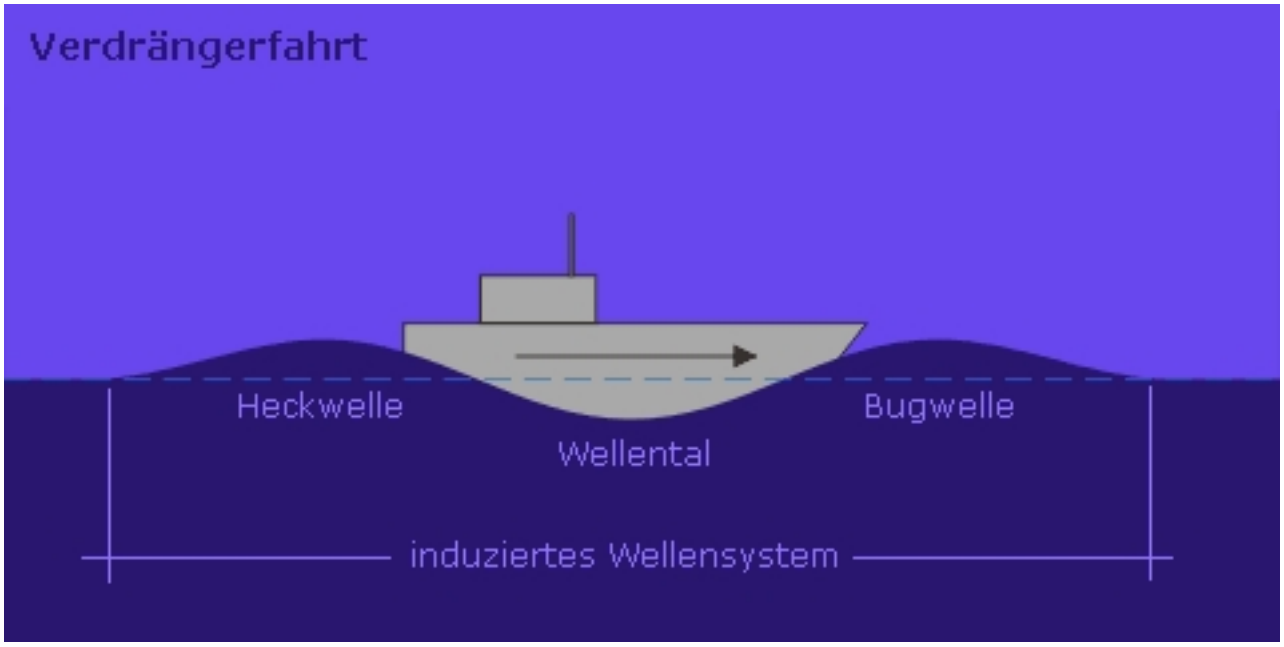
Arbeitsschiffe, Schnellboote und Rennboote haben völlig unterschiedliche Rumpfformen, um ihre zugedachte Aufgabe möglichst gut erfüllen zu können. Wir wissen: ein geschlossener Bootsrumpf - egal welcher Form - versinkt nicht, wenn er aufs Wasser gesetzt wird. Im Ruhezustand (also bei ausgeschaltetem Antrieb = ohne Vortrieb) verdrängt der Rumpf genau die Menge Wasser, die seiner Masse entspricht (» Archimedisches Prinzip). Dadurch erfährt er einen hydrostatischen Auftrieb, der das Versinken des Rumpfes verhindert. Ohne Fahrt verhalten sich Verdränger, Halbgleiter und Gleiter also völlig identisch. Die Unterschiede treten erst dann auf, sobald sich das Wasserfahrzeug vorwärts bewegt.

Verdrängerfahrt

Ein langsames Wasserfahrzeug fährt in Verdrängerfahrt. Die Masse des verdrängten Wassers und die Masse des Schiffs sind dabei identisch. Ein Schiff mit Verdrängerrumpf (z.B. Arbeitsschiffe, Schlepper, Versorger, aber auch Kreuzfahrtschiffe, etc.) kann niemals seine eigene Bugwelle überholen - egal, wie stark es motorisiert ist! Warum ist das so?



