

# MYCELL™ Verarbeitungsrichtlinie

Ausgabe 04/2011 ersetzt 08/2010

## Inhalt

### 1. Vorbehandlung und Verarbeitung von Hartschaumstoffen

- 1.1. Lagerung und Vorbehandlung
- 1.2. Mechanische Bearbeitung
- 1.3. Thermoformen

### 2. Sandwichproduktion

- 2.1. Rillen und Perforation
- 2.2. Einbringen des Schaumstoffes in die Form
- 2.3. Laminieren mit UP / VE-Harzen
- 2.4. Laminieren mit Epoxidharzen
- 2.5. Harzinfusions- und Injektionsverfahren
- 2.6. Verarbeitung mit Prepregs
- 2.7. Verklebung verschiedener Deckschichten mit Schaumstoff
- 2.8. Vakuumverfahren

# 1. Vorbehandlung und Verarbeitung von MYCELL™ Hartschaumstoffen

## 1.1 Lagerung und Vorbereitung

### Lagerung

Alle Schaumstoffe sollten in einem geschlossenen Raum bei Temperaturen zwischen 10 und 30 °C und weniger als 80 % relativer Luftfeuchtigkeit gelagert werden. Schaumstoffe und Lösungsmittel sind in getrennten Räumen zu lagern, da Schaumstoffe flüchtige Stoffe absorbieren. Längere Lagerzeiten können zu Material-schrumpfung von bis zu 5 % führen. Dies muss in Betracht gezogen werden, wenn auf Mass zugeschnittener Schaumstoff über längere Zeit gelagert wird.

Direkte Sonnenbestrahlung ist zu vermeiden, um ungleichmässige Material-schrumpfung zu verhindern. Es wird unbedingt empfohlen, den Schaumstoff vor Gebrauch oder Weiterverarbeitung über mindestens 24 Stunden bei Raumtemperatur zu lagern, insbesondere bei tiefen Aussentemperaturen oder hoher Luftfeuchtigkeit. Absorbierte Feuchtigkeit kann die chemische Reaktion mit Harz behindern und verschiedene Temperaturen können zu anderen Aushärtungszeiten führen.

### Entgasung von MYCELL™ M Schaumstoffkern

Aufgrund seiner chemischen Beschaffenheit und des Produktionsprozesses neigen MYCELL™ M-Hartschaumstoffe dazu, während des Aushärtungsprozesses der Deckschichten (z. B. Prepreg-Verarbeitung) kleine Gasmengen auszuscheiden. Um dies zu verhindern, kann MYCELL™ M durch Wärmebehandlung entgast werden.

Die drei hauptsächlichsten Parameter, die die Entgasung von vernetzten PVC-Schaumstoffen beeinflussen sind Zeit, Temperatur und Druck. Die Rohdichte des Schaumstoffes spielt dabei keine große Rolle.

Die Menge des entweichenden Gases verändert sich stark je nach Position über die Blockdicke. Jedes Spalten oder Schleifen von mehr als 2 mm ändert das Gleichgewicht zwischen dem Atmosphärendruck und dem Druck in den einzelnen Zellen. Der Schaumstoff wird demnach ausgasen, bis das Gleichgewicht wieder hergestellt ist. Es ist nicht möglich, einen Schaumstoffblock vollständig über seine gesamte Stärke durch Tempern zu entgasen. Bei jedem Spalten startet ein neuer Ausgasungsprozess.

Die gebräuchlichsten Massnahmen zur Reduktion des Ausgasens sind das Tempern und die kontrollierte Lagerung:

### Tempern

Mit dem Tempern können vernetzte PVC-Schaumstoffe effektiv und innert nützlicher Frist entgast werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass ein **Tempern bei 40 °C über ca. 7 Tage** die sicherste Methode darstellt, das Entgasen zu beschleunigen. Das Material kann dabei etwas schrumpfen und wellen.

### Kontrollierte Lagerung

Mit der kontrollierten Lagerung kann das Wellen des Materials verhindert und das Schrumpfen reduziert werden. Mit dieser Methode wird das Material jedoch relativ lange blockiert. Um ähnliche Resultate wie beim Tempern zu erhalten, muss bei Raumtemperatur (23°C) mit einer Lagerzeit von einem Monat gerechnet werden. Als Faustregel gilt, dass eine Änderung der Lager- resp. Temperatempertemperatur um 10°C die Temperzeit um den Faktor 2 verändert, wobei Temperaturen von > 50° und < 10° zu vermeiden sind.

Bsp.: 50 °C ⇒ 3 days, 60 °C ⇒ 1.5 days etc. or 10 °C ⇒ 2 months

### **Allgemeine Hinweise**

1. Um übermässiges Ausgasen während dem Verarbeiten zu verhindern, sollte der Schaumstoff im Gleichgewichtszustand sein. Dieser kann am besten erreicht werden, indem das Material nach dem Spalten getempert oder ausgelagert wird (siehe oben).
2. Die Gefahr von Blasenbildung in der Deckschicht oder reduzierter Schälfestigkeit nimmt ab, je höher der Harzgehalt im Laminat ist und je schneller sich das Harz mit dem Kern verbindet.
3. Prozesse mit erhöhter Wärmeentwicklung bei der Laminataushärtung, insbesondere bei der ersten Laminatschicht auf Kernseite, fördern das Ausgasen. Wenn damit jedoch eine gute Haftung der Deckschicht auf dem Kern erreicht wurde, bedeutet eine Nachhärtung unter Temperatur keine Gefahr mehr für das Sandwich.
4. Bei der Prepregverarbeitung mit einigen MYCELL™ Schaumstoffen konnten bei Temperaturen zwischen 90° und 120 °C bei Beachtung obiger Richtlinien gute Resultate erzielt werden und es traten kaum Ausgaseffekte auf. Bei 60 °C Niedertemperaturprepregs für den Bootsbau können Ausgaseffekte die Haftung beeinträchtigen, da es bei dieser Verarbeitungsmethode länger dauert, bis die nötige Haftungsfestigkeit erreicht wird.

Für weitere Informationen und Auskünfte steht der Technische Service von Maricell gerne zur Verfügung.

## 1.2 Mechanische Bearbeitung

### Allgemeines

MYCELL™ Hartschaumstoffe mit Rohdichten von weniger als 200 kg/m<sup>3</sup> sind einfach maschinell bearbeitbar. Im allgemeinen eignen sich Holzbearbeitungsmaschinen. Für Hartschäume mit Rohdichten von über 200 kg/m<sup>3</sup>, insbesondere für thermoplastische Materialien, muss die richtige Wahl der Werkzeugkonfiguration und der Bearbeitungsgeschwindigkeit getroffen werden, um lokale Materialüberhitzung und damit unbefriedigende Resultate zu verhindern.

Diese Verarbeitungsrichtlinien sind als genereller Leitfaden basierend auf den langjährigen Erfahrungen von Maricell auf diesem Gebiet zu verstehen. Sie entbinden jedoch nicht von nötigen Praxisversuchen, um optimale Resultate für die spezifische Anwendung zu erzielen.

### Wichtiger Hinweis !

Die mechanische Bearbeitung von Hartschaumstoffen kann ökologische und gesundheitliche Schäden durch aufgewirbelte Staub- und Schaumstoffpartikel verursachen. Geeignete Belüftung und vakuumunterstützte Staubabsaugeinrichtungen sind von großer Bedeutung. Für zulässige Limiten für verbleibende Staubbelastung und andere Schutzvorkehrungen für das Personal sind die Material sicherheitsdatenblätter zu beachten.

### Schneiden

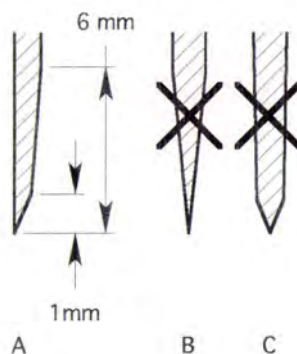
Die folgenden Empfehlungen beziehen sich auf MYCELL™ M040 bis M100 Schaumstoffe.

#### Schneiden mit Messern

Dünne Platten bis 10 mm Dicke können ohne Schwierigkeiten und mit guten Resultaten mit scharfen Messern wie z.B. Stanley Messern geschnitten werden. Bei MYCELL™ M ist bei niedriger Rohdichten mehr Sorgfalt erforderlich.

#### Schneiden mit Bandstahlmessern

Eine handliche Methode zur Herstellung von kleineren und größeren Zuschnitten aller Art ist das Stanzen mit Bandstahlmessern. Folgende Maximalplattendicken sollten dabei beachtet werden:



MYCELL™ M 15 mm

#### Schneidengeometrie

Von den verschiedenen, möglichen Schneidengeometrien bei Stahlbandanlagen und Schneidemaschinen wird Typ A empfohlen.

**Spanabhebende Bearbeitung von Hartschaumstoffen niedriger Rohdichte**

MYCELL™ M048 bis M100 sind maschinenbearbeitbar mit guten Resultaten auf allen Hochgeschwindigkeitsmaschinen zur Holzbearbeitung. Dabei kommen Standardwerkzeuge und -konfigurationen zur Anwendung.

Schaumstofftyp	Bearbeitungsmethode			
	Schleifen Schmirgeln	Bohren	Fräsen	Drehen
M060-M100	✱	✱	✱	✱

Bearbeitungsmethoden von MYCELL™ beziehen sich auf Rohdichten von 40 - 90 kg/m<sup>3</sup>

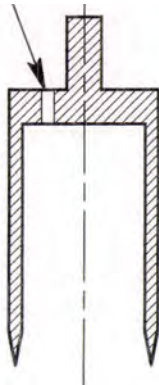
✱ geeignete Bearbeitungsmethode

**Schleifen**

Bei Schleifoperationen muss Vorsicht geboten werden. Zu hohe Verarbeitungsgeschwindigkeit und Druck erzeugen Reibungswärme, die zum Erweichen und Verschmieren der Oberfläche führen kann. Dies kann später besonders beim flächigen Verkleben zu Verbundproblemen führen. Beim Schleifen sollte Papier der Körnung 60 - 80 gewählt werden. Die empfohlene Geschwindigkeit liegt bei 20 - 30 m/s.

**Bohren mit zylinderförmigen Schneidwerkzeuga**

Lüftungslloch



Zylinderförmige Schneiden sind ein passendes Werkzeug zum Bohren von Löchern mit grösseren Durchmessern oder Scheiben in Schaumstoffen niedriger oder mittlerer Rohdichte. Die mögliche Maximaldicke hängt dabei von der Materialdichte und dem Durchmesser des Schneidwerkzeugs ab. Dieser sollte 30 - 35 mm nicht überschreiten.

Die Schneidengeschwindigkeit sollte auf 100 - 250 U/min resp. 280 m/min limitiert sein, um nicht zu hohe Zerspanungswärme zu erzeugen. Der Vorschub sollte auf 0.5 - 2 mm/s eingestellt werden; der Einsatz von Kühlflüssigkeit kann hilfreich sein und wird empfohlen.

**Wichtiger Hinweis !**

Für die anschliessende Laminierung und Verklebung ist die Entfernung von jeglichem Staub und Schmutz von großer Wichtigkeit. Vakuumreinigung ist der Druckluft vorzuziehen.

### 1.3 Thermoformen

#### Allgemeines

Beim Thermoformen wird der Schaumstoff durch Aufheizen auf eine erhöhte Temperatur gebracht, umgeformt und anschliessend unter Druck abgekühlt. Die Thermoformbarkeit bedingt, dass zumindest ein Teil in der Zusammensetzung des Schaumstoffs auf einem thermoplastischen Polymer basiert. Dies ist der Fall bei MYCELL™ Schaumstoffen. Diese können somit thermogeformt werden. Der Grad der möglichen Umformung hängt vom Schaumstofftyp und von der Plattendicke ab.

Beim Thermoformen können die oben genannten Schaumstoffe ohne Beeinträchtigung zu komplexen 3-dimensionalen Sandwichstrukturen umgeformt werden, wie sie in modernen Anwendungen häufig eingesetzt werden. Es ist deshalb eine gute Alternative zur Verwendung von Scrim-Cloth- und Contour-Lösungen, wo der Kernwerkstoff und damit der Belastungspfad Diskontinuitäten aufweist. Thermoformen führt zudem zu leichteren Strukturen und vermindertem Verbrauch von Harz, Klebstoff und Spachtelmaterial.

#### Prozessparameter

##### *Beheizen von Schaumstoffen*

Es bestehen verschiedene Methoden für die Beheizung von Schaumstoffen für das Thermoformen:

Konvektion: mittels Umluftwärmeschrank oder Heissluftgebläse  
Konduktion: mittels Heizplatten oder im Wasserbad  
Bestrahlung: mittels Infrarot- und Halogenstrahler oder Heizdrahtbänken

Bei der konduktiven Beheizung können wegen Festkleben vom Schaumstoff an den Heizplatten Schwierigkeiten auftreten. Teflonbeschichtete Oberflächen oder Trennfolien können diesem Problem entgegenwirken. Beim Tauchen in ein Wasserbad wird eine anschliessende Trocknung des Schaumstoffes empfohlen. Verbleibende Feuchtigkeit kann die Haftung zwischen Kern und Deckschicht beeinträchtigen.

Bestrahlung kann zeitweise zur Überhitzung der Schaumstoffoberfläche führen, insbesondere bei zu hohem Strahlungsfluss, wenn sich die Wärme nicht rasch genug zum Plattenzentrum ausbreitet. Dies führt zu Zellbeschädigungen, Materialzersetzung und verschlechtert die mechanischen Eigenschaften in diesen Zonen. Die Oberflächentemperatur des Schaumstoffes sollte deshalb sorgfältig überwacht und der Strahlungsfluss entsprechend geregelt werden.

Allgemein kann gesagt werden, dass Konvektion die sicherste Methode zur Beheizung von Schaumstoffen ist, da sie von keiner der oben erwähnten Problemkreise betroffen ist. Allerdings muss auch bei dieser wie bei allen anderen Methoden besonders darauf geachtet werden, dass der Schaumstoff gleichmässig beheizt wird. Ist dies nicht der Fall, können infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnung Risse auftreten. Die Ecken bewegen sich dabei in Richtung der Wärmequelle und verstärken so das Problem der ungleichmässigen Erwärmung. Dem kann entgegengewirkt werden, indem der Erwärmungsprozess etwas verlängert wird.

