

## Dokumentation zum Entwurf und zur Erstellung der Glasfaserformen

### Einleitung

Zu Beginn des Projektes waren die Formen und die Anzahl der Schablonen zur Erstellung der Draisine nicht bekannt. Hierzu mussten im Rahmen des Projektes optimale Formen, zur vollständigen Belegung der Draisine, gefunden und mittels Gewebetüchern getestet werden. Die Vorgehensweise der bei der Erstellung der Formen resultierte zum einen aus den Wünschen und Anforderungen von Herrn Professor Walter und zum anderen aus den Informationen, welche über die Verarbeitung von Glasfaserwerkstoffen, eingeholt wurden. Im Folgenden werden die unterschiedlichen Entwurfsaspekte zur Erstellung der Schablonen ausführlich erläutert.

### Anforderungen durch Herrn Professor Walter:

Anhand der Erfahrungen die Herr Prof. Walter während der Zusammenarbeit mit den Schülern beim Laminieren der Draisinen gemacht hat lautet die Anforderung, dass möglichst groß ausgeführte Schablonenformen verwendet werden sollen. Die Schüler kamen mit den großen Schablonenformen besser zurecht und empfanden diese als einfacher zu laminieren.

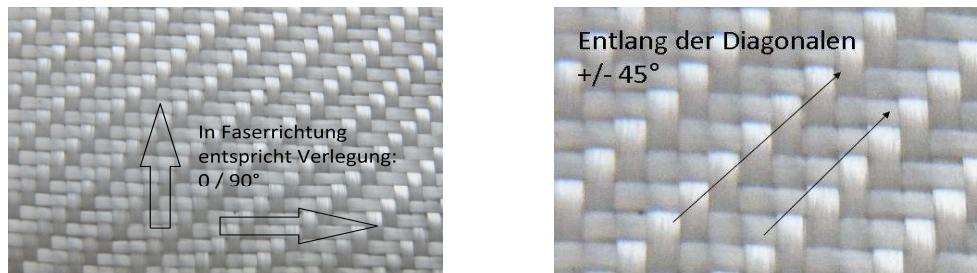
### Hinweise zum Entwurf der Glasfasermatten von der Firma R&G:

Da in der Draisine unterschiedliche Belastungen auftreten (Biegung, Zug, Druck und Torsion) musste im Voraus recherchiert werden wie diese Belastungen mittels unterschiedlichen Ausrichtungen der Glasfasermatten optimal aufgenommen werden können. Diese Informationen wurden im Rahmen des Projekts bei der Firma R&G (spezialisiert auf Faserverbundwerkstoffe) eingeholt.

Die hierzu gestellte Frage bezüglich der Verlegungsvarianten bei unterschiedlichen Belastungsarten wurde wie folgt beantwortet.

„Biegebelasten (auch Zug und Druck) werden in der Regel über die in Biegerichtung orientierten Fasern ( $0^\circ$ ) aufgenommen, während Torsionslasten nur über  $\pm 45^\circ$  orientierte Fasern zu handeln sind.“<sup>1</sup>,

Auf Basis dieser Antwort sind die Schablonen auf die an den jeweiligen Stellen vorkommenden Belastungsarten, entweder in einer  $0^\circ/90^\circ$  oder  $\pm 45^\circ$  Verlegung, ausgelegt.



**Bild 1. / 2.: Beispiele zur  $0^\circ / 90^\circ$  und  $\pm 45^\circ$  Faserorientierung bei Glasfasermatten**

Auf die Frage bezüglich der Form der Glasfaserschablonen, lautete die Antwort:

„Von der Handhabung sind definitiv die kleineren Zuschnitte besser. Je nach Geometrie des Bauteiles und der aufzubringenden Laminatdicke kann es aber durchaus Sinn machen, die Lage möglichst großflächig und ohne Überlappungen zu legen.“<sup>2</sup>

Aufgrund dieser Antwort stellte sich ein Konflikt zwischen den Anforderungen von Herrn Professor Walter und dem Vorschlag der Firma R&G heraus.

