



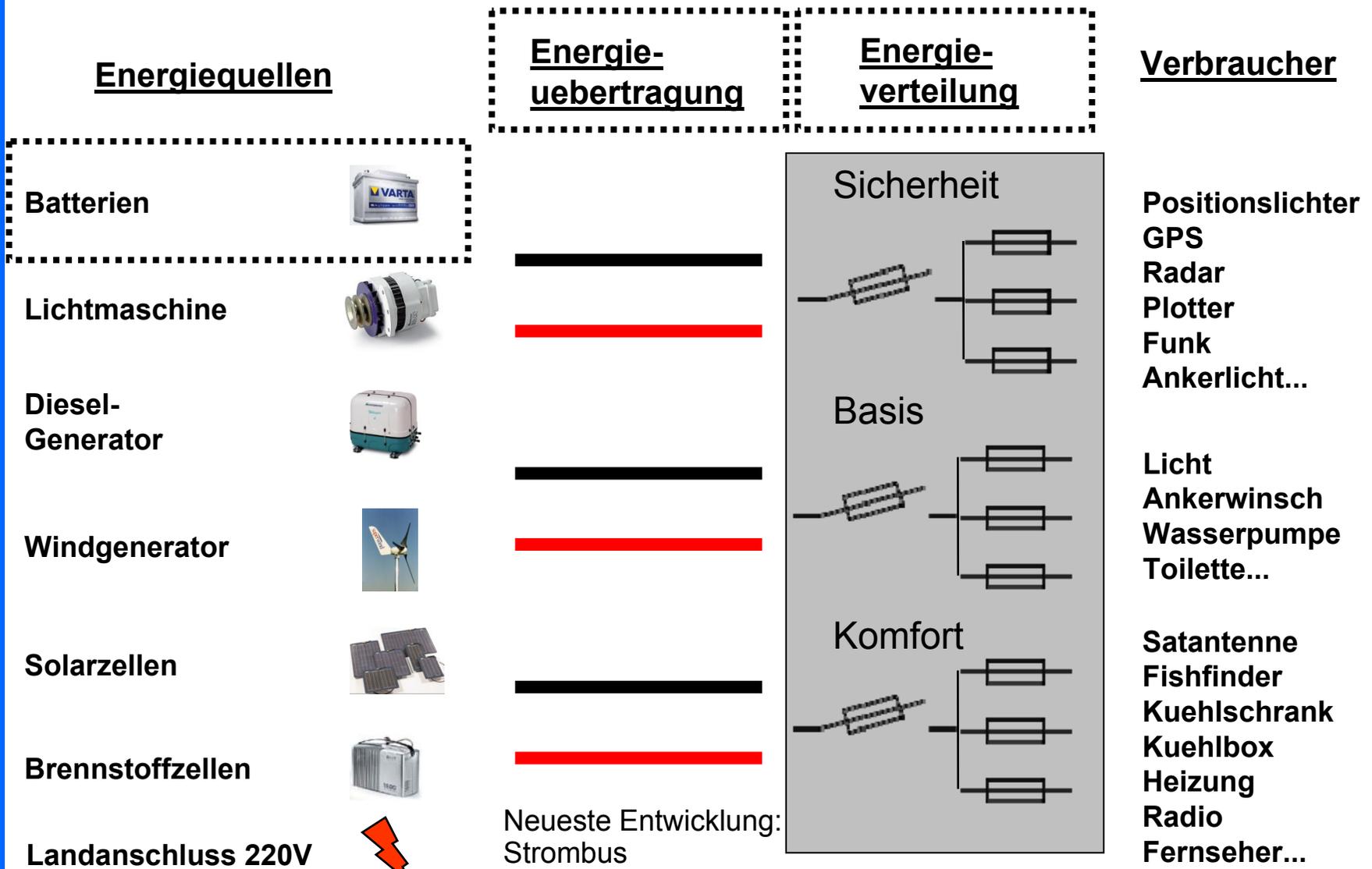
Energiemanagement an Bord

- Übersicht Energieerzeugung und Verteilung
- Energiebilanz
- Batterien - Eigenschaften und Auslegung
- Alternative Energiequellen (Solar, Wind, ...)
- Energieübertragung / Kabelberechnung
- Kabelauswahl – welche Typen sind geeignet
- Verbindungstechniken
- Kabelauslegung und Absicherung

Bei Rückfragen: e-mail an ludi@juergenanschuetz.de



Energiequellen, Kabel und korrekte Absicherung : wesentliche Elemente der Yachtelektrik





Elektrische Anlage (Princess 33, 2 * Volvo TAMD 41 A)

Anlagespannung: 12 V

Generatorleistung: max. 14 V 50 A → max. Ladestrom

Anlasserleistung: 2,3 PS / 3,4 KW → Anlasserstrom = 284 Ampere

Wieviel Strom benötigen die Verbraucher an Bord ?



Die Auflistung aller Verbraucher und deren Einschaltdauer ergibt den Energiebedarf pro Tag

Verbraucher	Anzahl	Leistungs- aufnahme einzel (Watt)	Leistungs- aufnahme gesamt (Watt)	Betriebs- spannung (V)	Strom- aufnahme (A)	Betriebs- dauer / Tag (min)	Betriebs- dauer / Tag (h)	Wh / Tag	Ah / Tag
Positionslaterne grün	1	20	20	12	1,67	5	0,08	1,67	0,14
Positionslaterne rot	1	20	20	12	1,67	5	0,08	1,67	0,14
Hecklaterne	1	20	20	12	1,67	5	0,08	1,67	0,14
Toplicht	1	20	20	12	1,67	5	0,08	1,67	0,14
Ankerlicht	1	10	10	12	0,83	480	8,00	80,00	6,67
Decksleuchten	2	20	40	12	3,33	120	2,00	80,00	6,67
Suchscheinwerfer	1	100	100	12	8,33	10	0,17	16,67	1,39
Leuchte Kartentisch	1	10	10	12	0,83	20	0,33	3,33	0,28
Salonbeleuchtung	6	20	120	12	10,00	240	4,00	480,00	40,00
Kombüse	2	20	40	12	3,33	120	2,00	80,00	6,67
Kabine	2	20	40	12	3,33	120	2,00	80,00	6,67
Pflichtbeleuchtung	2	20	40	12	3,33	240	4,00	160,00	13,33
GPS	0	2	0	12	0,00	0	0,00	0,00	0,00
Plotter	1	8	8	12	0,67	0	0,00	0,00	0,00
Radar	1	50	50	12	4,17	0	0,00	0,00	0,00
Funk	1	5	5	12	0,42	120	2,00	10,00	0,83
Notebook	1	40	40	12	3,33	120	2,00	80,00	6,67
Ankerwisch	1	500	500	12	41,67	0	0,00	0,00	0,00
Bugstrahlruder	1	2000	2000	12	166,67	0	0,00	0,00	0,00
Wasserpumpe	1	40	40	12	3,33	10	0,17	6,67	0,56
Kühlschrank	1	50	50	12	4,17	240	4,00	200,00	16,67
Lenzpumpe (Bilge)	1	25	25	12	2,08	0	0,00	0,00	0,00
Lenzpumpe (Dusche)	1	25	25	12	2,08	20	0,33	8,33	0,69
WC	1	100	100	12	8,33	10	0,17	16,67	1,39
Radio	1	25	25	12	2,08	240	4,00	100,00	8,33
TV + SAT	1	50	50	12	4,17	240	4,00	200,00	16,67
Sonstiges	1	20	20	12	1,67	0	0,00	0,00	0,00
Gesamt:			3418		284,83			1608,33	134,03





Welcher Batterietyp eignet sich, wieviel Kapazität sollte diese haben ?

Anbieter	Ah	Bauart	Preis
Supermarkt	110	Wartungsfrei	159,50 €
Markenhersteller	95	Wartungsfrei	189,00 €
Markenhersteller	95	AGM	256,50 €



???



Batteriekapazität

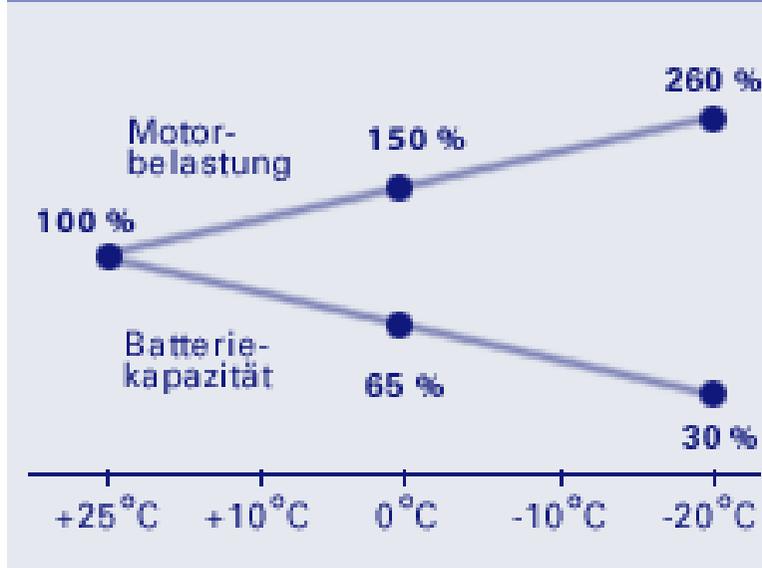
- Akkumulator (Sammler), “Batterie”: speichert und liefert Energie
- Wandelt chemische Energie in elektrische (Entladung) und umgekehrt
- Kapazität: Verfügbare Elektrizitätsmenge einer Batterie in Amperestunden (Ah)
 - Die entnehmbare Kapazität nimmt mit steigender Größe der Entladeströme und sinkender Umgebungstemperatur ab
 - Nennkapazität K_{20} : die vom Hersteller angegebene Kapazität der Batterie in Amperestunden. Eine vollgeladene neue Batterie muß bei Raumtemperatur mindestens für 20h einen Strom in Höhe von $K_{20} : 20h$ abgeben. Die Batteriespannung darf dabei nicht unter 10,5 V sinken.

