

A light gray circular graphic containing the main headline text. The background of the entire page is a close-up photograph of a dark, woven composite material, possibly carbon fiber, showing a grid-like pattern of fibers.

**Wirtschaftlichere
Produktion durch
innendruckbasierte
Fertigungsprozesse**

Composites

Prozesstransparenz und Qualitätssicherung in der Fertigung von Faserverbundbauteilen.



© Thor Jorgen Udvang/Shutterstock.com

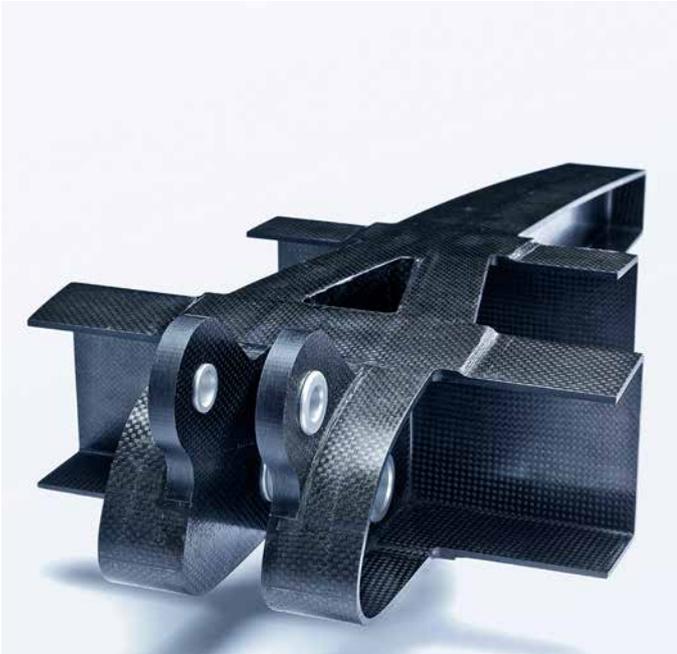
Leichtbau: Effizienz und Qualität im Doppelpack

Mobilität in jeglicher Hinsicht verlangt aus energie- und ressourcentechnischen Gründen vermehrt nach Leichtbauweisen. Aufgrund ihrer hohen gewichtsspezifischen Festigkeit und Steifigkeit bieten sich hierfür Faserverbundwerkstoffe an. Composite-Materialien bestehen durch ihr geringes Gewicht bei gleichzeitig sehr guten Festigkeitswerten. Sie werden daher in Anlagen und Maschinen verwendet, die einen sehr hohen technischen Anspruch an Effizienz und Haltbarkeit haben. In der Luft- und Raumfahrt werden Composite-Bauteile bereits seit längerem eingesetzt. Der Trend zu erhöhter Effizienz und Ressourcenoptimierung führt aber auch in der Automobilindustrie zu einem ansteigenden Anteil dieser Materialien. Im Zuge der Energiewende und der damit einhergehenden Förderung CO₂-unabhängiger Energien wie Windkraftanlagen erhöht sich der Bedarf an Composite-Bauteilen stetig weiter.

Um diesem wachsenden Bedarf an Composite-Bauteilen gerecht zu werden, wird die Automatisierung der Herstellungsverfahren für Composite-Bauteile permanent weiterentwickelt und

Vorteile der Composite-Bauteile im RTM-Verfahren

- Sehr leichte Bauteile
- Verkürzte Zykluszeiten
- Kleine Toleranzen
- Class A-Oberflächen auf beiden Seiten möglich
- Definierte Wandstärken
- Gesicherte Prozessführung durch Werkzeuginnendrucküberwachung



optimiert. Neben dem RTM-Verfahren (Resin Transfer Molding) bietet auch das sogenannte Nasspressen das Potenzial für einen hohen Automatisierungsgrad in der Fertigung. Mit speziell auf diese Verfahren abgestimmten Sensoren und Systemen bietet Kistler individuelle Lösungen für die Optimierung und Automatisierung von Fertigungsprozessen sowie für die damit verbundene Qualitätssicherung.

