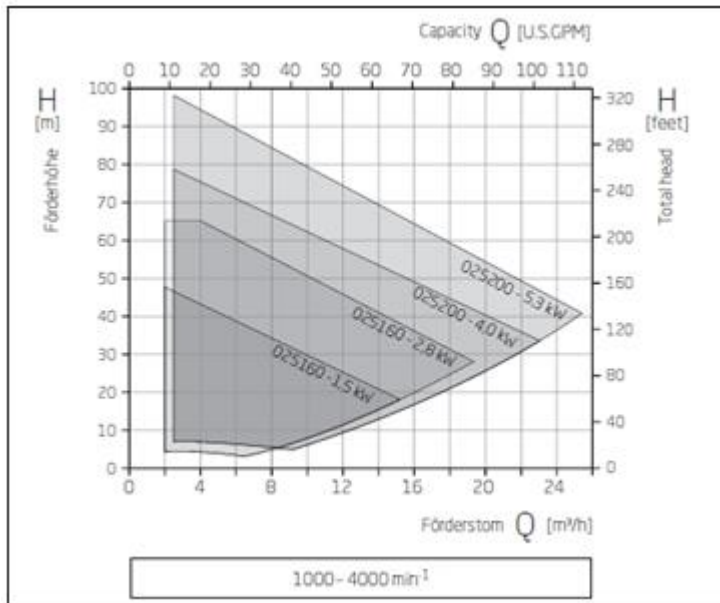
Auf der Basis des umgesetzten Temperierlayouts für die Deko-Schale, den Ergebnissen aus den Simulationen sowie den Vorgaben durch die Material- und Verarbeitungskennwerte (siehe Kapitel "Einleitung") wurden Recherchen durchgeführt und die technologischen Grundlagen des Materials erarbeitet. Die genauen Anforderungen an das Temperiergerät wurden festgelegt und das Lastenheft ausgearbeitet. Danach erfolgten die Auswahl und die Dimensionierung geeigneter Komponenten wie FU-Pumpen, Speicher, Heizelemente, Sensorik, Steuerung, Ventileinheit, Gehäuse sowie Schnittstellen.

Die FU-Pumpen decken einen breiten Durchsatz und Druckbereich ab und lassen sich individuell auf unterschiedliche Kühllayouts mit unterschiedlichen Fließwiderständen einstellen. Dazu bieten sie eine hohe Energieeffizienz.

Pumpenregelung - Abhängigkeit der Pumpenleistung - $P = n^3$

Reduzierung der Drehzahl um 20% = Leistungseinsparung von ca. 50%

Abbildung 6 - Pumpenkennlinien von FU-Pumpen



Arbeitspaket 2: Konzeption und Bau des Versuchsgärts (3 MM / 2.-4. Monat)

Das Versuchsgärät wurde nach dem Lastenheft und den festgelegten Komponenten im CAD erfasst, konstruiert und dann gebaut. Die nötige Sensorik wurde integriert, das Display, die Steuerung und Regelung verbaut und programmiert. Schnittstellen wurden entwickelt und die Datenauswertung und Visualisierung wurden programmiert und in ein Monitoring umgesetzt.

Wechseltemperiergerät im Überblick:

- Magnetgekuppelte Radialpumpen mit PMS (Permanentmagnet-Synchron-Motor)

Pumpen-Vorteile:

- Sanft - Anlauf der Pumpe
- Keine Drucküberschüsse
- Schonung von Komponenten, dadurch längere Lebensdauer

-
- Energieeinsparung (Verbrauchskosten)
 - Reduzierung hydraulischer Rückwirkungen
 - Regelung über FU
 - High-Flow-Durchlauferhitzer - kein direkter Kontakt zwischen dem Temperierwasser und der Heizquelle, indirekte Beheizung.
 - Leistungssteller mit Energiemessung für Heizung für energieeffiziente Leistungsregelung - statt Ein/Aus-Regelung.
 - Modulare Speicher für Kühl-/Heißwasserkreislauf - in der Größe optimiert, insbesondere Heißwasser, um die hohe Temperatur und die hohe Durchflussrate zu Beginn der Einspritzphase leisten zu können.
 - Temperatursensoren im Vor- und Rücklauf zur Regelung der Heiz- und Kühlphase - zur Minimierung der Wassermischungen Heiß-/Kaltwasserspeicher in der Umschaltphase.
 - Kopplung mit Sensoren im Werkzeug (Werkzeugwandtemperaturen an der Kavität)
 - Reduzierung von Wärmeverlusten, Optimierung verbaute Materialien und Isolierungen
 - Ventilbetrieb mit Medien-Rückführung - zur Minimierung der Wassermischungen Heiß-/Kaltwasserspeicher in der Umschaltphase.
 - Monitoring von allen Betriebsparametern und Sensordaten
 - Breites Schnittstellenspektrum und Protokolle wie z. B. OPC UA

Abbildung 7 - Aufbau des Wechseltemperiergerätes (CAD-Konstruktion)

