

Der Bleiakku, seine Lade- Entladetechnik und Ladeau- tomaten zum optimalen Laden

In der Zeitschrift GARTENBAHNEN veröffentliche ich seit langer Zeit regelmäßig Berichte zur elektrisch betriebenen Gartenbahn für die Personenbeförderung. Bei der personenbefördernden Gartenbahn und beim Mini El werden stromfeste Akkus und gute Ladeautomaten zum optimalen Einzelladen benötigt. Außerdem ist vielen Mini El Fahrern der Bleiakku und seine Lade-, Entladetechnik wenig bekannt. Das gab den Ausschlag meinen für die Gartenbahner geschriebenen Bericht auch im ELWEB den Mini El Fahrern zugänglich zu machen. Der nachstehende Bericht erscheint in den Ausgaben 2005/1 bis 2005/4 beim GarBa-Verlag.

Den Bericht habe ich nicht für das Mini El oder andere akkubetriebene Straßenfahrzeuge abgeändert, deshalb können einige Passagen nur für die elektrisch betriebene Gartenbahn zutreffen.

Dieter Werner, März 2005

In das elweb eingefügt März 2005, Ralf Wagner

Inhalt

<i>Der Bleiakku, seine Lade- Entladetechnik und Ladeautomaten zum optimalen Laden Teil 1</i>	3
Der Bleiakku	3
Wartungsfreie Akkus	3
Rekombination beim Vliesakku	4
Wartungsarmer Akku	4
Formatieren eines neuen Akkus	4
Kapazität	4
Zyklen	5
Innenwiderstand	5
Kälteprüfstrom	6
Akkupflege	6
Säurestand beim Nassakku	6
Ist der Akku aufgeladen oder entladen?	6
Zellenschluss (Kurzschluss in einer Akkuzelle)	7
Säuredichte, Säure-Volumen-Gewicht (SVG) beim Nassakku	7
Sulfatieren	7
Selbstentladung	7
Aktivator	8
Entladen vor dem Laden	8
Entladeschlussspannung	8
Akkuwächter	9
Winterbetrieb, Überwinterung	9
Gasung	10
Explosionsgefahr	10
Preis- Leistungsverhältnis	11
Der ideale Akku für die elektrische Gartenbahn	11
Der Akku der Zukunft	12
Der Akku ist auch nur ein Mensch	12
Die Ladetechnik	13
Ladekennlinie	14
Parallelladen	15
Hauptladen	15
Nachladen oder Ausgleichladen	15
Erhaltungsladen	15
Ladegeräte mit Linearregelung	16
Sekundär getaktete Ladegeräte	16
Primär getaktete Ladegeräte	16
Restwelligkeit	16
Rückstrom	16
Ladestrom	16
Schnellladestrom	16
Ladeschlussspannung	17
Erhaltungsladespannung	17
Gepulstes Erhaltungsladen	17
Temperatur	17
Ladekabel	17
<i>Der Bleiakku, seine Lade- Entladetechnik und Ladeautomaten zum optimalen Laden</i>	19
Ladeautomaten	19
CTEK™ Ladeautomaten	19
IVT Ladeautomaten	20
WAECO Ladeautomaten	25
Schlussbemerkungen	30
Nachtrag	32

Der Bleiakku, seine Lade- Entladetechnik und Ladeautomaten zum optimalen Laden Teil 1

von Dieter Werner, Hörstel-Riesenbeck

In meinen Berichten rund um die elektrisch betriebene Gartenbahn hatte ich Netzteile zum Laden vorgestellt und kurz das Laden angesprochen. Da ich viele Anfragen zu den verschiedenen Akkutypen, zum Laden, Entladen und zu optimalen Ladegeräten erhielt, greife ich das Thema noch einmal auf. U.a. stelle ich leistungsstarke Ladeautomaten für Bleiakkus vor, vorher aber noch erklärende Details zum Akku und zur Lade- und Entladetechnik. Der Bericht ist nicht alphabetisch, sondern so weit wie möglich nach Gebieten gegliedert.

Es ist für einen Laien sicher sehr schwer elektrische Formeln und Berechnungen nachzuvollziehen. Deshalb verzichte ich so weit wie möglich darauf. Wenn zum besseren Verständnis elektrische Berechnungen unvermeidbar sind beschreibe ich die Formeln bei der Berechnung ausführlich. Dabei kommen die nachstehenden Abkürzungen zur Anwendung.

A	Ampere, Stromstärke, z.B. 10 A
I	Kennzeichen für den Strom (A) in elektrischen Formeln
V	Volt, Spannungsstärke, z.B. 12 V
U	Kennzeichen für die Spannung (V) in elektrischen Formeln
Ohm	Widerstandswert, z.B. 1.000 Ohm = 1 KOhm = 1 Kiloohm
mOhm	Milliohm, Widerstandswert in 1/1000 Ohm, z.B. 4 mOhm = 4 Milliohm = 4/1000 Ohm = 0,004 Ohm
R	Kennzeichen für den Widerstand in elektrischen Formeln
Ah	Amperestunden, Kapazität des Akkus, z.B. 50 Ah
<	Kleiner, z.B. < 12 V, die Spannung ist kleiner 12 V
<=	Kleiner gleich, z.B. <= 12 V, die Spannung ist kleiner oder gleich 12 V
>	Größer, z.B. > 12 V, die Spannung ist größer 12 V
>=	Größer gleich, z.B. >= 12 V, die Spannung ist größer oder gleich 12 V

Der Bleiakku

Bleiakkus werden für die verschiedensten Einsätze gefertigt. Es gibt den Starter-, den Antriebs-, den Solar- und den Beleuchtungsakku, um nur einige zu nennen. Aufbaumäßig unterscheiden sie sich u.a. in den Nassakku mit flüssigem Elektrolyt, den Gel- und Vliesakku mit festgelegtem Elektrolyt. Ein weiterer Unterschied ist der Plattenaufbau, hier wird u.a. zwischen der Großoberflächenplatte, der Gitterplatte, der Panzerplatte und der spiralförmig gewickelten Bleiplatte unterschieden. So kann z.B. der Nassakku mit Gitterplatten kurzzeitig einen höheren Strom abgeben als der gleiche Akku mit Panzerplatten, denn der ist für eine längere Entladung ausgelegt und dabei noch etwas rüttelfester.

Jeder Akkutyp hat seine speziellen Lade- und Entladekriterien, die unbedingt eingehalten werden müssen. Der Vliesakku verträgt einen sehr hohen Ladestrom, Gelakkus sollten nur zu 80% entladen werden. Gel- und Vliesakkus sind extrem rüttelfest, ein Nassakku verträgt keine Erschütterungen. Eines aber haben alle Bleiakkus gemeinsam, die Nennspannung von 2 V je Zelle. Um höhere Spannungen zu erhalten, werden mehrere Zellen in einem Gehäuse untergebracht und elektrisch in Reihenschaltung verbunden. So hat z.B. ein 12 V Akku 6 Zellen je 2 V, für den 36 V Betrieb sind 18 Zellen = 3 Akkus je 12 V erforderlich.

Wartungsfreie Akkus

Gel- und Vliesakkus sind rüttelfest und absolut wartungsfrei, sie haben statt der üblichen Verschlussstopfen Überdruckventile. Kommt es beim Überladen zum Gasen, dann lassen die Ventile den Überdruck ab. Dabei entweicht auch immer eine geringe Menge Feuchtigkeit, die zum Kapazitätsverlust bzw. Totalausfall führt. Um das schädliche Gasen beim Laden zu vermeiden dürfen wartungsfreie Akkus nie über die vom Hersteller angegebene Ladeschlussspannung geladen werden. Der Vliesakku verträgt den höchsten Lade- und Entladestrom von allen Bleiakkus. Wartungsfreie Nassakkus werden immer häufiger als Starterakku eingesetzt, auch sie haben keine zugänglichen Verschlussstopfen, aber oft ein kleines Fenster in dem man den Ladezustand erkennen kann. Achtung: Einige Hersteller verbieten beim Vliesakku das „auf dem Kopf stehende“ Laden. Ein Nassakku muss immer senkrecht stehen.

Rekombination beim Vliesakku

Vliesakkus halten den Elektrolyten im Vlies gespeichert. Da die Vliese sehr dünn sind, können sie nur wenig Elektrolyt aufnehmen. Kommt es beim Laden zum leichten Gasen, dann kann das Gas nicht entweichen weil die Verschlussstopfen die Funktion eines Überdruckventils haben. Die Gase werden rekombiniert, das heisst die Vliese nehmen die Feuchtigkeit wieder auf. Achtung: Niemals einen Vliesakku überladen, der dabei entstehende hohe Gasdruck öffnet die Überdruckventile. Das Gas und damit auch Feuchtigkeit entweichen und der Akku trocknet aus. Das gilt auch für den Gelakku.

Wartungsarmer Akku

Er wird gerne in den Prospekten als quasi wartungsfrei dargestellt. Er ist aber ein ganz normaler Nassakku mit flüssigem Elektrolyt, in der Regel ein Starterakku. Bei diesem Akku muss natürlich beim Wasserverlust destilliertes Wasser nachgefüllt werden.

Formatieren eines neuen Akkus

Egal um welchen Akkutyp es sich handelt, ein neuer Akku sollte mindestens während der ersten 5 Ladezyklen geschont werden, damit er sich formatieren kann. Extremer Lade-, Entladestrom und Tiefentladungen sind deshalb zu vermeiden. Wird der Akku auch im späterem Einsatz nicht durch Überladen zu starkes Entladen und Tiefentladen überfordert, dann dankt er es mit einer langen Lebensdauer.

Kapazität

Die Kapazität des Akkus wird in Amperestunden oder Ah angegeben. Das ist die Energie die der 100% aufgeladene Akku gemessen in Stunden unter Einhaltung der vom Hersteller festgelegten Kriterien, wie Entladestrom, Entladeschlussspannung und Umgebungstemperatur, abgibt. Je nach Akkutyp sind die Entladekriterien unterschiedlich. Bei der Kapazitätsangabe gehen die Hersteller meistens von einer Temperatur von 25°C aus. Bei niedriger Umgebungstemperatur nimmt die Kapazität des Akkus ab. Das wirkt sich besonders stark bei Temperaturen unter 0°C aus. Bei -15°C hat der Akku nur noch eine Kapazität von ca. 65%.

Achtung: Wird der Akku immer bis zu der vom Hersteller angegeben max. Entladeschlussspannung entladen, dann verliert er auch an Kapazität und damit an Zyklen. Einige Hersteller geben die Normalentladung mit ca. 70% und die Reserveentladung mit ca. 30% an. Entlädt man den Akku nur zu 70% (11,30 V beim Nassakku und 11,8 V beim Gelakku), dann erreicht man erst die von den Herstellern angegebenen Zyklen. Um die Anzahl der Zyklen in den Prospekten zu erhöhen und zu verschönern verschweigt man das leider. Weitere Details siehe „Entladeschlussspannung“.

Zurück zur Kapazität und der Umgebungstemperatur von 25°C.

Solarakku

Beim Solarakku ist die Nennkapazität für eine 100stündige Entladung festgelegt. Er kann 100 Stunden lang 1/100 seiner Nennkapazität als Entladestrom liefern. Beim 60 Ah Solarakku ist der Entladestrom $60 \text{ Ah} : 100 \text{ Stunden} = 0,6 \text{ A}$.

Starterakku

Beim Starterakku ist die Nennkapazität für eine 10stündige Entladung festgelegt. Er kann 10 Stunden lang 1/10 seiner Nennkapazität als Entladestrom liefern. Beim 60 Ah Starterakku ist der Entladestrom $60 \text{ Ah} : 10 \text{ Stunden} = 6 \text{ A}$.

Antriebsakku

Beim Antriebsakku ist die Nennkapazität für eine 5stündige Entladung festgelegt. Er kann 5 Stunden lang 1/5 seiner Nennkapazität als Entladestrom liefern. Beim 60 Ah Antriebsakku ist der Entladestrom $60 \text{ Ah} : 5 \text{ Stunden} = 12 \text{ A}$.

Vliesakku

Beim Vliesakku ist die Nennkapazität oft für eine 3stündige Entladung festgelegt. Er kann 3 Stunden lang 1/3 seiner Nennkapazität als Entladestrom liefern. Beim 60 Ah Vliesakku ist der Entladestrom $60 \text{ Ah} : 3 \text{ Stunden} = 20 \text{ A}$.