Durch die Vorwärtsbewegung im Wasser entsteht am Schiffsrumpf eine Bug- und eine Heckwelle (= induzierte Wellen, selbst hervorgerufene Wellen). Diese beiden Wellen breiten sich im Wasser in die gleiche Richtung aus, in die das Schiff fährt. Bei steigender Geschwindigkeit werden Bug- und Heckwelle immer grösser, bis sie sich schliesslich zu einem geschlossenen Wellensystem "verbinden". Damit steigt auch der Wasserwiderstand auf den Schiffsrumpf: das Schiff ist in seinem selbst induzierten Wellental "gefangen", es kann nicht schneller fahren als die Ausbreitungsgeschwindigkeit dieses Wellensystems. Die

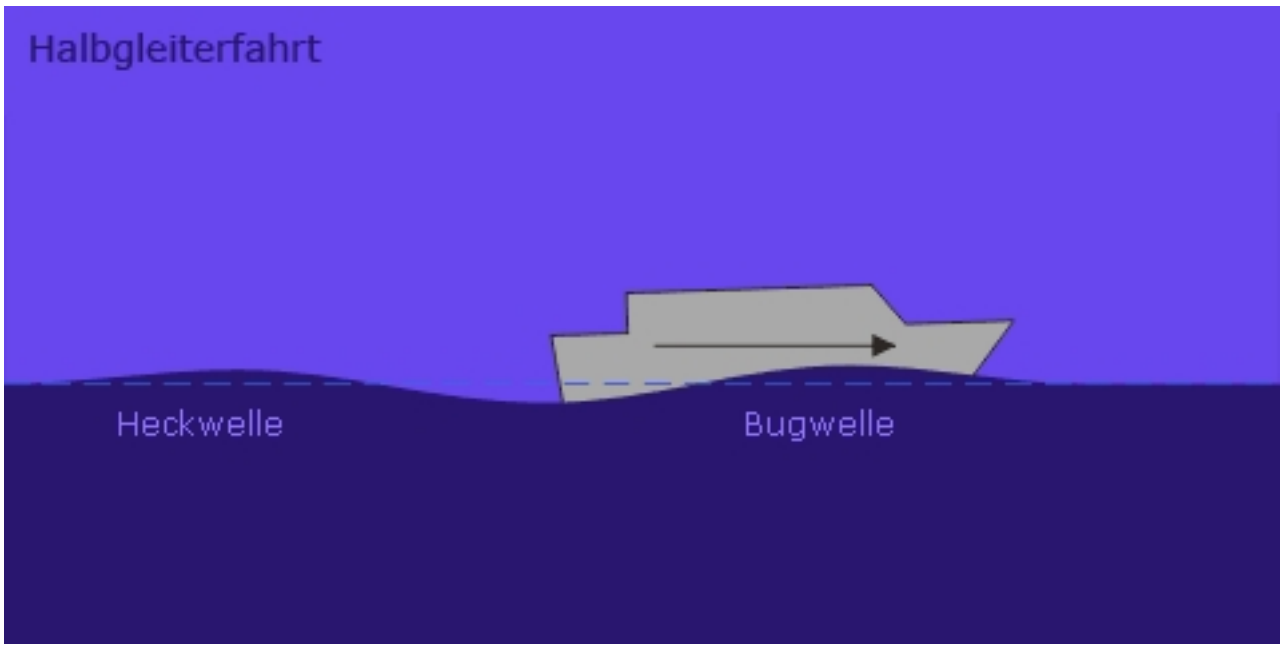
Ausbreitungsgeschwindigkeit ist abhängig von der Wellenlänge (= Länge des Wellensystems) und diese steht wiederum in direktem Zusammenhang mit der Schiffslänge. Längere Wellen können sich schneller ausbreiten, darum kann ein längerer Verdränger eine höhere Geschwindigkeit erreichen als ein kürzerer. Diese Geschwindigkeit nennt man "Rumpfgeschwindigkeit" (teilweise auch als "Rumpfgrenzgeschwindigkeit" bezeichnet).