## Verarbeitungsrichtlinien

### **Verformungstemperaturen**

Die folgenden Temperaturen werden empfohlen für das Thermoformen:

<b>Schaumstoff</b>	<b>Optimale Verformungstemperatur (°C)</b>
M060 - M080	115 - 130

### **Aufheizzeit**

Die nötige Aufheizzeit hängt von der Wärmekapazität des Schaumstoffs, der Plattendicke und anderen Faktoren wie Ofendesign und den Umgebungsbedingungen ab. Die Aufheizzeit kann wie folgt abgeschätzt werden:

Konvektion: 0.5 - 1 min/mm  
(Umluftofen)

Konduktion: 0.2 - 0.5 min/mm  
(Heizplatten)

Für Plattendicken bis 20 mm liegen die Aufheizzeiten im allgemeinen zwischen 2 und 10 Minuten.

### **Formen/Lehren**

Bei Umformung kleiner Stückzahlen genügen einfache, Formgebungswerkzeuge aus Holz oder Verbundmaterial. Für grössere Serien empfehlen sich temperaturgeregelte Aluminiumwerkzeuge. Mit der Temperaturregelung kann sichergestellt werden, dass sich die Umformbedingungen innerhalb der engen Prozessparameter bewegen. Falls keine engen Dickentoleranzen gefordert sind, kann mit einer einzigen Negativ- oder Positivpressform gearbeitet werden.

### **Druckaufbau**

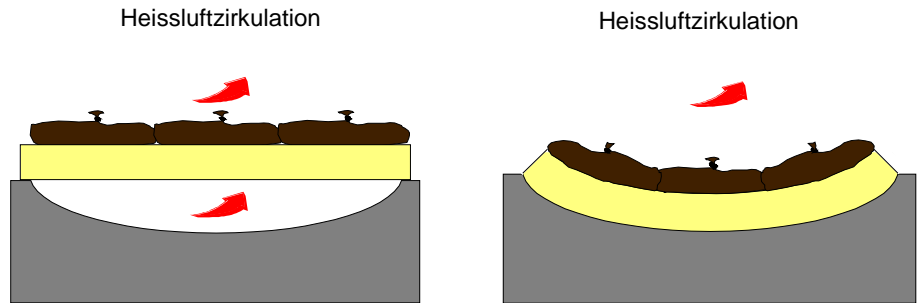
Der Druck zum Thermoformen kann auf verschiedene Weise aufgebaut werden:

- manuell
- mit Gewichten wie z.B. Sandsäcken
- mit der Vakuumsackmethode
- mittels Pressform

## Verarbeitungsrichtlinien

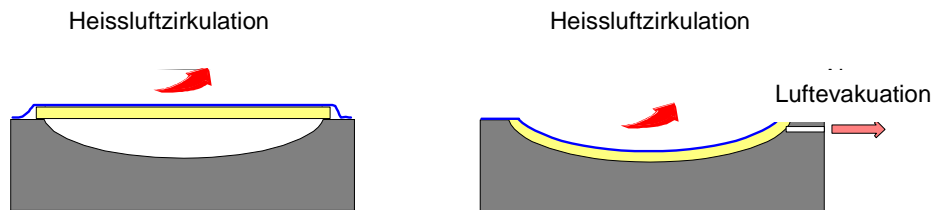
### Kriechformen

Beim Kriechformen werden der Schaumstoff und die Form in einem Umluftofen erhitzt. Der Heiz- wie auch der Kühlvorgang erfolgt unter Gewichtsbelastung, z.B. mit Sandsäcken. Die Zykluszeit liegt dabei zwischen 1 und 5 Stunden, je nach Typ und Dicke des Schaumstoffes.



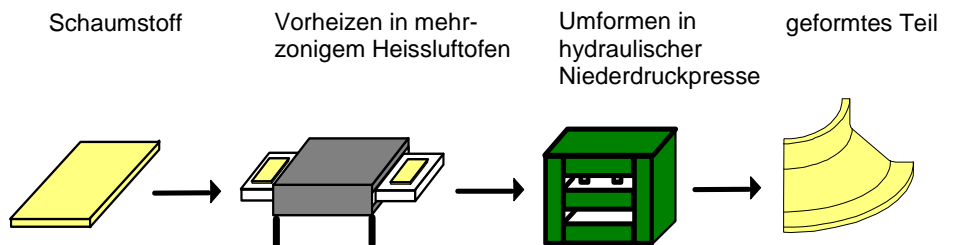
### Vakuumformen

Vakuumformen kann in einem Umluftofen oder einem Autoklaven erfolgen. Es wird empfohlen, zusätzliche Heissluftzirkulation zwischen dem Schaumstoff und dem Werkzeug einzusetzen. Die Abkühlung findet unter Vakuum statt. Je nach Typ und Dicke des Schaumstoffes liegen die Zykluszeiten zwischen 1 und 5 Stunden.



### Druckumformen

Für enge Dickentoleranzen wird Thermoformen in geschlossenen Pressformen empfohlen. Der Druck kann dabei mittels einfachem Schliess- oder Klemmmechanismus oder zwischen den Platten einer Druckformpresse aufgebracht werden.



Der Schaumstoff wird auf die erforderliche Temperatur vorgeheizt, was für Plattendicken von bis zu 20 mm rund 10 Minuten dauert. Das Formwerkzeug sollte temperaturgeregt sein. Die Zykluszeit des Pressvorgangs liegt zwischen 2 und 2.5 Minuten.



## 2. Sandwichproduktion mit MYCELL™ Hartschaumstoffen

### 2.1 Rillen und Perforation

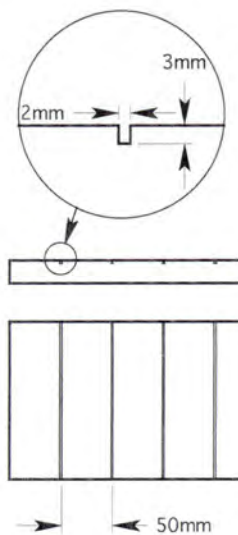
#### Zweck

Ein Sandwich ist eine Verbundplatte, die aus einem schubsteifen und schadenstoleranten Kern und zug- sowie druckfesten, steifen Deckschichten aufgebaut ist. Das Kernmaterial wird dabei zwischen zwei Deckschichten eingebracht, wodurch ein leichtes und trotzdem steifes Bauteil entsteht. Die Verbundplatte genügt den Anforderungen allerdings nur, wenn die Klebverbindung zwischen dem Schaumstoffkern und den Deckschichten auch bei extremer Beanspruchung, Überbelastung oder Schlageinwirkung nicht versagt. Eine durch lokales Knittern entstandene Ablösung der Deckschicht führt zu hohem Verlust von Steifigkeit und Festigkeit und schliesslich zum Versagen des ganzen Bauteils. Die korrekte Verbindung des Schaumstoffkerns mit den Deckschichten ist deshalb von grösster Wichtigkeit und ein kritischer Teil im Sandwichherstellungsprozess.

Die Verbindung des Kernmaterials mit den Deckschichten kann beispielsweise mit folgenden Methoden erfolgen:

- Nasslaminieren mit Vakuumsack oder Sandsäcken ([Kapitel 2.8](#))
- Harzinjektion ([Kapitel 2.5](#))
- Aufkleben der Deckschichten auf den Schaumstoff ([Kapitel 2.7](#))

#### Vorbereitung



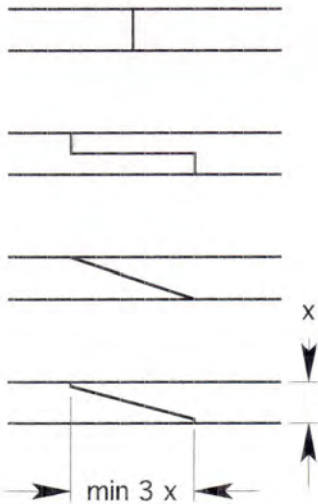
Es wird empfohlen, den Schaumstoffkern vor dem Verkleben zu rillen oder zu perforieren. Perforation ist vor dem Nasslaminieren in Negativformen oder vor der Harzinjektion erforderlich. Nebenstehende Darstellung zeigt die empfohlenen Masse beim Rillen.

Für die Perforation werden Löcher von ca. 2 bis 3 mm Durchmesser im konstanten Abstand von maximal 50 mm gebohrt. Der Einsatz von Holz- oder Kartonschablonen ist dabei empfohlen.

#### **Wichtiger Hinweis !**

Vor dem Aufbringen der Deckschichten auf den Schaumstoffkern muss dessen Oberfläche mittels Vakuumreinigung von jeglichen Staubpartikeln befreit werden.

## Verarbeitungsrichtlinien Plattenverbindungen



## Kitherstellung

Es stehen verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, Schaumstoffplatten miteinander zu verbinden. In Abhängigkeit von der Plattendicke und den gewünschten Eigenschaften kann die eine oder andere Passform gewählt werden. Es ist besonders darauf zu achten, dass die Verbindungsfläche genügend groß ist. Nebenstehende Darstellung zeigt einige mögliche Plattenverbindungen. Die zu verwendenden Klebstoffe werden im [Kapitel 2.7](#) besprochen.

Für komplexe, 2- oder 3-dimensionale Bauteile (Schiffsrumpf, Windflügelblatt) ist es wünschenswert ein Schaumkit herzustellen, welches schnell und effizient in die Form eingebaut werden kann. Die Kitherstellung erfolgt beim erstmaligen Zuschneiden der Schaumplatten für die bestehende Form. Dabei sollten die folgenden Punkte berücksichtigt werden.

- Bei der Vakuuminfusion ([Kapitel 2.5](#)) muss darauf geachtet werden, dass die Rillung senkrecht zur Fließfront nicht unterbrochen wird. Angrenzende Platten müssen so zugeschnitten werden, dass das Rillennmuster durchgehend ist.
- Es ist auf optimale Schaumplattenausnutzung zu achten, um den Abfall zu reduzieren.

Die einzelnen Platten können auf unterschiedliche Art und Weise eingebaut werden. Beim Handlaminieren werden die einzelnen Schaumstoffplatten separat gemäss [Kapitel 2.3](#) eingebaut. Im Prepregprozess und im Infusionsprozess muss auf eine passgenaue Verbindung zwischen Schaumstoffplatten geachtet werden. Gegebenenfalls ist eine 45° Überlappung sinnvoll um das Risiko einer möglichen Kanalbildung zwischen den Platten während der Verarbeitung zu verhindern. Diese können sich folgendermassen störend auswirken:

- „Printthrough“ auf der Bauteiloberfläche  $\Rightarrow$  Nachbearbeitung
- Extreme Hitze bei der Aushärtung des Harzes  $\Rightarrow$  Zerstörung des Schaumes
- Falsche Fließfront bei der Vakuuminfusion  $\Rightarrow$  Gefahr Lufteinschlüsse zu produzieren

Es ist zu empfehlen, die Schaumplatten beim Einlegen miteinander zu verkleben. Geeignete Klebstoffe sind in [Kapitel 2.7](#) gelistet. Aus den ersten zugeschnittenen Platten lassen sich Schablonen auf Sperrholz (o. ä.) herstellen, welche für spätere Kits wiederverwendet werden können.

## Wichtiger Hinweis !

Beim Übergang von Sandwich zu reinem Laminat (z. B. in Kiel oder bei speziellen Stufen im Bootsrumpf, soll der Schaum schräg angefräst oder geschliffen werden (optimal 30° zur Plattenfläche).

## 2.2 Einbringen des Schaumstoffes in die Form

### Allgemein

Schaumstoffplatten können in verschiedenster Weise in die gewünschte Form gebracht werden.

- Kaltformen
- Thermoformen (siehe [Kapitel 1.3](#))
- Verwendung von Scrim Cloth Kernmaterial

Kaltformen und Thermoformen führen zu gewichtsoptimierten Sandwichstrukturen mit kontinuierlichem Schaumstoffkern. Die Verwendung von ContourKore (scrim) Kernmaterial ist eine einfache und schnelle Alternative ohne Bedarf an Spezialwerkzeugen.

### Kaltformen

Insbesondere für MYCELL™ R63 Schaumstoff ist Kaltformen die passende Anwendungsmethode, aber auch andere MYCELL™ Schaumstoffe können mit diesem Prozess geformt werden.

Der minimale Biegeradius hängt vom verwendeten Schaumstofftyp, der Plattendicke und bis zu einem bestimmten Grad von der Schaumstoffdichte ab. Mit Hilfe der untenstehenden Tabelle kann der minimale Biegeradius wie folgt abgeschätzt werden:

$$\text{Plattendicke} \times \text{Multiplikator} = \text{Minimaler Biegeradius}$$

<b>Schaumstoff Typ</b>	M
<b>Multiplikator</b>	25

Multiplikator zur Bestimmung des minimalen Kaltbiegeradius

Für sehr kleine Radien kann der Kern aus zwei oder mehr Schaumstoffschichten durch Laminieren auf einer Positivform aufgebaut werden.

Durch Kaltformen entstehen interne Spannungen im Kernwerkstoff. In Abhängigkeit von Zeit und Temperatur werden diese Spannungen jedoch wieder kontinuierlich abgebaut.

Bei Anwendung der Vakuummethode wird der Schaumstoff ohne spezielle Vorkehrungen in der Form fixiert, kann aber auch mit Schrauben genau positioniert werden.

Sind die gebogenen Radien kleiner als die mit der Formel errechneten Werte, muss das Teil thermogeformt werden. (siehe [Kapitel 1.3](#)).

### Vergleich von Scrim Cloth mit umgeformten Kernen

Mit Kaltumformen oder Thermoformen entstehen keine Diskontinuitäten im Schaumstoffkern. Somit müssen anders als bei Scrim Cloth Kernmaterialien keine Lücken mit Harz oder Klebstoff gefüllt werden, was zu erheblicher Gewichtseinsparung führt. Zudem muss sowohl der Kostenfaktor als auch der Einfluss auf das Strukturdesign des Verbundbauteils in Betracht gezogen werden.

### Kalkulation

Das Volumen aller Hohlräume, die aus den Schlitzen in den Scrim Cloth Kernen entstehen, können mit der folgenden Formel approximativ bestimmt werden:

$$V \approx d^2 * 29 * \arcsin 3/r$$

V: Volumen der Hohlräume pro Quadratmeter [cm<sup>3</sup>]

d: Dicke des Schaumstoffkerns [cm]

r: Biegeradius [cm]

arcsin wird in Grad gerechnet (Kreis = 360°)

### Beispiel

Dicke des Schaumstoffkerns 2.5 cm

Biegeradius 100 cm

→ Volumen der Hohlräume **311 cm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>**

### Scrim Cloth Kerne

Für zwei- und dreidimensionale Formen in faserverstärkten Sandwichbauteilen im Negativformverfahren sind MYCELL™ M Schaumstoffe als ContourKore (scrim) Kernwerkstoff verfügbar. Der Schaumstoff ist in Quadrate mit z.B. 30 mm Seitenlänge geschnitten und auf ein Glasfasergewebe aufgeklebt.