Aus den Beispielen lässt sich ersehen, dass für die Gartenbahn der Solarakku nicht brauchbar ist und der Vliesakku den höchsten Entladestrom liefert. Achtung: Bei Hochstromentladung nimmt die Kapazität jedes Akkus überaus stark ab. Als Beispiel ein hochstromfester Vliesakku, dessen Kapazität für eine 20stündige Entladezeit ausgelegt ist. Bei 10stündiger Entladung hat er ca. 95%, bei 5stündiger Entladung ca. 85%, bei 3stündiger Entladung ca. 70%, bei 1stündiger Entladung ca. 60% und bei 1/2stündiger Entladung nur noch ca. 50% seiner Kapazität.

Für einen Kapazitätsvergleich nehme ich 2 Vliesakkus vom selben Hersteller, einen 40 Ah und einen 120 Ah Akku und entlade beide mit 20 A. Für den 40 Ah Akku ist der Entladestrom von 20 A eine echte Hochstromentladung, deshalb kann er bei 25°C die 20 A bis zum Erreichen der Entladeschlussspannung nur 1/2 Stunde liefern. Dagegen belastet der Entladestrom von 20 A den 120 Ah Akku nur wenig. Er lässt sich über 5 Stunden mit 20 A entladen. Das Kapazitätsverhältnis zwischen den beiden Akkus ist $120 \text{ Ah} : 40 \text{ Ah} = 3:1$. Blicken wir jetzt auf die Entladezeit. 5 Stunden Entladung beim 120 Ah Akku zu einer 1/2 Stunde Entladung beim 40 Ah Akku ist aber 10:1. Der 120 Ah Akku ist im Vergleich mit dem 40 Ah Akku beim Entladen mit 20 A 10mal besser.

Tipp: Je höher die Kapazität eines Akkus ist um so weniger belastet ihn der Entladestrom. Wenn es der Platz zulässt immer einen Akku mit der max. möglichen Kapazität einsetzen. Der Akku wird beim Entladen geschont und dankt es mit einer langen Lebensdauer. Das gilt auch für den 24 V statt 12 V Betrieb. Wenn der Antriebsmotor z.B. max. 800 W aufnimmt, dann ist der max. Entladestrom beim 12 V Betrieb $800 \text{ W} : 12 \text{ V} = 66,7 \text{ A}$ und beim 24 V Betrieb $800 \text{ W} : 24 \text{ V} = 33,3 \text{ A}$. Der Akku wird im 24 V Betrieb nur mit dem halben Entladestrom belastet. Außerdem können dann die Stromleitungen einen wesentlich kleineren Querschnitt haben.

Leider lässt sich die Kapazität eines Akkus nicht mit einem Spannungsmessgerät feststellen. Dazu benötigt man ein spezielles Kapazitätsmessgerät, das beim vollgeladenen Akku den Entladestrom in Verbindung mit der Entladezeit misst und bis zum Erreichen der Entladeschlussspannung addiert und anzeigt.

Zyklen

Akkus haben eine ungefähre Lebensdauer von 3 -5 Jahren, die sie unter optimalen Bedingungen beim Laden und Entladen erreichen. Die Hersteller geben nicht die Lebensdauer, sondern die Zyklen an. Ein Zyklus ist das vollständige Entladen und Laden unter Einhaltung der Herstellerangaben. Ein Starterakku wird etwa 100 komplette Zyklen erreichen. Im KFZ werden unter normalen Bedingungen immer nur Bruchteile der Kapazität entnommen und gleich wieder nachgeladen. Addiert man diese Minizyklen, dann wird man auf ca. 100 komplette Zyklen und auf eine Lebensdauer von 3 - 5 Jahre kommen.

Ein Antriebsakku mit flüssigem Elektrolyt wird ca. 400 Zyklen und ein Antriebsakku mit festgelegtem Elektrolyt (Gel oder Vlies) ca. 700 Zyklen unter optimalen Bedingungen erreichen. Jetzt könnte man meinen, dass der Antriebsakku mit festgelegtem Elektrolyt mit 700 Zyklen ewig hält. Bei allen Akkus spielt die Alterung eine sehr große Rolle beim Kapazitätsabbau. Wenn der Akku 3 - 5 Jahre bei guter Pflege gehalten hat, dann hat er seine Schuldigkeit getan. Es gibt natürlich auch Ausnahmen. Ich hatte einen Akku der noch im 10. Jahr 75% seiner Nennkapazität hatte, kenne aber auch Akkus die bereits nach 5 Zyklen einen Totalschaden hatten. Je tiefer ein Akku entladen wird, auch bei Einhaltung der vom Hersteller angegebenen max. Entladeschlussspannung, je mehr Zyklen verliert er. Z.B. ein Vliesakku, er macht bei 100%igen Entladungen ca. 200 Zyklen, bei 50%igen Entladungen ca. 400 Zyklen und bei 30%igen Entladungen ca. 1000 Zyklen

Innenwiderstand

Bei jedem Akku sinkt die Spannung beim Entladen. Wie stark die Spannung sinkt legt sein Innenwiderstand fest. Deshalb ist es sehr wichtig den Innenwiderstand zu kennen, denn mit ihm kann man den Spannungsabfall im Akku für jeden Entladestrom berechnen. Je niedriger der Innenwiderstand ist, je höher ist der max. Entladestrom, der Akku ist „hart“. Andersherum, je höher der Innenwiderstand ist um so mehr Spannung fällt am Akku beim Entladen ab, der Akku ist „weich“. Der Innenwiderstand lässt sich nur beim geladenem Akku und mit einem speziellen Messgerät ermitteln. Der Wert des Innenwiderstandes wird in Ohm angegeben. Kennt man den Innenwiderstand, dann kann man den Spannungsabfall (V) am Akku für jeden Entladestrom mit der Formel $U = I \cdot R$ berechnen. Das bedeutet Volt (U) = Ampere (I) * Ohm (R), oder Spannung = Strom * Widerstand.

Als Beispiel zur Berechnung des Spannungsabfalls nehme ich einen 40 Ah und einen 120 Ah Vliesakku vom selben Hersteller. Der 40 Ah Akku hat einen Innenwiderstand von 8 mOhm = 8 Milliohm = $8/1000 \text{ Ohm} = 0,008 \text{ Ohm}$. Wird der 40 Ah Akku mit 20 A entladen, dann sinkt seine Spannung um $0,008 \text{ Ohm} \cdot 20 \text{ A} = 0,16 \text{ V}$. Der 120 Ah Akku hat einen Innenwiderstand von 4 mOhm = 4 Milliohm = $4/1000 \text{ Ohm} = 0,004 \text{ Ohm}$. Wird der 120 Ah Akku mit 20 A entladen, dann sinkt seine Spannung um $0,004 \text{ Ohm} \cdot 20 \text{ A} = 0,08 \text{ V}$.

Achtung: Bei Reihenschaltung mehrerer Akkus ist der Innenwiderstand mit der Anzahl der in Reihe geschalteten Akkus zu multiplizieren, weil der Innenwiderstand immer nur für einen Akku angegeben wird. Bleiben wir bei dem Beispiel mit dem 40 Ah Akku. Für eine 36 V Reihenschaltung werden 3 Stück 12 V Akkus benötigt. Werden die 3 Akkus wie im obigen Beispiel mit 20 A entladen, dann fällt über alle 3 Akkus eine Spannung von $0,008 \text{ Ohm} \cdot 20 \text{ A} \cdot 3 \text{ Akkus} = 0,48 \text{ V}$ ab. Der Spannungsabfall an den Verbindungskabeln kommt noch dazu, deshalb immer große Querschnitte verwenden.

Obwohl die Kenntnis über den Innenwiderstand und der damit berechenbare Spannungsabfall am Akku bei verschiedenen Entladeströmen sehr wichtig ist, wird er nur sehr selten von den Akkuherstellern angegeben. Selbst beim ausdrücklichen Nachfragen bekommt man oft keine verbindliche Angabe. Vermutlich nicht ohne Grund, denn mit Kenntnis des Innenwiderstandes und Entladen mit einem definiertem Strom bei gleichzeitiger Spannungsmessung an den Akkupolen kann man sofort feststellen ob der Akku das hält was der Hersteller zugesichert hat.

Kälteprüfstrom

Der Kälteprüfstrom (A) wird beim nassen Starterakku angegeben. Er ist in der Regel ohne weitere Erklärung als Zahl mit der Endung A auf dem Akku aufgedruckt, z.B. 210 A beim 44 Ah Akku. Das ist der Strom, der den geladenen Akku bei einer Säuretemperatur von - 18°C nach 180 Sekunden bis auf die Zellenspannung von 1 V (6 V beim 12 V Akku) entlädt. Achtung: Einige Starterakkus sind kapazitätsmäßig auf kleinem Raum „hochgezüchtet“ und haben deshalb einen geringeren Kälteprüfstrom als andere Akkus mit gleicher Kapazität. Deshalb beim Kauf eines Starterakkus unbedingt auf einen hohen Kälteprüfstrom achten.

Akkupflege

Die Akkupole und Anschlussklemmen sind vor Oxidation mit säurefreiem Fett (z.B. Vaseline) zu schützen. Beim Nassakku regelmäßig den Säurestand prüfen und bei Bedarf destilliertes Wasser nachfüllen. Alle Zellen müssen den gleichen Säurestand haben. Den Nassakku unbedingt vor harten Schlägen und starken Erschütterungen schützen.

Säurestand beim Nassakku

Ein Nassakku hat einen flüssigen Elektrolyt, der als verdünnte Schwefelsäure vor dem Betrieb eingefüllt wird. Niemals einen Nassakku kaufen der schon gefüllt war, denn er kann alt und bereits mehrfach nachgeladen worden sein und dadurch an Kapazität verloren haben. Beim ersten Befüllen muss die Säuremenge in allen Zellen absolut gleich sein. Unterschiede in der Säuremenge führen zu unterschiedlichen Kapazitäten in den Akkuzellen. Die Säurestände sind regelmäßig zu überprüfen und mit destilliertem oder entionisiertem Wasser auszugleichen. Nie den Säurestand unter oder über die Markierungslinien kommen lassen. Ein neuer Akku hat fast keinen Wasserverlust. Ältere kapazitätsschwache Akkus können einen erheblichen Wasserverlust haben.

Ist der Akku aufgeladen oder entladen?

Das kann man leicht im Ruhezustand des Akkus mit einem Spannungsmessgerät feststellen. Ein aufgeladener 12 V Akku hat je nach Typ eine Spannung zwischen 12,4 V bis 13 V. Ein entladener Akku hat 12 V. Hat ein ruhender 12 V Akku eine Spannung von unter 12 V dann ist vermutlich eine Zelle defekt, oder er wurde extrem tiefentladen. Beides ist gleich tödlich für den Akku. Tipp: Mit einem Spannungsmessgerät kann man niemals die Kapazität eines Akkus ermitteln, dazu benötigt man ein spezielles Kapazitätsmessgerät.

Zellenschluss (Kurzschluss in einer Akkuzelle)

Beim Akku, besonders beim Nassakku, können durch falsches Laden, falsches Entladen, auch durch Erschütterungen, kleine Bleipartikel von den Bleiplatten abschwemmen oder abbrechen. Sie legen sich auf den Gehäuseboden und bilden einen Sumpf. Steigt der Sumpf und erreicht er die Unterkante der Bleiplatten, dann kommt es zum Zellenschluss. Die Zelle ist unwiderruflich defekt und damit auch der gesamte Akku. Einen Zellenschluss kann man im unbelastetem Zustand mit einem Spannungsmessgerät prüfen. Hat ein 12 V Akku eine Spannung unter 12 V dann ist vermutlich eine Zelle defekt, oder der Akku wurde extrem tiefentladen. Beides ist gleich tödlich für den Akku. Achtung: Bevor ein Akku geladen wird sollte man seine Spannung messen. Lädt man einen Akku mit Zellenschluss, dann werden die intakten Zellen so stark überladen dass extreme Explosionsgefahr besteht.

Säuredichte, Säure-Volumen-Gewicht (SVG) beim Nassakku

Mit einem Säureheber lassen sich beim Nassakku Rückschlüsse auf seinen Ladezustand und die Gleichheit der Zellen ableiten. Die Säureheber haben in der Regel eine Skalierung mit 0,01 kg/Liter. Bei 20°C ist das SVG beim geladenen Akkus 1,28 kg/Liter und beim entladenen Akku 1,1 kg/Liter. Das SVG nimmt bei höherer Temperatur ab und bei niedrigerer Temperatur zu. Das Messen des SVG sagt nichts über die Kapazität des Akkus aus, man kann nur den Ladezustand ersehen. Säureheber erhält man im KFZ-Zubehörhandel. Achtung: Vorsicht beim Umgang mit dem Säureheber, die Akkusäure ist stark ätzend.

