

*Untersuchung eines  
Jet-Antriebs und  
geeigneter  
Rumpfformen*

**Wettbewerb "Jugend Forscht" 2005**

**Jens Miller (13 Jahre)**

**Arbeitsgemeinschaft "Jugend Forscht"  
des Christian-Gymnasiums Hermannsburg  
Leitung: StD Thomas Biedermann**

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Rumpfformen</b>	<b>3</b>
2.1	Verdrängerrümpfe	4
2.2	Gleitrümpfe	4
2.3	Monorumpfmodelle	5
2.4	Katamarane	5
2.5	Dreipunktgleitmodelle	6
<b>3.</b>	<b>Antriebe</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>Der Jetantrieb</b>	<b>7</b>
<b>5.</b>	<b>Messungen</b>	<b>7</b>
5.1	Messwerte	8
<b>6.</b>	<b>Quellenangaben</b>	
<b>10</b>		

## **1. Einleitung**

Seit tausenden von Jahren machen sich die Menschen Gedanken über Fahrzeuge, mit denen sie über Wasser fahren können. Ihr Ziel ist es dabei z.B., Lasten zu transportieren oder möglichst schnell an entfernte Orte zu kommen. Je nach Verwendungszweck wurden dafür unterschiedliche Bootstypen entwickelt und gebaut, die im Hinblick auf ihre zu erfüllenden Aufgaben immer weiter optimiert wurden. Der Wettkampf um die Frage: „Wer baut das beste Boot?“ führte denn auch bald dazu, dass sich eigene Wettbewerbe entwickelten und aus dem Bootsbau ein Sport wurde. Waren es früher (und auch heute noch) zuerst die Segler, sind es heute zunehmend Motorfahrzeuge. Wichtigstes Ziel dieser Wettkämpfe ist es dabei, als erster über die Ziellinie zu kommen, das heißt: immer schnellere Boote zu bauen. Je größer ein Boot ist, desto teurer ist es zu bauen. Für Leute mit nicht ganz so viel Geld sind es deshalb vor allem kleine Modellboote ohne menschliche Besatzung, die ins Rennen geschickt werden. Bei ihnen ist es einfacher und billiger, mit neuen Ideen zu experimentieren, also nicht nur die großen Originale 1 : 1 zu kopieren. Dabei können sich Modellbauer und Schiffsbauer gegenseitig befruchten.

Neben der Rumpfform spielt dabei der verwendete Antrieb eine entscheidende Rolle. Segelboote müssen anders gebaut sein als Motorboote, und selbst bei Motorbooten ist es wichtig, ob es sich z.B. um einen Schraubenantrieb mit Außenborder oder im Rumpf angeordneter Schraubenwelle handelt. Neben den etablierten Schraubenantrieben haben sich auch andere Antriebsformen, wie z.B. Luftschraubenantriebe (Hoovercraft) oder Unterwasser-Düsenantriebe herausgebildet, die jeder für sich andere Bootsformen erforderlich machen.

In meiner Arbeit will ich untersuchen, wie ein Unterwasser-Düsenantrieb - kürzer: Jet-Antrieb - funktioniert.

Da ich keine Möglichkeiten habe, die entsprechenden Berechnungen vorab durchzuführen, wie es heute im Zeitalter der Computer oft üblich ist, experimentiere ich mit selbst gebauten ferngesteuerten Schiffsmodellen.

## **2. Rumpfformen**

Die wichtigste Aufgabe des Rumpfes besteht darin, das Gewicht des Bootes, also Rumpf, Antrieb, Steuerung, Energiequelle und ggf. Besatzung über Wasser zu halten. Eine wichtige Größe ist hierbei der Auftrieb, dies ist die Kraft, mit der das verdrängte Wasser den Rumpf nach oben drückt. Ein Boot kann nur schwimmen, wenn die vom vollständig eingetauchten Rumpf erzeugte Auftriebskraft größer ist als die Gewichtskraft des ganzen Bootes. Deshalb tauchen Rümpfe niemals ganz ins Wasser ein (außer bei U-Booten), sondern haben immer ein sog. Freibord, das ist das, was oberhalb der Wasserlinie vom Boot bis zum Deck zu sehen ist.

