



3.0. Planung / Material und Werkzeug

Einen Teil der Planung haben wir ja schon im Beitrag 2 erledigt. Wir hatten festgelegt, welche Verbraucher wir zu Gruppen zusammenschalten und wir hatten die Gesamtlänge der neu zu verlegenden Kabel ermittelt. Das waren ca. 85 Meter, aufgerundet eine 100 Meter Rolle. Bleibt noch die Frage nach dem Querschnitt des Kabels. Dazu etwas später.

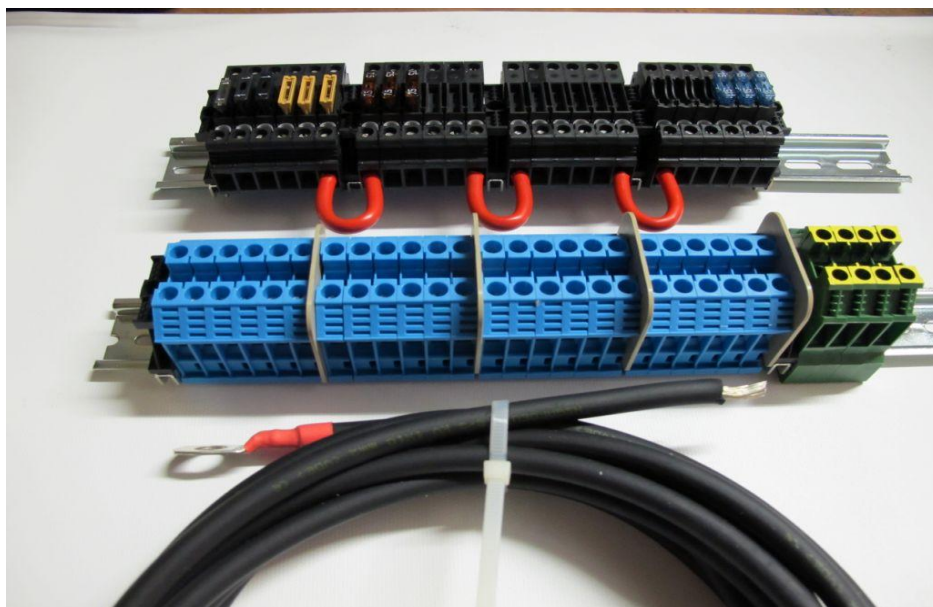
3.1. benötigtes Material

Überlegen wir nun, welches Material wir sonst noch benötigen und listen dieses auf.

- 2 Schaltpanels a` 6 Anschlüsse mit integrierten Steckdosen
- 100 m Kabel (2 x 2,5²)
- 1 Holzplatte für die Verdrahtung im Schrank (40 X 30 cm) wird an die Bordwand laminiert
- 2 Hutschienen zur Aufnahme der Verbindungsklemmen
- 24 Phoenix-Reihenklemmen mit Flachsicherungen (schwarz)
- 24 Phoenix-Reihenklemmen (blau)
- 4 Verbindungsklemmen für die Erdungsleitungen (gelb/grün)
- Passende Schrauben
- 1 Ring Rangierkabel 1 x 2,5 qmm blau o. schwarz
- 1 Ring Rangierkabel 1 x 2,5 qmm rot
- diverse Größen Kabelbinder
- 1 Sortiment Aderendhülsen (siehe Bild rechts)
- div. Größen Kabelschuhe (Öse o. Gabel)
- jeweils 2 Stangen Lüsterklemmen (klein, mittel und große)
- Verteilerdosen (verschiedene Größen)



Die Hutschienen habe ich zu Hause schon mal vorbereitet und mit den Reihenklemmen bestückt.





In der oberen Reihe sieht man die Verbindungsklemmen (in schwarz) für die Flachsicherungen. Hier sind auch Brücken eingeschraubt, mit denen man Gruppen bilden kann. Sie werden bei Bedarf entsprechend gekürzt. Die zweite Reihe sind ganz normale Verbindungsklemmen (in blau). Die Farben spielen hier nicht die große Rolle und können je nach Hersteller auch abweichen.

Lieferanten für solche Klemmen sind z.B. Wago, Phoenix oder Contact Clipklemmen.

