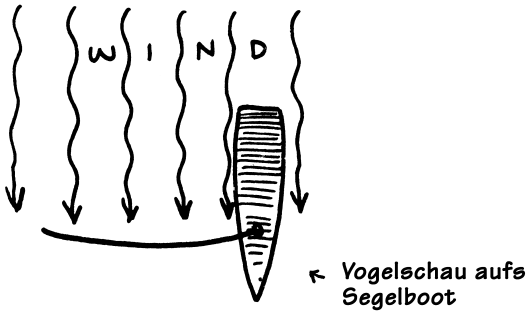


# Vor dem Wind

Ein Segelboot ist eine tolle Sache, vor allem an einem windigen Tag. Man segelt mit vollen Segeln vor einem Wind von 36 km/h. Dann kann man auf folgende Maximalgeschwindigkeit hoffen:

- a) nahezu 36 km/h
- b) zwischen 36 und 72 km/h
- c) Es gibt hier keine theoretische Geschwindigkeitsgrenze.



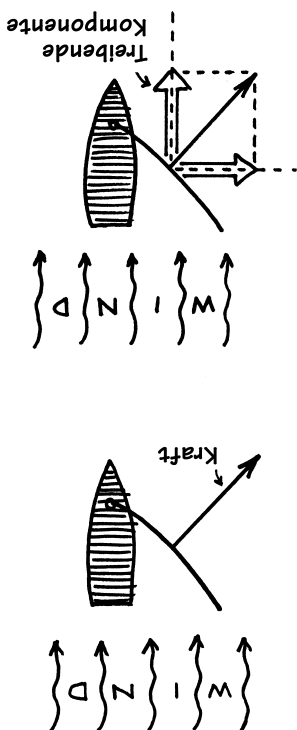
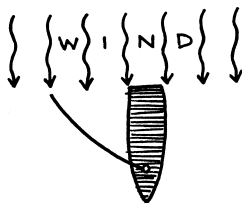
Die Antwort lautet a). Man könnte die Geschwindigkeit des Windes nur erreichen, wenn die Kräfte der Wasserreibung am Boot null wären – und selbst dann nicht schneller segeln als der Wind. Warum? Denn wenn das Boot so schnell wie der Wind segeln würde, gäbe es keinen Druck des Windes mehr auf das Segel. Das Segel würde durchhängen wie an einem windstillen Tag. Auf Windgeschwindigkeit gäbe es relativ zum Segel eben keinen Wind mehr.

**Antwort:** Vor dem Wind

# Nochmals vor dem Wind

Man segelt wieder mit dem Wind, zieht aber das Segel derart ein, dass es nicht mehr den Winkel  $90^\circ$  mit dem Kiel bildet. Diese Taktik wird

- a) die Bootsgeschwindigkeit verringern
- b) die Bootsgeschwindigkeit erhöhen
- c) die Bootsgeschwindigkeit nicht ändern



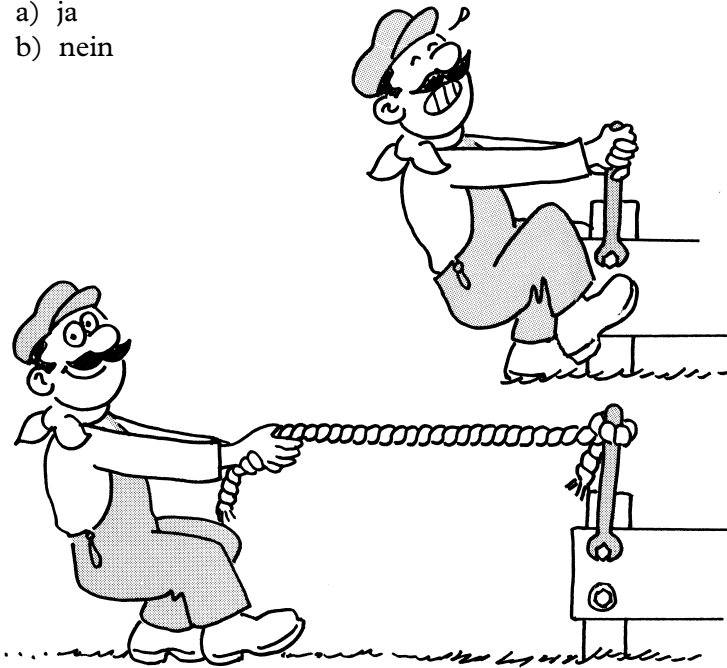
Die Antwort lautet a) aus zwei Gründen. Zum einen ist die Kraft auf das Segel kleiner, weil es in der Winkellage weniger Wind einfängt. Zum anderen erfolgt die Windkraft nicht mehr in Richtung der Bootsbewegung. Wann immer ein Fluidum (ob nun Gas oder Flüssigkeit) mit einer glatten Oberfläche in Wechselwirkung tritt, erfolgt die Kraft der Wechselwirkung senkrecht zur glatten Oberfläche. Also ragt der Vektor dieser Kraft unter  $90^\circ$  aus der Oberfläche des Segels wie gezeigt. Dieser Vektor ist nicht bloß kürzer als im Fall des maximalen Windanfanges (wie bei der letzten Frage), sondern in Richtung der Bootsbewegung weist auch nur ein Anteil dieses Vektors. Nur diese Komponente treibt das Boot vorwärts (die andere Komponente seitlich zur Fahrtrichtung will das Boot bloß umkippen und trägt nichts zur Vorausfahrt bei). Also wird das Boot vom Wind vorangetrieben, aber nicht mit so viel Kraft wie zuvor. Wird das Segel weiter herangeholt, nimmt der Kraftvektor an Größe ab, und es resultiert eine kleinere Komponente für den Vortrieb. Wird das Segel ganz eingeholt, dass es dann parallel zum Kiel steht, fängt es überhaupt keinen Wind mehr und die Vortriebskraft ist null.