Tipp: Das SVG muss in der aufgeladenen Akkuzelle oben, mittig und unten den gleichen Wert haben. Wenn die Möglichkeit besteht den Saugschlauch des Säurehebers tief in den Akku einzuführen, dann sollte man das SVG oben, mittig und unten messen. Falls es hier Unterschiede gibt, dann ist der Akku zur Umschichtung der Säure mit erhöhter Spannung zu laden, 2 Stunden lang mit 2,45 V je Zelle (14,7 V beim 12 V Akku). Dafür eignet sich ein stabilisiertes rückstromfestes Netzteil. Achtung: Die Verschlussstopfen sind zu lösen, es besteht erhöhte Explosionsgefahr.

Tipp: Das SVG muss beim aufgeladenem Akku in allen Zellen gleich sein. Max. sind +/- 0,01 kg/Liter zulässig. Gibt es zwischen den einzelnen Zellen größere Unterschiede, dann ist der Akku vermutlich defekt. Man kann versuchen ihn mit einem stabilisierten rückstromfesten Netzteil mit 2,3 V je Zelle (13,8 V beim 12 V Akku) 24 Stunden lang zum Ausgleich der Zellen zu laden, vielleicht hilft das.

Sulfatieren

Das Sulfatieren beginnt im Moment des Entladens, auch mit der Selbstentladung des ruhenden Akkus. Die Bleiplatten haben eine raue Oberfläche und das Bleisulfat kann sich zu glatten Kristallen auf den Bleiplatten ablegen. Dadurch verliert der Akku an Kapazität. Ein Sprengen des Bleisulfats und Wiederherstellen der rauhen Oberfläche ist möglich durch einen elektronischen Aktivator der den Akku im Intervall kurzzeitig mit extrem hohem Strom (100 A) entlädt, durch gezielte Überspannung beim Laden (leichte Gasung) und durch das Einleiten von Luft zur Säureumschichtung. Letzteres gibt es nur im professionellen Bereich bei speziell dafür entwickelten Akkus.

Selbstentladung

Jeder Akku entlädt sich im Ruhezustand, auch ohne angeschlossene Verbraucher. Ein Akku mit flüssigem Elektrolyt entlädt sich relativ schnell und ein Akku mit festgelegtem Elektrolyt eher langsam. Egal was die Akkuhersteller als Zeit zum Nachladen vorgeben, ich lade den ruhenden Akku spätestens nach 8 Wochen wieder auf. Wenn am ruhenden Akku ein Verbraucher angeschlossen ist, wie z.B. Akkuwächter oder Aktivator, dann ist er je nach der Stromentnahme häufiger nachzuladen. Die Selbstentladung lässt sich mit dauerndem Erhaltungsladen vermeiden. Achtung: Auch ruhende Akkus altern.

Die Fa. OPTIMA[®] BATTERIES gibt zu ihren gewickelten Vliesakkus (REDTOP[™] = Vlies-Starterakku und YELLOWTOP[™] = Vlies-Antriebsakku) zum Ladezustand folgende Spannungen an:

Ladung in %	Akkutyp REDTOP [™] Volt	Akkutyp YELLOWTOP [™] Volt
0	11,20	11,27
10	11,40	11,48
20	11,60	11,68
30	11,79	11,89
40	11,97	12,08
50	12,14	12,28
60	12,29	12,46
70	12,44	12,65
80	12,58	12,83
90	12,71	13,01
100	12,83	13,18

Achtung: Die Werte lassen sich nicht auf andere Akkutypen, wie z.B. auf einen Nassakku übertragen.

Aktivator

Der Aktivator soll, oder besser kann, die Lebensdauer des Akkus erhöhen. Er kann der Sulfatierung und damit dem Kapazitätsverlust vorbeugen. Es gibt ihn als chemischen und elektronischen Aktivator. Mit dem chemischen Aktivator hatte ich schlechte Erfahrungen gemacht, dagegen mit selbstgebaute elektronischen Aktivatoren sehr gute. Vom elektronischen Aktivator gibt es im Handel drei verschiedene Versionen.

1. Der Aktivator der nur ab einer bestimmten Spannung (im KFZ beim Fahren, oder beim Laden) aktiv ist. Ich halte ihn für wenig geeignet, weil das Sulfatieren nicht beim Laden sondern beim Entladen stattfindet.

2. Der Aktivator der im Intervall einen hochkapazitiven Elektrolytkondensator auf Überspannung auflädt und die Energie an den Akku zurückgibt, er ist wenig verbreitet. Der Nachteil ist, ein Elko hat einen zeitlichen Entladeverlauf. Dadurch kann er nicht seine gesamte Energie innerhalb von Mikrosekunden abgeben.

3. Der Aktivator der den Akku im Intervall mit sehr hohem Strom (100 A) für ca. 100 Mikrosekunden entlädt, ist m.E. der beste elektronische Aktivator. Trauen Sie niemals den Prospektangaben von z.B. einer Lebensdauererlängerung um das 5fache. Wird der elektronische Aktivator sofort bei der ersten Inbetriebnahme am Akku angeschlossen, dann kann er hilfreich sein. Er muss aber immer am Akku angeschlossen bleiben. Aktivatoren liefern u.a. die Fa. CONRAD, Hirschau und ELV, Leer. Tipp: Beim Kauf auf geringe gemittelte Stromaufnahme achten, sie sollte kleiner 10 mA sein.

Entladen vor dem Laden

Der Akku darf niemals vor dem Laden entladen werden. Das ist wieder ein ganzer Zyklus, der zur Alterung führt. Sofort, auch nach dem geringsten Teilentladen, muss der Akku wieder aufgeladen werden. Niemals einen teilentladenen Akku ohne Aufladen beim nächsten Einsatz verwenden, auch nicht wenn man meint der Akku sei noch so gut wie voll. Dadurch verliert der Akku an Kapazität.

Entladeschlussspannung

Beim Unterschreiten der Entladeschlussspannung wird der Akku tiefentladen. Selbst bei nur kurzzeitiger Tiefentladung verliert der Akku unwiderruflich an Kapazität, schlimmstenfalls ist er sofort defekt. Die max. Entladeschlussspannung ist in der Regel beim Nassakku 1,75 V je Zelle (10,5 V beim 12 V Akku). Aus Sicherheitsgründen sollte der Nassakku aber nie unter 1,87 V je Zelle (11,2 V beim 12 V Akku) entladen werden. Zwischen 11,2 V und 10,5 V liegen je nach Höhe des Entladestroms oft nur wenige Sekunden. Achtung: Gel- und Vliesakkus dürfen nur bis max. 80% ihrer Kapazität entladen werden. Einige Hersteller geben für den Gelakku 1,9 V je Zelle (11,4 V beim 12 V Akku) als max. Entladeschlussspannung an. Bei extremer Hochstromentladung kann nach Angabe einiger Hersteller jeder Akku noch tiefer entladen werden. Ich rate dringend davon ab. Der Akku verliert dadurch an Kapazität oder er wird sogar beschädigt.

Nachfolgend die Herstellerangaben zum Entladeverlauf seiner Antriebsakkus unterteilt in Nass und Gel.

Entladebereich	Entladung	Antriebsakku nass	Antriebsakku Gel	Zyklen beim Gelakku
Normal	0%	12,63 V (2,10 V)	12,80 V (2,13 V)	
Normal	20%	12,36 V (2,06 V)	12,60 V (2,10 V)	
Normal	40%	12,10 V (2,02 V)	12,40 V (2,07 V)	
Normal	60%	11,83 V (1,97 V)	12,20 V (2,03 V)	
Normal	80%	11,56 V (1,93 V)	12,00 V (2,00 V)	
Normal	100%	11,30 V (1,88 V)	11,80 V (1,97 V)	500-700
Reserve	-20%	11,03 V (1,84 V)	11,60 V (1,93 V)	
Reserve	-40%	10,77 V (1,97 V)	11,40 V (1,90 V)	
Max. Entladeschluss		10,50 V (1,75 V)	11,20 V (1,87 V)	

Leider macht der Hersteller keine Angaben zu den zu erwartenden Zyklen für alle Entladebereiche. Es steht aber fest, je tiefer der Akku bis zur Entladeschlussspannung entladen wird, je mehr Zyklen verliert er. So nennt z.B. ein anderer Hersteller für seine Vliesakkus bei Entladungen bis zur Entladeschlussspannung ca. 200 Zyklen, bei 50%igen Entladungen ca. 400 Zyklen und bei 30%igen Entladung ca. 1000 Zyklen. Tipp: Unbedingt einen Akkuwächter am Akku anschließen, der beim Erreichen der Entladeschlussspannung lauten Alarm gibt.

Akkuwächter

Der Akkuwächter ist kleines elektronisches Gerät, das beim Erreichen der Entladeschlussspannung lauten Alarm gibt und damit vor kapazitätsschädigenden Tiefentladungen warnt. Der laute Alarm erspart das kontinuierliche Beobachten eines Spannungsmessgerätes. Die Auslösespannung ist dem jeweiligem Akkutyp anzupassen. Über „den dicken Daumen gepeilt“ ist die niedrigste Auslösespannung beim Nassakku 1,75 V je Zelle (10,5 V beim 12 V Akku) und beim Gel- und Vliesakku 1,85 V je Zelle (11,1 V beim 12 V Akku). Um den Akku zu schonen und zur Erhöhung der erreichbaren Zyklen sollte der Alarm schon wesentlich früher ausgelöst werden. Beim Nassakku bei 1,87 V je Zelle (11,2 V beim 12 V Akku) und beim Gel- und Vliesakku bei 1,9 V je Zelle (11,4 V beim 12 V Akku). Beim Alarm sind sofort alle Verbraucher vom Akku zu trennen. Beim Reihenbetrieb, z.B. 24 V und 36 V, sollte jeder Akku einen eigenen Akkuwächter haben, damit der schwächste Akku den Alarm auslöst und erkennbar wird. Die Ruhestromaufnahme sollte < 10 mA (0,01 A) sein, damit kann der Akkuwächter bei Akkus über 25 Ah dauernd angeschlossen bleiben. Der Akkuwächter muss direkt an den Akkupolen angeschlossen sein, sonst führen Spannungsverluste an Kabeln und Sicherungen zum frühzeitigem Alarm.

Akkuwächter liefern u.a. die Fa. CONRAD, 92240 Hirschau, Tel. 0180-5312111 (www.conrad.de) und ELV, 26787 Leer, Tel. 0491-600888, (www.elv.de). Beim Kauf unbedingt darauf achten, dass der Akkuwächter lauten Alarm gibt, denn das Aufleuchten einer Warnlampe wird leicht übersehen. Einige Akkuwächter unterbrechen mit einem Relais den Strom zwischen Akku und Verbraucher. Diese Geräte sind wegen dem hohen Motorstrom bei der Gartenbahn nicht geeignet, aber einsetzbar wenn das Relais, statt die Stromzufuhr abzuschalten, einen Alarmgeber (elektronischer Beeper) einschaltet. Beeper sind ebenfalls bei CONRAD und ELV erhältlich. Achtung: Beim Alarm sofort den Fahrbetrieb einstellen und gaaaaanz langsam zum Abstellgleis fahren.

Winterbetrieb, Überwinterung

Die Nennkapazität des Akkus ist in der Regel bei der Umgebungstemperatur von 25° C festgelegt. Bei niedrigen Temperaturen nimmt die Kapazität ab. Das wirkt sich besonders stark bei Temperaturen unter 0°C aus. Bei -15°C hat der Akku nur noch eine Kapazität von ca. 65%. Wenn der Akku für eine 20stündige Entladung festgelegt ist und er wird bei -15°C in einer Stunde entladen, dann hat er nur noch eine entnehmbare Kapazität von ca. 30%, denn auch der hohe Entladestrom macht ihn schwach.

Tipp: Wird der Akku auch im Winter benutzt, dann kann man zur Kapazitätserhöhung einen einfachen Trick anwenden. Unter dem Akku wird eine Heizfolie gelegt und am Akku angeschlossen. Trotz der Energie die die Heizfolie dem Akku entnimmt, hat der angewärmte Akku wesentlich mehr Kapazität als im kalten Zustand. Natürlich muss die Heizleistung der Folie angepasst sein, sonst schmilzt das Akkugehäuse, oder der Akku wird nicht warm genug.

Akkus müssen vollgeladen in einem kühlen und trockenen Raum gelagert werden. Der Akku sollte alle 8 Wochen aufgeladen werden, das vermindert das Sulfatieren. Für die Überwinterung eignet sich auch ein Ladeautomat mit der IUoU oder IUoUp Kennlinie, er hat eine abgesenkte oder gepulste Erhaltungsladespannung. Beim Nassakku regelmäßig den Säurestand prüfen. Achtung: Entladene Akkus können bei Temperaturen unter 0° C einfrieren. Wird ein eingefrorener Akku geladen, dann kann er explodieren.

