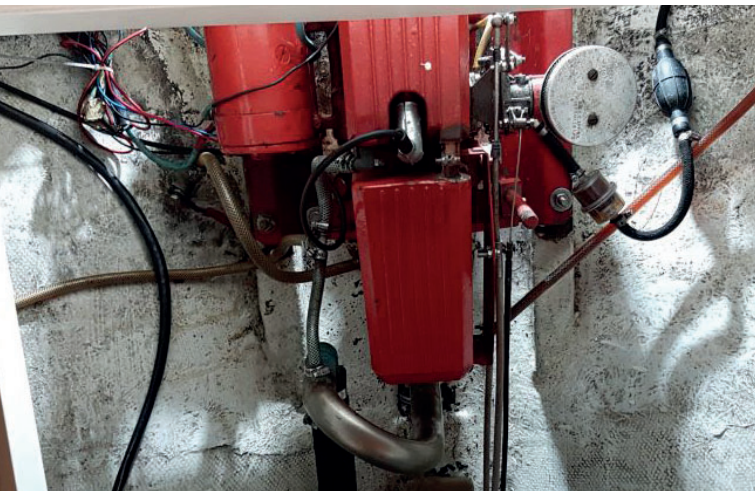


# Endlich Ruhe!

**E**ines Morgens in Maßholm, bei Modersitzki am Steg, vor ein paar Jahren. Es ist noch früh und es nähert sich ein Schlauchboot von den Ankerliegern im Warmshöfter Noor. Man hört es nicht, nur die kleine Bugwelle plätschert vor sich hin. Als es angelegt wird klar, das Ding fährt mit einem kleinen Elektro-Außenborder. Wir dagegen sind mit einem sieben PS Vire 2-Takter unterwegs. Was für ein Unterschied! Nicht nur, dass unser 2-Takter beim Start jedes Mal schöne Regenbogenfarben auf's Wasser zaubert, man sich bei Ab- und Anlegemanövern mit den Leuten am Bug schlecht verständigen kann, sondern auch das typische Odeur, das einen vor allem bei Marschfahrt auf längeren Dampfstrecken im blauen Nebel an das Mofa vor langer Zeit und an die Trabis vor nicht ganz so langer Zeit erinnern lässt. Der Wunsch schoss praktisch sofort in den Kopf: Unser Elvstrøm ¼-Tonner „SINIK“ muss einen E-Motor bekommen! Von der Größe her wäre er ideal dafür. Und es wäre endlich Ruhe im Schiff.



Der alte VIRE 7 - „Stinker“

Der Wunsch blieb erstmal ein Wunsch. Zwar wurde eine Marktübersicht über Elektro-Bootsmotoren aller Art gemacht, aber dann stockte das Projekt wieder, nicht zuletzt wegen der doch erheblichen zu erwartenden Kosten und Umbaumaßnahmen. Bis zum Herbst 2021. Es standen umfangreiche Renovierungsarbeiten im Schiff an und plötzlich kramten wir das alte Projekt wieder raus. Und es nahm Fahrt auf, die Finanzierung stand. Mit ausschlaggebend für den neuen Drive im Projekt war auch, dass wir Lars Mücke kennen lernten, der ein paar Jahre vorher seiner

klassischen Yacht „Momo“ einen E-Motor verpasst hatte. ([www.fky.org/news/klassische-yacht-moderner-antrieb](http://www.fky.org/news/klassische-yacht-moderner-antrieb))

**A**rt des Motors: Es standen prinzipiell vier Varianten an E-Motoren zur Auswahl:

- \* Innenborder, mit dem die vorhandene Welle weiter verwendet werden kann,
- \* e-Saildrive und
- \* Flanschmotor bzw. Podmotor, der komplett unter dem Rumpf hängt.
- \* Ein Außenborder kam für uns nicht infrage, da uns das Handling bei dem negativen Yachspiegel etc. zu kompliziert gewesen wäre.

