

Bericht Nr. 3492

Vergleichsuntersuchung von Propellern für Segelyachten

Potsdam, August 2008

Vergleichsuntersuchung von Propellern für Segelyachten

Auftraggeber: JAHN TOP SPECIAL VERLAG GmbH & Co. KG
Zeitschrift Segeln
Troplowitzstraße 5
22529 Hamburg
Tel. +49 40 389 06 123
Fax +49 40 389 06 6123

Auftragnehmer: Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam GmbH
Marquardter Chaussee 100
14469 Potsdam
Tel. +49 331 567 12 0
Fax +49 331 567 12 49

SVA-Auftrag Nr.: 4163

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Dr. St. Helma

Dieser Bericht enthält:

12	Blatt Text
12	Blatt Tabellen
6	Blatt Abbildungen
12	Blatt Fotos

Potsdam, den 25.08.2008
korrigierte Version von 01.04.2009

Geschäftsleitung

Bearbeiter

Inhaltsverzeichnis

	Blatt
1. Einleitung und Aufgabenstellung	1.4
2. Versuchsaufbau und -programm	1.4
2.1 Propellerauswahl	1.4
2.2 Randbedingungen	1.4
2.3 Versuchsprogramm und -durchführung	1.5
2.4 Versuchsaufbau	1.6
3. Versuchsmethodik und -ergebnisse	1.6
3.1 Schleppwiderstand in Segelstellung	1.6
3.2 Maximaler Pfahlzug vorwärts und rückwärts	1.6
3.3 Leistung bei Marsch- und voller Fahrt	1.7
3.4 Segelstellung	1.8
4. Zusammenfassung	1.11
5. Literaturverzeichnis	1.11
6. Symbolverzeichnis	1.11

Tabellen

Propellerkennwerte Freifahrt	2.1 – 2.12
------------------------------	------------

Abbildungen

Schleppwiderstand bei 6 kn, Propeller in Segelstellung	3.1
Relativer Schleppwiderstand bei Marschfahrt	3.2
Maximal erreichbarer Pfahlzug	3.3
Marsch- und volle Fahrt	3.4 – 3.5
Extrapolation der Propellerdrehzahl für volle Fahrt	3.5
Freifahrtkurven	3.6

Fotos

Propeller Nr. 1-12	4.1 – 4.12
--------------------	------------

1. Einleitung und Aufgabenstellung

Für den Auftraggeber sollen für einen Vergleichstest im Magazin „segeln“ zweiflügelige Propeller für Segelyachten untersucht werden. Dabei sollen folgende Punkte betrachtet werden:

- Schleppwiderstand
- Manöviereigenschaften im Hafen
- Eigenschaften bei Voraussfahrt

Die Propeller sollen von den Herstellern zur Verfügung gestellt werden.

2. Versuchsaufbau und -programm

2.1 Propellerauswahl

Der Auftraggeber traf die Auswahl der Hersteller. Nach Absprache mit der SVA Potsdam erhielten die Hersteller die Aufgabe, für die Segelyacht Bavaria 34cruiser¹ (siehe Tabelle 1), ausgestattet mit einem Volvo Penta Motor D1-20 mit Saildrive 130S² (siehe Tabelle 2), einen passenden Propeller mit zwei Flügeln auszuwählen und zu liefern. Die in Tabelle 5 aufgelisteten Propeller standen schlussendlich für den Test zur Verfügung.

Tabelle 1: Hauptabmessungen Bavaria 34cruiser [1]

Länge über alles	10,71 m
Wasserlinienlänge	9,20 m
größte Breite	3,60 m
Tiefgang	1,90 m
Leergewicht	ca 5 700 kg

Tabelle 2: Technische Daten Volvo Penta D1-20 und Saildrive 130S [2]

Schwungradleistung		13,8 kW
Propellerwellenleistung		13,3 kW
Drehzahlbereich	$N_{\min}-N_{\max}$	1200-3200 U/min
Nenndrehzahl	N_{soll}	2800-3200 U/min
Untersetzung Saildrive	i	2,19:1

2.2 Randbedingungen

Als mechanischen Wirkungsgrad η_{mech} des Saildrives wird das Verhältnis von Propellerwellen- zu Schwungradleistung angesetzt:

$$\eta_{\text{mech}} = \frac{13,3}{13,8} = 0,96$$

¹ Bavaria Yachtbau GmbH, Bavariastraße 1, 97232 Giebelstadt, Deutschland

² AB Volvo Penta, 405 08 Göteborg, Schweden

Es wird angenommen, dass die gesamte Motorleistung für den Antrieb zur Verfügung steht. Es werden daher keine Abzüge für die von Hilfsaggregaten des Motors (z.B. der Lichtmaschine) entnommenen Leistungen vorgenommen.

Die Auswertung für die Referenz yacht wird für eine Dichte des Seewassers von

$$\rho_s = 1025 \text{ kg} / \text{m}^3$$

durchgeführt. Das entspricht Wasser aus dem Atlantik bei 18°C.

An der Segelyacht ist der Abstand zwischen Propellerwelle und Rumpf größer als ein Propellerdurchmesser. Deshalb wird die Wechselwirkung zwischen Rumpf und Propeller vernachlässigt.

2.3 Versuchsprogramm und -durchführung

Vom Auftraggeber wurden nach Absprache mit der SVA folgende Ziele festgelegt:

- **Schleppwiderstand** bei 6,0 kn Schiffsgeschwindigkeit, entsprechend einer typischen unter Segel erreichten Geschwindigkeit.
- **Manöviereigenschaften im Hafen:** Als typisches Merkmal der Manöviereigenschaften in räumlich begrenzten Gewässern soll der maximal erreichbare Pfahzug vorwärts und rückwärts dienen.
- **Eigenschaften bei Vorausr:** Diese sollen bei den beiden von Bavaria angegebenen Geschwindigkeiten von 6,4 und 7,6 kn für die Marschgeschwindigkeit bzw. volle Fahrt untersucht werden.

Damit wurde folgendes Versuchsprogramm ausgearbeitet:

Jeder der Propeller wird auf das Dynamometer H39 montiert und damit in der Schlepprinne der SVA folgende Versuche durchgeführt:

1. Schleppwiderstand in Segelstellung
2. Pfahzug vorwärts
3. Pfahzug rückwärts
4. Leistung bei Marsch- und voller Fahrt

ad 1. Schleppwiderstand in Segelstellung

Bei stehender Antriebswelle des Dynamometers tritt zwischen der Wellendichtung und der Welle Haftreibung auf. Bei der für die Kraftmessung notwendigen Verschiebung der Welle wird somit durch die Elastizität der Wellendichtung eine axiale Kraft auf das Dynamometer übertragen. Um diese Haftreibung zu überwinden und das Gleiten der Wellendichtung auf der Welle zu ermöglichen, wurde der Schleppwiderstand bei einer Drehzahl von 0,5 1/s in jeweils beide Drehrichtungen gemessen. In der SVA durchgeführte Versuche zeigten, dass der Einfluss dieser kleinen Drehzahlen auf den Widerstand im Rahmen der Messgenauigkeit bleiben [3]. Der Schleppwiderstand konnte bei der gleichen Geschwindigkeit, wie bei der Referenz yacht, - also 6,0 kn (3,09 m/s) - gemessen werden.

ad 2. und 3. Pfahzug vorwärts und rückwärts

Die Kennwerte für den Pfahzug wurden bei einer Propellerdrehzahl von 13 1/s gemessen. Die Position des Schleppwagens war dabei am Beginn des letzten Drittels der Schlepprinne.

ad 4. Leistung bei Marsch- und voller Fahrt

Dazu wurde eine Variation der Anströmgeschwindigkeit bei konstanter Propellerdrehzahl von 13 1/s durchgeführt, um den Bereich der Marsch- und vollen Fahrt abzudecken.

2.4 Versuchsaufbau

Zur Messung von Drehzahl, Schub und Drehmoment wurde das Freifahrtdynamometer H39 verwendet. Der Dynamometerschaft befand sich stromaufwärts des Propellers, damit der Propeller ungehindert in die Segelstellung klappen kann. Der Saildrive wurde nur durch das untere Gehäuse simuliert, der Schaft wurde weggelassen. Dieses Gehäusedummy wurde vor dem Propeller auf das Wellenrohr mit einem Spaltabstand von 3 mm zwischen Rückseite Dummy zu Vorderseite Propellernabe montiert.

3. Versuchsmethodik und –ergebnisse

Die Ergebnisse sind in der Tabelle 6 zusammengefasst. Die gemessenen Freifahrtkurven sind in der Abbildung 3.6 dargestellt.

3.1 Schleppwiderstand in Segelstellung

Für die bei beiden Drehrichtungen gemessenen Schleppwiderstände T_M des Propellers in Segelstellung wurden dieser durch den mit der Anströmgeschwindigkeit V_M gebildeten Staudruck dividiert:

$$\zeta_R = \frac{T_M}{\frac{\rho_M}{2} V_M^2}$$

Daraus lässt sich der Schleppwiderstand R_S der Propeller an der Yacht ermitteln:

$$R_S = \zeta_R \frac{\rho_S}{2} V_S^2$$

Die so berechneten Schleppwiderstände für beide Drehrichtungen wurden gemittelt und sind in der Abbildung 3.1 dargestellt. In der Abbildung 3.2 wurden die Schleppwiderstände auf den Widerstand der Referenzyacht ohne Propeller bei Marschgeschwindigkeit (siehe Kapitel 3.3) bezogen dargestellt.

Anmerkung zum Schleppwiderstand von -0,7 N für den Propeller Nr. 8:

Ein negativer Schleppwiderstand bedeutet Schub in Fahrtrichtung, d.h. Vortrieb. Im Anschluss durchgeführte Versuche zeigten, dass dieser Vortrieb quadratisch von der Anströmgeschwindigkeit abhängt und indirekt proportional zum Spaltabstand zwischen Dummy und Propellernabe ist. Daher liegt es nahe, den Vortrieb dadurch zu erklären, dass das außen vorbeiströmende Wasser einen Unterdruck im Spalt erzeugt, der die Nabe zum Dummy zieht. Betrachtet man aber das Gesamtsystem Propeller-Dummy, so wirkt dieser Unterdruck im Spalt auf beiden Seiten und die resultierenden Kräfte heben sich auf. Um diesen Effekt messtechnisch erfassen zu können, müsste die Gesamtkraft auf Propeller und Dummy gemessen werden, was im Rahmen dieser Arbeit leider nicht möglich war.

3.2 Maximaler Pfahlzug vorwärts und rückwärts

Der gemessene Schub T_M und das Drehmoment Q_M wurden in die Schub- und Momentenbeiwerte K_T und K_Q umgerechnet:

$$K_T = \frac{T_M}{\rho_M n_M^2 D^4}$$

$$K_Q = \frac{Q_M}{\rho_M n_M^2 D^5}$$

Aus K_Q lassen sich die Drehmomentenkurve Q_S des Propellers und das vom Motor zu liefernde Drehmoment Q_{Motor} bestimmen:

$$Q_S(n_S) = K_Q \rho_S n_S^2 D^5$$

$$Q_{Motor} = \frac{Q_S(n_S)}{i \eta_{mech}}$$

Der Schnittpunkt der Kurve Q_{Motor} mit der Drehmomentkurve des Motors ergibt die maximal mögliche Drehzahl $n_{Pfahlzug}$ des Motors unter Pfahlzugbedingung. Diese muss im Bereich der minimalen und maximalen Drehzahl $N_{min} - N_{max}$ des Motors liegen.