Rechts sieht man auch die 4 Klemmen für die Erdungsleitungen, die braucht man z.B. für Grenzwellenempfänger oder Radio etc., aber dazu komme ich später noch einmal.

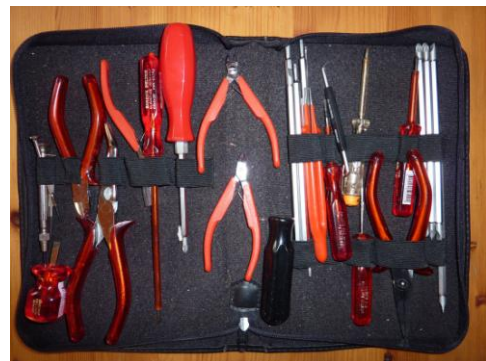
Will man eine Lösung ohne die zusätzlichen Flachsicherungen, nimmt man an dieser Stelle einfach normale Verbindungsklemmen. Es gibt auch Verbindungsklemmen in doppelstöckiger Ausführung. Da werden in der unteren Ebene die Masseleitungen aufgelegt und in der oberen die Plusleitungen. Diese benutze ich persönlich nicht so gerne, da die Verkabelung etwas kompakter ist. Einfacher ist es mit 2 getrennten Reihen.

3.2. Werkzeug

Kommen wir nun zum Werkzeug. Es gibt nichts Schlimmeres als untaugliches Werkzeug. Ein vernünftiger Akkuschrauber und eine Stichsäge sind die elektrischen Werkzeuge. Ein kompletter Satz Bohrer und Sägeblätter sollte es schon sein. Ich benutze seit Jahren den Multimaster von Fein. Damit lassen sich hervorragend Ausschnitte sägen, aber eine Stichsäge tut es wie gesagt auch.

Neben den elektrischen Werkzeugen sollten noch folgende Werkzeuge zur Verfügung stehen.

- Schlitzschraubendreher (diverse Größen)
- Kreuzschlitzschraubendreher (diverse Größen)
- Abisolierzangen
- Aderendhülsenzangen
- Seitenschneider groß und klein
- Flachzangen



Ach ja, fast hätte

ich es vergessen, ein Messgerät (Multimeter) zum Messen von Gleichspannung, Widerständen und Durchgangsprüfung gehört ohne Frage mit zur Ausrüstung. Mit ihm lassen sich Fehler aufspüren, unbekannte Leitungen identifizieren und korrekte Verbindungen prüfen.

Ich benutze hier ein sehr robustes Gerät in einer Gummiarmierung, das auch mal einen Stoß verträgt oder mal runterfallen darf, oh-



ne dass es Schaden nimmt. 2 bis fast in die Spitzen isolierte Messleitungen verhindern, dass man bei Messungen einen Kurzschluss produziert.



In der Werkzeugaufzählung hatte ich Abisolierzangen mit aufgeführt. Hier bietet der Markt eine sehr große Bandbreite, vor allem, was die Qualität und den Preis angeht. Lange Zeit habe ich mich mit einfachen Zangen beholfen und oft dabei auch Kabelenden zerstört oder einen Teil der feinen Drähtchen abgerissen, so dass ich sie erneut absetzen musste. Besonders ärgerlich, wenn die Kabelenden schon sehr kurz waren. Irgendwann habe ich mir dann eine vernünftige Abisolierzange gekauft, nicht billig aber sehr effektiv. Bei der

oberen schwarzen Zange handelt es sich um eine teure Automatikzange, mit der sicher jeder klarkommt.

Aderendhülsen mit einer Flachzange oder gar mit einer Wasserpumpenzange auf das Kabelende zu quetschen geht gar nicht! Hier 2 professionelle Zangen, mit denen sich die Aderendhülsen einfach und schnell auf die Kabelenden quetschen lassen. Die obere Zange für kabelendhülsen von 0,5 bis 16 mm und die untere von 0,75 bis 16 mm. Der Unterschied, die untere größere Zange gibt die gepresste Endhülse erst nach Erreichen eines bestimmten Pressdruckes wieder frei. Mit dieser Zange gepresste Endhülsen werden deshalb immer mit dem richtigen Druck gepresst. Es gibt Aussagen, dass richtig gepresste Aderendhülsen sogar gasdicht (ich bin mir da allerdings nicht sicher) sein sollen. Das würde bedeuten, die Korrosionsgefahr wäre noch einmal deutlich geringer.



