

FEURER Febra GmbH

Brackenheim/ Schwarzheide



## **Entwicklung einer Variotherm-Technologie zur Halbierung des Energieverbrauchs in der EPP-Formteilherstellung**

Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt, gefördert unter dem Az:  
32539/01 von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt

**Von Herrn Markus Feurer und Herrn Achim Ungerer**

**April 2017**

**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt**



Az	<b>32539/01</b>	Referat	<b>21/2</b>	Fördersumme	<b>63.250 €</b>
----	-----------------	---------	-------------	-------------	-----------------

**Antragstitel** „Entwicklung einer Variotherm-Technologie zur Halbierung des Energieverbrauchs in der EPP-Formteilherstellung“

**Stichworte** EPP, Variotherm, Energieverbrauch

<b>Laufzeit</b>	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
<b>18 Monate</b>	<b>02.07.2015</b>	<b>31.12.2016</b>	<b>1</b>

**Zwischenberichte** alle 6 Monate Kurzberichte

<b>Bewilligungsempfänger</b>	FEURER Febra GmbH Klingenberger Straße 2 74336 Brackenheim	Tel: 035752/927-23 Fax 035752/927-27
	Projektdurchführung: Betriebsstätte Schwarzheide	Projektleitung Herr Markus Feuer
	Naundorfer Straße 40/41	Bearbeiter
	01987 Schwarzheide	Herr Achim Ungerer

**Kooperationspartner** kein Kooperationspartner

### **Zielsetzung und Anlass des Vorhabens**

Die Fertigungstechnik von Bauteilen aus EPP-Partikelschäumen ist seit vielen Jahren in der Praxis etabliert. Im Fertigungsprozess werden große Mengen von Heißdampf eingesetzt. Meist erfolgt die Dampfbereitstellung für einen Fertigungsstandort zentral.

Im Fertigungsprozess werden Werkzeuge aus Aluminium eingesetzt. Deren Wärmekapazität beträgt ein Vielfaches der eigentlich für die Fertigung (Verschweißen der Partikel) erforderlichen Wärmemenge. In jedem Fertigungszyklus dient über 99 % der über den Heißdampf zugeführten Wärmeenergie nur dem Aufheizen der Werkzeuge und Dampfkammern. Beim Abkühlen geht ein großer Teil dieser Energie verloren bzw. kann nur mit hohem technischem Aufwand wiederverwendet werden.

Im Projekt ist vorgesehen, die thermisch wirksame Masse des Werkzeuges zu verringern. Hierfür sollen zwei Lösungsansätze parallel genutzt werden.

Durch eine in die Werkzeuge eingebrachte thermische Isolierung wird die wirksame Wärmekapazität des Werkzeuges verringert und nur auf die technologisch erforderlichen Zonen beschränkt. Damit kann der Dampfverbrauch um ca. 50 % gesenkt werden. Der drastisch verminderte Medien- und Energieverbrauch ermöglicht zudem eine in die Anlage integrierte, autarke Temperierung der thermisch aktiven Werkzeugbereiche. Mit diesen Maßnahmen können zusätzlich auch die Zykluszeiten verkürzt werden. Durch den geringeren Dampfbedarf kann eine zentrale Dampfversorgung entfallen. Damit ergeben sich zusätzliche Einsparungen, da Wärme- und Druckverluste die mit einer zentralen Dampfversorgung verbunden sind entfallen. Bauseits werden nur noch die Medien Druckluft, Kühlwasser und Strom für die Versorgung der Produktionsmaschinen benötigt.

### **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

- AP 1 Konzepterstellung Variotherm (Werkzeugisolation, Werkzeugaufbau, Temperierung)
- AP 2 Pflichtenheft Variotherm
- AP 3 Durchführen von Versuchen zur Werkzeugisolation (Materialien, Geometrien, Befestigungen, Sicherheit)
- AP 4 Entwicklung Werkzeug mit Temperierung (Aufbau, Gestaltung der Temperierkanäle)
- AP 5 Entwicklung Temperierung
- AP 6 Entwicklung Fertigungstechnologie
- AP 7 Aufbau der Komponenten (Werkzeug mit Isolierung und Temperierung, Temperiereinheit)
- AP 8 Integration in prototypische Anlage
- AP 9 Funktionstests, Fertigungstests
- AP 10 Optimierung
- AP 11 Langzeittests
- AP 12 Dokumentation

## ***Ergebnisse und Diskussion***

Die Konzepte der Maschinentechnik wurden detailliert und eine Vorauswahl von Isoliermaterialien erstellt. In Praxistests wurden die Isoliermaterialien sowie deren Befestigung im Werkzeug getestet. Geeignete Lösungen wurden gefunden. Mittels thermischer Simulationen wurde die Temperaturverteilung bewertet. Im Wesentlichen stimmten die Simulationsergebnisse mit den Ergebnissen der Versuche überein.

Bereits mit dem erreichten Entwicklungsstand der Werkzeugtechnik kann eine hohe Einsparung von Heißdampf erzielt werden. Mit der Temperierung „Variotherme“ lässt sich bisher kein Vorteil zum Stand der heutigen Technik erzielen. Zudem sind die Preise für Dampf gefallen, damit sinkt die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Energieeinsparung.

Es wurden weiterhin Lösungen entwickelt um die thermische Isolation im Werkzeug bei größerer Nutzfläche (12 statt 6 Kavitäten je Werkzeug) zu verbessern. Beide Maßnahmen zusammen ergeben eine erhebliche Einsparung von Heißdampf. Die entwicklungsbegleitenden Simulationen haben wesentlich zum Erfolg beigetragen. Die Entwicklungen der Temperierung wurden nach den ersten technischen und energetischen Abschätzungen nicht weitergeführt da sich damit keine weitere Steigerung der Wirtschaftlichkeit erreichen lässt.

Aus technischer Sicht wurden nur 50 % der Zielstellungen erreicht. Damit konnten ca. 80 % der energetischen und wirtschaftlichen Ziele realisiert werden.

Das von FEURER parallel weiterentwickelte System Dampfkammer / Isolation / Werkzeuge und Maschinentechnologie führt heute zu einem geringeren Energieverbrauch als zu Beginn des Projektes und wird deshalb intensiv weiterverfolgt. Hierbei werden die Erkenntnisse aus dem Projekt genutzt.

## ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

Aufgrund der Marktführerschaft des Unternehmens und der direkten Vermarktung an Automobilhersteller bzw. deren Zulieferer wurden die ersten Schritte zur Präsentation der Projektergebnisse bereits direkt mit den jeweiligen Kunden durchgeführt.

Langfristig kann die neue Technologie auch für weitere Teile aus EPP-Schaum eingesetzt werden. Hierfür werden entsprechende Marketingmaßnahmen (Informationsveranstaltungen, Messen, Veröffentlichung usw.) genutzt.

## ***Fazit***

Die Lösung zur Senkung der thermisch wirksamen Masse der Werkzeuge durch Isolierungen wird weiterentwickelt. Bei der Entwicklung neuer Werkzeuge werden wärmetechnische Simulationen verstärkt eingebunden. Es hat sich bestätigt, dass bei jeder Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz eine ganzheitliche technische, technologische und energetische Betrachtung der Fertigungsprozesse immer mehr an Bedeutung gewinnt.

## Inhaltsverzeichnis:

<b>Projektkennblatt</b> .....	<b>2</b>
<b>I. Verzeichnis von Bildern und Tabellen</b> .....	<b>5</b>
<b>II. Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Zusammenfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Einleitung: Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b> .....	<b>9</b>
<b>3 Hauptteil</b> .....	<b>13</b>
<b>3.1 Darstellung der Arbeitsschritte</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2 Ergebnisse und Diskussion</b> .....	<b>19</b>
<b>3.3 Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse, zusätzliche Umweltentlastung</b> .....	<b>21</b>
<b>3.4 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation</b> .....	<b>22</b>
<b>4 Fazit</b> .....	<b>23</b>
<b>5 Literaturverzeichnis</b> .....	<b>23</b>
<b>6 Anhänge</b> .....	<b>23</b>

## I. Verzeichnis von Bildern und Tabellen

### Abbildungen

6

### Tabellen

3

## II. Verzeichnis von Begriffen, Abkürzungen und Definitionen

### Begriffe

#### EPP:

Expandiertes Polypropylen. Polypropylen-Schaum wurde in den 1980er Jahren entwickelt. Es handelt sich hierbei um einen Partikelschaumstoff auf Polypropylen-Basis.

