

Grundlagen energieeffizienter und produktionsautomatisierungsgerechter Gestaltung homogener beheizbarer Compositewerkzeuge¹

Dipl.-Ing. Jennifer Watzke

1 Einleitung

Faserverstärkte Bauteile, insbesondere die faserverstärkten Kunststoffe sind aus Industriezweigen wie Raum- und Luftfahrt nicht mehr wegzudenken. Dies liegt zum einen an den massiven Gewichtseinsparungen gegenüber metallischen Werkstoffen und zum anderen an den positiven Festigkeitseigenschaften, die gezielt auf die Belastungen im Bauteil eingestellt werden können. Aus diesen Gründen gewinnen die faserverstärkten Kunststoffe auch zunehmend in der Automobilindustrie an Wichtigkeit. Im Gegensatz zur Luft- und Raumfahrt sind die Anforderungen im Automobilbau an die Produktion hohe Stückzahlen, hoher Bauteildurchsatz, automatisierte Prozesse und hohe Anforderungen an die Qualität der Bauteile. Aus diesen Gründen sind lange Härtingszeiten von Matrixwerkstoffe und hohe Energieeinträge durch die Aushärtung der Bauteile im Autoklaven nicht geeignet, um schnell und effizient produzieren zu können.

Entwicklungsziel ist ein neuartiger automatisierter Prozess zur Aushärtung der Bauteile, der ohne energieintensive Autoklaven auskommt. Dazu ist zunächst ein Prozessschritt auf der Basis eines homogen beheizbaren Werkzeug zu konzipieren.

2 Homogen beheizbare Compositewerkzeuge

Zur Substitution der Aushärtung im Autoklaven wird hier ein Vakuumsackverfahren verwendet, das den geforderten Unterdruck von 980 mbar aufbringt und gleichzeitig das auszuhärtende Bauteil erwärmt. In Abbildung 1 ist der Aufbau des neuartigen Werkzeugkonzeptes schematisch dargestellt.

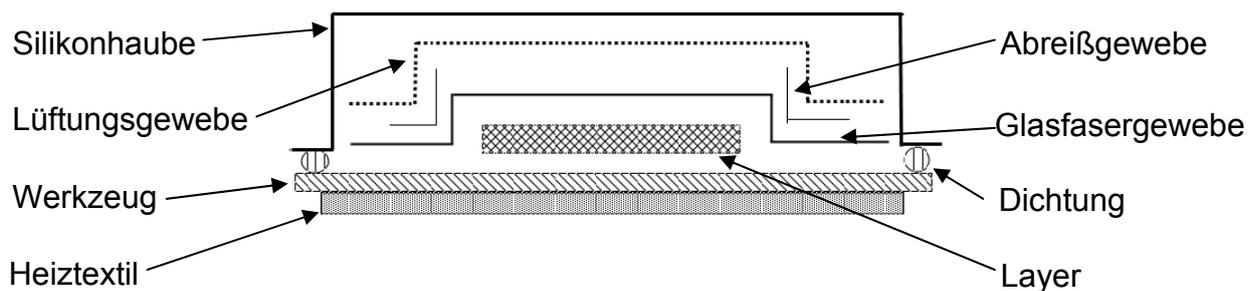


Abb. 1: Aufbau der Funktionsschichten im Vakuumsackverfahren

Zur Aushärtung des Harzes /UME-12/ sind 80 °C bis 120 °C mit einer Aufheizrate von 3 °C pro Minute gefordert. Als Werkzeugkavität wird wie in der klassischen Autoklavenaushärtung eine galvanisch abgeschiedene Nickelschale verwendet, die

¹ Das Projekt wird über das Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Projektträger Karlsruhe Produktion und Fertigungstechnologien (PTKA-PFT) im Rahmen der Fördermaßnahmen "KMU-innovativ: Ressourcen- und Energieeffizienz" des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert.

auf Grund ihrer homogenen Dicke von 5 mm gut beheizt werden kann. Der Temperatureintrag wird mittels Glasfasermatten, auf denen Kohlefasern aufgenäht werden, realisiert. Diese elektrische Lösung hat den Vorteil eine gezielte Regelung vornehmen zu können, da die elektrische Erwärmung der Kohlefasern direkt mit der elektrischen Leistung verknüpft ist.