An dieser Stelle ein Wort zum Werkzeug. Es lohnt sich immer, hier ein wenig mehr Geld auszugeben. Billiges Werkzeug aus dem Baumarkt ist nicht wirklich immer auch günstig. Man kann es ja nach Abschluss der Arbeiten z.B. im Forum zum Verkauf anbieten. Aufgrund des regen Interesses gibt es bestimmt Käufen. So eine Art Werkzeug-Sharing. Das gilt auch für Verbrauchsmaterial wie Aderendhülsen und z.B. Kabelschuhe. Besser (und auch günstiger) als eine abgezählte Anzahl sind Sortimente. Auch für die findet man bestimmt Abnehmer.

Aderendhülsen oder Kabelschuhe müssen sein! Das früher übliche Verzinnen geklemmter Litzenenden hat sich als unzuverlässig erwiesen, da Kriecheffekte des weichen Zinns und dessen schlechte Kontakteigenschaften (Oxidation) zur Lockerung und Unterbrechung bzw. zu Übergangswiderständen und damit letztlich zu Brand



schäden führen kann. Im Bereich der Elektroinstallation ist daher das Klemmen verzinnter Aderenden **verboten**.



Über die Qualität, den Vor- und Nachteilen von Baumarkt-Werkzeugsortimenten brauchen wir an dieser Stelle wohl nicht ausführlich eingehen. Hier gilt wohl der bekannte Ausspruch, billig ist nicht gleich günstig.

Gute Dienste bieten auch einfache Kabelkanäle. Sie sorgen dafür, dass in den Schaltkästen trotz der vielen Kabeln eine gewisse Ordnung eingehalten wird. Außerdem erleichtern sie ungemein das Verlegen der Kabel auf engem Raum. Diese gibt es in verschiedenen Breiten als Meterware.

3.3. Kabel

Wir müssen noch einmal auf die Beschaffenheit und den Querschnitt der Kabel zurückkommen.

Grundsätzlich werden flexible Kabel, sogenannte Litze verlegt. Starre Kabel eignen sich überhaupt nicht! Aus dem ersten Artikel "Grundlagen" wissen wir, je dicker ein Kabel ist, umso mehr Strom kann fließen, denn neben den Verbrauchern besitzen auch Kabel einen elektrischen Widerstand.

Kabelquerschnitte bei Gleichstrom sind ganz wichtig. Zu schwach, das heißt zu dünne Kabel werden warm und fangen im Extremfall an zu glühen, wie im Prinzip ein Wolframdraht in einer Glühlampe. Diesen Effekt wollen wir nun nicht, im Gegenteil, glühende Drähte können einen Brand auslösen und deshalb wollen wir unsere Kabel richtig dimensionieren.

Je mehr Strom fließen soll (und der steigt ja wie wir aus dem 1. Kapitel wissen, mit der Leistung des Verbrauchers) und je länger das Kabel sein muss, umso grösser muss der Querschnitt sein.

Bei einem Bordnetz mit einer Spannung von 12 V darf der Spannungsabfall zwischen Stromquelle und Verbraucher folgende Werte nicht überschreiten:

Positionslaternen 5% = 0,60 V

sonstige Verbraucher 7% = 0,84 V

Um den Querschnitt zu errechnen, gibt es eine kleine Formel

$$\text{Leitungsquerschnitt (mm}^2\text{)} = \frac{2 \times \text{Kabellänge (m)} \times \text{Stromaufnahme (A)}}{58 \times \text{zulässiger Spannungsabfall}}$$



Da der Strom immer einen Hin- und Rückweg hat, ist die Leiterlänge doppelt so groß wie die Kabellänge. Die Zahl 58 in der Formel ist der Leitwert von Kupfer.

Mein Vorschlag für einen generellen Querschnitt der Verkabelung von Verbrauchern an Bord wäre

$$\text{Querschnitt (mm}^2\text{)} = \frac{2 \times 8 \text{ (m)} \times 5 \text{ (A)}}{58 \times 0,6 \text{ (V)}}$$

Der Kabelquerschnitt für einen Strom von 5 Ampere und einer Kabellänge von 8 Metern beträgt somit $2,30 \text{ mm}^2$, das bedeutet, eine übliche Kabelgröße wäre hier $2,5 \text{ mm}^2$. Wenn wir hier von Größen reden, bezieht sich das immer auf den eigentlichen Leiter, ohne Isolierung.