Um diesem Konflikt gerecht werden zu können, entschied man sich eine Zwischenlösung zu entwickeln, die sowohl große zu laminierende Flächen beinhaltet sowie auch die Forderung, diese ohne Überlappungen zu Verlegen. Überlappungen so heißt es, „...verursachen unterschiedliche Wandstärken und dadurch entsprechende Steifigkeitssprünge. Das kann wiederum Sollbruchstellen provozieren.“

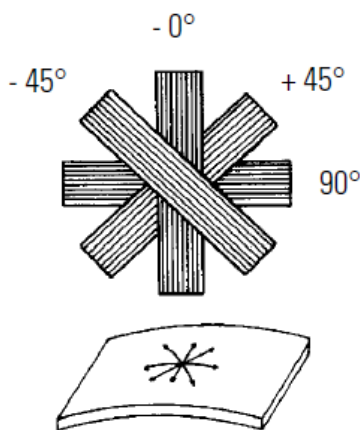
---

<sup>1</sup> Kuehn, Stefan (2011). Re: Frage zum Laminieren von Glasfasermatten  
E-Mail: stefan.kuehn@r-g.de (11-01-03)

<sup>2</sup> Kuehn, Stefan (2011). Re: Frage zum Laminieren von Glasfasermatten  
E-Mail: stefan.kuehn@r-g.de (11-01-03)

Darüber hinaus werden die Oberflächen stark wellig und erfordern eine deutlich größere Nacharbeit<sup>3</sup>. In dem Entwurf der Schablonen wurde dies speziell in den Bereichen mit Biegebelastungen berücksichtigt darüber hinaus ist hierzu eine Verlegung auf Stoß im Belegungsplan empfohlen worden.

Anhand der gewonnenen Informationen wurde die Gewebedicke auf zwei Gewebelagen festgelegt. Ausnahmen hierbei sind hoch belastete Stellen, wie z.B. der Bereich der Lenkkopfstange, der mit bis zu vier Gewebelagen vorgesehen ist. Die Festlegung zur Anzahl der Gewebelagen basiert auf der Grundlage, dass der einfachste „quasiisotrope Laminataufbau“<sup>4</sup> aus zwei Gewebelagen, bei der die erste unter  $0^\circ / 90^\circ$  und die zweite unter  $\pm 45^\circ$  orientiert ist, besteht.



Das Ergebnis eines solchen Aufbaus, ist im nebenstehenden Bild zu sehen. Hierbei wird mit einem quasiisotropen Laminataufbau, die Materialeigenschaft eines isotropen Werkstoffes simuliert. Isotrope Werkstoffe sind in ihren Eigenschaften Richtungsunabhängig während Glasfaserwerkstoffe eine Vorzugsrichtung bezüglich ihren Materialeigenschaften aufweisen. Um diesen Effekt zu verhindern muss die Draisine im Grundaufbau auf alle vorkommenden Belastungsarten ausgelegt werden.

**Bild 3.: quasiisotroper Laminataufbau**

(Quelle: <http://download.r-g.de/tuev.pdf>; 27.02.2011)

<sup>3</sup> Kuehn, Stefan (2011). Re:Re: Frage zum Laminieren von Glasfasermatten  
E-Mail: stefan.kuehn@r-g.de (11-01-04)

<sup>4</sup>.Quasiisotropie beschreibt in der Werkstoffkunde Materialien mit scheinbarer Isotropie.

Isotropie (griech. : isos gleich; griech.: tropos Drehung, Richtung) bezeichnet die Unabhängigkeit einer Eigenschaft von der Richtung.

(Quelle: <http://download.r-g.de/tuev.pdf>; 27.02.2011)

## Schablonenerstellung

Die Entscheidung nach der Auswertung der vorhandenen Informationsquellen, führte zu einer Kompromiss Lösung bezüglich der Grundformen der Glasfaserauschnitten.