### Wichtiger Hinweis !

Um eine optimale Bauteilqualität zu erreichen, sind folgende Voraussetzungen unentbehrlich:

- sehr gute Haftung zwischen Laminat und Schaumstoffkern
- vollständiges Auffüllen der Schlitze mit Harz oder Klebstoffen

Es gibt viele Methoden wie ContourKore Schaumstoff in Negativformen eingebracht werden können:

Zunächst muss die Klebefläche des Scrim Cloth Schaumstoff mit einem katalysierten Universalharz geprimert werden. Ein orthophthalisches Polyesterharz mittlerer Viskosität und mit einem Styrolmonomergehalt von höchstens 40 % ist dazu am besten geeignet. Das Primern erfolgt vorzugsweise auf einer gebogenen Spannvorrichtung, damit die Schlitze zwischen den Quadraten leicht geöffnet sind.

Das Harz wird nun mit einem Handroller in die Öffnungen eingerollt und der Vorgang bei um 90° gedrehten Schaumstoffplatte wiederholt. So wird die zweite Hälfte der Schlitze mit Harz geprimert. Das Harz sollte katalysiert sein, um die Gelierzeit auf 20 - 40 Minuten zu erhöhen (gemessen auf dünner Schicht auf dem Schaumstoff).

Noch immer aufgelegt auf der gebogenen Spannvorrichtung werden die Schlitze mit Klebstoff oder -paste gefüllt. Um einen gleichmäßigen Film zu erhalten, kann der Klebstoff mit einem Spachtel verstrichen werden.

## Verarbeitungsrichtlinien

Es stehen eine Reihe von vorgemischten Harzsystemen zur Verfügung. Passend sind jene Harzsysteme mit einem angemessenen Elastizitätsgrad für die Verbindung zwischen dem Schaumstoffkern und der faserverstärkten Deckschicht. Im allgemeinen sind dies Harzsysteme auf der Basis ungesättigter Polyester und sind katalysiert mit einem Peroxidhärter. Das ausgehärtete Harzsystem weist eine Dichte von ungefähr 650 - 850 kg/m<sup>3</sup> auf.

Legen Sie den ContourKore Kern mit der vorbehandelten Oberfläche auf das ausgehärtete Laminat. Um eine optimale Haftung zwischen Laminat und Kern zu erhalten, muss das Laminat trocken und staubfrei sein. Mit einem handelsüblichen Laminatroller kann der Schaumstoffkern mit sanftem, regelmässigem Druck eingerollt werden bis aus den einzelnen Schlitzen Klebstoff austritt.

Der Schaumstoff wird nun mit Sandsäcken beschwert oder mittels Vakuummethode verpresst (siehe [Kapitel 2.8](#)). Da aus den Schaumstoffschlitzen Harz austritt, ist es ratsam zwischen der Scrim Oberfläche und dem Sandsack eine Trennfolie einzusetzen.

Ob das Gewebe entfernt wird oder nicht ist Sache des Anwenders. Um es zu entfernen genügt es, die Oberfläche mit Laminatharz zu benetzen. Dies löst den Klebstoff und das Gewebe kann nach einer Einwirkungszeit von etwa 10 - 15 Sekunden entfernt werden.

Das innere Laminat sollte mit einer Kurzfasermatte von 300 oder 450 g/m<sup>2</sup> auf der Schaumstoffseite beginnen. Das Laminat kann dann in üblicher Weise aufgelegt werden.

### 2.3 Laminieren mit UP/ VE-Harzen

#### Allgemeines

Fasergewebe mit einer polymeren Matrix auf der Basis ungesättigter Polyester (UP) sind wohl noch immer die am meisten verwendeten Deckschichten für Sandwichkonstruktionen mit Schaumstoffkernen. Die dabei vorwiegend angewendeten Methoden zur Herstellung der Deckschichten sind:

- ♦ Handlaminierverfahren
- ♦ Faserspritzverfahren
- ♦ Prepreg-Technik (siehe [Kapitel 2.6](#))
- ♦ Harzinfusions- und injektionsverfahren (siehe [Kapitel 2.5](#))

Handauflegeverfahren und Faserspritzverfahren sind noch immer beliebt und werden häufig angewendet, besonders im Bootsbau. Mit MYCELL™ Schaum als Kernwerkstoffe können mit diesen Verfahren Verbunde für höchste Ansprüche hergestellt werden.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, faserverstärkte Kunststoffe auf der Basis ungesättigter Polyesterharze mit Schaumstoffkernen zu verbinden. Die dabei verwendeten Methoden sind:

- ♦ Auflegen des Schaumstoffkerns auf ein unausgehärtetes Nasslaminat
- ♦ Auflegen des Schaumstoffkerns auf ein bereits ausgehärtetes Laminat unter Verwendung von Klebern, UP-Harz oder eines Klebstoffes auf UP-Basis (siehe auch [Kapitel 2.7](#))
- ♦ Handlaminieren

Alle aufgezählten Verfahren verfolgen dieselben Ziele:

- ♦ Perfekte und von hoher Festigkeit geprägte Verbindung zwischen faserverstärkten Kunststoffdeckschichten und dem Schaumstoffkern
- ♦ Vermeidung von Styroleintritt in den Schaumstoffkern vom unausgehärteten Harzsystem.

#### Primern und Versiegeln

##### Allgemeines

Alle UP- und VE-Harze enthalten reaktive organische Lösungsmittel. In den meisten Fällen handelt es sich um Styrol. Dieses kann in den Schaumstoffkern wandern mit negativen Folgen wie:

- ♦ Aufweichung des Schaumstoffes
- ♦ Verzögerte oder unvollständige Harzaushärtung
- ♦ Schlechtere Schaumstoffeigenschaften bei höheren Temperaturen
- ♦ Vermehrtes Kriechen des Schaumstoffes

Um dies zu verhindern, wird der Schaumstoff vor dem Laminierprozess versiegelt. Primern des Kerns ist ein Schritt im Laminierprozess um eine optimale Haftung zu erreichen.

### Versiegeln

Einige Schaumstoffkernmaterialien, wie MYCELL™ M mit tieferer Dichte, können unter gewissen Bedingungen Styrolsensibilität zeigen. Unter Einhaltung folgender Grenzwerte kann die Styrolmigration im Schaumstoff im für das Laminieren tolerierbaren Bereich gehalten werden:

Bedingungen / Parameter	Sicherheitslimiten beim Laminierprozess
Styrolgehalt im Harz	unter 42 % (v/v)
Arbeits-/Umgebungstemperatur	unter 25 °C
Harzviskosität	über 500 mPas
Harzexothermie	so tief wie möglich
Harzgelierzeit ♦ unter 20 °C ♦ unter 25 °C	60 Min. 20 Min.
Laminatdicke in einem Schritt	ca. 3 mm
Bevorzugte Schaumstoffdichte	
♦ MYCELL™ M080	über 75 kg/m <sup>3</sup>
MYCELL™ M060	über 50 kg/m <sup>3</sup>

Arbeitsbedingungen und Parameter die betreffend Styrolmigration zu beachten sind

### Wichtiger Hinweis !

Im Markt sind eine sehr große Anzahl veränderter und unveränderter Polyesterharze verfügbar, die sich bezüglich Styrolmigration sehr unterschiedlich verhalten. Dasselbe gilt auch für Vinylesterharze. Wird kein Standardharz verwendet oder sind dem Verwender die genauen Harzeigenschaften nicht im Detail bekannt, ist ein Test empfehlenswert, indem die Styrolabsorption im Schaumstoffkern geprüft wird. Dabei wird ein kleines Schaumstoffquadrat von 25 mm Seitenlänge auf unkatalysiertes Harz gelegt, das auf einer ebenen Fläche aufgetragen wird. Der Erweichungsprozess wird in Abhängigkeit der Zeit aufgezeichnet.

Eine Versiegelung hilft den Schaumstoffkern vor Styroleintritt zu schützen und erhöht die Adhäsion. Die Versiegelung der Kernoberfläche erfolgt durch Auftragen einer dünnen Schicht mit katalysiertem Harz auf beiden Seiten und anschließendem Aushärten.

Die Wirkung dieser Siegelschicht gegen Eintritt von Styrol ist zeitlich beschränkt und dauert ca. eine bis drei Stunden, je nach Monomergehalt und exothermischer Reaktion des verwendeten Harzes für den Laminierprozess.

## Verarbeitungsrichtlinien

### Primern

Primern des Schaumstoffkerns ist eine just-in-time Operation. Dabei wird die Schaumstoffoberfläche unmittelbar vor dem Laminieren mit einem katalysierten Harz mittlerer bis hoher Reaktionsgeschwindigkeit grundiert. So wird ein optimaler Kontakt zwischen dem verwendeten Klebstoffverbund oder Harzsystem mit den geschnittenen Zellmembranen der Schaumstoffoberfläche erreicht. Es ist zu beachten, dass primern nur so lange wirkungsvoll ist, wie im Harz noch kein Gelierprozess begonnen hat. Adäquates Katalysieren des Primerharzes ist deshalb von großer Bedeutung.

Schaumstofftyp	Versiegeln	Primern
M060		✱
M080	○	✱

Notwendigkeit von Versiegeln und Primern

- ✱ Operation notwendig
- Operation empfohlen
- Operation empfohlen für RTM- und Vakuuminfusionsprozesse

### Harzwahl

Die Wahl eines ungesättigten Polyesterharzes für das Primern und Versiegeln hängt zum grossen Teil von den Präferenzen des Anwenders ab. Im allgemeinen werden beschleunigte Harze vorgezogen.

### Beschleuniger

Wenn unbeschleunigtes Harz verwendet wird, muss ein Beschleuniger (ein Gemisch aus Kobaltnaphthenat oder -oktoat in Phtalatweichmacher oder aliphatischem Kohlenwasserstoff) beigefügt werden um eine Gelierzeit von 12 - 25 Minuten für Versiegelung oder 20 - 40 Minuten für Primern zu erreichen, je nach den Richtlinien des Harzherstellers.

### Beschleunigte Harze

Beschleunigte ungesättigte Polyesterharze sind weitverbreitet für Lamine. Die Gelierzeit wird dabei vom Anteil des Peroxidkatalysators entsprechend den Angaben des Harzherstellers geregelt.

### Wichtiger Hinweis !

In der Regel soll die Konzentration des Katalysators zwischen 1 und 2.5 % des Harzes betragen.

### Farbpigmentierung

Für eine bessere Überwachung der regelmässigen Harzverteilung beim Primern und Versiegeln wird empfohlen, dem Harz 0.1 - 0.5% Pigmentpaste, wie z.B. Mineralocker beizumischen.



## Verarbeitungsrichtlinien

### Primern mit Kobaltbeschleuniger

Eine Alternative ist das Versiegeln der Schaumstoffoberfläche mit einer Emulsion oder Lösung ungesättigten Polyesterharzes mit Kobaltbeschleuniger (Primer "C"). Dieses Primersystem ist besonders geeignet für Zweitversiegelung von Kernwerkstoffen, bei denen die Harzschutzschicht durch Schleifen teilweise entfernt worden ist, oder zum Schutz von Ecken, Öffnungen oder Kanten.

Schaumstoff Typ	Harztyp				
	Ortho-phthalisch	Iso-phthalisch	NPG	NPG/Adipische Säure	Vinylester
C70.55	✱				
C70.75	✱	○			

Empfohlene Harztypen für Primern und Versiegeln

- ✱ optimale Wahl
- mögliche Wahl

### Auftragen von versiegelndem Harz



Das Auftragen von versiegelndem Harz wird am besten mit einem Roller oder einer Spritzpistole ausgeführt. Achten Sie besonders darauf, dass die Oberfläche der geschnittenen Zellen des Schaumstoffes gut benetzt und die Zellen nicht einfach mit Harz gefüllt sind, da die Oberfläche sonst glatt, anstatt rau wird. Verteilen Sie nach dem Spritzen das Harz mit einem Nylonborstenroller und stellen Sie sicher, dass die Innenfläche der einzelnen, geschnittenen Zellen gut benetzt ist.

Für die Versiegelung von Hartschaumstoffen sind beide Seiten zu behandeln und für eine richtige Aushärtung muss genügend Zeit eingerechnet werden (mindestens 3 - 4 Stunden), bevor der Kern weiterverarbeitet werden kann.

Für die Versiegelung werden folgende Harzmengen benötigt:

Schaumstofftyp	Benötigte Harzmenge (g/m <sup>2</sup> )
M060	220
M080	180

Benötigte Harzmengen für Primern und Versiegeln von Kernschaumstoffen

## Verarbeitungsrichtlinien

### *Rollen*

Bei manuellem Auftragen der Versiegelungsschicht ist ein Borstenroller am besten geeignet. Etwa 50 - 100 g der Harzmischung sollte für das Benetzen des Rollers vorgesehen werden. Unter keinen Umständen darf das Harz zu Beginn auf die Schaumstoffoberfläche gegossen und danach mit dem Roller verteilt werden. Dies führt zu einer sehr ungleichmässigen Harzverteilung und fördert das lokale Eindringen von Styrol.

### **Auftragen des Primerharzes**

Die Primerlösung soll etwa 0.5 – 1 % Kobalt enthalten und wird wie folgt vorbereitet:

- ♦ Lösen Sie ein emulgierbares Kobaltoktoatkonzentrat (ca. 6 – 8 % Kobaltanteil) in destilliertem oder demineralisiertem, lauwarmem Wasser.
- ♦ Lösen Sie ein Konzentrat von Kobaltnaphthenat-Beschleuniger (ca. 6 – 8 % Kobaltanteil) in einem flüchtigen aliphatischen Kohlenwasserstoff (vorzugsweise Petrol). Vorsicht: brennbare Flüssigkeiten!

Der Primer wird für kleinere Flächen mit einem Pinsel aufgetragen während für grössere das Spritzen eingesetzt wird. Lassen Sie die behandelte Schaumstoffoberfläche vollständig austrocknen. Bei Verwendung der Wasseremulsion dauert dies etwas länger als mit der Hydrokarbonatlösung. Gute Ventilation des Werkraumes ist erforderlich.