#### EPS:

Expandiertes Polystyrol ist ein harter Dämmstoff mit offenporiger Struktur. Der Dämmstoff besteht aus Polystyrol, das während der Produktion zu einem Hartschaum aufgebläht wird.

#### EPP Formteilmfertigung

EPP Partikelschäume werden in Partikelschaum-Formteilautomaten verarbeitet. Der Fertigungsprozess für Bauteile aus EPP hängt von einer Vielzahl von Einflussfaktoren ab, da hier neben den festen Ausgangsstoffen (EPP-Schaumpartikel mit Durchmessern von etwa 3 bis 5 mm) gleichzeitig auch gasförmige (Heißdampf) und flüssige Medien (Wasser) in einem Prozessraum (Werkzeug) zu kontrollieren sind. Zudem sind die Bauteile oft großflächig, was für eine effektive Fertigung große Werkzeuge mit mehreren Kavitäten erfordert. Nach der Vorbehandlung des Rohstoffes (Trocknen und Vorwärmen) wird dieser in die Form gefüllt. Anschließend erfolgt das Bedampfen und Abkühlen in mehreren Teilprozessen. Hierbei werden Temperaturen von 150 °C erreicht. Durch die Dampfeinwirkung wird die Oberfläche der EPP-Partikel erhitzt. Mit der gleichzeitigen Volumenvergrößerung füllen die Partikel die gesamte Kavität und versintern zu einer festen, formstabilen Struktur. Zum Abkühlen der Form und des EPP-Formteils wird Wasser von typisch 25°C – 30°C über Düsen auf die Rückseite des Werkzeugs eingespritzt. Nach dem Schaumdruckabbau und dem Stabilisieren wird das Werkstück entformt. Nach dem Schäumen werden die Bauteile in einem mehrstündigen Temperierschritt getrocknet und erhalten hier ihre endgültige Form und eine glatte, geschlossene Oberfläche.

#### Schaumspritzgießen

Beim Schaumspritzgießen von Thermoplasten und thermoplastischen Elastomeren wird durch Zugabe eines chemischen oder physikalischen Treibmittels zur Polymerschmelze ein Aufschäumen des Polymers beim Einspritzen in die Kavität erreicht. Die so hergestellten Integralschäume können sehr dünnwandig realisiert werden und zeichnen sich vor allem durch Gewichts- und Materialeinsparung sowie durch eine hohe spezifische Biegesteifigkeit und Maßhaltigkeit aus. In diesem Fertigungsprozess erfolgt ein vollständiges Aufschmelzen des Polymergranulates. Durch chemische oder physikalische Prozesse erfolgt eine Volumenvergrößerung. Dieser Prozess ist hinsichtlich des Energieverbrauchs und der Anlagenkosten im Vergleich zum EPP Schaum Prozess wesentlich teurer. Im Vordergrund stehen die mechanischen Eigenschaften und die hohe Maßhaltigkeit der Bauteile.

#### Variothermes Spritzgießen

Variotherm: vario (lat. verschieden sein, sich verändern, schwanken ) und therm (warm). Der Begriff variotherm wird häufiger verwendet im Spritzguss im Sinne einer „Methode die über den Zyklusverlauf Werkzeuge abgestimmt temperiert“. Durch Einsatz von Variotherm® ausgeführten Spritzgießwerkzeugen können Bauteile mit hochwertigen Oberflächen erzeugt werden beispielsweise für Hochglanzrahmen von LCD-Bildschirmen oder Autoradios. Prinzip ist eine variotherme Werkzeugtemperierung, bei der die Werkzeugkavität so vortemperiert wird, dass das Polymer nach dem Einspritzen schmelzflüssig

bleibt, wodurch eine präzise Abbildung der Oberflächenfeinheiten im Werkzeug und eine schlierenfreie Oberfläche erzielt werden. Durch ein optimiertes Temperiersystem mit konturnaher Flächentemperierung der Kavität benötigt der variotherme Prozess nur unwesentlich längere Kühlzeiten als der konventionelle Prozess. Weitere Vorteile sind das Wegfallen von sichtbaren Bindenähten und eine erhebliche Reduktion des Bauteilverzugs. Diese Technologie wird bei Spritzgiessprozessen eingesetzt. Vorteile sind eine höhere Qualität der Bauteiloberflächen, eine sehr gute Konturtreue und die Möglichkeit zum Abformen kleinster Mikro- und Nanostrukturen.

### **Abkürzungen**

entfällt

### **Definitionen**

entfällt

# 1 Zusammenfassung

## Durchgeführte Untersuchungen

Im Projekt wurden Lösungen erarbeitet um die thermisch wirksame Masse eines Werkzeuges in der EPP Formteilmfertigung zu verringern. Hierfür wurden zwei Lösungsansätze parallel betrachtet. Durch eine in die Werkzeuge eingebrachte thermische Isolierung wird die wirksame Wärmekapazität des Werkzeuges verringert und nur auf die technologisch erforderlichen Zonen beschränkt. Damit kann der Dampfverbrauch um ca. 50 % gesenkt werden. Der drastisch verminderte Medien- und Energieverbrauch ermöglicht zudem eine in die Anlage integrierte, autarke Temperierung der thermisch aktiven Werkzeugbereiche.

Die Konzepte der Maschinentechnik wurden detailliert und eine Vorauswahl von Isoliermaterialien erstellt. In Praxistests wurden die Isoliermaterialien sowie deren Befestigung im Werkzeug getestet. Geeignete Lösungen wurden gefunden. Mittels thermischer Simulationen wurde die Temperaturverteilung bewertet. Im Wesentlichen stimmten die Simulationsergebnisse mit den Ergebnissen der Versuche überein.

Bereits mit dem erreichten Entwicklungsstand der Werkzeugtechnik kann eine hohe Einsparung von Heißdampf erzielt werden. Mit der Temperierung „Variotherme“ lässt sich bisher kein Vorteil zum Stand der heutigen Technik erzielen. Zudem sind die Preise für Dampf gefallen, damit sinkt die Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Energieeinsparung.

## Entwicklungen

Es wurden Lösungen entwickelt um die thermische Isolation im Werkzeug bei größerer Nutzfläche (12 statt 6 Kavitäten je Werkzeug) zu verbessern. Beide Maßnahmen zusammen ergeben eine erhebliche Einsparung von Heißdampf. Die entwicklungsbegleitenden Simulationen haben wesentlich zum Erfolg beigetragen. Die Entwicklungen der Temperierung wurden nach den ersten technischen und energetischen Abschätzungen nicht weitergeführt da sich damit keine weitere Steigerung der Wirtschaftlichkeit erreichen lässt.

## Erzielte Ergebnisse:

Das von FEURER parallel weiterentwickelte System Dampfkammer / Isolation / Werkzeuge und Maschinentechnologie führt heute zu einem geringeren Energieverbrauch als zu Beginn des Projektes und wird deshalb intensiv weiterverfolgt. Hierbei werden die Erkenntnisse aus dem Projekt genutzt.

## Empfehlungen für das weitere Vorgehen

Die Lösung zur Senkung der thermisch wirksamen Masse der Werkzeuge durch Isolierungen wird weiterentwickelt. Bei der Entwicklung neuer Werkzeuge werden wärmetechnische Simulationen verstärkt eingebunden. Es hat sich bestätigt, dass bei jeder Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz eine ganzheitliche technische, technologische und energetische Betrachtung der Fertigungsprozesse immer mehr an Bedeutung gewinnt.

## Kooperationspartner:

Am Projekt war kein Kooperationspartner beteiligt.

Das Vorhaben wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt gefördert unter dem Aktenzeichen 32539/01.

## 2 Einleitung: Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

### *Ausgangssituation*

Die Fertigungstechnik von Bauteilen aus EPP-Partikelschäumen ist seit vielen Jahren in der Praxis etabliert. Im Fertigungsprozess werden große Mengen von Heißdampf eingesetzt. Meist erfolgt die Dampfbereitstellung für einen Fertigungsstandort zentral.

Im Fertigungsprozess werden Werkzeuge aus Aluminium eingesetzt. Deren Wärmekapazität beträgt ein Vielfaches der eigentlich für die Fertigung (Verschweißen der Partikel) erforderlichen Wärmemenge. In jedem Fertigungszyklus dient über 99 % der über den Heißdampf zugeführten Wärmeenergie nur dem Aufheizen der Werkzeuge und Dampfkammern. Beim Abkühlen geht ein großer Teil dieser Energie verloren bzw. kann nur mit hohem technischem Aufwand wiederverwendet werden.

