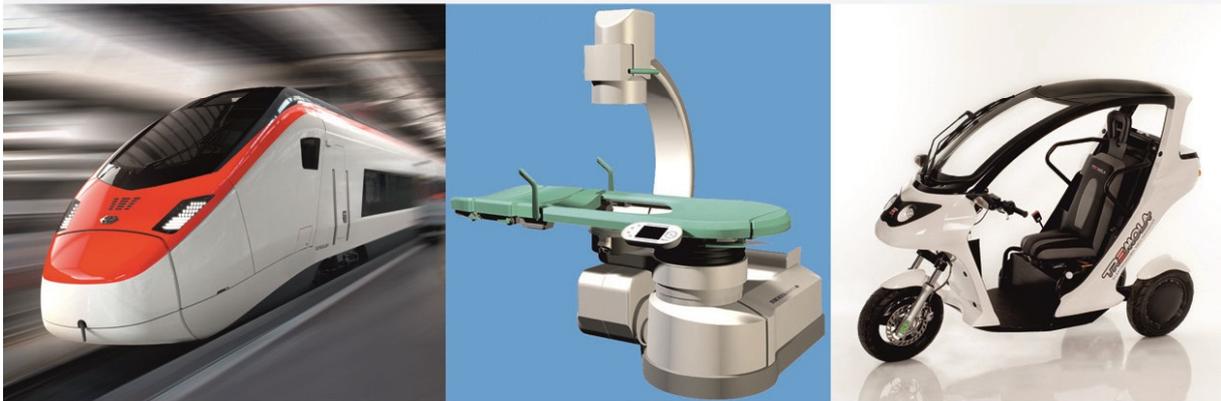


**wernli** 



WIR PRODUZIEREN MIT INNOVATION UND LEIDENSCHAFT

**Konstruieren  
mit faserverstärkten  
Duroplasten**

[www.w77.ch](http://www.w77.ch)

In Gedenken an unseren Verwaltungsratspräsidenten Rolf Wernli

Die nachfolgende Arbeit wurde bereits 1998 von Herrn Rolf Wernli verfasst und hat nach wie vor Gültigkeit.

## Einleitung

Kunststoffe sind aus dem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken. Vom Kinderspielzeug bis zur Weltraumfähre, vom Haushaltgerät über Schienen- und Strassenfahrzeuge zur Luftfahrt, in der Industrie, dem Gewerbe und der Landwirtschaft, Kunststoffen begegnet man auf Schritt und Tritt. So mannigfaltig die Anwendungen sind, so unterschiedlich sind die Gründe für den Einsatz.

Seit 1962 produziert und verarbeitet die Wernli AG in Hottwil faserverstärkte Kunststoffe. Rund 30 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter haben ein breites Wissen und dürfen auf ein grosses Knowhow zurückblicken. Bei der riesigen Palette von Kunststoffen kennen wir natürlich nur einen kleinen Teilbereich. Alle nachfolgend aufgeführten Verfahren wenden wir erfolgreich an und die Angaben beruhen auf eigenen Erfahrungen. Wir befassen uns zur Hauptsache mit faserverstärkten Duroplasten in Laminier- und Pressverfahren.

In der nachfolgenden Schrift wird als Matrix in den meisten Fällen von Polyesterharzen die Rede sein, ohne daneben aber Epoxyd und andere Harze zu vergessen.

Des Weiteren richtet sich diese Konstruktionshilfe nicht an den erfahrenen Konstrukteur der technisch ausgereifte Teile für hochbeanspruchte Anwendungen herstellt, sondern an diejenigen, die sich mit der Konstruktion von Maschinen, Fahrzeuge und Anlagen beschäftigen. Das macht aber den größten Teil der Anwendungen aus und das Sparpotential ist hier im Verhältnis zu den Anforderungen mit Abstand am grössten.

Dennoch ist es aber keine Quickanleitung für die Erlernung der Duroplastverarbeitung. Im Gegenteil, es sollen fundierte Grundkenntnisse vermittelt werden, was aber den Willen zum Lernen voraussetzt.

Wir werden den geneigten Leser grösstenteils mit komplizierten Berechnungen verschonen. Da man aber ganz ohne nicht auskommt, sind am Schluss die grundlegendsten technischen Daten im Vergleich zu anderen Baustoffen aufgezeigt.

Auf die Chemie haben wir grundsätzlich verzichtet, da hat es für den Interessierten genügend Literatur. Es soll eine reine Konstruktionshilfe sein, damit der Konstrukteur und der Designer mit dem erfahrenen Bauteilehersteller dieselbe Sprache sprechen können.



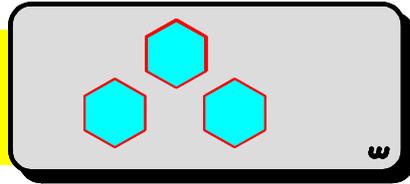
*Kunststoffwerke*  
**5277 Hottwil**

© 1998 Rolf Wernli

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Einleitung</b>	
<b>Inhaltsverzeichnis</b>	
<b>Kunststoffarten</b> Was sind Kunststoffe Duroplaste, Thermoplaste, Elastomere	<b>1</b>
<b>Duroplaste</b> Übersicht	<b>3</b>
<b>Allgemeine Konstruktionsgrundlagen</b>	<b>8</b>
<b>Handlaminat</b>	<b>14</b>
<b>Faserspritzen</b>	<b>21</b>
<b>Nasspressen</b>	<b>25</b>
<b>Resin Transfer Moulding RTM</b> (Vacuumverfahren)	<b>30</b>
<b>Resin Injekt Moulding RIM</b> (Injektionsverfahren)	<b>35</b>
<b>RIM / RTM</b> (Vacuum / Injektionsverfahren)	<b>40</b>
<b>SMC</b> (sheet moulding compound, pré-prég)	<b>46</b>
<b>Verbinden von Kunststoffteilen</b>	<b>53</b>
<b>Reparieren von GFK</b>	<b>57</b>
<b>Berechnen von Kunststoffteilen</b>	<b>58</b>
<b>Technische Daten</b>	<b>61</b>
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>63</b>

# Kunststoffarten



## Was sind Kunststoffe?

Würde man Kunststoffe nach der Bedeutung des Wortes einteilen gäbe es nur sehr wenige natürliche Baustoffe. Das wären z.B. Holz und aus Erzen geschmolzene Metalle. Eine Mauer, aufgemauert mit Steinen und Mörtel ist schon nicht mehr „natürlich“, denn der Zement kommt so in der Natur nicht vor. Aluminium müsste man zu den Kunststoffen zählen, denn die Gewinnung aus dem Bauxit ist auch ein „künstlicher“ Vorgang, der zudem noch Unmengen von el. Energie verbraucht.

Im Allgemeinen aber umfasst der Begriff „Kunststoffe“ organische Werkstoffe die durch Umwandlung von Naturprodukten oder durch Synthese von Primärstoffen aus Erdöl, Gas oder Kohle entstehen. In den meisten Kunststoffen sind Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und Schwefel (S) oder Teile davon enthalten. Man kann aber auch noch andere Elemente darin vorfinden.

## Unterscheidung von Kunststoffen

Man unterscheidet generell 3 Arten von Kunststoffen



*Bild 4.01*

*Im Auto sind alle Kunststoffarten vertreten:*

**Duroplast:**

*z.B. Stoss-Stangen, Aufbau (Wernli AG)*

**Thermoplast:**

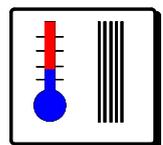
*z.B. Dichtungsprofile, Blinker gläser Innerverschalungen (nicht sichtbar)*

**Elastomere:**

*z.B. Pneu*

## Duroplaste (durus = hart)

Sind formstabil, hart und in allen Richtungen eng vernetzt. Sie sind in der Wärme nicht mehr verformbar und Chemikalienbeständig. Sie sind schwer quellbar und meist unlöslich. Einsetzbar bei sehr tiefen bis sehr hohen Temperaturen.



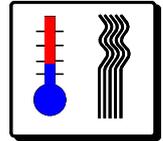
Anwendungen z.B. für Fahrzeugaufbauten, Verschaltungen und Gehäuse für Maschinen und Anlagen. Isolationsteile in der Elektroindustrie etc.

Für Recycling wird das Material geschreddert, gemahlen und als Füllstoff bis ca. 30 % dem neuen Material beigemischt. Die mechanischen Werte dieses Materials sind eher besser als Neumaterial. Farbgebung je nach Farbe des Recyclat's beschränkt.



### **Thermoplaste** (thermos = warm, plasso = bilden)

Gehen mit zunehmender Erwärmung in einen plastischen Zustand über, können dann verformt werden und behalten beim Abkühlen diesen Zustand. Bei tiefen Temperaturen werden sie spröde. Durch beimischen von z.B. Glas oder Carbonfasern wird das thermische Verhalten wesentlich besser.



Anwendungen z.B. in Haushalt und Freizeit wie Wassereimer, Flaschen, Gehäuse für Radios, Spielzeuge, Fahrzeugindustrie etc.

Für Recycling wird das Material gemahlen und direkt in den Extruder (z.B. Spritzgiessmaschine) geführt. Anteil 5 bis 15 %, die Qualität kann schlechter werden.

### **Elastomere** (elastisch = dehnungsfähig, meros = Teil)

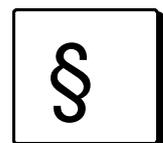
Die Eigenschaften sind ähnlich wie bei den Thermoplasten. Nur ist die „elastische“ Phase in einem sehr breiten Temperaturbereich und ist sehr ausgeprägt.

Anwendungen z.B. der Kunstschwamm, der Gummizug in den Trainingshosen, der gewöhnliche Bleistiftradiergummi und als sehr grosses Anwendungsgebiet Autopneu's.

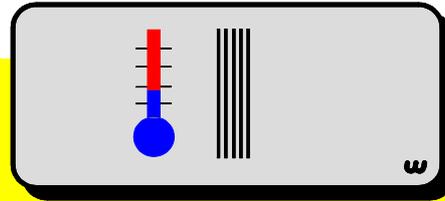
### **Kunststoffe und deren Anwendung aus der Sicht des Gesetzgebers**

Bei unsachgemässer Verarbeitung der Rohkomponenten bis zum fertigen Bauteil können giftige oder unangenehme Stoffe, die Mensch und Umwelt belasten, entstehen. Doch mit den heutigen Technologien könnte man das weitgehend im Griff haben. Könnte!!

In der Schweiz herrschen strenge Vorschriften diesbezüglich und deren Einhaltung wird auch laufend kontrolliert. Das wirkt sich schlussendlich auf den Preis des Endproduktes aus. In vielen Ländern -hauptsächlich im Nahen Osten- kennen sie keine solchen Vorschriften oder werden nicht eingehalten. Das sollte der Einkäufer unbedingt mit berücksichtigen wenn er seinem Kunden mit ruhigem Gewissen ein sauberes Produkt anbieten möchte!!!



## Duroplast



Duroplaste sind wie es der Name schon sagt, harte Kunststoffe. Sind sie einmal in Form gebracht kann diese nicht mehr verändert werden. Warum?

Als Ausgangsmaterial ist immer ein Reaktionsharz (Matrix) in Verbindung mit Füllstoffen und Verstärkungsfasern (Armierung) da.

Im Nassverfahren werden meistens Polyester- oder Epoxydharze eingesetzt. Als Verstärkungsfasern dienen Glas in Form von Roving, Matte oder Gewebe, Carbon oder Kevlar in Form von Geweben. Die Harze werden direkt beim Herstellen des Teiles mit Füllstoffen und Verstärkungsfasern zusammengebracht und gehärtet.

Was heisst gehärtet? Dem Harz wird ein Härter beigemischt. Der löst eine chemische Reaktion aus die bewirkt, dass das Harz vom flüssigen in den harten Zustand übergeht. Diese Reaktion kann nicht mehr rückgängig gemacht werden. Hart ist hart!

Für grössere Serien bei halb- oder automatischen Verfahren werden die Harze mit den Verstärkungsfasern und Füllstoffen als SMC (Sheet molding compound, getränkte Matte), als BMC (Bulk molding compound) oder in Stäbchenform vorimprägniert. Verarbeitung auf Pressen mit geheizten Stahlwerkzeugen. Hier kommen nebst den obenerwähnten Harzen unter anderem auch Phenol und Melaminharze zum Einsatz.

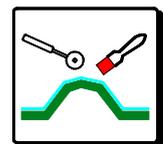
### Was ist ein (Hand-) Laminat

Wenn mehrere Schichten von z.T. verschiedenen Materialien aufeinander geklebt werden spricht man von Laminaten. Wenn im Zusammenhang mit Duroplasten von Laminaten die Rede ist, geht es um mit Harz getränkte Matten oder Gewebe. Das bekannteste und auch das älteste ist das Handlaminierverfahren. Hier werden auf einer Form Matten und Gewebe mit Harzen, die mit Härter versehen sind, getränkt und bei Raumtemperatur ausgehärtet.

Die Nachteile sind einerseits nur eine glatte Seite und andererseits der relativ hohe Stückpreis. Andererseits stehen dafür niedrige Formkosten und kurze Termine für die ersten Teile. Siehe Kapitel 6 + 7.

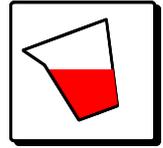
Handlaminatteile müssen nach dem Ausformen immer noch mech. Nachbearbeitet werden, da das Laminat z.T. über die Form aussteht.

Vielfach werden für Prototypen Handlaminatteile hergestellt, ausgetestet und dann die Serie z.B. in SMC gepresst.



## Harze

Es gibt nicht nur ein Polyester- oder Epoxydharz. Je nach Einsatz kommt ein anderer Typ zur Anwendung, sei das um die Temperaturfestigkeit zu erhöhen, um das Teil schwerbrennbar auszuführen, um eine hohe Steifigkeit oder im Gegenteil eine Flexibilität herbeizuführen.



## Fasern

Bei den Verstärkungsfasern ist es ähnlich. Die günstigste und auch am meisten eingesetzte Faser ist Glas. Hier gibt es auch für jeden Anwendungszweck die entsprechende Matte oder das entsprechende Gewebe.

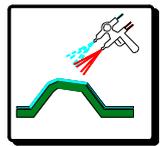


Für höhere Steifigkeit und Zugfestigkeiten werden Carbonfasern eingesetzt. Um die optimalen Eigenschaften dieser Hightech Faser voll ausnützen zu können geschieht das im Zusammenhang mit Epoxydharzen.

Kevlarfasern werden im Verbund mit Harzen weniger eingesetzt, da ihre Eigenschaften bei anderen Anwendungen viel besser zum Tragen kommen (z.B. Kugelsichere Westen).

## Faserspritzen

Werden beim Handlaminieren Harz und Fasern noch von Hand aufgelegt, geschieht das beim Faserspritzen in einem Arbeitsgang ab Maschine. Hat man beim Handlaminieren schon relativ grosse Dicktoleranzen, sind sie beim Faserspritzen noch grösser. Für anspruchsvolle Teile ungeeignet.

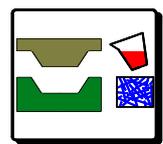


## RIM/RTM und Nasspressen

Bei diesen Verfahren sind 2 Formen nötig: Stempel und Matrize. Dafür erhält man Teile, welche beidseitig glatt sind und kleinere Dicktoleranzen aufweisen.

Beim RIM/RTM- (Vakuum/Injektion) Verfahren wird das Glas trocken in die untere Form eingelegt, inkl. allfälliger Einlageteilen, sowie auch Schaumkerne bei Sandwichelementen.

Die Formen werden geschlossen und vakuiert, anschliessend wird das Harz mittels Maschine eingespritzt. Wird hauptsächlich für grosse Teile angewendet.



Wenn die Formen auf eine Presse montiert werden können, kommt das Nasspressen zum Einsatz, d.h. die Form wird mit Fasern und Einlagen „gefüllt“ wie beim RIM/RTM dann aber vor dem Schliessen das Harz zugegeben.

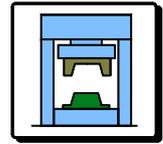
Das sind 2 geschlossene Verfahren, d.h. die Arbeitsplatzbelastung durch Styrol ist sehr gering.

Auch diese Teile brauchen eine mech. Nachbearbeitung. Deshalb wird das Nasspressen immer mehr vom SMC abgelöst.

# SMC

Früher unter dem Namen Pre-preg bekannt, (Vorimprägniert).

SMC ist eine Glasmatte die mit Harz getränkt ist. Damit beim aufrollen die Matten nicht zusammenkleben, werden sie beidseitig mit einer Folie abgedeckt. Von diesen Rollen wird die entsprechende Menge abgeschnitten und auf 150 °C aufgeheizten Stahlwerkzeugen (Stempel und Matrize) mit einem Druck von 50 bis 100 Kp pro cm<sup>2</sup> gepresst. Während des Pressvorganges erwärmt sich das Material, wird zähflüssig und fließt „durch die ganze Form“. Der im Harz eingemischte Härter springt an und lässt das Teil hart werden. SMC Teile brauchen nach dem Entformen nur noch entgratet zu werden und sind fertig.



## Allgemeines zu Duroplasten

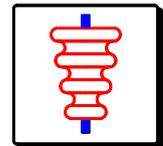
### Dichte

Im Gegensatz zu Metallen sind die Duroplaste Leichtgewichte. So haben normale GFK Laminare eine Dichte von 1.6 bis 1.7. Hochgefüllte Phenol- und Melamin-pre-pregs gehen bis zu 2.



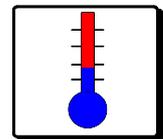
### Elektrische Isolation

Duroplaste sind, wenn sie nicht mit Carbonfasern verstärkt sind, sehr gute elektrische Isolatoren. Deshalb sind sie aus der Elektroindustrie nicht mehr wegzudenken. Viele Anlagen konnten erst mit hochwertigen Duroplasten überhaupt realisiert werden.



### Temperaturverhalten

Auch der thermische Einsatzbereich ist sehr breit. Einsatztemperaturen von - 50 bis + 150° C und höher sind an der Tagesordnung.

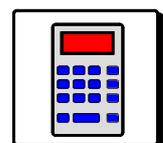


Auch als thermischer Isolator können Duroplaste sehr gut eingesetzt werden. Zum Vergleich:

Wärmeleitfähigkeit in	kcal/mh°
Glasfaserverstärktes Polyester	0.3
Holz	0.15
Backstein	0.5
Aluminium	175

### Energiebilanz

Die Energiebilanz ist sehr positiv. Duroplaste brauchen von der Gewinnung bis zum Endprodukt 3x weniger Energie als Stahl oder 15x weniger als Aluminium. Dabei ist der Erdölanteil, woraus Kunststoffe zum grössten Teil bestehen, miteingerechnet.



## Lackierbarkeit

Polyesterteile lassen sich im Allgemeinen gut lackieren. Ein Anschleifen lässt sich aber nicht umgehen. Polyesterteile die länger als ca. 12 Jahre im Freien eingesetzt werden, sollten unbedingt lackiert werden da Polyester nur bedingt gegen UV Strahlen beständig ist und die meisten Epoxydharze überhaupt nicht.

## Lebensdauer

Polyesterteile halten „ewig“. Wenn sie richtig konzipiert sind, kann man sie nach der Montage „vergessen“. Teile aus unserem Hause sind jetzt schon über 30 Jahre in Grosskraftwerken, bei der Armee, bei Schienenfahrzeugen usw. im Einsatz, ohne dass man nur die geringsten Alterserscheinungen sieht.

## Brennbarkeit

Kunststoffe bestehen zur Hauptsache aus Erdöl, was bekanntlich sehr gut brennt. Deshalb sind Kunststoffe in ihrer Grundausführung alle brennbar. Durch „Veredelung“ können unter anderem auch die Eigenschaften in Bezug auf die Brennbarkeit verändert werden. Zum Teil hat aber der Einsatz von schwerbrennbaren Additiven verheerende Folgen für Mensch und Umwelt.



Polyester sind in dieser Beziehung sehr gutmütig. Beim verbrennen entsteht zur Hauptsache Kohlendioxyd (Kohlensäure,  $\text{CO}_2$ ) sowie Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Der entstehende schwarze Rauch besteht aus Kohlenstoff = Russ (wie beim verbrennen von Holz). Obwohl **keine giftige** Stickoxyde entstehen, besteht dennoch Erstickungsgefahr infolge Sauerstoffmangel.

Polyester, Epoxyd, Phenol und Vinyl -Harze können so eingestellt werden, dass sie der strengen Norm für Schienenfahrzeuge nach DIN 5510 / EN 45545 entsprechen.

## Recycling

Kunststoffe sind sehr verrufen als „Umweltverschmutzer“. Sehr zu Unrecht! Wenn man die Verpackungsindustrie anschaut mag das z.T. noch stimmen, dass aber hier der Gesetzgeber mit seinen meist übertriebenen Hygienevorschriften das meiste dazu beiträgt wird nie in Betracht gezogen. Auch unsere „Wegwerfgesellschaft“ mit den Billigstimporten von Geräten der Unterhaltungs- und Spielzeugindustrie etc. trägt das Ihrige dazu bei.



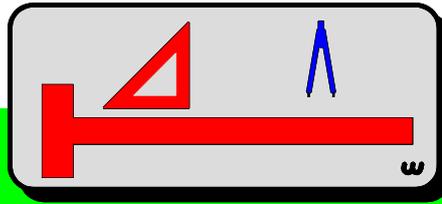
Kunststoffe sind nur Umwandlungen von Naturprodukten. Öl, Kohle etc. Und wenn wir damit sinnvoll umgehen, können wir das „Umweltschutzproblem“ lösen.

Im Gegensatz zu Thermoplasten können wir Duroplaste nicht einschmelzen. Eine heute mögliche Wiederverwertung ist das Schreddern, Mahlen und Wiederbeimischen als Füllstoff. Die Qualität des neuen Materials ist eher besser, bei den Farben muss man eine kleine Einschränkung in Kauf nehmen.

Eine weitere Wiederverwertung ist das Verbrennen. Vergessen wir nicht: Duroplaste bestehen zur Hauptsache aus Erdöl. Die ganze Energie dieses Öls steckt immer noch im Material und die heutigen Filter in den normalen Kehrrichtverbrennungsanlagen lassen von den Duroplasten weniger Schmutzpartikel an die Umwelt als der grösste Teil der Ölheizungen und der Automotoren. Dass mit der Verbrennungsenergie heute Strom erzeugt wird und Fernheizungen betrieben werden, sollte allgemein bekannt sein.