Achtung der Querschnitt in (mm^2) ist nicht gleich dem Durchmesser (mm) des Kabels.

Die von mir eingesetzten Werte von 8 Meter Länge im Schnitt, vor allem aber der Wert von 5 A wird für moderne Verbraucher nur selten erreicht und deshalb sollte ein Kabel mit $2,5 \text{ mm}^2$ für die meisten Verbraucher ausreichen.

Es gilt aber auch, Verbraucher mit höherer Leistung, bei denen ein Strom von 5 und mehr Ampere (z.B. ältere Radargeräte) fließen oder die wesentlich weiter als 8 m entfernt installiert werden, diese sollten mit einem Kabel mit entsprechendem großen Querschnitt angeschlossen werden, der individuell nach der o.a. Formel ermittelt werden muss. Für alle anderen Verbraucher sollte der oben. berechnete Querschnitt ausreichen. Genaue Werte werden wir abschließend in einem Excelmodell berechnen. Heutzutage gibt es jedoch immer mehr Verbraucher, die aufgrund der modernen Halbleitertechnik nur noch eine sehr geringe Leistung von wenigen Milliwatt haben und wo deshalb auch nur ein sehr geringer Strom fließt. Hier würde ein Kabel mit einem sehr geringen Querschnitt durchaus reichen. Aber wenn wir uns die feinen Litzen ansehen, die teilweise aus einem Plotter oder einer modernen LED-Leuchte herausgeführt werden, stellen wir schnell fest, dass Kabel mit so einem geringen Querschnitt sich nicht für eine Verlegung quer durchs Boot eignen.

Ein guter Kompromiss sollten deshalb Kabel mit einem Querschnitt von $2,5 \text{ mm}^2$ sein.

Um auf der sicheren Seite zu sein, nutzen wir den Energiebedarfsrechner (ein Excel-Modell) Version 3, den wir ebenfalls auf der HP finden.

An dieser Stelle sollte das Excel-Modell EBR V3.1 (Version 3) parallel geladen werden. Die hier genannten Verbraucher sind bereits eingegeben. Diese kann dann jeder mit seinen Verbrauchern und deren Werte überschreiben. Wer es noch nicht kennt, der sollte sich zunächst die allgemeine Anleitung durchlesen.

Nachdem wir uns für 2 Panels a' 6 Automaten entschieden haben, werden wir auch 2 Gruppen im Excel-Modell belegen und zwar so, wie wir die Verbraucher auch an unserem Panel anschließen wollen. Listen wir also unsere Verbraucher in den beiden Gruppen so auf.



Nacheinander tragen wir nun unsere Verbraucher in das Excel-Modell ein. Ebenso die entsprechenden Werte für Leistung oder Strom, sowie die Anzahl der Stunden an dem der Verbraucher pro Tag eingeschaltet wird. Auch die einfachen Kabellängen und der Spannungsverlust werden in die entsprechenden Spalten eingetragen. Nähere Informationen dazu sind aber auch im Excel-Modell selbst hinterlegt.

Wichtig nur, erst wenn alle Spalten entsprechend ausgefüllt wurden, werden die Kabelquerschnitte und die entsprechende Absicherung berechnet. Die Ampeln der jeweiligen Verbraucher sollten grün zeigen. Eine rote Ampel signalisiert fehlende Eintragungen.

Sind alle Werte eingetragen, wechseln wir in den Druckbereich. Je nachdem, welche Werte wir in unserer Tabelle sehen wollen, werden die Spalten entsprechend ausgeblendet und unsere Tabelle ist zum Druck bereit.