Die Überlegung bestand nun darin, wie eine möglichst realitätsnahe Situation geschaffen werden kann. Denn nur wenn man die gedachten Grundformen auf den Draisinen Styropor Rumpf beispielhaft laminiert, werden die kritischen Zonen sichtbar. Jedoch kann es gut möglich sein, dass manche gut geglaubten Formen nicht realisierbar sind und somit



**Bild 4.: Ausschneiden der Gewebematten**

verändert oder verworfen werden müssen. Aus diesem Grund können aus finanziellem Mitteln keine Glasfaser-matten verschnitten werden, sondern muss eine alternative Lösung gefunden, die annähernd dieselben Eigenschaften aufweisen. Nach einiger Bedenkzeit wurden Gewebematten als passend befunden und als Versuchs-material verwendet. (Siehe Bild Nr.4)

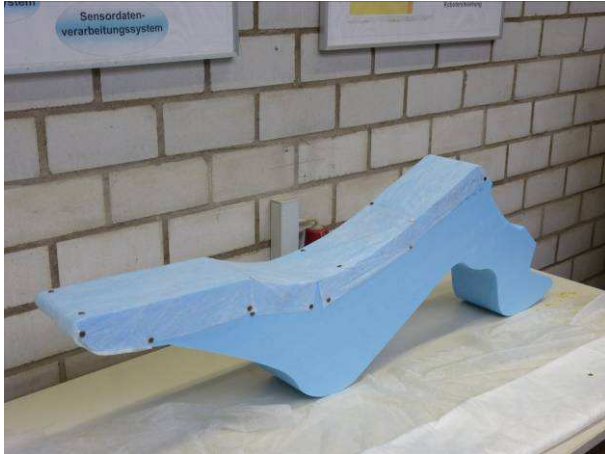
Der nächste Schritt besteht darin, die Grundformen ins Detail festzulegen. Hierbei gilt zu beachten, dass die Formen nicht zu komplex, zu klein, zu groß und gegen Verwechslung gesichert werden müssen. Um eine Verwechslungsgefahr ausschließen zu können, wird die Seitenansicht, Draufsicht, sowie die Unteransicht der Draisine als Form gebende Schablone verwendet. (Siehe Bild Nr. 5) Diese werden mit jeweiligem Überstand von ca. fünf



**Bild 5.: Seitenansicht zur Erstellung der Grundform**

Zentimetern zu der angrenzenden Ansicht verwendet. Bei ähnlichen Formen werden die Ecken zur Identifizierung abgeschrägt. So entstehen Formen, die eine, zwei, drei oder sogar alle vier Ecken mit Schrägen aufweisen.

Ein weiterer Punkt der erst bei der Probelaminierung (auftragen der Gewebematten auf den Styropor Rumpf mit Befestigungshilfen von Reißnägeln) bemerkbar wurde, lag in den Materialanhäufungen sowie in Spannungsaufbauten der jeweiligen Form. Spannungsaufbauten werden mit Einschnitten an den Problemstellen gelöst, um eine saubere, deckungsgleiche Auflage von Grundform und Rumpf garantieren zu können. Materialanhäufungen, die meist an Endpositionen von Rundungen auftreten, müssen mit Materialentfernung behoben werden. Ein Beispiel hierfür ist ein Dreiecksausschnitt in der jeweiligen Form.



**Bild 6.: Positionierung mittels Reißnägeln auf dem Styropor Rumpf der Draisine**



**Bild 7.: Beispiel zur Materialanhäufung**

Ein positiver Aspekt, der erst bei der Probelaminierung entdeckt wurde liegt darin, dass die Einschnitte sich als gute Positionierhilfen aufzeigen. Anhand dieser Entdeckung kann im



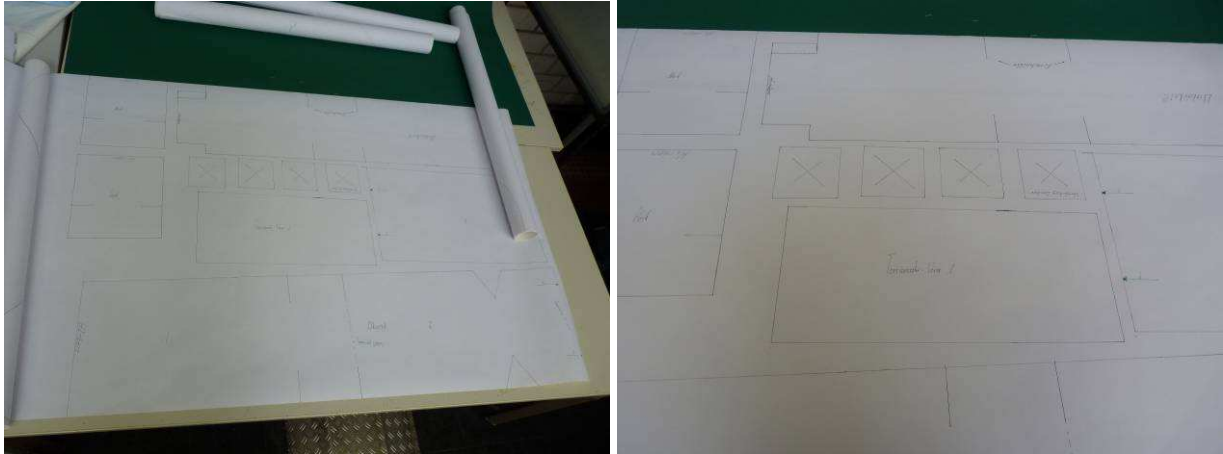
**Bild 8.: Einschnitte als Positionierhilfen**