Duroplaste sind langlebig. Heutige Lokomotiven haben eine Lebenserwartung von ca. 40 Jahren, Schaltanlagen in Kraftwerken ebenfalls. In beiden sind Duroplaste von Wernli AG eingesetzt. Wenn diese einmal entsorgt werden müssen ist sicher die heute labormässig funktionierende Pyrolyse einsetzbar. Dann können Kunststoffe in petrochemische Stoffe zerlegt werden. Somit wäre das Problem vermutlich gelöst.

# Allgemeine Konstruktionsgrundlagen



In diesem Kapitel werden nur die Grundzüge des Konstruierens mit Duroplasten behandelt. Die Details zu den einzelnen Verfahrenstechniken mit den nötigen Angaben finden Sie ab Kapitel 7.

Am Anfang war . . . . . die Form. Wenn wir Formteile in Duroplast konstruieren wollen benötigen wir im Normalfall immer eine Form. Es gibt auch die Möglichkeit Duroplastplatten auf die verschiedenartigsten Arten zusammenzufügen. Das wird im Kapitel 17 „Verbinden von Kunststoffteilen“ behandelt. Thermoplastplatten lassen sich biegen und nebst kleben auch schweißen. Das ist aber nicht das Thema dieser Schrift, sondern das Herstellen von Formteilen.

Zurück zu der Form. Können Sie sich noch zurückerinnern an das Spielen im Sandkasten? Haben Sie auch Sand in „Formen“ gestopft und diese dann gekippt? Mit den heute im Handel erhältlichen, meist aus farbigem Thermoplast als die unmöglichsten Figuren geformten Sandformen ist das kein Problem. Haben Sie einmal eine Ovomaltine-Büchse mit ihrer glatten Innenfläche gefüllt und dann gekippt? Wenn der Sand die richtige Konsistenz hatte, ging das gerade noch zur Not. Füllten Sie eine Weissblech-Konservendose mit ihrer typisch gewellten Wandung, bröckelte ein grosser Teil des Sandes ab. Und wenn Sie dann als Krönung ein Gurken- oder Kaffeeglas mit Schraubdeckel füllten, dann hatten Sie die Bescherung! Trotz vorsichtigem Klopfen und Schütteln, der Sand kam nur in Einzelteilen heraus. Warum? Ihre Formen hatten keinen Ausformwinkel (Anzug) sondern Hinterschnitte, was ein normales ausformen verhindert. Um das Sandteil ganz zu erhalten, müssen wir die „Form“, also das Glas trennen.

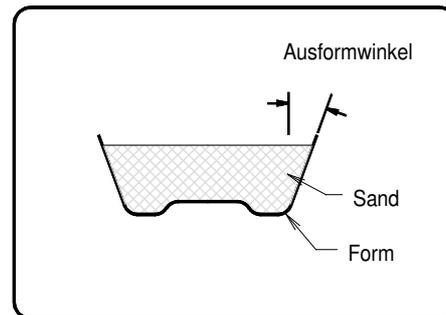


Bild 6.01

## Handelsübliche Sandform

sehr gut ausformbar

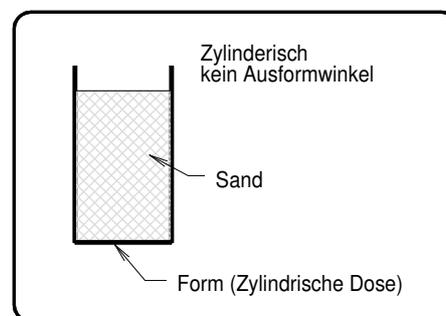
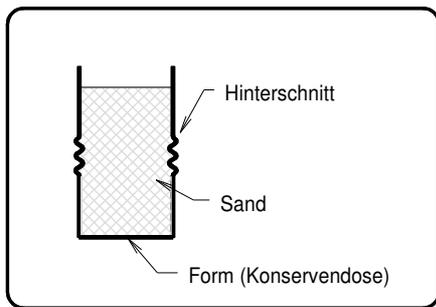


Bild 6.02

## „Ovomaltinebüchse“

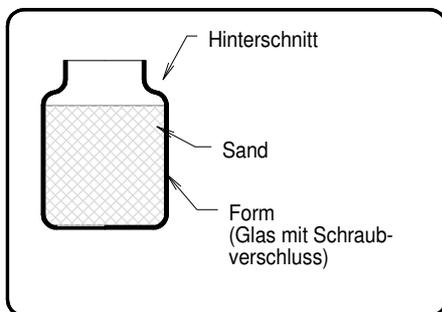
Kann nur ausgeformt werden wenn der Formling (Sand) während des Aushärtens (Trocknen) schwindet (volumenmässig kleiner wird)



**Bild 6.03**

### **Konservendose**

*Sand im Hinterschnitt fällt beim Ausformen ab*



**Bild 6.04**

### **Glas mit Schraubdeckel**

*ohne zerschlagen des Glases (Formtrennung) kann nicht ausgeformt werden*

In unserem Beispiel haben wir die Formen ganz mit Sand gefüllt. Dasselbe gilt aber auch, wenn wir nur eine dünne Schicht auftragen wollen. Das hat nichts mit Kunststoff, oder wenn Sie wollen mit Sand zu tun, sondern das ist reine Geometrie. Bei Thermoplasten ist es zum Teil möglich mit Hinterschnitten zu arbeiten, bei Duroplasten aber in der Regel nicht, oder wir müssen die Form trennbar ausführen. Sobald wir aber eine Formtrennung vornehmen müssen, ist das immer mit Kosten verbunden, und der geneigte Konstrukteur ist angehalten ein Bauteil so günstig wie möglich herzustellen. Das beginnt aber meistens schon beim Designer und diesem möchte ich an dieser Stelle einen Ratschlag erteilen:

„Heute orientieren sich viele Designer und Konstrukteure an der Auto- oder Elektro-

nikindustrie. Bei grossen Serien sind Hinterschnitte, verdeckte Befestigungselemente usw. im Verhältnis zu den Gesamtkosten relativ günstig zu realisieren. Wenn wir aber jährlich 50 Stück konstruieren müssen, gelten ganz andere Voraussetzungen, denn leider steht meist hinter jedem Projekt ein massiver Kostendruck. Deshalb schon beim Design darauf achten, dass die Bauteile möglichst keine Hinterschnitte aufweisen und dass sie auch befestigt werden müssen. Und überhaupt, warum sind alle so versessen darauf keine Schrauben sichtbar zu platzieren?

Hinterschnitte und komplizierte Befestigungen sind meist dafür verantwortlich, dass die Teile (zu) teuer sind“.

## **Das richtige Material wählen.**

Das ist der erste Grundsatz beim Konstruieren: Für einen Dachstuhl auf einem Einfamilienhaus ist sicher Holz der geeignetste Baustoff und für Metalle könnte man auch Dutzende von Beispielen auflisten. Daneben gibt es aber unzählige Anwendungen für die Kunststoffe prädestiniert sind und die nicht durch andere Stoffe ersetzt werden können oder sollen. Denken wir da nur einmal an die Isolierteile in der Elektroindustrie usw.

Beim Konstruieren mit Kunststoffen gelten andere Grundsätze als z.B. bei Stahl und Alu. Konstruieren kommt zum grossen Teil „aus dem Bauch heraus“. Und der Kunststoff Konstrukteur braucht einen andern „Bauch“ als derjenige welcher mit Stahl arbeitet, denn die Vor- und Nachteile liegen bei Kunststoffen ganz anders als bei anderen Baustoffen.

## **Eigensteifigkeit (E-Modul) und Zugfestigkeit**

Kunststoffe haben im Verhältnis zu Stahl ein viel kleineres E-Modul. Auf der anderen Seite können mit Kunststoffen viel höhere Zugfestigkeiten erreicht werden als dies hochlegierte Stähle aufweisen. Ich will an dieser Stelle ganz sicher nicht Stahl oder Alu durch Kunststoffe ersetzen,

aber es ist sehr wichtig das zu wissen, denn nur so können die vielen Vorzüge von Kunststoffen voll ausgenützt werden.

Wir müssen beim Konstruieren den Nachteil des geringen E-Moduls durch den Vorteil der hohen Zugfestigkeit ausgleichen. Das wurde z.B. beim Elektrofahrzeug HARO ganz klar angewendet. Das Fahrzeug besteht aus einem Chassis in GFK Sandwichkonstruktion mit formschlüssig aufgesetzter selbsttragender Kunststoffkarosserie. So ist der ganze Verbund praktisch nur auf Zug beansprucht und der geringe E-Modul fällt gar nicht in Betracht.

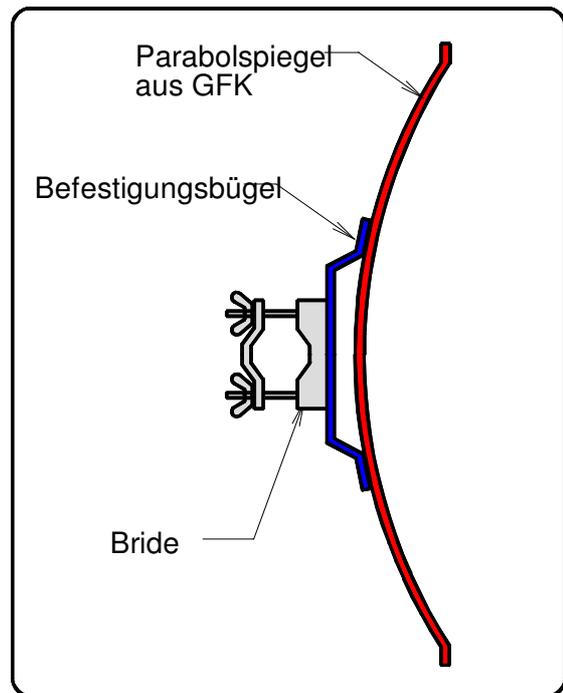


*Bild 6.05*

*Elektrofahrzeug HARO mit selbsttragendem Kunststoff-Chassis/Carrosserie*

## Konstruktionsbeispiel

Nehmen wir einmal an, Sie müssten einen runden Parabolspiegel für eine Satellitenantenne konstruieren. Spielt der Preis keine Rolle darf sich der Designer natürlich austoben, ansonsten muss erstens der Funktion genüge getan werden und zweitens der Preis stimmen. Ein wichtiger Faktor ist hier natürlich die Stückzahl, in welcher wir unsere „Schüssel“ herstellen wollen.



*Bild 6.06*

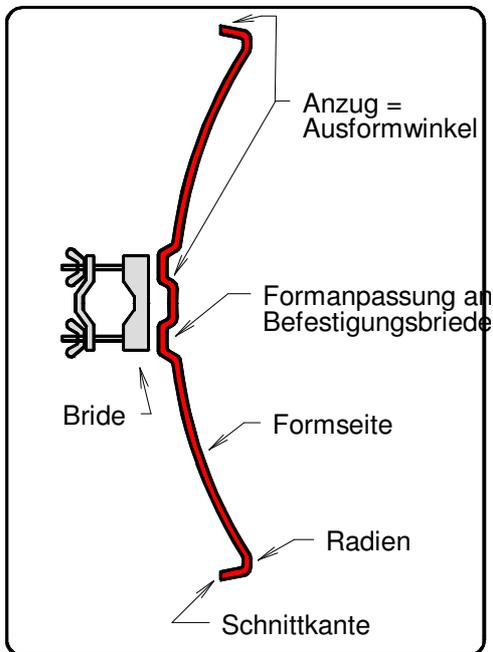
*Parabolspiegel im Schnitt.*

*Minimalforderung des Kunden*

## Handlaminat

Gehen wir von einer einmaligen Serie von 50 Stück aus. Dann wählen wir das Handlaminierverfahren, denn es genügt, wenn die vordere Seite (diejenige, welche mit einem leitenden Lack versehen wird) glatt ist. Für die Rückseite genügt die Handlaminatoberfläche.

Die Kontur der Spiegeloberfläche ist gegeben, wir haben aber Spielraum bei den Befestigungspunkten und bei der Ausführung des Randes. Letzteres ist besonders wichtig, denn bei allen Nassverfahren (Handlaminat, Faserspritzen, Nasspressen, RIM, RTM) muss nach dem Aushärten des Teiles der Rand beschnitten werden.



Dass das mit Hartmetall oder Diamantwerkzeugen auf schnell drehenden Maschinen geschieht, ist sicher selbstverständlich, Messerzuschnitte (siehe unter Kapitel 7 und 16) sind out.

Wenn aber die mech. Nachbearbeitung ohne grosses Einrichten auf konventionellen Maschinen geschehen kann, halten sich auch hier die Kosten in Grenzen. Deshalb müssen wir darauf achten, dass wir den Parabolspiegel nicht auf eine Drehbank oder CNC Fräse aufspannen müssen, sondern den Rand auf einer konventionellen Fräse besäumen können. Konstruktiv ist das hier sehr einfach zu lösen, indem wir den Rand hochziehen und ihn dann auf einer Ebene mit einem Diamantblatt beschneiden können. Das hat erst noch den Vorteil, dass das Teil besser „steht“, also steifer ist. Somit haben wir bereits zwei Fliegen auf einen Schlag getroffen:

1. der günstige Zuschnitt und
2. haben wir die geringe Eigensteifigkeit (E-Modul) dank diesem „umbiegen“ sauber ausgetrickst.

Wollen wir die Befestigung auch günstig lösen, bohren wir 2 Löcher durch das fertige Bauteil und stecken 2 Schrauben durch. Schöne Schrauben darf man sehen!

Wenn wir die Formpartie im Bereich der Befestigung der Befestigungsaufnahme anpassen ist der Mehraufwand gering und wir können dafür auf der anderen Seite

ohne zusätzlich geformtes Teil auskommen und so auf der ganzen Konstruktion Geld einsparen.

*Bild 6.07*

### **Parabolspiegel im Handlaminat**

Wichtig ist hier auch wieder der Anzug = Ausformwinkel und natürlich die Radien. Kunststoffteile sollten nach Möglichkeit nie scharfkantig ausgeführt werden. Wie gross die Radien sein sollen, wird bei den entsprechenden Verfahrenstechniken (Kapitel 7 bis 15) behandelt.

Ein nicht zu unterschätzender Aspekt ist die Kraffteinleitung bei den Befestigungspunkten. Es nützt uns nichts, wenn wir 2 M 8 Schrauben verwenden und das GFK Teil ist nur 3 mm dick. Beim ersten Sturm fliegt der Spiegel weg. Wenn wir aber das Teil in diesem Bereich dicker machen und/oder beidseitig mit grossen Unterlagscheiben arbeiten ist das Problem bereits gelöst.

Dieser Spiegel hat durch seine Formgebung und den „umgebogenen“ Rand schon eine grosse Eigensteifigkeit. Sollte sie aber nicht genügen, können wir zusätzlich noch Rippen einbauen. Es nützt aber nichts wenn wir nur nachträglich Streifen stehend „aufkitten“, sie müssen schon kraffteinleitend mit dem Bauteil verbunden sein.

### **RIM RTM Nasspressen**

Eine weitere Möglichkeit diesen Spiegel noch stabiler herzustellen wäre eine Sandwichbauweise. Dazu benötigen wir eine Gegenform und um diese auch amortisieren zu können, grössere Stückzahlen. Sandwichbauweise heisst, aussen je eine Schicht aus z.B. GFK und dazwischen ein Schaumkern. Unser Spiegel ist von der Formgebung her natürlich denkbar schlecht geeignet, da sich Schaumplatten nur bedingt biegen lassen. Des Weiteren ist noch darauf zu achten, dass die Wandstärke möglichst überall gleich dick ist, denn der Schaumkern muss zuerst zugeschnitten werden und wenn hier schon

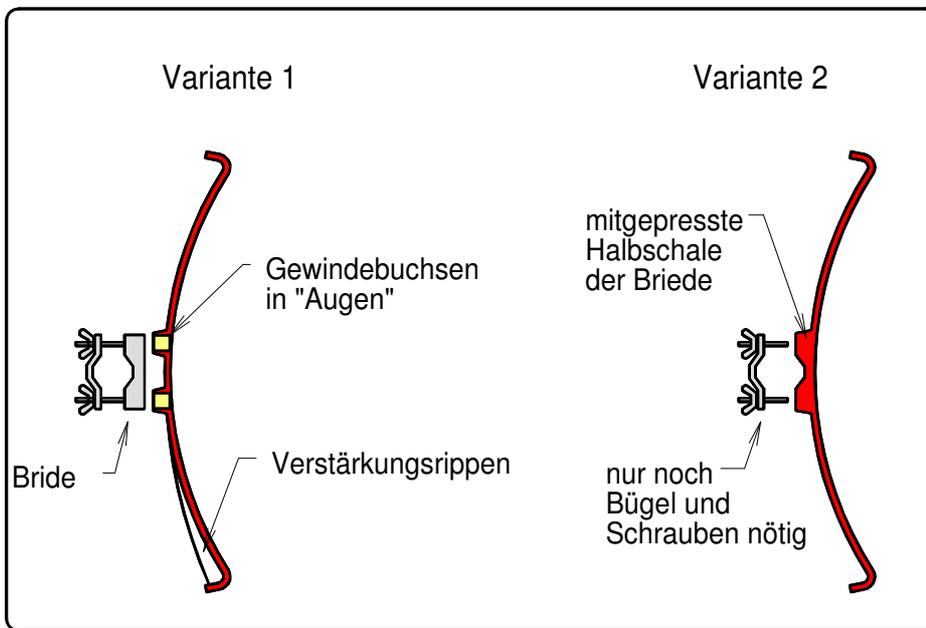


Bild 6.09

### Parabolspiegel, SMC

2 mögliche Ausführungsarten.

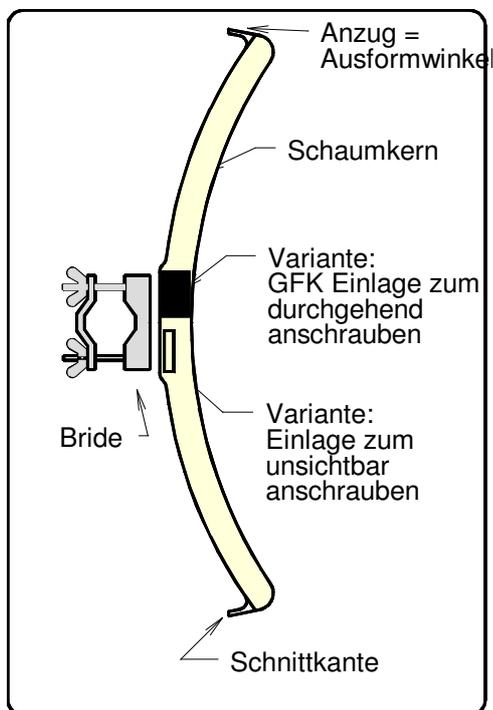


Bild 6.08

### Parabolspiegel, Sandwichkonstruktion

*sehr aufwendige und teure Ausführung, für dieses Teil nicht zu empfehlen.*

wegen ungleicher Dicken viel Aufwand getrieben werden muss wird das fertige Teil immer teurer.

Dafür können hier Einlagen eingebracht werden damit das Teil „unsichtbar“ befestigt werden kann.

Alles in allem eine sehr aufwendige und teure Ausführung, für dieses Teil nicht zu empfehlen.

## SMC Pressen

Wenn die Stückzahl gross genug ist, wäre dieses Teil sehr geeignet zum Heisspressen in SMC. Hier haben wir viel mehr Möglichkeiten, um z.B. Verstärkungsrippen etc. mit zupressen. Wir können bei den Befestigungspunkten „Augen“ aufsetzen mit eingelegten Gewindebuchsen. So kann man die Brücke direkt anschrauben und auf der Gegenseite haben wir keine Vertiefungen. Es ist aber zu beachten dass sich alle Augen, Verstärkungsrippen etc. auf der Gegenseite mehr oder weniger abzeichnen. Durch die richtige Ausführung und geeignete Materialwahl kann es minimiert werden, aber nicht ganz eliminiert. Ist die Formoberfläche leicht strukturiert, verschwindet die Abzeichnung für das Auge meistens.

Des Weiteren brauchen SMC Teile meistens keine mech. Nachbearbeitung. Durchbrüche, Löcher etc. werden direkt mitgeformt.

## Preisvergleich

Stellen wir hier einmal 2 Verfahren gegeneinander. Handlaminat und SMC. Das Sandwichteil dürfen wir hier nicht einbeziehen, da es sich um ein ganz anderes Teil handelt. Äpfel und Birnen darf man nicht miteinander vergleichen.

### Ausführung Handlaminat

Stückpreis	CHF	130.--
Formkosten	CHF	2 000.--

### Ausführung SMC

Stückpreis	CHF	15.--
Formkosten	CHF	20 000.--

Das sind natürlich nur rudimentäre Zahlen. Sie zeigen aber auf, dass ab einer Stückzahl von 157 das SMC Verfahren günstiger ist. Bitte nachrechnen!

Diese Rechnung hängt natürlich von verschiedenen Faktoren ab wie Grösse des Teiles, Formgebung, evtl. nötiger mech. Nachbearbeitung, Toleranzen usw.

## Toleranzen

Die Toleranzen sind sehr verfahrensabhängig. Die grössten finden wir beim Faserspritze, sie bewegen sich  $\mu$  einige Millimeter, die kleinsten bei den maschinellen Verfahren wie SMC, NEONIT und REMEL. Da sind Abweichungen im 1/10 mm Bereich problemlos möglich.

## Schwund

Alle Kunststoffteile weisen einen Materialschwund auf. Bei Duroplasten treten nach der kompletten Aushärtung aber keine Nachschwindungen auf.

## Verzug

Duroplastteile können sich aber immer verziehen. Deshalb ist unbedingt auf die richtige Lagerung zu achten, u.U. mit entsprechenden Ausspannlehren.

## Weitere allgemeine Grundsätze und Zusammenfassung

Wir haben bis jetzt gesehen auf was wir achten müssen:

- Ausformwinkel
- keine Hinterschnitte
- saubere Lösungen für die Befestigung
- Randausbildung, für günstigen Zuschnitt und zusätzliche Versteifung
- Radien
- Verzug und Schwund
- bei Sandwichkonstruktionen auf gleichmässige Dicke

Weiter kommt noch unter anderem dazu:

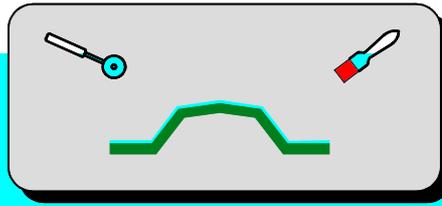
Die Flächen müssen immer etwas gewölbt sein, sonst fallen sie ein. Die Qualität von Harz und Verstärkungsfasern beeinflusst das Teil. Toleranzen sind unbedingt den Anforderungen anzupassen, je kleiner die Toleranz umso teurer das Teil.