Durch den Werkzeuginnendrucksensor bietet sich quasi ein Blick in die Form. Es lassen sich:

- Optimale Einstellungen für einen reproduzierbaren Prozess finden
- Rüstzeiten maßgeblich verkürzen
- Fehler im Preform oder in der Form detektieren
- Fehler im späteren Bauteil online detektieren
- Anlagen wie z. B. Harzpumpe oder Presse steuern



Bildnachweis: Dow Automotive Systems

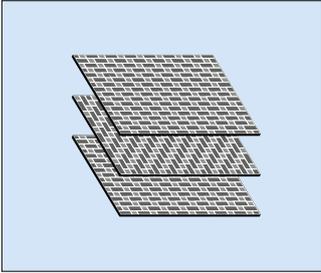
Composite-Verfahren: Serielle Herstellung als State of the Art

Die Grossserienfertigung von immer leichteren und dennoch robusten Composite-Bauteilen benötigt als Grundlage stabile und jederzeit reproduzierbare Prozesse, welche die dimensionalen und optischen Anforderungen an die Bauteile sicherstellen können.

Während Faserverbundbauteile noch bis vor kurzem in aufwändiger Handarbeit produziert wurden, erfolgt die Fertigung heute mehrheitlich in hochgradig automatisierbaren Prozessen. Diese sorgen für maximale Rentabilität und hohe Stückzahlen bei gleichbleibender Qualität der Bauteile.

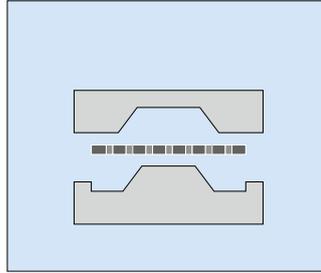
Hierzu kommen vornehmlich Injektionsprozesse (RTM-Verfahren) oder Einlegeprozesse mit bereits vorimprägnierten Faserhalbzügen (Nasspressen) zum Einsatz. Beide Verfahren bieten durch eine geschlossene 2-seitige Form gleichbleibende Teiledimensionen sowie hochwertige optische Oberflächen.

Der RTM-Prozess

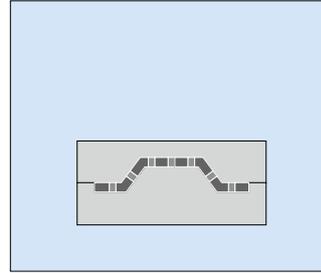


1 Herstellung des Preforms

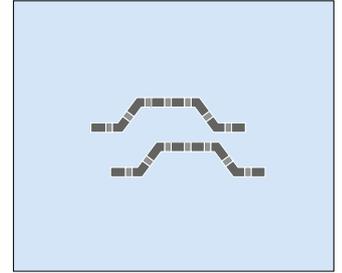
Fasermatten oder Gelege werden in definierter Reihenfolge und Faserausrichtung gestapelt.



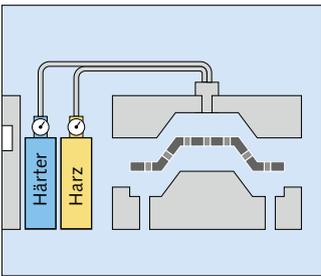
Das Paket wird in einem eigenen Werkzeug in die gewünschte Form gebracht.



Das beim Stapeln zugefügte Binderpulver schmilzt durch Wärmeeinwirkung und fixiert die Matten oder Gelege in der richtigen Form.

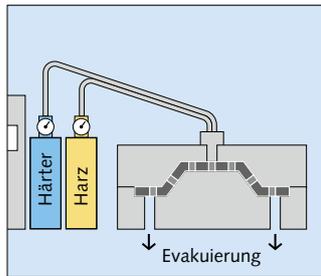


Der entstandene Preform hat die Form und Kontur der Injektionsform und besitzt eine gut handelbare Formstabilität.