Aufstellung der Verbraucher im Excel-Modell

Geräte	Anzahl	Leistung Watt (W)	Strom Ampere (A)	benötigte Energie [Ah]	Kabel- länge [m]	Maximal möglicher Strom	nächste Normgröße Kabel [qmm]	Mindest- ab- sicherung (A)
--------	--------	-------------------------	------------------------	------------------------------	------------------------	-------------------------------	--	-------------------------------------

Grp 1 Navigationsleuchten								
	Buglaterne rot/grün	1	25,0	0,0	8,3	13,0	2,1	2,5
	Hecklicht	1	25,0	0,0	8,3	5,0	2,1	0,8
	Dampferlicht	1	25,0	0,0	8,3	15,0	2,1	2,5
	Navigationsinstrumente	1	0,0	0,8	8,0	0,8	0,8	1,0
	Lampe Motorraum	1	3,0	0,0	0,3	1,5	0,3	0,8
	Autopilot SP1 Raymarine	1	0,0	4,0	16,0	3,0	4,0	0,8
	12 V Steckdose Cockpit	1	20,0	0,0	3,3	3,0	1,7	0,8
Zuleitung für die Grp 1				52,6	1,5	12,97	1,5	15,0

Grp 2 Innenleuchten								
	Leselampen Vorschiff	2	3,0	0,0	1,5	8,0	0,5	0,8
	Lampe WC-Raum	1	10,0	0,0	0,4	4,0	0,8	0,8
	Lampen am Schott, Salon	2	10,0	0,0	5,0	5,5	0,8	0,8
	Deckenlampe Salon Pantry	1	10,0	0,0	2,5	6,0	0,8	0,8
	Deckenlampe Salon Navigation (weiß/rot)	1	10,0	0,0	2,5	2,0	0,8	0,8
	Neue Leselampe Salon Stbd.	2	3,0	0,0	1,5	2,0	0,3	0,8
	Radio	1	0,0	0,5	1,5	1,5	0,5	0,8
	Anzeigen Wasser / Diesel Naviplatz	1	5,0	0,0	4,2	0,5	0,4	0,8
	Druckwasserpumpen	2	10,0	0,0	0,8	3,0	0,8	0,8
	Kühlschrank	1	10,0	0,0	5,0	3,0	0,8	0,8
Zuleitung für die Grp 2				24,9	1,5	6,67	0,8	10,0



In der Spalte "Nächste Normgröße Kabel" sehen wir, dass in unserem Beispiel keiner der Verbraucher einen Anschluss mit mehr als $2,5 \text{ mm}^2$ benötigt. Genau genommen kämen wir sogar mit einem durchschnittlichen Querschnitt von $1,5 \text{ mm}^2$ aus.

Damit kämen wir aber für die Positionslampen in den Grenzbereich. Hier wären dann entweder $2,5 \text{ mm}^2$ Kabel erforderlich, oder wir müssten auf LED-Leuchten wechseln. Ganz sicher aber wäre das bei einer Dreifarbenlaterne oder Ankerlicht im TOP erforderlich. Hier kommen schnell 20 bis 25 m lange Kabel zum Einsatz.

Hier noch ein paar kleine Tipps, wie man die Leistung eines Verbrauchers ermitteln kann.

- Auf den Glühbirnen ist oft ein Aufdruck wie z.B. 12V/25W, dann beträgt die Leistung 25W, oder aber 12V/1,6 A. Dann tragen wir den Strom, hier 1,6 A in die entsprechende Spalte ein.
- Bei einigen Geräten wie z.B. Plotter oder Autoradios etc. ist in der herausgeführten Plusleitung eine sogenannte fliegende Sicherung (z.B. 250 mA) eingebaut. Der Wert dieser Sicherung begrenzt den oberen Stromwert. Dann können wir diesen Wert in die Spalte "Strom" eintragen.
- Ansonsten bleibt das Manuel mit den technischen Daten oder das Googeln im Netz. Dort findet man in den meisten Fällen unter Spezifikationen oder Technische Daten Angaben zur Leistung eines Verbrauchers.