Mit $n_{Pfahlzug}$ kann der Pfahlzug berechnet werden:

$$T_{Pfahlzug} = K_T \rho_S n_{Pfahlzug}^2 D^4$$

Die Ergebnisse sind in der Abbildung 3.3 für beide Drehrichtungen dargestellt.

Die Drehzahl des Propellers und des Motors stehen dabei in folgendem Zusammenhang:

$$n_{Motor} = n_S \cdot i$$

3.3 Leistung bei Marsch- und voller Fahrt

Unter diesem Punkt soll die erforderliche Leistung bestimmt werden, bei der die Referenzyacht eine Geschwindigkeit von 6,4 und 7,6 kn (3,29 oder 3,91 m/s), entsprechend der Marsch- bzw. vollen Fahrt, erreicht.

Hierbei stellt sich das Problem, dass von der Referenzyacht keine Widerstandskurve zur Verfügung steht. Jedoch sind die Fahrleistungen mit dem Propeller Nr. 12 bekannt (siehe Tabelle 3)³.

Tabelle 3: Fahrleistungen der Referenzyacht mit Propeller Nr. 12

		Marschfahrt	volle Fahrt
Geschwindigkeit	V_s	6,4 kn	7,6 kn
Motordrehzahl	N	2000 U/min	3000 U/min

Aus diesen Daten und den Freifahrtkennwerten lassen sich der Schub und somit der Widerstand der Referenzyacht für die beiden Geschwindigkeiten unter der Annahme errechnen, dass die Wechselwirkung zwischen dem Propeller am Saildrive und dem Rumpf vernachlässigbar klein ist⁴:

$$T = K_T \rho n_s^2 D^4$$

³ Zur Verfügung gestellt vom Auftraggeber per E-Mail vom 22.07.2008.

⁴ Dies ist sicher gerechtfertigt, da der Saildrive den Propeller weit unter den Rumpf absetzt, so dass dieser in der ungestörten Anströmung arbeiten kann.

mit K_T bei gleicher Fortschrittsziffer $J = V_s / (n_s D)$ für Referenzyacht und Modellversuch aus dem Freifahrt diagramm für den Propeller Nr. 12. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 angeführt.

Tabelle 4: **Berechnung des Widerstands der Referenzyacht aus den Daten zur Fahrleistung**

			Marschfahrt	volle Fahrt
Geschwindigkeit	V_s	[kn]	6,4	7,6
		[m/s]	3,29	3,91
Motordrehzahl	N_{Motor}	[U/min]	2000	3000
		[1/s]	33,33	50,00
Propellerdrehzahl	n_s	[1/s]	15,22	22,83
Fortschrittsziffer	J	[-]	0,532	0,421
Schubbeiwert	K_T	[-]	0,0867	0,1145
Schub = Widerstand	$T = R_0$	[N]	548	1630

Mit diesen errechneten Schüben kann nach obigem Schema, nur in umgekehrter Reihenfolge, die Motordrehzahl N_{Motor} bestimmt werden, mit der der Motor laufen müsste, um die Referenzyacht mit diesem Propeller auf die gewünschte Geschwindigkeit zu bringen (siehe Abbildung 3.4). Dabei muss die Motordrehzahl N_{Motor} zwischen N_{min} und N_{max} liegen. Liegt die erforderliche Drehzahl über N_{max} , so müsste der Propeller höher drehen - der Propeller ist „zu leicht“ und die Yacht erreicht die gewünschte Geschwindigkeit nicht. Das ist bei den Propellern 4, 9, 10 und 11 der Fall.

Mit den beiden Formeln aus Kapitel 3.2 lässt sich das vom Motor abzugebende Moment Q_{Motor} bestimmen (siehe Abbildung 3.4):

$$Q_s(n_s) = K_Q \rho_s n_s^2 D^5$$

$$Q_{Motor} = \frac{Q_s(n_s)}{i \eta_{mech}}$$

Liegt dieses erforderliche Moment über dem bei dieser Drehzahl maximal möglichem Moment des Motors (das aus der Drehmomentkurve zu entnehmen ist), so ist der Propeller „zu schwer“ und die Drehzahl wird nicht erreicht. Ein Dieselmotor würde stark rußen. Das ist bei den Propellern 1, 7, 8, 10 und 11 der Fall.

Die dem Motor abverlangte Leistung ist dann (siehe Abbildung 3.5):

$$P_{Motor} = 2\pi n_{Motor} Q_{Motor} = \frac{2\pi N_{Motor} Q_{Motor}}{60}$$

Bei drei Propellern (Nr. 1, 3 und 5) mussten die Betriebspunkte bei der vollen Fahrt nach oben extrapoliert werden, da die Versuche diesen Bereich nicht abdeckten. Dazu wurde eine quadratische Ausgleichfunktion gewählt (siehe Abbildung 3.5).

3.4 Segelstellung

Während der Versuche wurde mittels Videokamera der Propeller beobachtet und folgende Übergänge festgehalten:

- Fahrtgeschwindigkeit, bei der der stehende Propeller in Segelstellung klappt.
- Drehzahl, bei der sich der Propeller im Stand in die Vortriebsstellung stellt.

Diese Werte sind in Tabelle 1 unter den Punkten „Ausklappen“ und „Zuklappen“ angeführt.

Tabelle 5: Hauptdaten der untersuchten Propeller











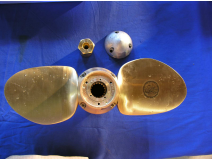

Nr Propeller		1 <i>Max- prop</i>	2 <i>Vari- fold</i>	3 <i>Gori</i>	4 <i>Volvo Penta</i>	5 <i>Flex-o- fold</i>	6 <i>Auto- prop</i>	7 <i>Gori 3 Flügel</i>	8 <i>Gori racing</i>	9 <i>Vari- profile VP-64</i>	10 <i>Vari- prop DF 80</i>	11 <i>allpa</i>	12 <i>Fest- propeller Volvo Penta</i>
Seriennummer		R2895	VF2927	72425	3888448	-	AP- 7604	72992	72942	-	80.2.171. 08	-	-
Typ		drehend	faltend	faltend	faltend	faltend	frei drehend	faltend	faltend	drehen d	drehen d	faltend	fest
Flügelzahl		2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2
Drehrichtung		links	links	links	links	links	links	links	links	links	links	links	links
Durchmesser													
Herstellerangabe	mm	381	381	381	381	376	394	381	380	380	381	381	406,4
tatsächlich	mm	378,0	375,0	378,8	374,4	382,0	393,0	375,0	375,5	387,5	385,0	380,0	404,0
Steigung													
Herstellerangabe	Zoll	12	9	12	8	k.A.	-	12	265 mm	vw: 11 rw: 10	vw: 12 rw: 11	9	11
Sehnenlänge													
C_{0,7}	mm	143,2	119,1	92,6	121,0	108,8	-	-	89,9	131,6	117,4	99,6	113,5
Versuchsnummer		08-F- 0707	08-F- 0714	08-F- 0713	08-F- 0711	08-F- 0715	08-F- 0706	08-F- 0717	08-F- 0716	08-F- 0710	08-F- 0709	08-F- 0708	08-F- 0712
													
													

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse⁵

Nr		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Propeller		Max-prop	Vari-fold	Gori	Volvo Penta	Flex-o-fold	Auto-prop	Gori 3 Flügel	Gori racing	Vari-profile	Vari-prop	allpa	Fest-propeller
Schleppwiderstand (6kn)													
blockiert	N	2,0	3,1	2,2	9,7	3,1	20,0	1,4	-0,7 ⁶	3,3	7,0	1,0	198,7
frei drehend	N	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	99,9
Pfahlzug vorwärts													
Motordrehzahl	U/min	2187	2932	2465	3200	2901	3200	2381	2886	2690	2545	3200	2557
Kraft	N	1632	2464	2173	1762	2477	1546	2069	2360	1971	1787	1918	2345
Motormoment	Nm	45,9	43,0	46,8	25,3	43,5	19,3	47,0	43,8	45,7	46,3	35,8	46,2
Motorleistung	kW	10,5	13,2	12,1	8,5	13,2	6,5	11,7	13,2	12,9	12,3	12,0	12,4
Pfahlzug rückwärts													
Motordrehzahl	U/min	2491	3200	2842	3200	3200	3200	3087	3200	2879	2856	3200	2741
Kraft	N	1847	1279	1815	882	1835	1599	2235	1030	2013	1929	977	1910
Motormoment	Nm	46,7	34,2	44,4	16,2	32,9	20,1	41,2	31,5	43,9	44,2	24,1	45,5
Motorleistung	kW	12,2	11,5	13,2	5,4	11,0	6,7	13,3	10,6	13,2	13,2	8,1	13,0
Marschgeschwindigkeit (6,4kn)													
Motordrehzahl	U/min	2040	2100	1990	2860	1950	1670	2090	2000	2240	2130	2650	2010
Motormoment	Nm	18,9	15,0	15,5	12,8	12,8	17,5	16,3	16,7	12,3	12,6	17,3	15,1
Motorleistung	kW	4,0	3,3	3,2	3,8	2,6	3,0	3,6	3,5	2,9	2,8	4,8	3,2
Volle Fahrt (7,6kn)													
Motordrehzahl	U/min	2950	3120	3060	<i>4210</i>	2990	2880	3090	3090	<i>3440</i>	<i>3310</i>	<i>3960</i>	2990
Motormoment	Nm	<i>43,0</i>	35,8	34,8	(35,5)	33,8	42,0	<i>46,2</i>	<i>44,9</i>	(42,5)	(47,0)	(48,3)	41,3
Motorleistung	kW	(13,3)	11,7	11,1	(15,6)	10,6	12,7	(15,0)	(14,5)	(15,3)	(16,3)	(20,0)	12,9
Ausklappen													
Drehzahl	1/s	4,0	2,1	0,95	2,2	3,36	1,76	1,2	1,6	k.A.	2,3	1,16	-
Motordrehzahl	U/min	530	280	120	290	440	230	160	210	k.A.	300	150	-
Zuklappen													
Geschwindigkeit	m/s	1,8	0,9	1,2	1	1	-	1,7	1,4	1,4	1,6	0,7	-
Geschwindigkeit	kn	3,5	1,7	2,3	1,9	1,9	-	3,3	2,7	2,7	3,1	1,4	-

⁵ *Kursiv* gesetzte Zahlen zeigen Ergebnisse, die außerhalb des Motorkennfeldes liegen. Die daraus folgenden Ergebnisse sind in Klammern () gesetzt.