**Antwort:** Nochmals vor dem Wind

# Drehmoment

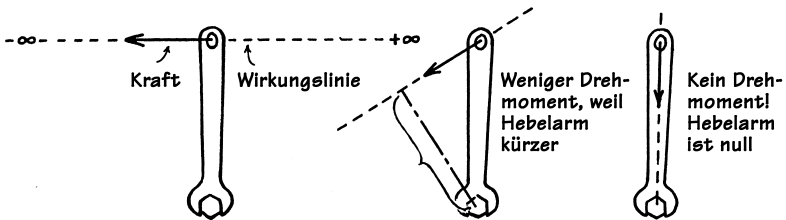
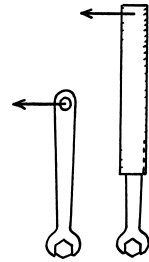
Harro hat es sehr schwer, genug Drehmoment aufzubringen, um die störrische Schraube mit einem Gabelschlüssel zu lösen und wünschte, er hätte ein Stück Rohr zum Draufschieben, um den Hebelarm zu verlängern. Er hat aber kein Rohr, sondern nur ein Stück Seil. Wird das Drehmoment größer, wenn er genauso stark an dem Seil zieht, das wie in der Skizze an den Griff des Gabelschlüssels geknotet ist?

- a) ja
- b) nein



## Antwort: Drehmoment

Die Antwort lautet b). Die Verdrillkraft oder das Drehmoment, das man auf die störrische Schraube anwendet, hängt nicht nur von der angewendeten Kraft ab, sondern auch von der Länge des Hebelarms, an dem die Kraft wirkt. Anhand eigener Erfahrungen mit Schraubenschlüsseln und Kinderwippen kann man sich das veranschaulichen. Je größer der Hebelarm, desto größer das Drehmoment. Durch Anknöten des Seils an seinen Gabelschlüssel verlängert Harro die Entfernung von der Schraube zum Ort der Kraftanwendung, aber er verlängert nicht den Hebelarm. Der Grund ist, dass der Hebelarm nicht die Entfernung vom Drehpunkt (Schraube) zur angewendeten Kraft bedeutet, sondern vielmehr den Abstand zur *Wirkungslinie* der angewendeten Kraft. Der Hebelarm steht immer senkrecht zur Wirkungslinie der angewendeten Kraft. Er ist auch die kürzeste Verbindung zwischen Wirkungslinie und Drehpunkt. Wenn Harro das Seil benutzt, ändert sich deshalb keineswegs die Länge des Hebelarms.



Definitionsgemäß ist Drehmoment gleich Kraft mal Hebelarm. Man kann das Drehmoment geometrisch versinnbildlichen – es ist das Doppelte der Fläche eines besonderen Dreiecks. Als Höhe des Dreiecks fungiert der Hebelarm und als Grundlinie der Kraftvektor. Die Fläche eines Dreiecks ist die Hälfte von Höhe mal Grundseite. In unserem Fall ist also Höhe = Hebelarm und Grundseite = Kraftbetrag. Die Dreiecksfläche entspricht somit dem halben Drehmoment. Der Skizze unten kann man entnehmen, dass die Fläche des Dreiecks, aufgespannt vom Drehpunkt über der angewendeten Kraft, in beiden Fällen dieselbe ist, ob nun die Kraft direkt am Gabelschlüssel-Ende angreift oder über ein dort angeknötetes Seil. Also ist auch das Drehmoment das Gleiche.