Weil also immer ein Teil des Rumpfes in das Wasser eintaucht, erzeugt dieser bei der Vorwärtsbewegung einen Widerstand, der es versucht zu bremsen. Gegen diesen Widerstand muss der Antrieb anarbeiten, um das Boot mit einer bestimmten Geschwindigkeit fahren zu lassen. Je größer die Geschwindigkeit wird, desto mehr Kraft muss der Antrieb aufbringen, weil der Widerstand zunimmt. Deshalb können

Schiffe nicht beliebig schnell fahren. Um diesen Widerstand zu verringern, gibt man dem Rumpf eine spezielle Form, sodass er das Wasser zur Seite oder unter den Rumpf schiebt. Dabei entsteht eine Bugwelle, die z.B. bei großen Tankschiffen durch einen Wulstbug verkleinert wird, weil sie bremsend wirkt.

## 2.1 Verdrängerrümpfe

Grundsätzlich gibt es hierbei zwei prinzipielle Rumpffarten: die Verdrängerrümpfe und die Gleitrümpfe. Bei den Verdrängerrümpfen liegt das Boot aufgrund der Rumpfform auch bei voller Fahrt immer gleich tief im Wasser (siehe Abb. 1), der daraus resultierende Wasserwiderstand ist recht groß, auch bei hohen Antriebsleistungen kann eine bestimmte Geschwindigkeit nicht überschritten werden. Solche Rümpfe verwendet man vor allem bei Schiffen, die große Lasten transportieren sollen.

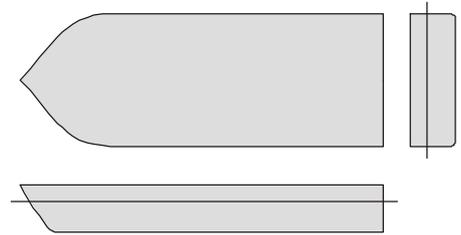


Abb. 1: Prinzipielle Form eines Verdrängerrumpfes

## 2.2 Gleitrümpfe

Um hohe Geschwindigkeiten zu erreichen, muss der Strömungswiderstand erheblich verkleinert werden. Am leichtesten erreicht man das dadurch, dass bei zunehmender Geschwindigkeit ein immer kleinerer Teil des Rumpfes in das Wasser eintaucht. Da hierbei der Auftrieb kleiner wird, muss der Auftriebsverlust durch eine andere Kraft ergänzt werden, um das unveränderte Gewicht des Bootes zu tragen. Diese erhält man dadurch, dass das Wasser von unten gegen den Rumpf strömt und dabei eine Kraft nach oben erzeugt, wenn es nach unten unter dem Boot abgedrängt wird. Diese Kraft wird umso größer, je größer die Geschwindigkeit ist. Bei diesen Gleitrümpfen taucht der Rumpf bei voller Fahrt oft nur noch mit einem Drittel des ursprünglichen Bootskörpers oder weniger in das Wasser ein (siehe Abb. 2).

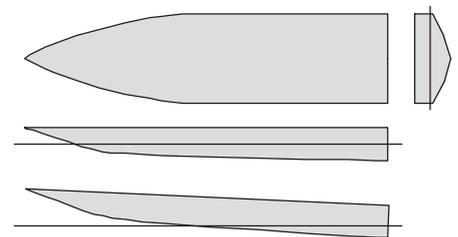


Abb. 2: Prinzipielle Form eines Gleitrumpfes - unten die Rumpflage bei hoher Geschwindigkeit



Abb. 3: Containerfrachter als Beispiel für ein Schiff mit Verdrängerrumpf [1]

Die Abbildungen 3 und 4 zeigen deutlich die Unterschiede zwischen den beiden Rumpfformen. Man beachte, dass das Rennboot eine deutlich geringere Bugwelle erzeugt als der Frachter. Dafür bildet sich beim



Abb. 4: Rennboot als Beispiel für ein Schiff mit Gleitrumpf

Rennboot ein ausgeprägtes Kielwasser aus, was aber die Fortbewegung des Rumpfes nicht mehr sonderlich beeinträchtigt.