Beispiel: Eine 60Ah Batterie muß für mindestens 20h einen Strom von 3 A abgeben, ohne dass die Batteriespannung unter 10,5 V sinkt



Temperatureinfluss auf die Batteriekapazität

Einfluss der Temperatur auf die Batterie



Beim Kaltstart treffen zwei für die Batterie ungünstige Bedingungen zusammen:

Die mechanischen Widerstandskräfte sind größer, weil das Öl im Motor bei niedrigen Temperaturen zähflüssig wird. Der Starter braucht dann mehr Energie und die Anforderungen an die Batterie steigen.

Andererseits verringert sich die Leistung der Batterie bei Kälte erheblich: die Kapazität sinkt, da die Viskosität der Säure ansteigt und die Diffusion behindert.

Der Ladezustand der Batterie ist bei Kälte besonders wichtig: Je tiefer die Entladung, desto mehr wird die Säure verdünnt. Damit kann sich der Gefrierpunkt erheblich verschieben (eine Batterie mit gefrorenem Elektrolyten ist zum Starten nicht mehr verwendbar):

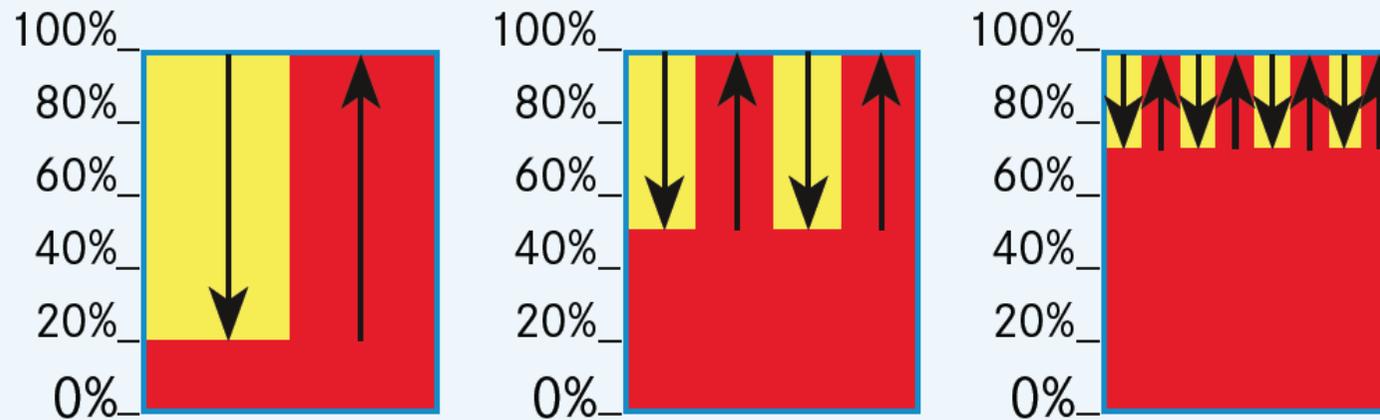
- | | |
|--|-----------------------------|
| - geladene Batterie (Säuredichte 1,28 kg/l): | Gefrierpunkt -68 °C |
| - halb geladene Batterie (SD 1,16-1,20): | Gefrierpunkt -27 bis -17 °C |
| - entladene Batterie (SD 1,04-1,12): | Gefrierpunkt -11 bis -3 °C |

Quelle: VARTA



Die Lebensdauer einer Batterie definiert sich im wesentlichen über die Anzahl der Be- und Entladezyklen

Definition eines Entlade- und Aufladezyklus



Einmaliges Entladen bis 20% der Kapazität und anschließendes Aufladen auf 100%.

Zweimaliges Entladen bis 50% der Kapazität und anschließendes Aufladen auf 100%.

Viermaliges Entladen bis 75% der Kapazität und anschließendes Aufladen auf 100%.

Ganzer Zyklus

Halber Zyklus

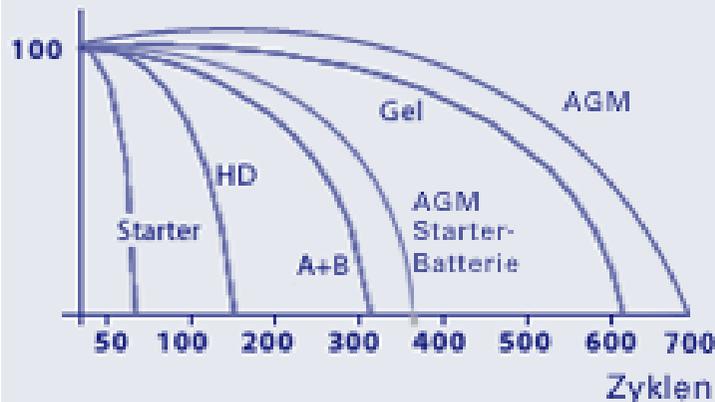
Viertel Zyklus



Die ideale “Universalbatterie” gibt es nicht !

Vergleich der Zyklenzahlen

Kapazität in %



Starter: konventionelle Starter-Batterie für Motorstart

HD: Heavy Duty Batterien

A+B: Batterien für Antrieb und Beleuchtung

Gel: Versorgungsbatterie bedingt für Motorstart (Boote) geeignet

AGM: AGM Starterbatterie
VARTA ULTRA special

Quelle: VARTA

Energiemanagement an Bord V 1.1

Der Prozess des Entladens und Ladens einer Batterie wird Zyklus genannt.

Versorgungsbatterien mit ihren dickeren Gittern und Platten sind für diesen Anwendungsbereich optimiert.

Starterbatterien dagegen eignen sich aufgrund ihrer Bauweise (dünne Platten, Separatorenmaterial) nur bedingt für Einsatzfälle mit wiederholten Tiefentladungen.

Wird eine Starterbatterie für zyklische Anwendungen verwendet (z.B. für den Elektromotor-Antrieb), dann sinkt die Lebensdauer der Batterie deutlich ab → max. 10% Entladung

Jürgen Anschütz, CNK Leimersheim



Entladung und Ladung von Starter und Verbraucherbatterien

- Starterbatterien:

Starterbatterien müssen ihre Spitzenleistung nur für kurze Zeit, dann aber voll aufbringen. Obwohl beim Start ein grosser Strom fliesst (ca. 200 A), wird die Kapazität der Batterie nur geringfügig kleiner.

Beispiel:

Wird eine Starterbatterie mit 60 Ah Kapazität mit einem Entladestrom von 200 A über einen Zeitraum von 5 s belastet, fließt eine Ladungsmenge von $200 \text{ A} \cdot 5 \text{ s} = 1000 \text{ As} = 0,28 \text{ Ah}$,

also nur ca. 0,5 % der Batteriekapazität. Bei einem Ladestrom von 20 A ist die Batterie nach 1 Minute wieder geladen. Entspricht ca. 0,005 Zyklen.

- Verbraucherbatterien

Wird eine Verbraucherbatterie mit 150 Ah Kapazität auf 75 Ah entladen (Restkapazität 50%), dauert die Ladung bei einem Ladestrom von 20 A $\rightarrow 75 \text{ Ah} / 20 \text{ A} = 3,75$ Stunden (theoretisch). Tatsächlich sogar noch länger (je nach Ladekennlinie des Ladegerätes). Entspricht einem halben Zyklus.



Welcher Batterietyp eignet sich, wieviel Kapazität sollte diese haben ?

Anbieter	Ah	Bauart	Typ	Preis	Anzahl Entladezyklen (Richtwert)	Verbrauch von Gesamtkapazität bei Start (284 A, 5 sec)	Zyklusverbrauch	Anzahl Starts	Zyklusverbrauch bei Bordversorgung (pro Tag), Entladung auf 20% Restkapazität	Entnehmbare Gesamtkapazität in Ah	Preis pro Ah (Cent)
Supermarkt	110	Wartungsfrei	Starter	159,50 €	70	0,359%	0,0036	19521	1	6160	2,59
Markenhersteller	95	Wartungsfrei	Starter	189,00 €	100	0,415%	0,0042	24085	1	7600	2,49
Markenhersteller	95	AGM	Verbraucher	256,50 €	500	0,415%	0,0042	120423	1	38000	0,68

Die teuerste Batterie erweist sich im Verbraucherbetrieb als die günstigste !