⁶ Siehe Anmerkung zum negativen Schleppwiderstand in dem Kapitel 3.1.

4. Zusammenfassung

Für den Auftraggeber wurden ein Festpropeller, sechs Faltpropeller, vier Drehflügelpropeller (alle zweiflügelig) und ein dreiflügeliger Faltpropeller untersucht. Dabei wurden der Schleppwiderstand, der Pfahlzug vorwärts und rückwärts und die beiden Betriebspunkte „Marschfahrt“ und „Volle Fahrt“ untersucht.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Bavaria Yachtbau GmbH
Website <http://www.bavaria-yachtbau.com/index.php?id=1253>, 13.08.2008
- [2] AB Volvo Penta
Datenblatt D1-20, Juni 2006
- [3] Heinke, H.-J.
Untersuchungen zum Entwurf eines Propellers für ein Aktivrudder
Bericht Nr. 2872, Schiffbau-Versuchsanstalt Potsdam, März 2003 (unveröffentlicht)

6. Symbolverzeichnis

$C_{0,7}$	m	Sehnenlänge des Flügelprofils bei einem Durchmesser von 0,7D
D	m	Durchmesser des Propellers im entfaltenen Zustand
i	-	Untersetzungsverhältnis des Saildrives
J	-	Fortschrittsziffer
K_Q	-	(Dreh-)Momentenbeiwert
K_T	-	Schubbeiwert
n_M	1/s	Propellerdrehzahl im Versuch
n_{Motor}	1/s	Drehzahl des Motors
$n_{Pfahlzug}$	1/s	Propellerdrehzahl unter Pfahlzugbedingung an der Referenzyacht
n_S	1/s	Propellerdrehzahl an der Referenzyacht
N_{min}	U/min	kleinste Drehzahl des Motors
N_{max}	U/min	größte Drehzahl des Motors
N_{Motor}	U/min	Drehzahl des Motors
N_{soll}	U/min	Nennndrehzahl des Motors
P_{Motor}	W	Leistung des Motors
Q_M	Nm	Drehmoment des Propellers im Versuch
Q_S	Nm	Drehmoment des Propellers an der Referenzyacht
Q_{Motor}	Nm	Drehmoment des Motors in der Referenzyacht
R_0	[N]	Widerstand der Referenzyacht ohne Propeller
R_N	-	Reynoldszahl ($\sqrt{(0,7\pi D)^2 + V^2} C_{0,7} / \nu$)
R_S	N	Schleppwiderstand des Propellers an der Referenzyacht

T_M	N	Propellerschub im Versuch
$T_{P\text{fah}\text{Lzug}}$	N	Propellerschub unter Pfahlzugbedingung bei der Referenz yacht
T_S	N	Propellerschub bei der Referenz yacht
T_W	°C	Wassertemperatur
V_M	m/s	Anströmgeschwindigkeit im Versuch
V_S	m/s	Schiffsgeschwindigkeit der Referenz yacht
η_{mech}	-	mechanischer Wirkungsgrad des Saildrives
η_0	-	Freifahrtwirkungsgrad ($TV/(2\pi nQ) = K_T/K_Q \cdot J/(2\pi)$)
ν	m/s ²	kinematische Zähigkeit des Wassers
ρ_M	kg/m ³	Dichte des Wassers im Versuch
ρ_S	kg/m ³	Dichte des Wassers für die Referenz yacht
ζ_R	m ²	Schleppwiderstand dividiert durch den Staudruck

Versuch Nr. : **08-F-0707** Datum : 24.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Maxprop**

Propeller Nr. : **1** D [m] : **0.37800**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : 0.14320

T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.091	0.500	-2.72	-0.163	Schleppwiderstand
2	3.092	0.506	-1.23	-2.458	
3	0.000	11.794	798.29	47.417	Pfahlzug
4	0.000	12.996	-845.04	-45.084	
5	2.303	12.858	492.76	31.431	Vorausfahrt
6	2.804	12.925	364.22	24.905	
7	3.304	12.925	234.01	18.481	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	16.3466	-0.5335	-0.8474		0.445	Schleppwiderstand
2	16.1709	-0.2357	-12.470		0.445	
3	0.0000	0.2816	0.4425	0.0000	1.397	Pfahlzug
4	0.0000	-0.2455	-0.3466	0.0000	1.540	
5	0.4738	0.1463	0.2468	0.4468	1.558	Vorausfahrt
6	0.5738	0.1070	0.1935	0.5049	1.583	
7	0.6763	0.0687	0.1436	0.5152	1.602	

Versuch Nr. : **08-F-0714** Datum : 25.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Varifold**

Propeller Nr. : **2** D [m] : **0.37500**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : 0.11910

T_w [°C] : 20.10 ν [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.092	0.497	-3.70	0.258	Schleppwiderstand
2	3.093	0.512	-2.41	-0.212	
3	0.000	13.030	785.90	28.660	Pfahlzug
4	0.000	13.007	-341.17	-19.054	
5	1.306	13.025	596.86	25.659	Vorausfahrt
6	1.803	13.028	519.96	24.019	
7	2.304	13.028	435.88	21.892	
8	2.801	13.029	343.60	19.265	
9	3.301	13.025	232.99	16.035	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	16.5934	-0.7597	1.4124		0.370	Schleppwiderstand
2	16.0967	-0.4657	-1.0910		0.370	
3	0.0000	0.2345	0.2280	0.0000	1.274	Pfahlzug
4	0.0000	-0.1022	-0.1521	0.0000	1.272	
5	0.2673	0.1782	0.2043	0.3711	1.283	Vorausfahrt
6	0.3691	0.1552	0.1912	0.4768	1.291	
7	0.4716	0.1301	0.1743	0.5604	1.303	
8	0.5733	0.1025	0.1533	0.6102	1.316	
9	0.6758	0.0696	0.1277	0.5860	1.332	

Versuch Nr. : **08-F-0713** Datum : 25.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Gori**

Propeller Nr. : **3** D [m] : **0.37880**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : 0.09260

T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.089	0.501	-2.15	0.123	Schleppwiderstand
2	3.089	0.508	-2.22	-0.242	
3	0.000	12.983	874.63	38.329	Pfahlzug
4	0.000	13.048	-555.26	-27.647	
5	2.303	12.972	477.65	26.725	Vorausfahrt
6	2.801	12.978	391.79	23.630	
7	3.300	13.021	267.67	18.392	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	16.2756	-0.4160	0.6315		0.287	Schleppwiderstand
2	16.0392	-0.4177	-1.2003		0.287	
3	0.0000	0.2525	0.2921	0.0000	0.997	Pfahlzug
4	0.0000	-0.1587	-0.2086	0.0000	1.002	
5	0.4687	0.1381	0.2040	0.5051	1.018	Vorausfahrt
6	0.5698	0.1132	0.1802	0.5696	1.029	
7	0.6691	0.0768	0.1393	0.5871	1.045	

Versuch Nr. : **08-F-0711** Datum : 25.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Volvo Penta**

Propeller Nr. : **4** D [m] : **0.37440**
 Drehrichtung : Rechts $C_{0.7}$ [m] : 0.12100

T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.090	0.510	-9.12	0.165	Schleppwiderstand
2	3.090	0.554	-9.83	-0.522	
3	0.000	13.039	486.15	14.701	Pfahlzug
4	0.000	13.017	-242.53	-9.367	
5	1.304	13.036	309.54	11.806	Vorausfahrt
6	1.801	13.036	236.89	10.220	
7	2.301	13.038	143.33	7.962	
8	2.801	13.042	41.19	5.096	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	16.1951	-1.7914	0.8658		0.376	Schleppwiderstand
2	14.8890	-1.6318	-2.3123		0.376	
3	0.0000	0.1458	0.1177	0.0000	1.293	Pfahlzug
4	0.0000	-0.0730	-0.0753	0.0000	1.291	
5	0.2672	0.0929	0.0946	0.4174	1.302	Vorausfahrt
6	0.3690	0.0711	0.0819	0.5097	1.311	
7	0.4714	0.0430	0.0638	0.5057	1.322	
8	0.5736	0.0123	0.0408	0.2763	1.337	

Versuch Nr. : **08-F-0715** Datum : 25.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Flex-o-fold**

Propeller Nr. : **5** D [m] : **0.38200**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : 0.10870

T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.093	0.499	-3.68	0.157	Schleppwiderstand
2	3.093	0.511	-2.35	-0.186	
3	0.000	12.986	898.65	33.929	Pfahlzug
4	0.000	13.010	-549.22	-21.199	
5	2.304	13.028	505.29	24.576	Vorausfahrt
6	2.799	13.029	412.29	21.705	
7	3.301	13.028	317.37	18.461	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	16.2090	-0.6938	0.7737		0.338	Schleppwiderstand
2	15.8527	-0.4235	-0.8797		0.338	
3	0.0000	0.2507	0.2478	0.0000	1.180	Pfahlzug
4	0.0000	-0.1527	-0.1542	0.0000	1.183	
5	0.4630	0.1401	0.1783	0.5787	1.210	Vorausfahrt
6	0.5623	0.1143	0.1575	0.6494	1.222	
7	0.6632	0.0880	0.1340	0.6932	1.237	

Versuch Nr. : **08-F-0706** Datum : 24.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Autoprop**

Propeller Nr. : **6** D [m] : **0.39300**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : ---

T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.089	0.499	-17.40	1.553	Schleppwiderstand
2	3.088	0.570	-21.51	3.385	
3	0.000	13.019	522.21	14.475	Pfahlzug
4	0.000	13.035	-541.58	-15.055	
5	2.305	13.013	585.57	30.008	Vorausfahrt
6	2.804	13.016	581.03	33.348	
7	3.302	13.007	565.41	35.859	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	15.7602	-2.9374	6.6710			Schleppwiderstand
2	13.7826	-2.7788	11.1287			
3	0.0000	0.1294	0.0913	0.0000		Pfahlzug
4	0.0000	-0.1339	-0.0947	0.0000		
5	0.4507	0.1452	0.1894	0.5501		Vorausfahrt
6	0.5482	0.1440	0.2103	0.5974		
7	0.6460	0.1404	0.2265	0.6371		

Versuch Nr. : **08-F-0717** Datum : 25.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Gori-3 Flügel**

Propeller Nr. : **7** D [m] : **0.37500**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : ---

T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.093	0.497	-1.23	0.342	Schleppwiderstand
2	3.093	0.511	-1.54	-0.097	
3	0.000	12.998	962.55	45.283	Pfahlzug
4	0.000	13.015	-620.56	-23.715	
5	1.805	12.986	563.65	29.792	Vorausfahrt
6	2.302	12.889	447.75	25.359	
7	2.800	12.989	342.95	21.019	
8	3.300	12.982	228.10	16.270	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	16.5885	-0.2517	1.8672			Schleppwiderstand
2	16.1488	-0.2998	-0.5029			
3	0.0000	0.2887	0.3621	0.0000		Pfahlzug
4	0.0000	-0.1856	-0.1891	0.0000		
5	0.3707	0.1693	0.2387	0.4186		Vorausfahrt
6	0.4763	0.1366	0.2062	0.5019		
7	0.5749	0.1030	0.1683	0.5598		
8	0.6779	0.0686	0.1304	0.5672		