Gasung

Der Gasungspunkt ist der Moment bei dem es beim Laden ab einer bestimmten Spannung zur Zerlegung der Säure in die Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff kommt. Der Elektrolyt fängt an zu perlen und erzeugt das gefährliche Knallgas. Der Gasungspunkt richtet sich nach dem Mischungsverhältnis der bei der Inbetriebnahme eingefüllten Schwefelsäure und nach der Zelltemperatur. Bei niedrigen Temperaturen ist eine höhere Spannung zur Gasung notwendig als bei hohen Temperaturen. Deshalb müssen die Akkus je nach Umgebungstemperatur mit unterschiedlichen Ladeschlussspannungen geladen werden. Siehe „Temperatur“. In der Regel geben die Akkuhersteller die Ladeschlussspannung bei 25°C an. Der Ladegerätehersteller CTEK™ gibt den Gasungspunkt pauschal mit 14,4 V an, ohne die Umgebungstemperatur zu berücksichtigen. Bei solchen Angaben sollte man sehr vorsichtig sein und besser den Akkuhersteller befragen. Beim Nassakku hilft ein geringes Gasen zur Umschichtung der Säure und vermeidet damit das kapazitätsmindernde Sulfatieren. Ein starkes Gasen bei überhöhter Ladeschlussspannung führt neben der erheblichen Freisetzung vom explosiven Wasserstoff und Sauerstoff zum Wasserverlust und zum frühzeitigem Kapazitätsverlust. Achtung: Gel- und Vliesakkus vertragen nur geringes Gasen. Deshalb benötigen sie ein Ladegerät das den Anforderungen entspricht.

Explosionsgefahr

Akkus dürfen nur in einem gut belüfteten Raum geladen werden. Akkus können bei falscher Behandlung explodieren. Deshalb niemals einen Kurzschluss verursachen. Niemals die Zwangsentlüftungen am Akku verschließen. Niemals den Akku mit einem höherem Ladestrom oder höherer Ladeschlussspannung aufladen als vom Hersteller angegeben ist. Niemals einen Akku mit Zellschluss laden. Hat der unbelastete 12 V Akku eine Spannung unter 12 V, dann hat er vermutlich einen Zellschluss oder er wurde tiefentladen. Beides ist gleich tödlich für den Akku. Niemals einen entladenen eingefrorenen Akku laden. Niemals bei einem wartungsfreien oder verschlossenen Akku die Verschlussstopfen öffnen. Akkus entwickeln beim Laden durch die Zerlegung des Wassers in seine Bestandteile Wasserstoff und Sauerstoff das gefährliche Knallgas. Ein kleiner Funke reicht aus und der Akku explodiert. Deshalb beim Laden und Entladen unbedingt für gute Belüftung sorgen. Feuer und Funkenbildung ist unbedingt zu vermeiden. Aus Sicherheitsgründen beim Nassakku die Verschlussstopfen beim Laden etwas herausrauben.

Achtung: Einfache Ladegeräte bestehen nur aus dem Trafo und dem Gleichrichter, es fehlt ihnen jegliche Regelung. Sie laden den 12 V Akku bis auf über 18 V auf. Im Akku zischt und brodeln es dann gewaltig. Gel- oder Vliesakkus die so geladen werden sind sofort defekt. Bei allen Arbeiten an einem so geladenen Akku, wie Abklemmen des Ladegerätes, Anklemmen der Verbraucher, usw., besteht höchste Explosionsgefahr.

Den Akku in der Regel zuerst am ausgeschalteten Ladegerät anklemmen und dann erst das Ladegerät einschalten. Am Ladeende erst das Ladegerät ausschalten und dann erst den Akku abklemmen. Falschpolungen sind unbedingt zu vermeiden. Fragen Sie Ihren Ladegerätehersteller nach der richtigen An- und Abklemm-Reihenfolge für sein Ladegerät.

Achtung: Im Drehzahlregler, DC/DC Wandler und anderen elektronischen Geräten sind oft hochkapazitive Elektrolytkondensatoren zur Siebung eingebaut. Wird solch ein Gerät am Akku angeklemt, dann funkt es gewaltig, weil die spannungslosen Elkos im Moment des Anklemmens einen Kurzschluss verursachen bis sie aufgeladen sind. Bevor die Plusleitung am Akku angeklemt wird, müssen unbedingt alle Verbraucher über einen Hauptschalter abgeschaltet sein.

Tipp: Auch ausgeschaltete Ladeautomaten haben am Ausgang hochkapazitive Elektrolytkondensatoren. Damit beim Anschluss keine Funken entstehen ist zuerst die Minusverbindung herzustellen.

Dann wird ein Widerstand zuerst am Pluspol des Akkus und dann am Pluspol des Gerätes gehalten, die Kondensatoren werden langsam aufgeladen. Nach ca. 3 Sekunden ist der Anschluss herzustellen und danach erst der Widerstand zu entfernen. Wenn das Gerät den Akku stark belastet kann man besser einen NTC-Widerstand einsetzen. Wenn über den NTC ein Strom fließt erwärmt er sich und sein Widerstand nimmt ab. Der Ohmwert des Widerstandes hängt ab von der Spannung, der Kapazität der Elkos und dem Strom den das Gerät dem Akku entnimmt. Beispiel: Für einen 12 V Ladeautomaten mit 2 Stück 1000 uF Elkos im Ausgang und einem Rückstrom von 10 mA kann man statt des Widerstandes eine 24 V Miniaturglühlampe mit 40 mA einsetzen, z.B. CONRAD Nr. 727199-55. Beim Anlegen am Pluspol des Akkus und der Plusleitung vom Ladeautomaten leuchtet die Lampe kurz auf. Wenn sie aus geht sind die Elkos aufgeladen und die Plusleitung vom Ladeautomaten wird wie oben beschrieben mit dem Pluspol des Akkus verbunden. Eine Glühlampe hat zwar die Funktion eines PTC-Widerstandes, wenn sie heiß wird nimmt ihr Widerstand ab, das spielt aber in diesem Fall keine Rolle.

Ein Beispiel zur Auslegung des Widerstandes wenn sich die Verbraucher nicht abschalten lassen und hochkapazitiv sind: In meinem 36 V Elektrofahrzeug lassen sich der Drehzahlsteller und der DC/DC Wandler nicht abschalten. Der Drehzahlsteller und der DC/DC Wandler haben einen Ruhestrom von 0,17 A. Die Elkos der beiden Geräte haben eine Gesamtkapazität von 10.000 uF. Wenn die Plusleitung am Akku angeschlossen wird, funkt es so gewaltig, dass der massive Akkupol verschmort. Mit einem 30 Ohm NTC Widerstand habe ich das Problem gelöst. Nach 2 Sekunden Überbrückung mit dem NTC Widerstand kann ich die Plusleitung des Fahrzeugs gefahrlos am Akku anklemmen.

Preis- Leistungsverhältnis

Der nasse Starterakku ist preiswerteste Akku. Er ist nicht zyklenfest, wenig hochstromfest, ist lageabhängig, nicht rüttelfest und verdunstetes Wasser muss nachgefüllt werden.

Ein „wartungsarmer“ nasser Starterakku hat die gleichen Merkmale.

Der wartungsfreie nasse Starterakku ist etwas teurer, hat aber die gleichen Merkmale bis auf das Wasserauffüllen.

Der nasse Antriebsakku ist teurer, bedingt zyklenfest (ca. 400 Zyklen), bedingt hochstromfest, lageabhängig, nicht rüttelfest, verdunstetes Wasser muss nachgefüllt werden.

Der Gel-Antriebsakku ist noch teurer, zyklenfest (ca. 700 Zyklen), bedingt hochstromfest, lageunabhängig, rüttelfest und wartungsfrei.

Der Vlies-Antriebsakku ist der teuerste Akku. Er ist zyklenfest (ca. 700 Zyklen), extrem hochstromfest beim Laden und Entladen, lageunabhängig, rüttelfest und wartungsfrei. Es gibt ihn mit flachen und spiralförmig gewickelten Bleiplatten. Achtung: Einige Hersteller verbieten beim Vliesakku das auf dem kopfstehende Laden.

Der ideale Akku für die elektrische Gartenbahn

Ein Nass- Gel- und Vlies-Antriebsakku ist erheblich teurer als ein Starterakku, deswegen rate ich bei der elektrisch betriebenen Gartenbahn aus Kostengründen zum Starterakku. Der Starterakku sollte nicht eingesetzt werden bei hohem Motorstrom, regelmäßigem Fahren und wenn sich Erschütterungen am Akku nicht beseitigen lassen. Auch der nasse Antriebsakku verträgt keine Erschütterungen. Wer nicht mit der ätzenden Säure in Berührung kommen möchte und kein Wasser nachfüllen will, der sollte sich für den Gel- oder Vliesakku entscheiden. Bei der Wahl Gel- oder Vliesakku rate ich in jedem Fall zum Vliesakku. Niemals einen Solarakku einsetzen, egal welcher Typ, denn der hat seine Kapazität nur bei 100ständiger Entladung.

Mit nassen DETA DRIVEMOBIL[®] 75 Ah und 80 Ah Antriebsakkus habe ich sehr schlechte Erfahrungen bei Hochstromentladung gemacht. Obwohl DETA auf Anfrage für das einstündige Entladen eine verfügbare Kapazität von 47 Ah bzw. 52 Ah bestätigte, hatten 9 Akkus innerhalb sehr kurzer Zeit gravierenden Kapazitätsverlust bis zum Totalausfall. Das gleiche Problem hatte ich mit 3 SONNENSCHIEB DRYFIT[®] GF12/70V Akkus Das darf bei Antriebsakkus nicht passieren, denn sie

sollten speziell für einen hohen Entladestrom und den Zyklenbetrieb ausgelegt sein.

Tipp: Wie unter dem Stichwort „Kapazität“ beschrieben sollte man überlegen die Betriebsspannung von 12 V auf 24 V zu erhöhen. Damit werden beide Akkus nur noch mit dem halben Entladestrom entladen und die Stromleitungen können einen kleineren Querschnitt haben. Wenn es der Platz zulässt, sollte man einen Akku mit höchstmöglicher Kapazität einsetzen.

Der Akku der Zukunft

Wenn der NiCad Akku (Nickel-Cadmium) seinen ca. 10fachen Preis gegenüber dem Nassakku verliert, wäre er ein idealer hochstromfester Energiespeicher. Falls nicht, wird er weiterhin nur in Öffentlichen- und Versuchs-Fahrzeugen eingesetzt. Ein Kfz-Hersteller baut in seine Hybrid-PKW NiMH-Akkus (Nickel/Metall/Hydrit) ein. Die Akkus sorgen für eine elektrische Überbrückungsstrecke von ca. 4 (vier!) Kilometer und werden bei jedem Abbremsen durch die Umschaltung des Elektromotors als Generator geladen. Die garantierte Lebensdauer ist 3 Jahre. Vielleicht der Akku der Zukunft wenn die Reichweite größer wird?

Um den Entladestrom beim Bleiakku zu steigern, wurde der hochstromfeste Vliesakku entwickelt. In jeder Akkuzelle sind die Gitterplatten spiralförmig mit einem sehr dünnen Separator aus Glasvlies aufgewickelt. Den 12 V Akku erkennt man von außen an 6 runden „Töpfen“ die oben einen gemeinsamen Deckel haben. Der Vliesakku wird auch mit flachen Bleiplatten gefertigt, dann sieht er aus wie ein normaler Gelakku. Meistens haben diese Akkus keine Rundpole, sondern Schraubanschlüsse für die Anschlusskabel. Einige Hersteller befürworten beim Vliesakku zur Spannungs- oder Kapazitätserhöhung die uneingeschränkte Reihen- und Parallelschaltung.

Sollte in Zukunft nicht ein völlig neuer Akkutyp auf den Markt kommen, dann gebe ich dem Vliesakku gute Chancen. In der KFZ-Industrie überlegt man die Spannung von 12 V auf 36 V/48 V anzuheben. Die Vorteile liegen auf der Hand. Die Kabel könnten erheblich dünner und der Akku kleiner werden. Dafür ist der Vliesakku optimal geeignet, zumal bei einer Massenproduktion sein Preis deutlich fallen dürfte. Der Vliesakku ist schon seit Jahren auf dem Markt, aber nur wenig bekannt. Er hat erhebliche Vorteile gegenüber anderen Akkus. So wirbt z.B. die Fa. OPTIMA® für ihre gewickelten Vliesakkus:

Produktmerkmal	Vorteil
Geschlossenes System	Absolut wartungsfrei
Unter höherem Druck gewickelte Zellen	Rüttelfestigkeit
Gleichmäßiger Druck über die ganze Platte	Zyklenfestigkeit
Gitter aus reinem Blei	Gute Lagerfähigkeit, hohe Korrosionsbeständigkeit
Kein freier Elektrolyt	Kein Säureaustritt, Lageunabhängigkeit
Niedriger Innenwiderstand durch mehr Fläche	Schnellere Ladung, höhere Leistung
SpiralCell® Technologie	Bessere Beständigkeit bei extremen Temperaturen

Hersteller und Vertriebsfirmen für 12 V Vliesakkus:

OPTIMA®, Vliesakkus mit Wickelzellen, Vertrieb durch VARTA, 30419 Hannover, Tel. 0511-95702, Fax 0511-9751680, www.optima.com und www.varta.com, 12 V Vliesakkus von 41 Ah bis 75 Ah bei 20stündiger Entladung. Keine Kapazitätsangabe bei kürzerer Entladezeit.