Anbieter	Ah	Bauart	Typ	Preis	Preis pro Ah Gesamtkapazität	Verbrauch pro Tag (Ah)	Anzahl Batterien	Verfügbare Kapazität (Ah)	Gewünschte Maximalentladung (% Restkapazität, bestimmt Zyklusverbrauch !)	Entnehmbare Gesamtkapazität in Ah	Anzahl Tage ohne Aufladung	Investition
Markenhersteller	105	AGM	Verbraucher	270,00 €	2,57 €	134	5	525	20%	420	3,13	1.350,00 €
Markenhersteller	150	AGM	Verbraucher	400,00 €	2,67 €	134	4	600	20%	480	3,58	1.600,00 €
Markenhersteller	200	AGM	Verbraucher	480,00 €	2,40 €	134	3	600	20%	480	3,58	1.440,00 €
Markenhersteller	245	AGM	Verbraucher	580,00 €	2,37 €	134	2	490	20%	392	2,93	1.160,00 €

Die Auswahl der Batterie erfolgt nach Dauer der gewünschten Energieverfügbarkeit ohne Nachladung

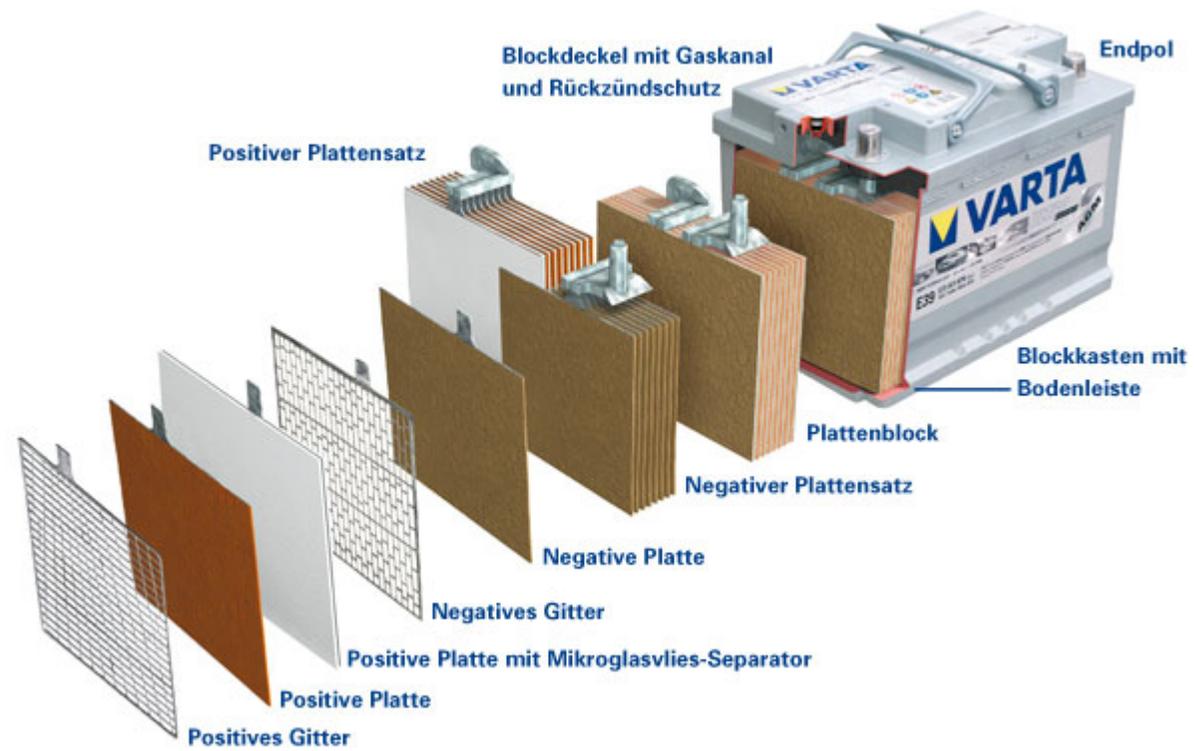


Wichtige Definitionen

- Klemmenspannung:
Spannung zwischen den beiden Anschlußpolen der Batterie. Hierbei handelt es sich um die Ist-Spannung der Batterien. Sie liegt bei neuen, geladenen Batterien über und bei defekten oder entladenen Batterien unter der Nennspannung
- Nennspannung:
Ergibt sich aus der Nennspannung der einzelnen Zellen multipliziert mit der Anzahl der Zellen. Für Fahrzeugbatterien beträgt die genormte Nennspannung 12 V
- Gasungsspannung:
Die Gasungsspannung ist die Spannung, oberhalb derer eine Batterie deutlich zu gasen beginnt. Die Gasung setzt ab 14,4 V Klemmenspannung (2,4 V Zellenspannung) ein. Hierbei entsteht in hohem Maße überschüssiger Wasserstoff (Knallgas). Explosionsgefahr !
- Ruhespannung:
Ruhespannung oder Leerlaufspannung ist die Spannung einer unbelasteten, abgeklemmten Batterie nach Erreichen eines Beharrungswertes. Die Batterie benötigt eine gewisse Zeit, bis sich durch Diffusion ein Konzentrationsgleichgewicht innerhalb des Elektrolyten zwischen und über den Polplatten eingestellt hat.



Aufbaubeispiel eines Bleiakкумуляtors



Quelle: VARTA

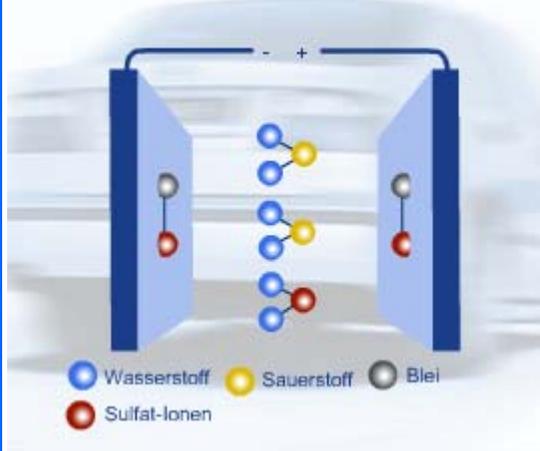
Energiemanagement an Bord V 1.1

Jürgen Anschütz, CNK Leimersheim



Entladener Zustand und Ladevorgang

1



Entladener Zustand

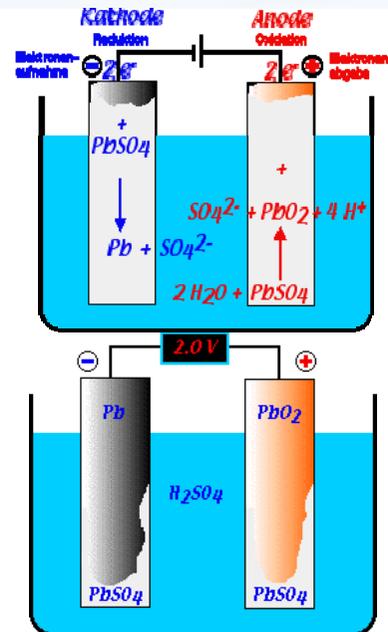
Im entladenen Zustand besteht die aktive Masse in den positiven und negativen Platten aus Bleisulfat (PbSO_4).

Die niedrigste Dichte beträgt ca. 1,10 kg/l. Die Batterieflüssigkeit (Elektrolyt) ist eine Mischung aus Schwefelsäure (H_2SO_4) und destilliertem Wasser (H_2O).

Laden

Bei der Aufladung wird die Batterie an eine Gleichspannungsquelle gekoppelt. Der Elektronenfluss geht von der positiven zur negativen Platte. Der negativen Platte werden demnach Elektronen zugeführt, während der positiven Platte Elektronen entzogen werden.

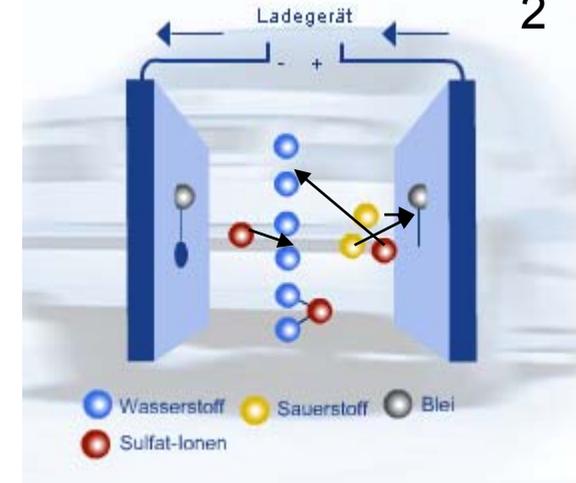
Der Elektronenfluss bewirkt an der negativen Platte eine Reduktion des Bleisulfates zu metallischem Blei, während an der positiven Platte das Bleisulfat unter Elektronenabgabe und Aufnahme von zwei Sauerstoffatomen zu Bleidioxid oxidiert wird.



Quelle: VARTA

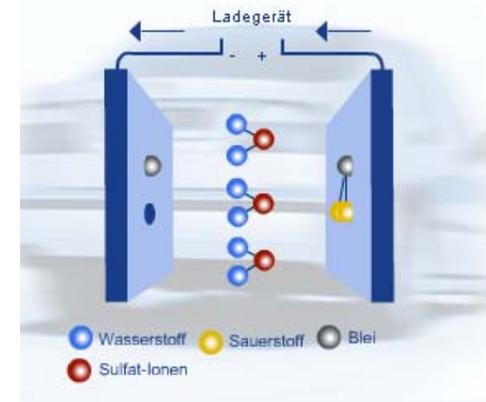
Energiemanagement an Bord V 1.1

2



Aus Bleisulfat (PbSO_4) bildet sich unter Abgabe von Sulfat-Ionen (SO_4^{2-}) und Wasserstoffionen (H^+) und Verbrauch von Wasser Bleidioxid (PbO_2). In der Flüssigkeit entsteht Schwefelsäure (H_2SO_4) und die Wassermenge (H_2O) verringert sich.