Im Mittel dauert ein Fertigungszyklus ca. 110 s. Hierbei werden jeweils bis zu 15 kg Dampf pro Werkzeug (mit 6 Kavitäten) verbraucht. Der Dampfdruck im Werkzeug beträgt ca. 3 - 4 bar. Über 99% des Dampfes und damit der Wärmeenergie dienen zur Beheizung des Werkzeuges, deutlich weniger als 1% des Dampfes sind für den eigentlichen Fertigungsvorgang (Verschweißen der Partikel) erforderlich.

Ein Werkzeug-Dampfkammersystem aus Aluminium mit einer Masse von 500 kg benötigt zum Erwärmen von 60 °C auf 140°C eine Energie von  $500 \text{ kg} \times 80 \text{ K} \times 0,89 \text{ kJ}/(\text{K kg}) = 35.600 \text{ kJ}$  (ca. 10 kWh). Weitere Dampfmenngen werden für die Medienführung in der Maschine und für Spülprozesse benötigt. Der zentral bereitgestellte Sattdampf (7 bar ü) besitzt eine Wärmeenergie von 768 kWh/t, bzw. ca. 12 kWh je 15 kg. Mit einem Werkzeug werden pro Jahr ca. 200.000 Zyklen gefahren. Damit ergibt sich ein Dampfverbrauch von 3.000 Tonnen (2,4 Mio. kWh) je Maschine.

Versuche, EPP- Werkzeuge selbst aus Isolationswerkstoffen herzustellen, scheiterten an nicht ausreichenden Oberflächenqualitäten und mangelhafter Teilegeometrie, die aus ungenügender Kühlung des verschäumten Bauteils resultieren.

Metallische Werkstoffe geringerer spezifischer Wärmekapazität bei geringerer Wärmeleitfähigkeit (zum Beispiel rostfreie Stähle) haben sich hingegen bewährt und weisen teils bessere mechanische Eigenschaften als das gemeinhin verwendete Aluminium auf.

Während im Bereich des Spritzgiessens eine Vielzahl neuer Technologien erforscht werden, gibt es bei Technologien zur Verarbeitung von Partikelschaum nur sehr wenige kompetente Forschungseinrichtungen. Eine davon ist die Neue Materialien Bayreuth GmbH. Auf dem Gebiet der Materialentwicklung beschäftigt man sich hier mit der Herstellung von maßgeschneidertem Rohmaterial und der Modifizierung von bestehenden Rohstofftypen. Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit und Energieeinsparung werden innovative Werkzeugkonzepte und variotherme Prozessabläufe entwickelt und getestet. Diese werden bisher nicht in der Produktion eingesetzt.

Die variotherme Heiz- bzw. Kühltechnik ist im Spritzgussbereich eine seit Jahren gängige Technik. Im EPS Bereich wird diese Technik seit 2013 serienmäßig in speziellen Dämmplatten Maschinen eingesetzt. Die serienmäßige Einführung dieser Technik bei einem Hartschaum (EPS) mit einem geringem Delta T zwischen Dampf- und Entformbereich konnte nach einer ca. 4-jährigen Entwicklungszeit umgesetzt werden.

Bei einem Weichschaum (EPP) mit einem Delta T zwischen einer Dampftemperatur von ca. 140 ° C und Entformtemperatur von ca. 70 ° C ist die Einführung der variothermen Technik noch nicht erfolgt. Es gab Versuche u.a. bei Neue Materialien Bayreuth und Fa. Teubert (Unterauftragnehmer), aber eine Umsetzung zur Herstellung von Serien-EPP-Teilen mit einer variothermen Heiz- und Kühltechnik ist bisher nicht erfolgt.

### **Zielsetzung**

Im Projekt war vorgesehen, die thermisch wirksame Masse des Werkzeuges zu verringern. Hierfür sollten zwei Lösungsansätze parallel genutzt werden.

Durch eine in die Werkzeuge eingebrachte thermische Isolierung wird die wirksame Wärmekapazität des Werkzeuges verringert und nur auf die technologisch erforderlichen Zonen beschränkt. Damit kann der Dampfverbrauch um ca. 50 % gesenkt werden. Der drastisch verminderte Medien- und Energieverbrauch ermöglicht zudem eine in die Anlage integrierte, autarke Temperierung der thermisch aktiven Werkzeugbereiche. Mit diesen Maßnahmen können zusätzlich auch die Zykluszeiten verkürzt werden. Durch den geringeren Dampfbedarf kann eine zentrale Dampfversorgung entfallen. Damit ergeben sich zusätzliche Einsparungen, da Wärme- und Druckverluste die mit einer zentralen Dampfversorgung verbunden sind entfallen. Bauseits werden nur noch die Medien Druckluft, Kühlwasser und Strom für die Versorgung der Produktionsmaschinen benötigt.

Um das Projektziel zu erreichen waren Themenstellungen in den Bereichen Werkzeugbau, Fertigungstechnologie, Temperierung und Erfassung des Energie- und Medienverbrauches zu realisieren:

#### Werkzeugbau

- Feste und bewegliche Werkzeugseiten werden als Formnester mit integrierter Heiz- und Kühlmedienführung ausgeführt
- Ermittlung serientauglicher Isolationsmaterialien (Werkzeugstandzeit)
- Ermittlung der optimalen Dicke der Isolationsschicht (Stand heute: ca. 5 mm)
- Geschlossener Medienkreislauf für die Temperierung des Werkzeuges
- Kaltes und warmes Temperiermedium sollen sich nicht vermischen
- Druck im Temperiersystem (Wasser) max. 20 bar, das Werkzeug einschließlich der Isolierung muss diesem Druck standhalten
- Anzahl der Dampfdufen in Abhängigkeit der Wasserkanäle so groß wie möglich, damit muss der Querschnitt der Temperierkanäle so gering wie möglich sein
- Wärmeanalyse Alu / Stahl für Werkzeug zur Festlegung der Werkzeugwandstärke und Ermittlung des Energiebedarfs im Vorfeld
- Berücksichtigung der Wärmeausdehnung im Variotherm-Prozess

#### Fertigungstechnologie

- Zykluszeit < 60 s (zurzeit 110 s)
- Steuerung der Temperierung im Variotherme-Schäumprozess muss in die Maschinensteuerung integriert werden.
- Einzelne Prozessparameter müssen bei jedem Zyklus aufgezeichnet werden, z. B. die Medien- und Werkzeugtemperatur über die Prozesszeit

- Der Temperaturverlauf im variothermen Schäumprozess (Temperaturen + Zeiten) muss prozesssicher und reproduzierbar sein.
- Festlegung der Umschaltparameter Heizen / Kühlen zur Sicherung der Produktqualität bei gleichzeitig wirtschaftlicher und effizienter Produktion (Zeit, Temperaturen,..)
- Crackspalt (Grad der Komprimierung des Rohmaterials in der Kavität) über Maschinensteuerung frei einstellbar, Positionierung +/- 0,1 mm

### Temperierung

- Werkzeugtemperierung
- Temperatursensorik für den Medientvor- und rücklauf (mit den gegenwärtigen Lösungen kann der erforderliche Parameterbereich nicht geregelt werden)
- Ermittlung der Wirtschaftlichkeit einer autonomen Dampfversorgung je Maschine im Vergleich zur zentralen Versorgung

### Energie- und Medienverbrauch

- Senkung des Dampfverbrauchs um 50 % (je Halbschale heute 1,5 kg, Ziel 0,7 kg mit Variotherm-Prozess)
- Anlagenspezifische Erfassung der Luftverbrauchs (erzielbare Einsparung wird in der Entwicklungsphase festgelegt)
- Anlagenspezifische Erfassung der Kühlwasserverbrauchs (erzielbare Einsparung wird in der Entwicklungsphase festgelegt)
- Anlagenspezifische Erfassung der Elektroenergieverbrauchs (erzielbare Einsparung wird in der Entwicklungsphase festgelegt)
- Als Abwasser entsteht nur Kondensat aus dem Bedampfungsprozess; kein Anfall von Kühlwasser-Rücklauf

### Aufgabenstellung

Ausgangspunkt der Überlegungen zu diesem Projekt war die Tatsache, dass nur ein sehr geringer Teil der Energie des Dampfes für den eigentlichen Prozess benötigt wird. Aufgrund der Bauteilgröße sowie der hohen mechanischen und thermischen Beanspruchungen besitzen die Werkzeuge eine große Masse und damit eine hohe Wärmekapazität.

