



Segelforschung



- [Physik für Segler ohne Ballast](#)

Zwischenbericht 1998

Das Ziel unserer Forschung ist es, eine Meßeinrichtung zu entwickeln, mit deren Hilfe alle am Segel auftretenden Kräfte, die für die Fahrtleistung entscheidend sind, zu bestimmen. Um eine solide Grundlage für die Konstruktion dieser Testeinrichtung zu haben, war es für uns notwendig, die beim segeln auftretenden Kräfte zu messen. Dabei ging es zum einen darum, die Größe der zu verwendenden Kraftmeßeinrichtung zu dimensionieren und zum andern herauszufinden, welche Kräfte tatsächlich für die Segelleistung entscheidend sind und welche eher vernachlässigt werden können. Darüber hinaus wollten wir herausfinden, wie groß die Bedeutung der durch Seegang bedingten Bewegung ist. Um diese Werte zu ermitteln, rüsteten wir ein Testschiff mit einem neuen Rigg aus, das mit einer Anzahl von Meßeinrichtungen ausgestattet war. Folgende Kräfte konnten an dem Rigg ermittelt werden. Der Zug im Großsegelfall, der Zug im Genuafall, der Zug im Oberwant, Zug im Vorstag, Zug im Achterstag, die Durchbiegung des Großbaums und somit auch der Zug im Achterliek des Großsegels und die Durchbiegung des Mastprofils im mittleren Bereich. Zusätzlich wurde das Schiff mit einer präzisen Windmeßanlage ausgerüstet, die uns Aufschluß über Windgeschwindigkeit und Windrichtung gab. Alle analogen Meßsignale wurden über ein Interface in einen seriellen Datenbus eingespeist. Die Meßwerte wurden mit einer Abtastrate von 2 Hz in einem Rechner gespeichert.

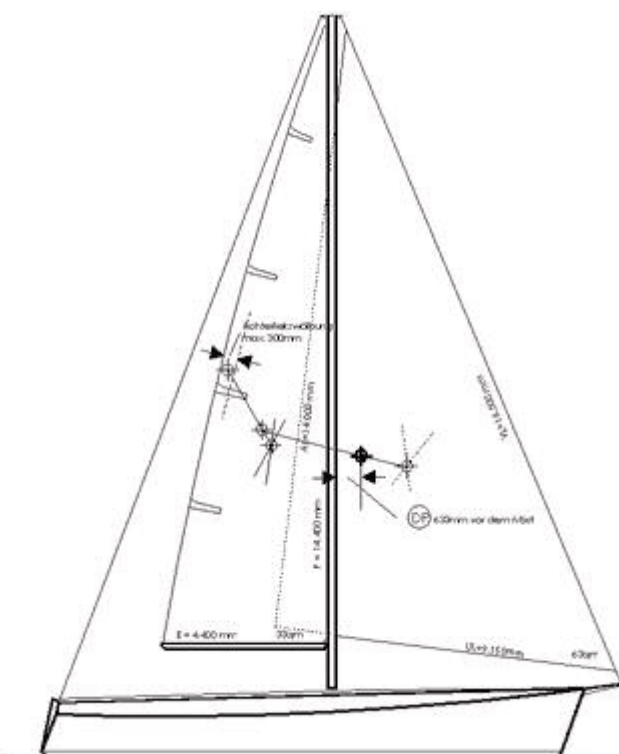
Die Testfahrten wurden größtenteils auf dem IJsselmeer und auf der Nordsee vor Texel und Ameland durchgeführt. Bei den zahlreichen Meßfahrten konnten wir die auftretenden Kräfte bei einem Wind von 6-48 Knoten ermitteln. Die Auswertung der Meßergebnisse brachte für uns in zweierlei Hinsicht ein interessantes Ergebnis. Wir konnten feststellen, daß sich die Kräfte im Rigg immer fast proportional zur Windgeschwindigkeit verhalten. Das heißt, für Laständerungen, die durch seegangsbedingte Bewegung des Schiffes entstehen, ist ausschließlich die sich ändernde scheinbare Windgeschwindigkeit verantwortlich.