Versuch Nr. : **08-F-0716** Datum : 25.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Gori-Racing**

Propeller Nr. : **8** D [m] : **0.37550**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : 0.08990

T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.096	0.498	0.64	0.091	Schleppwiderstand
2	3.092	0.513	0.71	-0.251	
3	0.000	12.997	808.99	31.702	Pfahlzug
4	0.000	13.025	-288.59	-18.639	
5	1.805	13.035	553.49	28.344	Vorausfahrt
6	2.298	13.037	474.32	26.967	
7	2.802	13.033	391.83	25.242	
8	3.303	12.990	299.18	23.193	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	16.5414	0.1300	0.4943		0.279	Schleppwiderstand
2	16.0598	0.1369	-1.2796		0.279	
3	0.0000	0.2413	0.2519	0.0000	0.960	Pfahlzug
4	0.0000	-0.0857	-0.1474	0.0000	0.962	
5	0.3687	0.1642	0.2239	0.4303	0.977	Vorausfahrt
6	0.4695	0.1406	0.2129	0.4935	0.985	
7	0.5725	0.1162	0.1994	0.5311	0.995	
8	0.6772	0.0893	0.1844	0.5220	1.004	

Versuch Nr. : **08-F-0710** Datum : 24.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Variprofile**

Propeller Nr. : **9** D [m] : **0.38750**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : 0.13160

T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.092	0.500	-3.56	-0.408	Schleppwiderstand
2	3.093	0.514	-2.92	-0.270	
3	0.000	13.024	776.70	37.984	Pfahlzug
4	0.000	13.043	-694.80	-31.948	
5	1.304	13.005	548.52	27.454	Vorausfahrt
6	1.802	13.028	450.95	23.402	
7	2.301	13.029	330.35	18.490	
8	2.801	12.976	197.99	13.028	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	15.9505	-0.6312	-1.8711		0.409	Schleppwiderstand
2	15.5359	-0.4918	-1.1742		0.409	
3	0.0000	0.2035	0.2568	0.0000	1.454	Pfahlzug
4	0.0000	-0.1815	-0.2153	0.0000	1.456	
5	0.2587	0.1441	0.1861	0.3188	1.462	Vorausfahrt
5	0.3569	0.1181	0.1581	0.4242	1.473	
6	0.4557	0.0865	0.1249	0.5022	1.485	
7	0.5571	0.0522	0.0887	0.5222	1.494	

Versuch Nr. : **08-F-0709** Datum : 24.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Variprop**

Propeller Nr. : **10** D [m] : **0.38500**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : 0.11840

T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.092	0.500	-6.76	-0.193	Schleppwiderstand
2	3.092	0.508	-7.00	0.014	
3	0.000	13.026	786.88	43.057	Pfahlzug
4	0.000	13.001	-671.94	-32.533	
5	1.300	13.019	592.25	32.525	Vorausfahrt
6	1.802	12.976	495.85	27.943	
7	2.304	12.978	376.28	22.490	
8	2.800	12.973	245.05	16.674	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	16.0736	-1.2337	-0.9139		0.368	Schleppwiderstand
2	15.8258	-1.2395	0.0649		0.368	
3	0.0000	0.2115	0.3006	0.0000	1.300	Pfahlzug
4	0.0000	-0.1813	-0.2280	0.0000	1.297	
5	0.2593	0.1593	0.2273	0.2893	1.308	Vorausfahrt
6	0.3606	0.1343	0.1966	0.3921	1.312	
7	0.4611	0.1019	0.1581	0.4727	1.323	
8	0.5607	0.0664	0.1174	0.5049	1.336	

Versuch Nr. : **08-F-0708** Datum : 24.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt allpa**

Propeller Nr. : **11** D [m] : **0.38000**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : 0.09960

T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.090	0.499	-1.31	0.110	Schleppwiderstand
2	3.090	0.466	-0.57	-0.211	
3	0.000	13.022	534.03	21.058	Pfahlzug
4	0.000	13.037	-272.72	-14.192	
5	1.302	13.017	369.61	18.833	Vorausfahrt
6	1.804	13.021	284.04	16.996	
7	2.305	13.037	178.84	14.416	
8	2.804	13.030	46.31	10.866	
9	3.301	13.031	-162.27	3.444	

Propellerbeiwerte

Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	16.3094	-0.2529	0.5578		0.309	Schleppwiderstand
2	17.4332	-0.1250	-1.2267		0.309	
3	0.0000	0.1513	0.1570	0.0000	1.079	Pfahlzug
4	0.0000	-0.0771	-0.1056	0.0000	1.080	
5	0.2632	0.1048	0.1405	0.3124	1.086	Vorausfahrt
6	0.3645	0.0805	0.1267	0.3684	1.093	
7	0.4653	0.0506	0.1072	0.3491	1.104	
8	0.5662	0.0131	0.0809	0.1459	1.115	
9	0.6667	-0.0459	0.0256		1.128	

Versuch Nr. : **08-F-0712** Datum : 25.07.2008
 Versuchsart : **Freifahrt Volvo Penta Festpropeller**

Propeller Nr. : **12** D [m] : **0.40400**
 Drehrichtung : Links $C_{0.7}$ [m] : 0.11350

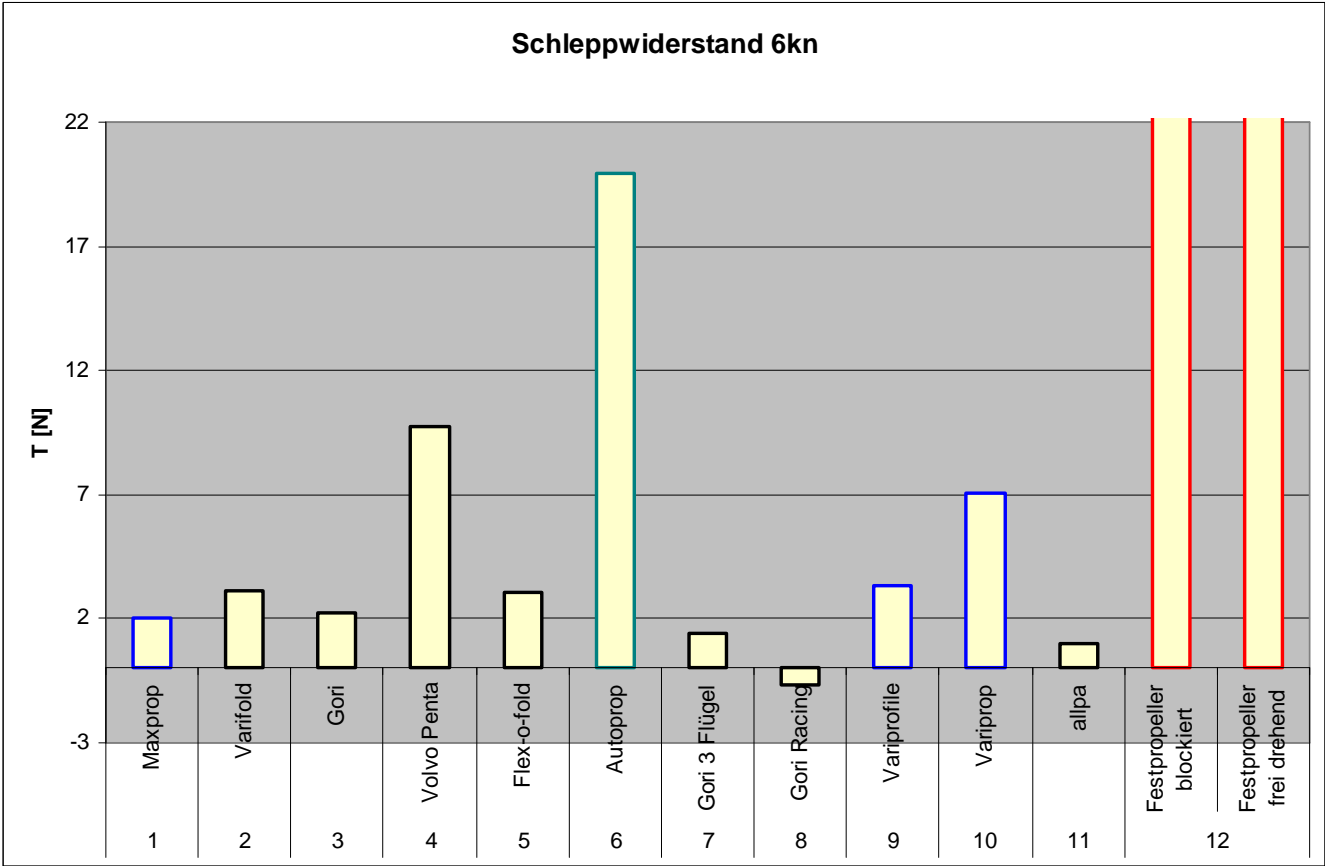
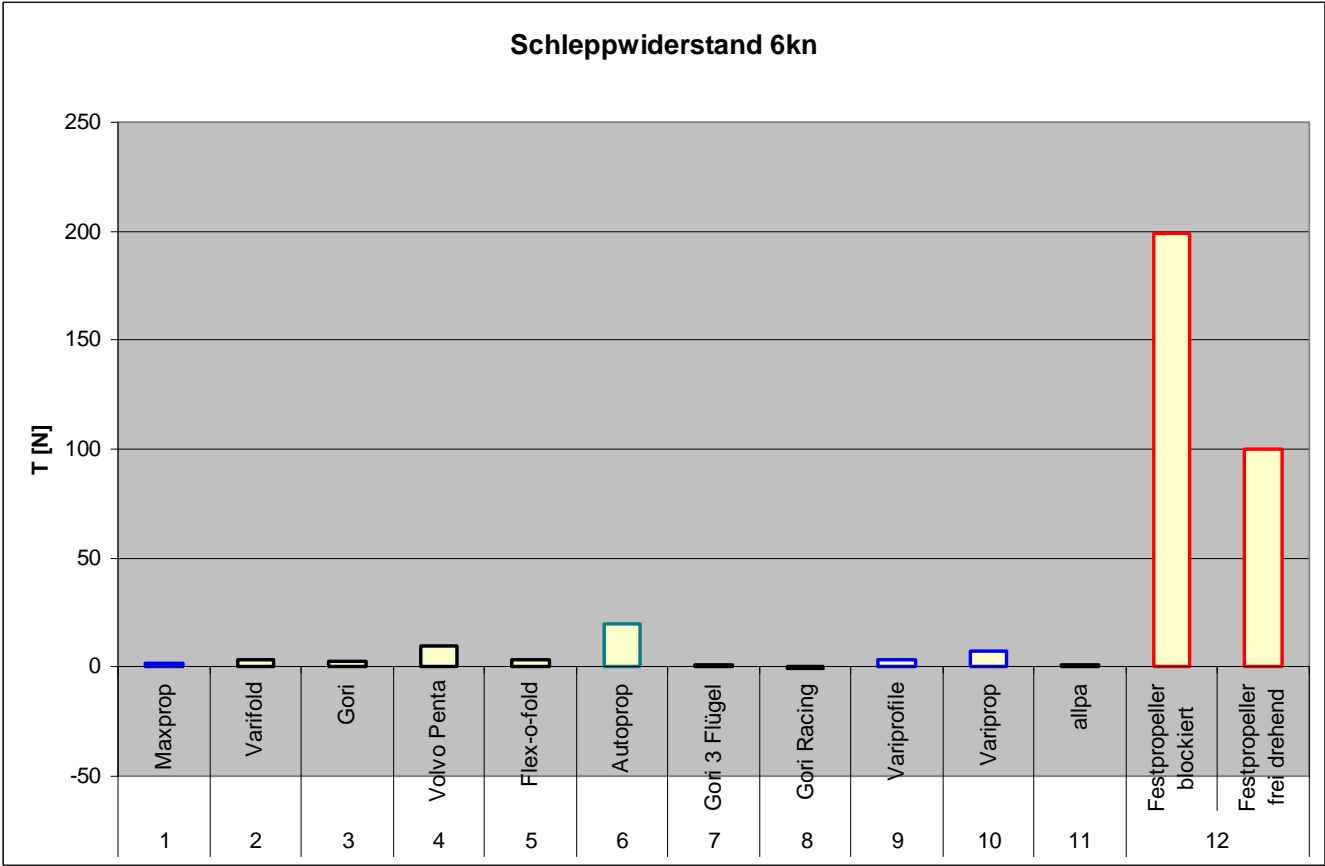
T_w [°C] : 20.10 v [m²/s]: 1.005E-6 ρ [kg/m³] : 998.154