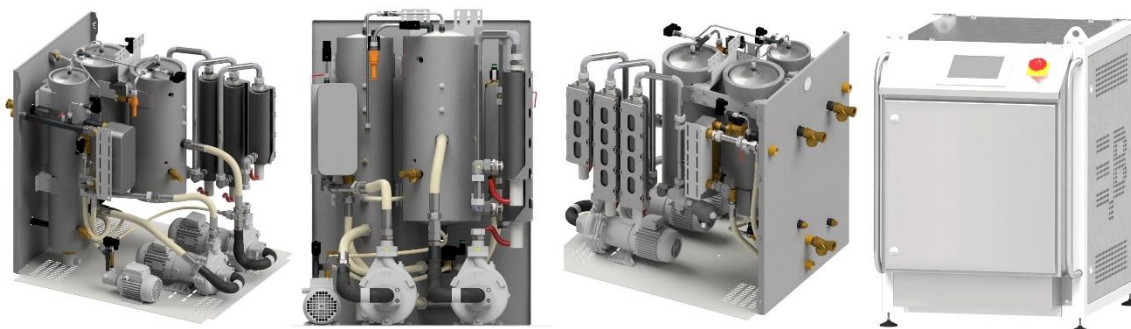


Abbildung 8 - Steuerung und graphische Auswertung

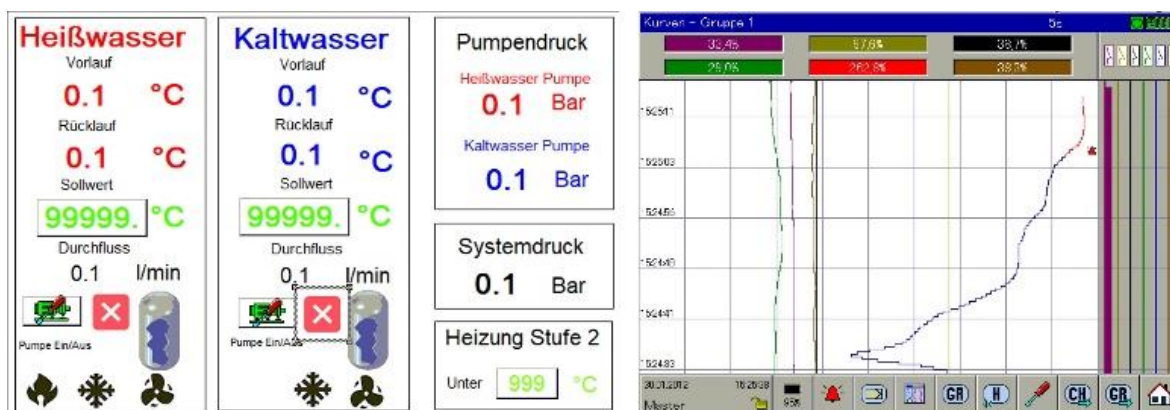
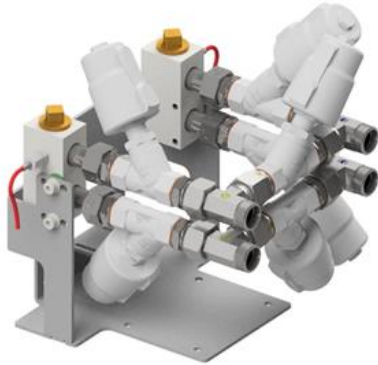


Abbildung 9 - gebautes Gerät für Funktionstests

**Konzeptionierung und Umsetzung der Ventilstation:**

- Kompakte Bauform auch bei größeren Nennweiten
- Robuster und wartungsfreundlicher Aufbau
- Hohe Temperaturbeständigkeit
- Hohe Sicherheit – Dichtheit
- Integrationsmöglichkeit für Temperaturfühler
- Anschluss für Entleer-Funktion (Ausblasen)
- Einfache und sichere Anbindung an das Temperiergerät
- Montageplatte für einfache Installation direkt an der SGM bzw. direkt am Werkzeug
- Kurze hydraulische Anschlüsse zum Werkzeug

Abbildung 10 - Ventilstation



Konzeptionierung, Umsetzung und Integration des Leistungsstellers

Geräte-Leistungsdaten:

- Heizleistung 18/36 kW
- Förderleistung ca. 75 l/min bei 3,5 bar.
- Spannung 400 V / 50 Hz

Konzeptionierung und Umsetzung eines Steuergeräts für Heizeinsätze und Schnittstellenzwicklung zur Integration der Steuerung über das Wechseltemperiergerät.

Umgesetzte Funktionalität:

- Regelung über Thermoelemente direkt in den Heizelementen
- Regelung über Thermoelemente im Werkzeug
- Kombination aus elektrischer Heizung und Fluid möglich
- Wechseltemperierung nur mit Kühlwasser ohne Temperiergerät möglich
- Einzelgerät mit bis zu 20 Regelstellen - maximal je 600 W
- Wechseltemperierung in Kombination mit Temperiergerät

- Einzelgerät mit Schnittstelle zum TG oder im Schaltschrank des TG integriert
- Ziel bei Kombinationsbetrieb: alle wesentlichen Funktionen über die Steuerung und das HMI des Temperiergeräts einstellbar. Einfache und universelle Bedienung.