Diese Feststellung wird uns in die Lage versetzen, die für dynamische Belastung notwendigen Sicherheitsbeiwerte wesentlich genauer bestimmen zu können. Als zweite

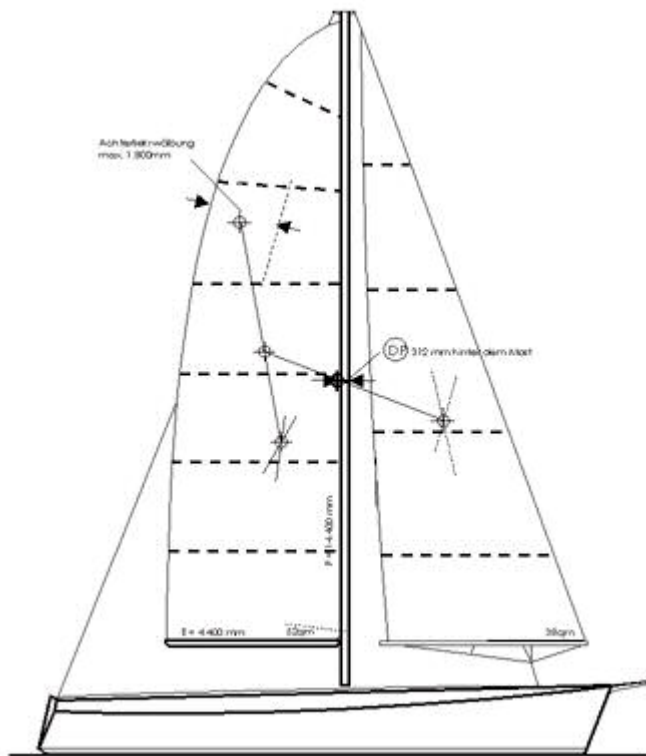
Erkenntnis stellte sich heraus, daß es nicht möglich ist, einen optimalen Trimm, d.h. größt mögliche Geschwindigkeit nur über die Ermittlung der so zu erfassenden Kräfte zu erreichen ist. Die Meßeinrichtungen auf unserem Schiff erlaubten es uns, die resultierenden Windkräfte zu messen. Um die aerodynamische Qualität der Segel beurteilen zu können, ist es aber notwendig die Einzelkräfte Auftrieb und Widerstand bestimmen zu können.

Im zweiten Teil unserer Untersuchung widmeten wir uns der Bestimmung des Segeldruckpunktes. Beim Entwurf einer Segelyacht muß der Konstrukteur die Lage des Segeldruckpunktes und des Lateralschwerpunktes genau aufeinander abstimmen. Die Lage dieser beiden Druckpunkte zueinander, ist ganz entscheidend für das spätere Fahrverhalten des Bootes verantwortlich. Die Bestimmung des gemeinsamen Druckpunktes von Vor- und Großsegel ist aber rechnerisch kaum möglich. Meßtechnische Ergebnisse liegen zum größten Teil nur aus Windkanalveruchen vor, die in dieser Form nicht direkt übertragbar sind.