Messwerte korrigiert und umgerechnet

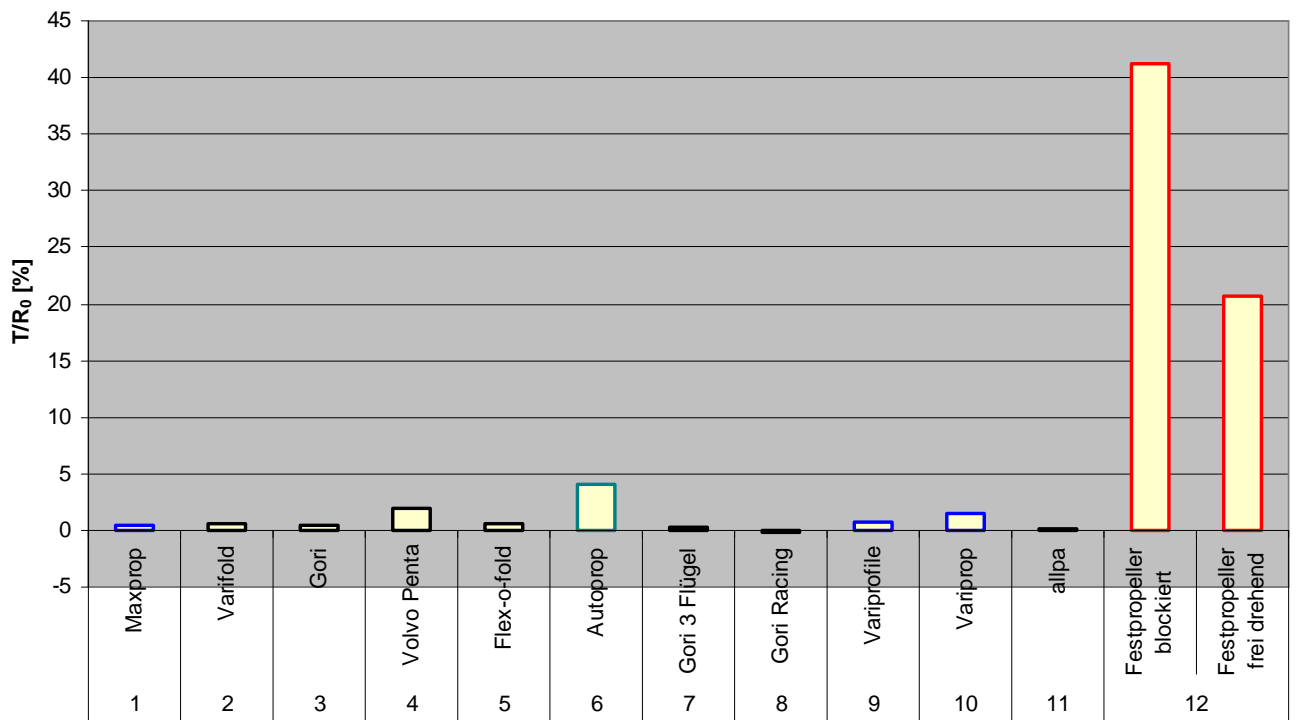
Nr.	V [m/s]	N [1/s]	T [N]	Q [Nm]	
1	3.092	0.499	-190.24	-6.413	Schleppwiderstand
2	3.090	0.510	-197.68	-7.331	
3	3.093	8.277	-97.69	-1.883	
4	0.000	13.032	1024.39	42.609	Pfahlzug
5	0.000	12.992	-721.42	-36.239	
6	1.800	13.024	625.31	29.538	Vorausfahrt
7	2.301	13.026	504.34	26.798	
8	2.798	13.025	389.16	22.646	
9	3.299	12.970	258.45	17.097	

Propellerbeiwerte

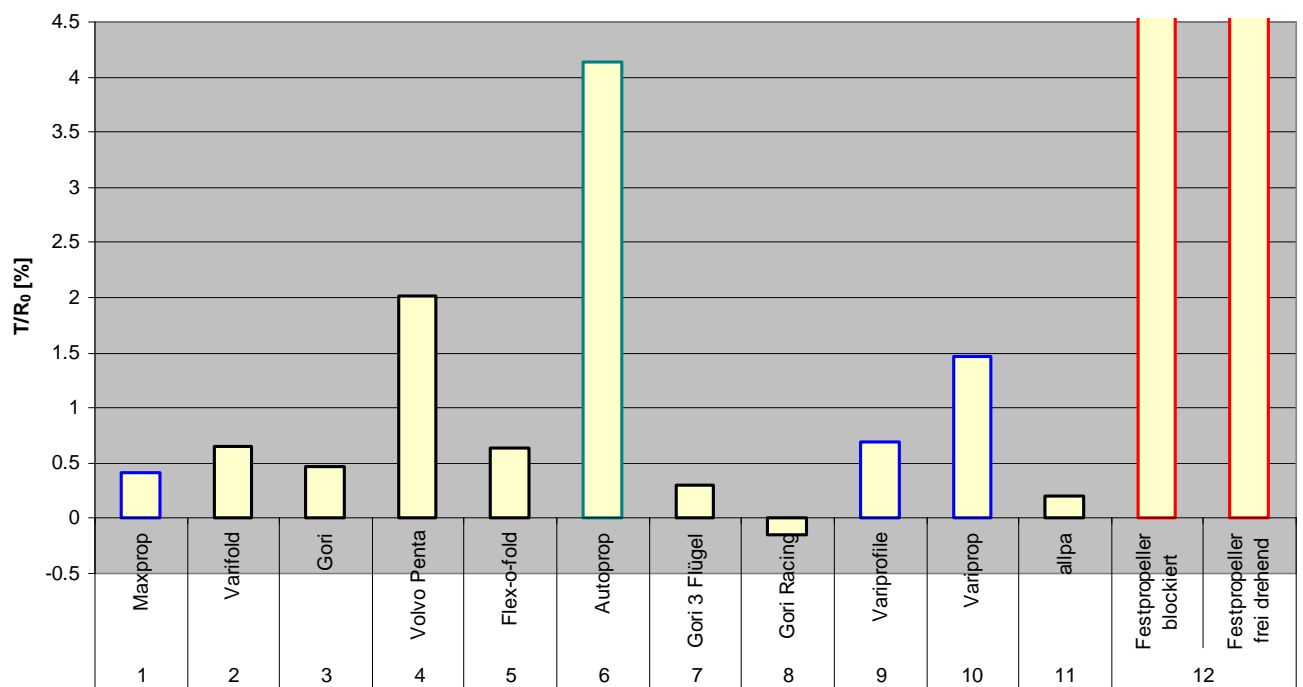
Nr.	J	K_T	$10K_Q$	η_0	$R_N \cdot 10^{-6}$	
1	15.3259	-28.690	-23.940		0.353	Schleppwiderstand
2	14.9986	-28.590	-26.240		0.353	
3	0.9250	-0.0536	-0.0256		0.901	
4	0.0000	0.2268	0.2335	0.0000	1.308	Pfahlzug
5	0.0000	-0.1607	0.1999	0.0000	1.304	
6	0.3422	0.1386	0.1621	0.4657	1.323	Vorausfahrt
7	0.4373	0.1118	0.1470	0.5292	1.333	
8	0.5318	0.0863	0.1243	0.5876	1.345	
9	0.6296	0.0578	0.0946	0.6120	1.354	