2.1 Auswahl der Heiztextilien

Die zum Einsatz kommenden Heiztextilien werden in verschiedenen geometrischen Ausführungen angeboten. Randbedingung für die Auswahl eines geeigneten Musters sind die

- homogene Erwärmung der Werkzeugkavität,
- gute Drapierfähigkeit auf Freiformflächen und
- gegebenenfalls einzelne elektrische Ansteuerung der Kohlefaserstränge.

Die Wärmeverteilung der Heiztextilien auf einer exemplarischen Nickelkavität wurde mittels Wärmebildkamera aufgenommen und an Hand des Wärmebildes ausgewertet. In Abb. 2 sind die Textilgeometrien und die dazu gehörigen Wärmebilder gegenübergestellt.

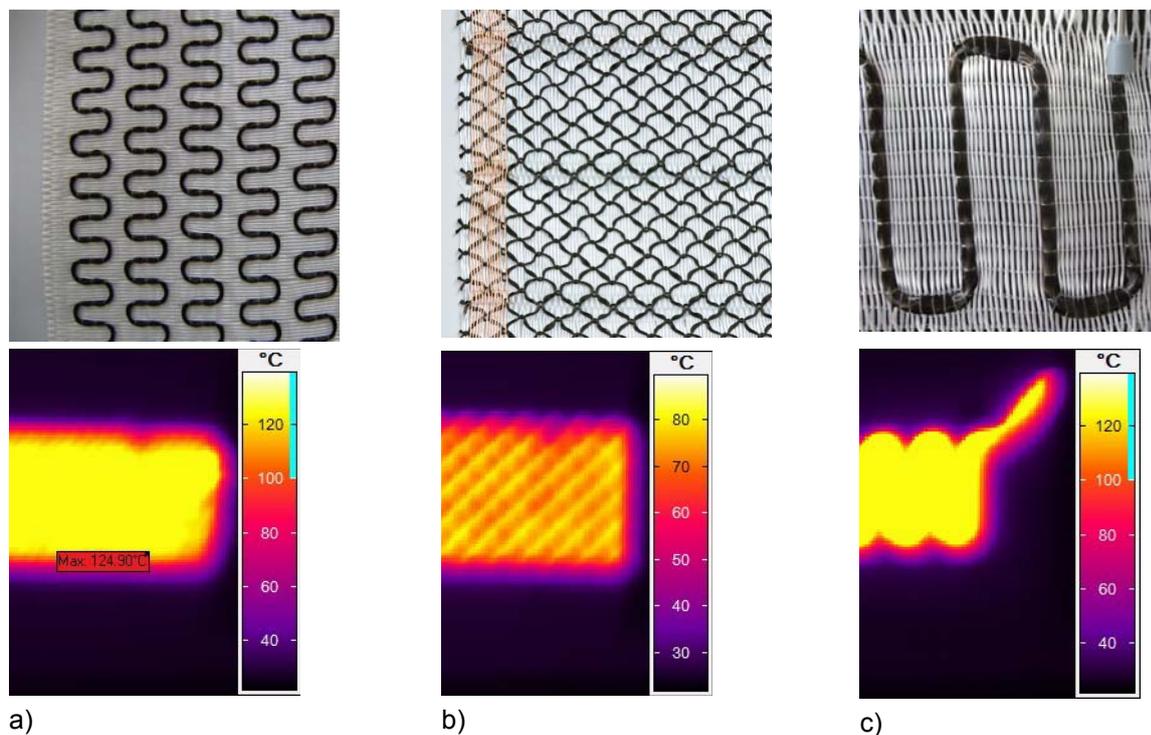


Abb. 2: Textilgeometrien a) kleine Schlingen, homogene, flächige Erwärmung. b) Diamantmuster, inhomogene Erwärmung, deutlich weniger Heizleistung. c) große Schlinge, homogene Erwärmung

Aus den Werten der Kontakttemperatur- und der Thermografiemessung, kann das Diamantmuster für die weitere Entwicklung ausgeschlossen werden. Dies liegt an der schlechteren Aufheizrate, bedingt durch den erhöhten Widerstand der sich kontaktierenden Kohlefaserstränge, die somit eine Reihenschaltung bilden. Wegen der homogenen Wärmeverteilung und der bedarfsmäßig gezielten Ansteuerung der Kohlefaserstränge ist die Textilgeometrie mit den kleinen Schlingen am besten für das neuartige Werkzeugkonzept geeignet.