Die Rumpfgeschwindigkeit lässt sich exakt und einfach berechnen. Sie ist ausschliesslich von der Länge des Schiffsrumpfes in Wasserlinie (= Konstruktionswasserlinie, KWL) abhängig, nicht von der Form oder Breite des Verdrängers. Die Verdränger-Rumpfgeschwindigkeit beträgt nach der » Froud'schen Gleichung :

Rumpfgeschwindigkeit [km/h] = Wurzel KWL [m] x 4,5

Ein Verdränger-Modellboot, dessen Wasserlinie z.B. 80 cm lang ist, kann also maximal eine Geschwindigkeit von (Wurzel aus 0,8 Metern) x 4,5 = 0,8944 x 4,5 = 4,02 km/h erreichen. Mit stärkerer Motorisierung vergrössert sich lediglich die Bug- und Heckwelle, nicht aber die Höchstgeschwindigkeit. Für Verdrängerfahrt benötigt ein Schiffsmodell ca. 3 Watt Leistung pro Kilogramm Modellgewicht.

Halbgleiterfahrt



Im Gegensatz zum Verdränger, der das Wasser am Bug lediglich "zerschneidet" und seitlich verdrängt, werden beim Halbgleiter Teile des Rumpfs als Auftriebsfläche ausgebildet. Dadurch wird der hydostatische Auftrieb zusätzlich durch hydrodynamischen Auftrieb unterstützt. So ist der Halbgleiter in der Lage, auf seine eigene Bugwelle "aufzufahren" und sie teilweise zu überholen.

Durch das Überschreiten der Bugwelle wird der auf den Rumpf ausgeübte Wasserwiderstand geringer. Hinter der Halbgleiterkonstruktion steckt also die Idee, Energie zu sparen bzw. mit gleicher Energie schneller fahren zu können als ein Verdränger.

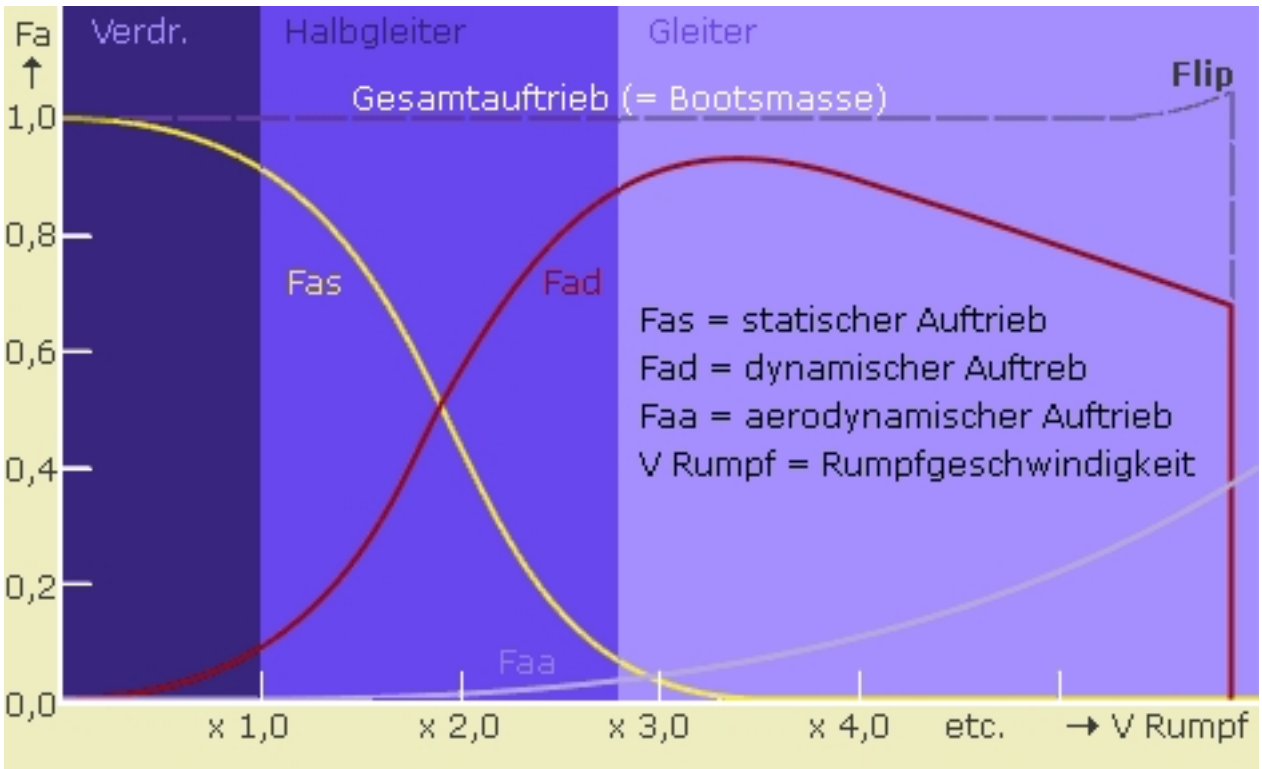
Bei der Halbgleiterfahrt stehen Bug- und Heckwelle nicht mehr als geschlossenes Wellensystem in fester Beziehung zueinander (sie interagieren nicht mehr). Das gleiche gilt für sehr schmale Verdrängerrümpfe mit einem Länge- / Breite-Verhältnis von 8:1 oder grösser. In Halbgleiterfahrt können - grob gesagt - Höchstgeschwindigkeiten von ca. 2 bis 2,5-facher Rumpfgeschwindigkeit erreicht werden. Ab ca. 2,8-facher Rumpfgeschwindigkeit geht das Boot in Gleitfahrt über - vorausgesetzt, dass die Rumpfform es erlaubt. Für Halbgleiterfahrt benötigt ein Schiffsmodell ab ca. 10 - 20 Watt Leistung (oder mehr) pro Kilogramm Modellgewicht.