### Die Stückzahl und die Toleranzen bestimmen die Verfahrenstechnik.

Das war ein kurzer Überblick. Mehr sehen sie in den nächsten Kapiteln. Ich hoffe aber, dass Sie nach dieser kurzen Einführung erkennen, wie man mit der richtigen Konstruktion und Verfahrenswahl kostengünstig produzieren kann. Aber ebenso wichtig ist das Gespräch vor Konstruktionsbeginn mit dem Hersteller. Es macht wenig Sinn komplizierte Gebilde bei verschiedenen Herstellern anzufragen, den Preis zu drücken und beim billigsten zu bestellen. Das Sparpotential liegt höher wenn sie mit einem Hersteller zusammen die Konstruktion erarbeiten und dann aber auch dort bestellen. Voraussetzung ist natürlich die fachliche Kompetenz des Produzenten. Kommen Sie zu Wernli AG: 35 Jahre Erfahrung hinterlassen ihre Spuren in Schienen- und Strassenfahrzeugen, in der Elektro-, Maschinen- und Textilindustrie usw.

**Um ein ausgereiftes Produkt herstellen zu können benötigt es von allen Mitwirkenden ein breites Fachwissen und eine umfangreiche Erfahrung.**

# Handlaminat



Handlaminat ist das älteste Verfahren in der Herstellung von Glasfaserverstärkten Kunststoffen. Es ist eine reine handwerkliche Anwendung und daher sehr stark von der Person abhängig. Mit Ausnahme der mechanischen Nachbearbeitung ist das Prinzip immer noch dasselbe wie in den 50iger Jahre, was aber nicht heisst dass es schlecht ist.

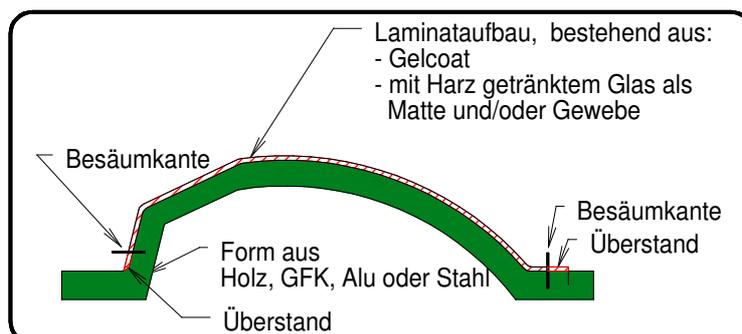
## Grundprinzip

Für die Herstellung eines Teiles im Handlaminat braucht es nur eine Form. Für kleine Stückzahlen kann die aus Holz sein, ab ca. 30 Stück werden Kunststoff-Formen eingesetzt; Lebensdauer je nach Anwendung 200 bis 500 Stück. Auch aus Alu oder Stahl werden Formen gebaut mit einer Lebensdauer von einigen 1000 Teilen.

Auf diese Form wird eine 0.4 bis 0.6 mm dicke Reinharzschicht - die sogenannte Gelcoat - mit Pinsel oder Spritzanlage aufgebracht. Anschliessend werden Glasmatten, Gewebe aus Glas, Carbon oder Kevlar, Schicht um Schicht aufgetragen, mit Harz durchtränkt und die eingeschlossenen Luftblasen sauber ausgerollt. Diesen Vorgang nennt man Laminieren. Die Gelcoat sowie die einzelnen Lagen muss man zwischendurch antrocknen lassen. In den meisten Fällen geschieht das bei Raumtemperaturen auf ungeheizten Formen. Das bedingt anschliessend eine lange Aushärtezeit und im Normalfall geschieht das „über Nacht“.

Im Handlaminatverfahren können sehr grosse und komplizierte Teile hergestellt werden, denken wir zum Beispiel an Schiffsrümpfe von Hochseejachten.

Die Form braucht immer ca. 20 mm Überstand. Diese Mehrlänge wird am fertigen Teil abgeschnitten, damit wir ein schönes homogenes Laminat bis zum Rand haben. Würde man das nicht machen, wären die Randpartien viel zu unregelmässig und für Qualitätsteile nicht zu gebrauchen.



*Bild 7.01*

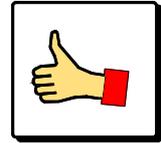
*Prinzipschema  
Handlaminat*

## Zyklus

Auf ungeheizten Formen kann pro Tag ein Teil hergestellt werden. Durch andere Harzeinstellung könnte der Zyklus verkürzt werden, doch die Qualität des Teiles leidet massiv.

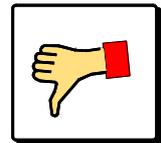
## Vorteile

Geringe Formkosten, kurze Formbeschaffungszeit. Dadurch schnell ein Teil realisierbar. Die „unmöglichsten“ Formen sind möglich, qualitativ sehr hochstehende Teile können realisiert werden, günstiges Einbringen von Einlagen, Formänderungskosten tief.



## Nachteile

Nur eine Seite Formglatt, Dickentoleranzen im Normalfall 1mm oder grösser. Relativ hoher Stückpreis, da mit viel Handarbeit verbunden.



## Anwendungsgebiete

Sehr vielfältig. Je nach Grösse des Teiles ist eine Fertigung im Handlaminat bis einige 100 Stück im Jahr sinnvoll. Handlaminatteile werden eingesetzt als Verschalungen, Gehäuse, Komponententräger usw. in der Maschinen- und Elektroindustrie, in Fahrzeugen, Flugzeugen etc.



*Bild 7.02*

*Karosserie zu  
Komunalfahrzeug.*

*Hergestellt im Hand-  
laminat, mechanisch  
nachbearbeitet auf  
5 Achs CNC Center*

Vielfach werden auch Prototypen im Handlaminat hergestellt, ausgetestet, geändert und wenn die def. Form gefunden ist z.B. in SMC gepresst.

## Farbe

Praktisch jede Farbe möglich, auch für Einzelteile. Gelbtöne sind schlecht deckend und daher nur bedingt einsetzbar.

## Qualität

Die Qualität ist einerseits abhängig von den verwendeten Materialien wie Harz und Fasern. Es gibt viele verschiedene Polyester- und Epoxydharzqualitäten. Das entsprechende Harz und die Verstärkungsfasern müssen immer den Anforderungen entsprechend ausgewählt werden.

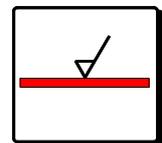


Kaltgehärtete Epoxydharze müssen, damit sie ihre Qualität erreichen, immer nachgetempert (erwärmt) werden.

Andererseits hängt die Qualität von der Person ab (Handwerkliches Verfahren).

## Oberflächen

Formseite sauber und glatt. Je besser die Oberflächenbeschaffenheit der Form ist, umso schöner ist das Teil.

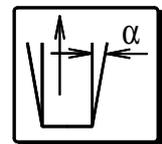


Rückseite ist roh. Mit Oberflächenvliesen und Deckanstrich kann die Oberfläche verschönert werden. Bei sehr vielen Anwendungen (Maschinenverschaltungen etc.) sieht man die Rückseite nie.

Gerade ebene Flächen sollen vermieden werden, da sie „einfallen“. Wenn die Fläche etwas nach aussen gewölbt wird, „steht“ sie und für das Auge scheint die Fläche eben.

## Ausformwinkel (Anzug)

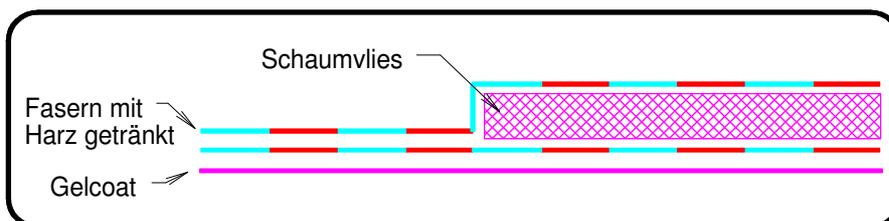
Je besser die Formoberfläche ist desto kleiner kann der Ausformwinkel sein. Unter  $1^\circ$  sollte aber nicht gegangen werden. Nach Möglichkeit sollten  $2^\circ$  und grösser angestrebt werden.



## Laminataufbau

Im Handlaminat ist sehr viel möglich und soll deshalb immer den Anforderungen entsprechend angepasst werden. Für grossflächige Teile hat sich ein Sandwichaufbau mit Schaumvlies sehr bewährt. Bei geringerem Gewicht erhält man ein steiferes Teil. Die Zugfestigkeit wird zwar kleiner, aber ist in den meisten Fällen immer noch mehr als genügend.

Der Laminataufbau muss nicht über das ganze Teil gleich sein.



*Bild 7.03*

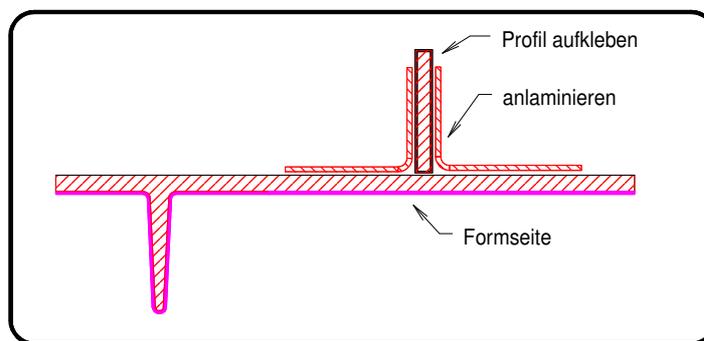
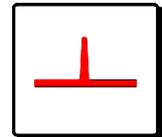
*Laminataufbau*

## Randausführungen

Im Nassverfahren hergestellte GFK Teile müssen bei den Randpartien immer um den Überstand grösser fabriziert werden. Nach dem Ausformen wird dieses „Übermass“ nachgeschnitten, siehe „Mechanische Nachbearbeitung“.

## Verstärkungsrippen

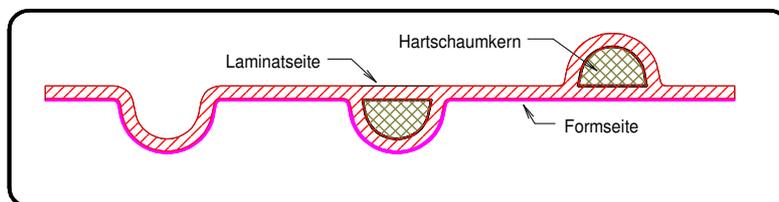
Verstärkungsrippen können sowohl auf der Formseite wie auf der Rückseite aufgebracht werden. Hier hilft die richtige Konstruktion, Geld zu sparen.



*Bild 7.04*

*Verstärkungsrippen  
Schlechte Lösungen,  
teuer*

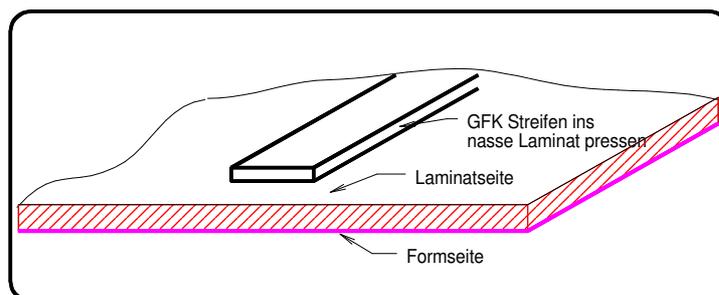
Bitte beachten: Rippen zeichnen sich an der Rückseite immer ab.



*Bild 7.05*

*Verstärkungsrippen  
Gute Lösungen*

Eine weitere Möglichkeit zur Verstärkung bei geraden Teilen ist das Einlaminieren von GFK Streifen auf die letzte Lage. Auf lange Verstärkungsteile aus anderen Materialien wie GFK sollte, wenigstens bei Aussenanwendungen, verzichtet werden, weil der Ausdehnungskoeffizient verschieden ist.

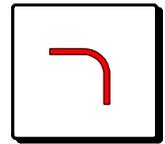


*Bild 7.06*

*GFK Streifen in das  
nasse Laminat pressen*

## Radien

Radien sollten immer möglichst gross gewählt werden, unter 10 mm sind sie teuer in der Herstellung. Idealmass: 30 bis 100 mm.

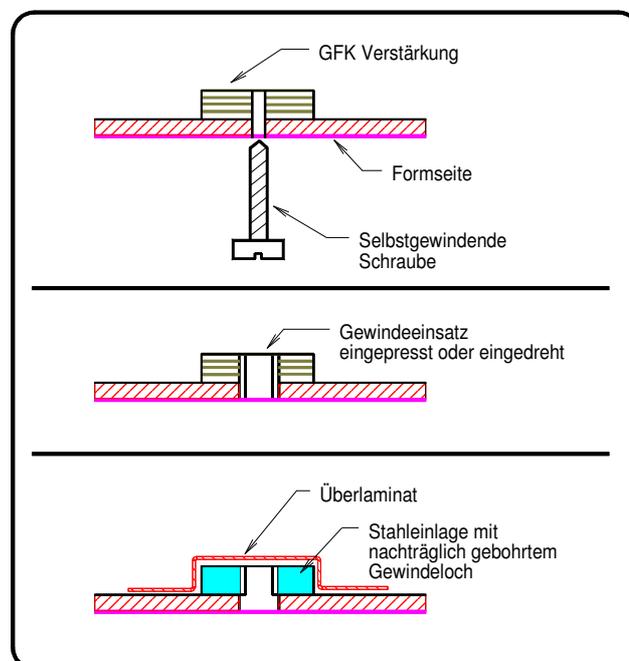
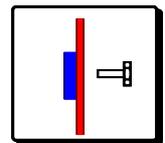


## Wandstärken

Die Wandstärke muss nicht überall gleich sein. So können z.B. Flanschpartien dicker ausgeführt werden als die Flächen.

## Einlagen, Krafteinleitung

An den Befestigungspunkten wird eine Kraft eingeleitet. Hauptsächlich bei dynamischer Belastung muss diesem Punkt grosse Beachtung geschenkt werden. Manchmal reicht eine grosse Unterlagscheibe bereits aus. Bewährt haben sich einlamierte GFK Platten. Hier hat man mit speziellen Schrauben (selbstschneidend) sehr gute Ergebnisse erzielt. Wenn die Schraubverbindung aber viel gelöst werden muss, empfiehlt es sich, einen Gewindeeinsatz einzusetzen. Eine weitere Variante ist das Einlaminieren einer Stahlplatte in die anschliessend ein Gewindeloch gebohrt wird; ist aber teurer, da das Bohren und Gewindeschneiden mit mehr Aufwand verbunden ist.



*Bild 7.07*

*Schraub-  
verbindungen*

*Abzeichnungen auf  
der Gegenseite*

## Hinterschnitte / Formentrennung

Manchmal ist es unumgänglich, dass das Teil einen Hinterschnitt aufweist. In diesem Fall muss die Form trennbar ausgeführt werden. Hier muss man aber beachten, dass diese Formentrennung im fertigen Teil sichtbar ist. Bei Holz- und Kunststoff-Formen wird die Trennfuge mit jedem Teil das gefertigt wird etwas grösser. Sichtteile müssen daher meistens noch lackiert werden.

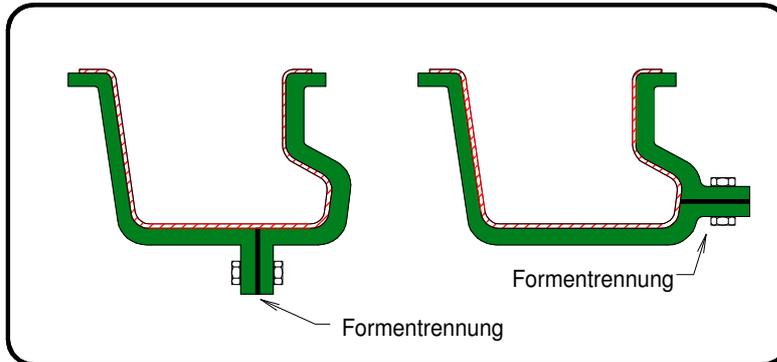
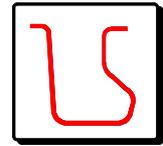
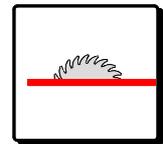


Bild 7.08

Formentrennung bei Hinterschnitten

## Mechanische Nachbearbeitung

Da beim Laminieren nicht bis zum Rand eine gleichmässige Qualität gewährleistet werden kann, müssen Handlaminatteile immer mech. nachbearbeitet werden. Das geschieht mit Hartmetall und Diamantwerkzeugen. Die Nachbearbeitung geschieht entweder auf konventionellen Fräsen, Drehbänken und Bohrmaschinen. Das absolut genaueste - auch aus der QS-Sicht das sicherste - ist die Nachbearbeitung auf CNC Maschinen. Da viele Formteile sehr komplizierte Gebilde sind, empfiehlt sich der Einsatz von 5-Achs Maschinen (X, Y, Z, A, B). Mit Hilfe dieser Maschinen kann ein handwerklich hergestelltes Teil so nachbearbeitet werden, dass es auf jeder Montagestrasse ohne Anpassarbeiten eingebaut werden kann.



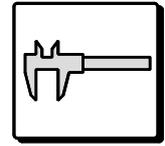
Früher wurden Handlaminatteile kurz vor dem Aushärten mit dem Messer zugeschnitten. Diese Pfahlbauermethode sollte man nicht mehr anwenden, denn erstens ist das fertige Teil ungenau und zweitens zerstört man beim Schneiden das Laminat, was Qualitätseinbussen zur Folge hat. Ebenfalls leiden die Formen an den Aussenkonturen. (Zerstörung der Kanten durch das Messer))

## Löcher und Durchbrüche

Können problemlos angebracht werden. Bei tragenden Teilen ist der Statik Beachtung zu schenken. Bei Teilen, welche auf dem Bau eingesetzt werden, ist es der grossen Bauleranz wegen sinnvoll die Löcher erst bei der Montage zu bohren. Für Löcher bis ca. 15 mm Durchmesser eignen sich normale HSS Bohrer, grössere bohrt man mit Vorteil mit Hartmetall-Astlochbohrer. Sehr bewährt, hauptsächlich auf Montage, haben sich Kronenbohrer.

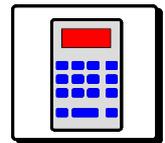
## Toleranzen

Dickentoleranzen liegen im Normalfall bei ca.  $\pm 1$  mm. Bei dicken und komplizierten Teilen kann das noch grösser werden. Meist kann dem abgeholfen werden, indem man Pass-Stellen nachfräst. Geschieht das auf CNC Maschinen, liegen die Toleranzen im Zehntelmillimeterbereich.

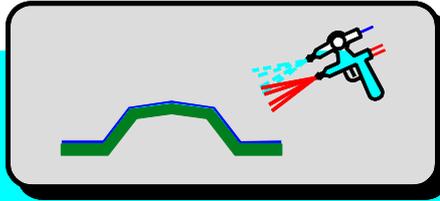


## Wirtschaftlichkeit

Für grosse Teile ist es wirtschaftlich einige 100 Stück im Jahr in Handlaminattechnik herzustellen. Bei kleinen, meist noch mit hohen Anforderungen versehenen, liegt die Grenze u.U. schon bei 100 Stück total.



# Faserspritzen



Faserspritzen ist eine Weiterentwicklung des Handlaminates. Hier ist die Anforderung an den Verarbeiter noch höher und die Styrolemmissionen sind nochmals höher. Infolge der grossen Dickentoleranzen kann dieses Verfahren für technische Teile nicht angewendet werden.

## Grundprinzip

Für die Herstellung eines Teiles im Faserspritzverfahren braucht es auch nur eine Form, aus GFK, Alu oder Stahl.

Auf diese Form wird eine 0.4 bis 0.6 mm dicke Reinharzschicht, die sogenannte Gelcoat, aufgespritzt und antrocknen lassen. Anschliessend wird mit einer Spritzanlage Harz aufgespritzt. Auf der Mischpistole (das Harz wird beim Spritzen automatisch mit Härter versehen) sitzt ein Cutter, der Glasroving in Fasern von je nach Anwendung 20 bis 60 mm Länge abschneidet und zusammen mit dem Harz auf die Form aufbringt. Auch hier muss die Luft wieder sauber ausgerollt werden. Ein sehr gewissenhaftes Arbeiten ist hier nötig, wird doch die Schichtdicke nur mit dem Gefühl bestimmt.

In den meisten Fällen geschieht das bei Raumtemperaturen auf geheizten Formen. So können pro Tag mehrere Teile pro Form hergestellt werden

Dieses Verfahren eignet sich nur für technisch wenig beanspruchte Teile. Die Wandstärke darf hier keine grosse Rolle spielen.

Die Form braucht auch immer ca. 20 mm Überstand. Diese Mehrlänge wird am fertigen Teil abgeschnitten damit wir ein schönes homogenes Laminat bis zum Rand haben. Ohne Besäumung wären die Randpartien viel zu unregelmässig und für Qualitätsteile nicht zu gebrauchen.

*(Siehe Bild 7.01)*

## Zyklus

Mit geheizten Formen oder durch das Aufheizen derselben im Ofen können 4 bis 10 Stück pro Tag und Form hergestellt werden. Die Qualität des Teiles leidet aber massiv je kürzer der Zyklus ist.

## Vorteile

Geringe Formkosten (wenn die Formen ungeheizt sind), kurze Zeit bis zum ersten Teil. Stückpreis tiefer als Handlaminat.



## Nachteile

Nur eine Seite Formglatt, Dickentoleranzen im Normalfall 2 bis 4mm. Qualitativ schlechter als Handlaminat, aber für viele Anwendungen genügend. Verarbeitung infolge Herabsetzung des MAK-Wertes immer problematischer.



## Anwendungsgebiete

Ölauffangwannen, Schwimmbassin.

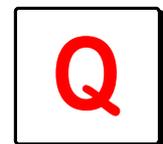
## Farbe

Praktisch jede Farbe möglich. Gelbtöne sind schlecht deckend und daher nur bedingt einsetzbar.

## Qualität

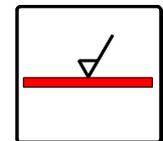
Die Qualität ist einerseits abhängig von den verwendeten Materialien wie Harz und Fasern. Nur mit Polyesterharz möglich.