### **Einbau des Schaumstoffkerns** **Einbau des Kerns in das Nasslaminat**

Diese Methode wird für relativ dünne Lamine (zwei bis drei Schichten) und für kleinere bis mittlere Flächen eingesetzt. Der Schaumstoff wird in das Nasslaminat hineingepresst und danach beispielsweise mit Sandsäcken belastet. Um das vollständige Entweichen eingeschlossener Luft besonders aus grossflächigen oder gebogenen Teilen zu ermöglichen, ist das vorgängige Rillen der Schaumstoffplatten erforderlich (siehe [Kapitel 2.1](#)).

Bei Verwendung von Scrim Kernwerkstoff ist das Rillen nicht erforderlich. In diesem Fall muss aber der erhöhte Harzbedarf zur Auffüllung der Schlitze zwischen den Schaumstoffquadern in Betracht gezogen werden (siehe [Kapitel 2.2](#)).

### **Einbau des Kerns in ein ausgehärtetes Laminat**

Erst kurz zuvor ausgehärtete Lamine (maximal 72 Stunden) sind geeignet unmittelbar auf Schaumstoff verarbeitet zu werden. Ältere und vorfabrizierte Laminatschichten müssen zuerst oberflächenbehandelt werden. Gewöhnlich reicht eine einfache Behandlung mit Lösungsmittel, z.B. mit einem Lappen der in Styrol getaucht wurde. In einigen Fällen ist mechanische Bearbeitung wie z.B. Schleifen erforderlich. Achten Sie darauf, dass der dabei entstandene Staub wieder vollständig, vorzugsweise mit einem Staubsauger, entfernt wird.

### *Einbau des Kerns mit Klebstoff*

Siehe [Kapitel 2.7](#).

## Verarbeitungsrichtlinien

- Kerneinbau mit UP Harz* Die kernseitige Oberfläche der Deckschicht sollte aus einer Kurzfasermatte (CSM) mit einem Gewicht von 300 - 450 g/m<sup>2</sup> bestehen und das Harz-Faser-Verhältnis sollte etwa 2 : 1 betragen. Falls keine Vorbehandlung vorgenommen wurde, muss die Kernstoffoberfläche vor dem Einbau vollständig mit dem Harz benetzt werden. Nach dem Einlegen des Kerns auf das Laminat wird dieser mit Sandsäcken belastet oder das Bauteil wird unter Vakuum gesetzt bis das Harz ausgehärtet ist.
- Kerneinbau mit Klebpaste* Diese Methode ist besonders für die "contoured" und "ContourKore" Ausführungen von MYCELL™ Kernmaterialien geeignet (siehe [Kapitel 2.2](#)). Natürlich kann Klebepaste auch für das Verkleben von glatten, ungerillten Kernstoffplatten verwendet werden. In diesem Fall wird empfohlen, die Schaumstoffplatte in regelmässigen Abständen zu lochen, um eine gleichmässige Lüftung zu erreichen.
- a) Klebverbund oder Paste* Diese bestehen im allgemeinen aus einem UP Harz oder modifiziertem UP Harz. Ein Füllstoff wie z.B. Glaskügelchen, ein Thixotropiermittel wie Kieselgur oder auch eine Kurzfaserverstärkung können eingesetzt werden. Die Dichte der ausgehärteten Verbunde liegt zwischen 400 und 800 kg/m<sup>3</sup>. Einige Anwender ziehen es vor, die Klebepaste selbst zu mischen. Davon ist allerdings abzuraten da dabei Qualitätsschwankungen durch Inkonsistenz und fehlender Homogenität in Kauf genommen werden müssen. Es gibt eine Anzahl von gut geeigneten Produkten auf dem Markt, einige von ihnen auch mit detaillierten Anweisungen für die Verarbeitung mit Kernmaterialien.
- b) Vorbereitung der Schaumstoffoberfläche für das Verkleben mit Klebepaste* Die Verklebung des Kerns mit Klebepaste bringt einige Vorteile mit sich. So wird das Gewicht reduziert und der Styrolaustritt vermindert, was zu geringerer Styrolmigration führt. Dies ist für styrolsensitive Kernmaterialien von besonderer Bedeutung. Probleme bei der Verwendung von Klebepaste können eingeschlossene Luft und eine ungenügende Haftung zwischen Laminat und Kernmaterial sein. Es ist deshalb immer eine dünne Schicht unkatalysiertes UP Harz in den Schaumstoffkern einzurollen, ausser dieser wurde bereits vorbehandelt.
- c) Aushärtung* Klebepasten sind besonders für die Aushärtung mittels Vakuummethode geeignet (siehe [Kapitel 2.8](#)). Die Aushärtung unter einer Presse ist jedoch ebenso möglich.

### **Handlaminierverfahren**

Das Handlaminierverfahren für das Aufbringen von faserverstärkten Deckschichten auf Hartschaumstoffkerne ist relativ einfach und zeigt im allgemeinen gute Resultate, vorausgesetzt die Schaumstoffoberfläche ist sauber und staubfrei. Probleme können mit extrem feinzelligen Schaumstoffen höherer Dichte auftreten. In diesem Fall ist es ratsam vor dem Laminieren eine Primerschicht aufzutragen (siehe [Kapitel 2.3](#)). Schaumstoffseitig sollte immer eine Kurzfasermatte (CSM) verwendet werden. Der Laminat-aufbau soll nie mit einem Roving Gewebe oder einem Glasfasergewebe begonnen werden.

- S

Einige Schaumstoffkerne, insbesondere solche niedriger Dichte, sind anfälliger auf Styroleintritt als andere. Um ein Erweichen des Kerns und die vollständige Entlüftung der Laminatzwischenschicht von Styrol zu verhindern, sind die in den vorigen Abschnitten aufgezeigten Massnahmen zu befolgen.

Eine andere Methode ist, das Auflegen mit einer Kurzfasermatte (CSM) und gut katalysiertem Harz zu beginnen, diese aushärten zu lassen und dann mit dem Handlaminierprozess fortzufahren. Diese Methode ist besonders geeignet für das Auflegen dicker Laminatschichten.

### **RTM (Resin Transfer Moulding Verfahren)**

Unter dieser Bezeichnung sind verschiedene, einfache oder technologisch hochstehende Verfahren der Harzinjektion zu verstehen. Die möglichen vielen verschiedenen Varianten der RTM Prozessführung, kombiniert mit dem Einsatz von unterschiedlichsten Harzen, machen es äusserst kompliziert, verlässliche allgemeine Verarbeitungshinweise für die verschiedenen Hartschaumtypen von Maricell abzugeben. Unser Technischer Service kann Kunden, die auf ein RTM-Verfahren umstellen oder eines neu einführen wollen, mit möglichen Hinweisen und Informationen unterstützen.

## 2.4 Laminieren mit Epoxidharzen

### Allgemeines

Aufgrund ihres Langzeitverhaltens, ihrem geringen Schrumpf beim Aushärten und ihrer Eignung für Vakuum- und Prepreg-Verfahren (siehe [Kapitel 2.6](#)) werden Epoxidharze für strukturelle Anwendungen häufig anderen Harzsystemen wie z. B. ungesättigten Polyesterharzen vorgezogen. Epoxidharze sind in der Regel lösungsmittelfreie Systeme womit das Problem der Lösungsmittelmigration mit diesen Harzen nicht besteht. Eine Versiegelung des Schaumstoffes ist deshalb in der Regel nicht notwendig. Andererseits fehlt aber damit die wirksame Komponente zur Erzielung einer guten chemischen Haftung mit dem Schaumstoff. Die Haftfestigkeit eines Epoxidharz-Laminats auf dem Schaumstoffkern ist daher abhängig von der Kompatibilität der beiden Materialien und der Adhäsionskraft des Epoxidharzes. Primerbehandlung des Schaumstoffes ist ein notwendiger Verfahrensschritt, besonders bei trockenen Laminaten mit sehr hohem Fasergehalt. Nicht alle Epoxidharze ergeben einen einwandfreien Verbund mit Schaumstoffen.

### Epoxidharz-Primer

Als Primer für Schaumstoffkerne werden kalt- und schnellhärtende Epoxidharze empfohlen. Sehr oft werden vom Harzhersteller besondere Systeme zur Verbindung von Deckschichtlaminat und Schaumstoffkern angeboten. Es ist wichtig, solche Empfehlungen und Instruktionen genau zu befolgen. Das ist besonders dann von großer Wichtigkeit, wenn es sich um Lamine mit hohem Faservolumengehalt und entsprechend niedrigem Harzgehalt handelt. Folgende Primermengen werden empfohlen:

Schaumstofftyp	Primermenge g/m <sup>2</sup>
M040 - M080	200 - 300

Empfohlene Primermengen

Ein Farbpigment als Bestandteil der Primermischung ermöglicht eine gleichmäßige und einheitliche Verteilung auf der Schaumstoffoberfläche. Ca. 0.6 - 1 % Ocker sind ein geeignetes und preiswertes Färbemittel. Je nach dem verwendeten Harzsystem härten die eingestrichenen Flächen in 3 – 6 Stunden aus.

### Aushärten von Epoxid-Laminaten

Damit die hohen Festigkeitswerte der Epoxidharze auch tatsächlich erreicht werden, wird eine Aus- bzw. Nachhärtung unter erhöhter Temperatur empfohlen. Diese richtet sich nach den Angaben des Harzherstellers und nach dem verwendeten Schaumstofftyp. Die maximalen Temperaturen können der unten aufgeführten Tabelle entnommen werden.

Höhere Temperaturen sind je nach Expositionsdauer zulässig, die maximalen Haltezeiten sollten jedoch vorgängig anhand von Tests bestimmt werden.

Schaumstofftyp	Temperatur	
	Aushärten °C	Nachhärten °C
M	60	60 - 90

Maximale Aushärttemperaturen

## 2.5 Harz-Infusions- und Injektionsverfahren

### Allgemeines

Im Gegensatz zum Handlaminierverfahren wird beim Vakuuminfusionsverfahren der trockene Laminataufbau (Fasermatten und Schaum) in einer Form oder unter einem Vakuumsack verdichtet. Anschliessend wird das fertig gemischte Harz durch die übriggebliebenen Kavitäten des Laminates «gesogen», bis alle Fasern mit Harz imprägniert sind. Nach Aushärtung des Harzes kann das fertige Bauteil von der Form gelöst werden.

### Vorteile von Vakuuminfusionsverfahren gegenüber Handlaminierverfahren

Die Vakuuminfusionsverfahren weisen gegenüber Handlaminierverfahren den Vorteil auf, dass während der Bauteilherstellung weniger Geruchsemissionen stattfinden, was vor allem bei Polyester- oder Vinylesterharzen geschätzt wird. Des Weiteren lassen sich durch Vakuuminfusion reproduzierbar Bauteile herstellen und der Ausschuss kann vermindert werden. Durch Vakuuminfusion hergestellte Bauteile weisen in der Regel höhere Fasergehalte und somit höhere mechanische Eigenschaften auf. Fehlstellen und Lufteinschlüsse können minimiert werden und die Haftung von Laminat zum Schaumstoff ist stärker. Bei grossen Bauteilen kann der Arbeitsaufwand enorm verkleinert und eine kostensparende und rationelle Fertigung aufgebaut werden.

### Vakuuminfusionsverfahren

Bei der Vakuuminfusion werden verschiedene Verfahren unterschieden, welche sich vor allem darin unterscheiden, ob das Harz zusätzlich und mit welchem Druck in das Bauteil gespritzt wird. Grundsätzlich unterscheidet man die folgenden Verfahren:

	Vakuum für Harzfluss	Druck für Harzfluss	Formschluss
<i>Vakuuminfusion mit flexiblem Vakuumsack</i>	0.5 – 1 bar	-	Vakuumsack
<i>Vakuuminfusion mit geschlossener GFK Form</i>	0.3 – 0.6 bar	bis 1 bar	Vakuum
<i>RTM (Resin Transfer Moulding)</i>	bis zu 1 bar	2 – 12 bar	Mechanisch

Je höher der Druck auf das Harz wird, desto steifere und bessere Formen müssen hergestellt werden. RTM-Formen sind vorzugsweise aus Stahl oder Aluminium herzustellen. Sie lassen sich in den meisten Fällen auch temperieren, wodurch ein konstanter Produktionszyklus erreicht werden kann. Vakuuminfusionsformen sind in der Regel aus Holz oder GFK. Es gibt auch heizbare GFK Formen.

### Vakuuminfusion mit flexiblem Vakuumsack

Dieses Verfahren eignet sich besonders gut für Umsteiger vom Handlaminier- zum Vakuuminfusionsverfahren, sowie für Einzelanfertigungen oder kleine Stückzahlen. Die Formen, welche für das Handlaminieren verwendet wurden, können auch für die Vakuuminfusion verwendet werden. Kleinere Anpassungen an der Flanschseite sind erforderlich, um den Vakuumsack ordnungsgemäss zu positionieren. Ansonsten benötigt man für eine erfolgreiche Vakuuminfusion lediglich eine Vakuumpumpe, Schläuche aus LDPE (oder anderem halbhartem Kunststoff), eine Harzfalle, und alles Zubehör für einen Vakuumsack (Klebband, Vakuumfolien, Abreissgewebe). Die Harzzufuhr kann auf verschiedene Arten erfolgen. Durch Metall- oder Kunststoffspiralen, speziellem Gewebestreifen (Enkammat) oder offenen Dreieck Profilen, die mit der offenen Seite auf das Laminat gelegt werden, bevor der Vakuumsack über das Laminat gelegt wird.

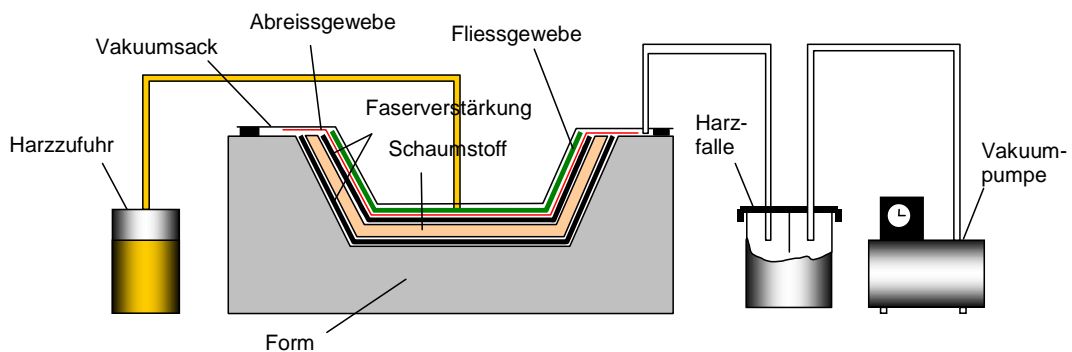
## Verarbeitungsrichtlinien

Bei der Vakuuminfusion mit flexiblem Vakuumsack unterscheidet man zwischen drei Methoden, die sich hauptsächlich darin unterscheiden, worin das Harz transportiert wird.