2.2 Ermittlung von Betriebsparametern und Randbedingungen

Bisherige Messungen ergeben für die Beheizung der Probekavität auf 180°C eine Aufheizzeit von 60 Minuten. Randbedingungen bei der Erwärmung der Kavität ist der Betrieb im Kleinschutzspannungsbereich um den Arbeitsschutz zu gewähren. Die ermittelten Parameter für den Betrieb der Heiztextilien mit den Harzaushärtungsbedingten Randbedingungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tab. 1: Heizparameter und Randbedingungen zum Aushärten des Harzes

Randbedingungen durch Harzhersteller			Ermittelte Werte	
Aushärtungstemperatur	Heizrate	Vakuum	Aufheizzeit für 120°C	Errechnete Heizrate
80°C-120°C	3°C pro min	980 mbar	30 min	3,3°C pro min

Die Temperaturmessung nach den Vorgaben, wie sie in Tabelle aufgeführt sind, werden in folgender Abbildung deutlich. Die elektrischen Parameter sind:

- $I = 6 \text{ A}$
- $R_{\text{Kohlefaser}} = 1,6 \cdot 10^{-5}$
- $U_{\text{errechnet}} = 0,096 \text{ mV}$

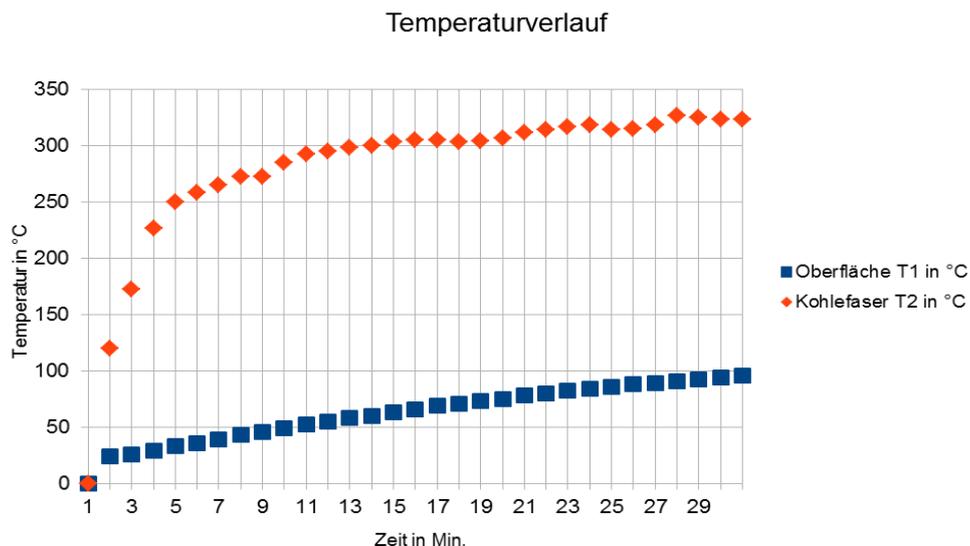


Abb. 3: Temperaturmessung - orange: direkt an den Kohlefasern, blau: an der Oberfläche der Kavität.

3 Simulation des Harzfüllvorganges

Zur Ermittlung der Platzierung der Fließkanäle für das Harz werden Simulationen durchgeführt, die schon vor der Montage des Prototypenwerkzeuges potentielle Fehlerquellen erkennen lassen sollen. Die Simulation des Füllvorganges gibt Aufschluss über mögliche Fehlstellen wie Lunker, aber auch Füllzeit und Fülldruck sind zu ermitteln, um eine optimale Qualität des Bauteiles zu gewährleisten. Da die Viskosität des Harzes an die Temperatur im Werkzeug gekoppelt ist, muss auch die Simulation die Randbedingungen des Temperatureinflusses einschließen.

Simuliert wird ein Vakuumsackverfahren, das über die Werkzeugkavität beheizt werden kann. Die zu ermittelnden Größen sind:

- Aufheizzeit in Abhängigkeit zur Viskosität des Harzes,
- erforderlicher Fülldruck und
- Lage der Fülldüsen.

Dazu kommt das Simulationsprogramm Pam-RTM /ESI-11/ zum Einsatz, das den Temperatureinfluss über die Viskositätskurve des verwendeten Harzes mit einbeziehen kann. Der Harzfüllvorgang wird mittels des Darcy Gesetzes berechnet, was den Durchfluss von Flüssigkeiten durch poröse Medien beschreibt. Abb. 4 zeigt die Simulationsergebnisse. Zu erkennen sind hier die Fließkanäle (blaue Linie) zur Harzverteilung und eventuelle Fehlstellen (rote Ellipsen), die durch den geringeren Unterdruck an den äußeren Bereichen des Bauteiles entstehen können.