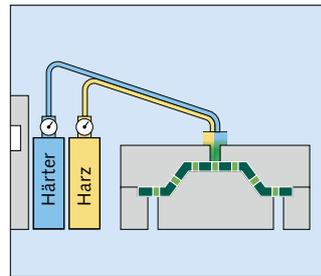


2 Injektion

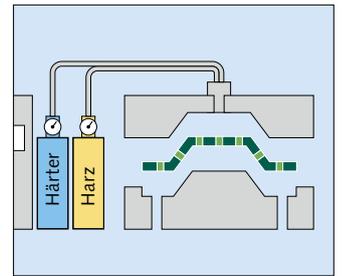
Der Preform wird in die Form eingelegt.



Nach Schließen der Form wird die Kavität evakuiert. Dies verhindert Lufteinschlüsse im späteren Bauteil.

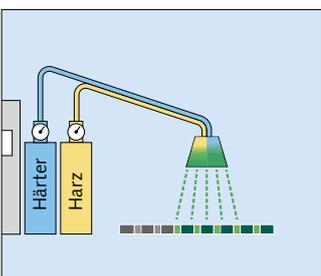


Das Harz/Härter-Gemisch wird mit definiertem Druck in die Kavität gepresst, dabei wird der Preform mit Harz umspült. Wenn die Kavität gefüllt ist, beginnt die Aushärtung des Harzes.

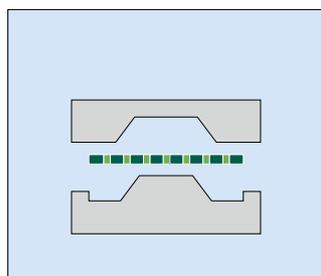


Nach der ausreichenden Aushärtung des Bauteils wird das Bauteil entformt.

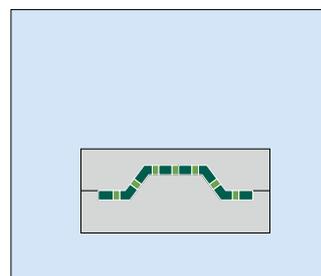
Nasspressen



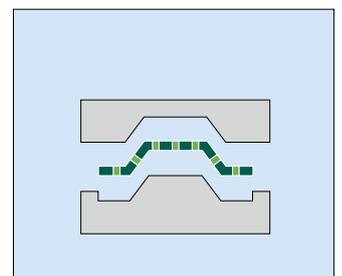
Trockene Fasermatten oder Gelege werden mit dem Harzhärter-Gemisch imprägniert.



Die imprägnierten Fasermatten werden in die Form gelegt. Der Faktor Zeit ist hier relevant, da die Reaktion bereits begonnen hat. Deswegen wird dieser Schritt meist von einem Roboter übernommen.



Beim Schließen des Werkzeugs wird das Harz weiter verteilt und füllt nach vollständigem Schließen des Werkzeugs die gesamte Kavität aus.



Nach der Aushärtung kann das Werkzeug geöffnet und das Bauteil entformt werden.



Mit Werkzeuginnendruckmessung zum optimalen Resultat

Wie auch bei anderen Füllprozessen (z.B. Spritzguss) ist der Druckverlauf ein entscheidender Faktor für die Prozessoptimierung und die Produktionsüberwachung. Die charakteristischen Prozessphasen wie Evakuierung, Füllung und Aushärtung lassen sich im Druckverlauf gut erkennen, was eine Optimierung der Prozessparameter und damit eine wirtschaftlichere Produktion erlaubt.

Das Drucksignal kann zusätzlich als Regelgröße für einzelne Prozessschritte dienen, sodass der Prozess online gesteuert werden kann. Anomalien in der Druckkurve lassen dabei erkennen, ob und welche Fehler im späteren Bauteil zu erwarten sind. Die Erfassung und Aufzeichnung des Drucksignals ermöglicht zudem auch die Rückverfolgbarkeit der einzelnen Prozessschritte. Die Druckkurve ist damit ein unverzichtbares Werkzeug für die Qualitätssicherung.