Für uns war es wichtig, den ehemaligen Motorraum, der bei unserem ursprünglich für Regatten gebauten ¼-Tonner sehr groß ist, absolut trocken zu haben um ihn als Stauraum nutzen zu können. Auch sollten keine beweglichen Teile im Weg sein, die sich mit Tampen vertören können. Damit blieben der e-Saildrive und der Flanschmotor übrig. Der Flanschmotor hat gegenüber dem e-Saildrive den Vorteil, dass er als getriebeloser Motor komplett außenbords hängt und damit sehr leise ist.

Um den Trimm nicht zu verändern, sollte die neue Technik in etwa das Gleiche wiegen, wie der alte Motor mit seinem nötigen Zubehör. Wobei natürlich etwas mehr Gewicht durch eine geschickte Verteilung z.B. der Akkus im Schiff auch keinen großen Einfluss auf dem Trimm haben würde.

Wichtig für die Entscheidung des richtigen Motors ist auch die Art des geplanten Einsatzes. Als Flautenschieber auf der Kieler Förde oder zum manövrieren im Hafen wird man sicher einen anderen Motor wählen, als für eine zweite Antriebsmöglichkeit, mit der man auch ein paar Meilen zurücklegen kann. Wir entschieden uns für Letzteres, um bei ungünstigen Bedingungen auch mal sicher einen nächsten Hafen anlaufen zu können. Das bedeutet, das neue System sollte in Punkto Leistung und Reichweite dem alten „Stinker“ wenigstens ähnlich sein.

**L**eistung des Motors: Besonders bei der Leistung ist es nicht so einfach, das Elektromotor-Äquivalent zum Benzinmotor zu finden: Unser Vire hatte 7 PS, mit denen das Boot gut unterwegs war. Vergleiche

der Hersteller wie 4.300 W (5,8 PS) elektrisch entsprechen 11 PS bei Verbrenner sind mit Vorsicht zu behandeln. Vielleicht funktioniert das unter Laborbedingungen, auf See stellt es sich aber oft anders dar. Aber wie stark muss dann der neue E-Motor sein, um unsere 7 PS (5,2 kW) Benziner zu ersetzen? Wir durchstöberten das Internet und fanden heraus, dass man eine Schubkraft von 3-5 lbs (Pfund) pro 50 kg Bootsgewicht veranschlagen sollte. Für unser voll ausgerüstetes Schiff mit drei Personen Crew an Bord errechneten wir ein Gesamtgewicht von ca. 2.100 Kg. Damit sollten wir einen Motor suchen, der zwischen 126 lbs und 210 lbs Schubkraft an der Welle entwickelt.

Auch die Leistungsabgabe des Motors kann als Größe herangezogen werden. Hier werden Werte von 2.000 W pro Tonne Schiffsgewicht für Segelboote im Salzwasser angegeben. Eine Gegenüberstellung von Geschwindigkeit und Leistung im Vergleich von Diesel- und E-Motoren für Verdränger-Yachten kann bei der Entscheidung für die Leistung des E-Motors hilfreich sein. Für die 2.100 kg würden wir demnach einen Motor mit einer Leistungsabgabe von etwas über 4 kW benötigen.

**Energieverbrauch des Motors:** Um rauszufinden, welche Kapazität der Akku benötigt, machten wir uns zunächst klar, wie schnell unser Boot überhaupt maximal unterwegs sein kann. Also mussten wir zuerst die Rumpfgeschwindigkeit berechnen, die näherungsweise das 4,5-fache der Wurzel der Länge der Wasserlinie beträgt. Unser Boot hat mit ca. 5m Wasserlinie also eine Rumpfgeschwindigkeit von rund 10 km/h bzw. 5,4 kn.

Für Marschfahrt über weitere Strecken setzten wir nun 4 kn als vertretbare Geschwindigkeit an. Dieses entspricht ca. 74 % der Rumpfgeschwindigkeit. Aus einem Diagramm kann man nun ablesen, dass bei E-Antrieben für 74 % Rumpfgeschwindigkeit nur 25 % Motorleistung benötigt werden. Ein prima Wert. Wir mussten danach die benötigte Kapazität des Akkus nicht auf die maximale Stromaufnahme des Motors ausgelegt, sondern hatten einen guten Puffer, da die Fahrt mit Rumpfgeschwindigkeit energetisch betrachtet reine Energieverschwendung ist.