SCRIMP: Seamann Composites Resin Infusion Moulding Process. (Harzfluss durch Medium an der Oberfläche)

Beim SCRIMP Prozess wird die Infusion durch ein zusätzliches Fliessgewebe ausserhalb des eigentlichen Bauteils gesteuert. Das Fliessgewebe dient dazu das Harz relativ schnell zu verteilen und anschliessend durch das Bauteil zu «drücken». Da das Fliessgewebe nicht in das Laminat eingebaut werden soll, wird es vom Laminat durch ein poröses Abreissgewebe, oder eine Lochfolie getrennt. Beides wird nach der Aushärtung des Harzes als Abfall entsorgt.

Die folgende Skizze zeigt schematisch den Aufbau bei der Vakuuminfusion nach SCRIMP. Das Fliessmedium (grün) ist durch ein Abreissgewebe (rot) vom faserverstärkten Bauteil getrennt. Der Anpressdruck der Vakuumfolie und die Saugwirkung auf das Harz wird durch dieselbe Vakuumpumpe hergestellt. Im dargestellten Fall muss der Schaum perforiert (gelocht) werden, damit das Harz auch die Formseite benetzen kann.



Der Nachteil des SCRIMP Verfahrens ist der Abfall, der durch das Fliessmedium entsteht. Dadurch wird mehr Harz verwendet als benötigt. Aus diesem Grund wurden wiederverwendbare Vakuumsäcke aus Silikon entwickelt. Diese werden für eine Form speziell hergestellt und enthalten bereits die Angusskanäle. Sie können mehrmals verwendet werden und eignen sich deshalb für kleine bis mittlere Stückzahlen.

### **Wichtiger Hinweis !**

SCRIMP ist ein patentierter Prozess. Hersteller von faserverstärkten Bauteilen, die nach diesem Verfahren arbeiten, müssen eventuell eine Lizenz lösen. Zusätzliche Informationen zum SCRIMP-Prozess und den Patentbedingungen sind auf der Homepage von TPI: <http://www.tpicomposites.com> enthalten.



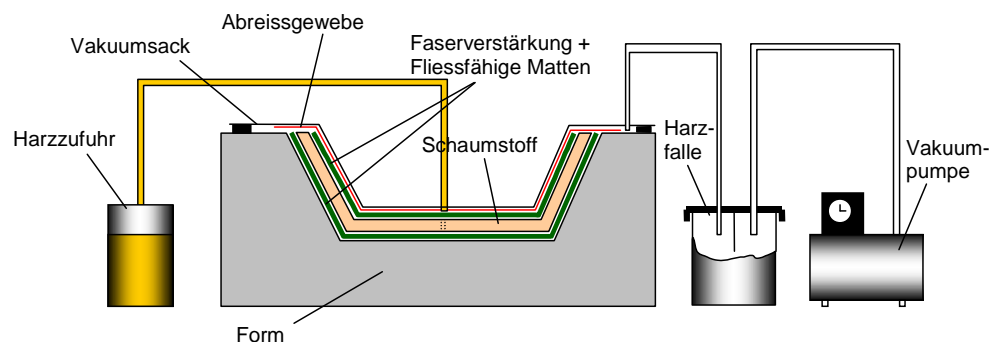
## Verarbeitungsrichtlinien

### Fließmedium

Anstatt das Harz durch ein Fließmedium ausserhalb des Bauteils fließen zu lassen, können auch Fasermatten verwendet werden, welche sogleich das Fließmedium darstellen. Typische Vertreter solcher gut durchlässigen Fasermatten sind kontinuierliche Wirrfasermatten (z.B. Unifilo von Saint-Gobain Vetrotex) oder Glasfaser-Polyester Mischgewebe (z.B. Rovicore, zwei CSM-Matten mit Polyesterweben dazwischen). Dadurch wird zwar der Harzgehalt der Laminat etwas erhöht, bzw. der Glasfaseranteil reduziert. Trotzdem reduziert sich der beim SCRIMP-Verfahren anfallende Abfall.

Diese Fließmedien sind im Anlieferungszustand einige Millimeter dick und können durch einen hohen Vakuumdruck so stark verdichtet werden, dass die Kavitäten geschlossen werden und der Harzfluss vermindert wird. Aus diesem Grund ist es zu empfehlen bei Verwendung von Fließgeweben nicht den maximal möglichen Vakuumdruck im Vakuumsack zu erzeugen. Der optimale Druck kann nur von Bauteil zu Bauteil bestimmt werden und liegt zwischen 0.3 bis 0.5 bar.

Die folgende Skizze zeigt einen Aufbau, wenn fließfähige Fasermatten verwendet werden (dunkelgrün). Wie beim SCRIMP-Verfahren muss der Schaum gelocht werden, damit beide Seiten des Sandwiches gleichmässig benetzt werden.



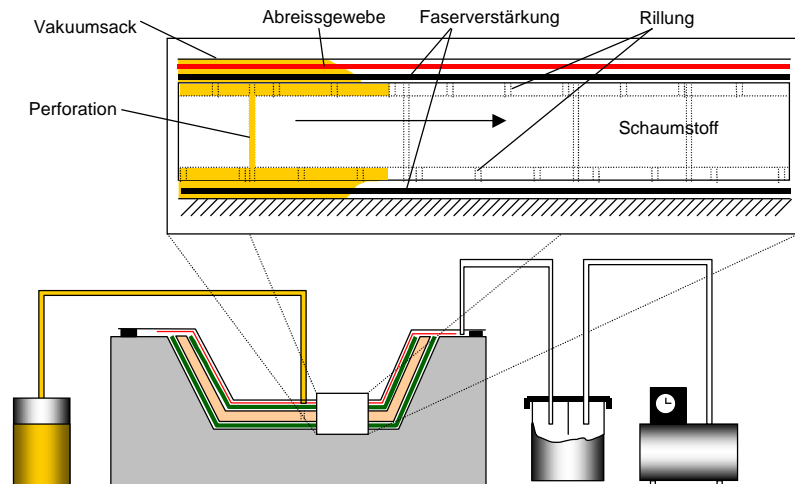
Der Nachteil bei der Verwendung von gut durchlässigen Matten besteht darin, dass eine harzreiche Deckschicht erzeugt wird. Dabei sinkt der Faseranteil auf 20 Gewichtsprozent oder weniger.

### Gerillter Schaum

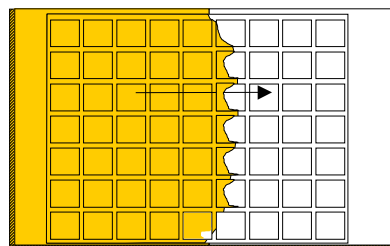
Das Harz kann auch durch Kanäle und Löcher im Schaumstoffkern von Sandwichkonstruktionen schnell und effizient verteilt werden. Auf die Verwendung von Fließgewebe oder Fließmedien kann dann verzichtet werden. Als Standard hat sich dabei die folgende Schaumstoffkonfektion für die meisten Anwendungen empfohlen:

Es wird ein quadratisches Rillenmuster in die Ober- oder Unterseite (oder beide) gefräst, welche dem Harztransport dienen. Die Rillbreite ist im Vergleich zur Rilltiefe wesentlich geringer, wodurch der Flussquerschnitt zwar entsprechend hoch, aber das Risiko, dass sich die Kanäle auf dem Gelcoat abzeichnen (print through), so gering wie möglich ist. Der Rillenabstand ist so gewählt, dass im Allgemeinen keine trockenen Stellen (Stellen mit ungenügender Harzimpregnation) entstehen können. Zusätzlich wird der Schaum perforiert, wobei die Lochgrösse ca. 2mm im Durchmesser beträgt. Der Abstand von Loch zu Loch beträgt ca. 50 mm. Durch die Perforation ist garantiert, dass beide Seiten des Sandwiches gleichmässig benetzt werden.

Die folgenden Skizzen zeigen das Prinzip der Infusion durch den Schaumstoffkern.



Querschnitt

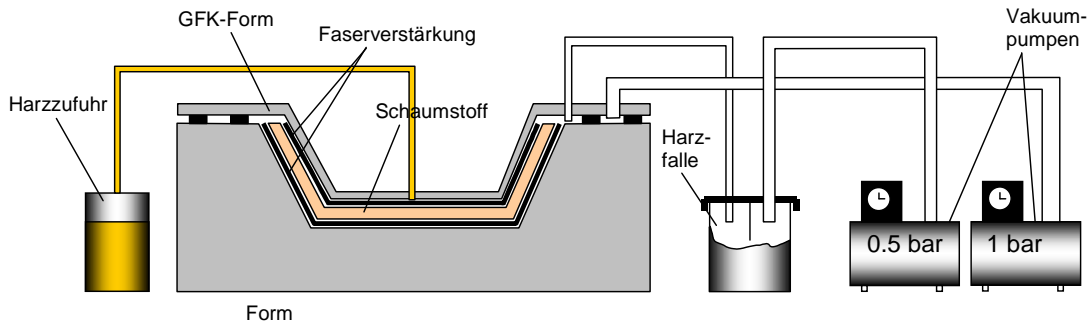


Ansicht von oben

### Vakuuminfusion mit geschlossener GFK-Form (RTM light)

Die Vakuuminfusion mit geschlossener Form erlaubt es Bauteile herzustellen, welche auf beiden Seiten eine fertige Oberfläche aufweisen. Anstelle des flexiblen Vakuumsackes wird eine Gegenform verwendet. Diese ist einige Millimeter dick, aus GFK hergestellt, und wird am Rand an die Form geklemmt. Dies kann einerseits durch ein zweites Vakuum (siehe Skizze), oder mechanisch durch Klemmen bewerkstelligt werden. Auf diese Weise wird das Laminat wie beim Vakuumsack komprimiert. Der Harzfluss kann immer noch gut durch die dünne GFK-Deckschicht verfolgt werden. Das Harz wird wie bei den anderen Verfahren durch ein Vakuum in die Form gesogen und verteilt. Bei zu hohem Vakuum werden allerdings die Kavitäten des Laminates geschlossen, wodurch der Harzfluss stark verlangsamt wird. Aus diesem Grund sollte bei diesem Verfahren der Vakuumdruck auf das Harz nicht mehr als 0.5 bar betragen. Um die Füllzeit zu verringern, kann das Harz mit einem geringen Druck gefördert werden. Der Druck auf das Harz ist so zu wählen, dass die Gegenform keinen Schaden nimmt, oder während des Füllvorgangs weggedrückt wird.

## Verarbeitungsrichtlinien



### RTM-Verfahren

Bei den Resin Transfer Moulding Verfahren wird das Harz mit hohem Druck in eine Form geschossen. Die Form kann sowohl Einzellamine, wie auch Sandwichverbunde enthalten. Die Anforderung an die mechanischen und thermischen Eigenschaften des Schaumstoffes sind jedoch aufgrund der höheren Verarbeitungstemperaturen und den höheren Drücken höher als bei der Vakuuminfusion. Es soll hier nicht auf die Einzelheiten des RTM Verfahrens eingegangen werden. In der Literatur findet man viele Publikationen über RTM.

### Anforderungen an Harz, Fasermatten, Fasergewebe und Schaumstoffkern.

Durch die Vakuuminfusionstechnik werden neue Anforderungen an das Harz, die Fasermatten oder -gewebe und den Schaumstoffkern gestellt.

#### Harz

Im Gegensatz zum Handlaminierverfahren, muss das Harz nun eine wesentlich geringere Viskosität aufweisen, sodass es durch die engen Kavitäten eines trockenen Verbunds fließen kann. Um unvollständige Füllung eines Laminates zu verhindern sollte auch die Gellzeit länger sein als bei einem Handlaminierharz. Als allgemeine Faustregel gilt:

Viskosität:  $< 300 \text{ mPas}$ ,  
Gelzeit:  $50 - 90 \text{ min oder mehr}$

Die meisten Harzhersteller verfügen über solche Harze und entsprechende Rezepturen, mit denen die Topf- oder Gelzeit verlängert werden kann, ohne die Endigenschaften des Harzes zu beeinflussen.

#### Fasermatten

Die für die Handlaminierertechnik gut geeigneten CSM (Chopped strand mats), gewobenen Fasern und Gelege, können auch für die Infusionstechnik verwendet werden. Allerdings ist der Harzfluss durch diese Fasermatten sehr langsam. Aus diesem Grund wurden spezielle Fliessgewebe entwickelt, die in das Laminat eingebaut werden können, um den Harzfluss zu beschleunigen.

## Verarbeitungsrichtlinien

Diese Fliessgewebe kann man in die folgenden Kategorien einordnen:

- kontinuierliche Wirrfasermatten:  
z. B. Unifilo (Saint- Gobain Vetrotex)
- Fliessgewebe mit Verstärkungseffekt:  
z. B. Rovicore (Chomarat)
- Fliessgewebe ohne Verstärkungseffekt  
Polyestergewebe

Man trifft auch vermehrt Gelege an, bei denen solche fließfähigen Schichten bereits eingebaut wurden. In Zukunft werden weitere solche Gewebe für die Vakuuminfusion entwickelt werden. Neben diesen speziellen Fliessgeweben werden bei der Infusionstechnologie aber auch herkömmliche Gewebe, Gelege und Matten verwendet, teilweise mit sehr hohen Flächengewichten, teilweise mit aufgenähten Wirrfasermatten.

### Schaumstoffkern

Der Schaumstoffkern in Sandwichkonstruktionen eignet sich besonders gut zum Verteilen von Harz in der Vakuuminfusionstechnik. Einerseits kann mit Hilfe von Rillen in den Schaumstoffflächen das Harz sehr leicht transportiert werden und andererseits wird durch eine Lochung der Harzfluss auf beiden Seiten des Laminates garantiert. An den Schaum werden die folgenden grundsätzlichen Anforderungen gestellt:

*100% geschlossen zellig*  
*Styrolbeständig (Beim Einsatz von UP und VE-Harzen)*  
*Vakuumbeständig (Druckfestigkeit > 0.1 MPa)*

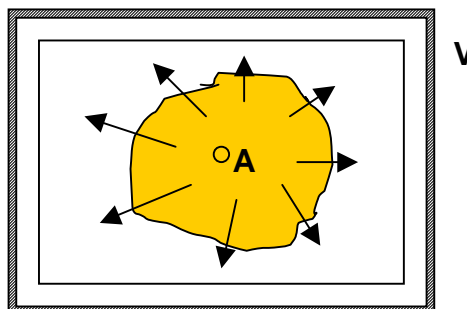
Maricell bietet eine für die Vakuuminfusion optimierte Rillung des Schaumstoffes an, welche in den meisten Fällen zu einem guten Resultat führt. Je nach Anwendung eignen sich auch andere Rillmuster. Ihr MYCELL™ Distributor oder die Anwendungstechnik von Maricell können in solchen Fällen weiterhelfen.