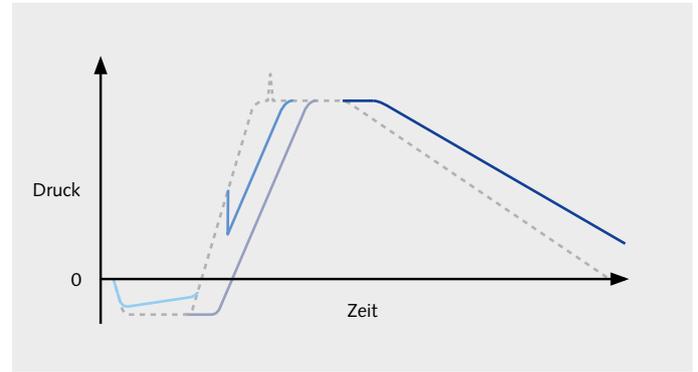
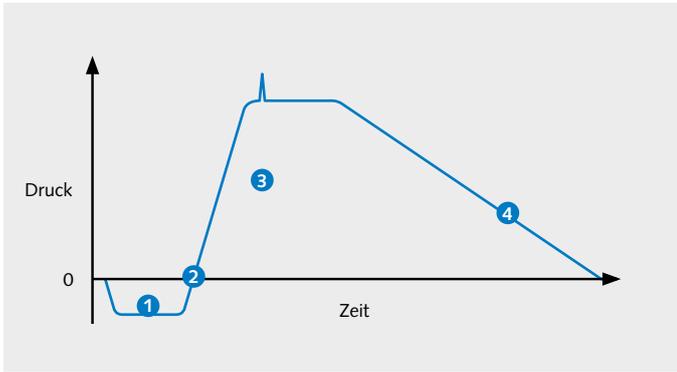
Fehlererkennung anhand der Druckkurve:

Zu schwacher oder nicht konstanter Unterdruck:

Ursachen: Fehlerhafte Dichtung der Form
Versagen der Vakuumpumpe
Folge: Luftblasen und Fehlstellen im Bauteil

Unregelmäßigkeit in der Füllphase:

Ursachen: Verschieben des Preforms
Preformfehler/falsche Orientierung einer Lage
Folge: Falscher Faseranteil
Trockene Stellen



— 1 — 2 — 3 — 4

Referenzdruckkurve RTM

1. Nach dem Schließen des Werkzeugs beginnt die Evakuierung der Kavität. Die Höhe und Konstanz des Unterdrucks sind ausschlaggebend für ein luftblasenfreies Bauteil.
2. Sobald das Harz die Sensorposition erreicht, steigt der Werkzeuginnendruck linear an. Dies spiegelt den stetig steigenden Fließwiderstand wider, welchen das Harz beim Umspülen des Preforms überwinden muss.
3. Bei erreichter Formfüllung können etwaige Überläufe oder Steiger geschlossen und die Harzpumpe abgeschaltet werden. Der Druck pendelt sich dann auf dem maximalen Niveau ein und entspricht dem an der Harzpumpe eingestellten Druck.
4. Die Volumenschwindung des Harzes während der Reaktion führt zu einem konstanten Abfall des Drucks auf Atmosphärendruck.

Ursachen und Folgen der Abweichungen

1. Ein zu schwacher oder nicht konstant wirkender Unterdruck lässt auf eine unzureichende Dichtungsfunktion des Werkzeugs schließen. Folge hiervon ist ein hoher Luftanteil in der Form, der zu Lufteinschlüssen im fertigen Bauteil führen kann. Mit der Druckkurve wird die unzureichende Evakuierung der Form erkannt. Der Injektionsbeginn kann gestoppt werden, bevor ein qualitativ minderwertiges Teil hergestellt wird.
2. Die Steigung des Drucksignals während der Füllphase ist abhängig von der Permeabilität des Preforms. Abweichungen vom normalen Druckgradienten weisen daher auf eine andere Zusammensetzung des Preforms, auf eine andere Orientierung einzelner Lagen oder auf Fremdkörper in der Form hin.
3. Hohe Druckschwankungen während der Füllphase lassen auf ein Verschieben des Preforms oder einzelner Lagen schließen. Der Druckanstieg kann daher als Referenz für die Qualität des Preforms herangezogen werden.
4. In der Reaktionsphase zeigt der Abfall der Druckkurve die einsetzende Volumenschwindung und damit die beginnende Aushärtung des Harzsystems an. Ähnlich wie in der Füllphase lässt der Zeitpunkt und die Steigung des Abfalls Rückschlüsse auf die Geschwindigkeit der Gelierung zu. Somit kann die Dauer bis zur ausreichenden Aushärtung des Bauteils bestimmt und der optimale Entformungszeitpunkt berechnet werden.