Mit den Werten zur Schubkraft und Leistungsabgabe konnten wir uns auf die Suche machen.

Wir machten uns nun schlau, checkten Vor- und Nachteile der verschiedenen Motoren am Markt und natürlich auch die Preise. Wir fanden letztendlich in einem Trend 4.3FM der Firma Aquamot aus Österreich einen Flanschmotor, der mit einer Schubkraft von 197 lbs angegeben wird und eine maximale Leistungsaufnahme von 4.300 W bei 48 V hat. Der kleinere Bruder Trend 2.2FM mit 124 lbs Schubkraft und einer Leistungsaufnahme von 2.200 W bei 24 V schien uns zu grenzwertig für unsere Wünsche. Denn man muss auch bedenken, dass ein E-Motor mit höherer Schubkraft bei gleichem Schub deutlich weniger Energie als ein schwächerer E-Motor verbraucht. Und die Mehrkosten für den Trend 4.3FM im Vergleich zum Trend 2.2FM kompensieren die Kosten für einen größeren Akku sicherlich fünf mal, ganz zu schweigen von dem zusätzlichen Gewicht durch zusätzliche Akku-Kapazität. Als einen für unsere Zwecke verschmerzbaeren Nachteil empfinden wir, dass der Motor nicht für die Rekuperation ausgelegt ist, also die Gewinnung von Energie durch das Mitlaufen des Propellers beim Segeln, wenn der Motor als Dynamo dienen könnte. Da wir aber keine echten Langschläge planen, ist das eigentlich kein bedeutendes Thema für uns.

Der bürstenlose Motor kommt im Paket zusammen mit dem dazu passenden Steuergerät und Steuerkabeln, Fahrhebel und Batteriemonitor, Kabelsatz und Sicherung und einem 3-flügeligen Kunststoffpropeller. Den kann man auch gegen einen 2-flügeligen Faltpropeller ersetzen, der aber noch mal richtig zu Buche schlägt. Praktisch ist der optionale Ausgleichskeil aus flexiblem Epoxy, mit dem man den Motor wirklich waagrecht und parallel zur Wasserlinie montieren kann. Der Motor selber ist in einer aquadynamischen Gundel verbaut und treibt getriebelosen Propeller an.

**Der Akku:** Fehlte noch die Entscheidung für die Stromquelle. Hier war eigentlich von vornherein klar, dass wir LiFePO<sub>4</sub>-Akkus verwenden wollen, da diese eine hohe Lebensdauer haben, sich weit entladen lassen – was für die Reichweite wichtig ist – und verhältnismäßig leicht sind. Die Idee von Lars

Mücke im PV-Bereich zu schauen übernehmen wir. Hier ist in den letzten Jahren auf Grund der großen Nachfrage viel Forschung und Entwicklung reingesteckt worden. Die Akkus werden häufig mit einem integrierten Batteriemanagement System (BMS) geliefert, das für die nötige Sicherheit z.B. gegen Über- und Unterspannung sorgt. Dieses BMS kann auch über eine CAN-Bus Schnittstelle mit anderen Komponenten kommunizieren. Wir entschieden uns für zwei 48 V-Akkus mit einer nutzbaren Kapazität von zusammen 90 Ah, sprich 4,4 kWh. Deren Lebensdauer wird mit über 6.000 Ladezyklen bei 90% Entladetiefe angegeben. Bei einer Garantie-Laufzeit von 10 Jahren (!) sollten wir damit locker auskommen. Wie und ob sich diese Akkus auf See bewähren, insbesondere was Feuchtigkeit und Korrosion betrifft, muss die Zeit zeigen.

Die beiden Akkus sind quasi ebenfalls sofort einsatzbereit, es mussten nur die Verbindungskabel zum Steuergerät extra dazu bestellt werden. Wir laden sie mit Landstrom. Man kann auch PV-Module auf dem Schiff verbauen oder, wenn man doch mal einen Langschlag plant, auch einen kleinen Generator nutzen, um den Strom an Bord zu erzeugen.