3

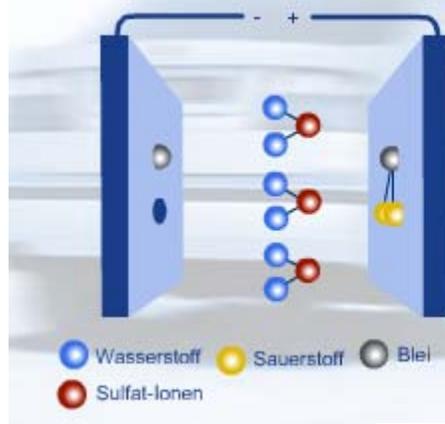


Jürgen Anschütz, CNK Leimersheim



Geladener Zustand und Entladevorgang

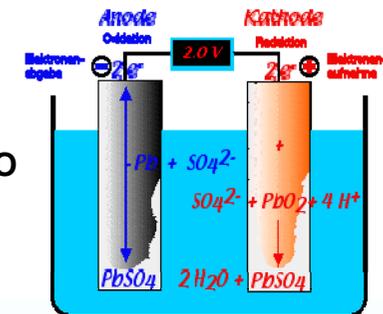
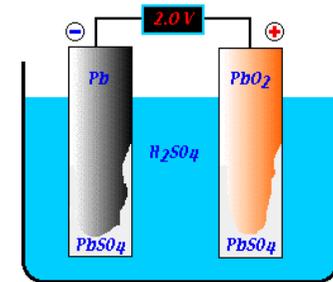
3



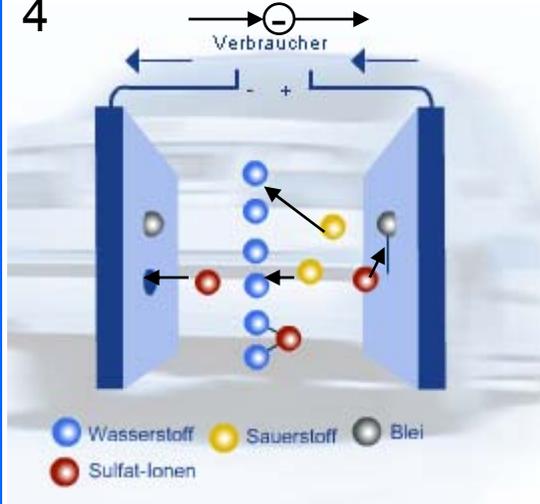
Geladener Zustand

Ist der Bleiakкумулятор geladen, so besteht die aktive Masse der negativen Platte aus Bleischwamm (Pb) und die aktive Masse der positiven Platte aus Bleidioxid (PbO₂).

Die Konzentration des Elektrolyten (Batteriesäure) - verdünnte Schwefelsäure (H₂SO₄) - ist gegenüber dem entladenen Zustand wieder auf 1,28 kg/l gestiegen.



4



Entladen

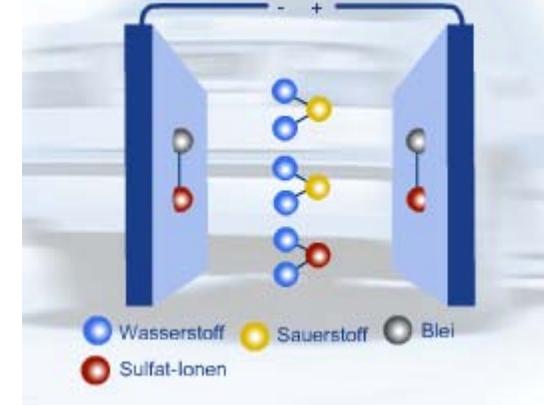
Wird die Batterie mit einem Verbraucher gekoppelt, fließt ein Strom, der die Batterie entlädt.

Die Elektronen bewegen sich über den äußeren Stromkreis und dem Gerät von der negativen zur positiven Platte.

Zum Ausgleich wandern Sulfat-Ionen (SO₄²⁻) aus dem Elektrolyt zur negativen Platte und bilden dort mit Blei (Pb) Bleisulfat (PbSO₄).

Aus dem Bleidioxid (PbO₂) an der positiven Platte entsteht - unter Bildung von Wasser (H₂O) - bei Verbrauch von Sulfat-Ionen (SO₄²⁻) und Wasserstoffionen (H⁺) ebenfalls Bleisulfat (PbSO₄).
50% entladen: 1,18 kg/l bei 25 °C

5 = 1



Quelle: VARTA

Energiemanagement an Bord V 1.1

Jürgen Anschütz, CNK Leimersheim



Wartungsfreie Batterien (VRLA-Batterien)

- Bei den VLRA Batterien (Valve Regulated Lead Acid Battery) handelt es sich um Batterien mit festgelegtem Elektrolyt. Die Zellverschlußstopfen lassen sich nicht herausschrauben. Die beim Überladen entstehenden Gase Wasserstoff und Sauerstoff werden innerhalb der jeweiligen Zelle wieder zu Wasser zurückverwandelt. In den nicht zugänglichen Verschlußstopfen befinden sich Entgasungsventile, die bei Überdruck eine gezielte Gasableitung in den zentralen Entgasungskanal ermöglichen
- Vorteil:
Wartungsfrei, da das Kontrollieren und Nachfüllen des Elektrolyts entfällt
- Nachteil:
Bei zu starkem Laden tritt das überschüssige Gas über ein Entgasungsventil als Sicherheitsventil aus. Da diese Flüssigkeitsmengen nicht wieder ersetzt werden können ist eine nachhaltige Beschädigung der Batterie möglich

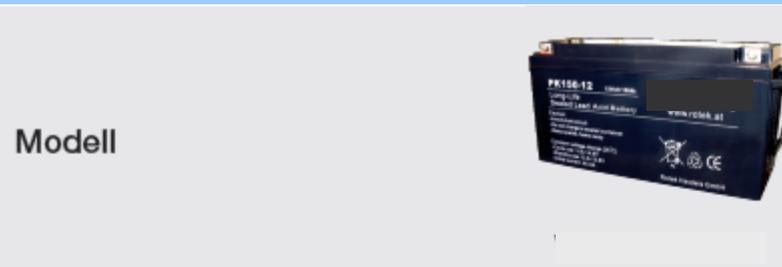


Wartungsfreie Batterien – AGM / GEL - Batterien

- AGM (Absorbent Glass Mat = Fliesakku)
Bei AGM-Akkus (Fliesakkus) wird die Schwefelsäure durch ein Glasfasergewebe vollständig aufgesaugt. Dieses Gewebe stabilisiert die Bleiplatten - daher sind diese Akkumulatoren sehr vibrationsfest. Die Startleistung ist höher als bei GEL Akkus und praktisch einer Flüssigzelle gleichzusetzen. Gegenüber der Flüssigzelle tritt ein verminderter Kapazitätsverlust durch Säureschichtung auf. Die Ausgasung entspricht der von GEL Batterien. Jede Einbaulage ist zulässig (ausser über Kopf).
- GEL Akku
Bei GEL Akkus wird durch Zusatz von Kieselsäure die Schwefelsäure zu einer gelartigen Masse. Der Kapazitätsverlust durch Säureschichtung ist noch geringer als bei Fliesakkus, jedoch sind die GEL Batterien weniger hochstromfest und teurer als Fliesakkus. Alle anderen Eigenschaften entsprechen dem der AGM Fliesakkus.