Um die zum Heizen und Kühlen erforderliche Energie zu verringern sollen über geeignete Isolierschichten die thermisch aktiven Bereiche eines Werkzeuges verkleinert werden.

Um eine durchgängige Verschweißung (Versinterung) der Schaumperlen zu erreichen, kann nach Stand der Technik auf die Zugabe von Dampf nicht verzichtet werden, da nur durch diesen Energie in die Tiefe des Formteils und zwischen die Schaumpartikel eingebracht werden kann.

Schäume haben naturgemäß eine sehr geringe Wärmeleitfähigkeit. In ausreichend kurzer Zeit kann die benötigte Energie daher nicht allein durch Wärmeleitung von außen eingebracht werden.

Die grundlegende Idee ist daher, die prozesstechnische Trennung der Beheizung des Werkzeugs durch Temperiermedien von der Verschweißung der Schaumpartikel durch Wasserdampf.

Der Formteilprozess ist ein variothermer Prozess, d.h. Werkzeug und Werkzeugumfeld werden während eines Produktionszyklus abwechselnd und aktiv beheizt und gekühlt.

Thermisch wirksam sind die Bestandteile des Werkzeug-Dampfkammersystems, die während eines Produktionszyklus eine Temperaturänderung erfahren. Diese beträgt ca. von 60°C auf 150°C (also ca. 90K) und zurück auf 60°C für die unmittelbaren Werkzeugwandungen. Die Temperaturänderung an Bauteilen der Dampfkammern, die nicht unmittelbar der Einwirkung von Dampf und Kühlwasser ausgesetzt sind, sind teils geringer, da sich während der relativ kurzen Zeiten Gradienten ausbilden.

Thermische Berechnungen und Simulationen haben gezeigt, dass sich mit dem Lösungsansatz, durch Isolation des Dampfes von der Werkzeugumgebung (Dampfkammer) die thermisch wirksame Masse zu verringern, eine Energieeinsparung von bis zu 30 % erreichen lässt.

Durchgeführte Recherchen und Voruntersuchungen zu den Anforderungen an die Isoliermaterialien haben jedoch gezeigt, dass diese extremen und wechselnden Beanspruchungen standhalten müssen. Die Oberflächentemperatur der Isolationen ändert sich in jedem Zyklus zwischen 60 und 150°C, der Druck innerhalb des Werkzeuges zwischen 0 und 4 bar, unter Einwirkung von strömendem Wasserdampf und Kaltwasserbeaufschlagung. Aufgrund der prinzipiellen Werkzeugkonstruktion sind die Isoliermaterialien über einige hunderttausend Zyklen direkt diesen Bedingungen ausgesetzt.

Das Isolationsmaterial muss ausreichend mechanisch stabil und dampfbeständig sein und darf sich über den gesamten Lebenszyklus des Werkzeuges nicht abnutzen oder verformen. Zudem müssen geeignete Befestigungslösungen entwickelt werden welche die Funktion des Werkzeug-/Dampfkammersystems nicht beeinträchtigen.

Zur gleichmäßigen Temperaturverteilung benötigt der Dampf ausreichend dimensionierte Fließquerschnitte. Für eine gleichmäßige Kühlung wird ein Mindestabstand der Sprühdüsen zur Werkzeugrückseite benötigt. Die Abmaße und somit die Massen der Dampfkammern können daher nicht beliebig verkleinert werden.

Um die wirksame Wärmekapazität noch weiter zu verringern, wird daher eine zusätzliche Temperierung der technologisch erforderlichen Zonen des Werkzeuges benötigt.

Aus technischen Gründen (Verunreinigungen des Werkzeuges, der Produkte oder der Umwelt im Fall von Leckagen) dürfen als Temperiermedien keine giftigen, aggressiven oder wassergefährdenden Stoffe eingesetzt werden. Im Bereich Spritzguss gebräuchlich sind Wasser (unter bis zu 20bar Überdruck, bis ca. 200°C) und Öl, in Entwicklung sind Temperiersysteme mit CO<sub>2</sub>.

Zur Medienführung müssen im Werkzeug Temperierkanäle vorgesehen werden. Diese dürfen die Stabilität des Werkzeuges nicht schwächen und müssen Drücken bis 20 bar standhalten.

Neben werkzeugtechnischen Entwicklungen erfordert dieser Lösungsansatz auch zusätzliche Entwicklungsarbeiten in den Bereichen Medienschnittstellen, Steuerung und Regelung.

### 3 Hauptteil

#### 3.1 Darstellung der Arbeitsschritte

Der Lösungsweg gliederte sich in einzelne Etappen die durch Meilensteine abgeschlossen werden.

1 Konzepterstellung Variotherm (Werkzeugisolation, Werkzeugaufbau, Temperierung)

Die Konzepte der Maschinentechnik sowie des Versuchswerkzeuges wurden detailliert. Eine Vorauswahl von Isoliermaterialien hinsichtlich deren Isoliereigenschaften wurde erstellt. Weiterhin wurden Konzepte zur Integration von Isoliermaterialien in Werkzeuge untersucht. Das Konzept zur autarken variothermen Temperierung wurde erstellt. Die Zielkriterien zur Fertigungstechnik und zum Fertigungsprozess wurden definiert. Die Datenerfassung und das Konzept für Vergleichsmessungen wurden erarbeitet.

2 Pflichtenheft Variotherm

Das Pflichtenheft für die Anlagentechnik wurde erstellt.

3 Durchführen von Versuchen zur Werkzeugisolation (Materialien, Geometrien, Befestigungen, Sicherheit)

Nach detaillierten Recherchen zu geeigneten Isolationsmaterialien (Glashartgewebe, Glimmer, PEEK, PPS) wurden mögliche Befestigungslösungen dieser Bauteile im Werkzeug entworfen. Nach der Erstellung des Versuchsplanes wurden entsprechende Versuchsbauteile aus den Materialien hergestellt und im praktischen Einsatz getestet. Die Versuchsreihen wurden abgeschlossen. Tabelle 1 zeigt die erstellte Auswahlmatrix.

Bezeichnung	Handelsname / Werkstoff	Spez. Festigkeit	Ausdehnungs- koeffizient	Wärmeleit- fähigkeit	Temperatur- beständigkeit
Bra-Gla MP	-	9N/mm <sup>2</sup>	-	0,09 W/mK	280 °C
XGD 25	glasfaserverstärkt, duroplastischen Kunstharzmatrix	350N/mm <sup>2</sup>	25x10-6 1/K	0,12 W/mK	230C°
XGD 20	glasfaserverstärkt, duroplastischen Kunstharzmatrix	310N/mm <sup>2</sup>	24x10-6 1/K	0,12 W/mK	220C°
XGD 260	Kunstharzmatrix, Glasgewebeeinlagen und anorganischen Füllstoffen	610 N/mm <sup>2</sup>	12x10-6 1/K	0,30 W/mK	250C°
BRA-GLA N	Glasgewebe mit temperaturstandfester Duroplastmatrix	600N/mm <sup>2</sup>	10x10-6 1/K	0,30 W/mK	230C°
BRA-GLA 3	Duroplastharz und Glasfeingeweben	650N/mm <sup>2</sup>	11x10-6 1/K	0,30 W/mK	250C°
BRA-GLA SI	Glasgewebe und Duroplastharz	450N/mm <sup>2</sup>	8x10-6 1/K	0,22 W/mK	350C°
A.ISO A600	Mit Glasfasern verstärkter Isolierwerkstoff	140N/mm <sup>2</sup>	-	0,13 W/mK	290C°
A.ISO A9600	Mit Glasfasern verstärkter Isolierwerkstoff	330N/mm <sup>2</sup>	-	0,23 W/mK	290C°
A.ISO C-500	Faserverstärkter Calciumsilikat-Werkstoff	12N/mm <sup>2</sup>	-	0,18 W/mK	740C°
cosTherm A	Thermoplast	10N/mm <sup>2</sup>	100x10-6 1/K	0,10 W/mK	280C°
cosTherm E.230	Glasfeingewebe	350 N/mm <sup>2</sup>	11 x10 -61/K	0,30W/mK	250C°
Frathernit AN	-	350 N/mm <sup>2</sup>	13 x10 -61/K	0.19W/mK	210C°
Presstherm WD 25	-	340 N/mm <sup>2</sup>	-	0.23W/mK	-
DuroBest 180	glasfaserverstärkter Kunststoff	600 N/mm <sup>2</sup>	-	0,3W/mK	-
DuroBest 230	glasfaserverstärkter Kunststoff	500 N/mm <sup>2</sup>	-	0,25W/mK	-
DuroBest 250	glasfaserverstärkter Kunststoff	600 N/mm <sup>2</sup>	-	0,27W/mK	-
DuroBest 260	glasfaserverstärkter Kunststoff	600 N/mm <sup>2</sup>	-	0,21W/mK	-
K-Therm AS 600M	Faserzement mit Glasfaserverstärkung	250 N/mm <sup>2</sup>	-	0,26-0,28W/mK	-
PEEK	Polyetheretherketon	<a href="#">siehe Datenblatt</a>	-	-	300°C