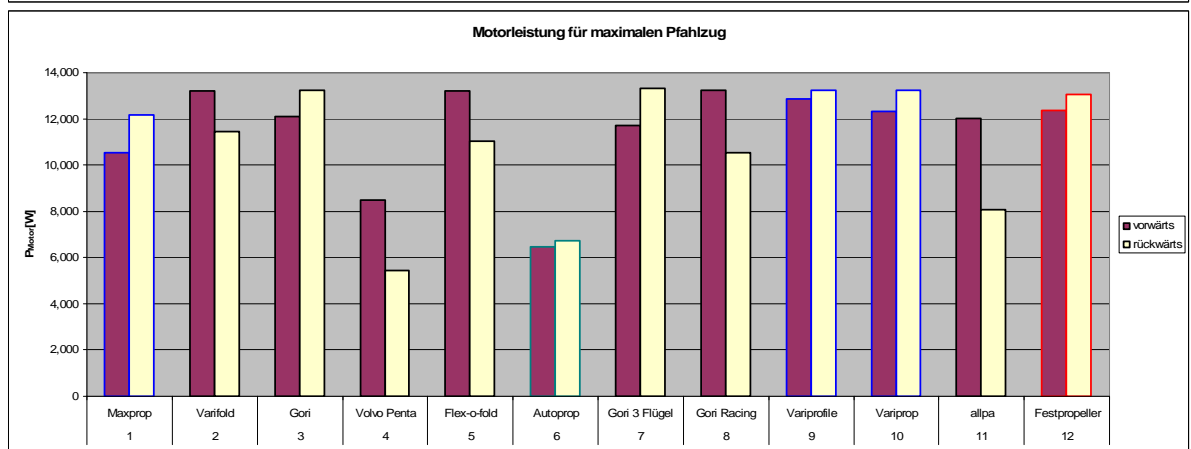
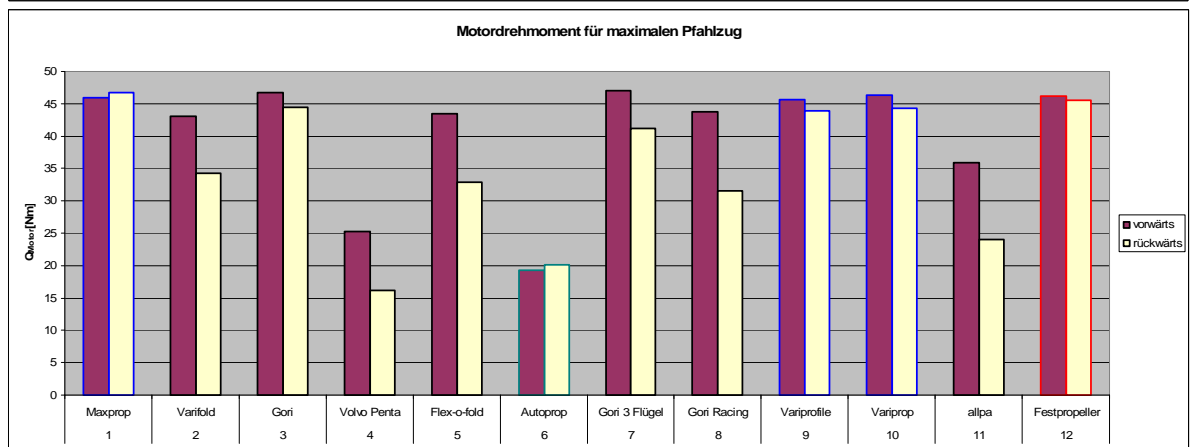
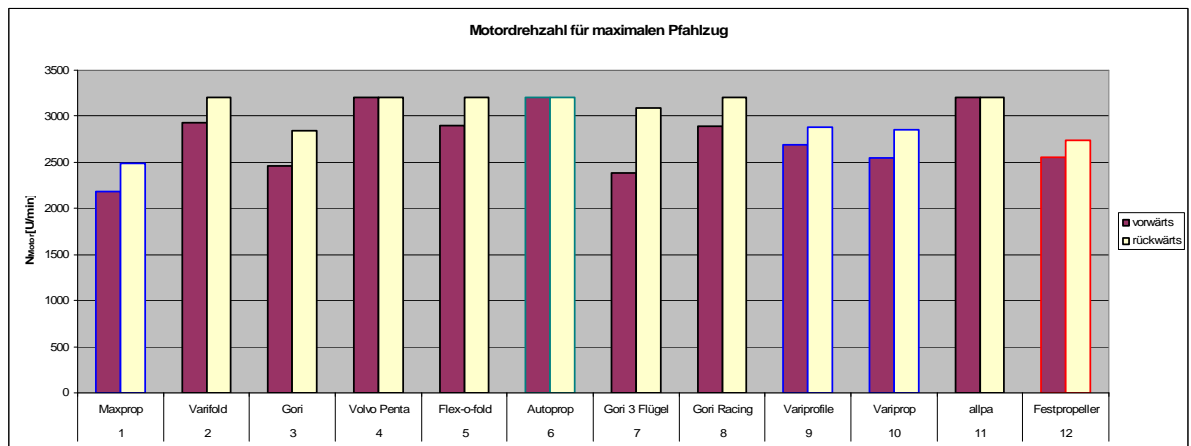
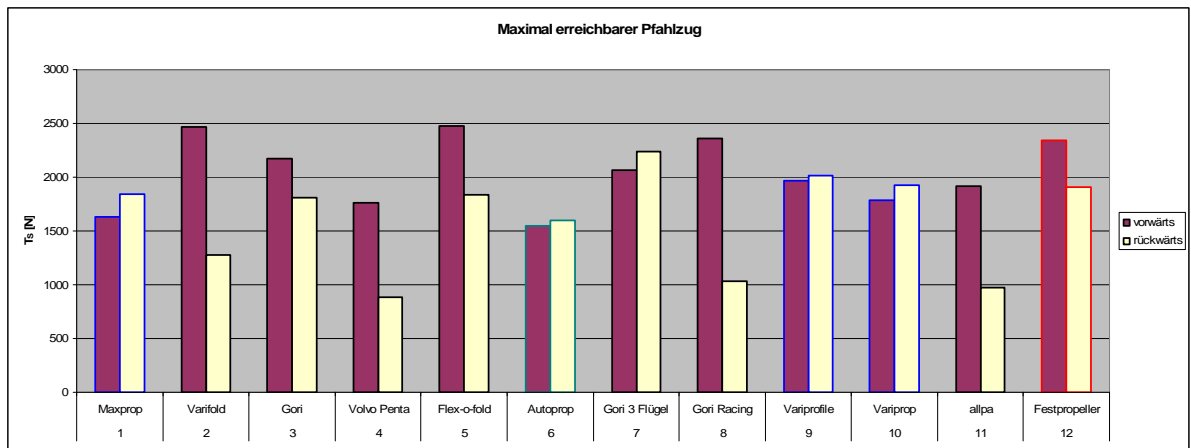


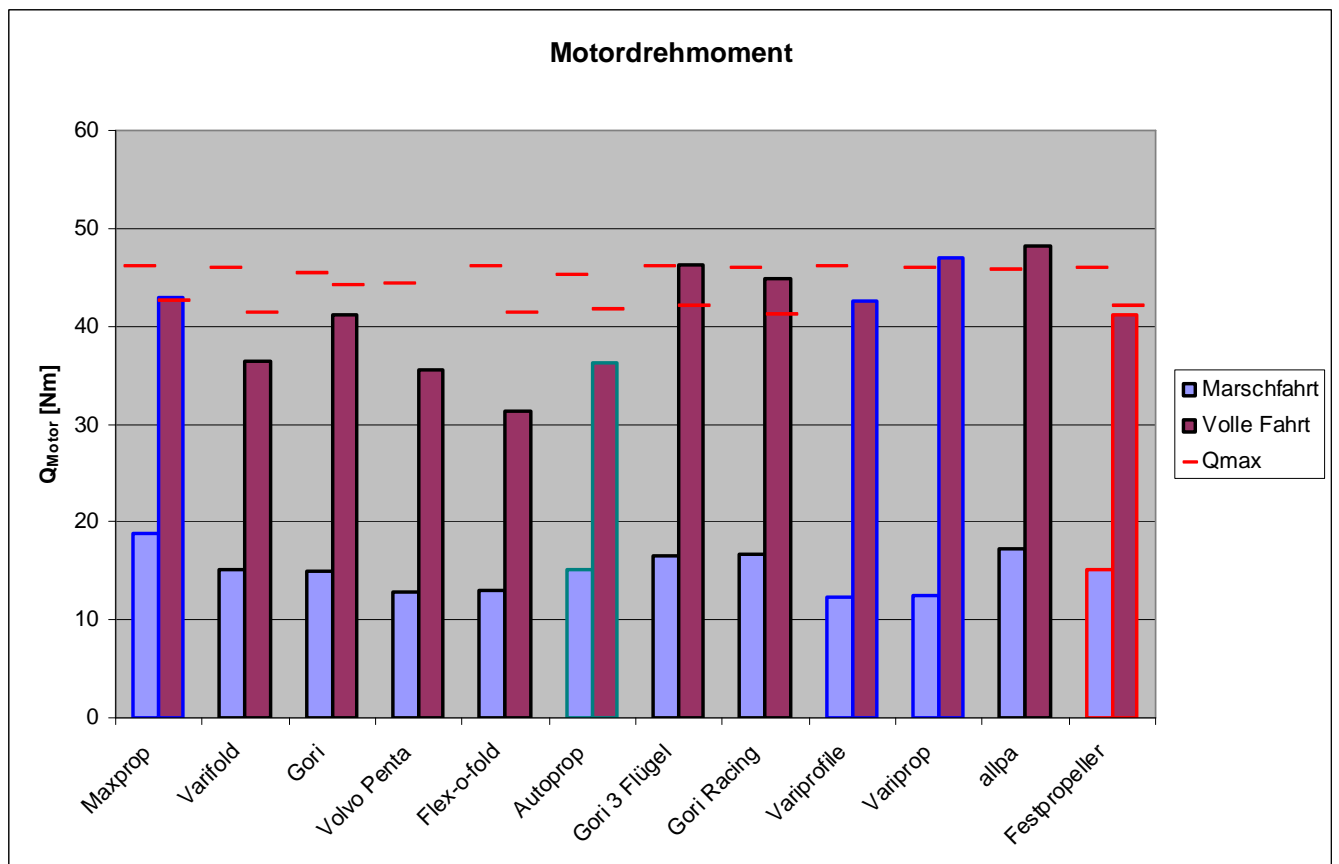
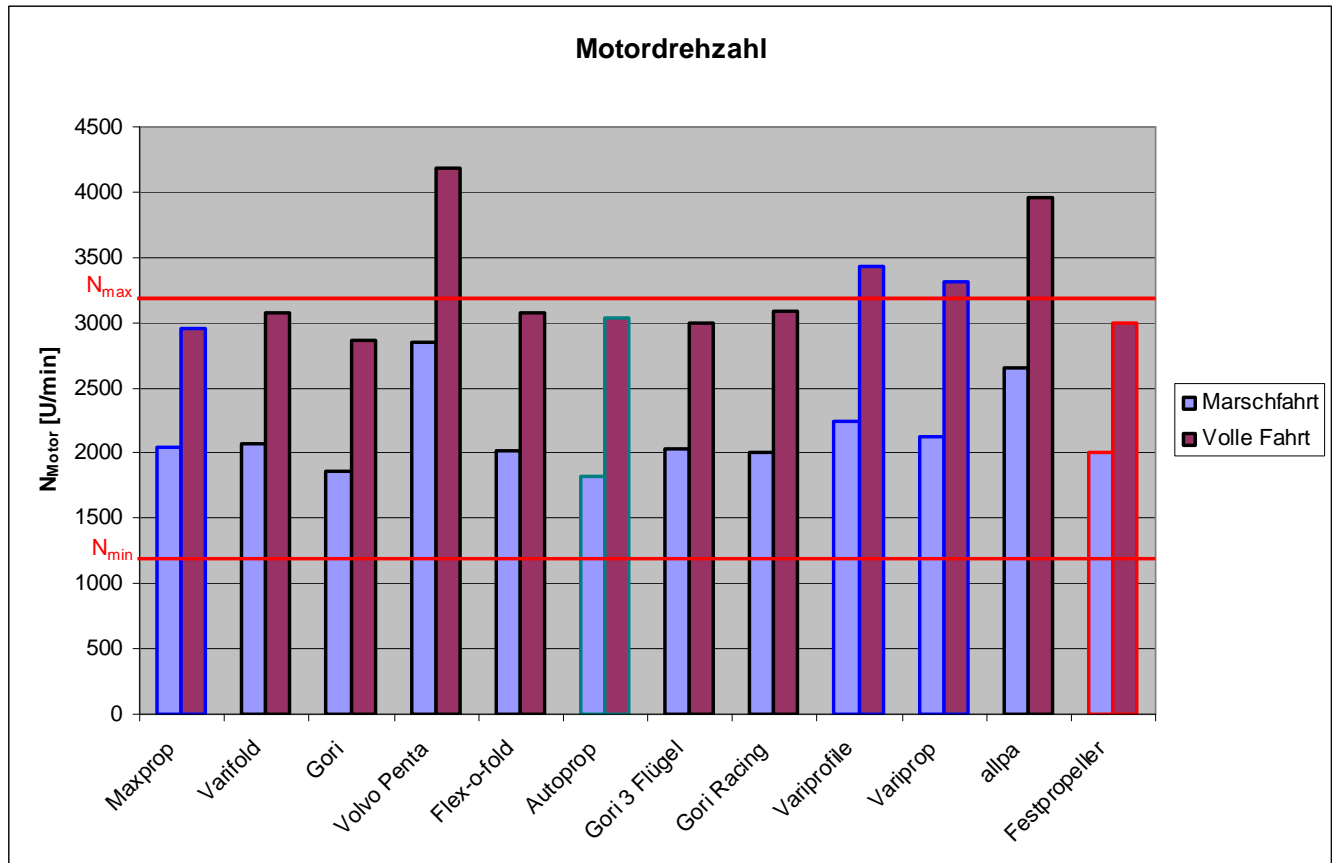
**Auf Gesamtwiderstand ohne Propeller bezogener Schleppwiderstand bei
Marschfahrt**