Abbildung 11 - Steuerung und Bedieneinheit für elektrische Heizeinsätze



Arbeitspaket 3: Tests des Versuchsgerätes bei E. Braun und im Technikum bei Wirth (2 MM / 4.-5. Monat)

Bei E. Braun und im Wirth-Technikum wurden mit dem Wechseltemperiergerät und mit der elektrischen Beheizung umfangreiche Funktionstests durchgeführt. Getestet wurden alle Komponenten, einzeln und im Zusammenspiel. Des Weiteren wurde die Programmierung, die Bedienung und die Display-Visualisierung getestet.

Abbildung 12 - Funktionstest an einem genuteten Einsatz mit elektrischer Beheizung in Kombination mit eine Wasser-Wechseltemperierung



Abbildung 13 - Wechseltemperiergerät und Leistungssteller mit Ventilstation - Deko-Schale Sichtseite - Funktionstests

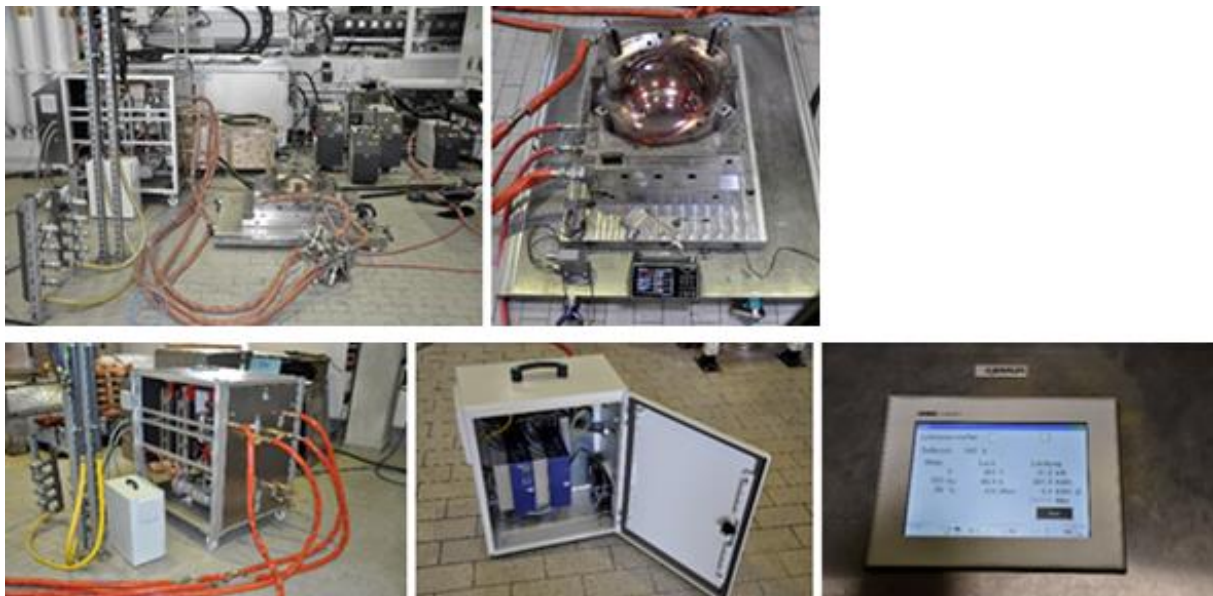


Abbildung 14 - Elektrische Heizstäbe - Steuerung über einzelne Thermoelemente in den Heizstäben oder über Thermoelemente in der Fläche möglich - Funktionstests



Arbeitspaket 4: Produktionsversuche im Technikum bei Firma Wirth (2,75 MM / 6.-8. Monat)

Es wurden alle Komponenten, einzeln, im Zusammenspiel und einzelne Varianten im Vergleich an der Spritzgießmaschine in halbautomatischer und in vollautomatischem Zyklus getestet. Die Wechseltemperierung wurde im Zusammenspiel mit verschiedenen Maschineneinstellungen, Schäumgraden und Bauteilqualitäten gefahren. Es erfolgte eine Optimierung der Anlagentechnik und eine Anpassung an die Prozesstechnik.