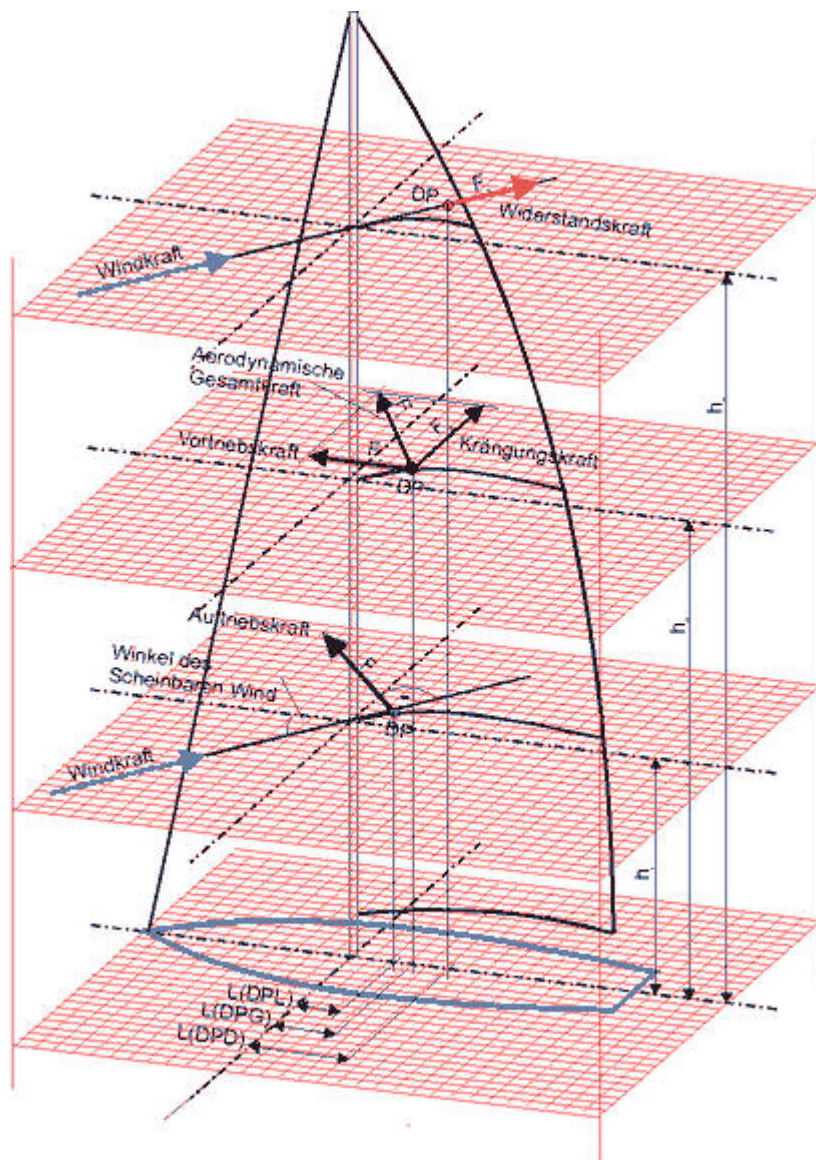
Um trotz des Mangels an Informationen gut segelnde Schiffe konstruieren zu können, behelfen sich die meisten Konstrukteure mit einer Vergleichsrechnung. Dazu bestimmt man die Flächenschwerpunkte des Kiels und der Am-Wind-Besegelung eines in der Praxis gut S Segeln des Schiffes und vergleicht deren Lage in Längschiffsrichtung mit der Länge der Wasserlinie. Ein typisches Ergebnis dieser Vergleichsmethode ist: Die Lage des Segeldruckpunktes muß 6% vor der Position des Lateralschwerpunktes liegen. Solange sich die Neukonstruktion ähnlich zu dem Referenzschiff verhält, bringt diese Methode auch brauchbare Ergebnisse. Unterscheidet sich die Neukonstruktion aber, z.B. durch die Umrißformen der Segel, von dem Referenzmodell so ist diese Methode zur Bestimmung des Segeldruckpunktes nicht geeignet. Nun sind sich sicherlich die meisten Konstrukteure darüber im Klaren, daß der wahre Segeldruckpunkt nicht mit dem geometrischen schwerpunkt der Fläche übereinstimmt. Ungewiß ist allerdings die Frage: Wie groß ist die tatsächliche Abweichung dieser beiden Schwerpunkte von einander. Unserem Eindruck nach überwiegt die Auffassung, daß die tatsächliche Abweichung vernachlässigbar gering ist. Ein Indiz dafür ist die Tatsache, daß in vielen Konstruktionen die Achterlieksrundung eines Großsegels mit in diese Schwerpunktsrechnung einbezogen wird. Das heißt ein Segel mit großer Achterlieksrundung hat seinen Schwerpunkt weiter hinten, als ein Segel ohne Rundung. Aus der Sicht der physikalischen Gesetzmäßigkeiten, müßte sich aber bei einem stark gerundeten Großsegel der Schwerpunkt weiter vorne befinden, wenn man folgender Überlegung folgt: die Aerodynamische Gesamtkraft eines Segels ist die resultierende Kraft aus Auftrieb und Widerstand.



Der Druckpunkt des Auftriebs befindet sich bei einem gewölbten Segel nahe des Vorlieks. Da der Widerstand eines Segels aber zum größten Teil durch die Abrißfläche des Achterlieks gebildet wird befindet sich der Druckpunkt des Widerstands nahe des Achterlieks. So gesehen ist die Lage des Gesamtdruckpunktes abhängig von dem Verhältnis Auftrieb zu Widerstand des Segels. Auftriebskörper, also auch Segel, mit Dreieckigen Umrißformen haben aber naturgemäß ein schlechtes Verhältnis zwischen Auftrieb und Widerstand. Ein Segel mit großer Achterliekswölbung kommt dem Ideal eines elliptisch geformten Umrisses schon wesentlich näher und müßte daher ein besseres Widerstands-Auftriebsverhältnis haben. In Folge dessen liegt auch der Gesamtdruckpunkt weiter vorne. Soweit die Theorie. Aber welche Bedeutung hat die Achterliekswölbung oder allgemein gesprochen die Umrißform eines Segels in der Praxis wirklich? Beim ersten Teil unseres Tests war das Schiff mit einer Genua von 65qm und einem Großsegel von 33qm ausgerüstet.