**D**as Ladegerät: Für das Laden braucht es ein gutes und intelligentes Ladegerät, das mit dem BMS der Akkus kommunizieren kann. Wir entschieden uns für einen Victron Wechselrichter/Ladegerät MultiPlus 48/1200/13. Ältere Versionen des Multi hatten noch eine CAN-Bus Schnittstelle, über die sie direkt mit den Akkus kommunizieren können. Unser neuerer MultiPlus hat diese nicht, also brauchten wir noch eine Schnittstellen zwischen dem Victron-VE.Bus und dem Akku-CAN-Bus. Wir entschieden uns für einen Cerbo GX von Victron. Alternativ kann auch ein GX Touch verwendet werden. Es bietet u.a. eine grafische Oberfläche für die Kontrolle z.B. der Stromflüsse zwischen den verschiedenen Komponenten. Der Cerbo GX bietet dies auch über eine Victron-App, die man auf dem Smartphone installieren kann. Mit dem Cerbo GX ist die Kommunikation zwischen Ladegerät und Akku-BMS sichergestellt. Der MultiPlus kann natürlich noch viel mehr, als wir benötigen, aber uns war ein zuverlässiges und erprobtes Gerät wichtig. Und wir können zukünftig weiter ausbauen. Die Ladegeschwindigkeit liegt bei ca. 10% Akku-Kapazität

pro Stunde, was in der Regel ausreichend ist. Man stellt sich mit der Zeit schnell darauf ein, dass man nicht eben den Tank mit neuem Treibstoff auffüllen kann. Geladen wird mit ca. 550 W, was für die Gästesteckdosen in den Häfen kein Problem ist. Sollten diese doch irgendwo weniger Leistungsabgabe erlauben, kann man diese im Cerbo GX auch runterregeln, was dann nur die Ladezeit verlängert.

**D**er Umbau: Nun wurde der alte Motor (Abb. 1) ausgebaut, die Welle gezogen und alle nicht mehr benötigten Öffnungen im Rumpf zulaminiert. Und wir bestellten die Komponenten. Inzwischen gab es hier und da schon Lieferschwierigkeiten wegen der Covid-19 Pandemie. Aber wir hatten Glück, dass noch alles vor der Saison geliefert werden konnte.



*Die Mitte finden!*

Als alle Komponenten angekommen waren, ging es an die Einbau-Planung. Der Motor selber hängt mit seinen 14 kg nur unter dem Schiff. Hier war es zunächst wichtig zu entscheiden, an welcher Stelle er

montiert werden sollte. Diese hing einerseits davon ab, wo eine geeignete ebene Fläche zur Verfügung steht, damit keine komplizierte Ausgleichs-Konstruktion nötig ist. Aber auch von der Entfernung zum Ruderblatt. Und innen musste es auch noch passen. Dort wird Platz für drei Löcher benötigt: Zwei M8 Stehbolzen und ein 23mm Loch für die Kabel zum Motor. Sicherlich würde man sich eine kurze Entfernung zum Ruderblatt wünschen, um eine gute Anströmung und damit Manövrierbarkeit zu bekommen. Aber Rumpfform und Position im Innenraum ließen nur Kompromisse zu.

Wir entschieden uns, den Motor ziemlich mittig zwischen Kiel und Ruderblatt zu montieren. Dort war der Rumpf noch eben und die Bolzen und Kabel kamen direkt unterhalb des alten Motorfundaments ins Schiffsinnere. Die Position ist etwas weit weg vom Ruderblatt, aber damit verringert man auch etwas den Radeffekt, was das Abbremsen und Rückwärtsfahren leichter macht. Anschließend wurde die Rumpfmittle ermittelt und das Antifouling komplett entfernt. Um die Steigung des Ausgleichskeils zu messen, wurde schon vor der Bestellung des Motors die Höhendifferenz zwischen vorderer und hinterer Kante des Motorfundaments gemessen. Dafür muss das Schiff in Längsrichtung natürlich zuerst in die Waage gebracht werden.