### Infusionsstrategien

Eine der wichtigsten Fragen bei der Vakuuminfusion ist die Frage nach der Füllstrategie. Wo soll das Harz zufließen und wo soll das Vakuum gezogen werden? Es gibt mehrere verschiedene Strategien, die von Bauteil zu Bauteil unterschiedlich eingesetzt werden. Prinzipiell können die folgenden Strategien unterschieden werden.

### Punktanguss

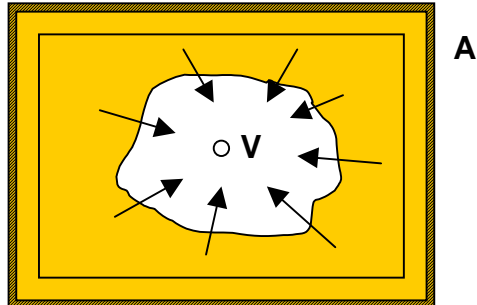
Das Vakuum wird um die Form herum angelegt. Bei dieser Strategie wird der Harzfluss während der Infusion immer langsamer, da mehr Gewebe benetzt werden muss und der Harzfluss konstant bleibt.



## Verarbeitungsrichtlinien

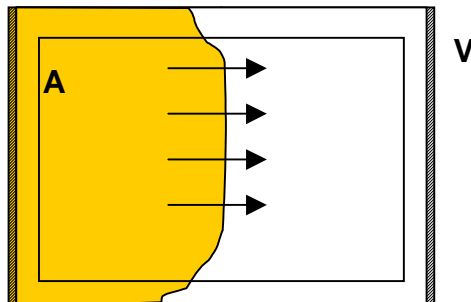
### **Randanguss**

Das Vakuum wird an einem Punkt in der Mitte angelegt. Diese Strategie ist sehr schnell und verhindert trockene, nicht benetzte Stellen. Ausserdem kann der Harzabfall minimiert werden.



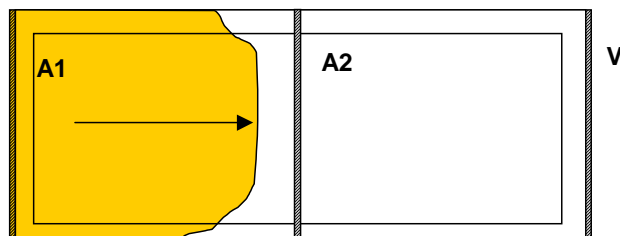
### **Linienanguss**

Die Standardstrategie um alle möglichen Formen zu füllen. Entscheidend bei dieser Strategie ist die Distanz zwischen Anguss und Vakuum. Je kürzer, desto schneller ist das Bauteil gefüllt. Es wird empfohlen, nicht mehr als 50 - 100 cm Abstand zwischen Harzspeisung und Vakuum zu verwenden.



### **Mehrfachanguss**

Bei grossen Bauteilen ist es notwendig, mehrere Angussstellen zu definieren, welche dem Fluss entsprechend geöffnet werden. Im nachfolgenden Beispiel wird zuerst der Anguss A1 geöffnet, bis die Harzfront A2 erreicht wird. Dann wird auch A2 geöffnet. Dieses Verfahren kann auch mit der Punktangussstrategie verwendet werden.



Welche Strategie für welches Bauteil eingesetzt wird, ist von vielen Einflüssen abhängig. Der Randanguss eignet sich sehr gut für kleinere Bauteile bis zu 100 cm Größe. Der Punktanguss ist gut geeignet für das SCRIMP Verfahren. Der Linienanguss ist dann gefragt, wenn man keine Eindrücke von Angussstellen auf der Innenseite der GFK-Bauteile haben will.

## Verarbeitungsrichtlinien

### Weitere Richtlinien

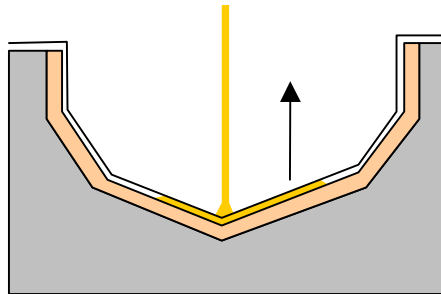
Bei der Vakuuminfusion muss zusätzlich auf die folgenden Punkte geachtet werden:

#### Belegung der Form mit trockenem Gewebe/Matten

Die Belegung der Form mit dem trockenen Gewebe und dem Schaum muss zuerst sorgfältig evaluiert werden. Bei schrägen oder vertikalen Stellen muss das Gelege mit einem Klebstoff oder mechanisch fixiert werden. Diese Klebstellen bilden im gefüllten und ausgehärteten System Schwachstellen. Sprühkleber sind gut geeignet für solche Arbeiten.

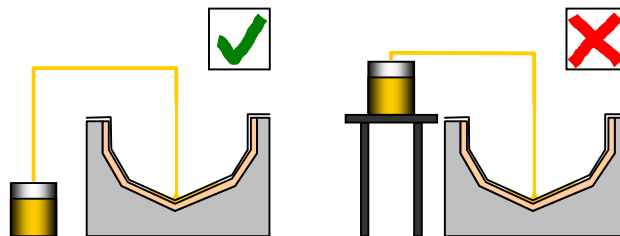
#### Harzfluss von unten nach oben

Der Harzfluss sollte bei 3-dimensionalen Bauteilen immer von unten nach oben verlaufen



#### Harzreservoir unterhalb Angussstelle

Das Harzreservoir darf nicht oberhalb der Angussstelle stehen, um Harzansammlungen im Angussbereich zu vermeiden.

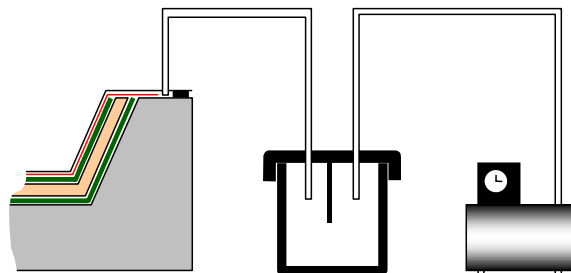


#### Bekannte Temperatur

Die Kenntnis der Temperatur von Form und Harz ist erforderlich, um die Gelzeit des Harzes genau einzustellen.

#### Harzfalle

Zwischen Form und Vakuumpumpe muss eine Harzfalle montiert werden, wodurch verhindert wird, dass Harz in die Vakuumpumpe gerät.



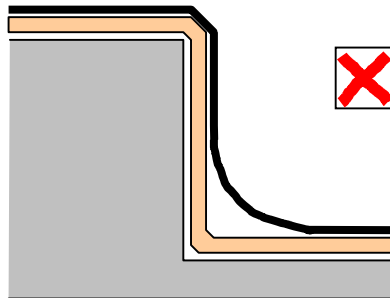
#### Zuviele Angussstellen

Lieber zuviele Angussstellen als zu wenig. Wenn man sie während der Infusion nicht braucht, ist das weniger tragisch, als wenn man dringend einen gebraucht hätte.

## Verarbeitungsrichtlinien

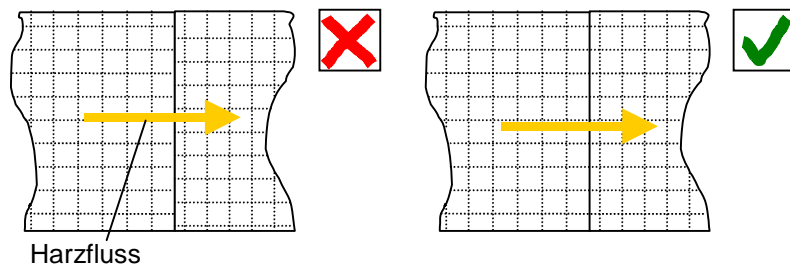
### Keine Brückenbildung bei 3-D Teilen

Bei 3-dimensionalen Formen muss eine Brückenbildung des Vakuumsackes vermieden werden. Die Brücken dienen als Harzkanäle und werden sehr schnell mit Harz gefüllt. Dadurch kann die geforderte Fließfront zerstört und unbenetzte Stellen ausgebildet werden.



### Schaum – Schaum – Verbindung

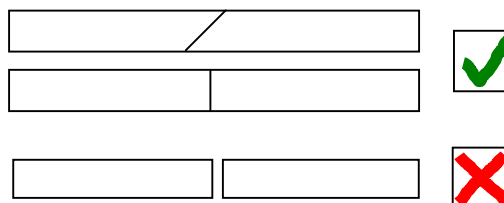
Beim Einlegen von Schaumplatten in die Form ist auf eine geeignete Verbindung zwischen den Schaumplatten zu achten. Entlang der Harzfront muss das Rillennmuster ineinander übergehen.



Die Platten müssen ohne Abstand miteinander verbunden werden. Hohlräume zwischen Platten führen zu beschleunigtem Harzfluss entlang der Schaumstoffkante, was zu Lufteinschlüssen während der Infusion führen kann. Geeignete Verbindungstechniken sind:

- 45° Überlappung (mit / ohne Verklebung)
- 90° Stossverklebung mit Putty oder Heissleim

Bei dünnen Deckschichten kann die 90°-Verbindung zu einem Printhrough effekt führen.



## Verarbeitungsrichtlinien

### Weitere Informationen

Weitere Informationen zum Vakuuminfusionsprozess können an verschiedenen Stellen gefunden werden.

Viele Harzhersteller verfügen über Harze, die für die Infusionstechnologie geeignet sind und können zusätzliche Angaben über Vakuuminfusion machen.

Auch *Gewebe und Gelegehersteller* verfügen bereits standardmässig über Gewebe für die Vakuuminfusionstechnologie.

Die für die Vakuumtechnik verwendeten Verbrauchsmaterialien können an mehreren Orten bezogen werden. Diese Firmen (z.B. Airtech) verfügen ebenfalls über ein Sortiment für die Vakuuminfusionstechnologie (siehe auch [Kapitel 2.8](#)).

Des Weiteren sei auf Fachliteratur hingewiesen. Viele Artikel über Vakuuminfusionstechnologie findet man im «professional boatbuilder» oder im «reinforced plastics».



### 2.6 Verarbeitung mit Prepregs

#### Allgemeines

Die Verwendung von Prepregs (vorimprägnierte Gewebe), hat verschiedene Vorteile gegenüber dem Nasslaminierprozess: es können Lamine mit höherem Fasergehalt innerhalb engeren Gewichtstoleranzen hergestellt werden. Dies führt zu besseren und konsistenten mechanischen Eigenschaften trotz niedrigerem spezifischen Gewicht. Zudem sind die Fertigungszyklen kürzer und die Emissionswerte der entstehenden Gase deutlich tiefer. Die meisten Prepregsysteme basieren auf Epoxid- oder Phenolharzen.

#### Verarbeitung

Prepregs können beispielsweise mit den folgenden Methoden verarbeitet werden:

- Vakuumverfahren
- Autoklavenaushärtung
- Heizpresse

#### Vakuumverfahren

Für die Verarbeitung bei niederen Drücken ist das Vakuumverfahren die kostengünstigste Methode. Die benötigten Werkzeuge sind verhältnismässig einfach und für die Aushärtung genügt ein Standard-Heissluftofen.

Auf der Deckschicht unter dem Vakuumsack entsteht gewöhnlich ein Muster aus feinen, an Harz angereicherten Linien, die durch Falten am Vakuumsack hervorgerufen werden. Im weiteren ist zu beachten, dass die Positionierung und Abdichtung des Vakuumsacks ein zeitintensiver Vorgang ist.

#### Autoklavenaushärtung und Pressformen

Wenn für optimale Lamineigenschaften vom Prepreghersteller höhere Drücke empfohlen werden, muss die Aushärtung in einem Autoklaven oder einer Pressform erfolgen. Falls optische Kriterien nur für eine Sandwichseite wichtig sind, kann die Aushärtung in einem Autoklaven mit nur einseitigem Formwerkzeug erfolgen. Wenn beide Seiten eine hohe Oberflächengüte aufweisen müssen, wird eine Presse mit vorgeheizten Negativ- und Positivformen eingesetzt.

Empfehlungen betreffend optimaler Aushärtungstemperatur und -drücke sind den Verarbeitungsrichtlinien der Prepreghersteller zu entnehmen. Es ist jedoch zu beachten, dass diese oft hohe Drücke empfehlen, um Luftpneumatische Einschlüsse auch für dickere Lamine zu verhindern. Hoher Druck presst eingeschlossene Luft aus dem Zentrum der Prepregschichten hinaus. Bei Sandwichbauteilen sind die Deckschichten jedoch relativ dünn und bestehen oft aus nur wenigen Prepreglagen. In diesem Fall können tiefere Drücke aufgebracht werden ohne die mechanischen Eigenschaften zu verschlechtern. Der optimale Druck muss auf die Druckfestigkeit des Schaumstoffes bei der gewählten Aushärtungstemperatur ausgerichtet werden.

### Vorbereitung

Mit Ausnahme eines allfälligen Zuschnitts auf das gewünschte Mass ist beim Vakuumverfahren und bei der Autoklavenaushärtung für den Schaumstoff in der Regel keine Vorbereitung notwendig.

Mittels Vakuum kann eingeschlossene Luft und überschüssiges Harz aus dem Laminat entfernt werden. Zu diesem Zweck wird dabei eine perforierte Trennfolie oder Abreissgewebe auf das Laminat aufgelegt.

Beim Pressformen kann überschüssiges Harz nicht vom Laminat entfernt werden. Es wird deshalb empfohlen, die Schaumstoffoberfläche zu perforieren, ansonsten beeinträchtigt die relativ dicke Schicht zwischen Schaumstoff und Deckschicht die mechanischen Eigenschaften des Verbundes. Die Richtlinien für das Perforieren sind im [Kapitel 2.1](#) beschrieben. Die Perforation ist auch mit Nadeln möglich, doch muss darauf geachtet werden, dass sich das Material nach dem Stich nicht wieder zusammenzieht und das Loch vor der Weiterverarbeitung wieder verschliesst.