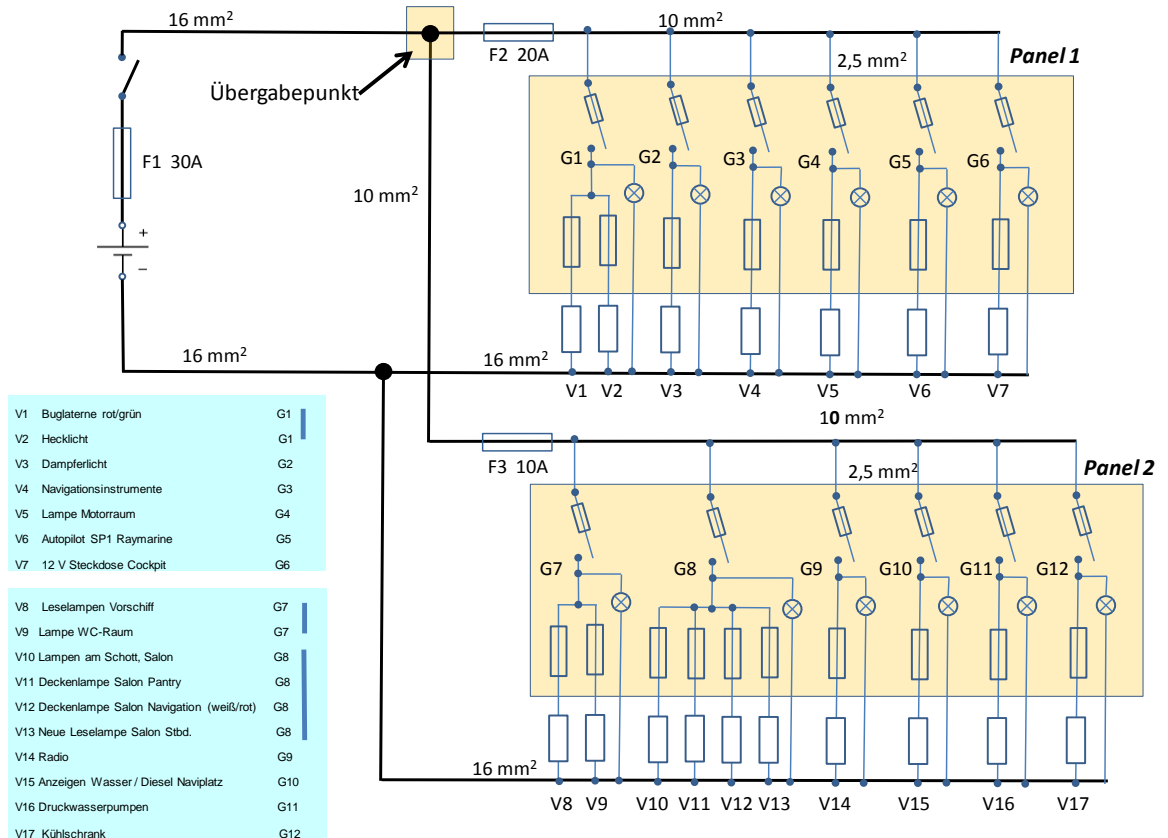
Übrigens, wenn der Wert der eingesetzten Flachsicherung dem der fliegenden Sicherung entspricht (und nur dann), kann man diese getrost weglassen. Denn es ist meist viel einfacher, eine Flachsicherung auszutauschen als die Verkleidung abzubauen und die entsprechende fliegende Sicherung dahinter auszutauschen. Bitte aber die Auswirkungen auf die Garantieansprüche prüfen.

Noch eine Bemerkung zu den Zuleitungen zu den Panels. In unserer Excel-Aufstellung sehen wir, dass für die Gruppe 1 und auch für die Gruppe 2 eine Zuleitung von mindestens $0,8 \text{ mm}^2$ verlangt werden. Die niedrigen Querschnitte resultieren in diesem Fall aus der kurzen Zuleitung zwischen Übergabepunkt und Panel, nämlich nur 1,5 m. Natürlich wählen wir diesen Querschnitt auf keinen Fall geringer, als die übrige Verkabelung. Im Gegenteil, üblich sind an dieser Stelle 10 mm^2 .

Dieser Querschnitt lässt auch noch den weiteren Anschluss späterer Verbraucher zu. Außerdem ist meistens ist der Querschnitt auch schon vorgegeben, denn das Kabel befindet sich bereits vorkonfektioniert am Schaltpanel.



Ein Schaltplan mit der späteren Anordnung der Verbraucher soll zeigen, welcher Teilabschnitt gemeint ist. Vom Übergabepunkt zu den Sicherungsautomaten.



Entsprechend muss der Querschnitt zwischen Batterie und Übergabepunkt größer gewählt werden, da hier der Strom von 2 Panels oder wie in unserem Fall, aller Verbraucher fließt. Üblich sind hier 16 mm^2 oder auch 30 mm^2 , je nach Umfang der Gesamtinstallation. Im Plan eingezeichnet reichen bei uns 16 mm^2 . Da bleibt dann auch noch genügend Reserve für evtl. spätere Verbraucher.