Da die Löcher nicht senkrecht zum Rumpf, sondern senkrecht zu den Bolzen gebohrt werden müssen, kann man als Schablone der Ausgleichskeil verwenden. Das ist aber wenig ratsam, da der Keil wegen seines weichen Materials - das gleichzeitig auch die Vibrationen dämpft - keine verlässliche Schablone darstellt. Deshalb bauten wir aus Holz eine Bohrschablone.

*Ausgleichskeil und Bohr-Schablone*



Nach den Bohrungen wurde der Motor „anprobiert“. Alles passte soweit, so dass die Löcher etwas konisch angeschnitten werden konnten, um später eine gute Dichtung zu ermöglichen.

Womit wir bei dem nächsten Problem waren, das gelöst werden musste. Da der Motor zur Revision alle 5-10 Jahre oder, was wir nicht hoffen, auch mal zur Reparatur wieder ausgebaut werden muss, brauchten wir ein Dichtmittel, das Seewasserbeständig und dauerelastisch ist. Polymerkleber scheiden damit also aus, auch das beliebte Sika 291i ist nicht gut geeignet, da der Ausbau sicher eine Tortur werden würde. Wir fanden dann mit SikaLastomer-710 genau das Dichtmittel, das wir suchten. Damit wurde der Motor zum Ausgleichskeil und dieser zum Rumpf hin nun



*Anprobe*

abgedichtet. Im Motorraum wurde noch eine Gegenplatte eingesetzt, welche die Hebelkräfte des Motors aufnehmen und etwas verteilen soll.

Wichtig ist zu erwähnen, dass das Motorgehäuse aus Aluminium besteht. Es ist deshalb wichtig, für genügend Opferanoden zu sorgen, damit das Gehäuse nicht angegriffen wird. Auf der Welle selber

*Abdichten*



sitzt vor dem Propeller eine Opferanode. Es wird aber empfohlen, in der Nähe des Motors am Rumpf mindestens eine weitere Anode zu installieren und diese leitend mit den Befestigungsbolzen des Motorgehäuses zu verbinden. Auch muss darauf geachtet werden, dass man kupferfreies Antifouling für den Motorblock verwendet!

Für die übrigen Komponenten bauten wir Modelle aus Pappe, um den passenden Platz im Schiff zu finden. Idealerweise konnten wir das alte Motorfundament nutzen, um darauf einen Einschubkasten für die beiden Akkus zu befestigen, die mit zusammen 48 kg das meiste Gewicht ausmachen. Ladegerät und Cerbo GX verschwanden im Motorraum unterhalb der Hundekojen,



*Anode und Motor ready to use*

das Steuergerät in einer von uns nur als Last genutzten Hundekoje. Der Fahrhebel wurde an die Steuerbord-Kockpitwand montiert, wo er am wenigsten stört und gut zu erreichen ist. Alle Komponenten sind sicher vor Wasser geschützt und derart im Boot platziert worden, dass der Schwerpunkt nicht merklich nach einer Seite hin verschoben wurde.

Akkus, Ladegerät und die „Schaltzentrale“ Cerbo GX wurden vor dem Einbau in der Werkstatt verkabelt und getestet. Das hatte auch den Vorteil, dass man sich mit der Technik und der App-gesteuerten Bedienung der Victron-Komponenten vertraut machen konnte, bevor es aufs Wasser ging.

Wir haben das System bewusst einfach gehalten und auch den Motor-Akku vom Bord-Akku getrennt. Unser kleines Bordnetz betreiben wir mit einem 12 V Akku, der sein eigenes kleines Ladegerät hat, wie es alle Jahre vorher auch gewesen ist. Das Victron-Ladegerät, das

primär ein Wechselrichter ist, würde uns aber auch die Nutzung von 230 V an Bord erlauben. Der Strom dafür käme aber aus dem Fahr-Akku, was wir zur Zeit vermeiden wollen. Somit sieht unser System aus wie auf dem Diagramm am Ende des Artikels dargestellt. Da das Steuergerät über große Anschlüsse verfügt, die mit Hilfe eines längeren M6 Bolzens noch vergrößert werden konnten, haben wir sowohl auf eine zentrale Sammelschiene für die Minus-Leitungen, als auch auf eine zentrale Einheit für die Plus-Leitungen verzichtet und alle Leitungen entsprechend am Steuergerät zusammen geführt.