Das entsprach der vom Konstrukteur vorgesehenen Besegelung. Um vergleichbare Ergebnisse erzielen zu können, wurde bei allen Testfahrten ein Autopilot eingesetzt. Über einen Ruderlageranzeiger wurde der durchschnittliche Ruderausschlag gemessen und wir ermittelten für unser Testschiff mit der normalen Besegelung, bestehend aus Genua und Großsegel, eine durchschnittliche Ruderlage von 7° Am Wind. Das Schiff war leicht luvgerig. Diese Feststellung deckte sich auch mit den Erfahrungen, die andere Eigner mit dem gleichen Schiffstyp und gleicher Besegelung gemacht hatten. Will man dieses Manko beheben und benutzt zur Fehleranalyse die oben beschriebene Vergleichsmethode, so müßten wir die Genuafläche vergrößern oder aber die Fläche des Großsegels verkleinern, um danach den "Segeldruckpunkt" weiter nach vorne zu schieben. Um aber jetzt herauszufinden, ob unsere theoretischen Überlegungen über die Lage des Segeldruckpunktes im Segel tatsächlich praktisch von Relevanz sind, rüsteten wir das Schiff um. Die Genua wurde durch ein Trecker-System ersetzt, wobei der Trecker nur noch eine Größe von 38qm hatte, das Großsegel von 33 qm wurde durch ein Großsegel von 52 qm mit großen Achterlieksrundung ersetzt. Betrachtet man das Schiff jetzt mit der gängigen Konstruktionsmethode, so müßte sich eine wesentlich größere Luvgerigkeit einstellen. Die Testfahrten ergaben aber genau das Gegenteil. Die durchschnittliche Ruderlage mit der neuen Besegelung betrug nur noch 4°. Das Schiff segelte ausgeglichen. Unsere Vermutung, daß Umrißform und Verdrehung der Segel wesentlich größeren Einfluß auf die Lage des Druckpunktes als die eigentliche Größe haben, wurde hier bestätigt.



In einem Punkt waren aber auch wir von den Ergebnissen dieser Testfahrten noch überrascht. Da wir die Am-Wind-Besegelung des Schiffes vergrößert hatten, waren wir fest überzeugt schon bei 12 Knoten Wind das erste Reff ins Großsegel einbinden zu müssen. In der Praxis aber konnten wir noch bei 28 Knoten Wind über Deck bei einem Windeinfallswinkel von 32° , ungerafft segeln. Das Segeltragevermögen des Schiffes war wesentlich größer oder anders ausgedrückt die durch das Segel verursachte Krängung war wesentlich kleiner.

Wir unternahmen mehrere Testfahrten um zu ermitteln, wo genau der Unterschied zwischen den beiden Großsegeln bestand. Der gravierendste Unterschied war beim Segeln mit boeigem Wind festzustellen. Das Segel mit großer Achterliekswölbung neigte wesentlich weniger zum wegkrängen, als das mit einem geraden Achterliek. Bei den theoretischen Überlegungen die wir anstellten, um dieses Phänomen näher zu erforschen stellten wir fest, daß die allgemein übliche graphische Darstellung der Kräfte beim Segeln nur schlecht geeignet ist, die tatsächlichen Verhältnisse darzustellen. In fast allen Lehrbüchern über Segeln aber auch in vielen wissenschaftlichen gehaltenen Publikationen wird die Auftriebskraft und die Widerstandskraft als aerodynamische Gesamtkraft dargestellt.

Bei der allgemein üblichen zweidimensionalen Darstellung entsteht der Eindruck, daß die Auftriebskraft in gleicher Höhe wie die Widerstandskraft liegt und die Größe der Widerstandskraft letztendlich nur für die Richtung der aerodynamischen Gesamtkraft verantwortlich ist. Bei einem realen Segel aber muß man davon ausgehen, daß die Summe der Auftriebskräfte ihren Druckpunkt im unteren Teil des Segels haben und die Summe der Widerstandskräfte eher im oberen Teil ihren Druckpunkt hat. Vor allem bei Segeln mit dreieckigem Umriß ist davon auszugehen, daß ein Großteil des entstehenden Widerstandes der Abrißwirbel im Topbereich des Segels ist. Um diesen Sachverhalt zu verdeutlichen

entwickelten wir eine dreidimensionale Darstellung, in der die auftretenden Kräfte getrennt nach Auftrieb und Widerstand jeweils in Richtung und Größe dargestellt werden können. Nimmt man diese Betrachtungsweise zur Grundlage, so läßt sich schnell erkennen, daß die Größe der Widerstandskraft nicht nur für die Richtung der aerodynamischen Gesamtkraft verantwortlich ist, sondern auch für deren Höhe über CWL. Also letztendlich auch für die kränkende Komponente dieser Kraft.

Das Resümee aller Versuchsergebnisse brachte folgende Konstruktionskriterien für unser Testgestell: Das Testgestell muß es uns erlauben, die Größe und genaue Lage der Auftriebskraft sowie die Größe und genaue Lage der Widerstandskraft getrennt voneinander ermitteln zu können.

Wir für Sie



Copyright © 1999 [Segelwerkstatt Stade](http://www.segelwerkstatt.com) - Alle Rechte vorbehalten! - Email: service@segelwerkstatt.com.
Ihre Anmerkungen zum Layout senden Sie bitte an: webmaster@segelwerkstatt.com.