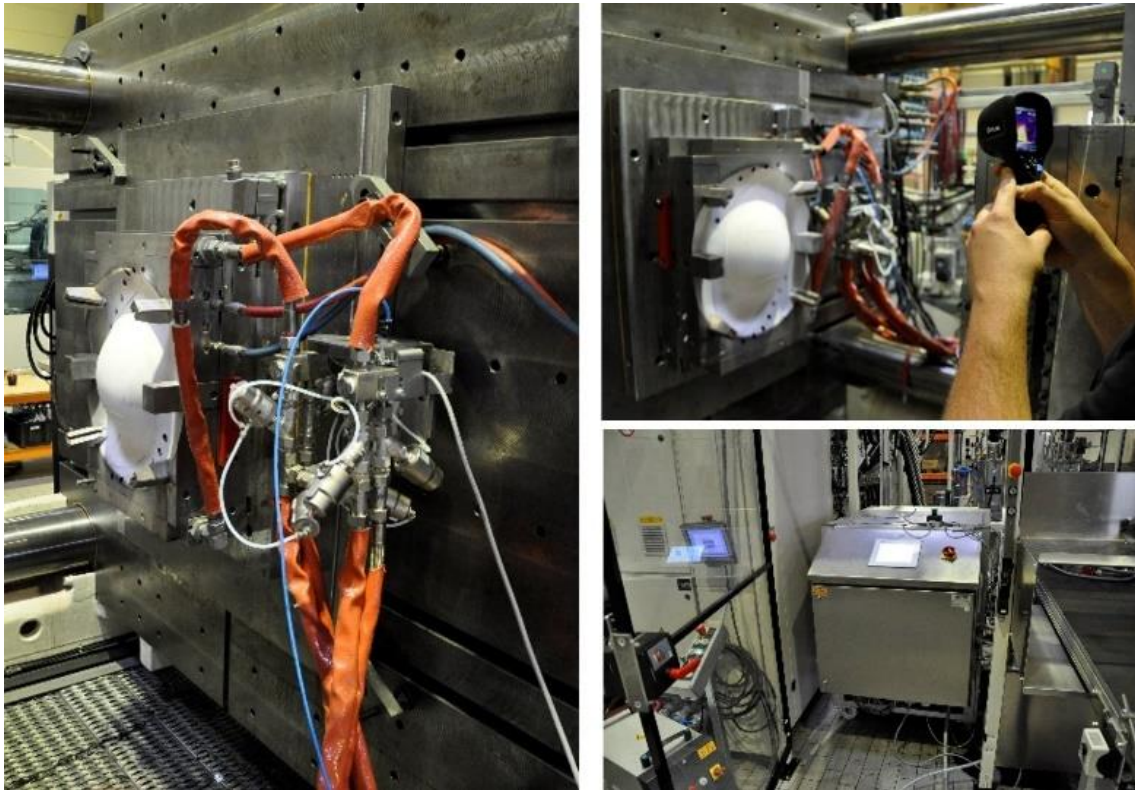
Ergebnis Wechseltemperierung Deko-Schale:

- An das Kühllayout anpassbare Temperiergeräteinstellung - Leistung und Energieeffizienz
- Geforderte Leistungsdaten umgesetzt
 - Zykluszeit unter 60 s
 - Aufheizzeit auf 150°C in 25 s
 - Obere (Einspritz-)Temperatur 150°C

- Untere (Entformungs-)Temperatur 80°C

Werkzeug auf der Maschine, mit angeschlossener und optimierter Ventilstation (nahe am Werkzeug, mit isolierten Vor- und Rücklaufleitungen und eingebrachten Temperatursensoren) und Temperiertechnik. Die Sichtseite wurde wegen der Reflektion mit Kreide eingesprüht. Überprüfung des Aufheiz- und Abkühlvorgangs mit der Wärmebildkamera, die geforderten Werte werden erreicht. Die Werte stimmen mit den Vorgaben und den Simulationsergebnissen gut überein.

Abbildung 15 - Untersuchungen mit Wärmebildkamera



Qualitätseigenschaften des geschäumten Bauteils mit dem Wechseltemperiergerät:

- gute Oberflächenabbildung von Hochglanzflächen und strukturierten bzw. genarbtten Oberflächen
- Keine Einfallstellen trotz massiven Masseanhäufungen

- Gleichmäßige Schaumstruktur und Schaumverteilung im Bauteil - Beeinflussung durch die Werkzeugwandtemperatur
- Beeinflussung der erstarrten Randschicht - die Randschichtstärke und -position über den Querschnitt ist beeinflussbar.
- Gute Energie- und Prozesseffizienz im Verhältnis zur Bauteilqualität (Strukturmechanik und Oberfläche)

Abbildung 16 - erreichte Bauteilqualität Formteil Deko-Schale; ganz rechts: erstarrte Randschicht und Poren in Vergrößerung



Anschlüsse und Fixierung der einzelnen Sensoren in den rückwärtigen, kalten Bereich des Werkzeugs. Monitoring und Zusammenstellung aller Sensordaten im Werkzeug und in der Temperiertechnik, pro Zyklus und über die Zeit.

Abbildung 17 - Im Werkzeug verbaute Sensorik und Monitoring im Spritzgusszyklus



Arbeitspaket 5: Redesign und Erstellung des Demonstrators (2 MM / 8.-12. Monat)

Bei Wirth im Technikum wurden weitere Funktionstests unter Betriebsbedingungen durchgeführt. Die Gerätetechnik wurde verifiziert und Störungsursachen beseitigt. Die Steuerung, insbesondere die Bedienung wurde mit den Einrichtern abgeglichen und optimiert. Die elektrische Beheizung wurde in die Steuerung des Wechseltemperiergeräts integriert und optimiert.

Nachrüstung eines zusätzlichen Displays:

Das Wechseltemperiergerät steht oft hinter der Spritzgießmaschine (Platzgründe und kurze Leitungslängen bis zum Spritzgießwerkzeug), die Maschine wird von vorn eingestellt. Unter der zentralen Maschinenbedienung ist ein zusätzliches Bedienfeld des Wechseltemperiergeräts mit Display platzierbar, der Anschluss erfolgt über ein Schnittstellenkabel.

Abbildung 18 - Zusätzliches Display



Versuche auf Basis der Wechseltemperierung:

Eine Parameteroptimierung des Schäumprozesses wurde durchgeführt, begleitende Studien als Funktionsnachweis erfolgten. Im Werkzeug wurden zur Überprüfung der tatsächlichen Werkzeugwandtemperatur Wärmebildaufnahmen herangezogen. Zur Überprüfung der Bauteilqualität wurde die Terahertz-Photonik am Werkzeug / an der Maschine installiert.