Andererseits hängt die Qualität sehr viel vom Mensch ab. (Handwerkliches Verfahren). Maschinen bedingte Fehler sind keine Seltenheit.



## Oberflächen

Formseite sauber und glatt. Je besser die Oberflächenbeschaffenheit der Form ist umso schöner ist das Teil. Die Rückseite ist roh, mit Oberflächenvlies und Deckanstrich kann die Oberfläche „verschönert“ werden. Bei sehr vielen Anwendungen (Schwimmbassin im Boden etc.) sieht man die Rückseite nie.

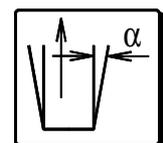


Gerade, ebene Flächen sollen vermieden werden da sie „einfallen“. Wenn die Fläche etwas nach aussen gewölbt wird „steht“ sie und für das Auge scheint die Fläche eben.

Wenn mehrere Teile pro Tag hergestellt werden, kommt es zu Einfallstellen und Verzug.

## Ausformwinkel (Anzug)

Je besser die Formoberfläche ist desto kleiner kann der Ausformwinkel sein. Unter 2° sollte aber nicht gegangen werden. Bei grossen Teilen (Schwimmbassin) sollten 3 bis 4° angestrebt werden.



## Laminataufbau

Im Normalfall werden im Faserspritzverfahren nur die über den Cutter geschnittenen Fasern zusammen mit dem Harz verwendet. Zusätzliche Gewebeverstärkungen sind nicht sinnvoll weil das den Preis wesentlich erhöht und doch nicht die gewünschte Qualität bringt.

## Randausführungen

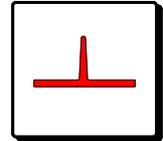
Im Nassverfahren hergestellte GFK Teile müssen bei den Randpartien immer um den Überstand grösser fabriziert werden. Nach dem Ausformen wird dieses „Übermass“ nachgeschnitten, siehe „Mechanische Nachbearbeitung“

## Verstärkungsrippen

Verstärkungsrippen können sowohl auf der Formseite wie auf der Rückseite aufgebracht werden. Hier hilft die richtige Konstruktion Geld sparen

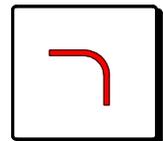
Bitte beachten: Rippen zeichnen sich an der Rückseite immer ab. *(siehe Bilder 7.04 und 7.05)*

Eine weitere Möglichkeit zur Verstärkung bei geraden Teilen ist das Einlaminieren von GFK Streifen auf die letzte Lage. Auf lange Verstärkungsteile aus anderen Materialien wie GFK sollte, wenigstens bei Aussenanwendungen, verzichtet werden, weil der Ausdehnungskoeffizient verschieden ist. *(siehe Bild 7.06)*



## Radien

Radien sollten möglichst gross gewählt werden, ideal 30 bis 100 mm.

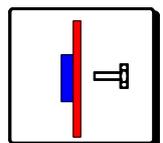


## Wandstärken

Die Wandstärke muss nicht überall gleich sein. So können z.B. Flanschpartien dicker ausgeführt werden als die Flächen. Der Übergang von „dickem“ Laminat zum „dünnen“ ist undefiniert.

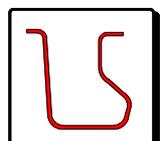
## Einlagen, Krafteinleitung

An den Befestigungspunkten wird eine Kraft eingeleitet. Hauptsächlich bei dynamischer Belastung muss diesem Punkt grosse Beachtung geschenkt werden. Manchmal reicht eine grosse Unterlagsscheibe bereits aus. Bewährt haben sich einlamierte GFK Platten. Hier hat man mit speziellen Schrauben (selbstschneidend) sehr gute Ergebnisse erzielt. Wenn die Schraubverbindung aber viel gelöst werden muss, empfiehlt es sich einen Gewindeeinsatz einzusetzen. Eine weitere Variante ist das Einlaminieren einer Stahlplatte in die anschliessend ein Gewindeloch gebohrt wird, ist aber teurer, da das Bohren und Gewindeschneiden mit mehr Aufwand verbunden ist. *(siehe Bild 7.07)*



## Hinterschnitte / Formentrennung

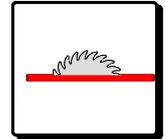
Manchmal ist es unumgänglich, dass das Teil einen Hinterschnitt aufweist. In diesem Fall muss die Form trennbar ausgeführt werden. Hier muss man aber beachten, dass diese Formentrennung im



fertigen Teil sichtbar ist. Bei Kunststoff-Formen wird die Trennfuge mit jedem Stück das gefertigt wird etwas grösser. Sichtteile müssen daher meistens noch lackiert werden. (siehe Bild 7.08)

## Mechanische Nachbearbeitung

Da beim Laminieren nicht bis zum Rand eine gleichmässige Qualität gewährleistet werden kann müssen Handlaminatteile immer mech. nachbearbeitet werden. Das geschieht mit Hartmetall und Diamantwerkzeugen. Die Nachbearbeitung geschieht entweder auf konventionellen Fräsen, Drehbänken und Bohrmaschinen. Das absolut genaueste und auch aus der QS - Sicht das sicherste ist die Nachbearbeitung auf CNC Maschinen. Da viele Formteile sehr komplizierte Gebilde sind, empfiehlt sich der Einsatz von 5-Achs Maschinen (X, Y, Z, A, B). Mit Hilfe dieser Maschinen kann ein handwerklich hergestelltes Teil so nachbearbeitet werden, dass es auf jeder Montagestrasse ohne Anpassarbeiten eingebaut werden kann.



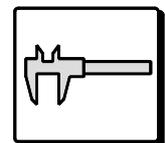
Früher wurden Faserspritzteile kurz vor dem Aushärten mit dem Messer zugeschnitten. Diese „Pfahlbauermethode“ sollte man nicht mehr anwenden den erstens ist das fertige Teil ungenau und zweitens zerstört man beim Schneiden das Laminat was Qualitätseinbussen zur Folge hat.

## Löcher und Durchbrüche

Können problemlos angebracht werden. Bei tragenden Teilen ist der Statik Beachtung zu schenken. Bei Teilen die auf dem Bau eingesetzt werden ist es der grossen Bautoleranz wegen sinnvoll die Löcher erst bei der Montage zu bohren. Für Löcher bis ca. 15 mm Durchmesser eignen sich normale HSS Bohrer, grössere bohrt man mit Vorteil mit Hartmetall - Astlochbohrer. Sehr bewährt, hauptsächlich auf Montage, haben sich Kronenbohrer.

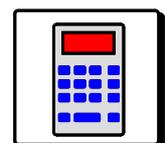
## Toleranzen

Dickentoleranzen liegen im Normalfall bei ca. 2 bis 4 mm. Faserspritzteile sollten nur dort eingesetzt werden wo die Laminatdicke keine Rolle spielt.

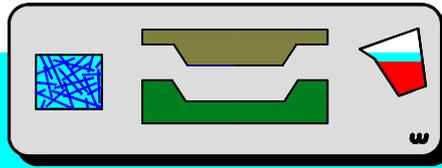


## Wirtschaftlichkeit

Für grosse, keinen hohen Anforderungen irgendwelcher Art gestellten Teile, ist es wirtschaftlich das Faserspritzverfahren zu wählen. Durch die immer grösseren Anforderungen seitens Umweltschutz und MAK-Werte, wird es in der Schweiz aber bald nicht mehr einsetzbar sein.



# Nasspressen



Wie der Name sagt, wird hier das Material gepresst. Bedingung dazu sind entsprechende Pressen und Formen. Dafür erhalten wir ein Teil das beidseitig glatte Oberflächen aufweist.

## Grundprinzip

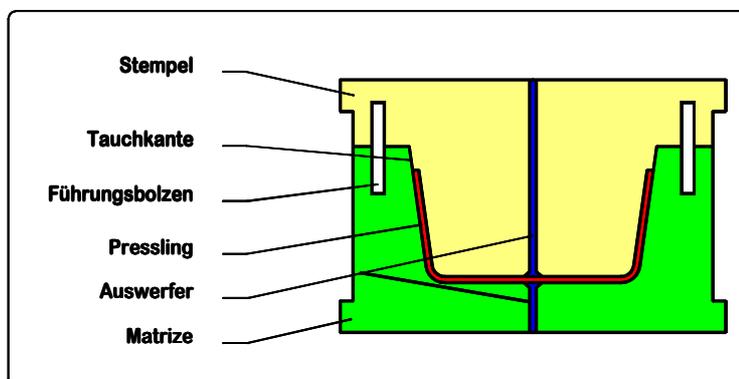
Wir benötigen 2 Formen, Stempel und Matrize. Sie sollten aus Aluminium oder Stahl sein, bedingt eignen sich für Serien bis einige 100 Stück auch Kunststoff-Formen, die aber massiv verstärkt werden müssen.

Im Normalfall werden Nasspressteile ohne Gelcoat hergestellt. Vliese verbessern die Oberfläche.

In die Matrize werden Vliese und Verstärkungsfasern, die ab Rollen zugeschnitten wurden, eingelegt. Sehr bewährt haben sich sogenannte Glasvorformlinge. Das bedingt aber wieder eine zusätzliche Form und einen zusätzlichen Arbeitsgang mit einer entsprechenden Vorrichtung. Auf dieses Faserpaket wird eine genau abgewogene Menge Harz eingebracht und die Form geschlossen. Wenn die Form geheizt ist, kann nach 10 bis 60 Minuten entformt werden (je nach Grösse und Komplexität des Teiles). Damit sich das Teil beim Abkaltvorgang nicht verziehen kann, muss es unbedingt auf eine Abkaltlehre aufgespannt werden.

Auch Nasspressteile müssen in den meisten Fällen noch mech. nachbearbeitet werden.

Die max. Teilegrösse ist abhängig von der zur Verfügung stehenden Presse.



*Bild 9.01  
Prinzipschema  
Nasspressform*

## Zyklus

Mit geheizten Formen pro Schicht bis gegen 50 Stück.

## Vorteile

Beidseitig glatte Oberflächen, kleinere Dickentoleranzen. Schnell mehrere Teile herstellbar.

Günstiger Stückpreis.



## Nachteile

Höhere Formkosten, in der Formgebung stark eingeschränkt, längere Formbeschaffungszeit.



## Anwendungsgebiete

Nasspressteile werden eingesetzt als Verschalungen, Gehäuse, Komponententräger usw. in der Maschinen- und Elektroindustrie, Bottiche für Landwirtschaft etc..



*Bild 9.02*

*Isolatoren /  
Elektroindustrie*

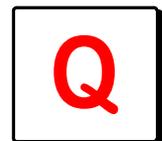
*Nasspresstechnik*

## Farbe

Praktisch jede Farbe möglich.

## Qualität

Die Qualität ist hauptsächlich abhängig von den verwendeten Materialien wie Harz und Fasern. Es gibt viele verschiedene Polyester- und Epoxydharzqualitäten. Das entsprechende Harz und die Verstärkungsfasern müssen immer den Anforderungen entsprechend ausgewählt werden.



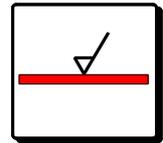
Kaltgehärtete Epoxydharze müssen, damit sie ihre Qualität erreichen, immer nachgetempert (erwärmt) werden.

## Oberflächen

Beide Seiten sauber und glatt. Je besser die Oberflächenbeschaffenheit der Form ist, umso schöner ist das Teil.

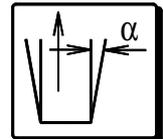
Da im Normalfall keine Gelcoat verwendet wird, ist die Faserstruktur immer sichtbar.

Gerade, ebene Flächen sollen vermieden werden, da sie „einfallen“. Wenn die Fläche etwas nach aussen gewölbt wird „steht“ sie und für das Auge scheint die Fläche eben.



## Ausformwinkel (Anzug)

Je besser die Formoberfläche ist, desto kleiner kann der Ausformwinkel sein. Der Ausformwinkel ist sehr stark von der Höhe des Bauteils abhängig. 300 mm Bauteilhöhe erfordern einen Anzug von 3 bis 5°. Bei sauber hergestellten Formen können kleine Partien auch mit 1° gefertigt werden. *Siehe Bild 11.03*



## Laminataufbau

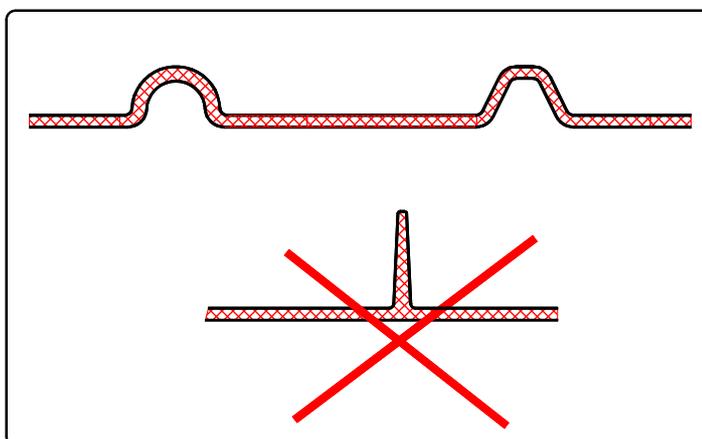
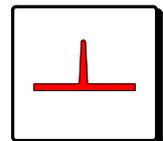
Der Laminataufbau sollte über das ganze Teil gleich sein, obwohl es möglich ist an bestimmten Stellen dicker oder dünner zu fahren

## Randausführungen

Im Nassverfahren hergestellte GFK Teile müssen bei den Randpartien immer um den Überstand grösser fabriziert werden. Nach dem Ausformen wird dieses „Übermass“ nachgeschnitten, siehe „Mechanische Nachbearbeitung“

## Verstärkungsrippen

Verstärkungsrippen können nur in Form von „Wellen“ oder als Sicken hergestellt werden.



*Bild 9.03*

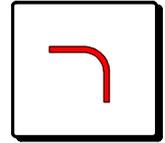
### **Verstärkungsrippen**

*Günstige Ausführungen*

*Ungünstig praktisch nicht herstellbar*

## Radien

Radien sollten immer möglichst gross gewählt werden. Im Nasspressen können Innenradien ab  $> 5\text{mm}$  problemlos realisiert werden.

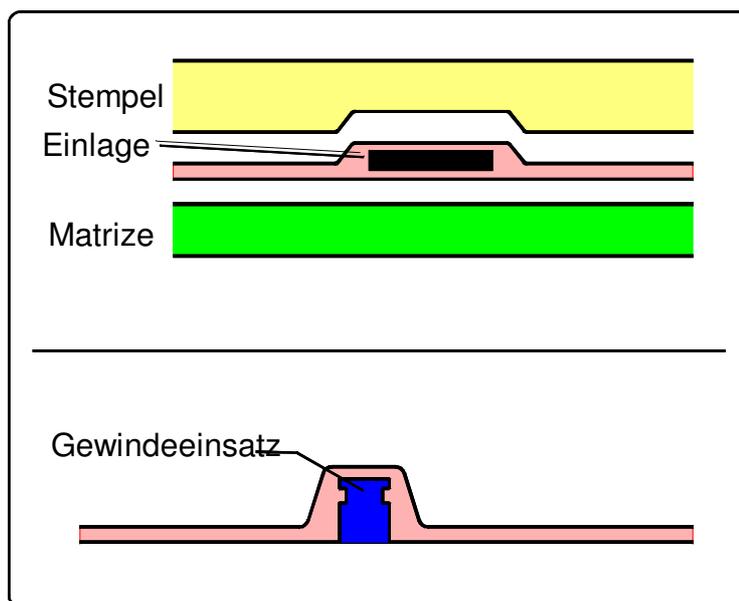
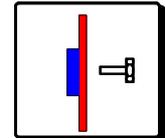


## Wandstärken

Die Wandstärke sollte nach Möglichkeit überall gleich sein. Bedingt sind Variationen möglich.

## Einlagen, Krafteinleitung

An den Befestigungspunkten wird eine Kraft eingeleitet. Hauptsächlich bei dynamischer Belastung muss diesem Punkt grosse Beachtung geschenkt werden. Manchmal reicht eine grosse Unterlagscheibe bereits aus. Die Befestigungspunkte sollten mengenmässig so gewählt werden, dass keine zusätzlichen Verstärkungen eingebracht werden müssen. Senkrecht zur Pressrichtung sind Einlagen möglich, von Vorteil sind solche aus GFK. Stahleinlagen sind bei der Nachbearbeitung wieder entsprechend teurer.



*Bild 9.04*

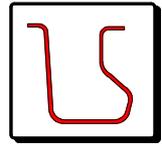
***Einlage aus Stahl, Alu oder GFK zum nachträglichen Gewindeschneiden.***

### **Gewindeeinsatz**

*Problematisch weil vielfach Harz in das Gewinde läuft*

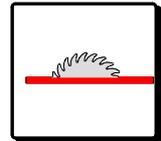
## Hinterschnitte / Formentrennung

Hinterschnitte sind im Nasspressen nicht möglich.



## Mechanische Nachbearbeitung

Meistens müssen Nasspressteile auch noch mit Hartmetall und Diamantwerkzeugen nachbearbeitet werden. Das geschieht entweder auf konventionellen Fräsen, Drehbänken und Bohrmaschinen oder auch auf CNC Maschinen. Da viele Formteile sehr komplizierte Gebilde sind, empfiehlt sich der Einsatz von 5-Achs Maschinen (X, Y, Z, A, B).

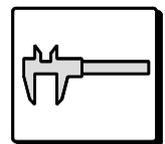


## Löcher und Durchbrüche

Können problemlos angebracht werden. Bei tragenden Teilen ist der Statik Beachtung zu schenken. Bei Teilen, die auf dem Bau eingesetzt werden, ist es der grossen Bautoleranz wegen sinnvoll die Löcher erst bei der Montage zu bohren. Für Löcher bis ca. 15mm Durchmesser eignen sich normale HSS Bohrer, grössere bohrt man mit Vorteil mit Hartmetall-Astlochbohrer. Sehr bewährt, hauptsächlich auf Montage, haben sich Kronenbohrer.

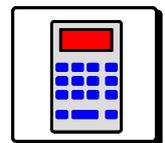
## Toleranzen

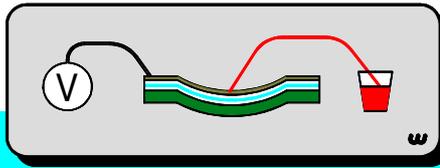
Dickentoleranzen liegen bei Stahl und Alu Formen im Normalfall bei ca. 0.5mm. Bei dicken und komplizierten Teilen kann das noch grösser werden. Kunststoffwerkzeuge ergeben die grösseren Toleranzen.



## Wirtschaftlichkeit

Nasspresstechnik deckt nur noch ein kleines Segment wirtschaftlich ab. Grosse Teile werden heute im RIM/RTM, kleine im SMC hergestellt.





## RTM

### (Resin Transfer Moulding, Vacuumverfahren)

Das RTM-Verfahren mit Folie eignet sich nur für flächige Teile mit grossen Radien und nur geringer 3-dimensionaler Verformung

### Grundprinzip

Für die Herstellung eines Teiles in RIM braucht es nur eine Form. Normalerweise werden Kunststoff-Formen eingesetzt. Als „Gegenform“ verwendet man eine Folie. Die besteht aus einer nur einmal zu verwendenden dünnen Folie aus styrolbeständigem Thermoplast. Es kann auch ein dickeres, mehrmals einsetzbares „Vacuumgummituch“ eingesetzt werden.

Diese Folie wird mit einem Spannrahmen auf die feste Form aufgespannt. Da sich diese Folie nach dem Evakuieren wie ein Sack auf die Form legt, nannte man das früher auch das „Vacuumsack - Verfahren“.

Auf die Form wird eine 0.4 bis 0.6 mm dicke Reinharzschicht, die sogenannte Gelcoat, mit Pinsel oder Spritzanlage aufgebracht. Nach dem Trocknen werden Glasmatten, Gewebe aus Glas, Carbon oder Kevlar Schicht um Schicht trocken aufgelegt. Anschliessend wird die Folie aufgelegt und mit dem Spannrahmen gespannt. In der Mitte der Form sitzt der Anschluss für das Harz, am Rand ein oder mehrere Anschlüsse für das Vacuum. Der Harzanschluss wird mittels eines Schlauchs mit dem Harz, dem vorher Härter beigegeben wurde, verbunden. Die Vacuumanschlüsse werden über einen Zwischentank an der Vakuumpumpe angeschlossen. Durch das Absaugen der Luft wird automatisch das Harz eingezogen. Ist das Bauteil überall voll mit Harz, muss der Harz-Zufluss abgeklemmt werden, die Vakuumpumpe läuft aber weiter bis das Teil ausgehärtet ist. Bei ungeheizten Formen und Raumtemperatur geschieht das „über Nacht“.

Die Form braucht immer ca. 50 mm Überstand. Diese Mehrlänge wird am fertigen Teil abgeschnitten, damit wir ein schönes homogenes Laminat bis zum Rand haben. Ohne diesen Überstand wären die Randpartien viel zu unregelmässig und für Qualitätsteile nicht verwendbar.

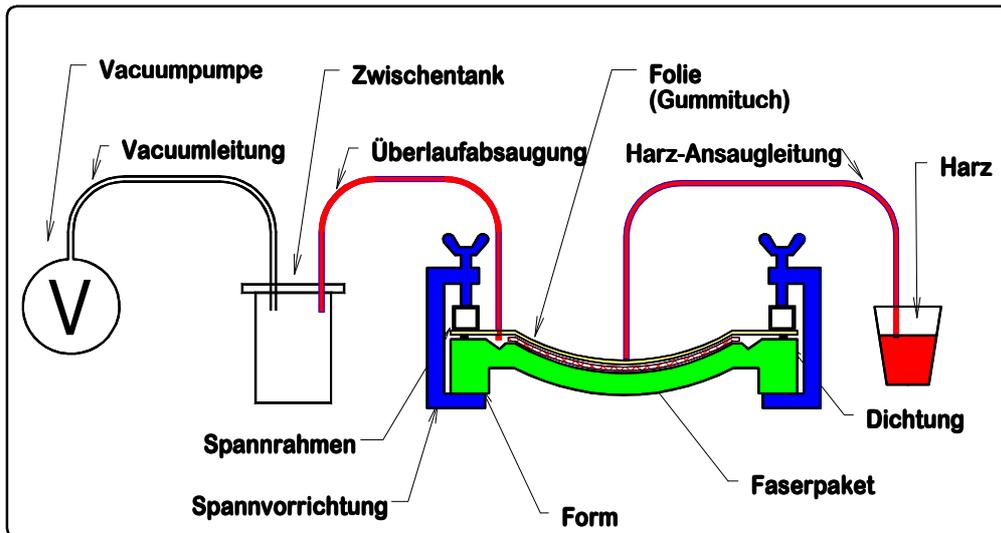


Bild 10.01  
Prinzipschema  
RTM

## Zyklus

Auf ungeheizten Formen kann pro Tag ein Teil hergestellt werden. Durch andere Harzeinstellung könnte der Zyklus verkürzt werden, aber die Qualität des Teiles leidet massiv.