Beispiel Datenblatt einer AGM Batterie

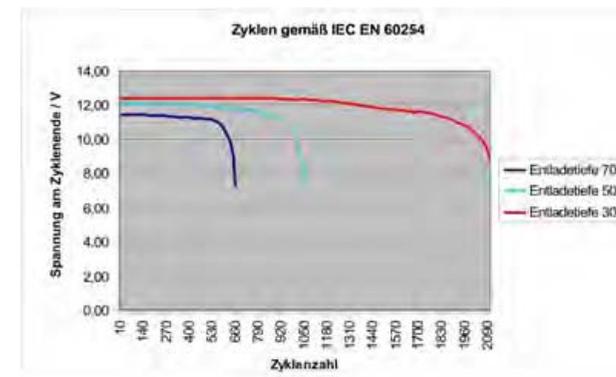


Modell		
Nennspannung	12 V	
Nennkapazität	150 Ah	
Abmessungen	Höhe (H1)	240 mm
	Höhe (H2)	240 mm
	Breite (B)	485 mm
	Tiefe (T)	172 mm
Nettogewicht	45,10 kg	
Anschlussstyp	B5	
Kapazität (bei 25°C)	20h Rate	150 Ah (7,5 A)
	10h Rate	142 Ah (14,2 A)
	5h Rate	124 Ah (28 A)
	1h Rate	92,8 Ah (92,8 A)
	15min Rate	65 Ah (260 A)
Innenwiderstand (100% geladen, 25°C)	3,8 mΩ	
Max. Entladestrom (bei 25°C)	1.000 A (5 Sek.)	
Max. Ladestrom (Im Zyklusbetrieb)	45 A	

Kapazität (In Abhängigkeit der Umgebungstemperatur, für 20h Rate)	+40°C	102 %
	+25°C	100 %
	0°C	85 %
	-15°C	65 %

Restkapazität bei Lagerdauer (Selbstentladung, 20°C)	3 Monate	90 %
	6 Monate	80 %
	12 Monate	60 %

Ladespannung (für Betriebsart, 25°C)	Zyklen	14,5-14,9V (-24mV/°C)
	Puffer	13,6-13,8V (-18mV/°C)





Beispiel: Entladeschlußspannung in Abhängigkeit vom Entladestrom

FINAL DISCHARGE VOLTAGE

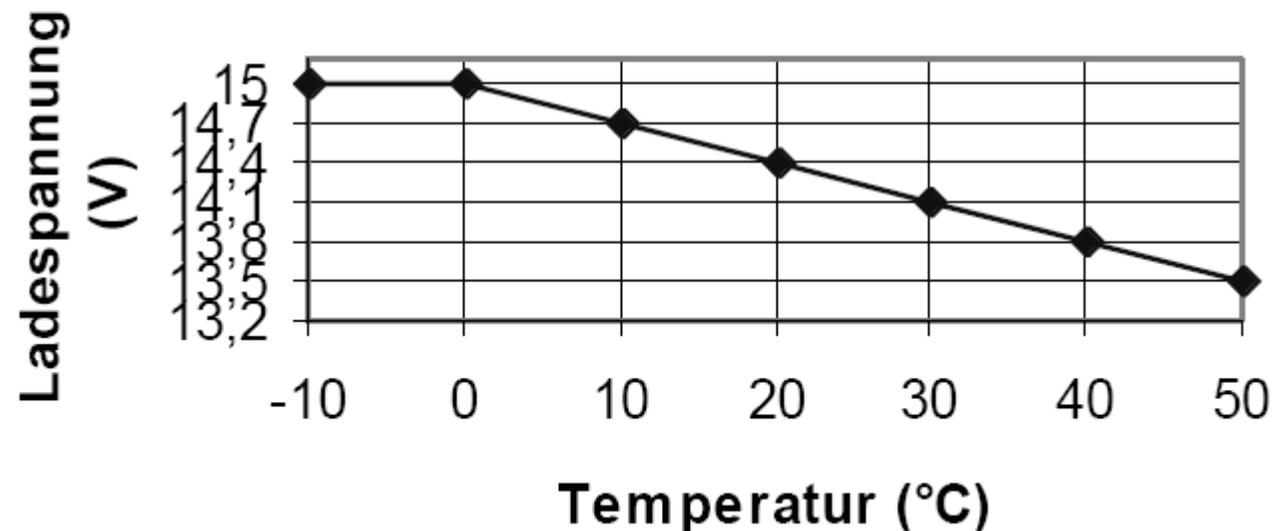
Battery model	Discharge current / Ontlaadstroom / Entladestrom / Courant de décharge / Corriente de descarga / Corrente di scarica			
	< 11A	11 – 23A	23 – 55A	> 55A
AGM-55Ah	< 11A	11 – 23A	23 – 55A	> 55A
AGM-70Ah	< 13A	13 – 32A	32 – 65A	> 65A
AGM-90Ah	< 17A	17 – 42A	42 – 85A	> 85A
AGM-130Ah	< 24A	24 – 60A	60 – 120A	> 120A
AGM-160Ah	< 30A	30 – 75A	75 – 150A	> 150A
AGM-225Ah	< 42A	42 – 105A	105 – 210A	> 210A
AGM-270Ah	< 51A	51 – 128A	128 – 255A	> 255A
Final discharge voltage Laagste ontlaadspanning Entladeschlußspannung Tension finale de décharge Tensión final de descarga Tensione finale di scarica	10.8V	10.5V	10.2V	9.6V

Bei geringeren Strommengen liegt die zulässige Entladeschlußspannung höher ! Deshalb sollte sowohl die Höhe der Stromentnahme als auch die Klemmenspannung beobachtet werden, um eine Tiefentladung zu vermeiden !



Die Gasungsspannung eines Bleiakкумуляtors ist von der Temperatur abhängig

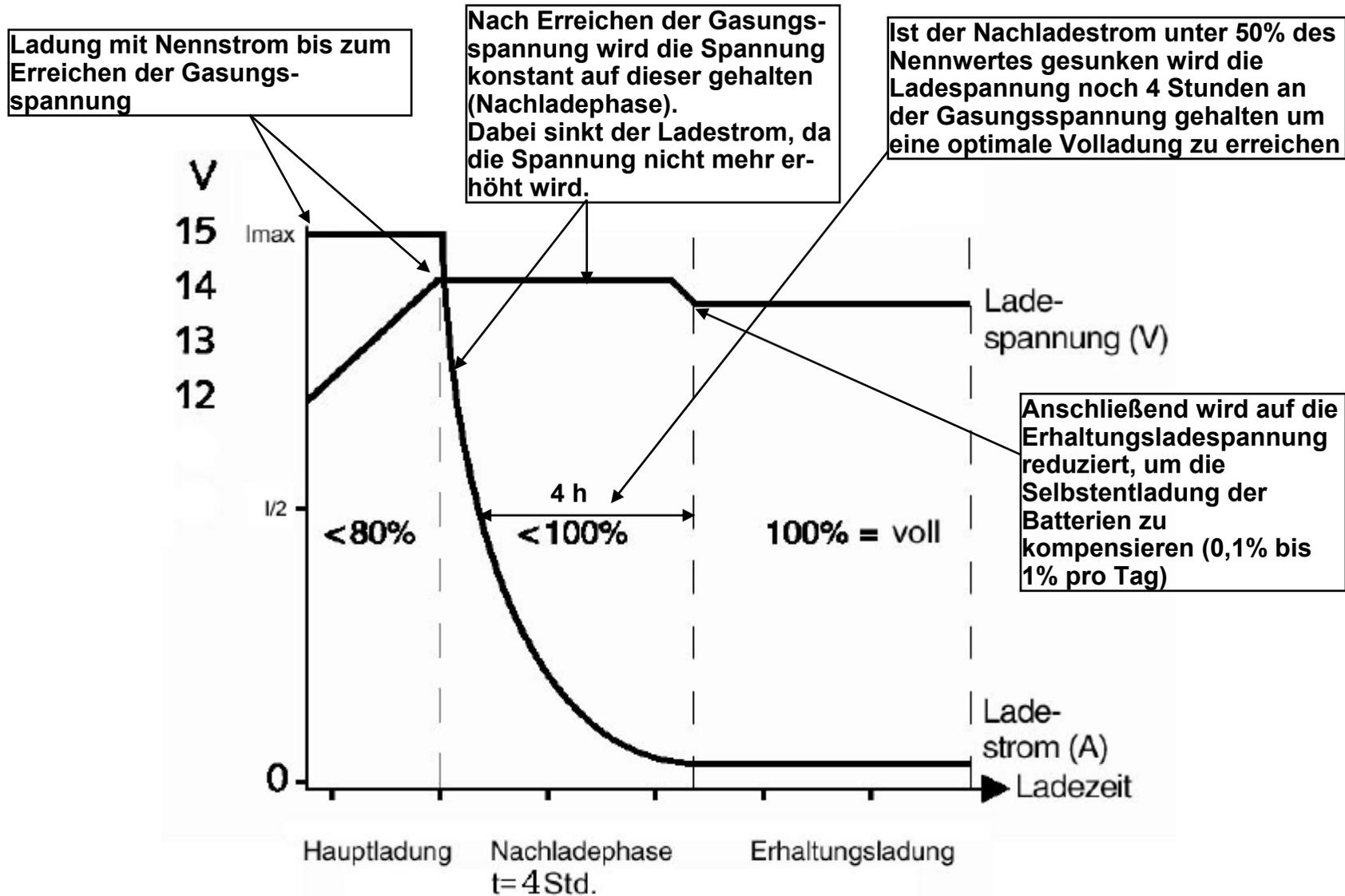
Temperaturabhängigkeit der Gasungsspannung
einer 12V-Blei-Gel-Batterie



Mittels eines Temperaturfühlers wird die Batterie- (Umgebungs-) Temperatur erfasst und die max. Ladespannung automatisch angepasst. Dadurch wird während des Ladens bei unterschiedlichen Temperaturen die Gasungsspannung eines Bleiakкумуляtors nie überschritten. Wird kein Temperatursensor angeschlossen, wird mit den Spannungswerten geladen, die einer Temperatur von 20°C entsprechen

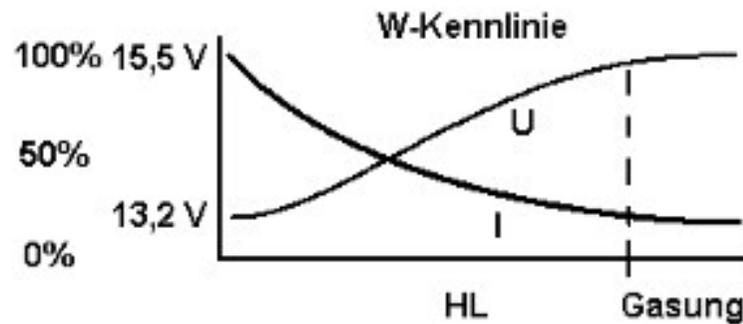


I-U₀-U Kennlinie bei Ladebetrieb





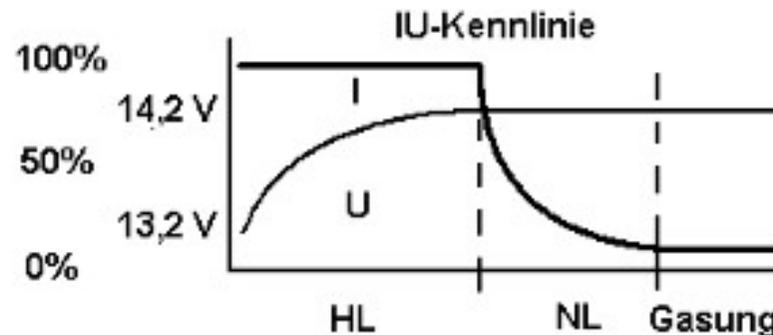
Weitere Kennlinien (nicht empfehlenswert)



Nachteil: Gasungsgefahr !