Abbildung 19 - Versuche: Wechseltemperierung - Wärmebildkamera-Bild - Überprüfung mit Terahertz-Photonik - Visualisierung der Ergebnisse

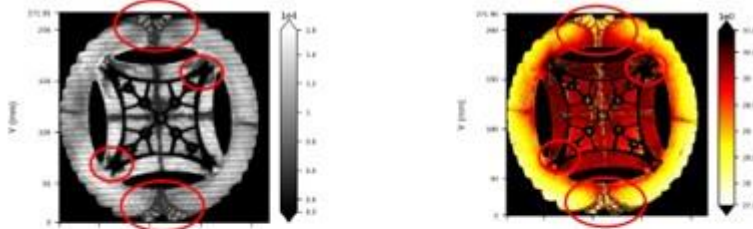


Inline-Bauteilqualitätsmessung mit Terahertz-Photonik:

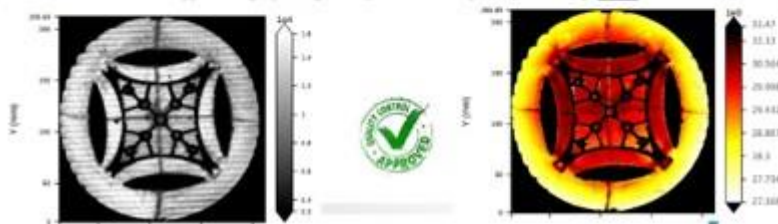
Beurteilung der Bindenähte mit und ohne Wechseltemperierung bei hohem Schaumanteil von 45%, Herstellung mit Öffnungsprägen durch Öffnen des Werkzeugs von 2 mm (geschlossenes Werkzeug) auf 3,4 mm. So kann das Treibmittel (CO₂-Gas) optimal wirken, das ergibt eine gute Oberflächenabbildung und eine gute Bauteilstabilität durch die höhere Wandstärke und die entstehende innere Schaumstruktur.

Abbildung 20 - Bilder der Inline-Bauteilqualitätsmessung mit Terahertz-Photonik

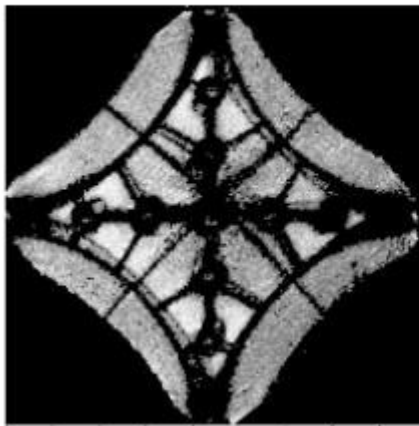
geschäumt mit Öffnungsprägen (von 2 auf ~3.4mm) ohne WechselTemp.



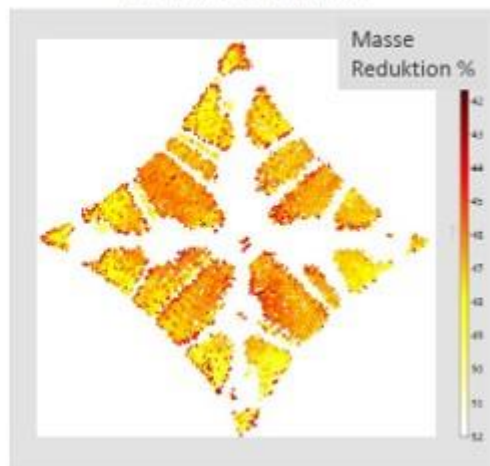
geschäumt mit Öffnungsprägen (von 2 auf ~3.4mm) mit WechselTemp.



Analyse des Rückseiten-Reflexes



Massereduktion %



Schadensfall magnetgekuppelte Radialpumpe mit PMS (Permanentmagnet-Synchron-Motor):

Bei der Pumpe wurde aufgrund der Kühlwasserqualität sowie Schmutz- und Rostpartikeln im Kühlwasser und in den Werkzeugtemperierkanälen (Bildung von Rost-Wasser während der Lagerung), die Keramikdichtung zerstört.

Zum Schutz des Wechseltemperiergeräts wurden Partikelabscheider an den Vor- und Rückläufen des Heiß- und Kaltwasserkreislaufs installiert. Die Partikelabscheider haben keine

Membran, sondern ein Metallgeflecht, das die Schmutzpartikel "entschleunigt", so dass sie in den Ablassbereich absinken. Zur Verstärkung ist ein Magnet an der Außenseite angebracht.

Abbildung 21 - Schadensfall an einer Pumpe



3.3 Ausführliche ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse

Eine Temperiertechnik, die wie im vorliegenden DBU-Projekt auf das bauteilspezifische Temperierlayout, die optimal ausgelegte Werkzeugtemperierung, skalierbar ist, ist technologisch bisher so am Markt nicht verfügbar. Sie bildet aber den Einstieg zur Verbreitung der physikalischen Schaumtechnologie in größerem Maßstab.

Das erfüllbare Bauteilanforderungsprofil (siehe Kapitel 2 - Einleitung, Seite 9), das sich im vorliegenden Projekt als umsetzbar erwiesen hat, und die ökonomischen Vorteile daraus müssen firmenspezifisch betrachtet werden. In Kombination mit den Umweltvorteilen (siehe ebenfalls Kapitel 2 - Einleitung) kann sich so jedes Unternehmen seine Kosten-Nutzen-Darstellung ausarbeiten.