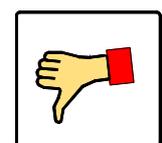
## Vorteile

Geringe Formkosten, kurze Zeit bis zum ersten Teil. Formänderungskosten tief.



## Nachteile

Nur eine Seite Formglatt, die Rückseite ist je nach Formteil „zerknautscht“ durch die Rümpfe, die in der Folie entstehen können. Dickentoleranzen im Normalfall  $\pm 2$  mm. Grosser Verschleiss an Folien. Grosse Qualitätsunterschiede, Formgebung sehr beschränkt. Praktisch nur mit Polyesterharz möglich.



## Anwendungsgebiete

Anwendung sehr beschränkt. Nur anwendbar für sphärisch wenig verformte Teile. Wird heute nur noch selten angewendet.

## Farbe

Praktisch jede Farbe möglich, auch für Einzelteile. Gelbtöne sind schlecht deckend, deshalb muss das Harz auch eingefärbt werden.

## Qualität

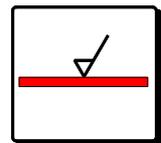
Die Qualität ist einerseits abhängig von den verwendeten Materialien wie Harz und Fasern. Es gibt viele verschiedene Polyesterharzqualitäten. Das entsprechende Harz und die Verstärkungsfasern müssen immer den Anforderungen entsprechend ausgewählt werden.



Andererseits hängt die Qualität ab von Mensch (Handwerkliches Verfahren).

## Oberflächen

Formseite sauber und glatt. Je besser die Oberflächenbeschaffenheit der Form ist, umso schöner ist das Teil.

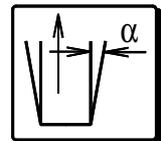


Rückseite ist je nach Formgebung mehr oder weniger sauber, im Bereich von 3-dimensionaler Verformung undefinierbare Oberfläche.

Gerade, ebene Flächen sollen vermieden werden, da sie „einfallen“. Wenn die Fläche etwas nach aussen gewölbt wird „steht“ sie und für das Auge scheint die Fläche eben.

## Ausformwinkel (Anzug)

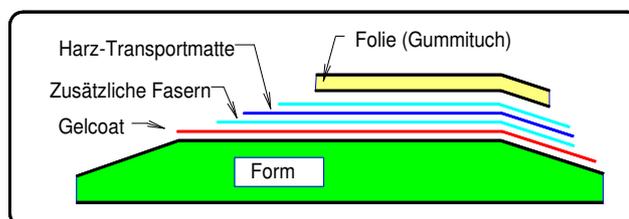
Da nur flächige Teile hergestellt werden ist der Ausformwinkel kein Thema. Ausnahme siehe unter „Hinterschnitte“.



## Laminataufbau

Für den Laminataufbau braucht man immer eine spezielle Matte mit langen oder endlosen Fasern, die das Harz transportieren. Beidseitig können dann beschränkt zusätzlich noch Verstärkungsfasern eingelegt werden.

Der Laminataufbau sollte über das ganze Teil möglichst gleich sein.



*Bild 10.02*

*Laminataufbau  
RTM*

## Randausführungen

Im Nassverfahren hergestellte GFK Teile müssen bei den Randpartien immer um den Überstand grösser fabriziert werden. Nach dem Ausformen wird dieses „Übermass“ nachgeschnitten; siehe „Mechanische Nachbearbeitung“.

## Verstärkungsrippen

Verstärkungsrippen können nicht eingebaut werden. Allfällige Verstärkungen müssten nachträglich angebracht werden. Damit sich aber das Bauteil vorher nicht verformen kann, muss dies vor dem Abformen ab der Form geschehen. Sehr kostenintensiv.

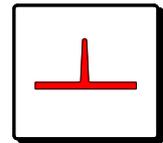
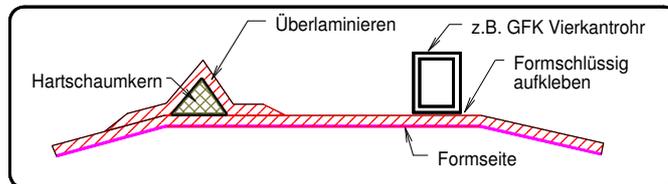
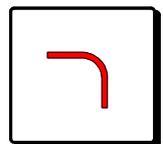


Bild 10.03

Verstärkungsrippen

## Radien

Es sind nur sehr grosse Radien möglich und das auch nur praktisch in einer Richtung (Folie).



## Wandstärken

Die Wandstärke sollte überall gleich sein. Partiiell zusätzliche Matten oder Gewebeverstärkungen sind möglich.

## Einlagen, Krafteinleitung

An den Befestigungspunkten wird eine Kraft eingeleitet. Hauptsächlich bei dynamischer Belastung muss diesem Punkt grosse Beachtung geschenkt werden. Manchmal reicht eine grosse Unterlagsscheibe bereits aus. Sollte das nicht ausreichen, muss zusätzlich auflaminiert oder Verstärkungsplatten aufgeklebt werden. Eine weitere Variante ist das aufkleben und überlaminiert einer Stahlplatte in die anschließend ein Gewindeloch gebohrt wird.

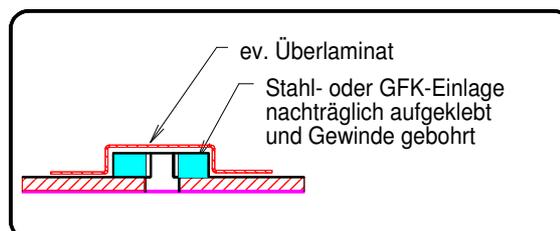
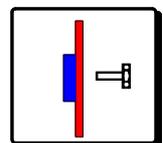
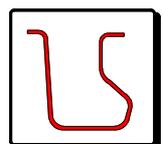


Bild 10.04

Einlagen im RTM

## Hinterschnitte / Formentrennung

Hinterschnitte sind praktisch nicht möglich. Wo das ausnahmsweise (z.B. als Profil mit nur 2-dimensionaler Verformung) geht, muss die Formentrennung vacuumdicht ausgeführt werden.



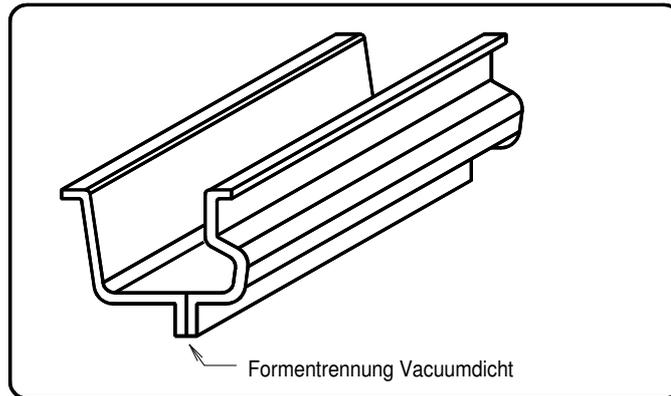
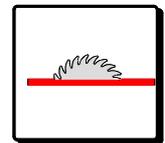


Bild 10.05

Hinterschnitte bei  
**RTM**  
nur als Profil möglich

## Mechanische Nachbearbeitung

Da nicht bis zum Rand eine gleichmässige Qualität gewährleistet werden kann, müssen Vakuumteile immer mit Hartmetall und Diamantwerkzeugen entweder auf konventionellen Fräsen, Drehbänken und Bohrmaschinen oder auf CNC Maschinen nachbearbeitet werden. Da viele Formteile sehr komplizierte Gebilde sind empfiehlt sich der Einsatz von 5-Achs Maschinen (X, Y, Z, A, B). Mit deren Hilfe kann ein handwerklich hergestelltes Teil so nachgefräst werden, dass es auf jeder Montagestrasse ohne Anpassarbeiten eingebaut werden kann.

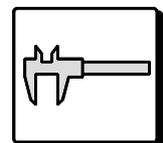


## Löcher und Durchbrüche

Können problemlos angebracht werden. Bei tragenden Teilen ist der Statik Beachtung zu schenken. Bei Teilen die auf dem Bau eingesetzt werden ist es der grossen Bautoleranz wegen sinnvoll die Löcher erst bei der Montage zu bohren. Für Löcher bis ca. 15 mm Durchmesser eignen sich normale HSS Bohrer, grössere bohrt man mit Vorteil mit Hartmetall-Astlochbohrer. Sehr bewährt, hauptsächlich auf Montage, haben sich Kronenbohrer.

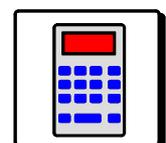
## Toleranzen

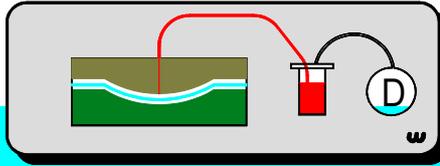
Dickentoleranzen liegen im Normalfall bei ca.  $\mu$  2 mm. Bei dicken und komplizierten Teilen kann das noch grösser werden. Meist kann dem abgeholfen werden, indem man Pass-Stellen nachfräst. Geschieht das auf CNC Maschinen, liegen die Toleranzen im Zehntel-millimeterbereich.



## Wirtschaftlichkeit

Bei grossen flächigen Teilen kann das ab Serien von 100 bis 200 durchaus eine Variante sein.





## **RIM** **(Resin Injekt Moulding, Injektionsverfahren)**

Das RIM-Verfahren eignet sich für mittelgrosse Teile. Einlagen in Form von Stahl, GFK und Hartschaum sind sehr gut möglich.

### **Grundprinzip**

Für die Herstellung eines Teiles in RIM braucht es zwei Formen. Normalerweise werden Kunststoff-Formen mit Quarz- oder Alugriesbeton Verstärkung eingesetzt.

Für grössere Stückzahlen werden mit Vorteil Alu-Formen oder eine Kombination Alu-Matrize und GFK Stempel verwendet. Auch Stahlformen kommen, hauptsächlich bei grösseren Teilen, zur Anwendung.

Stempel und Matrize müssen sehr massiv gebaut werden, damit sie den hohen Einspritzdrücken, 5 bis 20 bar, standhalten können.

Auf diese wird eine 0.4 bis 0.6 mm dicke Reinharzschicht, die sogenannte Gelcoat, mit Pinsel oder Spritzanlage aufgebracht. Das kann sowohl auf einer wie auf beiden Formseiten geschehen. Anschliessend werden Glasmatten, Gewebe aus Glas, Carbon oder Kevlar Schicht um Schicht trocken aufgelegt und die Form geschlossen und mit Spannelementen, Zwingen etc. zusammengespannt.

Nun wird das Harz mit einer Druckanlage, die dem Harz zwangsmässig den benötigten Härter beimischt, in die Form eingespritzt.

Nach dem Aushärten kann das Teil entformt werden. Bei Raumtemperaturen braucht es auch eine „Härtezeit über Nacht“. Meist werden die Formen aber geheizt, damit man die hohen Investitionskosten mit grösserer Stückzahl pro Tag kompensieren kann.

Die Form braucht auch immer Überstand. Diese Mehrlänge wird am fertigen Teil abgeschnitten, damit wir ein schönes homogenes Laminat bis zum Rand haben. Ohne diesen Überstand wären die Randpartien viel zu unregelmässig und für Qualitätsteile nicht verwendbar.

### **Zyklus**

Je nach Formtemperatur und Harzeinstellung können 5 bis 20 Teile pro Schicht fabriziert werden.

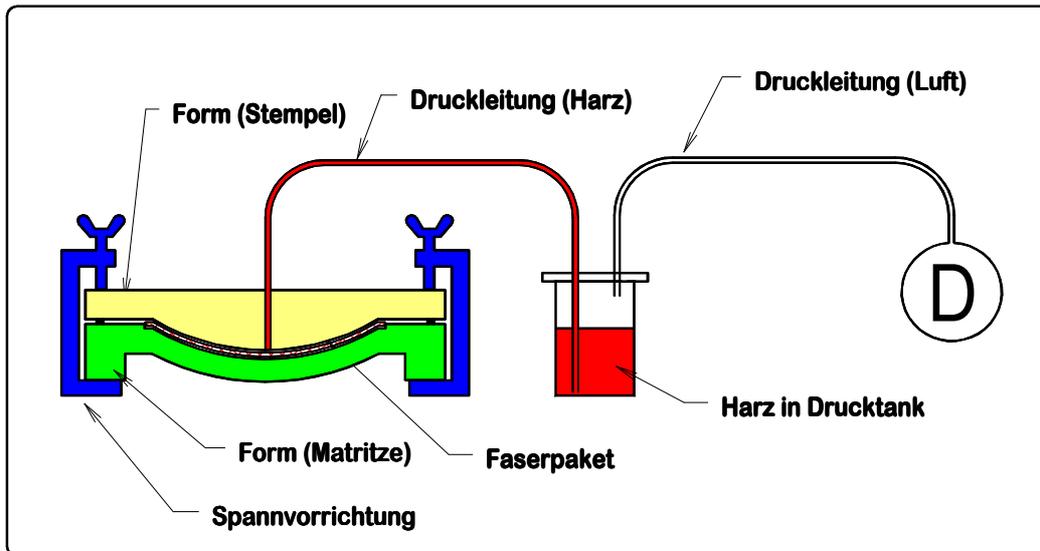


Bild 11.01 *Prinzipschema RIM*

## Vorteile

Kleinere Dickentoleranzen, relativ hohe Stückzahlen pro Schicht und dadurch tieferer Stückpreis im Verhältnis zu Handlaminat. Geschlossenes Verfahren, kleine Arbeitsplatzbelastung mit Styrol.

## Nachteile

Hohe Formkosten, längere Formbeschaffungszeit, benötigt entsprechende Injektionsanlagen, die -hauptsächlich bei nicht kontinuierlichem Einsatz- sehr störungsanfällig sind. Höhere Formänderungskosten. Obwohl nicht als „handwerkliches“ Verfahren einzustufen immer noch viel Handarbeit, jedes Teil braucht mech. Nachbearbeitung.



## Anwendungsgebiete

Mittelgrosse Teile, z.B. Hauben für Schalter, Luftführungen für Generatoren

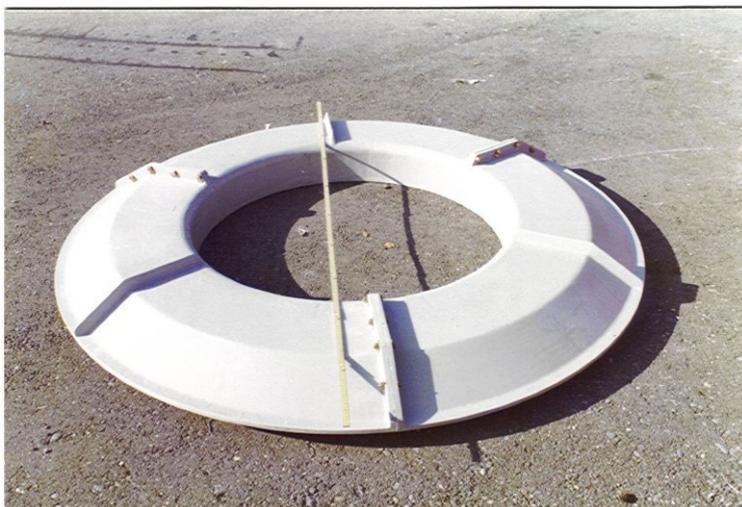


Bild 11.02

*Luftführung für  
Grossgenerator*

## Farbe

Praktisch jede Farbe möglich, auch für Einzelteile.

## Qualität

Die Qualität ist abhängig von den verwendeten Materialien wie Harz und Fasern. Es gibt viele verschiedene Polyesterharzqualitäten. Das entsprechende Harz und die Verstärkungsfasern müssen immer den Anforderungen entsprechend ausgewählt werden.

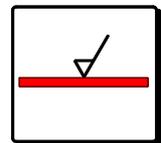
Des Weiteren ist die Qualität sehr von der Ausführung der Form abhängig.



## Oberflächen

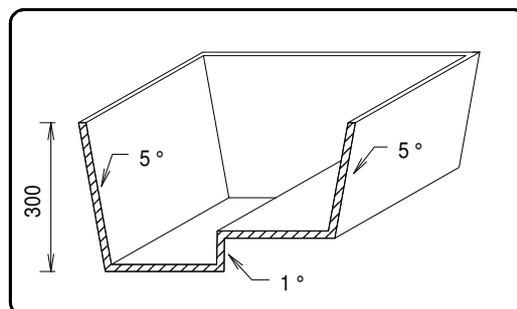
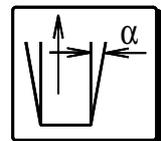
Beide Seiten sauber und glatt. Je besser die Oberflächenbeschaffenheit der Form ist, umso schöner ist das Teil.

Gerade, ebene Flächen sollen vermieden werden, da sie „einfallen“. Wenn die Fläche etwas nach aussen gewölbt wird „steht“ sie und für das Auge scheint die Fläche eben.



## Ausformwinkel (Anzug)

Je besser die Formoberfläche ist, desto kleiner kann der Ausformwinkel sein. Der Ausformwinkel ist sehr stark von der Höhe des Bauteils abhängig. 300 mm Bauteilhöhe erfordern einen Anzug von 3 bis 5°. Bei sauber hergestellten Formen können kleine Partien auch mit 1° gefertigt werden. Das bedingt aber eine entsprechende Formhaltevorrichtung, z.B. Presse.



*Bild 11.03*

*Verschiedene  
Ausformwinkel*

## Laminataufbau

Für den Laminataufbau braucht man spezielle Matten mit langen oder noch besser endlosen Fasern, die das Harz transportieren. Beidseitig dieser „Transportmatte“ können zusätzlich noch andere Verstärkungsfasern eingebaut werden.

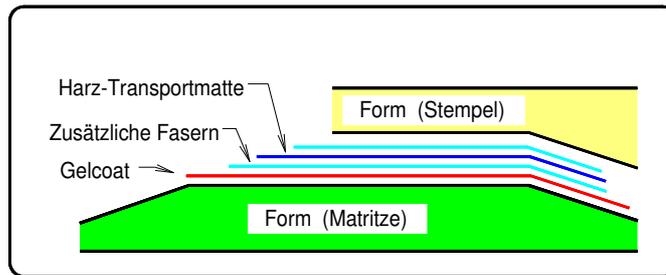


Bild 11.04

Laminataufbau

Der Aufbau sollte über das ganze Teil gleich sein, obwohl es durchaus möglich ist an bestimmten Stellen dicker oder dünner zu fahren. Auch das Einbringen von Einlagen vieler Art, sowie Sandwichkonstruktionen sind möglich.

### Randausführungen

Im Nassverfahren hergestellte GFK Teile müssen bei den Randpartien immer um den Überstand grösser fabriziert werden. Nach dem Ausformen wird dieses „Übermass“ nachgeschnitten; siehe „Mechanische Nachbearbeitung“.

### Verstärkungsrippen

Verstärkungsrippen können bedingt eingebaut werden.

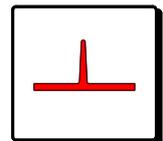
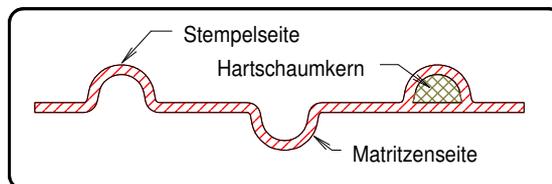


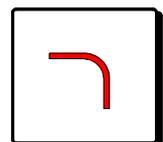
Bild 11.05

Verschiedene Arten Verstärkungsrippen bei RIM



### Radien

Radien ab ca. 20 mm sind möglich. Je grösser desto einfacher und dementsprechend günstiger.

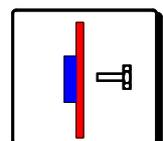


### Wandstärken

Die Wandstärken können unterschiedlich sein. Partiiell zusätzliche Matten oder Gewebeverstärkungen sind problemlos möglich.

### Einlagen, Krafteinleitung

An den Befestigungspunkten wird eine Kraft eingeleitet. Hauptsächlich bei dynamischer Belastung muss diesem Punkt grosse Beachtung geschenkt werden. Manchmal reicht eine grosse Unterlagscheibe bereits aus. Sollte das nicht ausreichen, müssen zusätzlich Einlagen aus Stahl oder GFK eingebracht werden.



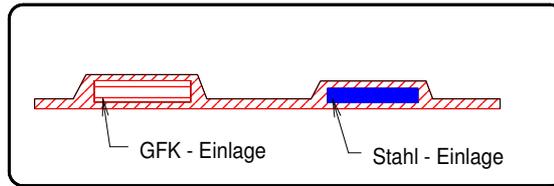
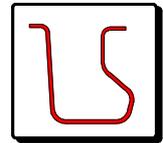


Bild 11.06  
Einlagen im RIM

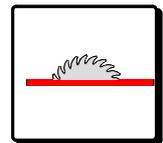
## Hinterschnitte / Formentrennung

Hinterschnitte sind nicht möglich.



## Mechanische Nachbearbeitung

Da nicht bis zum Rand eine gleichmässige Qualität gewährleistet werden kann, müssen Injektionsteile immer mit Hartmetall und Diamantwerkzeugen entweder auf konventionellen Fräsen, Drehbänken und Bohrmaschinen oder auf CNC Maschinen nachbearbeitet werden. Da viele Formteile sehr komplizierte Gebilde sind empfiehlt sich der Einsatz von 5-Achs Maschinen (X, Y, Z, A, B). Mit Hilfe dieser Maschinen kann ein handwerklich hergestelltes Teil so nachbearbeitet werden, dass es auf jeder Montagestrasse ohne Anpassarbeiten eingebaut werden kann.