### Zwischenschicht

Prepregs werden im allgemeinen in gewichtsoptimiertem Zustand ohne viel überschüssiges Harz geliefert. Schaumstoffseitig besteht die Oberfläche jedoch aus angeschnittenen Zellen, die eine relativ große Menge Harz absorbieren. Um eine gute Haftung zu erreichen ist deshalb eine zusätzliche Zwischenschicht notwendig.

### *Prepreg mit erhöhtem Harzgehalt*

Als erste Schicht auf dem Schaumstoff wird empfohlen, ein Prepreg mit leicht erhöhtem Harzgehalt (5 - 10 Volumen-%) aufzulegen. Für alle weiteren Schichten können Sie Prepregs mit Standard-Harzgehalt verwenden.

### *Klebefilm*

Als Alternative können Sie zwischen dem Schaumstoffkern und der Prepregdeckschicht eine Klebefolie einlegen und so den Harzmangel kompensieren. Die Kompatibilität des Klebefilms mit dem Harz im Prepreg sollte zuvor beim Prepreglieferanten abgeklärt werden. Die Verwendung einer Klebefolie hat zusätzliche Vorteile. So kann beispielsweise die Schälfestigkeit des Sandwichs wesentlich erhöht werden, indem ein Harz verwendet wird, das eine höhere Bruchdehnung aufweist als das Harz in den Prepregdeckschichten. Klebefilme können zudem als Trennschicht zwischen Schaumstoff und Prepreg wirken, sollten diese nicht miteinander kompatibel sein.

Das empfohlene Flächengewicht für Klebefilme liegt je nach Schaumstoffdichte zwischen 80 und 150 g/m<sup>2</sup>, für T90/92 ca. 200 g/m<sup>2</sup>. Wegen dem grösseren Volumen der angeschnittenen Zellen benötigen Schaumstoffe niedriger Dichte mehr Klebstoff.

### **Kompatibilität zwischen Schaumstoff und Prepreg**

Direktes Aufkleben von Prepregs auf den Schaumstoff kann während des Aushärtungsprozesses erreicht werden. Dieses sogenannte Co-curing von Prepregs zum Schaumstoffkern ist eine kostengünstige Herstellmethode von Prepreg-Sandwichbauteilen. Überprüfen Sie aber zuerst die Kompatibilität zwischen Schaumstoff und Prepreg.

Thermoplaste können grundsätzlich in gewissen Flüssigkeiten gelöst werden. Gewisse flüssige Harze können deshalb bei thermoplastischen Schaumstoffen zu Lösungserscheinungen führen. Die dazu nötigen Voraussetzungen sind hohe Temperaturen nahe am Schmelzpunkt und niedrige Viskosität des Prepregharzes.

Prepregharze durchlaufen während des Aushärtungsprozesses gewöhnlich eine niedrig-viskose Phase. Dies ermöglicht der eingeschlossenen Luft zu entweichen, bevor die Viskosität ansteigt und das Harz schliesslich vollständig aushärtet. Unter diesen Bedingungen, können die Oberflächenzellen am Schaumstoff aufgelöst werden, was im Extremfall zu einer unerwünschten Reduktion der Kerndicke und so zu einer zu dünnen Sandwichplatte führen kann. Diese wiederum zeigt schwächere mechanische Eigenschaften.

Aus dieser Erkenntnis heraus ist es wichtig, das Auftreten von Auflösungserscheinungen im Schaumstoffkern zu überwachen. Allgemeine Richtlinien können keine aufgestellt werden, da diverse Faktoren wie Prepreg-Typ, Harzviskositätsprofil, Aushärtungszyklen, Verhalten während der Lagerung, Schaumstofftyp und -dichte eine wesentliche Rolle spielen.

Falls Auflösungserscheinungen inakzeptable Ausmasse annehmen, können folgende Massnahmen ergriffen werden:

- Wahl eines veränderten Aushärtungszyklus mit anderer Viskosität/Zeit Kurve
- Das Prepreg kann vor der Weiterverarbeitung bei Raumtemperatur gealtert werden, wobei die maximal erlaubte Lagerzeit natürlich eingehalten werden muss. Diese Massnahme erhöht im allgemeinen die minimale Viskosität des Harzes.
- Klebefolien können als Trennmittel zwischen Schaumstoff und unausgehärtetem Prepreg eingesetzt werden.

## 2.7 Verklebung verschiedener Deckschichten mit Schaumstoff

### Allgemeines

Verklebungen dienen meistens einem der folgenden Zwecke:

- Verklebung von Schaumstoffplatten aus dem gleichen Material
- Verklebung von Schaumstoffkernen mit Deckschichten aus Metall, Kunststoff, Verbundwerkstoff oder Holz

Verklebung von MYCELL™ Schaumstoffplatten unter sich oder mit anderen Materialien bereiten keine Probleme, vorausgesetzt, es werden geeignete Klebsysteme, Klebetechniken und die richtige Ausrüstung eingesetzt.

Bevor Schaumstoffkerne mit metallischen Deckschichten verklebt werden, sollten beim Deckschichtenlieferanten die notwendige Oberflächenbehandlung abgeklärt und geeignete Klebesysteme evaluiert werden. Es ist zu beachten, dass einige Mittel für die Oberflächenbehandlung von metallischen Deckschichten eine begrenzte Lagerzeit haben.

Von den zur Verfügung stehenden Klebstofftypen sind zwei Arten geeignet für MYCELL™-Schaumstoffe:

- Duroplastische Klebstoffe
- Schmelzkleber

### **Wichtiger Hinweis !**

Klebesysteme, die Wasser oder größere Mengen Lösungsmittel enthalten, sind für die Verklebung nicht geeignet, da sowohl der Schaumstoffkern als auch die Deckschicht undurchlässig ist. Kontaktkleber sollten daher nicht für grössere Klebeflächen eingesetzt werden. Diese Klebesysteme enthalten Lösungsmittel, die einige Minuten vor der Klebebindung entweichen müssen. Der große Vorteil dabei ist allerdings, dass eine unmittelbare Klebebindung entsteht, wenn die Teile zusammengepresst werden.

### Duroplastische Kleber

Duroplastische Kleber sind in flüssiger Form, als Paste oder als Film erhältlich. Sie können bei Raum- oder bei erhöhter Temperatur ausgehärtet werden. Die Prozessparameter sind so einzustellen, dass sich der Schaumstoff oder die Sandwichplatte bei längerer Aus- oder Nachhärtung unter erhöhter Temperatur nicht verziehen.

Die folgende Tabelle zeigt, welche Klebstofftypen für die häufigsten Kombinationen von MYCELL™-Schaumstoffen und Deckschichtmaterialien am besten geeignet sind. -

## Verarbeitungsrichtlinien

Verklebung mit	Schaumstofftyp					
	R63	R82	C51	C70	C71	T90/92
<b>Schaumstoff</b>	PUR, UP EP	EP, PF	PUR, UP EP	UP, EP PUR, VE	UP, EP PUR, VE	UP, EP PUR, VE
<b>Metall</b>	PUR, EP	EP, PF	PUR, EP	PUR, EP	PUR, EP	PUR, EP, PF
<b>Faserverstärkte Kunststoffe (ausgehärtet)</b>	PUR,UP, EP	EP	UP, PUR	UP,PUR, EP	UP, PUR EP	UP, PUR, EP
<b>Holz (Sperrholz)</b>	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR
<b>Kunststoffe (Thermoplaste)</b>	PUR, EP	PUR, EP	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR	EP, PUR

Empfohlene duroplastische Klebstofftypen für die Verklebung von Schaumstoffen mit anderen Materialien

PUR: Duroplastisches Polyurethan; UP: Ungesättigtes Polyester; EP: Epoxid; VE: Vinylester; PF: Phenolharz; UF: Holzkleber.

### **Polyester (UP) und Vinylester (VE) Harze**

UP- und VE-Harze sind besonders im Bootsbau oft eingesetzte Klebemittel, um Schaumstoffkerne mit faserverstärkten Kunststoffen zu verkleben. Sie sind relativ kostengünstig, einfach zu handhaben, härten bei Raumtemperatur aus und sind wasser- und feuchtigkeitsabweisend.

Sowohl Laminierharze wie auch auf Polyester basierende Klebepasten sind geeignet für Verklebungen. Voraussetzung dafür ist, dass während dem Klebeprozess keine Luft eingeschlossen wird und die zu verklebenden Oberflächen sauber ist. Die Imprägnierung des Schaumstoffes mit einer dünnen Schicht beschleunigtem Harz wird empfohlen (siehe [Kapitel 2.3](#))

Das direkte Einbringen von Schaumstoffkernen in mehrlagige Nasslaminat kann wegen der geringeren thermischen Leitfähigkeit des Schaumstoffs und der oft stark exothermen Härtingsreaktion zur Beschädigung des Schaumstoffkerns und der Form führen.

Viskosität und Bruchdehnung sind die Hauptfaktoren, die den Verbund von Deckschicht und Kern beeinflussen.

## Verarbeitungsrichtlinien

### **Epoxidharz (EP)**

Wegen ihrer guten Langzeitstabilität, geringem Schwund und der Eignung für die Vakuumhärtung werden heute oft Epoxidharze für strukturelle Bauteile eingesetzt. Sie werden nass oder als Film aufgetragen.

Nachgehärtete Systeme zeigen hohe Bruchdehnung und ausgezeichnete mechanische Eigenschaften.

Für MYCELL™ M Schaumstoffe können Laminiersysteme wie auch kaltaushärtende Klebstoffe verwendet werden. Für weitere Informationen siehe auch [Kapitel 2.4](#).

### **Polyurethanharz (PUR)**

Zweikomponentensysteme auf Polyurethanbasis decken dank ihrer hervorragenden Eigenschaften und relativ niedrigen Kosten einen breiten Anwendungsbereich ab. Viele dieser Systeme erfordern Aushärtung unter Wärme um akzeptable Zykluszeiten zu erreichen. Falls der Verbund Feuchtigkeit ausgesetzt wird, muss ein entsprechend beständiges Klebesystem gewählt werden.

### **Phenolharze (PF)**

Phenolharze werden für Aluminium Deckschichten sowie zum Feuer- und Korrosionsschutz eingesetzt. Beim Aushärtungsprozess sind die Zeit-, Temperatur- und Druckparameter so zu wählen, dass keine Blasenbildung oder Ablösungen auftreten durch Wasser, das aus der chemischen Reaktion entstanden ist.

Aufgrund der chemischen Charakteristik aller MYCELL™ Schaumstoffe wird vom Kernmaterial kein Wasser absorbiert oder verdunstet wieder innerhalb relativ kurzer Zeit.

### **Wichtiger Hinweis !**

Mit einem ausgewogenen Zeit-Temperatur-Zyklus ist ein Nachhärten über der Glasübergangstemperatur möglich. Dazu müssen vorgängig eigene Tests durchgeführt werden um die Verträglichkeit für den Schaumstoff in Bezug auf seine Dimension und mechanische Eigenschaften zu prüfen.

### **Thermoplastische Schmelzkleber**

Schmelzkleber sind Thermoplaste die klebrig werden, wenn sie geschmolzen sind. Bei Raumtemperatur sehen sie wie normale Plastikfolien aus und sind nicht klebrig. Um eine Haftung zu erwirken muss die Klebefolie über den Schmelzpunkt hinaus aufgeheizt werden, worauf die zu verklebenden Teile zusammengepresst werden. Schmelzkleber können nur zum Aufkleben von Deckschichten auf Schaumstoff eingesetzt werden. Sie ermöglichen es, Polyolefin- oder Polyamiddeckschichten auf einfache Weise auf Schaumstoffkerne aufzukleben.

Die folgende Tabelle zeigt, welche thermoplastischen Klebstofftypen für die häufigsten Kombinationen von MYCELL™-Schaumstoff und Deckschichtmaterialien am besten geeignet sind.

### **Wichtiger Hinweis !**

Die maximale Betriebstemperatur von Schmelzklebern liegt ungefähr 30 °C unter der Kleberschmelztemperatur.

## Verarbeitungsrichtlinien

Verklebung mit	Schaumstofftyp					
	R63	R82	C51	C70	C71	T90/92
<b>Metalle/Holz</b>	PE, PP	PE, PP	PE, PP	PE, PP	PE, PP	PE, PP
<b>Faserverstärkte Kunststoffe (ausgehärtet)</b>	TPU, PA	TPU, PA	TPU, PA	TPU, PA	TPU, PA	TPU, PA, PU
<b>Kunststoffe (Thermoplaste)</b>	PE, PP EVA, TPE	PE, PP EVA, TPE	PE, PP EVA, TPE	PE, PP EVA, TPE	PE, PP EVA, TPE	PE, PP EVA, TPE

Empfohlene Schmelzklebstofftypen für die Verklebung von Schaumstoffen mit anderen Materialien

PE: Polyethylen; PP: Polypropylen; TPU: Thermoplastische Polyurethane; EVA: Ethyl-Vinyl-Azetate; PA: Polyamide; TPE: Thermoplastisches Polyester

### **Polyethylen (PE)**

Klebstoffe auf Polyethylenbasis sind kostengünstige Universalkleber mit kurzen Aushärtungszeiten. Die maximalen Verarbeitungstemperaturen und die Schälfestigkeit genügen jedoch nicht für alle Anwendungen.

### **Polypropylen (PP)**

Klebstoffe auf Polypropylenbasis werden eingesetzt, wenn eine bessere Haftungsfestigkeit und höhere Betriebstemperaturen gefordert sind. Es können zudem mehr Deckschichtmaterialien mit Schaumstoff verklebt werden, als dies mit PE möglich ist.

### **Thermoplastische Polyurethane (TPU)**

Bis zu einer gewissen Temperatur bieten TPU Klebstoff eine gute Haftungsfestigkeit zwischen Deckschicht und Kern. Sie können mit auf Phenolharz basierenden Prepregs verwendet werden und als Feuchtigkeitsbarriere wirken. Die Schälfestigkeit des Laminats kann damit erhöht werden. Insbesondere mit Aluminiumdeckschichten kann eine hohe Schälfestigkeit erreicht werden.

### **Polyamid (PA)**

PA Klebstoffe erlauben die höchsten Betriebstemperaturen aller Kleber. Die Reihe möglicher zu verklebenden Deckschichtmaterialien ist allerdings limitiert.

### **Thermoplastische Polyester (TPE)**

TPE Klebstoffe erreichen eine ausserordentlich gute Haftungsfestigkeit mit PVC und behindern die Weichmachermigration. Die Widerstandsfestigkeit gegenüber Reinigungsmittel und anderer Stoffe ist gut.