Da die Verdrängerrümpfe für Rennboote ungeeignet sind, werde ich nur auf die Gleitrümpfe näher eingehen.

Um das Ablösen des Bootsrumpfes von der Wasseroberfläche zu erleichtern, werden in bestimmten abständen eine oder mehrere Stufen quer zur Fahrtrichtung in die Gleitflächen eingelassen, was den Wasserwiderstand schneller verringert. Zwei dieser Stufen lassen sich in Abbildung 5 gut ab der hinteren Hälfte der Rumpfunterseite erkennen.



Abb. 5: Ein gestufter Rumpferleichtert das Ablösen des Rumpfes von der Wasseroberfläche. [2]

Gleitrümpfe kann man anhand ihrer Rumpfgestaltung in drei Klassen einteilen:

- Monorumpfmodelle
- Katamarane
- Dreipunktgleitmodelle

### 2.3 Monorumpfmodelle

Monorumpfmodelle besitzen - wie der Name schon sagt - nur einen einzigen Rumpfkörper. Dieser hat einen flachen Boden, der häufig V-förmig ausgebildet ist. Boote mit Monorumpf sind sowohl bei den Modellbooten als auch bei den Originalen sehr stark verbreitet, da sie aufgrund ihrer Rumpfform eine sehr gute Wendigkeit und ein noch hinreichend gutes Geschwindigkeitspotenzial besitzen. Das Boot aus Abb. 5 gehört z.B. zu den Monorumpfmodellen.

### 2.4 Katamarane

Katamarane haben im Gegensatz zu den Monoboote zwei miteinander verbundene, gleichgroße schlanke Rümpfe. Da sie recht breit sind, sind sie überaus kentersicher und werden deshalb häufig für schnelle Segelschiffe eingesetzt. Werden die beiden Rümpfe dagegen durch ein geschlossenes Deck überbrückt, kann sich bei schneller Fahrt ein Luftpolster (siehe Abb. 6) zwischen den beiden Rümpfen bilden. Dieses bewirkt einen zusätzlichen Auftrieb, durch den sich das Boot aus dem Wasser hebt und damit den Wasserwiderstand weiter verringert.



Abb. 6: Katamaran mit überbrückendem Deck [7]



Abb. 7: Schnellfähre mit Katamaran-Rumpf [6]

Damit steigt auch die Geschwindigkeit. Dieses Luftpolster birgt dabei aber die Gefahr, dass sich das Boot bei einer Windböe überschlägt oder bei zu hoher Geschwindigkeit völlig von der Wasseroberfläche löst. Dies führt meist zu vollständigen Zerstörung des Bootes. Katamarane sind zwar für hohe Geschwindigkeiten ausgelegt, dafür können sie aber nur relativ große Kurvenradien fahren. Bei den Originalen werden sie häufig als Schnellfähren eingesetzt. (siehe Abbildung ???[6])

## 2.5 Dreipunktgleitmodelle

Dreipunktgleitmodelle gehören prinzipiell zur Gruppe der Katamarane, denn sie bestehen aus einem Hauptrumpf in der Mitte und zwei kleineren, nach vorne verlagerten Außenrümpfen. Bei voller Fahrt tauchen nur noch die jeweiligen Hinterkanten der drei Rumpfsegmente ins Wasser, was einerseits zu einem geringen Wasserwiderstand, andererseits aber durch die Dreipunktstützung zu einer sicheren Lage des Rumpfes im Wasser führt. Da sie über kein überbrückendes Deck verfügen, unter dem sich ein Luftpolster aufbauen kann, ergibt sich der zusätzliche Auftrieb durch die hohe Anströmgeschwindigkeit des Wassers - manchmal ergänzt durch einen Luftspoiler am Heck. Grundsätzlich wären sie damit unempfindlicher gegen Windeinflüsse, da sie aber wegen der geringen Berührfläche mit dem Wasser erheblich höhere Geschwindigkeiten erreichen als die zuvor beschriebenen Katamarane, können auch sie durch Böen verunglücken. Da sie das Wasser nur noch mit drei recht kleinen Rumpfsegmenten berühren, sind sie empfindlich gegenüber Wellen. (siehe Abb8)