Tabelle 1: Auswahlmatrix Isolierungen

Es wurden die Rahmenbedingungen und Möglichkeiten zur thermodynamischen Analyse von Werkzeugen weiter untersucht und mittels weiterer Simulationen verifiziert. In Tabelle 2 sind die Materialeigenschaften der Formnester zusammengestellt.

Material	Materialgruppe	Härte [HB]	Zugfestigkeit $R_m$ bei 140 °C [MPa]	Wärmeleitfähigkeit [W/mK]	Wärmeausdehnung [ $10^{-6}/K$ ]	Zerspanbarkeit	Schweißbarkeit	Korrosionsbeständigkeit
7075	Aluminium	145	330	145	23,4	sehr gut	schlecht	mittel
Weldural	Aluminium	130	338	130	22,5	gut	gut	gut
Corroplast	Rostfreier Stahl	320	1.100	26	10	sehr gut	gut	gut

Tabelle 2: Materialeigenschaften Formnester

Meilenstein 1: Versuche zur Werkzeugisolation wurden abgeschlossen, ein geeigneter Werkstoff wurde identifiziert.

#### 4 Entwicklung Werkzeug mit Temperierung (Aufbau, Gestaltung der Temperierkanäle)

Nach dem Festlegen der Produktgeometrie für Sonnenblenden-Halbschalen wurde das Werkzeugmaterial festgelegt. Neben Berechnungen zur Festigkeit und dem Erstellen der Werkzeugkonstruktion (Rahmen, Isolationselemente, Formennester, Düsen, Dampf- führung, Kühlwasserführung, Medienanschlüsse, Anbindung von Sensoren) wurden thermische Simulation durchgeführt. Abbildung 1 zeigt ein Beispiel der Simulation der Temperaturverteilung über einen Zyklus.

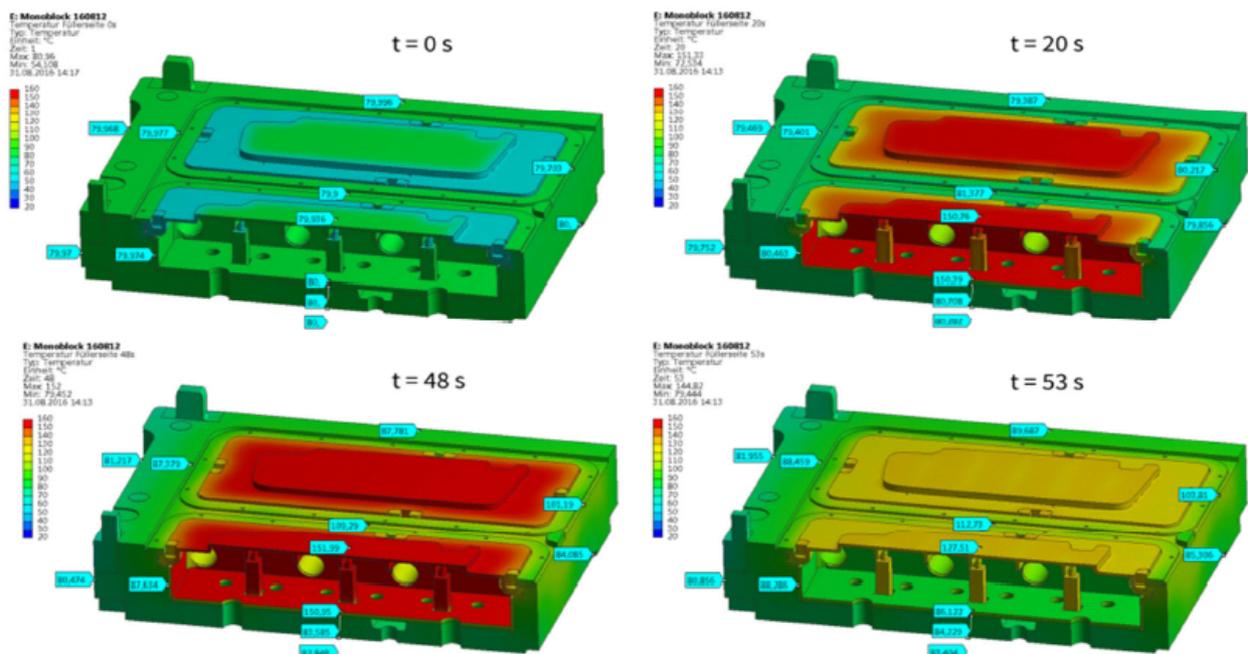


Abbildung 1: Simulation der Temperaturverteilung über den Zyklus

Die Lösungen zur variothermen Temperierung wurden nur theoretisch betrachtet. Im Laufe der weiteren Entwicklungsarbeiten hat sich gezeigt, dass bereits mit der Verringerung der

thermisch wirksamen Massen der Verbrauch an Heißdampf stark verringert werden kann. Zudem hatte der als Unterauftrag vorgesehene Maschinenhersteller im Projektzeitraum keine ausreichenden Ressourcen zur Verfügung um alle Konstruktionsleistungen für diesen Teil des Lösungsansatzes zu realisieren. Im weiteren Projektverlauf wurden deshalb vorrangig die Entwicklung und der Test der Werkzeuge vorangetrieben. Die ursprünglich geplanten Kosten für Fremdleistungen wurden nur zu 80 % genutzt.

### 5 Entwicklung Temperierung

Der Heiz- und Kühlbedarf wurden berechnet. Darauf aufbauend wurden die Temperatur- und Druckparameter festgelegt und das Konzept der autarken Temperierung mit geschlossenem Wasserkreislauf weiter detailliert. Aufgrund der in Arbeitspaket 4 genannten Gründe wurde das Arbeitspaket 5 nur teilweise abgearbeitet.

### 6 Entwicklung Fertigungstechnologie

Die Anforderungen an die Fertigungstechnologie wurden mit dem Fokus auf die neue Werkzeugkonstruktion detailliert. Die Lösungen zur Erfassung der technischen und energetischen Parameter zur Prozesskontrolle wurden festgelegt. Der technologische Ablauf wurde ohne die Teillösung „Variotherme“ entwickelt. Deshalb wurde das Arbeitspaket 6 nur teilweise abgearbeitet.

Meilenstein 2: Die Entwicklungen wurden für das Teilprojekt Werkzeug abgeschlossen. Durch thermische Simulationen wurde die Möglichkeit einer Dampfeinsparung von 50 % nachgewiesen.

### 7 Aufbau der Komponenten (Werkzeug mit Isolierung und Temperierung, Temperierereinheit)

Die Einzelkomponenten für das Werkzeug mit Isolierung wurden hergestellt. Das Werkzeug wurde aufgebaut (Abbildung 2). Da die Temperierung in diesem Projekt nicht weiter verfolgt wurde, wurde dieses Arbeitspaket mit geringerem Personalaufwand realisiert. Ebenso wurden keine Sachkosten abgerechnet.



Abbildung 2: Detail des aufgebauten Werkzeuges

## 8 Integration in prototypische Anlage

Die Fertigungsmaschine für die Tests wurde ausgewählt. Die Medienanschlüsse für das neue Werkzeug wurden angepasst. Zur Vorbereitung der Versuche wurden die Messmethoden zusammengestellt und festgelegt. Tabelle 3 zeigt die betrachteten Messmethoden zur Temperaturmessung.