TRAC®BLOC, Vliesakkus mit Flachzellen, Vertrieb durch HOPPECKE, 59929 Brilon, Tel 02963-61551, Fax 02963-61481, www.hoppecke.com, 12 V Vliesakkus von 48 Ah bis 100 Ah bei 5stündiger Entladung.

EFFEKTA®, Vliesakkus mit Flachzellen, Vertrieb u.a. durch SWT, 48282 Emsdetten, Tel 02572-958534, Fax 959359, email info@swt-gmbh.com. Im Vertriebsprogramm sind 30 Vliesakkus von 4,25 Ah bis 204 Ah bei 5stündiger Entladung. Nach meiner Kenntnis hat SWT das umfangreichste Lieferprogramm für Vliesakkus. Außerdem liegen zu allen Akkus die Innenwiderstände vor.

GNB®, CHAMPION®, Vliesakkus mit Flachzellen, Vertrieb durch EXIDE, 63654 Büdingen, Tel 06042-810, www.exide.com, 12 V Vliesakkus mit 80 Ah und 95 Ah bei 6stündiger Entladung.

Mir ist kein deutscher Hersteller für Vliesakkus bekannt. Bis auf wenige USA-Produkte mit Wickel-

zellen kommen die meisten Vliesakkus mit Flachzellen aus Fernost.

Der Akku ist auch nur ein Mensch

Jedenfalls hat er sehr viel menschliches an sich. Ab seiner Geburt (Säureeinfüllen) lebt und altert er. Wie lange er lebt hängt von seiner gesunden Ernährung (optimales Laden) und nicht zu schwerer Arbeit (Entladen) ab. Als Baby (neuer Akku) sollte man ihn mindestens bis zum 5. Jahr (5. Ladezyklus) sehr vorsichtig behandeln (gefühlvolles Laden und Entladen), damit er sich an das Leben gewöhnt (formatiert wird) und später stark werden kann (hohe Kapazität hat). Ist der Akku hungrig (entladen), dann ist er schwach und kann nicht arbeiten. Bekommt er schlechte Nahrung (falsches Aufladen) dann kann er keine Leistung bringen. Hat er sich überfressen (überladen), dann hat er Angst dass er platzt (Explosionsgefahr durch starkes Gasen). Ißt er viel (zu starkes Aufladen) dann schwitzt er (Wasserverlust). Ist er durstig (Wasserverlust) dann fehlt ihm Energie (Kapazität). Wenn er älter wird hat er größeren Durst (höherer Wasserverlust). Hat er zuviel getrunken (zu hoher Säurestand) dann erbricht er sich (ätzende Säure tritt an den Stopfen aus). Langes Ruhen macht ihn krank (Sulfatierung). Zu wenig Nahrung (Unterladen) macht ihn kraftlos. Ist er hungrig (entladen) und es ist kalt, dann friert er ein. In diesem Zustand verträgt er keine Nahrung (Aufladen), er muss erst wieder warm werden. Ist er satt (geladen) und es ist im kalt, dann friert er und er kann nur noch wenig arbeiten (die Kapazität lässt nach), ihm fehlt wärmende Bekleidung (Heizfolie). Bekommt er lange Zeit keine Nahrung (Aufladen), dann stirbt er wenn er seine Energievorräte verbraucht hat (Selbstentladung). Bei Schwerstarbeit (extrem hoher Entladestrom) wird er schnell müde (die Kapazität lässt stark nach). Wenn es heiß ist hat er nur wenig Appetit (die Ladeschlussspannung ist zu senken). Wenn es kalt ist, dann möchte er lieber kräftige Nahrung (die Ladeschlussspannung ist zu erhöhen). Ist er satt (aufgeladen) dann wird er müde und schläft. Dass der geladene Akku tatsächlich „schläft“ merkt man bei der ersten Stromentnahme des geladenen Akkus, die Spannung bricht stark ein. Erst nach kurzer Zeit wird der Akku „wach“ und kann seine volle Leistung bringen. Die Spannung steigt dann wieder an. Sind seine Finger (Anschlusspole) nicht gegen Witterungseinflüsse geschützt (gefettet) dann werden sie schorfig (Korrosion). Er ist nur dann teamfähig (Reihenschaltung mehrerer Akkus) wenn alle anderen Kollegen gleich leistungsstark sind (gleiche Kapazität haben). Selbst der beste Sportler (Akku) kann nicht täglich bis zur Ermattung (Entladen bis zur Entladeschlussspannung) trainieren, er baut dann schnell ab (Zyklusverlust). Ein Herzschrittmacher (elektronischer Aktivator) kann zur Lebensverlängerung hilfreich sein. Bei falscher Behandlung (Laden, Entladen) wird er schwer erkranken (Kapazitätsverlust bis Totalausfall). Außerdem ist er sehr nachtragend. Einen Kapazitätsverlust vergisst er sein Leben lang nicht mehr und er wird die fehlende Kapazität nie wieder hergeben. Bei ausgewogener Ernährung (optimales Laden) und regelmäßigem gesunden Sport (keine gewaltsamen Entladungen) wird er sehr lange leben (viele Zyklen machen).

Wenn das nicht menschlich ist!? Man sollte es aber nicht übertreiben und dem Akku noch gut zureden, das bringt natürlich nichts. Aber richtig laden und entladen sollte man ihn schon, damit er möglichst viele Zyklen erreicht. Im 2. Teil geht es um die Ladetechnik und im 3. Teil stelle ich leistungsstarke Ladeautomaten zum optimalen Laden vor.

von Dieter Werner, Hörstel-Riesenbeck

Die Ladetechnik

Alle nachstehenden Angaben beziehen sich auf das Laden von Bleiakkus. Andere Akkutypen wie NiCd (Nickel/Cadmium), NiFe (Nicke/Eisen), NiMH (Nickel/Metall/Hydrit), alkalische RAM-Zellen, usw., benötigen völlig andere Ladetechniken.

Vor kurzem las ich einen interessanten Bericht zum Selbstbau eines Ladegerätes für Antriebsakkus. Der „Low-Cost Low-Tech Lader“ ist für 36 V - 48 V Akkus ausgelegt und hat einem Ladestrom von max. 60 A. Die Anfertigung ist ganz einfach, man besorgt sich im Baumarkt einen billigen Schweißtrafo und baut einen Gleichrichter ein, fertig ist das Ladegerät. Damit es im Inneren nicht zu heiß wird kann man noch einen Lüfter einbauen. Otto Normallader würde vermutlich niemals seine Akkus an das Ladegerät anschließen, das überlässt er lieber den Freaks die was davon verstehen. Das ist auch gut so, denn würde er nicht höllisch aufpassen, dann hätte er schon beim ersten Laden seine Akkus abgeschossen. Otto Normallader hat wesentlich mehr Vertrauen in sein industriell gefertigtes Ladegerät aus dem KFZ-Zubehör, denn da steckt Technik drin, außerdem wurde es schon tausendfach verkauft. Hätte er mal den Deckel an seinem Ladegerät abgeschraubt, dann hätte er bestimmt gestaunt. Sein Ladegerät enthält auch nichts anderes als den Trafo und den Gleichrichter. Der „Low-Cost Low-Tech Lader“ hat sogar noch einen großen Vorteil. Mit dem Handrad am Schweißtrafo lässt sich der Strom im gewissen Bereich ändern. Das soll aber trotzdem keine Aufforderung zum Nachbau sein.

Das Laden mit einem handelsüblichen Ladegerät das nur aus Trafo und Gleichrichter besteht ist nicht kapazitätserhaltend. Die Ladeschlussspannung kann bis auf 18 V ansteigen. Wenn der Akku beim Laden nicht frühzeitig abgeklemmt wird, dann wird er beschädigt. Ein Gel- oder Vliesakku wäre schon beim 1. Laden defekt. Ein gutes Ladegerät, erst recht ein Ladeautomat benötigt viele elektronische Bauteile für die Regelung, die sich natürlich auf den Kaufpreis auswirken.

Ladekennlinie

Sie beschreibt die Ladeart des Ladegerätes. Zum Laden von Bleiakkus sind halbautomatische Ladegeräte mit der IU Kennlinie und Ladeautomaten mit der IUoU oder der IUoUp Kennlinie geeignet. Es gibt noch eine ganze Reihe anderer Kennlinien, wie z.B. IUla, Wa, WoWa, WUla, WUoU, usw. Die Erklärung aller Kennlinien würde den Rahmen sprengen. Deshalb beschreibe ich nur die IU Kennlinie zum Haupt- und Nachladen für halbautomatische Ladegeräte, sowie die IUoU und IUoUp Kennlinien für Ladeautomaten.

I Kennlinie

Hier gibt keine Spannungsbegrenzung. Einfache Ladegeräte für Ni-Cad Akkus haben die I Kennlinie. Absolut nicht zum Laden von Bleiakkus geeignet.

U Kennlinie

Hier gibt keine Strombegrenzung. Stabilisierte Festspannungsnetzgeräte ohne Stromregelung haben die U Kennlinie. Nicht zum Laden von Bleiakkus geeignet.

IU Kennlinie

Als halbautomatisches Ladegerät gut für Bleiakkus geeignet. Hauptladen mit konstantem Strom (I) auf ca. 80%, dann Nachladen mit konstanter Spannung (U) auf 100%, aber keine automatische Umschaltung auf die niedrigere Erhaltungsladespannung. Der Akku muss deshalb manuell abgeklemmt werden wenn der Ladestrom nur noch 1/50 bis 1/100 der Akkunennkapazität ist. Ein Strommessgerät, oder zumindest eine Kontrolllampe die den Ladeschluss anzeigt, ist bei dieser Ladeart unbedingt erforderlich.

IUoU Kennlinie

Ein echter Ladeautomat. Hauptladen mit konstantem Strom (I) auf ca. 80%, dann Nachladen mit konstanter Spannung (Uo) auf 100%, am Ladeschluss automatische Umschaltung auf die niedrigere Erhaltungsladespannung (U). Der Akku kann über lange Zeit angeschlossen bleiben. Gel- und Vliesakkus dürfen nur mit dieser Kennlinie geladen werden.

IUoUp Kennlinie

Ein echter Ladeautomat. Hauptladen mit konstantem Strom (I) auf ca. 80%, dann Nachladen mit konstanter Spannung (U_o) auf 100%, am Ladeschluss automatische Umschaltung auf die gepulste Erhaltungsladung (U_p). Der Akku kann über lange Zeit angeschlossen bleiben und wird auf 95% - 100% gehalten. Teilweise auch für Gel- und Vliesakkus zugelassen.

Reihenladen

Auch Serienladen. Niemals Akkus mit unterschiedlichen Kapazitäten in Reihe Laden. Auch ein 12 V Akku wird in Reihe geladen, denn er hat 6 Zellen die miteinander verbunden sind. Bedingt durch Fertigungstoleranzen, unterschiedliche Säuremengen in den Zellen bei der Inbetriebnahme und durch falsches Laden können beim Reihenladen Unterschiede zwischen den Zellen vorkommen. Das führt zu unterschiedlichen Kapazitäten. Beim 36 V Betrieb sind es schon 18 Zellen, die später unterschiedliche Kapazitäten haben können. Deshalb empfehle ich das Einzelladen bei in Reihe geschalteten 12 V Akkus mit jeweils einem 12 V Ladegerät. Wichtig ist beim Einzelladen, dass alle Ladegeräte auf die gleiche Ladeschlussspannung, die gleiche Erhaltungsladespannung und den gleichen Ladestrom kalibriert sind, sonst führt das Laden wieder zu ungleichen Akkus. Achtung: Beim Einzelladen von in Reihe geschalteten Akkus müssen die Ladegeräte unbedingt dazu geeignet sein, sonst gibt es gefährliche Kurzschlüsse. Deshalb soll man sich das Einzelladen bei Reihenschaltung unbedingt vom Ladegerätehersteller bestätigen lassen. Einige Hersteller erlauben beim Vliesakkus den uneingeschränkten Reihenbetrieb.