Gewebelagenbuch auf markante Positionspunkte bezüglich Einschnitte und Rundungen hingewiesen werden.

Nach der Festlegung der Grundformen für die Glasfaserausschnitte, muss eine optimale Darstellungsform hinsichtlich Programmierung des Kuka Roboters gewählt werden. Hierbei liegen nicht nur die „Teach-In Eigenschaften“ für den Roboter im Vordergrund, sondern auch die Wirtschaftlichkeit bezüglich des Glasfaserverschnittes. Aus diesem Grund werden

einige Formen in ihrer Größe geteilt, um sie besser in ihren Faserausrichtungen ( $0^\circ/90^\circ$  oder  $\pm 45^\circ$ ) auf den vorhandenen Glasfasermatten platzieren zu können.

Um diese Eigenschaften bestmöglich umsetzen zu können, werden alle Grundformen auf ein Papierblatt (Siehe Bild Nr. 9/10) maßstabsgetreu übernommen. Dieses Blatt besitzt dieselben Abmaße, wie die gekaufte Schneidunterlage und stellt somit für den Bewegungsbereich des Roboters keine Probleme dar.



**Bild 9. /10.: Beispiele der Papierschablonen**

Ein weiterer Unterschied besteht in der Anzahl der Grundformen zum Laminiervorgang einer Draisine. So werden Formen bis zu achtmal (Hinterrad- und Vorderradschwinge) oder nur einmal (Unterteil) in jeder Faserausrichtung ( $0^\circ / 90^\circ$  oder  $+ / - 45^\circ$ ) benötigt. Um dieser Problematik entgegen wirken zu können, werden zwei von den insgesamt acht Schablonenblättern zweimal nacheinander ablaufen.

Nach diesen Vorarbeiten liegt der nächste Schritt nun darin, die Schablonenblätter in die Programmiersprache des Kuka Roboters umzuwandeln und ein Gewebelagenbuch für die jeweiligen Grundformen auf dem Rumpf der Draisine zu erstellen.

#### Gewebelagenbuch

Damit die insgesamt die neun Formen an ihren vorgesehenen Platz und in richtiger Reihenfolge laminiert werden, ist auf den nachfolgenden Seiten ein Gewebelagenbuch aufgeführt. In diesem wird sowohl in Worten als auch in Bildern der Laminiervorgang schrittweise dokumentiert und beschrieben. Jedoch sollte dieser nicht als unbedingtes Muss, sondern als begleitende Laminierhilfe angesehen werden. Denn bei abweichendem Laminieren von Grundformen kann es zu Verschiebungen von Anfangs- und Endpunkten, sowie deren Einschnitten auf der Draisine kommen. Dies stellt kein unmittelbares Problem dar, es kann lediglich zu Spannungen und oder Materialanhäufungen führen, die gegebenenfalls und nach eigenem Ermessen entfernt werden müssen.

Die Reihenfolge des Laminiervorganges besteht zunächst aus der  $0^\circ / 90^\circ$  Schicht und darauf aufbauend mit der  $+ / - 45^\circ$  Schicht. Nach Beendigung des Laminierens, sollte die Draisine an jeder Stelle mit mindestens zwei Glasfaserschichten bezogen sein und somit den Belastungsansprüchen genügen.