Messmethode	Inventar	Messbereich [°C]	Anwendungsbereich	Grenzen der Messmethode	Vorteile	Nachteile
Infrarotthermometer	Voltcraft IR-365RF	-50 bis 1050°C	Abstandsmessung im Nahbereich	Ohne Genaue Emissionsdaten ungenaue Messungen	Kein physischer Zugang zur Messstelle notwendig	Messung kann von Abstrahlung anderer Objekte ungenau werden, Kleiner Messpunkt
Oberflächenthermometer	Testo 902-t2	-50 bis 350°C	Direkte Messung am Werkzeug / Medium	Messort muss erreichbar sein, Umgebungstemperatur muss unter Schmelzpunkt des Messgeräts liegen	sehr genaue Werte, wenige Abweichungen durch Umwelteinflüsse	Physischer Zugang zum Messpunkt muss vorhanden sein
Wärmebildkamera	testo 875-2i	-20 bis 550 °C	Abstandsmessung im Nahbereich	Messbereich muss offenliegen, und darf nicht von anderen Strahlungsquellen beeinflusst werden	Kein physischer Zugang zur Messstelle notwendig, Große Flächen können zeitgleich überwacht werden	Messung kann von Abstrahlung anderer Objekte ungenau werden
Temperaturdatenlocker	VOLT CRAFT DL-111K	-200 bis +1370 °C	Stationäre Temperaturmessung mit fest eingestellten Intervallen	Auswertungssoftware schlecht nutzbar,	Viele Werte können über einen definierten Zeitraum aufgenommen werden	Bei diesem Modell kommt es häufig zu ungenauen Messungen
Kammerinnendruck durch Maschinendrucksonde	In Maschine integriert	n.A.	Analyse von Druckverhältnissen in der Maschine	Schlecht nachvollziehbar, schlecht zu überprüfen,	Kein Mehraufwand, da Sonden schon verbaut sind	Werte könnten nach längeren Zeiträumen ungenau werden,

Tabelle 3: Übersicht der Messmethoden zur Temperaturmessung

## 9 Funktionstests, Fertigungstests

Nach der Detaillierung des Versuchskonzeptes wurden Fertigungstests mit dem neuen Werkzeug durchgeführt. Parameter wie Temperatur, Haltezeiten, und Druck (Abbildung 3) wurden aufgezeichnet. Zusätzlich erfolgten Aufnahmen mit einer Thermokamera (Abbildungen 4 und 5) um die Temperaturverteilung besser bewerten zu können.