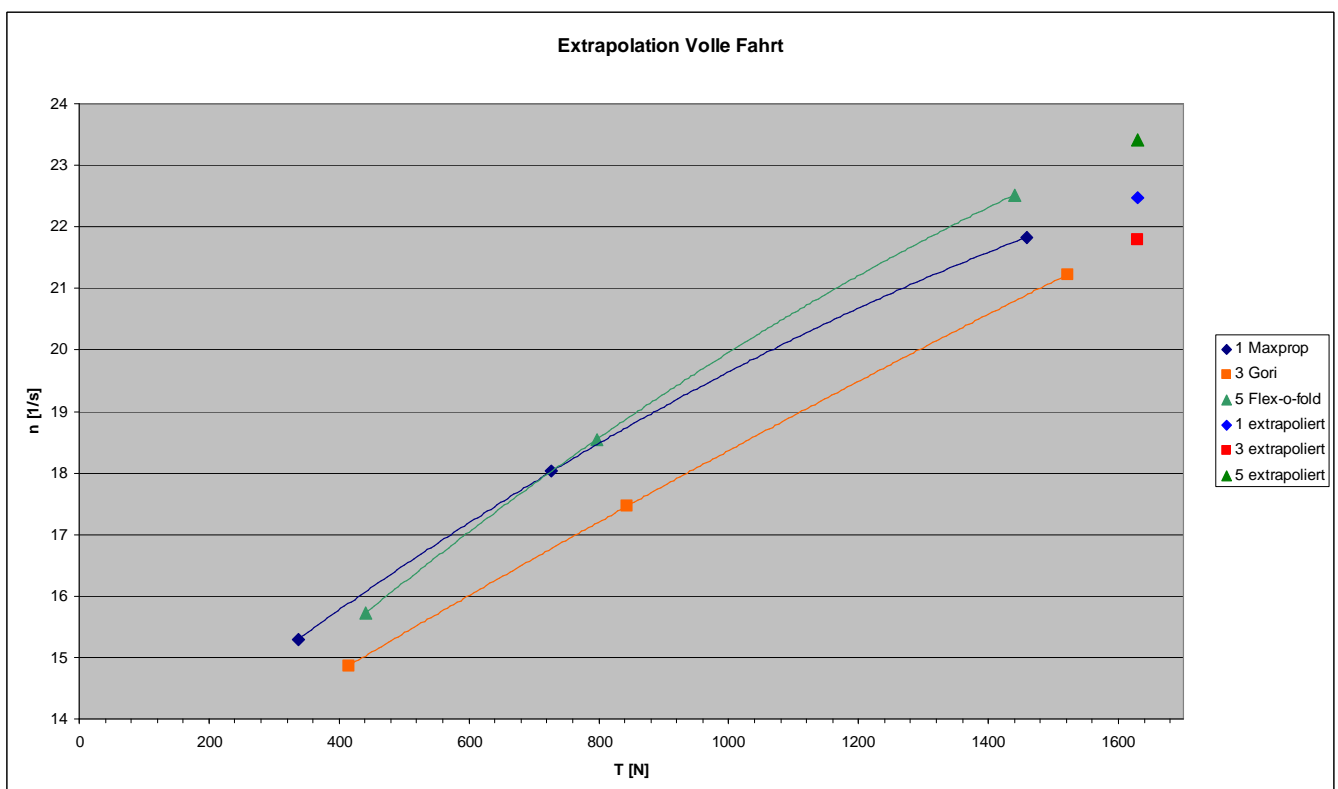
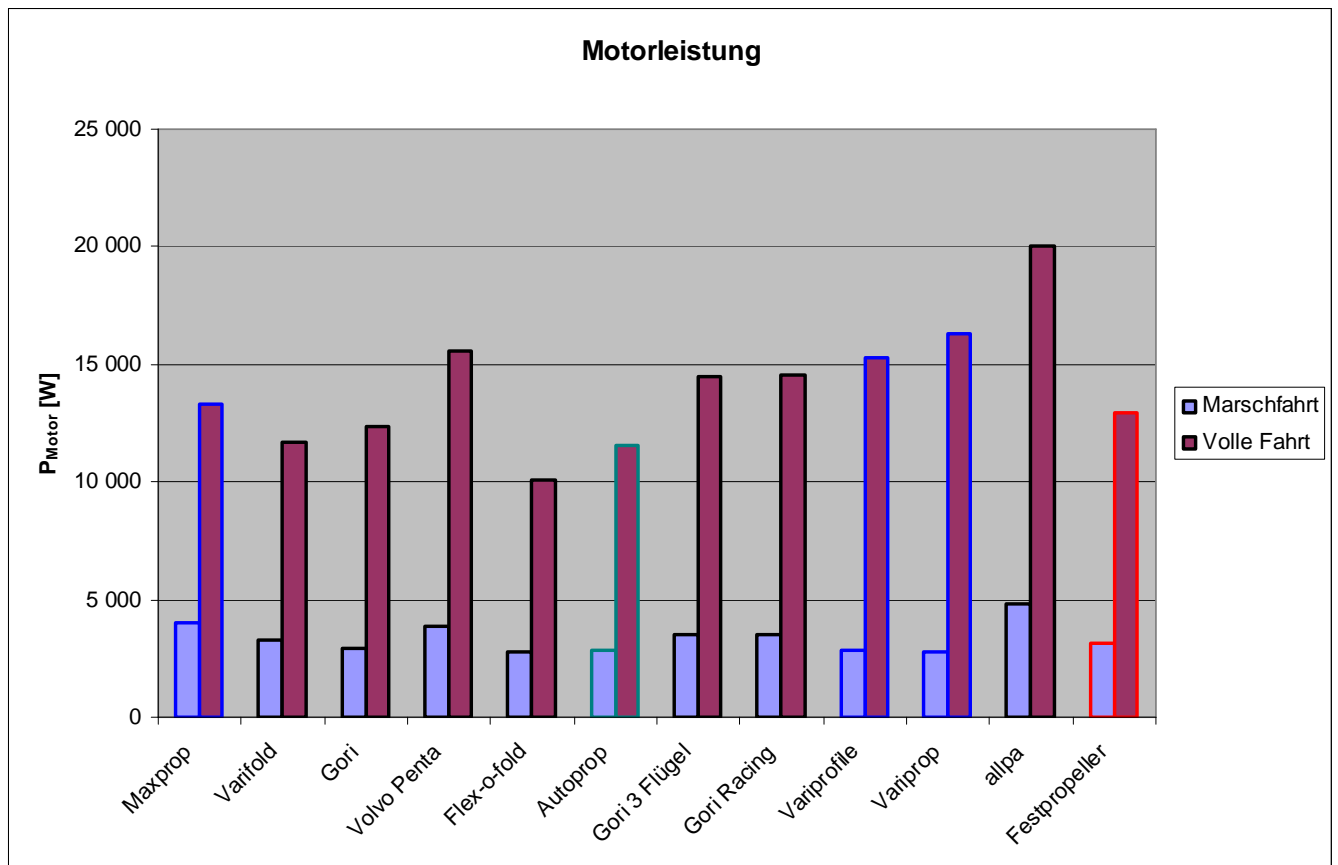