Abb. 8: Dreipunktgleitmodell - die Kabine befindet sich auf dem mittleren Hauptrumpf [8]

## 3. Antriebe

Ziel des Antriebs ist es, das Boot vorwärts zu bewegen, dazu muss eine Kraft erzeugt werden. Als Kraftquelle dient dazu in der Regel ein Motor, der als Verbrennungs- oder Elektromotor (letzteres besonders bei Modellen) ausgelegt ist. Um die Drehbewegung der Motorwelle in eine gerichtete Kraft umzuwandeln, verwendet man Schrauben. Diese führen durch ihre Bewegung im umgebenden Medium dazu, dass dieses in Bewegung gesetzt wird und damit einen „Rückstoß“ erzeugt, der das Boot antreibt. Bei manchen Booten arbeiten diese Schrauben mit dem Medium Luft, z.B. bei Hoovercrafts, in der Regel aber mit dem Wasser, auf dem das Boot fährt. Je nach Anordnung der Schrauben in Bezug auf die Wasserlinie unterscheidet man

- voll eingetauchte Schrauben
- halb eingetauchte Schrauben



Abb. 9: Voll eingetauchte Schraube - die Welle ist tief unter der Rumpfmittle angeordnet [3]



Abb. 10: Halb eingetauchte Schraube weit hinter dem Bootsheck [4]

Der Wirkungsgrad

einer Schraube hängt ab von der Drehgeschwindigkeit der Schraube und der Formgebung der Schraubenflügel. Manche erreichen erst bei hohen Geschwindigkeiten ihren maximalen Wirkungsgrad, während andere bereits bei niedrigen Geschwindigkeiten eine hohe Schubkraft erzeugen können. Bei voll eingetauchten Schrauben (siehe Abb. 9) ist es wichtig, dass sie keine Luft ansaugen oder einen so hohen Unterdruck im Wasser erzeugen, dass Vakuumbblasen entstehen (Kavitation), die die Schrauben zerstören können. Bei halb eingetauchten Schrauben (siehe Abb. 10) ist der Wasser-

widerstand der Schraube erheblich geringer, durch ihre besondere Form ist sie aber unempfindlich gegenüber der mitgeführten Luft.

Eine besondere Form der voll eingetauchten Schraube ist der Jet-Antrieb. Hier sorgt man durch einen Kanal dafür, dass die Schraube ständig von Wasser umgeben ist, obwohl sie sich durchaus über der Wasserlinie befinden kann. Da ich in meinen Booten einen Jet-Antrieb verwende, will ich dessen Funktionsweise hier näher erklären.



Abb. 11: Modellboot mit Jet-Antrieb [5]

## 4. Der Jetantrieb

Durch einen Impeller (Rotor) der in einem Ansaugrohr sitzt, wird Wasser unter dem Boot angesaugt. Das Wasser wird durch eine Düse am Heck des Bootes mit hohem Druck ausgestoßen. Durch den entstehenden Wasserstrahl wird das Boot vorwärts bewegt. Dieser "Wasserstrahl" kann mit