### Ausrüstung

Eine Checkliste für die notwendige Ausrüstung sollte die folgenden Werkzeuge enthalten:

- Roller und Spachtel
- Spritz- oder Spendervorrichtung, falls verfügbar
- Ausrüstung für das Vakuumverfahren ist von Vorteil aber nicht Bedingung
- Presse, vorteilhaft mit Heiz- und Kühlvorrichtung
- Sandsäcke oder Bleigewichte

### *Wichtiger Hinweis !*

Die Arbeitsqualität ist der Schlüsselfaktor für das Erreichen guter Klebeverbindungen. Eine einwandfreie Ausrüstung unterstützt eine optimale Verklebung ist aber alleine keine Qualitätsgarantie.

### Verkleben

Das Verkleben geschieht in drei Schritten:

- Vorbereiten der Oberflächen
- Auftragen des Klebstoffes
- Zusammenpressen der Teile

### **Duroplastische Kleber** *Vorbereiten der Oberflächen*

Alle Oberflächen müssen staub- und fettfrei sein. Oberflächen wie ausgehärtete Verbundlaminat oder Metalle müssen aufgeraut werden, Aluminium muss geprimert werden.

Falls beide Deckschichten gleichzeitig auf den Kern aufgeklebt werden, muss die Schaumstoffoberfläche auf beiden Seiten gerillt werden um eingeschlossene Luft entweichen zu lassen. Das Rillen des Schaumstoffes wird auch empfohlen, wenn das Verkleben mit Hilfe einer Presse ausgeführt wird. Wird das Vakuumverfahren gewählt und der Schaumstoffkern mit Metall- oder ausgehärteten Laminatdeckschichten verklebt, wird eine Lochung in regelmässigen Abständen von 50 - 100 mm mit 2 bis 3 mm Bohrdurchmesser empfohlen (siehe [Kapitel 2.1](#)).

Das Primern des Schaumstoffes wird empfohlen, da es die Haftfestigkeit erhöht. Bei Verwendung von Klebepaste, wird nicht nur der Kern verklebt sondern es ist auch gewährleistet, dass die Hohlräume im Schaumstoff gefüllt werden (contoured oder scrim cloth Kerne, siehe [Kapitel 2.3](#)), und so Unebenheiten des Laminats ausgeglichen werden.

Die Harzmenge für das Schaumstoffprimern sollte 200 g/m<sup>2</sup> bei Dichten von unter 100 kg/m<sup>3</sup> und 100 g/m<sup>2</sup> bei höheren Dichten nicht überschreiten.



## Verarbeitungsrichtlinien

### Auftragen des Klebstoffes

Die vom Hersteller empfohlene Harzmenge sollte vorsichtig aufgetragen werden. Ein Roller um das Harz gleichmässig zu verteilen und ein Spachtel um das Harz an die Zellwände zu drücken sind zu empfehlen.

Die minimalen Klebstoffmengen für das Verkleben sind aus der folgenden Tabelle ersichtlich:

<b>Schaumstoffdichte</b> kg/m <sup>3</sup>	<b>Minimale Klebstoffmenge</b> g/m <sup>2</sup>
unter 50	500
50 – 100	300
100 – 200	200
über 300	150

Minimale Klebstoffmenge für das Verkleben

### Pressen der Teile

Mit Klammern oder anderen Befestigungsmitteln kann verhindert werden, dass die Teile während des Verklebens, ihre Position ändern.

Es wird empfohlen, reaktive Klebstoffe unter Vakuum (zwischen 0.2 und 0.3 bar absolut) auszuhärten. Die Viskosität dieser Systeme sollte niedrig genug sein damit etwas Harz in die geschnittenen Zellen an der Oberfläche eindringen kann. Bei Verwendung von Sandsäcken oder Bleigewichten ist sicherzustellen, dass dazwischen keine Ablösungsstellen auftreten.

Falls beabsichtigt wird, die Klebeverbindung bei höheren Temperaturen nachzuhärten, gibt die folgende Tabelle die maximalen Betriebstemperaturen für die verschiedenen Schaumstofftypen. Nachhärten unter niederem Druck sollte bei um 20 bis 30 °C höheren Temperaturen vorgenommen werden.

<b>Schaumstofftyp</b>	M
<b>T [°C]</b>	100

Maximaltemperaturen für das Nachhärten von duroplastischen Klebstoffen

### **Wichtiger Hinweis !**

Beachten Sie, dass der Schaumstoff bei diesen Temperaturen einen Teil seiner Steifigkeit verliert. Distanzhalter sind deshalb zur Gewährleistung der Geometrie unbedingt erforderlich.

Reaktive Klebefolien müssen vor dem Verkleben aufgeheizt werden. Gerillte Schaumstoffplatten ermöglichen das Entweichen von flüchtigen Stoffen und Luftblasen bei Verkleben mit Hilfe von Vakuum.

### **Wichtiger Hinweis !**

Luftblasen müssen beim Zusammenfügen der Teile unbedingt verhindert werden, da die Haftungsfestigkeit dadurch stark abnimmt.

## Verarbeitungsrichtlinien

### Schmelzkleber

#### Vorbereitung der Oberfläche

Alle Oberflächen müssen staub- und fettfrei sein. Rauhen Sie Oberflächen wie ausgehärtete Verbundlamine oder Metalle vor dem Verkleben auf, Aluminium sollten Sie primern.

#### Auftragen des Klebstoffes

Je nach Zellgrösse werden Klebefolien zwischen 50 und 300 g/m<sup>2</sup> verwendet. Die Perforation der Folie in regelmässigen Abständen schützt vor Blasenbildung. Die Schaumstoffoberfläche muss gerillt werden um eingeschlossene Luft entweichen zu lassen.

Wenn die eine Seite zuerst aufgeklebt wird, wird eine Lochung in regelmässigen Abständen von 50 mm mit 1 bis 2 mm Bohrdurchmesser empfohlen.

#### Pressen der Teile

Je nach Schaumstoffdicke wird ein Anpressdruck von 1 bis 5 bar aufgebracht. Eine um 1 bis 2 mm erhöhte Dicke gegenüber zur Schaumstoffdicke des fertigen Bauteils erhöht die Haftungsfestigkeit. Diese zusätzliche Dicke kann die Dickentoleranzen der Fertigung kompensieren, gewährleistet, dass ein regelmässiger Anpressdruck entsteht und berücksichtigt das Kriechverhalten. Distanzhalter helfen die zum Schluss gewünschte Dicke einhalten zu können.

### Wichtiger Hinweis !

Falls der gesamte Pressvorgang nicht länger als 40 sec. dauert und Distanzhalter verwendet werden, um einen zu hohen Anpressdruck zu vermeiden, sind die folgenden Oberflächentemperaturen einzuhalten:

<b>Schaumstofftyp</b>	M
<b>Temp. °C</b>	150

Maximaltemperaturen für das Verkleben mit Schmelzkleber

## 2.8 Vakuumverfahren

### Allgemeines

Das Vakuumverfahren ist eine effiziente und kostengünstige Methode, die unter Ausnützung des atmosphärischen Drucks einen gleichmässigen und gut kontrollierbaren Druck auf ebene und dreidimensionale Verbundbauteile ermöglicht. Theoretisch ist der maximale Druck etwa 1 bar. Mit Standardausrüstung beträgt der Druck 0.8 bis maximal 0.9 bar. Die Vakuummethode wird benützt zum Thermoformen (siehe [Kapitel 1.3](#)), einfache Verklebung von Schaumstoff ([Kapitel 2.7](#)), Schaumstoffeinbau ([Kapitel 2.2](#)), wie auch für Prepregdeckschichten ([Kapitel 2.6](#)). Die angewandten Techniken variieren. Bei der Arbeit mit Schaumstoffkernen wird am häufigsten das Trockenverfahren angewandt, während bei der Herstellung faserverstärkten Kunststoffen meist die Nassverfahren bevorzugt wird.

### Ausrüstung

#### Kunststofffilm

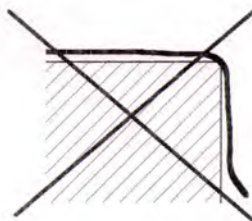
Abgesehen von der Vakuumpumpe sind Kunststoffolien das wichtigste Ausrüstungselement. Die Kunststoffolien müssen flexibel, reissfest und unporös sein und sich mit Harzsystemen, insbesondere mit Styrol vertragen.

Mehrfach verwendete Vakuumsäcke sind aus elastomeren Kunststoffen (Gummi), Wegwerf-Vakuumfilme bestehen aus Polyethylen (PE), Nylon (PA) oder Silikon. Es gibt keine Einschränkungen für die Dicke des Films, solange er sich leicht dehnen lässt und das Vakuum aushält. Achten Sie auf die Wärmestandfestigkeit des Films, wenn das Harz unter erhöhter Temperatur ausgehärtet wird.

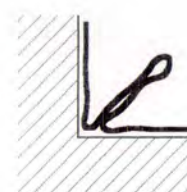
#### Wegwerfvakuumfilme

Wegwerfvakuumfilme können nicht in der Weise gedehnt werden wie elastomere Kunststoffe. Sie passen sich deshalb nicht immer optimal der Bauteilform an. Für Kunststoffolien kann in diesem Fall durch Falten des Films abgeholfen werden, um lokale Spannungskonzentrationen besonders mit Schaumstoff niedriger Dichte zu vermeiden.

Kanten



Ecken



## Verarbeitungsrichtlinien

### **Abdichtklebband**

Abdichtklebbänder müssen biegsam und gut haftend sein. Sie sind ausgelegt um den Vakuumsack vollständig von der Werkzeugformoberfläche abzudichten. Während des Harzaushärteprozesses werden sie zu einem starken, gummiartigen Material. Wenn der Vakuumsack entfernt wird, muss sich die Abdichtung von der Werkzeugform lösen ohne Rückstände zu hinterlassen.

### **Absauggewebe/-vlies**

Absauggewebe dienen dazu, überschüssiges Harz aufzusaugen und damit den prozentualen Faseranteil im Laminat zu erhöhen. Bei einfachen Bauteilen sind keine speziellen Absauggewebe oder -vliese notwendig. Es genügt, das den Kern umgebende Laminat und den Kern mit einem normalen Polyethylenfilm abzudecken. Dies trifft insbesondere bei Verwendung von geschlitztem Kernmaterial oder ContourKore zu.

### **Atmungsschicht**

Die Atmungsschicht sollte aus einem Material bestehen, das unter Vakuum nicht vollständig zusammengedrückt wird und den Luftdurchgang verhindert. Blasenplastikfilme oder Filz kann dazu verwendet werden. Beachten Sie, dass die Atmungsschicht unter dem Vakuumventil gut gespannt ist, um einen ununterbrochenen Luftstrom sicherzustellen.

### **Vakuumventil**

Ein Vakuumventil besteht aus einer Metallplatte, einem Dichtungsring, einer Druckplatte und einem Verschlussring. Zur Montage schneiden Sie ein "X" in den Vakuumsack.

Die Anzahl einzusetzender Ventile hängt von der Fläche des Schaumstoffkerns ab:

Fläche	Anzahl Ventile
< 2 m <sup>2</sup>	1
2 - 10 m <sup>2</sup>	2 - 3
10 - 50 m <sup>2</sup>	4 - 6

Anzahl benötigter Ventile in Abhängigkeit der Kernfläche

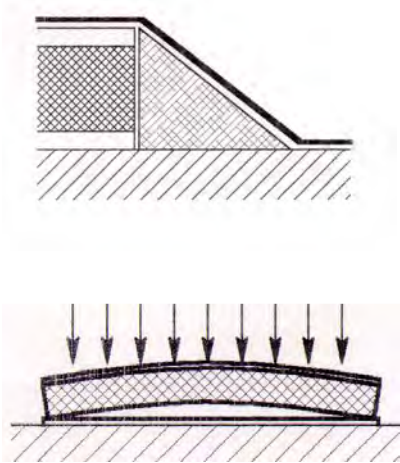
### **Vakuumquelle**

Am häufigsten werden elektrisch betriebene Vakuumpumpen eingesetzt. Für kleinere Arbeiten kann der Einsatz eines Venturiblock an Stelle einer Vakuumpumpe dienen.

### Verarbeitung

#### Verkleben

Die Herstellung einer ebenen, zwei- oder dreidimensional geformten Sandwichplatte mit zwei einfachen thermoplastischen oder faserverstärkten Kunststoffdeckschichten entspricht zum grossen Teil den in den vorigen Kapiteln beschriebenen Verfahren.



Das gleichzeitige Verkleben beider Deckschichten kann Luft einschliessen zwischen den Deckschichten und dem Kern verursachen. Es sind einfach oder in Quadrate gerillte Schaumstoffkerne zu verwenden. (siehe [Kapitel 2.1](#))

Die oberen Kanten und Ecken der Sandwichplatte - insbesondere bei Verwendung dickerer Schaumstoffkern niedriger Dichte – sollten vor lokalen Spannungskonzentrationen geschützt werden. Verwenden Sie dazu Keile aus Holz oder Kunststoff und umrahmen Sie die Sandwichplatte.

Wenn beide Deckschichten gleichzeitig aufgelegt werden, stellen Sie sicher, dass bei Schaumstoffkernplatten, vor allem bei Dicken von 40 mm und mehr keine Wölbungen auftreten und flach aufliegen.

Einen dicken, gewölbten Schaumstoffkern flachzupressen ist nicht immer ein einfaches Unterfangen. Die Biegefestigkeit einer dicken Schaumstoffplatte reicht in vielen Fällen aus um dem vollen Vakuumdruck zu widerstehen. Der auftretende Leerraum lässt Blasen entstehen, vor allem, wenn styrolhaltiges Harz oder Klebepaste verwendet wird.

Gewölbte Platten können ausgeebnet werden, indem sie über den Erweichungsbereich aufgeheizt und danach unter Druck abgekühlt werden ([Kapitel 1.3](#)).

#### Prepreg und Laminate

Die Anwendung des Vakuumverfahrens mit Prepregs oder Nasslaminaten bei Umgebungstemperaturen oder unter Wärme ist technologischer aufwendiger als der Einsatz vorfabrizierter oder ausgehärteter Laminats.

Zunächst muss die Oberflächentextur des vollendeten Laminats und dann die Haftungsanforderungen zwischen Laminat und Schaumstoffkern berücksichtigt werden. Diese Punkte sind bereits im [Kapitel 2.8](#) behandelt worden.