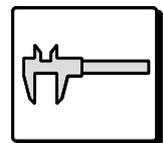


## Löcher und Durchbrüche

Können problemlos angebracht werden. Bei tragenden Teilen ist der Statik Beachtung zu schenken. Bei Teilen, die auf dem Bau eingesetzt werden, ist es der grossen Bautoleranz wegen sinnvoll die Löcher erst bei der Montage zu bohren. Für Löcher bis ca. 15 mm Durchmesser eignen sich normale HSS Bohrer, grössere bohrt man mit Vorteil mit Hartmetall-Astlochbohrer. Sehr bewährt, hauptsächlich auf Montage, haben sich Kronenbohrer.

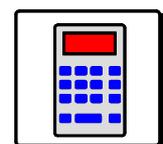
## Toleranzen

Dickentoleranzen liegen im Normalfall bei ca.  $\mu$  1 mm je nach Grösse des Teiles und Art der Form. Bei dicken und komplizierten Teilen kann das noch grösser werden. Pass-Stellen sollten wenn nötig nachfräst werden. Geschieht das auf CNC Maschinen liegen die Toleranzen im Zehntelmillimeterbereich.

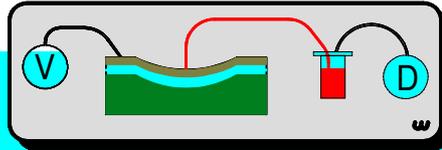


## Wirtschaftlichkeit

Für mittelgrosse Teile ist es wirtschaftlich einige 100 Stück im Jahr in RIM-Technik herzustellen. Sinnvoll ist die Anwendung bei kleineren Sandwichteilen, wenn diese auf entsprechende Formenträger (Pressen) montiert werden können.



## RIM / RTM (Vakuum - Injektionsverfahren)



Die RTM/RTM Technik eignet sich in erster Linie für grosse Teile. Speziell wird sie angewendet für Teile in Sandwichkonstruktion. Einlagen in Form von Stahl und GFK sind sehr gut möglich.

### Grundprinzip

Für die Herstellung eines Teiles in RIM/RTM braucht es zwei Formen. Normalerweise werden Kunststoff-Formen mit Quarz- oder Alugries-Beton Verstärkung eingesetzt.

Für grössere Stückzahlen werden mit Vorteil Alu-Formen oder eine Kombination Alu-Matrize und GFK Stempel verwendet. Auch Stahlformen kommen, hauptsächlich bei grösseren Teilen und grossen Serien, zur Anwendung.

Die Matrize muss sehr massiv gebaut werden, denn sie dient gleichzeitig als stabiler Formenträger. Der Stempel wird vorzugsweise aus transparentem GFK Laminat hergestellt. Diese Art Formenbau ermöglicht beim anschliessenden Einspritzen des Harzes dessen Verlauf zu kontrollieren um die entsprechenden Vakuumabsauger zu plazieren.

Auf die Formen wird eine 0.4 bis 0.6 mm dicke Reinharzschicht, die sogenannte Gelcoat, mit Pinsel oder Spritzanlage aufgebracht. Das kann sowohl auf einer wie auf beiden Formseiten geschehen. Anschliessend werden Glasmatten, Gewebe aus Glas, Carbon oder Kevlar, Schicht um Schicht trocken aufgelegt, wenn nötig dazwischen Schaumstoffkerne (Hartschaum), die Form geschlossen und mit Spannelementen, Zwingen, Hydraulikzylinder etc. zusammengespannt.

Mittels Vakuumpumpe wird nun der Form die Luft entzogen. Wenn die Randpartien richtig ausgeführt wurden, wird durch die entsprechenden Dichtungen mit diesem Unterdruck die Form automatisch zusammengehalten. Gleichzeitig wird das Harz mit einer Druckanlage, die dem Harz zwangsmässig den benötigten Härter beimischt, in die Form eingespritzt. Stimmt das Verhältnis von Einspritzdruck und Vakuum, muss die Form weniger stabil gebaut werden als z.B. Press- oder reine RIM Werkzeuge.

Nach dem Aushärten kann das Teil entformt werden. Bei Raumtemperaturen braucht es auch eine „Härtezeit über Nacht“. Das Heizen der Werkzeuge hat sich nur bei Metallwerkzeugen bewährt.

Die Form braucht auch immer Überstand der nach dem Ausformen abgeschnitten wird (mech. Nachbearbeitung).

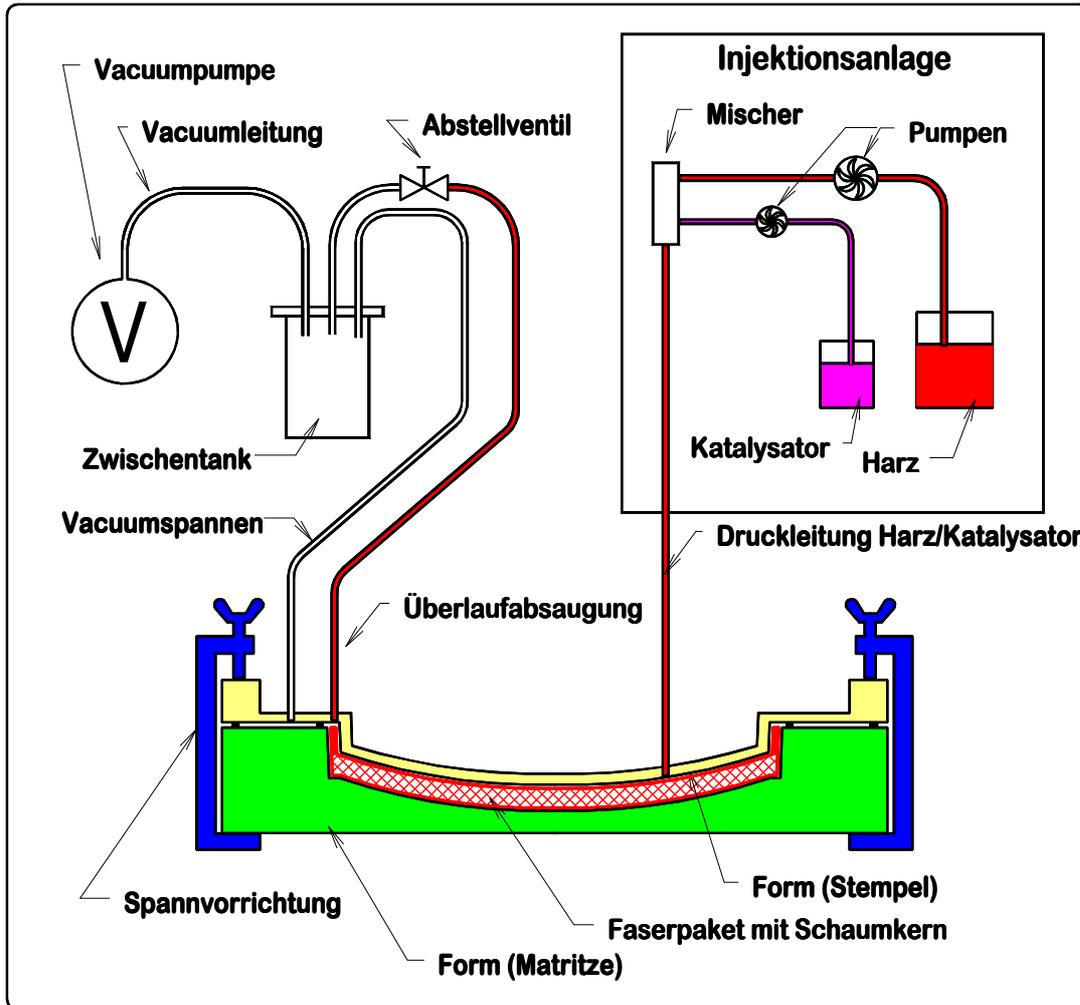


Bild 12.01 *Prinzipschema RIM / RTM*

## Zyklus

Bei Formen ohne Heizung kann 1 Teil pro Tag, bei Formenheizung mehrere pro Schicht fabriziert werden.

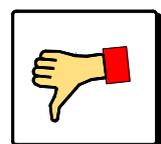
## Vorteile

Kleinere Dickentoleranzen, bei komplizierten Teilen günstiger Stückpreis im Verhältnis zu Handlaminat. Geschlossenes Verfahren, kleine Arbeitsplatzbelastung durch Styrol. Sehr geeignet für Sandwichbauweise.



## Nachteile

Höhere Formkosten, längere Formbeschaffungszeiten, benötigt entsprechende Injektions- und Vakuumanlagen, die bei nicht kontinuierlichem Einsatz sehr störungsanfällig sind. Höhere Formänderungskosten. Obwohl nicht als „handwerkliches“ Verfahren einzustufen immer noch viel Handarbeit, jedes Teil braucht mech. Nachbearbeitung. Lange Formbeschaffungszeit



## Anwendungsgebiete

Grosse Teile, z.B. Dächer für Lok, Fahrzeugaufbauten etc..



*Bild 12.02      Dächer und Seitenschürzen für Lok 2000  
hergestellt in RIM / RTM Verfahrenstechnik*

## Farbe

Praktisch jede Farbe möglich, auch für Kleinserien.

## Qualität

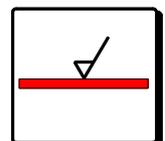
Die Qualität ist abhängig von den verwendeten Materialien wie Harz und Fasern. Es gibt viele verschiedene Harzqualitäten. Das entsprechende Harz und die Verstärkungsfasern müssen immer den Anforderungen entsprechend ausgewählt werden.

Im Weiteren ist die Qualität sehr von der Ausführung der Form und der anschliessenden mechanischen Nachbearbeitung abhängig.

## Oberflächen

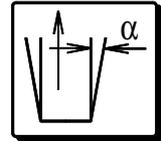
Beide Seiten sauber und glatt. Je besser die Oberflächenbeschaffenheit der Form ist umso schöner ist das Teil.

Gerade ebene Flächen sollen vermieden werden, da sie „einfallen“. Wenn die Fläche etwas nach aussen gewölbt wird „steht“ sie und für das Auge scheint die Fläche eben. Sandwichkonstruktionen „stehen“ besser.



## Ausformwinkel (Anzug)

Je besser die Formoberfläche ist desto kleiner kann der Ausformwinkel sein. Der Ausformwinkel ist sehr stark von der Höhe des Bauteils abhängig. 300 mm Bauteilhöhe erfordern einen Anzug von 3 bis 5°. Bei sauber hergestellten Formen können kleine Partien auch mit 1° gefertigt werden. Das bedingt aber eine entsprechende Formhaltvorrichtung, z. B. Presse.



*siehe Bild 11.03*

## Laminataufbau

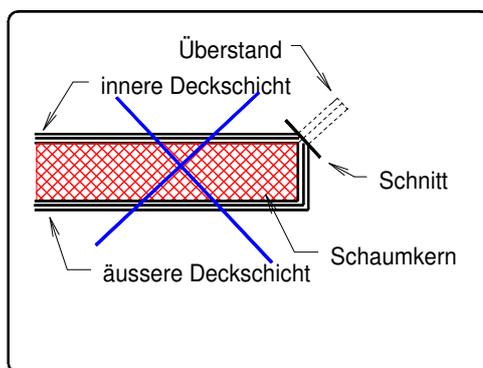
Für den Laminataufbau braucht man spezielle Matten mit langen oder noch besser endlosen Fasern, die das Harz transportieren. Beidseitig dieser „Transportmatte“ können zusätzlich noch andere Verstärkungsfasern eingebaut werden

*siehe Bild 11.04*

Der Aufbau muss nicht über das ganze Teil gleich sein. Auch das Einbringen von Einlagen vieler Art ist möglich. Für Sandwichkonstruktionen sehr geeignet.

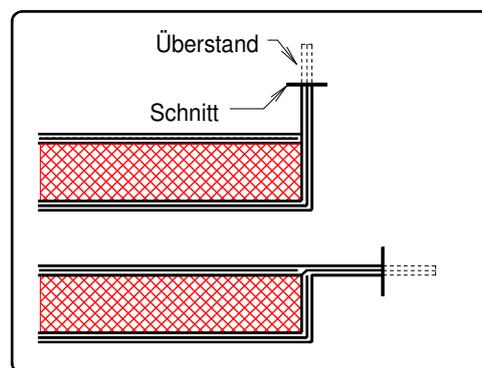
## Randausführungen bei Sandwichkonstruktionen

Bei Sandwichkonstruktionen muss immer darauf geachtet werden, dass bei den Randpartien der Schaumkern sauber geschlossen wird. Der beste Abschluss ist das parallele Zusammenbringen der inneren und äusseren Deckschicht auf einer Breite von 20 bis 30 mm. Auch hier braucht es einen Überstand.



*Bild 12.03*

*schlechte Lösung*



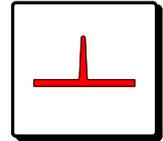
*Bild 12.04*

*gute Lösungen*

## Verstärkungsrippen

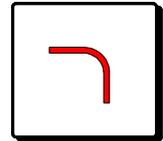
Verstärkungsrippen können bedingt eingebaut werden.

*siehe Bild 11.05*



## Radien

Radien ab ca. 5 mm sind möglich. Je grösser desto einfacher und dementsprechend günstiger.



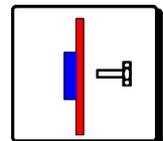
## Wandstärken

Die Wandstärken können unterschiedlich sein. Partielle zusätzliche Matten oder Gewebeverstärkungen sind problemlos möglich.

## Einlagen, Krafteinleitung

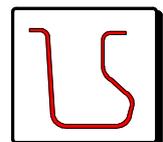
An den Befestigungspunkten wird eine Kraft eingeleitet. Hauptsächlich bei dynamischer Belastung muss diesem Punkt grosse Beachtung geschenkt werden. Manchmal reicht eine grosse Unterlagscheibe bereits aus. Sollte das nicht ausreichen müssen zusätzlich Einlagen aus Stahl oder GFK eingebracht werden. Bei Sandwichkonstruktionen ist es sehr gut möglich GFK oder Stahleinlagen einzubringen, die auf der Gegenseite nicht sichtbar sind. Einlagen aus GFK sind solchen aus Stahl vorzuziehen, da sie den gleichen Wärmeausdehnungskoeffizient aufweisen. Einlagen sind aber in jedem Fall zeitintensiv und dementsprechend teuer.

*siehe Bild 11.06*



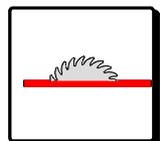
## Hinterschnitte / Formentrennung

Hinterschnitte sind praktisch nicht möglich.



## Mechanische Nachbearbeitung

Da nicht bis zum Rand eine gleichmässige Qualität gewährleistet werden kann, müssen Vakuum/Injektionsteile immer mit Hartmetall und Diamantwerkzeugen auf konventionellen Fräsen, Drehbänken und Bohrmaschinen oder auf CNC Maschinen nachbearbeitet werden. Da viele Formteile sehr komplizierte Gebilde sind empfiehlt sich der Einsatz von 5-Achs Maschinen (X, Y, Z, A, B). Mit Hilfe dieser Maschinen kann ein in der RIM/RTM Technik hergestelltes Teil so nachbearbeitet werden, dass es auf jeder Montagestrasse ohne Anpassarbeiten eingebaut werden kann.

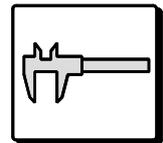


## Löcher und Durchbrüche

Können problemlos angebracht werden. Bei tragenden Teilen ist der Statik Beachtung zu schenken. Bei Teilen, die auf dem Bau eingesetzt werden, ist es der grossen Bauleranz wegen sinnvoll die Löcher erst bei der Montage zu bohren. Für Löcher bis ca. 15 mm Durchmesser eignen sich normale HSS Bohrer, grössere bohrt man mit Vorteil mit Hartmetall-Astlochbohrer. Sehr bewährt, hauptsächlich auf Montage, haben sich Kronenbohrer.

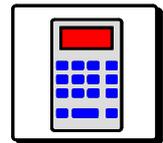
## Toleranzen

Dickentoleranzen liegen im Normalfall bei ca.  $\mu$  1 mm je nach Grösse des Teiles und Art der Form. Bei dicken und komplizierten Teilen kann das noch grösser werden. Pass-Stellen sollten wenn nötig nachgefräst werden. Geschieht das auf CNC Maschinen liegen die Toleranzen im Zehntelmillimeterbereich.

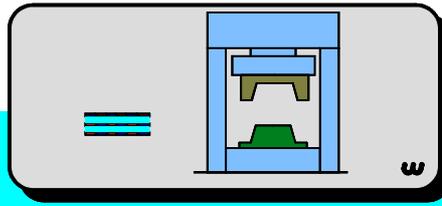


## Wirtschaftlichkeit

In RIM/RTM Technik können grosse Teile in Sandwichbauweise kostengünstig hergestellt werden und das ab Losgrössen von ca. 50 Stück.



## SMC (sheet moulding compound, pre-preg)



SMC ist die maschinelle Herstellung von Duroplast Teilen. Von der manuellen Einlege- und Ausformtechnik bis zur vollautomatischen Beschickungstechnik ist alles möglich.

### Grundprinzip

Für die Herstellung eines Teiles in der SMC Technik sind Stempel und Matrize nötig. In der Regel werden diese Werkzeuge aus entsprechenden Stählen hergestellt. Oberflächenbehandlungen wie Härten, Hartverchromen etc. sind möglich und z.T. auch erforderlich. Durch ätzen der Flächen ist die Fabrikation von Teilen mit strukturierter Oberfläche möglich. Dabei ist aber auf den Ausformwinkel zu achten.

Wernli AG setzt, wenn günstiger, auch Werkzeuge aus Grauguss ein. Die Anwendung ist beschränkt und setzt grosse Erfahrung im Formenbau und beim nachfolgenden Einsatz voraus. Wenn diese Erfahrung fehlt lässt man am besten die Finger davon, schon manches Werkzeug wurde bevor nur ein brauchbares Teil fabriziert werden konnte, zerstört. Wernli AG ist übrigens die erste, die in dieser Art Werkzeuge konstruierte und bauen liess und bis heute einer der ganz wenigen Verarbeiter, der die Presstechnik mit Graugusswerkzeugen beherrscht und dadurch günstiger fabrizieren kann.

Die Werkzeuge werden auf einer entsprechenden Presse montiert und auf ca. 150 °C aufgeheizt.



*Bild 13.01*

*500 Tonnen Presse  
mit Form*

Die mit Harz vorimprägnierte Matte wird zugeschnitten, abgewogen und in das Werkzeug eingelegt, die Presse zusammengefahren und Druck aufgebaut. Je nach Teil und Material braucht es einen Pressdruck von 50 bis 200 Kp/cm<sup>2</sup>. Durch diesen Druck und die Temperatur wird die Harzmatte zähflüssig und verteilt sich im ganzen Formnest. Der notwendige spez. Druck muss innerhalb einiger Sekunden aufgebaut sein, denn der ebenfalls im Material „eingebaute“ Härter springt an und lässt das Teil polymerisieren, aushärten. Nach einigen Minuten, abhängig von der Grösse und Dicke des Bauteils sowie der Harzeinstellung, ist das Teil ausgehärtet und kann entformt werden. Damit sich das Teil während des Abkaltvorganges nicht verzieht, muss es unbedingt auf einer Abkaltlehre aufgespannt werden. Nach dem Abkühlen braucht es in der Regel nur noch entgratet zu werden.

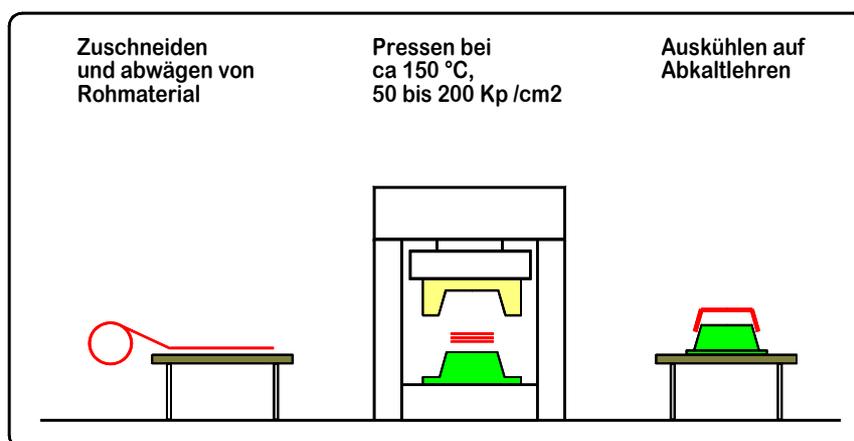


Bild 13.02  
Prinzip Schema  
SMC

## Zyklus

Pro Schicht können 50 bis 100 Teile pro Form hergestellt werden. Bei kleinen Teilen und grossen Serien lohnt sich der Einsatz von Mehrfachformen.

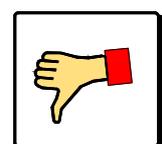
## Vorteile

Kleinere Dickentoleranzen, günstiger Stückpreis. Keine Arbeitsplatzbelastung mit Styrol. Gleichbleibende Qualität, da der „Unsicherheitsfaktor Mensch“ viel kleiner ist als bei handwerklichen Verfahren. Beidseitig glatte und saubere Oberflächen, meistens nur noch kleine Entgratarbeiten nötig. SMC Teile weisen gegenüber den im Nassverfahren produzierten Teilen einen höheren Elastizitätsmodul auf (die Teile sind „steifer“).



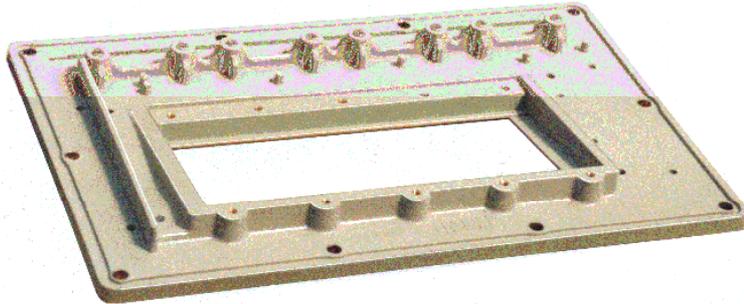
## Nachteile

Hohe Formkosten. Lange Formbeschaffungszeiten. Formänderungskosten meistens relativ teuer. Wenn bei Neukonstruktionen die Formgebung noch nicht genau bestimmt ist, sollten mit Vorteil zuerst Prototypen im Handlaminat hergestellt werden. Die Grösse der Bauteile ist beschränkt durch die Maschinengrösse (Druck, Press-tischgrösse).



## Anwendungsgebiete

Von einfachen kleinen Abdeckungen bis zu grossen komplizierten Aggregat-Träger, Isolationsteilen sowohl elektrischer wie thermischer Art, Behälter für Wasser, Öl etc.