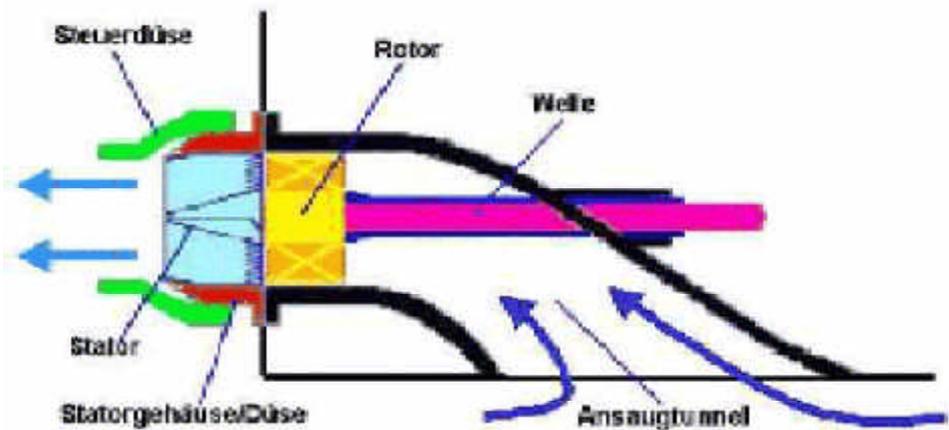


Abb. 12: Prinzipieller Aufbau eines Jet-Antriebes [9]

einer zusätzlichen Steuerröhre in eine bestimmte Richtung gelenkt werden. Das sorgt für die Richtungsänderung. Der Vorteil des Jetantriebs ist eine sehr gute Wendigkeit und der sehr geringe Tiefgang der damit angetriebenen Boote. Im Unterschied zu einer nicht umschlossenen Schraube kann hier das Wasser von den Schraubenflügeln nicht zur Seite verdrängt werden, sondern muss durch den Auslasskanal nach hinten austreten. Das führt dazu, dass dieser Antrieb nicht nur bei kleinen Drehzahlen schon einen höheren Schub als offene Schrauben liefert, sondern auch bei hohen Drehzahlen einen guten Wirkungsgrad besitzt. Diese besonderen Eigenschaften will ich durch meine Messungen genauer untersuchen.

## 5. Messungen

Für meine Messungen verwende ich einen Jet-Antrieb der Marke Graupner mit einem Elektromotor Speed 500 BB Race und einem Rotordurchmesser von 19 mm. Der Antrieb befindet sich in einer Box, die in verschiedene Bootsrümpfe eingesetzt werden kann. Als Testrumpf benutze ich einen ungestuften Monorumpf. Die Kraftmessungen führe ich in einem stationären wassergefüllten Strömungskanal durch. Mit einer Federwaage, die am Heck des Bootes eingehängt ist, wird die Schubkraft und der aufgenommene Strom bei unterschiedlichen Spannungen gemessen.

### 5.1 Messwerte

Die Messungen wurden jeweils mit einem Boot mit vollgetauchtem, halbgetauchtem und einem Boot mit Jet-Antrieb durchgeführt. Dazu wurden die Boote an einem Netzgerät mit verschiedenen Spannungen betrieben und dazu der entsprechende Strom und die Zugkraft an der Federwaage gemessen. Die gemessene Zugkraft entspricht dann der Schubkraft der Antriebe. Da die Messungen im Stand durchgeführt wurden, würden die Daten nicht exakt mit denen, die man bei Fahrt messen würde, übereinstimmen. Dies gilt vor allem bei dem Boot mit halbgetauchtem Antrieb.

Zwar sind die Messungen nicht sonderlich vergleichbar da sie mit verschiedenen Propellergrößen und unterschiedlichen Motoren durchgeführt worden sind, trotzdem kann man ungefähr zuordnen, wofür sich der entsprechende Antrieb eignet.

Spannung	Strom	Leistung	Kraft
1	0,70	0,7	0,05
2	0,71	1,4	0,08
3	0,81	2,4	0,12
4	0,95	3,8	0,28
5	1,08	5,4	0,56
6	1,20	7,2	0,88
7	1,41	9,9	1,30
8	1,49	11,9	1,70
V	A	W	N

Tab. 1: Vollgetauchter Antrieb

Spannung	Strom	Leistung	Kraft
1	1,50	1,5	0,02
2	1,85	3,7	0,08
3	2,20	6,6	0,14
4	2,80	11,2	0,40
5	3,20	16,0	0,68
6	3,40	20,4	0,80
7	3,90	27,3	0,80
8	4,50	36,0	1,00
V	A	W	N