In Abbildung 22 und Abbildung 23 sind unterschiedliche Schaumverteilungen über die Formteildicke (Maß H) als Bild und Schema dargestellt. Abbildung 22 zeigt im Bild einen Schaumanteil von 8%. Die Schaumstruktur ist insbesondere in der Bauteilmitte, die kompakte Randschicht ist stark ausgeprägt. Dies wird auch im Schema (rote Umrandung) deutlich, die Schaumverteilung (relative Dichte) über die Formteildicke, mit einer Dichte, die zur Bauteilmitte hin nur wenig und graduell abnimmt.

Abbildung 22 - Schaumstruktur Deko-Schale / ca. 8% Schaumanteil

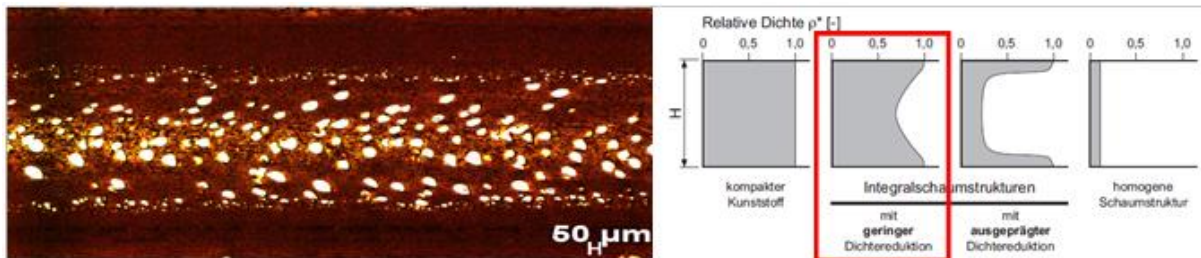
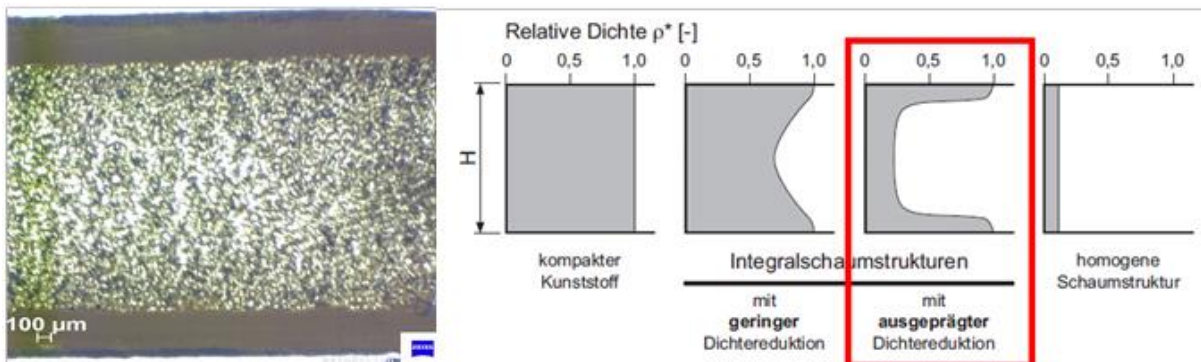


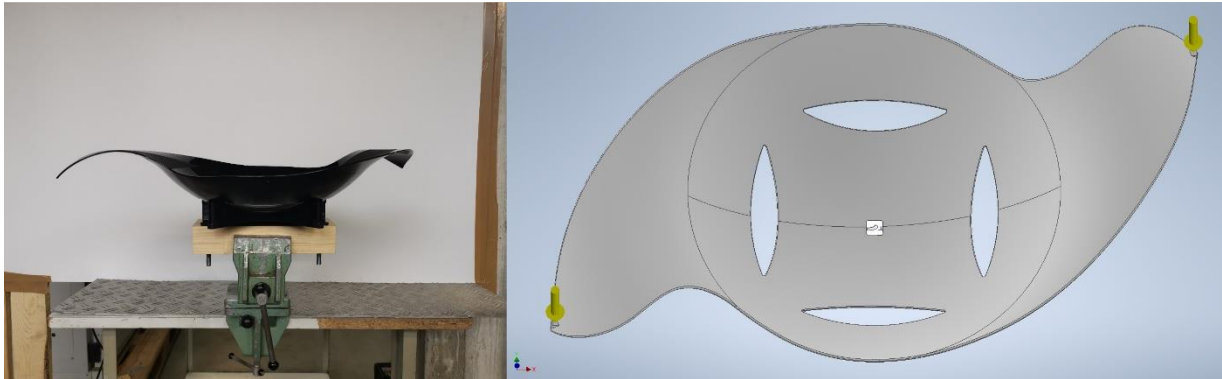
Abbildung 23 zeigt im Bild einen Schaumanteil von 45%, dies ist nur mit Negativprägen und Wechseltemperierung erreichbar. Die Schaumstruktur ist feinzellig und geht fast über die gesamte Dicke, die kompakte Randschicht ist schwach ausgeprägt. Dies wird auch im Schema (rote Umrandung) deutlich, die Schaumverteilung (relative Dichte) über die Formteildicke ist hoch und gleichmäßig, die kompakte Zone beschränkt sich auf den Randbereich, im Inneren ist die Dichte wegen der Blasen sehr viel geringer.

