



LBS für Bootsbauer



Berufsschule der
Handwerkskammer Lübeck

LF 13T: Boote mit Rigg-Systemen ausrüsten und Instand halten

Grundlagen Rigg

Datum:
07.06.2022

Klasse:
BO 19.5T

Das Rigg

Segeljachten benötigen das Rigg um die Segelfläche aufzuspannen. Optimaler Weise haben das Rigg sowie die Segel ein niedriges Gewicht und sind formstabil. Doch wie kann das gehen?

Das Rigg besteht aus den Spieren, dem Mast, dem stehenden und dem laufenden Gut. Der Mast steht auf dem Boot und soll die Segelfläche hochhalten, häufig wird die Segelfläche noch mit anderen „Spieren“ aufgespannt (z. B. der Gaffel, dem Baum, der Spriet, dem Bugspriet oder dem Spinnakerbaum etc.).

Je nach Größe muss der Mast durch Abspannung vor dem Umfallen und Knicken geschützt werden. Diese Abspannungen werden auch Verstägung genannt oder als stehendes Gut bezeichnet.

Das **stehende Gut** teilt sich auf in **Wanten**, die den Mast in Schiffsquerrichtung abspannen und in **Stage**, die den Mast in Schiffs längsrichtung abspannen.

Als **laufendes Gut** bezeichnet man alle Leinen, die zum Bedienen der Segel eingesetzt werden (z. B. **Fallen**) und die bei Kursänderungen den Anstellwinkel der Segel zum Wind verändern (z. B. **Schoten** und Strecker).

Die Anzahl der Salingspaare und die Art der Verstägung tragen zu der Reduzierung des Biegeverhaltens in Schiffquer- und Schiffs längsrichtung bei. Doch zunächst soll im folgenden Text erst einmal das Material und die Form des Mastprofils analysiert werden.

Damit der Mast die Kräfte aus dem Segel aufnehmen kann, muss sein Material auf die Belastung abgestimmt werden. Auch die Form des Mastes hat einen entscheidenden Einfluss auf die Biegesteifigkeit.

Mastmaterialien:



Beispiel für einen Holz-Mast,



...einen Alu-Mast



und einen CFK-Mast

Holz ist als Material für Masten geeignet. Gerade in der Szene für klassische Jachten erlebt der Holzmastbau wieder eine Renaissance. Im Gegensatz zu früheren Holzmasten, müssen heutige nicht mehr schwer sein, sondern sind durch verleimte Hohlprofile sehr biegesteif und trotzdem leicht. Moderne Klebverfahren machen diese Masten bei guter Pflege auch dauerhaft haltbar. Eine entsprechende Verstägung bietet genug Halt, um die Mastbiegung zu kontrollieren.

Vorteile	Nachteile
bei klassischen Jachten: authentische Erscheinung im Gesamtbild	keine genaue Reproduktion möglich aufgrund des natürlichen Werkstoffs
bei Defekt können Teil ausgetauscht und repariert werden	hoher Pflegeaufwand (dann lange Nutzungsdauer 15-25 Jahre)
keine Korrosion mit einfache Montage von Beschlägen Metallen	aufwendige Verstägung/ stärkeres Profil erforderlich, um Biegung zu reduzieren
	hohes Gewicht durch größere Mast-Querschnitte im Vergleich zu anderen Werkstoffen

Aluminium ist ein Leichtmetall und kann in unterschiedlichen Legierungen in Profile gepresst werden. Die Oberfläche von Masten wird veredelt (eloxiert), sonst kommt es unter Bewitterung zu Korrosionsschäden. Das Profil kann in der Regel nicht selbst hergestellt werden, sondern wird eingekauft und dann bearbeitet.

Vorteile	Nachteile
relativ wartungsarm	galvanische Korrosion mit anderen Metallen (z. B. Schrauben, Nieten, Beschlägen)
biegesteif (profilabhängig)	Schäden in Form von Beulen, Korrosion können nicht repariert werden
mittleres Gewicht	kann Geräusche unter Windlast erzeugen (Singen, Pfeifen, Klappern von Kabeln, Leinen im Mast, Eigenschwingung)
einfache Verlegung von Kabeln für Geräte am Masttop	
Leinen werden innen geführt und reduzieren so den Windwiderstand	
hohe Lebenserwartung (ca. 20 – 30 Jahre)	

CFK (Kohlenstofffaserverbundwerkstoff) ist ein sehr steifer Verbundwerkstoff, der aufgrund seiner geringen Dehnung und der sehr hohen Zugfestigkeit kleiner dimensioniert werden kann, als die oben genannten Werkstoffe. So ergeben sich sehr leicht Mastprofile. Gewickelte oder laminierte Mastprofile können individuell verstärkt werden. Bohrungen schwächen das Profil, daher werden Anschlüsse häufig in das Laminat integriert oder später angesetzt. Es kommt zwischen Carbonfasern und Nirobeschlägen zu Korrosion, daher ist auf die Verwendung von Trennmitteln und Buchsen zu achten.