Die ersten Erfahrungen: Uns macht der neue Motor richtig Spaß! „Fahren wir etwa schon“? war gleich nach dem Slippen an Bord zu hören, als unser Boot lautlos von der Pier ablegte und zu seinem Liegeplatz im Hafen fuhr.

**T**esten: Stand heute müssen wir gestehen, dass wir das neue System noch nicht an seine Grenzen getestet haben. Wir können aber über einige Dinge berichten. Nachdem erste Fahrtst im Hafen und in der Strander Bucht bei guten Bedingungen erfolgreich verliefen, stand auch schon der Urlaubstörn an. Mit der Aussicht auf 6-7 Bft. in den nächsten Tagen haben wir

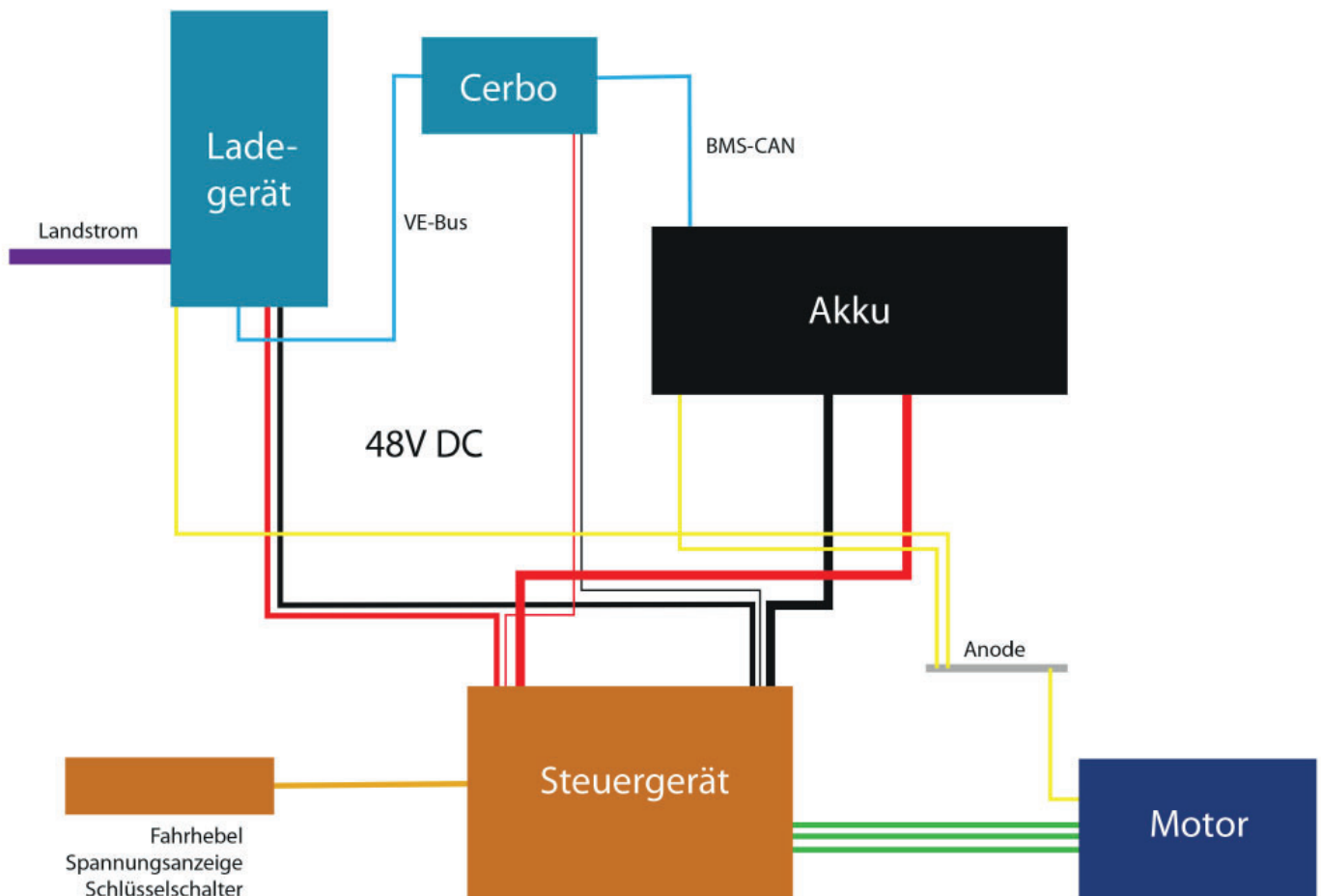


*Modell zur Positionierung des Fahrhebels*

uns zunächst in die Kieler Förde verholt, um dort abzuwettern. Einen der Starkwindtage nutzten wir, um nur unter Maschine das Fahrverhalten in kabbeligem Wasser bei Starkwind zu erproben. Am wichtigsten war uns natürlich die Messung des Verbrauchs.

Das Ergebnis:

A.) Die erste Strecke sind wir mit Welle und Wind von 6-7 Bft. 10° achterlicher als querab gefahren, haben dabei 10% der Ladung für eine Strecke von 2,4 nm und



50 min. Fahrtzeit verbraucht. Daraus kann man grob eine maximal zu erreichende Strecke von ca. 21nm bzw. 7:30h Fahrtzeit bei 90% max. Entladung kalkulieren.

B.) Die zweite Strecke mit einer Entfernung von 2,8nm und Wind und Welle aus 30° vorlicher als querab haben wir in 1:10h zurück gelegt. Dafür haben wir 18% Ladung gebraucht. Daraus kann man grob eine maximal zu erreichende Strecke von ca. 14 nm bzw. 5:50h Fahrtzeit bei 90% max. Entladung kalkulieren.