Überwachen von Composites Verfahren mit Kistler

Überzeugen Sie sich anhand von unserer Animation von den erstklassigen Kistler-Lösungen – für den sichersten Weg zu 100 % Qualität in Ihrer Produktion:

www.kistler.com/Composites



Sensoren, Anschlussstechnik und Analyse-Systeme

Sensoren

Exakte und reproduzierbare Druckmesswerte sind nur mit zuverlässigen und präzise messenden Sensoren zu gewinnen. Kistler liefert für jede Formteilgeometrie und jede Einbausituation die passende Lösung. Sensoren von Kistler besitzen eine nahezu unbegrenzte Lebensdauer, liefern ein hoch lineares Messergebnis und arbeiten temperaturunabhängig. Sie messen mit hoher Auflösung kleinste Druckschwankungen bei bis zu 200 bar und/oder Temperaturveränderungen von bis zu 275 °C mit hoher Auflösung.

Kistler bietet zudem eine breite Palette an Temperatursensoren für spezifische Kundenlösungen an.

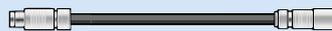
ComoNeo

ComoNeo ist das Prozessüberwachungssystem von Kistler zur werkzeuginnendruckbasierten Optimierung, Steuerung, Überwachung und Dokumentation des Spritzgießens mit Gutteil-Schlechtteil-Trennung. Das System eignet sich für jede Applikation und sorgt für eine Senkung der Qualitätskosten durch die automatische Erkennung von Fehlteilen.

ComoNeo ist kompakt, industriegerecht und leicht konfigurierbar, verfügt über eine prozessorientierte Bedienphilosophie und fügt sich flexibel in verschiedene Produktionsumgebungen ein. Das System besitzt bis zu 32 Eingänge für piezoelektrische Werkzeuginnendrucksensoren, bis zu 16 Eingänge für Temperaturmessungen und vier analoge Spannungseingänge für Maschinensignale (Schneckenweg, Maschinendruck, etc.).

Messen & Verbinden

Überwachen & Regeln



Ladungsverstärker

Kistler bietet zudem speziell auf die Composite-Verfahren abgestimmte Ladungsverstärker an. Ladungsverstärker wandeln das Signal vom Sensor in ein analoges 0-10 V-Signal um. Dieses Signal kann dann mit einem entsprechenden Messwert-Erfassungssystem visualisiert und verarbeitet werden. Die Ladungsverstärker für den Compsite-Bereich zeichnen sich durch spezielle Verstärkungsbereiche aus, welche die vergleichsweisen niedrigen Drücke optimal unterstützen.

Software

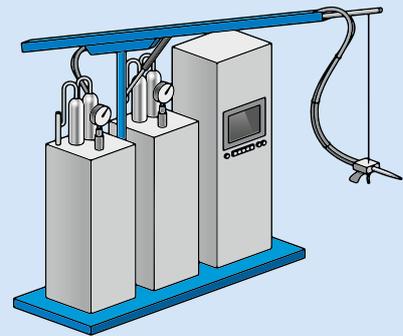
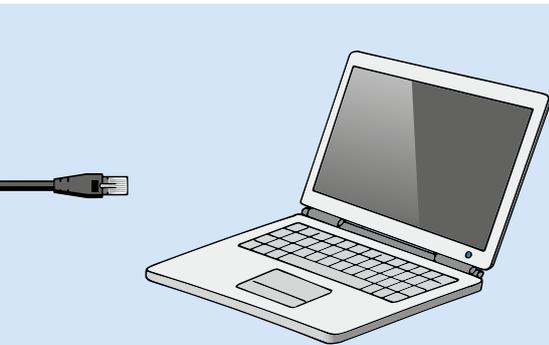
Das Grundpaket ComoNeo ist mit dem ComoDataCenter von Kistler erweiterbar. Im ComoDataCenter können alle ComoNeo Geräte vernetzt werden. Die Daten lassen sich live oder aus der Historie betrachten.