Vorteile	Nachteile
sehr niedriges Gewicht	UV-empfindlich (Epoxidharz), lackieren wird empfohlen
sehr biegesteif	Korrosion in Verbindung mit Metallen aufgrund der Leitfähigkeit von CF
hohe Zugfestigkeit	Montage von Beschlägen aufwendiger als bei Aluminium-/Holzmasten
	relativ geringe Lebenserwartung (je nach Belastung zwischen 5 und 15 Jahre)
	sehr teuer

Herstellung zu sehen im YouTube-Video: <https://www.youtube.com/watch?v=i-jrqN6V1ns>

(How Carbon Fibre Sailboat Masts are made - Distant Shores)

<https://youtu.be/RIE5OtvYZnA>

(Axxon Composites - Carbon mast with carbon rigging Grand Soleil 80)

<https://youtu.be/MUBgd0FNc6E>

(Axxon Carbon Masts - Visit the factory)

https://youtu.be/5R986_I_WWE

(Carbon mast production with laser projection)

Technische Daten dieser Mast-Materialien im Vergleich:

Für die Vergleichbarkeit unter Zugspannung kann der **Elastizitätsmodul** als ein Materialkennwert aus der Werkstofftechnik herangezogen werden. Er beschreibt den Zusammenhang zwischen Spannung und Dehnung bei der Verformung eines festen Körpers. Das heißt der E-Modul gibt den Widerstand des Materials gegen Verformung an, also bedeutet das je größer ein E-Modul ist, um so formstabiler ist ein Werkstoff.

Das Elastizitätsmodul wird mit E-Modul oder als Formelzeichen mit E abgekürzt und hat die Einheit einer mechanischen Spannung. Der Plural von „der Elastizitätsmodul“ lautet „die Elastizitätsmoduln“.

E-Moduln der Mastmaterialien im Vergleich:

Holz (in Faserrichtung): $E = 7 - 20 \text{ kN/mm}^2$ (abhängig von der Holzart)

Aluminium: $E = 70 \text{ kN/mm}^2$

CFK (in Faserrichtung): $E = 150 \text{ kN/mm}^2$

Zur Veranschaulichung, was dieser Wert bedeutet:

Ein Carbonmast kann 1.5 mal so stark verformt werden wie ein Alumast. Wenn diese Grenze überschritten wird, wird ein Alumast permanent verformt bleiben. Ein Carbonmast wird in solchem Fall spröde brechen. **Aber er bricht erst bei 50% größerer Verformung, als der Alumast insgesamt verträgt!**

(Quelle: Trimmanleitung von der Firma Nordic Mast DK, heute Southern Spars).

Video zum Biegeverhalten von Carbonmasten am Beispiel eines Carbon-Surfmastes:

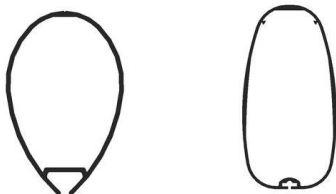
<https://youtu.be/36ppztCQew0> (Unifiber Masts Break Test)

Form der Masten: Mastprofile

Nicht nur das Material hat Auswirkungen auf das Biegeverhalten, sondern auch die Form des Mastes.

Ältere Mastprofile haben einen ovalen oder tropfenförmigen Querschnitt. Ihre Form galt lange als sehr aerodynamisch. Leider sind diese Profilformen wenig biegesteif. Um die Biegesteifigkeit zu erhöhen, haben sich bis heute sogenannte Bullet-Profile (bullet, engl. = Projektil) aus Aluminium durchgesetzt. Sie haben zur Erhöhung der Biegesteifigkeit in Schiffslängsrichtung längere Seiten und nahezu kantige Ecken an der Hinterkante des Mastes. Unter dieser Form leidet zwar die Anströmung und es kommt zu Verwirbelungen, dafür ist der Mast erheblich steifer in Schiffslängsrichtung.

Bei Holzmasten wird eine Nut/Göhl auf die Hinterkante geleimt, um eine Profilleine aufzunehmen und so das Vorliek zu führen. Bei großen Holzmasten wird mit Rutschern gearbeitet, die auf einer aufgeschraubten Metallschiene geführt werden.



ovales Profil
mit Göhl

Bulletprofil
mit Göhl

In Aluminiumprofilen wird diese Nut/Göhl beim Profil ziehen eingearbeitet. In dieser Vertiefung können sowohl Rutscher als auch Profilleinen geführt werden. Welche Variante bevorzugt wird, hängt von der Länge des Vorlieks und der damit verbundenen Reibung ab. Aber auch der Anspruch an die optimalen aerodynamischen Verhältnisse sowie das Handling beeinflussen die Auswahl.

Abbildung von Mastprofilen

In vielen Aluminiumprofilen werden zusätzliche Stege eingebaut. Die so abgeteilten „Kammer“ dienen nicht der Aussteifung des Profils, sondern zur Aufnahme von Kabeln und Leinen. Dadurch kann der Mastbauer verhindern, dass es zum Klappern bei Mastbewegungen kommt.

Auch Wasser findet durch die Öffnungen am Mast (z. B. Fallaustritte, Einhängeöffnungen für Wanten und Stagen) seinen Weg evtl. bis ins Innere der Jacht. Durch den Einbau einer „Staubebene mit Austritt“ wird es gezielt über Deck ableiten.



Bei CFK-Mastprofilen werden Bauteile an das Profil nachträglich angeklebt, um die Gefahr von Korrosion zu verringern.

Mit Hilfe von Computerprogrammen können unterschiedliche Lastfälle simuliert werden. Potentielle Schwachstellen werden lokalisiert. Hier können bei dieser Fertigungstechnik Verstärkungen eingearbeitet werden, ohne dass das gesamte Profil verstärkt wird. Es entsteht ein leichtes biegesteifes