Abbildung 23 - Schaumstruktur Deko-Schale / ca. 45% Schaumanteil



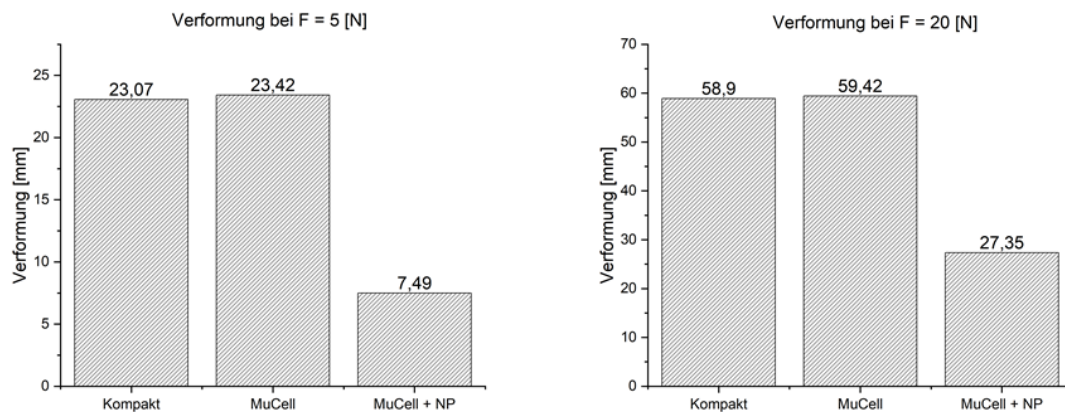
Ein hoher Schaumanteil von 45% reduziert den Materialverbrauch, erhöht aber gleichzeitig die Bauteilsteifigkeit und senkt damit die Verformung/Durchbiegung. Zur Messung der Verformung wurden Gewichte ($F = 5 \text{ N}$ und $F = 20 \text{ N}$) an die Endpunkte der "Deko-Schalen-Flügel" gehängt und die Durchbiegung gemessen.

Abbildung 24 - Verformungsmessung an der Deko-Schale



In Abbildung 25 ist die Verformung der Deko-Schale mit “kompakt” (also ungeschäumt), “8% Schaumanteil/MuCell” und “45% Schaumanteil/MuCell+NP” dargestellt (MuCell ist ein bestimmtes Schäumverfahren). Deutlich ist die höhere Bauteilsteifigkeit an der geringeren Verformung erkennbar, die durch Schäumen mit Negativprägen (NP) und Wechseltemperierung erreicht wird.

Abbildung 25 - Verformungsmessungen



3.4 Darlegung der Maßnahmen zur Verbreitung der Vorhabensergebnisse:

E. Braun hat als Hauptzielgruppe die Kunststoffverarbeitung, für die in den letzten Jahren ein Angebot aus Temperiergeräten, Anlagen zum thermischen Nieten und Feinfiltrationsanlagen entwickelt wurde. Der Bereich „Hoch- und Wechseltemperierung von Großwerkzeugen“ wird vom Markt gefordert und ist bisher kaum besetzt. Insbesondere im Bereich physikalisches Schäumen gibt es beträchtliche Wachstumspotenziale, wenn die Wechseltemperierung energieeffiziente und bedienerfreundliche Lösungen bietet. Die Zielgruppe braucht bzw. erwartet dazu ein durchgängiges Lösungsangebot aus thermisch optimiertem Werkzeug und einer spezifisch angepassten innovativen Temperiertechnik.

Zusammen mit dem Zugewinn von hochqualifiziertem Personal für die Entwicklungsarbeit und einem entsprechenden Kompetenzzugewinn, wird das Beratungsangebot und das Kooperationsnetzwerk von E. Braun wesentlich erweitert.

Hinzu kommt Know-how durch die gemeinsame Verwertung der Entwicklungsergebnisse, und die Vertriebspartnerschaft E. Braun / Wirth / ZIM-Netzwerk WinInMo führt durch Synergieeffekte zu weiteren Wettbewerbsvorteilen.

Für E. Braun ist das vorliegende DBU-Projekt der Einstieg in ein neues Technologiegebiet. Gerade die Entwicklung im physikalischen Schäumen mit Bezug zu Großwerkzeugen beinhaltet große Chancen für die Wechseltemperiertechnik. Firma Wirth ist Hersteller von 5-40 t Großwerkzeugen. Es wird durch die gemeinsame Markteinführungsstrategie über das Wirth-Technikum davon ausgegangen, dass die ersten neuen Wechseltemperiergeräte zusammen mit den Wirth-Großwerkzeugen verkauft werden. Zusätzlich eröffnen sich neue Märkte durch die neuen Kundenbeziehungen und die technischen Neuentwicklungen.

Ab 2025 rechnet E. Braun außerdem mit einer Steigerung durch Nachfolgebestellungen von größeren Firmen und - durch den Imageaufbau in der Spritzgießtechnik - von Bestellungen durch Neukunden, auch in Kombination mit kleineren Werkzeugen.