Die einfachsten Typen von Ladegerät besitzen die W-Kennlinie. Vertreter dieses Typs sind die simplen Batterieladegeräte aus dem Automarkt. Dem Ladestrom ist hier freier Lauf gelassen – er wird durch den Innenwiderstand des Akkus bestimmt. Beobachtet man den Stromfluss, so ist er bei einem entladenen Akku zunächst hoch, lediglich durch die interne Strombegrenzung des Ladegerätes im Zaum gehalten. So, wie die Ladung des Akkus steigt, steigt auch die Ladespannung bei gleichzeitig abnehmendem Strom. Wegen der fehlenden Spannungsbegrenzung endet dieser Vorgang aber nicht bei Erreichen der Gasungsspannung. Da die Ladung dabei weiter zunimmt, steigt auch die Ladespannung kontinuierlich über die Gasungsspannung hinaus. Sofern die Kennlinie nicht um den Notstop erweitert ist, wird die weiter ansteigende Ladespannung den Ladestrom schließlich sogar wieder verstärken – die Stromkurve steigt rapide an. Wenn nicht schon vorher die Gasung zur Zerstörung des Akkus geführt hat, ist es spätestens jetzt geschehen.



Nachteil: Keine vollständige Ladung



Komfortabler sind Ladegeräte mit IU-Kennlinie. Die HL erfolgt anfänglich mit konstantem Strom und konstanter Spannung. Letztere allerdings stellt sich aber erst nach einer gewissen Ladezeit ein. Da die Nenn-Ladespannung nicht über der der Gasungsspannung liegt, wird auch der Ladestrom vor Erreichen der Gasungsspannung automatisch begrenzt (im Gegensatz zur W-Kennlinie). Bei einem gesunden Akku fließt am Ende der NL nur noch ein Strom von ca. 0,2 A. Eine vollständige Aufladung ist aufgrund Nenn-Ladespannung < Gasungsspannung nicht möglich, oft wird nur 80% der Kapazität erreicht).



Auszug aus Betriebsanleitung einer AGM Batterie (1)

- Laden

Verwenden Sie nur Ladegeräte mit IUoU Kennlinie.

Spannungseinstellungen:

Erhaltungsladung 13,80V @ 25°C; Ausgleichsladung 14,25V @ 25°C (max. 5 Stunden).

Ein Laden mit Temperatenausgleich wird empfohlen ($-30\text{mV}/^\circ\text{C}$).

Maximaler Ladestrom: 30% der Nennkapazität.

Unvollständiges Laden kann die Batterien beschädigen.

Deshalb müssen die Batterien regelmäßig, mindestens einmal pro Monat, 100% aufgeladen werden.

- Entladen

Vermeiden Sie tiefes Entladen. Regelmäßiges Entladen von mehr als 50% der Nennkapazität ist nicht empfehlenswert, da dies die Lebensdauer der Batterie verkürzen kann.

Laden Sie die Batterie unmittelbar nach einem Entladen wieder auf. Die Batterie darf niemals unter die Entladeschlussspannung entladen werden. Die Entladeschlussspannung steht in Beziehung zum Entladestrom. Siehe Tabelle „Final discharge voltage“.



Auszug aus Betriebsanleitung einer AGM Batterie (2)

■ **Wartung**

Prüfen Sie die Batterien und Anschlüsse regelmäßig, mindestens alle drei Monate. Defekte, wie lose oder korrodierte Anschlüsse müssen unverzüglich behoben werden.

Lagern Sie die Batterie in aufgeladenem Zustand.

Erhöhte Umgebungstemperaturen erhöhen die Selbstentladerate der Batterien. Siehe "Battery storage".

Batterien sollten aufgeladen werden, wenn die elektromotorische Kraft (Klemmenspannung) unter 12,3 Volt abfällt (Erhaltungsladung).

Lagern Sie die Batterie an einem trockenen und sauberen Ort. Verwenden Sie nur feuchte weiche Tücher für die Reinigung der Batterie. Verwenden Sie niemals Additive, Säuren oder Scheuermittel.

Öffnen Sie die Batterie nicht. Füllen Sie niemals Säure oder destilliertes Wasser ein.



Was zum sicheren “Tod” einer Batterie führt

- Tiefentladung
Bei Tiefentladung geht aktive Masse verloren, es setzt Sulfatierung ein, die Batterie nimmt keine Ladung mehr an !
- Laden mit zu hohem Strom
In der Absicht, Ladezeiten zu verkürzen, werden starke Lichtmaschinen eingebaut oder “leistungsstarke” Ladegeräte benutzt. Ohne kontrollierte, kennliniengesteuerte Ladung wird bei hohem Strom die Temperatur der Batterie ansteigen, es kommt zu Ablösung von Plattenmaterial bzw. auch Korrosion. Ladestrom Naßbatterien: max. 0,2 fache der Kapazität, Gel 0,1 fach, AGM kann mehr → Datenblatt der Batterie beachten ! → Kaufe keine Batterie ohne Datenblatt !
- Unterladung
Führt zu Sulfatierung, Fertigungstoleranzen führen erst zur Sulfatierung einzelner Zellen, die sich dann auf alle anderen überträgt. Gleicher Effekt bei zu früher Abschaltung der Ladung !
- Überladung
Gel- und AGM – Batterien werden zerstört (kein Wasser nachfüllbar), generell Explosionsgefahr wegen Knallgasbildung
- Lagerung ohne regelmäßige vollständige Aufladung
→ also keine Batterien kaufen, die ewige Ladehüter waren !



Bei bekanntem Kapazitätsbedarf (Energiebilanz) sollte das doppelte an Batteriekapazität installiert werden

- **Rechenbeispiel:**

Aus der Beispielrechnung zur Energiebilanz geht hervor, dass ein Tagesbedarf von 135 Ah besteht.

Will man also 24h ohne Landstrom durch reine Batteriekapazität überbrücken, sollte bei einer maximalen Entladung von 50% eine Verbraucheratterie von $2 * 135 \text{ Ah} = 270 \text{ Ah}$ installiert werden.

Ein handelsüblicher Kapazitätswert ist 150 Ah, hiervon müssten 2 Batterien in Parallelschaltung installiert werden (Gewicht ca. $2 * 50 \text{ kg}$)

Reicht nur für 24h, dann Motor an !

- **Vergrößerung der verfügbaren Kapazität durch alternative Energiequellen ?**



Solarmodule: Niedrige Leistung, unsichere Verfügbarkeit !

Für den Aufbau einer Solaranlage wird wenigstens ein Panel und ein Laderegler benötigt.

Die Ladeleistung von Solarpanelen sollte nicht überschätzt werden:

Die angegebene Tagesleistung (gemessen in Wh/d, also Wattstunden pro Tag) wird rein rechnerisch ermittelt, indem die Spitzenleistung des Moduls mit 4 (für 4 Stunden optimalen Sonnenschein am Tag) multipliziert wird.

Bei der Ermittlung der Spitzenleistung wird davon ausgegangen daß das Panel optimal zur Sonne ausgerichtet ist, kein Schatten darauf fällt und keine Wolke vorbeizieht.

Diese Bedingungen sind in der Realität schwer zu erfüllen, speziell wenn das Boot sich bewegt. Besonderes Augenmerk ist darauf zu legen daß kein Schatten - auch nicht nur teilweise - auf das Panel fällt, da dann die Leistung um etwa 90% sinkt. Man sollte also gegebenenfalls zwei Panele verwenden, eines Backbord, eines Steuerbord.

Leistung: ca. 40 bis 280 Wh/Tag (→ bei 12 V
3,4Ah bis 23 Ah pro Tag)





Windgeneratoren: Hohe Leistung möglich, unsichere Verfügbarkeit !