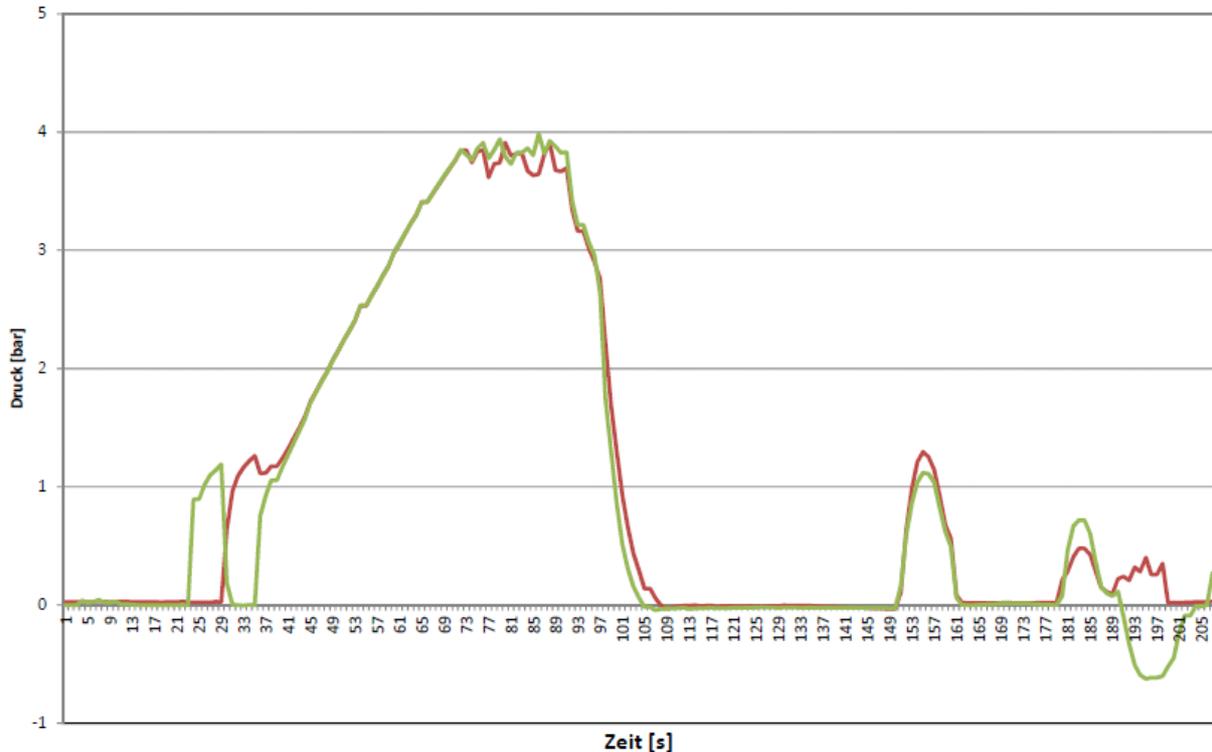


Abbildung 3: Druckverlauf in der Dampfkammer

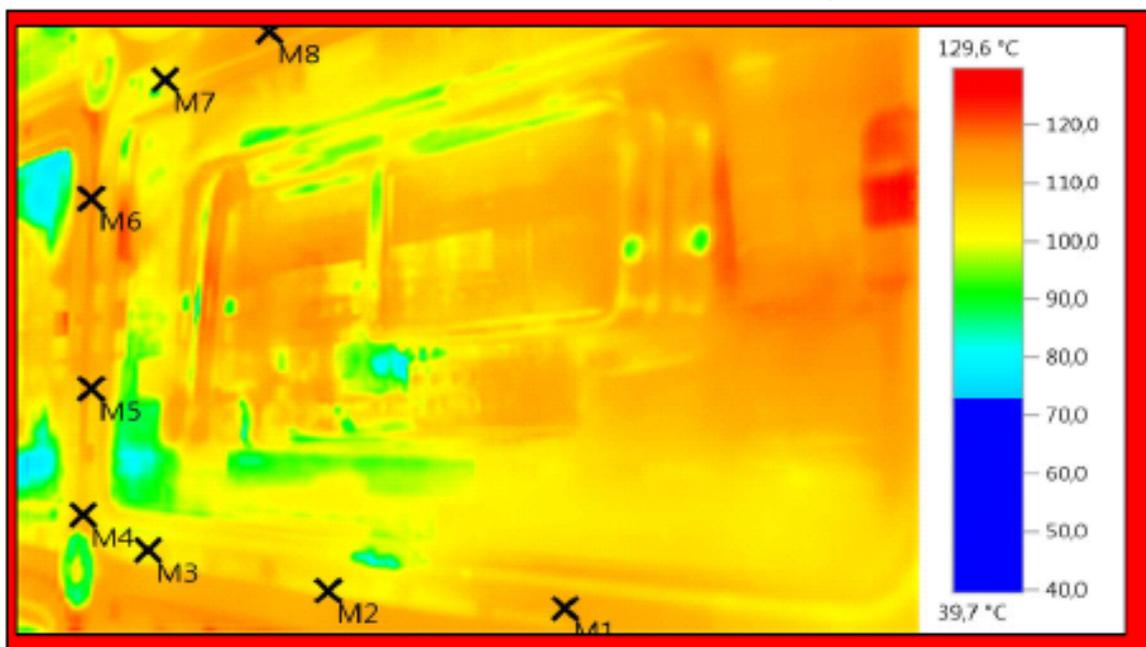


Abbildung 4: Aufnahme mit Thermokamera direkt nach dem Autoklav-Zyklus

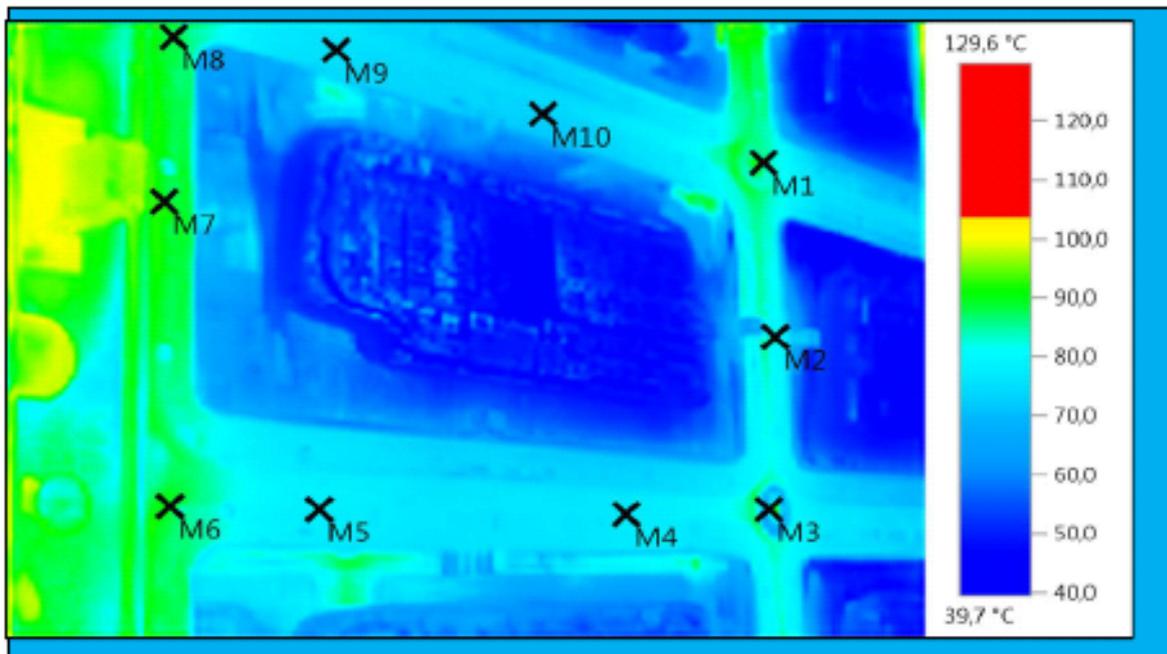


Abbildung 5: Aufnahme mit Thermokamera direkt nach dem Entformen

Nach der Auswertung des Medien- und Energiebedarfes wurden Optimierungsmaßnahmen abgeleitet.

Meilenstein 3: Die Funktionstests wurden abgeschlossen. Die Dampfeinsparung wurde nachgewiesen. Eine Verkürzung der Zykluszeiten konnte nicht realisiert werden. Es ergaben sich jedoch technische Ansätze um die Anzahl der Kavitäten in einem Werkzeug zu verdoppeln.

### 10 Optimierung

Die Dampfkammerisolation und die Medienschnittstellen wurden optimiert. Abbildung 6 zeigt die optimierte Konstruktion des Werkzeuges mit doppelter Anzahl der Kavitäten.

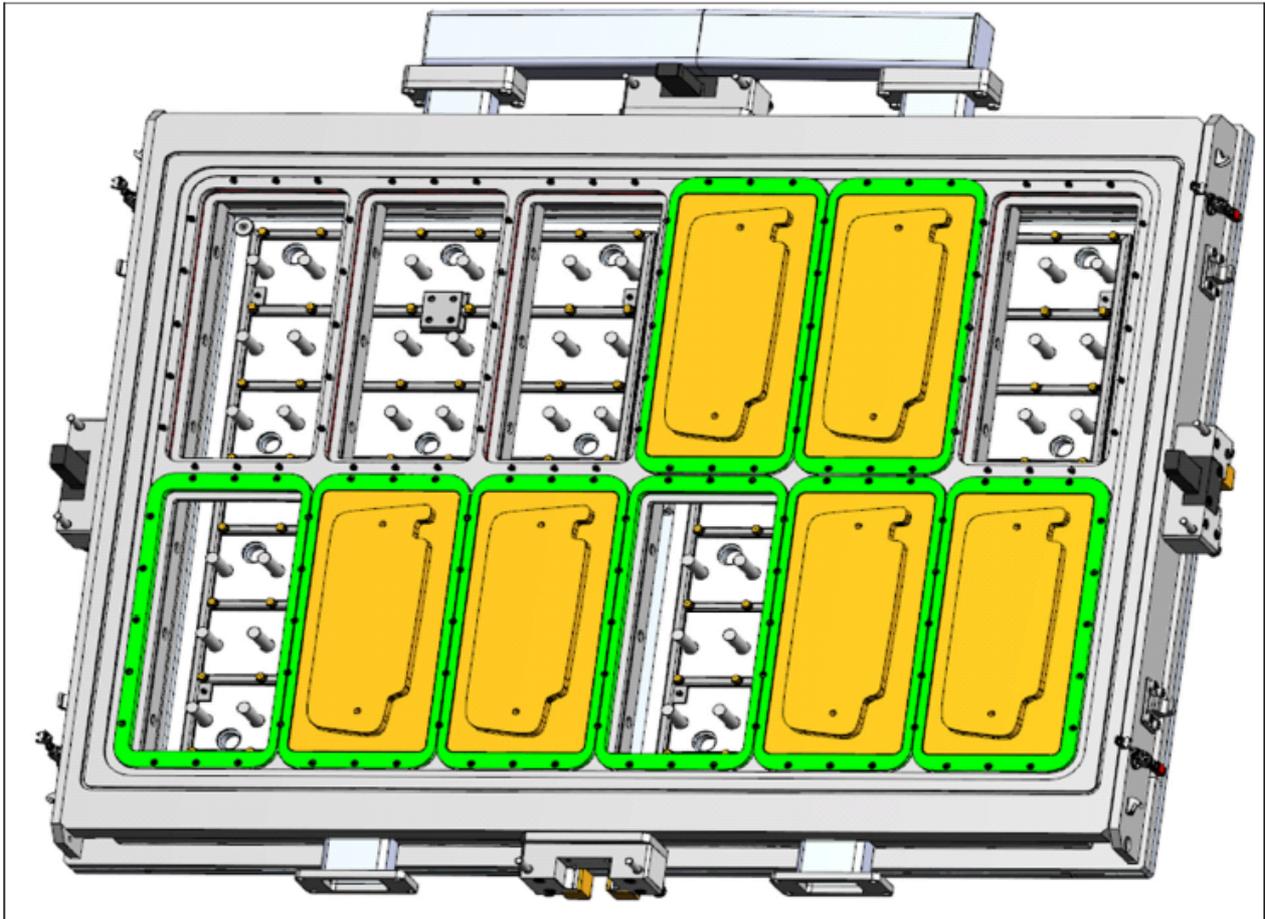


Abbildung 6: Optimierte Konstruktion des Werkzeuges

### 11 Langzeittests

In bisherigen Langzeittests konnte die Beständigkeit der Isolationsmaterialien und der Medienschnittstellen nachgewiesen werden. Der Energieverbrauch wurde wesentlich verringert ohne dass Produkteigenschaften, insbesondere die Oberflächen und Formstabilität beeinträchtigt wurden.

### 12 Dokumentation

Die Projektdokumentation wurde erstellt.

## 3.2 Ergebnisse und Diskussion

Die bisherigen Werkzeugtechnologien für Produkte aus EPP ermöglichen keine thermische Isolierung und keine gezielte variotherme Temperierung einzelner Werkzeugsegmente. Mit dem Vorhaben wurde erstmals eine Lösung entwickelt, mit welcher die thermisch wirksame Masse des Werkzeug-/Dampfkammer-Systems verringert wird. Es wurden sehr detaillierten Untersuchungen zu geeigneten Isolationsmaterialien mit Hilfe von Simulationen durchgeführt. Lösungen zur Integration einer zusätzlichen, geschlossenen Temperierkontur in Werkzeuge wurden nicht abschließend entwickelt.