Regelung

Die Rückführung des Drucksignals zu Komponenten der Fertigungsanlagen erlaubt zudem die aktive Regelung des Prozesses. So kann beispielsweise der Förderdruck der Harzpumpe geregelt werden. Ohne eine Regelung der Pumpe besteht die Gefahr, dass die Formhälften nach vollständiger Füllung durch den Förderdruck aufgepresst werden. Auf diese Weise können falsche Dimensionen des Bauteils und Schäden am Werkzeug vermieden werden.

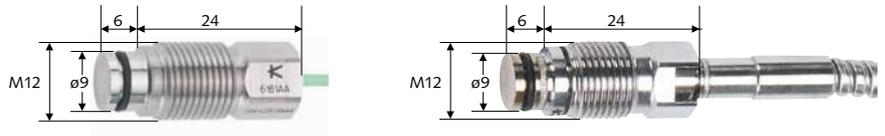
Dokumentieren & Analysieren

Regeln & Steuern

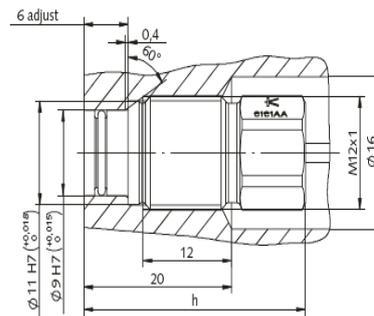


Sensorik

Frontdurchmesser		9 mm	9 mm
Messgrößen (p: Druck; T: Temperatur)		p	p+T
Technische Daten	Typ	6161A	4001A



Einbauskizze



Messbereich			
Temperatur	mV/K	-	10
Druck	bar	-1 ... 200	-1 ... 2, 5, 10 oder 50
Empfindlichkeit		18,5 pC/bar	0,2 V/bar
Betriebstemperatur			
Werkzeugtemperatur	°C	-40 ... 200	20 ... 275

Anwendungen + Eigenschaften	Automotive: (schnell härtende Harze) HP RTM SMC Nasspressen	Luft und Raumfahrt: (langsam härtende Harze) LP RTM Resin infusion
		Unbegrenzte Messdauer Temperaturkompensiertes Drucksignal für Variotherme Prozesse.

Zubehör			
minimale Einbauhöhe	mm	35	90
Datenblatt siehe www.kistler.com		6161A (003-053)	4001A (003-248)



- Sales Center
- ▲ Tech Center
- Production Center

Weltweit im Einsatz für unsere Kunden

Mit einem weltweiten Vertriebs- und Servicenetzwerk ist Kistler überall in der Nähe der Kunden. Rund 2.200 Mitarbeitende an über 60 Standorten widmen sich der Entwicklung neuer Messlösungen und bieten individuelle anwendungsspezifische Unterstützung vor Ort.

Erhöhte Wirtschaftlichkeit durch innendruckbasierte Systeme

KISTLER
measure. analyze. innovate.

Prozessüberwachung und -regelung
Technik zur Prozessüberwachung und -regelung

Erhöhte Wirtschaftlichkeit durch werkzeug-
innendruckbasierte Systeme

KISTLER
measure. analyze. innovate.

Kunststoffverarbeitung
Optimierung des Werkzeugens durch Innendruck

Wirtschaftlichere Produktion durch innendruckbasierte Fertigungsprozesse

KISTLER
measure. analyze. innovate.

Composites
Prozessüberwachung und Qualitätskontrolle in der Fertigung von Composites

www.kistler.com

www.kistler.com

www.kistler.com

Weitere Informationen finden Sie unter:
www.kistler.com/de/anwendungen

Kistler Group
Eulachstrasse 22
8408 Winterthur
Schweiz

Tel. +41 52 224 11 11

Die Produkte der Kistler Gruppe sind durch verschiedene gewerbliche Schutzrechte geschützt. Mehr dazu unter www.kistler.com

Die Kistler Gruppe umfasst die Kistler Holding AG und alle ihre Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Finden Sie Ihren Kontakt auf

www.kistler.com

KISTLER
measure. analyze. innovate.