*Bild 13.03*

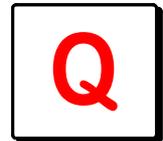
*Fotos SMC Teile*

## Farbe

Praktisch jede Farbe möglich, vorbehalten Material Mindestmenge.

## Qualität

Die Qualität ist abhängig von den verwendeten Rohstoffen. Daneben tragen die Werkzeugqualität sowie die zum Einsatz gelangenden Maschinen viel bei. Für qualitativ hochstehende Teile werden mit Vorteil prozessorgesteuerte Maschinen eingesetzt.

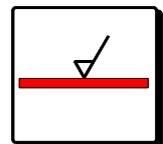


## Oberflächen

Beide Seiten sauber und glatt. Je besser die Oberflächenbeschaffenheit der Form ist, umso schöner ist das Teil.

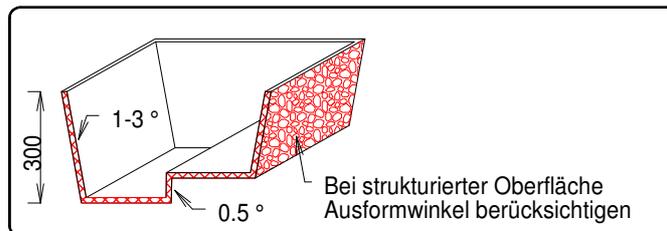
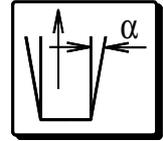
Gerade, ebene Flächen sollen vermieden werden, da sie „einfallen“. Wenn die Fläche etwas nach aussen gewölbt wird „steht“ sie und für das Auge scheint die Fläche eben.

Strukturierte Oberflächen ergeben eine für das Auge gleichmässige Oberfläche.



## Ausformwinkel (Anzug)

Je besser die Formoberfläche ist desto kleiner kann der Ausformwinkel sein. Der Ausformwinkel ist sehr stark von der Höhe des Bauteils abhängig. 1 bis 3 ° sind die Regel, Kleine Flächen können auch mit Ausformwinkel < 1 ° hergestellt werden. Bei strukturierten Oberflächen ist der Ausformwinkel von der Tiefe der Strukturätzung abhängig.

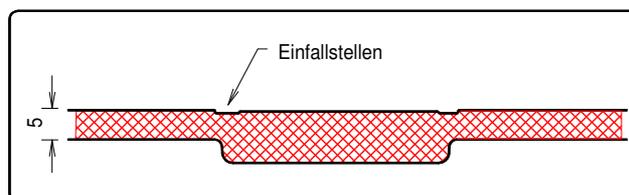


*Bild 13.04*

*Ausformwinkel bei SMC Teilen*

## Materialaufbau

Der Materialaufbau ist über das ganze Teil derselbe, auch bei ungleichen Wandstärken. Zu grosse Wandstärkenunterschiede können aber zu unterschiedlichem Verzug führen.

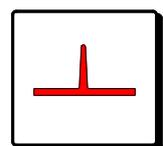


*Bild 13.05*

*Unterschiedliche Wandstärken können zu Einfallstellen führen*

## Verstärkungsrippen

Verstärkungsrippen können beidseitig eingebaut werden, auch Sicken in verschiedenster Art. Bei den Rippen muss darauf geachtet werden, dass die Radien zu den Flächen möglichst klein gehalten werden, um ein übermässiges Abzeichnen auf der Gegenseite zu verhindern.

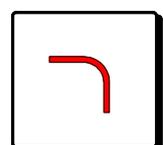


## Randausführungen

Im Gegensatz zu Nassverfahren brauchen SMC - Teile keinen Überstand und deshalb normalerweise ausser Entgraten und verputzen auch keine mech. Nachbearbeitung.

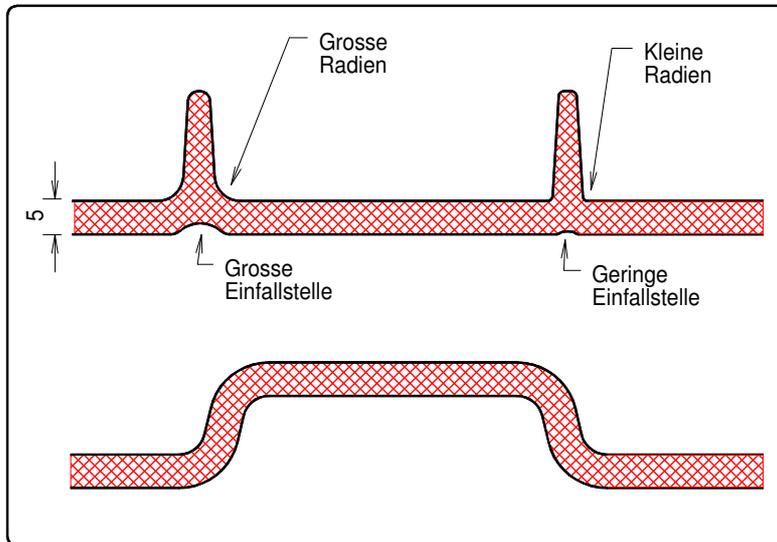
## Radien

Radien ab ca. 1 mm sind möglich. Bei Kunststoffteilen sollten aber aus statischen Gründen nach Möglichkeit immer grosse Radien eingesetzt werden (Ausnahme Rippen, Verstärkungsaugen).



## Wandstärken

Die Wandstärken können unterschiedlich sein. Partielle zusätzliche Roving-Pre-preg's einzubringen sind möglich.

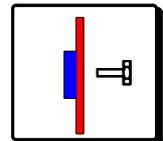


*Bild 13.06*

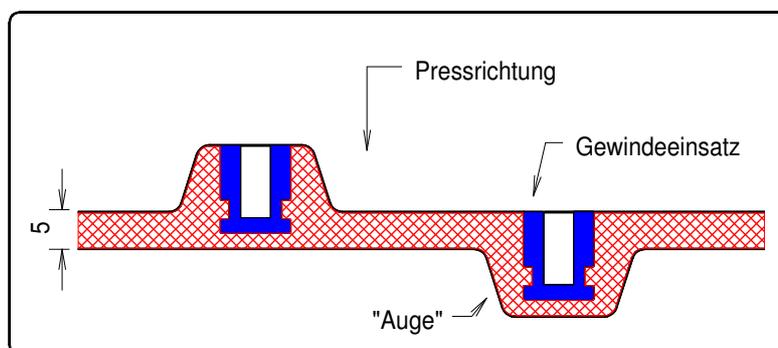
*Verschiedene Ausführungen von Rippen und Sikken*

## Einlagen, Krafteinleitung

An den Befestigungspunkten wird eine Kraft eingeleitet. Hauptsächlich bei dynamischer Belastung muss diesem Punkt grosse Beachtung geschenkt werden und dementsprechend die Wandstärke angepasst werden. In der Pressrichtung können problemlos Verstärkungsäugen mitgeformt werden.



Eingelegte Gewindebuchsen erlauben nachträglich ein Einfaches anschrauben von Befestigungsteilen. Die Buchsen sollten aber mit Vorteil in der Pressrichtung sein, beim Einbau in der Querrichtung müssen Einlegeteile oder Schieber verwendet werden, siehe: Hinterschnitte/Formtrennung.



*Bild 13.07*

*Gewindebuchsen eingesetzt in Pressrichtung*

## Hinterschnitte / Formentrennung

Hinterschnitte sind möglich, aber immer teuer und sollten nach Möglichkeit durch entsprechende Konstruktion umgangen werden. Wenn dennoch Hinterschnitte, quer zur Pressrichtung eingesetzte Gewindebuchsen oder sonstige Einlagen notwendig sind, geschieht das gemäss Bild 13.07.

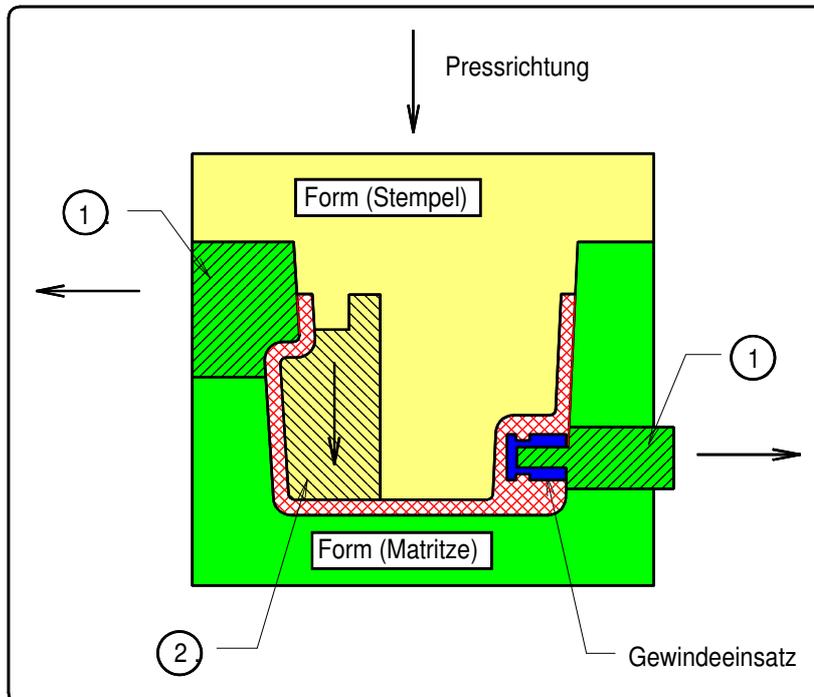
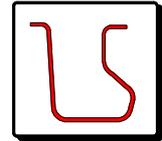


Bild 13.08

### Hinterschnitte bei maschinellen Herstellungstechniken

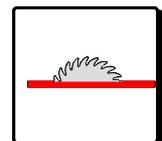
1 muss vor dem öffnen der Form in Pfeilrichtung entfernt werden

2 nach dem öffnen, zusammen mit dem Teil ab dem Stempel

(meistens automatisch gesteuert)

## Mechanische Nachbearbeitung

Nach Möglichkeit sollten mech. Nachbearbeitungen vermieden werden, da sie immer zusätzliche Kosten verursachen. Notwendige Nacharbeit geschieht mit Hartmetall und Diamantwerkzeugen entweder auf konventionellen Fräsen, Drehbänken und Bohrmaschinen oder auf CNC Maschinen. Da viele Formteile sehr komplizierte Gebilde sind empfiehlt sich der Einsatz von 5-Achs Maschinen (X, Y, Z, A, B).

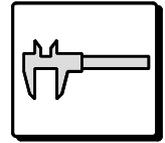


## Löcher und Durchbrüche

In der Pressrichtung sollten Löcher und Durchbrüche mitgepresst, quer dazu mit Vorteil gebohrt, werden. Bei tragenden Teilen ist der Statik Beachtung zu schenken. Bei Teilen, die auf dem Bau eingesetzt werden ist es z.T. der grossen Bautoleranz wegen sinnvoll die Löcher erst bei der Montage zu bohren. Für Löcher bis ca. 15 mm Durchmesser eignen sich normale HSS Bohrer, grössere bohrt man mit Vorteil mit Hartmetall-Astlochbohrer. Sehr bewährt, hauptsächlich auf Montage, haben sich Kronenbohrer.

## Toleranzen

Toleranzen liegen im Normalfall im 1/10 mm Bereich. Je nach Grösse des Teiles und Art der Form können sie grösser werden.

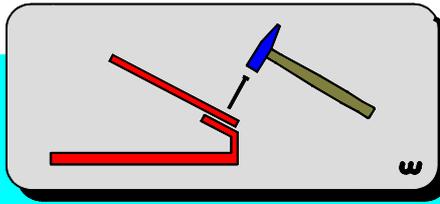


## Wirtschaftlichkeit

Je nach Grösse und Art des Teiles ist es trotz der hohen Formkosten schon ab 200 bis 300 Teilen wirtschaftlich.



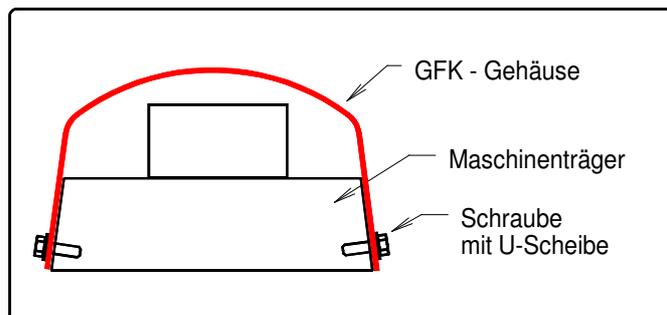
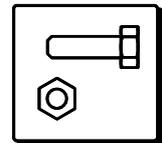
## Verbinden von Kunststoffteilen



Nageln funktioniert nicht so einfach. Aber sonst gibt es sehr viele Möglichkeiten um Duroplastteile miteinander zu verbinden

### Schrauben

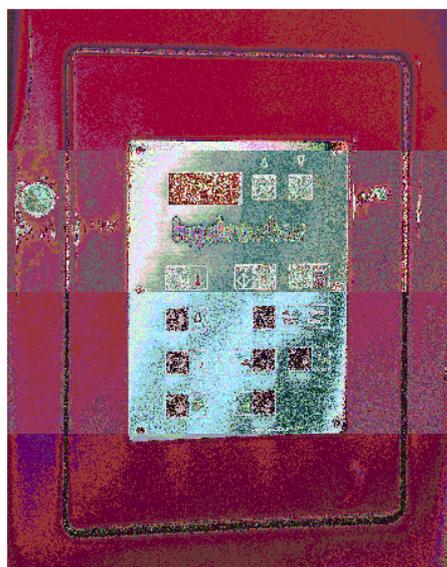
Die einfachste Verbindung löst man mit Schrauben. Wo immer es die Möglichkeit bietet, sollten (nicht nur) GFK Teile mit durchgehenden Schrauben befestigt werden. Eine grosse Unterlagscheibe verteilt die Krafteinleitung besser und verhindert somit ein Ausreißen.



*Bild 17.01*

*Einfache und günstige Montage durch Schrauben*

Wenn z.B. eine Frontplatte auf ein GFK Bauteil geschraubt werden muss empfiehlt sich die Verwendung von selbstgewindenden Schrauben. Dabei ist das Verhältnis der Materialdicke zum Schraubendurchmesser je nach Belastung zu berücksichtigen. Für Schraubverbindungen, die immer wieder gelöst werden müssen (Service) sollten Gewindeeinsätze eingebaut werden. *Siehe Bild 7.07 (Handlaminat)*



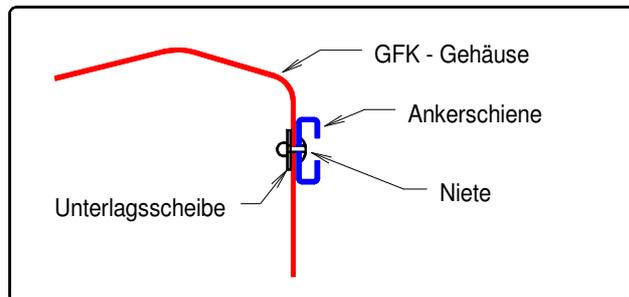
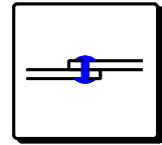
*Bild 17.02*

*Von vorne montiertes Bedienpanel ermöglicht kurze Servicezeit*

*Hydrostar Dauerbrause*

## Nieten

Für nicht mehr zu lösende Verbindungen kommen auch Blindnieten zum Einsatz. Bei höheren Belastungen sowie bei dynamischer Beanspruchung müssen unbedingt Unterlagscheiben verwendet werden da der spezifische Druck beim Nietenvorgang das Harz sonst aufsprengt.

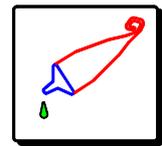


*Bild 17.03*

*Montage eines Alu - Profiles durch Nieten*

## Kleben

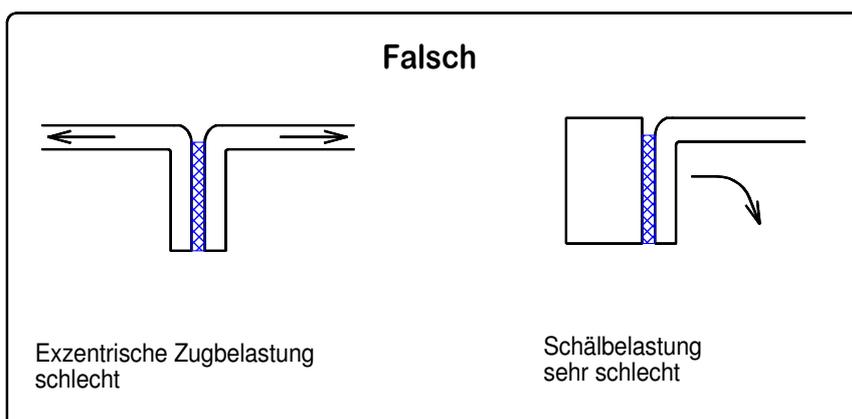
Duroplaste sind sehr geeignet zum Kleben. Es ist vielfach die teuerste Verbindungsart aber meistens die beste oder sogar die einzig mögliche. Klebverbindungen sind auf vielfache Arten möglich. Einige Grundsätze müssen unbedingt beachtet werden.



Jede Klebverbindung muss gewissenhaft geplant und ausgeführt werden. Dazu müssen unbedingt die Angaben des Kleberlieferanten und wenn die Klebung durch den Kunden erfolgt auch diejenigen des Teileherstellers (der die zu verklebenden Teile liefert) befolgt werden.

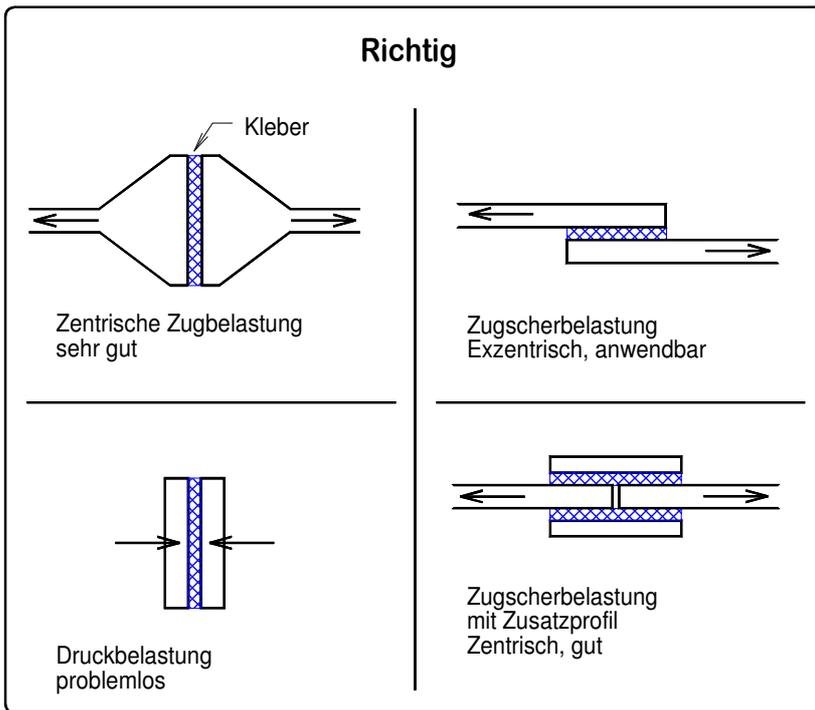
Dazu gehört unter anderem:

- Belastungsart
- Kleberwahl
- Vorbehandlung (Anschleifen, Reinigen, Primern)
- Temperatur
- Härtungszeit
- Ausdehnungskoeffizient bei verschiedenen Materialien



*Bild 17.04*

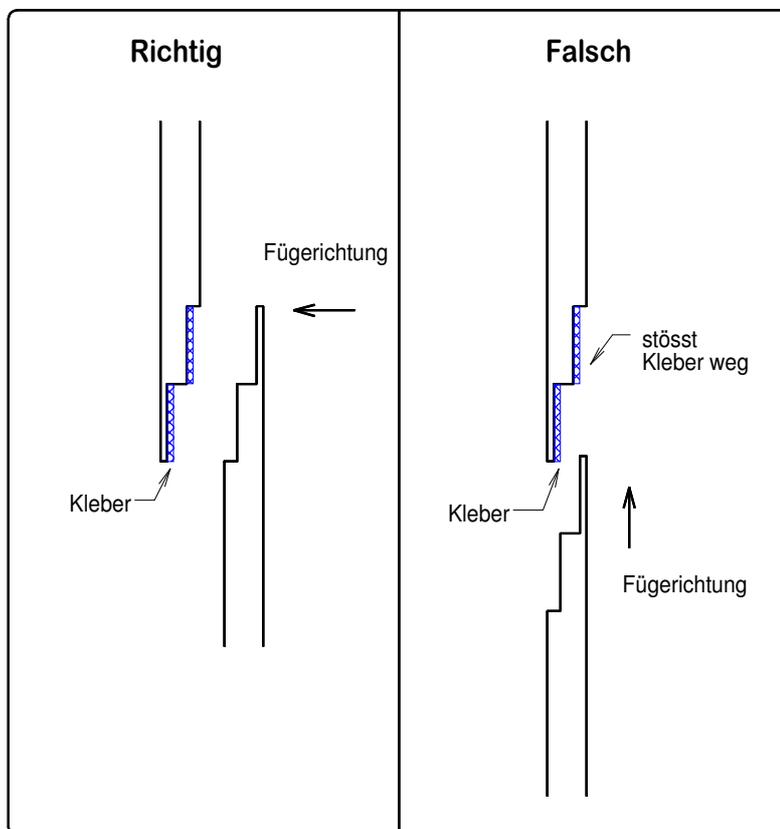
*Schlechte Klebverbindungen*



*Bild 17.05*

*Gute  
Klebsverbindungen*

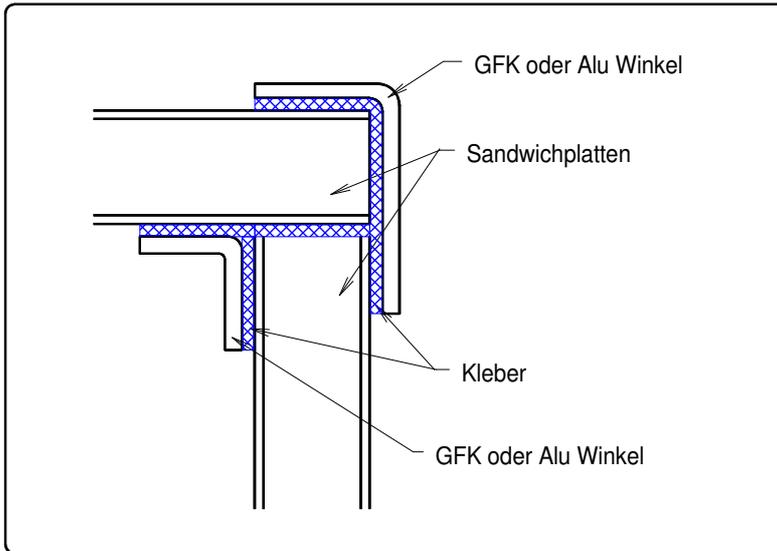
Beim konstruieren ist unbedingt darauf zu achten wie die Teile zusammengefügt werden müssen damit der Kleber dabei nicht abgestossen wird!