Im Laufe der Saison sind wir unter anderem auch unter Maschine vom Maaßholm nach Kappel und wieder zurück bei SW 3-4 Bft. und ausgehendem Strom gefahren. Das Ergebnis dieses Törns: Wir hatten insgesamt 105 min. Fahrtzeit, sind auf dem Hinweg ca. 3,5kn, auf dem Rückweg ca. 4,5kn gefahren und haben für die Gesamtstrecke von 6,6 nm 21% der Ladung gebraucht. Die daraus berechnete maximal zu erreichende Strecke würde ca. 28 nm oder 7:30h Fahrtzeit bei 90% max. Entladung betragen. Die 90% Entladung wären aber das Limit, man würde sicher etwas mehr mit Reserve kalkulieren.

Bei der ersten Ausfahrt aus der Schlei auf die Ostsee hatten wir gleich optimale Test-Bedingungen: 4 Bft. direkt auf die Nase. Das bedeutet in Schleimünde eine bis zu 80 cm hohe Welle und den Wind von vorne. Der neue Motor hat sich dabei gut bewährt, wir konnten problemlos genügend Seeraum gewinnen, bis wir die Segel setzen konnten. Am Ende der Saison sind wir dann mit ca. 60% Ladung der Akkus ins Winterquartier gegangen. Das ist ein guter Überwinterungswert, um die Akkus zu schonen.

Wir sind mit dem Umbau sehr zufrieden, bei Maschinenfahrt herrscht endlich Ruhe im Schiff, auch wenn man bei höheren Drehzahlen schon ein Brummen vernimmt, das aber nicht weiter stört. Wir sind sehr froh, uns für den stärkeren Motor entschieden zu haben, da die Vergleiche der Hersteller mit der Leistung von Verbrennermotoren doch etwas übertrieben wirken. Der zusätzliche Stauraum und das Fehlen des Bezin- gestanks machen die Törns heute deutlich bequemer.