Tab. 2: Halbgetauchter Antrieb

Spannung	Strom	Leistung	Kraft
1	0,40	0,4	0,00
2	0,50	1,0	0,02
3	0,55	1,7	0,04
4	0,60	2,4	0,10
5	0,60	3,0	0,21
6	0,70	4,2	0,27
7	0,80	5,6	0,51
8	0,90	7,2	0,58
V	A	W	N

Tab. 3: Jet-Antrieb

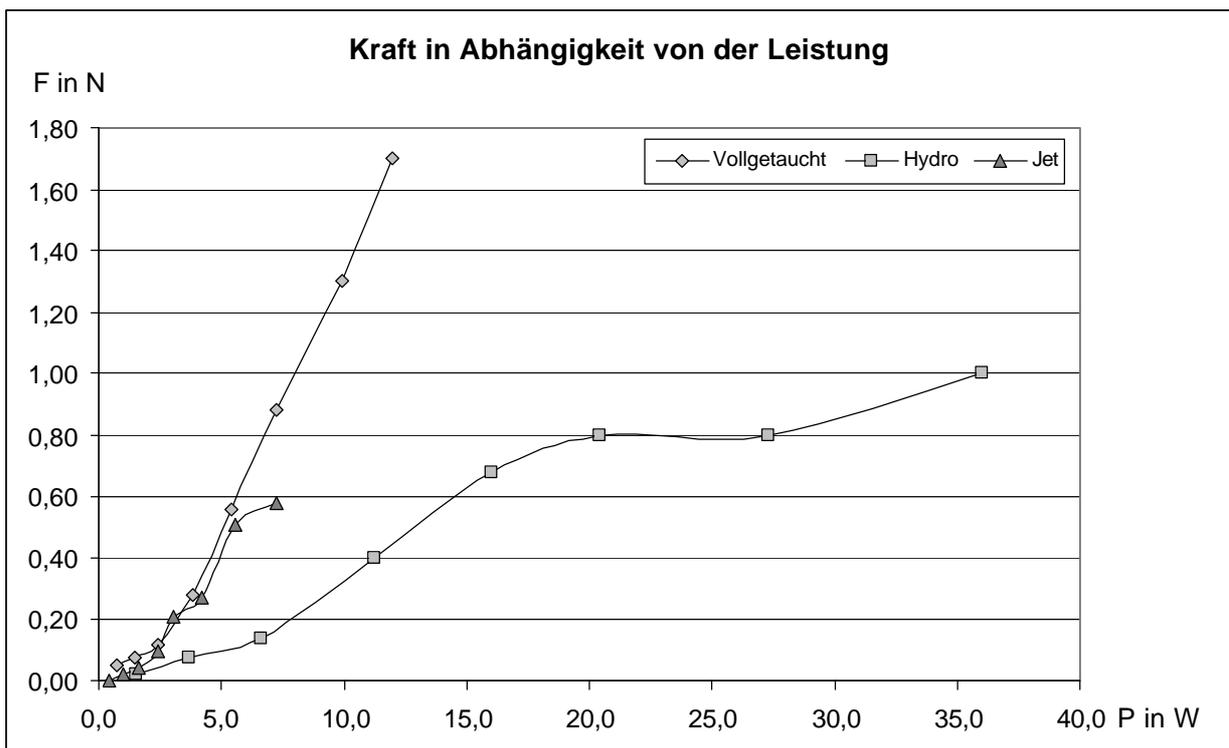


Abb. 13: Graphische Darstellung der Kraftentfaltung der drei Antriebssysteme

Der Antrieb mit der vollgetauchten Schraube liefert einen gleichmäßig ansteigenden Schub bei geringer Stromaufnahme, daher eignet er sich sehr gut für vorbildgetreue Modelle, die eine lange Fahrzeit haben und einen großen Geschwindigkeits-Bereich überstreichen sollen.