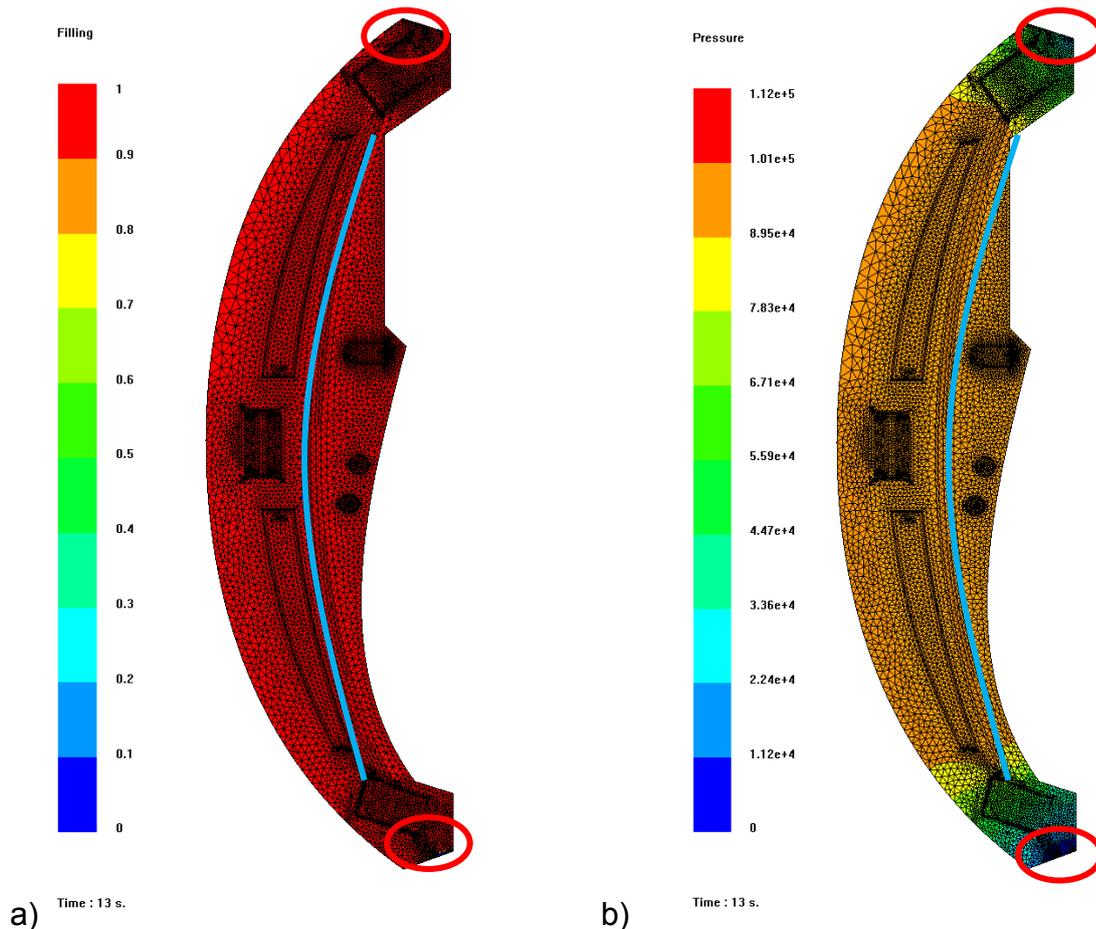


Abb. 4 Simulation - a) Füllzustand nach 13 s; b) Fülldruck nach 13 s.

4 Ausblick

Nach Abgleich der Simulationsergebnisse mit firmenspezifischen Erfahrungswerten, wird die galvanische Abscheidung der Werkzeugkavität vorbereitet, die Konstruktion des neuartigen Werkzeuges beendet und die Mess-, Steuer- und Regelungstechnik für das Werkzeug konzipiert.

Literatur

/ESI-11/ ESI GmbH: User's guide & tutorials. esi group 2011

/UME-12/ Umeco: Umeco MTM 57 Series Prepreg System. Umeco 2012