Technische Daten (Beispiel):

- **Einschaltwindgeschwindigkeit: 7 Knoten**
- **28 Ampère / 350 W bei 25 Knoten**
- **Rotordurchmesser 1,22m**
- **Gewicht 11,8kg**
- **Rotorblattverstellung**
- **Ausschaltwindgeschwindigkeit: keine**
- **eingebaute Körperschallentkopplung**
- **Innovatives Design**
- **Kompakte Abmessungen**
- **Seewasserbeständige Materialien**
- **Ausgelegt für höchste Belastungen**
- **Hochwertige Neodymium Magnete**
- **Höchstes Sicherheitsniveau**
- **Einfach und schnell zu installieren**
- **Kompromisslose Qualität**
- **Wartungsfrei**
- **3 Jahre Garantie**





Brennstoffzelle: Gute Leistung, 100 %ige Verfügbarkeit !

- **100% Verfügbarkeit**
Die Brennstoffzelle ist wartungsfrei und absolut zuverlässig. Selbst unter extremen klimatischen Bedingungen sichert die Brennstoffzelle eine hundertprozentige Verfügbarkeit der Anlage.
- **Sicher**
Die Brennstoffzelle wird mit Tankpatronen betrieben. Der große Energieinhalt und das geringe Gewicht der sicherheitsgeprüften Tankpatronen machen die Versorgung an Bord besonders einfach und sicher.
- **Leicht (ca. 7 Kg)**
- **Leise**
Die Brennstoffzelle ist praktisch lautlos. Motorgeräusche oder Abgase sind Vergangenheit.
- **Sparsam im Verbrauch**
Die Brennstoffzelle erkennt den Stromverbrauch automatisch und lädt die Batterien entsprechend des Verbrauchs wieder auf. Wird über eine Solaranlage Strom eingespeist erkennt dies die Brennstoffzelle und schaltet automatisch auf Standby. Das spart aufwändige Wartungs- und Servicemissionen.
- **Voll wintertauglich**
Die Brennstoffzelle eignet sich für eine Vielzahl von Anwendungen und kann in einem großen Temperaturbereich von -20°C bis $+40^{\circ}\text{C}$ eingesetzt werden.
- **Einfach nachrüstbar**
Durch die handliche Größe und das geringe Gewicht bieten sich zahlreiche Möglichkeiten, die Brennstoffzelle im Innenraum einzubauen. Kühlwasseranschlüsse oder Abgasleitungen wie bei Generatoren üblich werden nicht benötigt.

Kapazität pro Tag:
50Ah
75Ah
100Ah
130Ah





Unterstützung durch alternative Energielieferanten

Rechenbeispiel mit Brennstoffzelle:

Aus der Beispielrechnung zur Energiebilanz geht hervor, dass ein Tagesbedarf von 135 Ah besteht.

- Bei Einsatz einer Brennstoffzelle von 75 Ah/Tag verbleiben noch 60 Ah/Tag Abdeckungsbedarf durch die Batterien.
- Man kann also entweder:
 - eine Batterie von 120Ah einsetzen für 24h Abdeckung oder
 - die bereits installierten 300 Ah reichen dann für 60 Stunden oder 2,5 Tage bei max. 50% Entladung
 - Methanolverbrauch: $1,1\text{l} / \text{kWh} = 1,1\text{l}$ für 83 Ah bei 12 V Patronengrößen z.B. 5l oder 10l
 - Kosten: ca. €30 - €45 je Ah Brennstoffzellenkapazität



Batterien: Sicherheits- und Umweltaspekte



Halten Sie Kinder von Säure und Batterien fern!



Vorsicht:
Bei der Ladung von Batterien entsteht ein (hochexplosives) Knallgasgemisch, deshalb kann bei unsachgemäßem Umgang Explosionsgefahr entstehen.



Feuer, Funken, offenes Licht und Rauchen ist verboten. Vermeiden Sie Funkenbildung beim Umgang mit Kabeln und elektrischen Geräten sowie durch elektrostatische Entladung. Vermeiden Sie Kurzschlüsse!



Vorsicht Verätzungsgefahr:
Batteriesäure ist stark ätzend, tragen Sie deshalb Schutzhandschuhe und Augenschutz. Batterien dürfen nicht gekippt werden, da aus den Entgasungsöffnungen Säure austreten kann.



Tragen Sie einen Augenschutz! .



Erste Hilfe:

Spülen Sie Säurespritzer im Auge sofort einige Minuten mit klarem Wasser. Suchen Sie danach unverzüglich einen Arzt auf. Säurespritzer auf Haut oder Kleidung müssen sofort mit Säureumwandler oder Seifenlauge neutralisiert und mit viel Wasser nachgespült werden.



Warnvermerk:

Setzen Sie Batterien nicht ungeschützt dem direkten Tageslicht aus. Entladene Batterien können einfrieren, deswegen: Frostfrei lagern!



Entsorgung:

Bitte geben Sie Altbatterien bei einer Sammelstelle ab! Beim Transport sind die unter Punkt 1 aufgeführten Hinweise zu beachten.



Altbatterien bitte nie über den Hausmüll entsorgen.



Geeignete Kabel für Boote und Yachten (Beispiele)

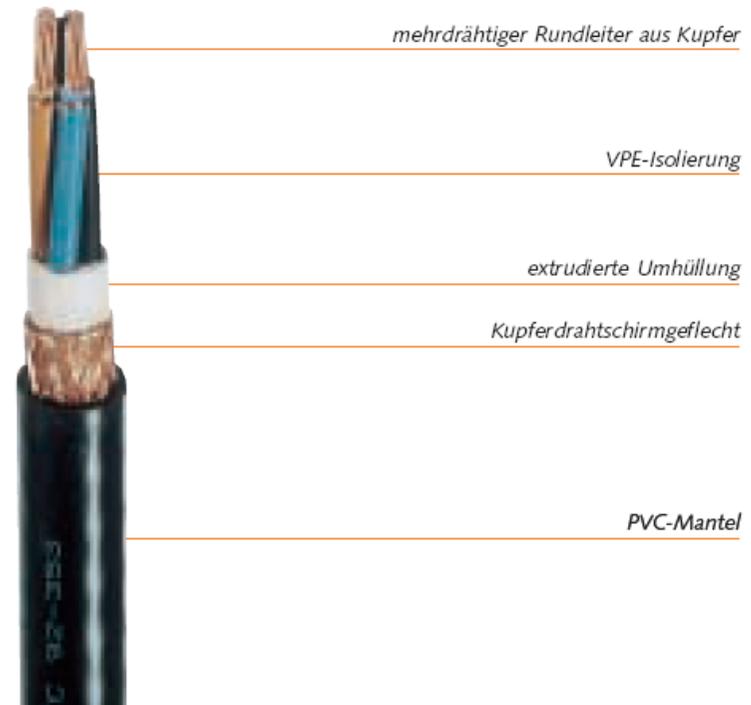
H07V-K (PVC-Kabel, feste Verlegung):
Verlegung bevorzugt in einlamierten
Kabelkanaelen oder nachtraeglich in
eingezogenen Kunststoffroehren.

H07RN-F (Kautschuk-Kabel, flexibel):
z.B. fuer Landanschluss

Fahrzeugkabel (nicht offshore)

Fuer seegaengige Yachten werden
spezielle Marinekabel eingesetzt
(bestaendig gegen Oel, Saeuren,
Laugen, Seewasser)

Generell: Um die noetige Flexibilitaet
zu gewaehrleisten, sollten nur Kabel
mit mehrdraehtigen Kuperleitern
verwendet werden !

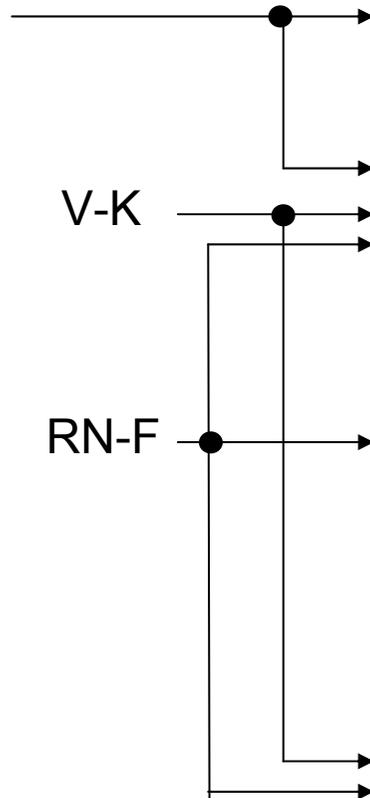


Beispiel 1 kV Marinekabel



Typenkurzzeichen fuer harmonisierte Leitungen

H07...