Gleitfahrt

Jeder von uns kennt das Phänomen des Überschallknalls bei Flugzeugen: er entsteht, wenn das Flugzeug schneller fliegt als die Ausbreitungsgeschwindigkeit der induzierten Luftwelle. Das Flugzeug durchbricht in diesem Augenblick sozusagen seine eigene "Bugwelle" und lässt sie hinter sich.

[redacted]

Hydrostatischer, hydrodynamischer und aerodynamischer Auftrieb



Wir haben bisher erfahren, dass jeder Bootsrumpf eine exakt bestimmbare Rumpfgeschwindigkeit hat. Die Grafik zeigt die Verteilung der Auftriebskräfte bei den verschiedenen Fahrzuständen des Bootes.

Verdränger fahren bis zur 1,0-fachen Rumpfgeschwindigkeit fast ausschliesslich mit hydrostatischem Auftrieb. Ein Halbgleiter braucht einen entsprechend ausgeformten Rumpf, um diese 1,0-fache Rumpfgeschwindigkeit überschreiten zu können. Die flach angestellten Aufgleitflächen des Rumpfes verhelfen dem Boot dazu, sich gegen den Wasserwiderstand an die Wasseroberfläche "aufzuschieben". Damit kommt hydrodynamischer Auftrieb ins Spiel, der bei zunehmender Geschwindigkeit den hydrostatischen Auftrieb überwiegt.

Bei ca. 2,8 facher Rumpfgeschwindigkeit geht das Boot in Gleitfahrt über. Der hydrostatische Auftrieb ist nun fast bei Null angelangt, der hydrodynamische Auftrieb hat sein Maximum erreicht. An der Wasseroberfläche gewinnen Luftwiederstand und aerodynamischer Auftrieb an Bedeutung. Der hydrodynamische Auftrieb wird nun bei weiterer Geschwindigkeitserhöhung zunehmend durch aerodynamischen Auftrieb ersetzt... bis das Boot schliesslich von der Wasseroberfläche abhebt ("Flip").

An diesem Punkt fällt der hydrodynamische Auftrieb schlagartig auf Null, da ja kein Wasserkontakt mehr besteht. Da der aerodynamische Auftrieb alleine nicht ausreicht, um das Boot "im Flug" zu halten, fällt es sofort zurück aufs Wasser. In der Luft wird wegen der schräg angestellten "Fluglage" jedoch vorrangig der Rumpfboden angeströmt, weshalb sich das Boot i.d.R. beim Abheben aufbäumt und nach hinten überschlägt ("Backflip"). Bei welcher Geschwindigkeit es zu diesem "Backflip" kommt, ist kaum vorhersagbar. Theoretisch liesse sich diese Geschwindigkeit zwar berechnen, aber dazu müssten wir alle benötigten Parameter dieser Formel kennen (z.B. Auftriebsbeiwerte des speziellen Bootsrumpfes). Das ist in der Praxis kaum möglich. Darum hilft hier nur: ausprobieren, was der Rumpf "hergibt" oder "verträgt".

» weiter zum Thema "Motorleistung, Energiebedarf und Geschwindigkeitszuwachs"