Das Boot mit Hydro-Antrieb liefert bei geringer Spannung kaum Zugkraft, erst bei höherer Spannung steigt diese. Das Boot hat zwar eine geringere Zugkraft als das Boot mit vollgetauchtem Antrieb, man muss dabei aber beachten, dass das Boot mit dem vollgetauchtem Antrieb über fünf Kilogramm wiegt, das Boot mit halbgetauchtem Antrieb dagegen nicht einmal 500 Gramm. Also ist der Schub im Verhältnis zum Gewicht sehr hoch. Dafür hat dieser Antrieb aber auch eine sehr hohe Stromaufnahme. Daraus ergeben sich kurze Fahrzeiten. Somit eignet sich der halbgetauchte Antrieb für Boote die nur sehr hohe Geschwindigkeiten und keine langen Fahrzeiten erreichen müssen.

Der Jetantrieb liefert wie auch der halbgetauchte Antrieb erst ab einer bestimmten Spannung ausreichend Schub, um das Boot schnell vorwärts zu bewegen. Diese Antriebsart hat mit Abstand die geringste Zugkraft, dafür aber auch die geringste Stromaufnahme. Dies kommt aber nur durch die Verwendung eines sehr schwachen Motors. Würde man einen leistungsstärkeren Motor verwenden, würde der Jet-Antrieb die Lücke zwischen halb- und vollgetauchtem Antrieb schließen. Damit eignet er sich für Boote, die eine mittlere Fahrzeit und Geschwindigkeit erreichen sollen.

Interessant ist auch die Darstellung der Messwerte, wenn man die spezifische Kraft darstellt. Diese soll angeben, wieviel elektrische Leistung der Motor benötigt, um eine bestimmte Kraft zu entwickeln. Danach schneidet der vollgetauchte Antrieb am besten ab, während der halbgetauchte Antrieb - der ja eher für höchste Geschwindigkeiten ausgelegt ist - am schlechtesten wegkommt. Die Unregelmäßigkeit beim Jet-Antrieb beim drittletzten Messwert ist wohl auf eine Messungenauigkeit zurückzuführen.