Die Gründe für das nur teilweise Erreichen der Projektziele sind:

1. Aus dem erreichten Entwicklungsstand der Werkzeugtechnik und der Temperierung „Variotherme“ lässt sich erkennen, dass die variotherme Technik keinen Vorteil zum Stand der heutigen Technik erzielen wird.
2. Das von FEURER parallel weiter entwickelte System Dampfkammer / Isolation / Werkzeuge und Maschinenteknologie führt heute zu einem geringeren Energieverbrauch als zu Beginn des Projektes „Variotherme“ und wird deshalb bevorzugt weiterverfolgt.
3. Beim als Auftragnehmer vorgesehenen Maschinenhersteller waren im Projektzeitraum keine ausreichenden Ressourcen für das Teilprojekt „Variotherme“ vorhanden.
4. Die Preise für Heißdampf sind im Projektzeitraum gefallen. Damit sinkt die Wirtschaftlichkeit der vollständigen Umsetzung der Projektziele.

### Erreichte Ziele:

#### Werkzeugbau

- Ermittlung serientauglicher Isolationsmaterialien (Werkzeugstandzeit)
- Ermittlung der optimalen Dicke der Isolationsschicht
- Wärmeanalyse Alu / Stahl für Werkzeug zur Festlegung der Werkzeugwandstärke und Ermittlung des Energiebedarfs im Vorfeld

#### Fertigungstechnologie

- Zykluszeit < 60 s (zurzeit 110 s), durch Verdopplung der Zahl der Kavitäten erreicht (Prozesszeiten je Stück: 18 s / 36 s)
- Einzelne Prozessparameter müssen bei jedem Zyklus aufgezeichnet werden, z. B. die Medien- und Werkzeugtemperatur über die Prozesszeit
- Crackspalt (Grad der Komprimierung des Rohmaterials in der Kavität) über Maschinensteuerung frei einstellbar, Positionierung +/- 0,1 mm

#### Temperierung

- Temperatursensorik für den Medienvor- und rücklauf

#### Energie- und Medienverbrauch

- Senkung des Dampfverbrauchs um 50 % (je Halbschale 0,7 kg)
- Anlagenspezifische Erfassung der Luftverbrauchs
- Anlagenspezifische Erfassung der Kühlwasserverbrauchs
- Anlagenspezifische Erfassung der Elektroenergieverbrauchs

Nicht erreichte Ziele:

## Werkzeugbau

- Feste und bewegliche Werkzeugseiten werden als Formnester mit integrierter Heiz- und Kühlmedienführung ausgeführt
- Geschlossener Medienkreislauf für die Temperierung des Werkzeuges
- Kaltes und warmes Temperiermedium sollen sich nicht vermischen
- Druck im Temperiersystem (Wasser) max. 20 bar, das Werkzeug einschließlich der Isolierung muss diesem Druck standhalten
- Anzahl der Dampfdüsen in Abhängigkeit der Wasserkanäle so groß wie möglich, damit muss der Querschnitt der Temperierkanäle so gering wie möglich sein
- Berücksichtigung der Wärmeausdehnung im Variotherm-Prozess

## Fertigungstechnologie

- Steuerung der Temperierung im Variotherme-Schäumprozess muss in die Maschinensteuerung integriert werden.
- Der Temperaturverlauf im variothermen Schäumprozess (Temperaturen + Zeiten) muss prozesssicher und reproduzierbar sein.
- Festlegung der Umschaltparameter Heizen / Kühlen zur Sicherung der Produktqualität bei gleichzeitig wirtschaftlicher und effizienter Produktion (Zeit, Temperaturen,...)

## Temperierung

- Werkzeugtemperierung
- Ermittlung der Wirtschaftlichkeit einer autonomen Dampfversorgung je Maschine im Vergleich zur zentralen Versorgung

## Energie- und Medienverbrauch

- Als Abwasser entsteht nur Kondensat aus dem Bedampfungsprozess; kein Anfall von Kühlwasser-Rücklauf

Die neuen Ideen werden bereits umgesetzt. Hierbei wurden Erkenntnisse aus dem Projekt verwendet (Isolation, keine Temperierung, größere Nutzfläche (von 6 auf 12 Kavitäten je Werkzeug))

Da das Teilprojekt Temperierung nicht vollständig abgearbeitet wurde, wurden die ursprünglich geplanten Personalressourcen nur zu rund 48 % ausgenutzt.

### **3.3 Ökologische, technologische und ökonomische Bewertung der Vorhabensergebnisse, zusätzliche Umweltentlastung**

Mit einem Werkzeug werden pro Jahr ca. 200.000 Zyklen gefahren. Damit ergibt sich ein Dampfverbrauch von 3.000 Tonnen (2,4 Mio. kWh) je Maschine.

Bei einer Verringerung des Energieverbrauchs um 50 % werden je Maschine 1.500 Tonnen Dampf eingespart. Bei 319 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Dampf sind das je Maschine 478 Tonnen

CO<sub>2</sub> pro Jahr weniger. Allein am Standort Schwarzheide mit 26 Partikelschaum-Formteilautomaten können mit der neuen Lösung bis zu 12.428 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr eingespart werden.

Die autonome Dampfversorgung einer Maschine wurde aus den oben genannten Gründen nicht realisiert. Damit bleibt die zentrale Dampfversorgung bestehen. Die Wärmeverluste der Transportleitung (320.000 kWh pro Jahr) bleiben deshalb bestehen.

Die neue Lösung zur thermischen Isolation wurde ergänzt durch eine Verdopplung der Anzahl der Kavitäten. Aktuell wird diese Lösung an mehreren Fertigungsanlagen eingesetzt. Langfristig kann dieser Ansatz für alle Fertigungsanlagen am Standort Schwarzheide eingesetzt werden.

Weiteres Anwendungspotenzial ergibt sich bei EPP-Formteilen mit größeren Wandstärken oder auch bei der neuentwickelten Verhautungstechnologie.

Ebenso werden in der Zukunft die Fragen der Verringerung der thermisch wirksamen Werkzeugmassen in vielen Bereichen der Kunststoff verarbeitenden Industrie eine zunehmende Rolle spielen.

Der Einsatzschwerpunkt von expandiertem Polypropylen ist nach wie vor entscheidend von der Automobilindustrie geprägt, die rund 80% des in Europa verwendeten EPP-Schaumes verbraucht. Vor allem die Leichtbautauglichkeit des Werkstoffes, das gute Rückstellungsverhalten bei statischer und dynamischer Belastung, die Funktionssicherheit innerhalb großer Temperaturbereiche, die Recyclingfähigkeit sowie die Beständigkeit gegenüber Chemikalien und Öl machten expandiertes Polypropylen zum ungebrochen beliebten Material auf dem Automotive-Sektor.

Im Fahrzeuginnenraum bietet expandiertes Polypropylen erhöhten Crash-Pads und andere Polstereinlagen aus EPP den Insassenschutz. Hierbei bewährt sich das gute Rückstellverhalten des Schaumstoffs. Eine Anpassung der Polsterwerte an die Erfordernisse ist angesichts der (fast) frei einstellbaren EPP-Dichte von 20 bis 180 g/l möglich. Mit Hilfe von Folien und Stoffen können EPP-Formteile zu attraktiven Sichtteilen im Autoinneren "veredelt" werden. Eingesetzt wird dieses Material bei Kofferraumeinlagen, Füllstücken, Sonnenblenden, Batterieabdeckungen, Kniepolstern, Sitzversteifungen, Dachholmen, Kopfstützen, Hutablagen, Armlehnen u.a..

### **3.4 Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

Aufgrund der Marktführerschaft des Unternehmens und der direkten Vermarktung an Automobilhersteller bzw. deren Zulieferer wurden die ersten Schritte zur Präsentation der Projektergebnisse bereits direkt mit den jeweiligen Kunden durchgeführt.

Langfristig kann die neue Technologie auch für weitere Teile aus EPP-Schaum eingesetzt werden. Hierfür werden entsprechende Marketingmaßnahmen (Informationsveranstaltungen, Messen, Veröffentlichung usw.) genutzt.

## **4 Fazit**

Aus technischer Sicht wurden nur 50 % der Zielstellungen erreicht. Damit konnten ca. 80 % der energetischen und wirtschaftlichen Ziele realisiert werden.

Die Lösung zur Senkung der thermisch wirksamen Masse der Werkzeuge durch Isolierungen wird weiterentwickelt. Bei der Entwicklung neuer Werkzeuge werden wärmetechnische Simulationen verstärkt eingebunden. Es hat sich bestätigt, dass bei jeder Maßnahme zur Steigerung der Energieeffizienz eine ganzheitliche technische, technologische und energetische Betrachtung der Fertigungsprozesse immer mehr an Bedeutung gewinnt.

## **5 Literaturverzeichnis**

entfällt

## **6 Anhänge**

keine