*Bild 17.06*

*Richtiges zusammenfügen von zu verklebenden Elementen*

*Durch richtiges zusammenfügen erhält man so eine einwandfreie, symetrische, Klebsverbindung*

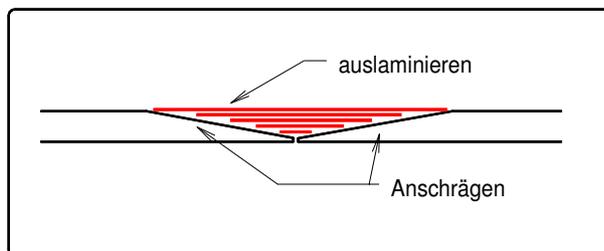


*Bild 17.07*

*Klebverbindung  
für Sandwich-  
elemente*

## Zusammenlaminiieren

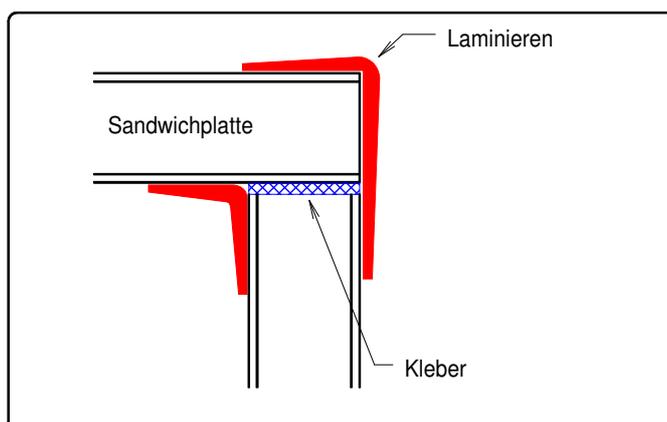
Laminatteile können recht preiswert zusammenlaminiert werden wenn auf die „Oberflächenschönheit“ nicht allzu grossen Wert gelegt wird. Denken wir zum Beispiel an das Zusammenlaminiieren von Böden und Seitenwänden bei Fahrzeug-Kastenaufbauten im Innenbereich. Wenn aber die Oberfläche einer Toleranz unterliegt muss nach einer anderen Lösung gesucht werden. Festigkeitsmässig ist es aber das Beste, weil es eine Verbindung von gleichen Materialien ist. Wichtig ist die Vorbehandlung der Laminatflächen durch anschleifen damit wir eine optimale Laminatverbindung erhalten.



*Bild 17.08*

*Zusammenlaminiieren  
von  
GFK Platten*

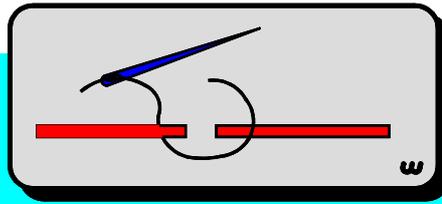
In dieser Art können aus Platten und Profilen auch Bauteile hergestellt werden. Dann spricht man aber nicht mehr von Formteilen. Geeignet nur für Prototypen, denn sehr aufwendig.



*Bild 17.09*

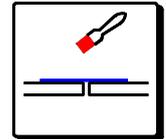
*Zusammenlaminiieren  
von Sandwichplatten.  
Sehr gute mech. Ei-  
genschaften aber sehr  
arbeitsintensiv, un-  
schöne, unregelmäs-  
sige Oberfläche.*

# Reparaturen



Reparieren von Duroplastteilen,  
nichts leichter als das!

Wie in Kapitel 17 unter „Zusammenlaminiern“ beschrieben, können GFK Teile auch repariert werden. Eine Bruchstelle wird z.B. nur ausgeschliffen und der entstandene Hohlraum mit Fasern und Harz auslamiert. Das Anschleifen muss möglichst flach sein damit die Klebfläche des Harzes gross wird. Wenn das gleiche Harz und die gleichen Fasern wie beim Original verwendet werden ergibt sich keine Qualitätsverschlechterung.



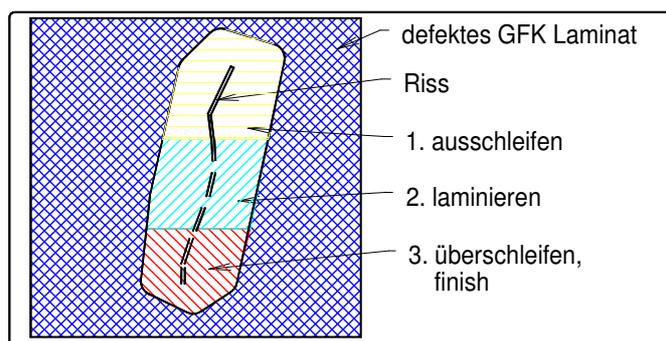
Bei Autobussen mit ihren grossflächigen Carrosserieteilen kommt es öfters vor, dass bei einem Unfall „nur“ ein Teilstück defekt geht. Damit nicht das ganze Teil ersetzt werden muss kann problemlos ein passendes Formstück eingesetzt und wie vorhin beschrieben, einlamiert werden.

Dritte Möglichkeit. Es fehlt ein Stück und ein Werkzeug zum Abformen des fehlenden Stückes ist auch nicht vorhanden. Mit Hilfsmitteln wie Klebstreifen, Holz etc. wird das „Loch“ zugeflickt und dann überlamiert. Nicht vergessen die Randpartien vorher anzuschleifen. Nach dem Aushärten können das Holz und die Klebstreifen entfernt werden und wir haben wieder ein vollwertiges Teil. (Nur im Notfall anzuwenden).

Bei all den 3 beschriebenen Arten braucht es natürlich noch eine „Nachbehandlung“ mit schleifen, spachteln und lackieren. Aber vielfach ist eine Reparatur günstiger und belastet die Umwelt erst noch weniger.

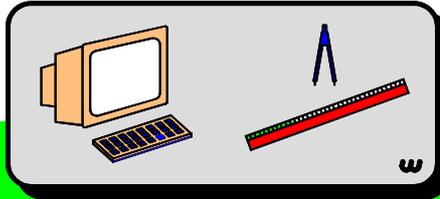
Alle diese Reparaturen sind nur nötig wenn das Teil durch unnatürlichen äusseren Einfluss zerstört wurde. Ansonsten kann ein Teil so konstruiert und gebaut werden dass es für seine Einsatzzeit hält!

Ich verweise hier zu diesem Kapitel an die einschlägige Literatur die hauptsächlich im „Hobby-Bereich“ zu finden ist. Dennoch ist ein zusammenlaminiern von GFK Teilen kein „Flick“, sondern ein homogenes Zusammenfügen.



*Bild 18.01*

*Schematische Darstellung einer Reparatur eines GFK Laminates*

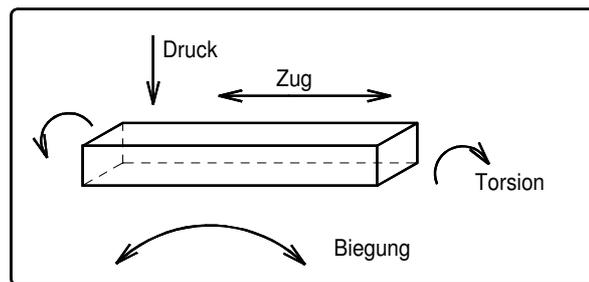
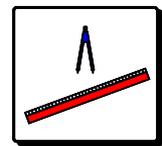


## Berechnen von Kunststoffteilen

Es wäre verhalten hier auf 3 Seiten aufzuzeigen wie man ein Kunststoffteil berechnet. Dafür sind die Ingenieurschulen da. Es sollen hier nur einige Grundsätze vermittelt werden.

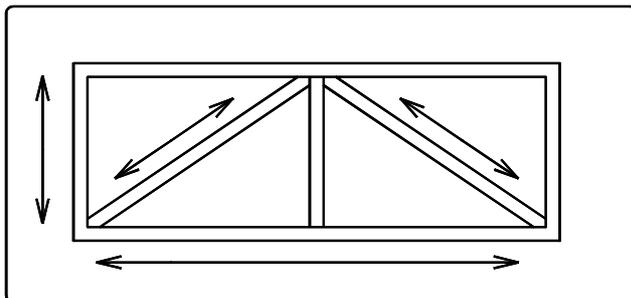
### Allgemein

Das berechnen von Formteilen aus Duroplast geschieht nach den gleichen Gesetzen wie bei Stahl oder Alu. Hier wie dort können mit den im nachfolgenden Kapitel aufgeführten Technischen Daten nur „gerade“ Teile berechnet werden



*Bild 19.01*

*Kräfteeinwirkungen*



*Bild 19.02*

*Aus „geraden Berechnungselementen“ bestehende räumliche Gebilde und Fachwerk-Konstruktionen sind mit Ingenieurwissen problemlos zu berechnen.*

Bei Schweisskonstruktionen ist auf die Ausführung der Schweissnähte ein besonderes Augenmerk zu richten, analog ist bei den Klebfugen vorzugehen. Es sei hier festgehalten dass viele Verbindungsarten nur mit Klebetechnik möglich sind.

Selbstverständlich können Formteile mit geraden Flächen in derselben Art berechnet werden. Infolge des kleinen E-Moduls von Kunststoffen unbedingt den Beulfaktor im Auge behalten.

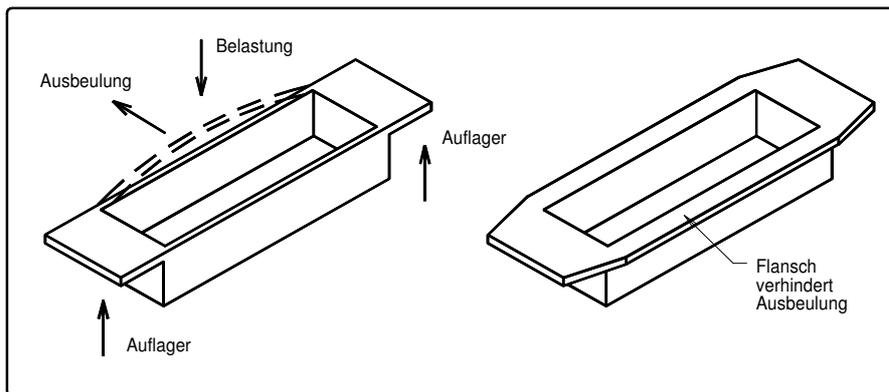
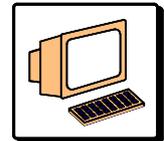


Bild 19.03

Möglichkeit zur Verbesserung der Beulfestigkeit

## Computerberechnungen

Bei räumlichen verformten Teilen wird die Berechnung mit den allgemein Formeln schwierig bis unmöglich. Da können Computerprogramme - Finite Elemente - behilflich sein. Doch die sind auch keine Allerweltsmittel, sie müssen zuerst programmiert werden.



Ein Beispiel:

Sie bauen für ein Auto einen Kotflügel und noch einen weiteren, aber in allen Dimensionen doppelt so gross. Beide messen Sie aus Zug, Druck, Biegefestigkeit etc. Wenn Sie dann diese Daten dem Computer „füttern“ kann er Ihnen die Werte dazwischen berechnen. Mit 5 Grössen wird die Berechnung genauer. Natürlich können die heutigen Computerprogramme alles Abschnittsweise (Elemente) berechnen und das räumlich, 3-dimensional.

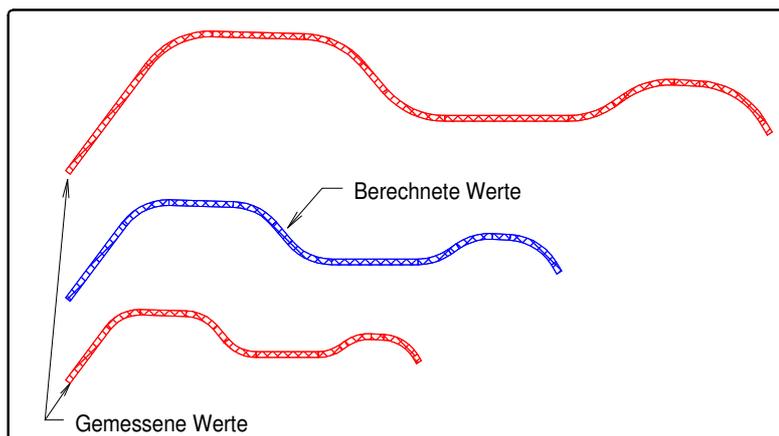


Bild 19.04

Grundprinzip der Computerberechnungen

Berechnungen sind immer mit Vorsicht zu geniessen. Ein Ingenieur „baut“ gerne noch einen Sicherheitsfaktor ein damit für ihn ja nichts schief laufen kann. Auf der anderen Seite wird gerne in Unkenntnis zu wenig stark dimensioniert. Wichtig beim Berechnen von Teilen ist das Anforderungsprofil. z.B. :

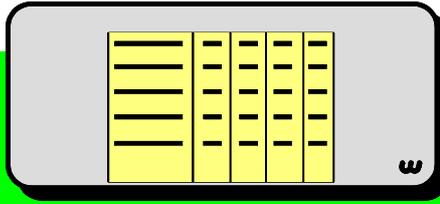
Forderungen	Mechanische Werte Elektrische Werte Chemische Beständigkeit Lebensdauer (bei richtigem Einsatz meist vernachlässigbar) Thermische Isolation Akustische Isolation
Vorgaben	Statische und / oder dynamische Belastung Einsatztemperatur Innen- oder Aussenraumanwendung Berührungsmedien (Gase, Flüssigkeiten)

Wird auf vielen Gebieten Neuland betreten ist es auch unter Zuhilfenahme von Computermodellen meist sinnvoll, Versuche durchzuführen um die Konstruktionen zu optimieren.

Bei Sandwichelementen ist die Berechnung noch schwieriger da das Verhältnis von Schaum- oder Wabenkern zu den Deckschichten genau stimmen muss um eine optimale Konstruktion zu erhalten.

Eine langjährige Erfahrung des Lieferanten ist bei der Realisierung von neuen Produkten von enormem Vorteil.

# Tech. Daten

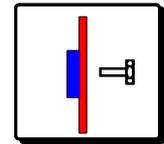


Einige Daten von Duroplasten im Vergleich zu Metallen.

			Glasfaserverstärkte Duroplaste			Metalle	
			Polyester	NEONIT	REMEL	Alu	Stahl
		Einheit					
<b>Glasgehalt</b>		%	25 bis 55	30 bis 60	25 bis 40		
<b>Dichte</b>		g/m <sup>3</sup>	1,6 - 1,8	1,7 - 1,9	2	2,7	7,8
<b>Zugfestigkeit</b>	DIN 53455 ISO 3268	N/mm <sup>2</sup> MPa	100 - 170	100 - 150	55	150 - 280	300
<b>Druckfestigkeit</b>	DIN 53454	N/mm <sup>2</sup>	150 - 170	300 - 900		70 - 110	500
<b>Biegefestigkeit</b>	DIN 53452 ISO 178	N/mm <sup>2</sup> MPa	160 - 250	180 - 300	160	250 - 400	300
<b>E - Modul</b>	DIN 53457 ISO 178	N/mm <sup>2</sup> MPa	8 - 12 000	16 - 25 000	20	55 - 70 000	210 000
<b>Einsatz- temperatur</b>		°C	-60 - +180	-60 - +180	-60 - +250		
<b>Längen- ausdehnung</b>		mm/°C	25-40 x 10 <sup>-6</sup>	15-20 x 10 <sup>-6</sup>	20 x 10 <sup>-6</sup>	24 x 10 <sup>-6</sup>	15 x 10 <sup>-6</sup>
<b>Bruchdehnung</b>	DIN 53455 ISO 178	% %	1,5 - 2	1,8 - 3,5	2	3	18
<b>El. Durchschlag- festigkeit</b>	DIN 53481	KV/cm	80 - 200	120 - 200	290		

Alle Angaben sind Richtwerte und ohne Gewähr

Nicht immer können oder dürfen durchgehende Schrauben verwendet werden. Mittels einer Einlage aus Stahl oder GFK kann die Krafteinleitung in das Laminat sauber gelöst werden. Wenn das Gewindeloch durchgehend sein darf bohrt man es am günstigsten nachträglich.



Dicke Stahl Einlage d x 0.8,  
 Dicke GFK (je nach Qualität der Platten) d x 2 bis 3

Folgende Messungen wurden an Polyesterplatten mit 30 % Glasfaseranteil (Matten) vorgenommen.

Obwohl heute in allen Tech. Daten die Werte in N/m<sup>2</sup> oder MPa angegeben werden, sind die Ausreisskräfte (die Schraube wird aus dem Stahl oder GFK Laminat herausgezogen) in Kp angegeben da man sich unter einem Kg besser etwas vorstellen kann als unter einer N.

zum Vergleich:

Eine Tetra Packung wiegt netto 1 Kg, ebenfalls ein normaler Laib Brot !

**1 Kg  $\cong$  1 Kp  $\cong$  10 N**

**Ausreissversuche:**

<b>M Schrauben Stahl 8.8</b>		
$\varnothing$	<b>Stahl</b>	<b>GFK</b>
mm	d x 0.8	d x 2.5
4	800	800 Kp
5	900	900 Kp
6	1000	1000 Kp
8	2800	2500 Kp

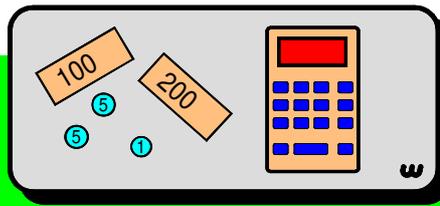
Grössere Schrauben als M 8 sollten nicht direkt in GFK eingewindet werden

<b>Duro PT Schrauben</b> (spezielle Schrauben zum direkten einschrauben in Duroplaste)	
$\varnothing$	<b>GFK</b>
mm	d x 2.5
3	380 Kp
4	700 Kp
5	990 Kp
6	1380 Kp
8	1820 Kp

<b>Blechschraben</b> (selbstgewindend)	
$\varnothing$	<b>GFK</b>
mm	d x 2.5
2.9	360 Kp
3.5	650 Kp
4.8	950 Kp
5.5	1250 Kp
6.3	1420 Kp

Alle Angaben sind Richtwerte und ohne Gewähr.

# Wirtschaftlichkeit



Ich habe dieses Kapitel bewusst an den Schluss gesetzt. Es ist zwar richtig und auch im Kapitel 6 ausdrücklich erwähnt, am Anfang steht meistens der Preis. Aber wenn man sieht, wie heute studierte Manager nur mit Kosten und Preisen operieren, aber über deren Ursachen keinen blassen Schimmer haben, stimmt mich das bedenklich. Wenn ein Coiffeur, ohne dass ich im geringsten etwas gegen diese Berufsgattung habe, ein Haus bauen sollte, käme das meist schief raus. Umgekehrt, auch mit den gleichen Attributen, ein Architekt nimmt einen Haarschnitt vor, man könnte anschliessend ein ganzes Treppenhaus bewundern.

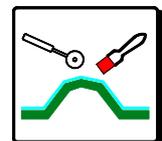
Deshalb muss man, bevor man sich mit Kosten herumschlägt, mindestens eine Ahnung über die ganze Materie haben. Er muss in unserem Fall nicht Fachmann (Frau) sein in der Kunststoffverarbeitung. Nach Studium dieses Buches sollten aber doch einige Grundkenntnisse vorhanden sein um mit dem Kunststoff - Teilehersteller dieselbe Sprache sprechen zu können.

## Vergleichen von verschiedenen Varianten

10 000 Gehäuse in der Grösse einer Schuhschachtel mit vielen Gewinde-Einsätzen oder 5 küchentischgrossen Abdeckungen mit Verstärkungsrippen die richtige Verfahrenstechnik zuzuordnen ist kein Problem. So einfach ist es aber nicht immer. Vielfach muss auch der versierte Fachmann 2 bis 3 Varianten durchrechnen bis die vernünftigste Lösung gefunden wird. Und hier kann der Konstrukteur oder der Designer viel zu der Preisgestaltung beitragen indem er Kompromissbereitschaft zeigt.

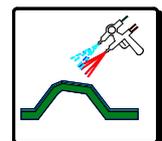
## Handlaminat

Gut geeignet für kleine Serien, hoch beanspruchte, aber nur einseitig glatte Teile sowie für Prototypen, weniger für grosse Serien.



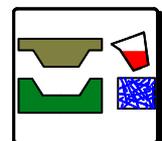
## Faserspritzen

Anwendung sehr beschränkt da die Wandstärke sehr unterschiedlich ist.



## Nasspressen

Sehr geeignet für Behälter, Teilegrösse von der Presse abhängig.



## RIM, RTM, RIM/RTM

Für grossflächige Bauteile geeignet. Da meist nicht auf fixen Formenträger aufgebaut, ist die Grösse praktisch nur durch die Fliesswege und Menge des Harzes beschränkt.



## SMC

Für mittlere bis grosse Serien, ergeben die genauesten Teile und die beste Reproduzierbarkeit. Sehr geeignet bei vielen Gewindeeinsätzen.



## Formteile aus Duroplast von Wernli AG

Seit über 35 Jahren stellt Wernli AG Formteile in den vorgängig beschriebenen Verarbeitungstechniken her. Vieles, was bei Wernli entwickelt wurde, ist heute in der Branche üblich, denken wir nur zum Beispiel an die SMC Verarbeitung mit Graugusswerkzeugen. Deshalb sprechen Sie schon bei Konstruktionsbeginn mit den Fachleuten, kommen Sie zu



**wernli** 99

5277 Hottwil

Text, Zeichnungen  
Layout

© Rolf Wernli 1998

Fotos

Wernli AG  
Ascom  
Bucher  
SBB