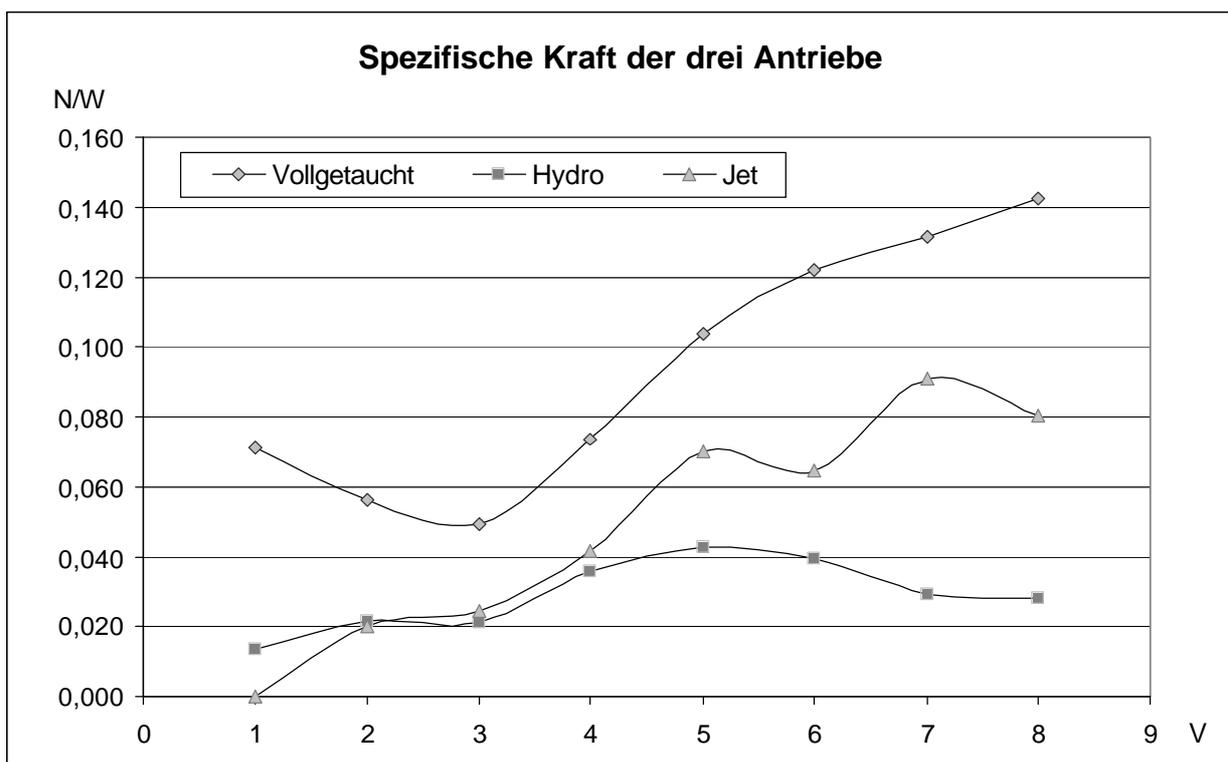


Abb. 14: Vergleich der spezifischen Kraft der drei Antriebssysteme

## 6. Quellenangaben

- [1] [http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.business-geomatics.com/bilder/tv\\_Containerschiff.jpg&imgrefurl=http://www.business-geomatics.com/aktuell/tv.html&h=258&w=200&sz=24&tbnid=RZHFUZipVxYJ:&tbnh=105&tbnw=82&start=20&prev=/images%3Fq%3DContainerschiff%26hl%3Dde%26lr%3D](http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.business-geomatics.com/bilder/tv_Containerschiff.jpg&imgrefurl=http://www.business-geomatics.com/aktuell/tv.html&h=258&w=200&sz=24&tbnid=RZHFUZipVxYJ:&tbnh=105&tbnw=82&start=20&prev=/images%3Fq%3DContainerschiff%26hl%3Dde%26lr%3D)
- [2] <http://www.fountainracing.com/2004schedule.htm>
- [3] <http://www.hydroworld.de/>
- [4] Marc Flegel (per E-Mail)
- [5] [http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.k10.ch/staub/modelle/bilder/db1.jpg&imgrefurl=http://www.k10.ch/staub/modelle/bilder/fotos\\_deepblue.htm&h=638&w=900&sz=45&tbnid=KSekgmMjhcYJ:&tbnh=101&tbnw=143&start=14&prev=/images%3Fq%3DJet%2Bsprint%26hl%3Dde%26lr%3D](http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.k10.ch/staub/modelle/bilder/db1.jpg&imgrefurl=http://www.k10.ch/staub/modelle/bilder/fotos_deepblue.htm&h=638&w=900&sz=45&tbnid=KSekgmMjhcYJ:&tbnh=101&tbnw=143&start=14&prev=/images%3Fq%3DJet%2Bsprint%26hl%3Dde%26lr%3D)
- [6] <http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.karibikreisen.com/Eurokaribik%2>
- [7] [http://www.world-of-powerboat.de/assets/images/victory\\_7\\_front.jpg](http://www.world-of-powerboat.de/assets/images/victory_7_front.jpg)
- [8] [http://www.nzpba.com/GP\\_Club/HydroPlanePic.jpg](http://www.nzpba.com/GP_Club/HydroPlanePic.jpg)
- [9] [http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.rc-network.de/magazin/artikel\\_02/art\\_02-0019/seaj01w.gif&imgrefurl=http://www.rc-network.de/magazin/artikel\\_02/art\\_02-0019/art\\_02-0019-00.html&h=248&w=450&sz=24&tbnid=bRhC2FsozBMJ:&tbnh=68&tbnw=123&start=6&prev=/images%3Fq%3Djetantrieb%26hl%3Dde%26lr%3D](http://images.google.de/imgres?imgurl=http://www.rc-network.de/magazin/artikel_02/art_02-0019/seaj01w.gif&imgrefurl=http://www.rc-network.de/magazin/artikel_02/art_02-0019/art_02-0019-00.html&h=248&w=450&sz=24&tbnid=bRhC2FsozBMJ:&tbnh=68&tbnw=123&start=6&prev=/images%3Fq%3Djetantrieb%26hl%3Dde%26lr%3D)
- [10] Dr. Günther Miel: „Elektro-Rennboote“, Neckar-Verlag Villingen 1993