In den nachfolgenden Abbildungen sind die aktuellen Aktivitäten zur Vermarktung der Werkzeugtemperierung mit Wechseltemperierung in Kombination mit einer elektrischen Beheizung aufgeführt:

- Veröffentlichung der neuesten Innovationen von Firma Wirth und ihren Partnern in der Fachpresse
- jährliche Innovationstage für Geschäftspartner und Kunden im Wirth Technikum, zuletzt im September 2021, zur Vorführung der neuesten Innovationen aus dem ZIM-Netzwerk WinInMo und den damit verbundenen F&E-Projekten
- Präsentation der Firma E. Braun auf der Fakuma-Messe mit einem Stand

Am Markt besteht Interesse, erste Kontakte wurden geknüpft.

Abbildung 26 - K-Profi-Artikel - 09/2021



Abbildung 27 - Wirth Innovationstage in Helmbrechts, Präsentationen und Vorführungen im Technikum - 23.+24.09.2021

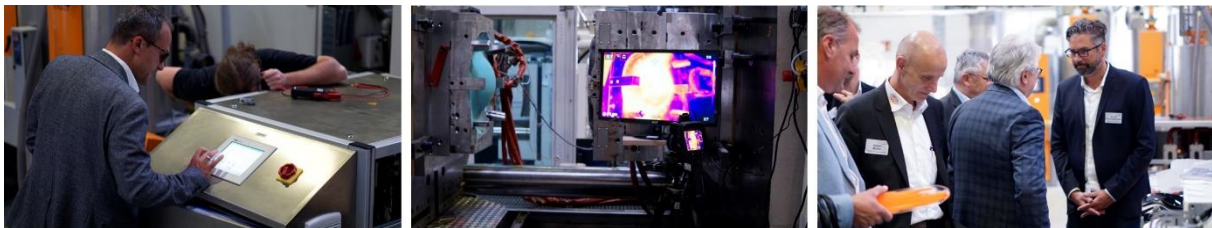


Abbildung 28 - Messe Fakuma in Friedrichshafen, Messestand E. Braun - 12.-16.10.2021



4. Fazit

Es wurde eine Wechseltemperiertechnik für Großwerkzeuge entwickelt werden, die es beim physikalischen Schäumen von Großformteilen ermöglicht, die Werkzeugwandtemperatur effizient zu steuern.

Durch das neue, auf die optimale Temperierung speziell zugeschnittene Werkzeugdesign in Kombination mit einer neuen, auf jedes Werkzeug speziell anpassbaren Temperiertechnik, wird das Schäumen mit Großwerkzeugen technisch und ökonomisch interessant. In der Produktion von Spritzgussteilen wird damit viel Material, Zykluszeit und Energie gespart und die Verwendung kleinerer Maschinen ermöglicht. Somit kann kostengünstiger und umweltfreundlicher produziert werden.

Dafür wurde eine Temperierung mit wechselnden Temperaturen über den Spritzzyklus (Wechseltemperierung) und die Kombination verschiedener Temperiertechniken entwickelt. Die wasserbasierte Wechseltemperierung ist auf Großwerkzeuge anpassbar und zusätzlich kann eine elektrische Temperierung in einem Gerät, unter einer gemeinsamen Steuerung, kombiniert werden.

Dieses Projekt diente als Ergänzung zu einem ZIM-Kooperationsprojekt der Wirth Werkzeugbau GmbH und der Hochschule Aalen. Dort werden Entwicklungen am Werkzeug gemacht, um das Schäumen mit exzellenter Bauteil- und Oberflächenqualität zu erreichen. E. Braun GmbH machte dazu ergänzend die passende Temperiergeräteentwicklung sowie Steuerung, in der Zukunft wollen beide gemeinsam mit ihrem neu gewonnenen Know-how an den Markt gehen und die Zielgruppe Kunststoffverarbeiter akquirieren.

Ein Konzept zur sensorischen Überwachung, Steuerung und Regelung vervollständigt die Entwicklung. Diese Neuentwicklungen, zusammen mit den parallellaufenden Entwicklungen am Werkzeug, sollen mithilfe von Pilotwerkzeugen und einem Temperiergerät-Demonstrator im hauseigenen Technikum von Wirth Werkzeugbau GmbH die Kunden im Spritzguss langfristig überzeugen.

Momentan laufen Gespräche, die Inline-Bauteilqualitätsprüfung mittels Terahertz-Photonik dauerhaft im Wirth Technikum in Helmbrechts und/oder im Kunststoffprüflabor der Hochschule Aalen dauerhaft zu installieren. In Summe ist so ein Abgleich von Prozess und Prozessparametern inklusive der Werkzeugwandtemperatur, die von der Wechseltemperierung abhängt, mit der Realität möglich. Das gemeinsame Wissen über die Einflüsse verschiedener Prozessparameter auf den Schaumanteil, die Schaumstruktur, die Schaumverteilung und die Randschicht ist ein äußerst attraktives Angebot, um Kunden zu gewinnen.

5. Literaturverzeichnis

[K-Profi] Ausgabe 9/2021 – Seite 16 - 22 / „Feuer und Flamme für Spritzguss“

[K-Profi international] Issue 3/2021 – Page 68 - 73 / „On Fire for Injection Moulding“