Kriterium	Kennzeichen	Position im Kurztypenzeichen								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kennzeichnung der Bestimmung <ul style="list-style-type: none"> harmonisierte Bestimmung anerkannter nationaler Typ 	H A	•								
Nennspannung U <ul style="list-style-type: none"> 300/300 V 300/500 V 450/750 V 	03 05 07		•							
Isolierwerkstoff <ul style="list-style-type: none"> PVC Natur- und/oder synthetischer Kautschuk Silikonkautschuk vernetztes Polymer, im Brandfall raucharm und nicht korrosiv 	V R S Z			•						
Mantelwerkstoff <ul style="list-style-type: none"> PVC Natur- und/oder synthetischer Kautschuk Chloroprenkautschuk Glasfasergeflecht Textilgeflecht vernetztes Polymer, im Brandfall raucharm und nicht korrosiv 	V R N J T Z				•					
Besonderheiten im Aufbau <ul style="list-style-type: none"> flache, aufteilbare Leitung flache, nicht aufteilbare Leitung 	H H2					•				
Leiterart <ul style="list-style-type: none"> eindrchtig mehrdrchtig feindrchtig bei Leitung fr feste Verlegung feindrchtig bei flexiblen Leitungen feinstdrchtig Lahnlitze 	U R K F H Y						•			
Aderzahl									•	
Schutzleiter <ul style="list-style-type: none"> ohne Schutzleiter mit Schutzleiter 	X G									•
Leiterquerschnitt in mm²										•



Typenkurzzeichen fuer harmonisierte Leitungen

Nomenklatur von Fahrzeugleitungen nach DIN 76 722 und ISO 6722

Schema

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
FL	R	Y			0,5	- A
FL	R	31Y		11Y	2 x 0,75	/ 0,11
FL	R	Y	B	11Y	2 x 0,35 + 0,35	- A
FL	RZ	Y			2 x 0,41	

1. Kennzeichen der Bestimmung

FL Fahrzeugleitung

2. Leitungsart

R Reduzierte Wanddicke
 U Ultra-reduzierte Wanddicke
 M Anderer Leiter-Werkstoff
 Z Flache, trennbare Leitung
 F Flache, nicht aufteilbare Leitung

3., 5. Isolier- + Mantelwerkstoff

Y PVC 85 ... 105°C / 3000h
 YW PVC, wärmebeständig 105°C / 3000h
 YK PVC, kalteflexibel 85°C / 3000h
 4Y Polyamid 100°C / 3000h
 51Y PFA 250°C / 3000h
 6Y FEP 200° / 3000h
 7Y ETFE 150°C / 3000h
 9Y Polypropylen 125°C / 3000h
 11Y Polyurethan 125°C / 3000h
 31Y TPE 125 ... 150°C / 3000h
 2G Vernetztes Silicon 200°C / 3000h

4. Nicht extrudierte Umhüllungen

B Folie, Folienschirm
 C Kupferdraht-Geflecht
 D Kupferdraht-Umspinnung

6. Aderzahl / Nennquerschnitt mm²

7. Leiteraufbau

-A Symmetrischer Leiteraufbau (z.B. 7 x 0,25mm)
 -- B Unsymmetrischer Leiteraufbau (z.B. 12 x 0,20mm)
 -/ 0,xx Abweichender Leiteraufbau : Angabe des maximalen Draht-Ø

SN Verzinnte Leiteroberfläche



Verbindungstechniken

Schraubverbindungen (korrosionsfrei !) oder Quetschverbindung (CRIMP).
Die Crimptechnik hat den Vorteil, dass es praktisch keine Querschnittsbegrenzung gibt und eine sehr zuverlässige Verbindung von mehrdraetigen Leitern z.B. mit Kabelschuhen, Steckverbindern und Aderendhuelsen moeglich ist.



Wasserdichte Stossverbinder:
Nichtlösbare Verbindung zweier Kabel.
Diese Stoßverbinder sind mit einem Schrumpfschlauch ummantelt, der auf der Innenseite mit Schmelzkleber versehen ist.



Kabelschuhe:
Zum Anschrauben oder Aufpressen
(z.B. für den Anschluss der Hauptleitung von der Batterie bis zum Verteiler)



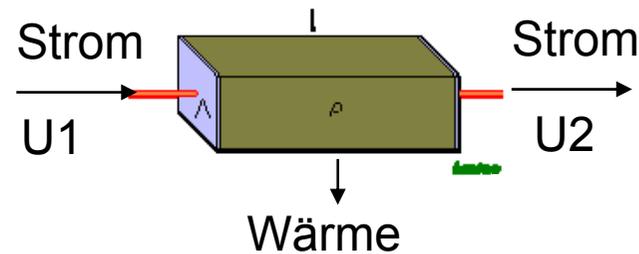
Aderendhülsen:
verhindern das Aufdrehen des Kabels und herumhängende Einzeldrähte
(Kurzschlussvermeidung !)





Spannungsverlust durch Leitungswiderstand

$$\text{Spannungsverlust } \Delta U = U_1 - U_2$$



Bordspannung (V)	Zulässiger Spannungsverlust ΔU in % bzw. Volt		Verbraucher
12	2%	0,24	Ladeleitungen
12	4%	0,48	Navigationslaternen
12	7%	0,84	Sonstige Verbraucher



Kabelauslegung

8 m

Spannung:
 $U_1 = 12 \text{ V}$

$U_2 = 11,24 \text{ V}$ Verbraucher:
120 Watt

Schritt 1: Stromstärke berechnen aus Leistungsbedarf P in Watt und Bordspannung U in Volt

$$I = P / U = 120 \text{ V A} / 12 \text{ V} = 10 \text{ A}$$

Schritt 2: Leitungsquerschnitt A in Quadratmillimetern berechnen, basierend auf zulässigem Spannungsverlust

$$\Delta U = 2 * I * R = 2 * I * \rho * L / A \rightarrow A = 2 * I * \rho * L / \Delta U$$
$$= 2 * 10 * 0,018910168 * 8 / 0,84 = 3,6 \text{ mm}^2$$

$\rho (45^\circ\text{C})$

Schritt 3: Den nächst grösseren Normquerschnitt auswählen $\rightarrow 4 \text{ mm}^2$

Schritt 4: Zulässige Strombelastung gemäß Tabelle überprüfen, Absicherung festlegen (im Beispiel max. 20A für Kabel, Empfehlung: 16 A, da ausreichend).

Schritt 5: Tatsächlichen Spannungsabfall berechnen = 0,76V



Nennquerschnitte und Absicherung

nach DIN EN 60092-507 (VDE 0129 Teil 507)									
Nennquerschnitt mm ²	Widerstand (mΩ / m) bei 20°C	T = 45°C (mΩ / m)	T = 60°C (mΩ / m)	Einleiterkabel		Zweileiterkabel		Dreileiterkabel	
				max. zulässige Belastung (A)	Absicherung (Nennstrom- stärke in A)	max. zulässige Belastung (A)	Absicherung (Nennstrom- stärke in A)	max. zulässige Belastung (A)	Absicherung (Nennstrom- stärke in A)
1,5	11,91	12,61	13,77	12	10	10	10	8	6
2,5	7,14	7,56	8,26	17	16	14	10	12	10
4	4,47	4,73	5,17	22	20	19	16	15	16
6	2,98	3,15	3,44	29	25	25	25	20	20
10	1,79	1,89	2,07	40	36	34	36	28	25
16	1,12	1,18	1,29	54	50	46	36	38	36
25	0,71	0,76	0,83	71	63	60	63	50	50
35	0,51	0,54	0,59	87	80	71	63	61	63
50	0,36	0,38	0,41	106	100	88	80	73	63
70	0,26	0,27	0,30	135	125	110	100	94	80

Angaben nur zur Orientierung / ohne Gewähr

**Im konkreten Fall grundsätzlich relevante Norm anwenden:
 DIN EN 60092-507 (VDE 0129 Teil 507)
 Elektrische Anlagen auf Schiffen; Teil 507: Yachten (IEC 60092-507:2000);
 Deutsche Fassung EN 60092-507:2000**



Unterstützende Literatur

- Joachim F. Muhs, Yachtelektrik, Verlag Delius Klasing
- Bosch Kraftfahrzeughandbuch
- Wikipedia
- Web Seite von VARTA: **www.varta-automotive.de**
- DIN und EN Normen

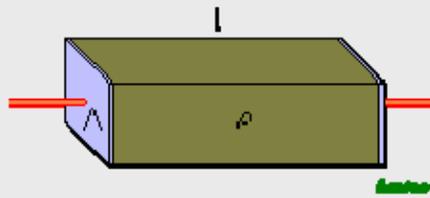


Wichtige Formeln

$$R = \frac{U}{I} = \text{const.}; \quad U \sim I; \quad I = \frac{U}{R} \quad U = R \cdot I$$

$$P = U \cdot I = U^2 : R = I^2 \cdot R$$

U = Spannung (Volt = V)
 R = Widerstand (Ohm = Ω)
 I = Strom (Ampere = A)
 P = Leistung (Watt) = W = V A



$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad R_{20} = \rho_{20} \cdot \frac{l}{A}$$

$$R(T) = R(T_0)(1 + \alpha_{T_0} \cdot (T - T_0))$$

$$T_0 = 20^\circ\text{C}.$$

α = Temperaturkoeffizient Cu ($1/^\circ\text{C}$)

Beispiele für spezifischen Widerstand und Temperaturkoeffizient bei 20 °C

Material	ρ_{20} in ($\Omega \cdot \text{mm}^2$)/m	α_{20} in 1/K
Silber	$1,587 \cdot 10^{-2}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Kupfer	$1,786 \cdot 10^{-2}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Silizium	$2,3 \cdot 10^9$	$-7,5 \cdot 10^{-2}$

$$W = U \cdot I \cdot t$$

$$\text{V} \quad \overbrace{\text{Ah}}$$



W = elektrische Energie (Wh)

Kapazitätsangabe bei Bleiakkus bezogen auf die Nennspannung (12 V)

Spezifischer Widerstand Kupfer (Cu 99,9%) ($\Omega \cdot \text{mm}^2$)/m bei 20°C = $\rho(T_0)$	0,01786
T = 45°C	0,0189102
T = 60°C	0,0206604



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit. Fragen ?