Auf Gesamtwiderstand ohne Propeller bezogener Schleppwiderstand bei Marschfahrt

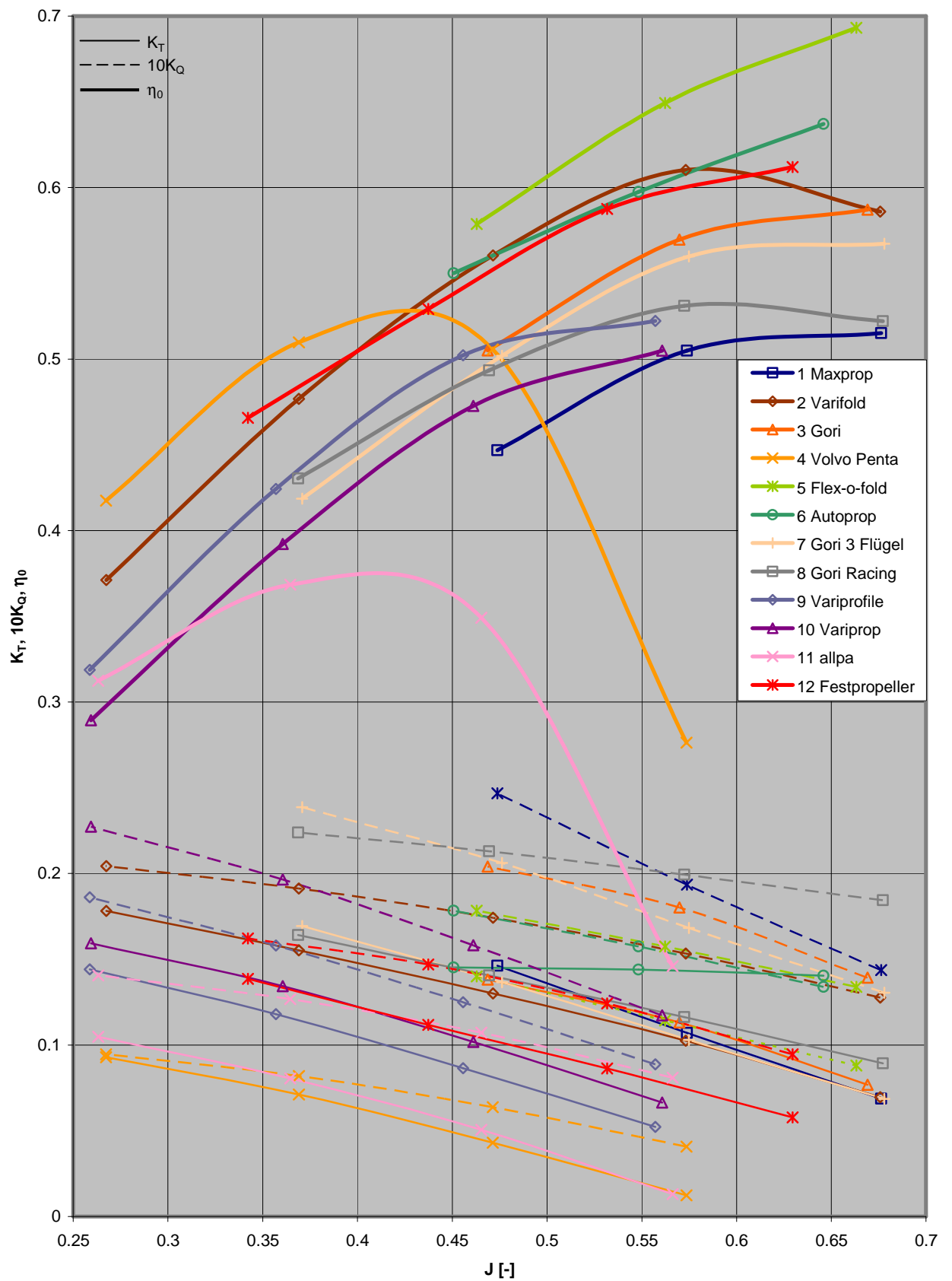


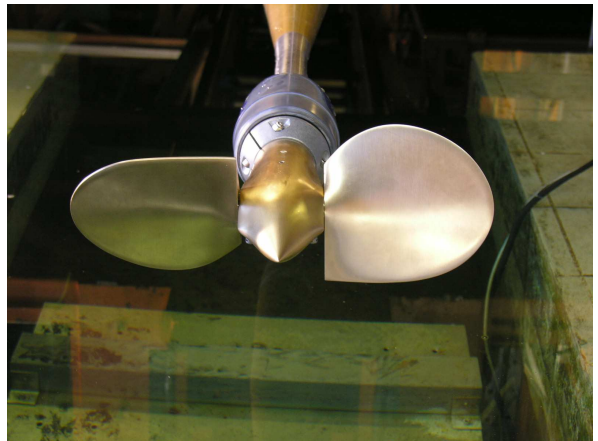
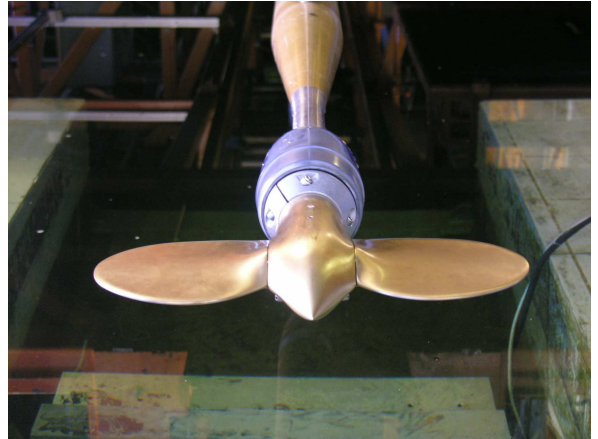


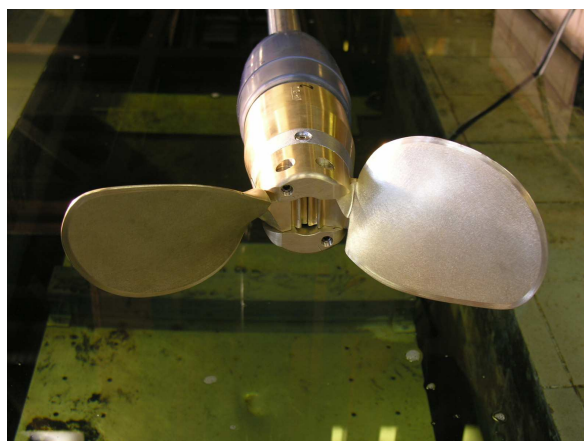
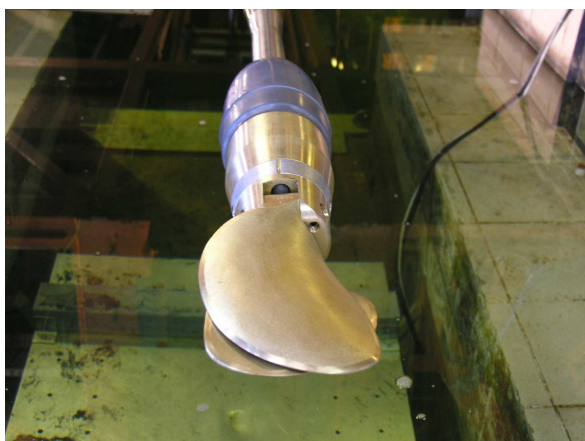


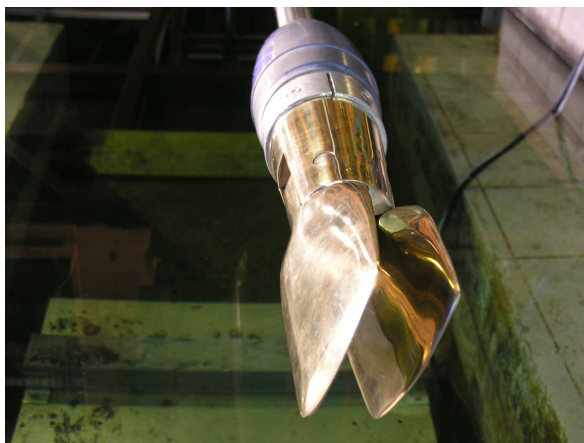


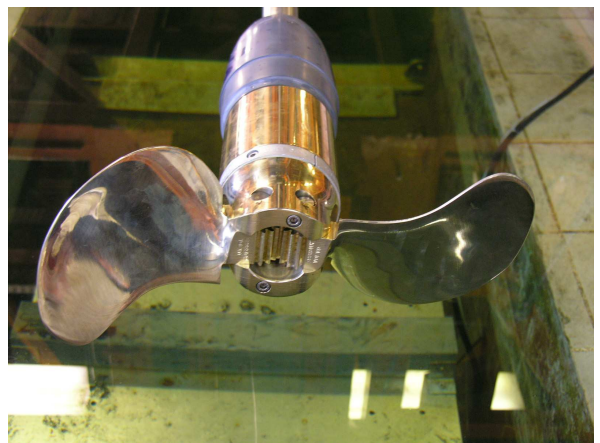
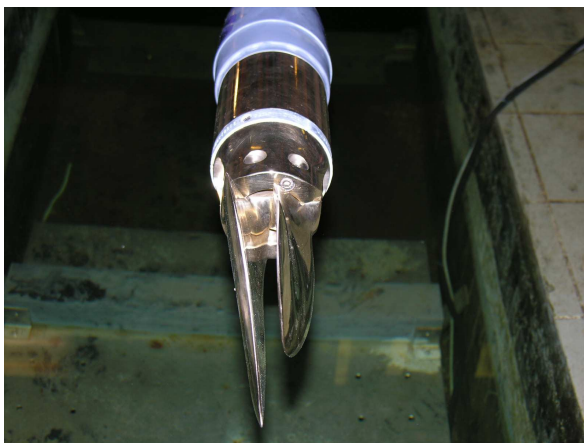
Freifahrt

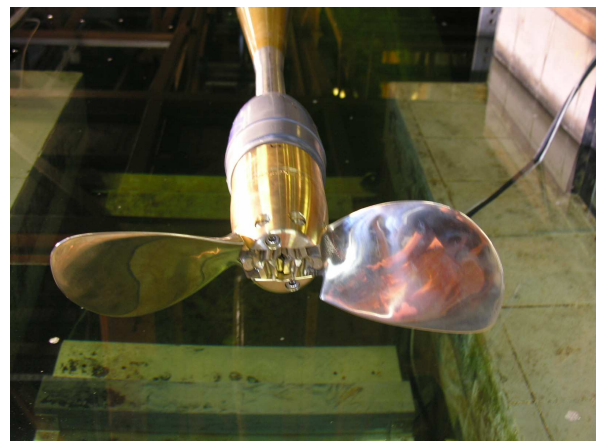


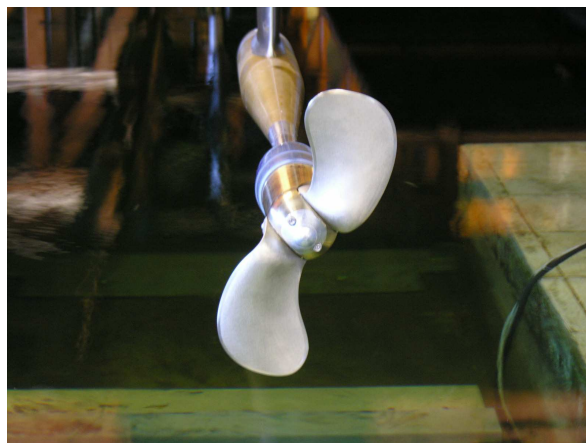


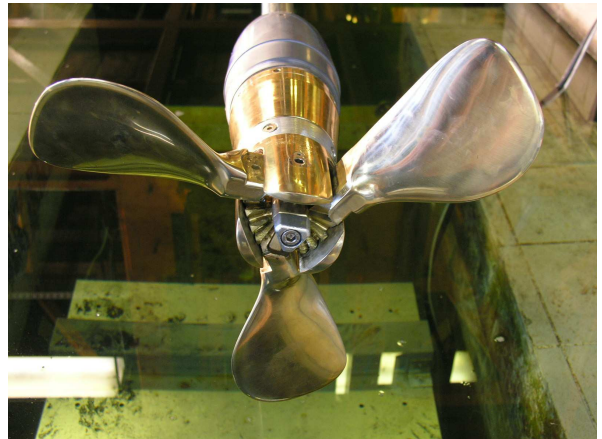
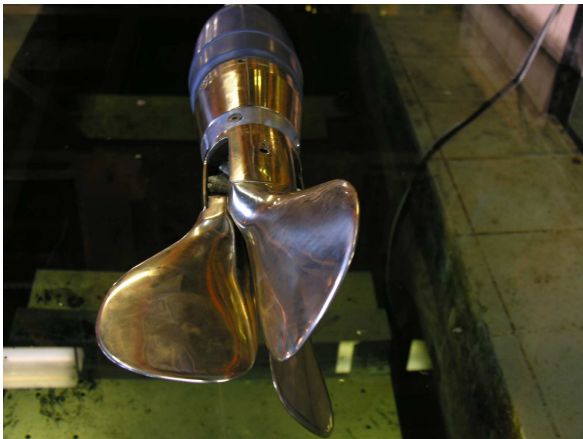












Schiffbau-
Versuchsanstalt
Potsdam GmbH

Propeller Nr. 7
Gori 3 Flügel

Blatt Nr. 4.7

Bericht Nr. 3492