Parallelladen

Wenn Akkus parallel geladen werden sollen, dann ist für jeden Akku eine Schottky-Diode in die Pluszuleitung zum Akku einzubauen. Dadurch gibt es keine gefährliche Funkenbildung beim Anklemmen der Akkus mit unterschiedlichen Spannungen und alle Akkus werden zu 100% gleich aufgeladen. Der Ladestrom darf nur nach der Kapazität eines Akkus ausgelegt sein, sonst wird der entladene Akku schnellgeladen. Das Laden dauert deshalb sehr lange und ist nicht gerade bekömmlich für die Erhaltung der Kapazität. Deshalb empfehle ich das Einzelladen der 12 V Akkus mit jeweils einem 12 V Ladegerät. Einige Hersteller erlauben beim Vliesakkus den uneingeschränkten Parallelbetrieb.

Hauptladen

Bei Ladegeräten mit der IU, IUoU, oder IUoUp Kennlinie ist das die Zeitspanne in der der Akku mit konstantem Strom (I) auf ca. 80% aufgeladen wird. Das Hauptladen beginnt im Moment des Anklemmens und endet beim Erreichen der Ladeschlussspannung (U), das ist der Übergang zum Nachladen.

Nachladen oder Ausgleichladen

Das Nachladen sorgt dafür, dass alle Zellen auf die gleiche Spannung gebracht werden und beim Nassakku die Säure umgeschichtet wird. Das vermindert das Sulfatieren der Bleiplatten. Zur besseren Säureumschichtung ist bei einigen Ladeautomaten die Ladeschlussspannung deshalb höher eingestellt. Bei Nassakkus im professionellen Einsatz wird zur Säureumschichtung Luft eingeblasen, die Säure wird verwirbelt. Das Säuregewicht (SVG) muss an der untersten und obersten Stelle in der Akkuzelle absolut gleich sein, sonst gibt es auf Dauer Kapazitätsverluste. Gel- und Vliesakkus vertragen keine starke Gasung beim Nachladen.

Das Nachladen beginnt in dem Moment wenn der Akku beim Hauptladen mit konstantem Strom (I) die Ladeschlussspannung (U) erreicht hat. Der Akku ist dann zu ca. 80% aufgeladen. Ab jetzt wird der Akku nur noch mit konstanter Spannung (U) geladen und der Akku bestimmt selbst seinen Ladestrom. Je mehr er bei der konstanten Spannung aufgeladen wird, je mehr nimmt sein Ladestrom ab. Ist der Ladestrom nur noch 1/50 bis 1/100 seiner Nennkapazität, dann ist der Akku zu 95% bis 100% aufgeladen. Bei Ladegeräten oder Netzteilen mit der IU Kennlinie muss der Akku jetzt manuell vom Ladegerät getrennt werden, sonst wird er überladen. Einfache Ladeautomaten begrenzen das Nachladen zeitlich, bessere Ladeautomaten beenden das Nachladen wenn der Ladestrom so stark abgenommen hat, dass er den Minimalwert erreicht und schalten dann zum Erhaltungsladen um.

Erhaltungsladen

Wie schon der Name sagt, wird mit dem Erhaltungsladen der zu 100% aufgeladene Akku auf dem Level gehalten. Bei Ladeautomaten mit der IUoU oder IUoUp Kennlinie kann der Akku über lange Zeit am Ladegerät angeschlossen bleiben. Die Erhaltungsladespannung ist niedriger als die Ladeschlussspannung. Nach Durchlauf der IU Kennlinie und Abnahme des Ladestroms auf 1/50 bis 1/100 der Nennkapazität ist der Akku zu 100% aufgeladen. Soll der Akku bei Ladegeräten oder Netzteilen mit der IU Kennlinie zum Erhaltungsladen am Ladegerät bleiben, dann ist die Ladeschlussspannung unbedingt manuell auf die niedrige Erhaltungsladespannung von 2,25 V je Zelle (13,5 V beim 12 V Akku) herunterzuregeln. Ist das nicht möglich, dann ist der Akku abzuklemmen.

Bei Ladeautomaten mit der IUoU Kennlinie wird die Spannung automatisch auf die niedrigere Erhaltungsladespannung abgesenkt. Beim Ladeautomaten mit der IUoUp Kennlinie wird der Akku zyklisch beim Spannungsabfall, z.B. bei 13 V mit vollem Ladestrom bis zum Erreichen der Ladeschlussspannung gepulst. Das Erhaltungsladen wird auch zum Überwintern benutzt. Achtung: Unbedingt beim Akkuhersteller nachfragen ob er das dauernde oder gepulste Erhaltungsladen für seinen Akku zulässt. Ein Beispiel: Die nassen Antriebsakkus von Bosch und DETA EXIDE sind bei allen Kapazitäten von den Abmessungen absolut gleich. Vermutlich kommen sie aus einer Fertigung. Bosch empfiehlt den Akku aufzuladen und dann ruhen zu lassen. Dagegen gibt DETA EXIDE das Erhaltungsladen mit 2,25 V je Zelle an (13,5 V beim 12 V Akku). Da das Sulfatieren auch beim ruhenden Akku durch die Selbstentladung stattfindet, halte ich das Erhaltungsladen für den besseren Weg.

Tipp: Bei meinen vielen Tests mit den unterschiedlichsten Akkutypen stellte ich folgendes Phänomen fest: Ist der Akku mit der IU Kennlinie auf 100% aufgeladen und der Ladeautomat schaltet auf das Erhaltungsladen um, dann hat der Akku ab dem Moment in einem Zeitraum von ca. 10 Stunden seine höchste Kapazität und ist sehr „hart“. Nach 10 Stunden Erhaltungsladen nimmt die verfügbare Kapazität wieder ab und der Akku wird „weich“. Das merkt man aber nur bei extrem hoher Stromentnahme und mit einem Kapazitätsmessgerät. Nun sollte man aber in keinem Fall meinen, dass die Erhaltungsladespannung zu gering ist. Stellt man sie über 13,8 V ein, dann wird der Akku beschädigt.

Ladegeräte mit Linearregelung

Sind sehr groß und sehr schwer und erzeugen eine sehr hohe Verlustleistung, die als Wärme über große Kühlkörper abgeführt wird. Sie haben eine extrem kleine Restwelligkeit von ca. 2 mV (0,002V). Haben sie die IU oder noch besser die IUoU oder IUoUp Kennlinie dann sind diese Ladegeräte sehr gut geeignet. Sie sind aber wegen ihrem Gewicht, der Größe und der hohen Verlustleistung nur wenig im Einsatz.

Sekundär getaktete Ladegeräte

Sind groß und schwer. Sie erzeugen aber wesentlich weniger Verlustleistung als lineargeregelte Ladegeräte. Sie sind einsetzbar wenn sie die IU oder noch besser die IUoU oder IUoUp Ladekennlinie haben. Unbedingt auf geringe Restwelligkeit achten.

Primär getaktete Ladegeräte

Sind extrem klein, leicht und haben die geringste Verlustleistung aller Ladegeräte. Der Wirkungsgrad ist > 85%. Wenn sie die IU oder noch besser die IUoU oder IUoUp Kennlinie haben sind sie optimal als Ladegerät geeignet. Unbedingt auf geringe Restwelligkeit achten.

Restwelligkeit

Der Anteil der überlagerten Wechselladung des Ladestroms, auch Rauschspannung oder Brummspannung genannt. Ein reiner Gleichstrom hat keine Restwelligkeit. Einfache Ladegeräte haben oft eine ganz erhebliche Restwelligkeit, die den Akku beim Laden zusätzlich erwärmt. Auch getaktete Ladegeräte können eine hohe Restwelligkeit haben. Lineargeregelte Ladegeräte haben eine sehr geringe Restwelligkeit von ca. 2 mV (0,002 V). Je niedriger die Restwelligkeit beim Laden ist, je besser ist das für den Akku. Eine hohe Restwelligkeit kann u.U. am Akku angeschlossene elektronische Verbraucher beschädigen.

Rückstrom

Beim ausgeschalteten Ladegerät und angeschlossenem Akku wird bei einigen Ladegeräten die Regelelektronik vom Akku versorgt. Das ist der Rückstrom. Er sollte nicht $> 10 \text{ mA}$ ($0,01 \text{ A}$) sein wenn der Akku dauernd am Ladegerät angeschlossen ist. Das ist der Fall, wenn z.B. im Bedienwagen das Ladegerät fest eingebaut ist. Bei dieser Betriebsart unbedingt den Ladegerätehersteller fragen, ob sein Ladegerät rückstromfest ist.

Aus der vorstehenden Auflistung ist zu ersehen, dass ein primärgetakteter Ladeautomat mit der IUoU oder IUoUp Kennlinie, extrem kleiner Restwelligkeit und geringem Rückstrom optimal zum Laden von Bleiakkus geeignet ist. Jetzt sind aber noch die Werte vom Ladestrom (I), der Ladeschlussspannung (U), der Erhaltungsladespannung (oU) oder der Pulserhaltung (oUp) zu beachten. Werden die Akkus im Außenbereich geladen, dann kommt noch die temperaturabhängige Regelung der Ladeschlussspannung mit einem am Akku befestigten Temperaturfühler hinzu.

Ladestrom

In der Regel sollte der Akku mit einem Ladestrom von $1/10$ seiner Nennkapazität geladen werden, z.B. ein 60 Ah Akku mit 6 A.

Schnellladestrom

Einige Akkuhersteller erlauben das Schnellladen mit erhöhtem Ladestrom. So gibt z.B. DETA EXIDE einen max. Schnellladestrom für seinen nassen DRIVEMOBIL[®] Antriebsakku mit $2/5$ der Nennkapazität an (24 A beim 60 Ah Akku). Beim Vliesakku ist ein erhöhter Ladestrom sogar wichtig, einige Hersteller geben ihn mit 30 A je 100 Ah (18 A beim 60 Ah Akku) an. Den hohen Ladestrom verträgt nicht jeder Akkutyp, er kann beim Laden beschädigt werden und verliert dadurch an Kapazität. Bei allen späteren Beispielen zum Schnellladen gehe ich deshalb von dem sanften Schnellladestrom von $1/5$ der Nennkapazität aus (12 A beim 60 Ah Akku, Verdoppelung des normalen Ladestroms). Achtung: Das Schnellladen muß ausdrücklich vom Akkuhersteller erlaubt sein. Bei Ladeautomaten mit festgelegter Nachladezeit von z.B. 1 Stunde, wird der Akku beim Schnellladen nicht auf 100% aufgeladen, es sei denn er bleibt beim Erhaltungsladen für lange Zeit am Ladegerät. Vom Schnellladen kann dann aber nicht mehr die Rede sein.

Ladeschlussspannung

Wenn die Ladeschlussspannung eines Akkus nicht bekannt ist, dann sollte sie nicht höher sein als 2,3 V je Zelle (13,8 V beim 12 V Akku). Damit ist man auf der sicheren Seite. Wenn auch der Akku nicht optimal geladen wird, so wird er in keinem Fall durch Überladen beschädigt. Die Ladeschlussspannung liegt je nach Akkutyp zwischen 2,3 V und 2,48 V je Zelle (13,8 V - 14,9 V beim 12 V Akku). Ein Überladen vernichtet unwiderruflich die Akkukapazität. Achtung: Je nach Umgebungstemperatur kann bei Ladeschlussspannungen über 2,3 V je Zelle (13,8 V beim 12 V Akku) der Akku gasen, es kann Säure austreten und es besteht Explosionsgefahr durch die Entwicklung von Knallgas. Die Ladeschlussspannung ist stark temperaturabhängig, siehe „Temperatur“. Mit der Ladeschlussspannung darf der Akku nur zeitlich begrenzt geladen werden. Ladeautomaten haben die automatische Umschaltung auf die geringere Erhaltungsladespannung.

Erhaltungsladespannung

Der mit der IU Kennlinie vollgeladene Akku wird mit dem Erhaltungsladen auf gleichem Level gehalten. Die Erhaltungsladespannung ist in der Regel 2,25 V je Zelle (13,5 V beim 12 V Akku). Bei dieser Spannung kann der Akku lange Zeit am Ladegerät angeschlossen bleiben.

Gepulstes Erhaltungsladen

Auch zyklisches Erhaltungsladen. Nach Durchlauf der IU Kennlinie wird das Laden automatisch unterbrochen. Wenn die Akkuspannung unter einem bestimmten Wert abfällt, z.B. 12,7 V, dann wird geladen und beim Erreichen der Ladeschlussspannung wird das Laden wieder unterbrochen. Beim Pulserhaltungsladen schwankt die Ladung zwischen 95% und 100%. Der Akku kann über lange Zeit am Ladegerät angeschlossen bleiben.