In diesem Plan sieht man jetzt auch erstmals zusätzliche Sicherungen, die zum Schutz der Kabel eingesetzt wurden. Jetzt könnte der Einwand kommen, durch die Automaten und durch die zusätzlichen Schmelzsicherungen ist doch schon alles abgesichert. Ja, stimmt, aber erst ab den Sicherungen. Die Verkabelung zwischen dem Pluspol der Batterie bis hin zum Schaltpanel mit den Automaten ist noch nicht abgesichert. Man stelle sich vor, innerhalb dieser Teilverkabelung scheidet durch Bewegung ein Kabel durch, oder es gibt einen anderweitigen Kurzschluss (Einklemmen der Leitung durch einen schweren scharfkantigen Gegenstand), wie auch immer nach Masse! Dann würde, je nach Kapazität der Batterie ein immens hoher Strom fließen, der einen Schmorbrand zur Folge haben könnte. Sogar der Hauptschalter,



an dem häufig die Kabel mit Kabelschuhen (Öse o. Gabel) und Schrauben befestigt sind, kann Urheber für einen Kabelbrand sein.

Lockert sich eine der Schrauben, kommt es zum Wackelkontakt und damit zu möglichen Funken.

Entsprechend der Belastung der Kabel wählen wir unsere Absicherung.

Wir schauen wieder auf unsere Excel-Aufstellung. Für das Panel 1 (entsprechend Gruppe 1) würde hier ein theoretischer Strom von 12,97 A (Summe der Ströme entsprechend der Nennleistungen) fließen. Der theoretisch mögliche Strom aufgrund der eingesetzten Sicherungen (Summe der Mindestabsicherungen) wäre 16A. Wir wählen daher eine 20A Sicherung (im Plan mit F2 gekennzeichnet) und bleiben damit deutlich (selbst bei einer ungünstigen Verlegeart) unterhalb der max. zulässigen Strombelastbarkeit für ein 10 mm² Kabel.

Anmerkung: Der Buchstabe "F" bei der Bezeichnung von Sicherungen (z.B. F2) kommt aus der Abkürzung von „Fuse“ = Sicherung

Für das Panel 2 (Gruppe 2) entsprechend wäre der theoretische Strom (Summe der entsprechenden Nennleistungen) 6,4 A. Theoretisch möglich aufgrund der gewählten Absicherungen wären es 11 A. Wir wählen eine 10 A Absicherung (im Plan F3).

Für die Zuleitung von der Batterie zum Übergabepunkt könnten theoretisch 30 A (Summe aus F2 = 20 A und F3 = 10 A) fließen. Für unsere Sicherung (F1) wählen wir deshalb 30 A. Auch dieser Wert bleibt damit deutlich unter der zulässigen Strombelastbarkeit für ein 16 mm² Kabel. ⁽¹⁾

Alle Kabel außerhalb des Schaltschranks sollten nicht etwa als fliegende Leitungen (hier wäre die Gefahr durch Scheuern oder Quetschen zu groß) frei im Boot verlegt werden, sondern wenn möglich in kleinen Kabelkanälen oder Schutzrohren.

Anmerkung: Bei Kabeln mit größerem Querschnitt können sehr hohe Ströme fließen. Wer kein geeignetes Werkzeug für größere Kabelquerschnitte hat, sollte sich die Kabel mit 10 bzw. 16 mm² Querschnitt (das gilt im Prinzip auch für alle Kabel mit größerem Querschnitt) die Kabelendhülsen bzw. entsprechende Kabelschuhe von einem Elektrobetrieb konfektionieren lassen.

⁽¹⁾ Die zulässigen Ströme unter Berücksichtigung von Verlegeart und Temperatur findet man in entsprechenden Tabellen, die nach International Standard ISO 10133 aufgestellt wurden.

DIN EN ISO 10133

Kleine Wasserfahrzeuge - Elektrische Systeme - Kleinspannungs-Gleichstrom-(DC-)Anlagen (ISO/DIS 10133:2011)

Weiter geht es in ein paar Tagen mit dem Bericht Nr.4
“Detailplanung und Einsatz an Bord“