Temperatur

Die Umgebungstemperatur ist ein nicht zu unterschätzendes Kriterium beim Laden. Durch Nichtbeachtung der Umgebungstemperatur wurden schon viele Akkus beschädigt. Bei niedrigen Temperaturen sollte der Akku mit höherer und bei hohen Temperaturen mit niedrigerer Ladeschlussspannung geladen werden. Hochwertige Ladegeräte haben einen Temperaturfühler am Akku, der die Ladeschlussspannung automatisch anpasst. In der Regel geben die Akkuhersteller die Ladeschlussspannung bei 25°C an. Obwohl die Kurve der Temperaturkompensation nicht ganz linear ist, kann man für die manuelle Anpassung 4 mV/°C je Zelle ansetzen. D.h. bei -10°C ist die Ladeschlussspannung beim 12 V Akku um 0,84 V anzuheben ($4 \text{ mV} * 6 \text{ Zellen} * 35^\circ\text{C} = 840 \text{ mV} = 0,84 \text{ V}$). Bei 30°C ist die Ladeschlussspannung beim 12 V Akku um 0,12 V zu senken ($4 \text{ mV} * 6 \text{ Zellen} * 5^\circ\text{C} = 120 \text{ mV} = 0,12 \text{ V}$).

Werden die Akkus nur bei der vom Hersteller festgelegten Umgebungstemperatur geladen, dann braucht man sich über die Temperaturkompensation keine Gedanken machen.

Ladekabel

Den Ladekabeln wird in der Regel viel zuwenig Beachtung geschenkt. Dabei können falsch dimensionierte Ladekabel beim Laden mit der IUoU/IUoUp Kennlinie zu einem vorzeitigen Beenden des Hauptladens führen. Beim Hauptladen mit dem hohen Ladestrom fällt je nach Querschnitt der Ladekabel immer eine Spannung ab. Der Spannungsverlust ist um so größer je dünner und länger die Ladekabel sind. Äußerst wichtig ist, dass die Ladeschlussspannung nicht an den Buchsen des Ladeautomaten, sondern an den Akkupolen anliegt. Selbst ein geringer Spannungsabfall an den Ladekabeln führt zum frühzeitigem Umschalten vom Hauptladen zum Nachladen, die Akkus werden nicht optimal geladen. Zur Vermeidung des Spannungsabfalls an den Ladekabeln gibt es 3 Möglichkeiten.

1. Der Ladeautomat misst die Ladeschlussspannung direkt an den Akkupolen. Dabei müssen die Ladekabel zu jedem Akkupol eine zweite parallele dünne 2adrige Leitung haben. Über die im Querschnitt größere Leitung fließt der Ladestrom und über die dünnere Leitung wird die Spannung gemessen. Dann können die Ladekabel einen sehr kleinen Querschnitt haben und beliebig lang sein. Ob der Ladeautomat einen Spannungsfühler direkt am Akkupol hat, erkennt man an der zweiten dünnen Leitung die parallel zum Ladekabel verläuft. Das Messen der Ladeschlussspannung direkt an den Akkupolen ist optimal, wird aber leider nur sehr selten angewandt.

2. Der Ladeautomat misst die Akkuspannung bei abgeschaltetem Ladestrom. Der Ladeautomat schaltet in Intervallen für den Bruchteil einer Sekunde den Ladestrom ab und misst die Spannung am Akkupol. An dem Ladekabeln ist diese Messart nicht zu erkennen, weil es kein 2. paralleles Kabel gibt. Das Messen der Spannung bei abgeschaltetem Ladestrom wird nur sehr selten angewandt.

3. Der Ladeautomat hat eine interne Kompensation zum Ausgleich des Spannungsabfalls des beiliegenden Ladekabels. Dann darf die Länge des Ladekabels nicht verändert werden. Wenn die Ladekabel Bestandteil des Ladeautomaten sind, sollte man beim Ladegerät-Hersteller nachfragen ob der Ladeautomat eine Kompensation für den Spannungsabfall am Ladekabel hat. Tipp: Wenn der Ladeautomat keine Kompensation der Ladekabel hat empfehle ich Punkt 4.

4. Bei Ladeautomaten bei denen die Ladekabel nicht zum Lieferumfang gehören, sind unbedingt extrem kurze Ladekabel mit großem Querschnitt und stabilen Klemmzangen anfertigen. Je höher der Ladestrom ist, um so größer muss der Querschnitt sein. Die Fa. WAECO gibt für ihre Ladeautomaten folgende Querschnitte an: Für einen 15 A Ladestrom 6 mm² - 10 mm², für einen 25 A Ladestrom 16 mm² - 25 mm² und für den 45 A Ladestrom 25 mm² - 30 mm².

Tipp: Im Zweifelsfall sollte man den Hersteller oder Importeur des Ladeautomaten fragen ob und wie er den Spannungsabfall an den Ladekabeln ausgleicht und welche Längen und Querschnitte er empfiehlt. Fragen Sie nie den Hersteller, Importeur oder Händler eines einfachen Ladegerätes das nur aus Trafo und Gleichrichter besteht nach den Ladekabeln. Bei diesen Ladegeräte ist es völlig egal welchen Querschnitt und welche Länge die Ladekabel haben, die Akkus werden immer überladen wenn man sie nicht rechtzeitig vom Ladegerät abklemmt.

Im 3. und letzten Teil stelle ich leistungsstarke Ladeautomaten vor.

Der Bleiakku, seine Lade- Entladetechnik und Ladeautomaten zum optimalen Laden

von Dieter Werner, Hörstel-Riesenbeck

Ladeautomaten

Nach ausführlicher Abhandlung der verschiedenen Akkutypen, der Lade- und Entladetechnik stelle ich jetzt einige Ladeautomaten mit der IUoU und IUoUp Kennlinie vor, die ich alle bis auf ein Gerät selbst im Einsatz habe. Zu den von mir benutzten Ladeautomaten zeige ich die Vorteile und Schwachstellen auf. Für den einen Ladeautomat den ich nicht selbst im Einsatz habe beziehen sich meine Vermerke und Hinweise auf die Prospektangaben des Herstellers.

CTEK™ Ladeautomaten

Hersteller	CTEK™, Schweden
Typ	MULTI XS 3600
Vertrieb	U.a. ATU, Autoteile Unger, in allen größeren deutschen Städten vertreten
Akkutypen	Nass, Gel, MF und Vlies
Akkukapazität	Von 1,2 Ah - 120 Ah, Bemerkung dazu siehe unten
Spannung	220 V - 240 V
Ladeschlussspannung	umschaltbar, 14,4 V bei 0,8A, 14,4 V bei 3,6 A und 14,7 V bei 3,6 A
Nachladezeit	Keine Angabe, siehe unten
Erhaltungsladen	Gepulst
Rückstrom	1,3 mA
Ladestrom	0,8 A/3,6 A schaltbar
Ladekennlinie	IUoUp
Regelung	Elektronisch, Netzspannungsschwankungen werden ausgeglichen
Umgebungstemperatur	- 20°C bis + 50°C, wird der Ladeautomat warm, dann geht die Leistung zurück
Aufbau	Primär getaktet
Restwelligkeit	Max. 50 mV
Stromausfall	Keine Angabe, vermutlich wird der kpl. Ladevorgang dann neu gestartet
Schutzart	IP 65, spritzwassergeschützt, zur Verwendung im Freien geeignet
Kurzschlussfest	Ja
Verpolungssicher	Ja
Abmessungen	B 61 x H 38 x T 165 mm
Gewicht	0,5 kg
Ladekabel	Liegen bei
Preis	Ca. 70 EUR incl. MwSt.

CTEK™ nennt sein MULTI XS 3600 das „cleverste Batterieladegerät der Welt“. Dem „cleversten Batterieladegerät der Welt“ fehlt aber unbedingt der Temperaturfühler am Akku um im Sommer und Winter immer optimale Ladebedingungen zu haben. Das Gerät lässt sich von 14,4 V auf 14,7 V umstellen, aber das reicht für den Temperaturbereich von -10° C bis + 30° C nicht aus. CTEK™ gibt sogar eine Umgebungstemperatur von -20°C bis + 50°C an. Das ist aber vermutlich nicht die Akkutemperatur, sondern die Temperatur bei der das Ladegerät betrieben werden darf. Bei dem angegebenen Temperaturunterschied von 70° C müsste sich die Ladeschlussspannung statt um 0,3 V um satte 2 V ändern. Das MULTI XS 3600 hat eine interne Temperaturregelung. Wird das Gerät warm, dann geht die Leistung zurück. Eine Regelung der Ladeschlussspannung ist das aber nicht.

Vorsichtig wäre ich auch bei der Angabe „Akkukapazität von 1,2 Ah bis 120 Ah“. Der Ladestrom ist von 0,8 A auf 3,6 A umschaltbar. Ein 1,2 Ah Akku würde mit dem Ladestrom von 0,8 A in 90 Minuten

aufgeladen, das geht viel zu schnell. Dagegen würde ein 120 Ah Akku mit dem Ladestrom von 3,6 A erst nach 33 Stunden zu 80% aufgeladen sein, das dauert viel zu lange. Deshalb ist das Gerät bei dem Ladestrom von 0,8 A für Akkus von 4 Ah bis 8 Ah und bei dem Ladestrom von 3,6 A für Akkus von 18 Ah bis 36 Ah geeignet. Für die ermittelten Akkukapazitäten habe ich für das Schnellladen einen Ladestrom von 1/5 der Nennkapazität und für das Hauptladen 10 Stunden angesetzt.

Zur Zeitspanne des Nachladens, oder ob das Beenden des Nachladens stromabhängig ist, macht CTEK™ leider keine konkreten Angaben. Aus einer kleinen Grafik kann man ersehen, dass das Nachladen fast so lange dauert wie das Hauptladen. Deshalb kann man wohl von einem zeitgesteuerten Nachladen ausgehen. Das ist aber sehr nachteilig, wenn ein teilentladener Akku geladen wird. Er bliebe viel zu lange in der Nachladephase.

CTEK™ hat unter der Bezeichnung MULTI XS 700 noch einen 7 A Ladeautomaten im Lieferprogramm, er kostet ca. 150 EUR incl. MwSt. Zu beziehen u.a. bei ATU, Autoteile Unger, vertreten in allen größeren deutschen Städten. Ich habe keinen CETEK™ Ladeautomaten gekauft. Der Ladeautomat mit 3,6 A war mir zu schwach und der 7 A Ladeautomat zu teuer. Für fast den gleichen Preis gibt es bessere Ladeautomaten mit doppeltem Ladestrom, siehe „WAECO Ladeautomaten“.

IVT Ladeautomaten

Hersteller	IVT, Hirschau
Typ	3-Stufen Automatik- Lader 4/8 A
Vertrieb	U.a. CONRAD Hirschau, Bestell Nr. 510428, ELV Leer, Bestell Nr. 542-02
Akkutypen	Nass und Gel, keine Angabe zum Vliesakku
Akkukapazität	Keine Angabe, siehe unten
Spannung	230 V
Ladeschlussspannung	14,7 V
Erhaltungsladespannung	13,8 V
Nachladezeit	Fest 1 Stunde
Rückstrom	Keine Angabe, gemessen 2 mA
Ladestrom	4 /8 A umschaltbar
Ladekennlinie	I _U O _U , mit festgelegtem einstündigen Nachladen
Regelung	Elektronisch, Netzspannungsschwankungen werden ausgeglichen
Ladeanzeige	3farbige LED, rot = Hauptladen, gelb = Nachladen, grün = Erhaltungsladen.
Lüfter	Integriert, die Drehzahl ist abhängig von Temperatur und Ladestrom
Restwelligkeit	Keine Angabe
Aufbau	Primär getaktet
Stromausfall	Keine Angabe, deshalb geprüft. Beim Hauptladen wird der Akku anschließend weiter geladen. Beim Nachladen und Erhaltungsladen und einem Stromausfall > 2 Sekunden wird das einstündige Nachladen neu gestartet.
Umgebungstemperatur	Max. 50°C
Schutzart	Nur für trockene staubfreie Räume geeignet
Kurzschlussfest	1 Minute
Verpolungssicher	1 Minute
Abmessungen	B 110 x H 50 x T 150 mm
Gewicht	1 kg
Ladekabel	Liegen bei
Preis	59,95 EUR incl. MwSt.

Da mir zum Laden meiner vielen Akkus preisgünstige Ladeautomaten fehlten, bezog ich über die Fa. ELV, Leer, 3 IVT „3-Stufen-Automatik-Lader 4/8A“. Bei der Lieferung der originalverpackten Ladeautomaten waren an einem Gerät die 4 Befestigungsschrauben für das Gehäuseoberteil durch schräges Hereinschrauben nur halb eingeschraubt und die Schraubenköpfe total überdreht. Im Bereich der Befestigungsschrauben waren Kratzspuren vom unsachgemäßen Entfernen der Schrauben (vermutlich durch eine Kombizange verursacht). Beim zweiten Ladeautomat fehlten die 4 Befestigungsschrauben sogar ganz. Das Gehäuseoberteil ließ sich einfach abnehmen. Das war sehr gefährlich

weil die losen Gehäuseoberteile nicht mehr fest mit der Schutz Erde des unteren Gehäuses verbunden waren. Beide Ladeautomaten waren einwandfrei Reklamationsrückläufer, die unsachgemäß repariert wurden. Sie stammten aus der 2002er und 2003er Fertigung, hatten ein anderes Gehäuseoberteil und von außen sichtbar andere Bestückungen als der 3. im Jahr 2004 gefertigte Ladeautomat, bei dem das Gehäuseoberteil ordnungsgemäß befestigt war. Bei einer gut funktionierenden Endkontrolle darf so etwas absolut nicht passieren. Weil ich die Ladeautomaten dringend benötigte habe ich von einem Umtausch abgesehen und die Gehäuseoberteile angeschraubt.

Die Bezeichnung 3-Stufen-Automatik-Lader besagt folgendes: 1. wird der Akku mit konstantem Strom (I) bis zum Erreichen der Ladeschlussspannung geladen, dann erfolgt 2. bei konstanter Ladeschlussspannung (U_0) für 1 Stunde das Nachladen, danach wird 3. automatisch auf die niedrigere Erhaltungsladespannung (U) umgeschaltet. Der Akku kann über lange Zeit am Ladeautomaten angeschlossen bleiben. Als Besonderheit erwähnt IVT die erhöhte Ladeschlussspannung von 14,7 V. Das kontrollierte Gaseinströmen soll die Bildung von Sulfatschichten vermeiden und das Akkuleben verlängern. Achtung: Das Gerät hat keinen Temperaturfühler zur Änderung der Ladeschlussspannung.

Zu den anschließbaren Akkukapazitäten macht IVT leider keine Angaben. Der Ladestrom ist von 4 A auf 8 A umschaltbar. Beim Schnellladen mit einem max. Ladestrom von 1/5 der Akkukapazität und dem Hauptladeschluss beim Normalladen nach 10 Stunden ist das Gerät für Akkus mit folgenden Kapazitäten geeignet: Beim 4 A Ladestrom für Akkus von 20 Ah bis 40 Ah und beim 8 A Ladestrom für Akkus von 40 Ah bis 80 Ah. Der IVT „3-Stufen-Automatik-Lader 4/8A“ ist der preisgünstigste der von mir getesteten Ladeautomaten. Natürlich hat er bei dem günstigen Preis auch seine Nachteile:

1. Der Ladeautomat ist nicht für alle Akkutypen geeignet. Er hat nur die feste Ladeschlussspannung von 14,7 V.
2. Das Nachladen wird nicht beendet wenn der Ladestrom seinen Minimalwert erreicht., das Nachladen dauert immer eine Stunde.
3. Das festgelegte einstündige Nachladen ist für viele Akkutypen zu kurz.
4. Nach jedem Stromausfall, auch beim auf 100% vollgeladenen Akku, wird immer wieder das 1stündige Nachladen mit 14,7 V neu gestartet. Das kann den Akku überladen.
5. Das Gerät hat keinen Temperaturfühler für optimales Laden im Sommer und Winter mit Änderung der Ladeschluss- und Erhaltungsladespannung.

Die Toleranzen der 3 Ladeautomaten waren bei der Ladeschlussspannung, der Erhaltungsladespannung und beim Ladestrom für das Laden eines Akkus vertretbar. Zum Einzelladen von Akkus in Reihenschaltung beim 24 V/36 V Betrieb müssen die Ladeautomaten aber wesentlich besser kalibriert sein, um Ungleichgewichte zwischen den Akkus zu vermeiden. Entsprechende Trimpotis sind vorhanden, aber von außen nicht zugänglich.

IVT fertigt den „3-Stufen-Automatik-Lader“ auch mit niedrigeren Ladeströmen. Die Fa. CONRAD, Hirschau liefert ihn mit 0,5 A für 29,95 EUR und mit 2,5 A für 44,95 EUR. Mit 3 A/6 A ist er für 49,95 EUR u.a. bei CONRAD, Hirschau und ELV, Leer lieferbar. Alle Preise sind incl. MwSt. Achtung: IVT fertigt auch Ladeautomaten unter der Bezeichnung „Automatik-Bleiakkuladegerät“. Diese Gerätegruppe lädt zyklisch. Bis zum Erreichen der Ladeschlussspannung wird geladen, dann wird der Ladestrom abgeschaltet und beim Erreichen einer niedrigeren Einschaltspannung (ca. 13 V) wird wieder geladen. Beim Erhaltungsladen kann man diese Ladeart einsetzen (Kennlinienanhang Up), aber nicht zum Hauptladen. Das Aufladen auf 100% dauert mit diesen Geräten viiiiiiell zu lange.

WAECO Ladeautomaten

WAECO International, 48282 Emsdetten, Tel. 02572-8790 (www.waeco.de) fertigt leistungsstarke Ladeautomaten unter dem Label „mobitronic“ als „IUOU-Automatik-Lader“. Es sind primärgetaktete Ladeautomaten für 12 V oder 24 V Nass- Gel- und Vliesakkus, mit einem Ladestrom von 15 A bis 45 A für 12 V Akkus und 8 A bis 25 A für 24 V Akkus. Der Ladestrom lässt sich bei jedem Gerät absenken. Je nach Ausführung besteht die Möglichkeit bis zu 3 Akkus parallel zu Laden. Alle Geräte haben ein stabiles Alu-Profilgehäuse und einen automatisch einschaltenden Lüfter.

Als Zubehör gibt es die Fernbedienung 900-RC für EUR 19,90 incl. MwSt. und was besonders wichtig ist, den Temperaturfühler TF-500 für EUR 18,90 incl. MwSt. Mit dem am Akku angebrachten Tempe-

raturfühler regelt der Ladeautomat je nach der Umgebungstemperatur die Ladeschlussspannung rauf oder runter. Die Akkus werden damit im Sommer und im Winter immer optimal geladen. WAECO benennt auf Anfrage Händler in der Nähe des Wohnortes.

Nachfolgend die Daten der lieferbaren WAECO „mobitronic IUOU-Automatik-Lader“:

Typ	915-012TA
Anschließbare Akkus	Einer
Ladbare Akkutypen	Starter, Solar, Beleuchtung, Antrieb, Nass, Gel, Vlies, AGM, usw.
Spannungsbereich	207 - 253 V AC / 50 - 60 Hz
Aufbau	Primär getaktet
Regelung	Elektronisch, Netzspannungsschwankungen werden ausgeglichen
Ladekennlinie	IUoU, modifiziert
Max. Ladestrom	15 A +- 0,5 A, bzw. 7,5 A +- 0,5 A im Sleep-Modus
Max. Akkukapazität	150 Ah
Ladeschlussspannungen	einstellbar auf 13,8 V, 14,4 V und 14,8 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung	13,8 V +- 0,05 V
Umschaltung vom Nachladen zum Erhaltungsladen	Ladestromabhängig, wenn der Ladestrom seinen Minimalwert erreicht. Zusätzlich ist die zeitliche Begrenzung beim Nachladen auf 4 oder 8 Stunden einschaltbar.
Sleep-Modus	Der Ladestrom wird halbiert und der Lüfter abgeschaltet
Ladeanzeige	3farbige LED, rot = Hauptladen, gelb = Nachladen, grün = Erhaltungsladen
Einzelladen	Ja, Akkus in Reihenschaltung beim 24V/36V Betrieb können einzeln geladen werden. Die Verbindungsleitungen zwischen den Akkus brauchen beim Einzelladen nicht getrennt werden.
Netzteilbetrieb	ja, konstant 13,8 V mit max. 7,5 A oder 15 A
Lüfter	Integriert, einschaltend bei Innentemperatur über 60° C
Betriebstemperatur	0°C - 50°C
Abmessungen	B 200 x H 60 x T 260 mm
Gewicht	2,4 kg
Qualitätsmerkmale	Überlast- und Kurzschlusschutz
Prüfzeichen	CE, TÜV, DIN ISO 9001
Sonderzubehör	Fernbedienung 900-RC EUR 19,90, Temperaturfühler TF-500 EUR 18,90
Preis	188,00 EUR incl. MwSt.

Damit die Auflistung der weiteren WAECO Ladeautomaten übersichtlicher wird, führe ich nur noch die Unterschiede auf.

Typ	908-024TA
Anschließbare Akkus	Einer
Ladeschlussspannungen	27,6 V, 28,8 V, 29,6 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung	27,6 V +- 0,05 V
Max. Akkukapazität	100 Ah
Max. Ladestrom	8 A +- 0,3 A
Abmessungen	B 200 x H 60 x T 260 mm
Gewicht	2,4 kg
Preis	188,00 EUR incl. MwSt.

Typ	915-012TB
Anschließbare Akkus	Einer, plus Starterakku
Ladeschlussspannungen	13,8 V, 14,4 V, 14,8 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung	13,8 V +- 0,05 V
Max. Akkukapazität	150 Ah
Max. Ladestrom	15 A +- 0,5 A
Abmessungen	B 200 x H 60 x T 260 mm
Gewicht	2,4 kg
Preis	198,00 EUR incl. MwSt.

Typ 925-012TB
Anschließbare Akkus Zwei
Ladeschlussspannungen 13,8 V, 14,4 V, 14,8 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung 13,8 V +- 0,05 V
Max. Akkukapazität 300 Ah
Max. Ladestrom 25 A +- 0,5 A
Abmessungen B 240 x H 80 x T 310 mm
Gewicht 3,5 kg
Preis 298 EUR incl. MwSt.

Typ 915-024TB
Anschließbare Akkus Zwei
Ladeschlussspannungen 27,6 V, 28,8 V, 29,6 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung 27,6 V +- 0,05 V
Max. Akkukapazität 200 Ah
Max. Ladestrom 15 A +- 0,5 A
Abmessungen B 200 x H 60 x T 260 mm
Gewicht 2,4 kg
Preis 285,00 EUR incl. MwSt.

Typ 945-012TB
Anschließbare Akkus Zwei
Ladeschlussspannungen 13,8 V, 14,4 V, 14,8 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung 13,8 V +- 0,05 V
Max. Akkukapazität 500 Ah
Max. Ladestrom 45 A +- 1 A
Abmessungen B 230 x H 108 x T 325 mm
Gewicht 4,2 kg
Preis 558,00 EUR incl. MwSt.

Typ 925-024TB
Anschließbare Akkus Zwei
Ladeschlussspannungen 27,6 V, 28,8 V, 29,6 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung 27,6 V +- 0,05 V
Max. Akkukapazität 300 Ah
Max. Ladestrom 25 A +- 0,5 A
Abmessungen B 230 x H 108 x T 325 mm
Gewicht 4,2 kg
Preis 498,00 EUR incl. MwSt.

Typ 925-012TC
Anschließbare Akkus Zwei, plus Starterakku
Ladeschlussspannungen 13,8 V, 14,4 V, 14,8 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung 13,8 V +- 0,05 V
Max. Akkukapazität 300 Ah
Max. Ladestrom 25 A +- 0,5 A
Abmessungen B 240 x H 80 x T 310 mm
Gewicht 3,5 kg
Preis 308,00 EUR incl. MwSt.

Typ 915-024TC
Anschließbare Akkus Zwei, plus Starterakku
Ladeschlussspannungen 27,6 V, 28,8 V, 29,6 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung 27,6 V +- 0,05 V
Max. Akkukapazität 200 Ah
Max. Ladestrom 15 A +- 0,5 A
Abmessungen B 240 x H 80 x T 310 mm
Gewicht 3,5 kg
Preis 295,00 EUR incl. MwSt.

Typ	945-012TC
Anschließbare Akkus	Drei
Ladeschlussspannungen	13,8 V, 14,4 V, 14,8 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung	13,8 V +- 0,05 V
Max. Akkukapazität	500 Ah
Max. Ladestrom	45 A +- 1 A
Abmessungen	B 230 x H 108 x T 325 mm
Gewicht	4,2 kg
Preis	578,00 EUR incl. MwSt.

Typ	925-024TC
Anschließbare Akkus	Drei
Ladeschlussspannungen	27,6 V, 28,8 V, 29,6 V +- 0,05 V
Erhaltungsladespannung	27,6 V +- 0,05 V
Max. Akkukapazität	300 Ah
Max. Ladestrom	25 A +- 0,5 A
Abmessungen	B 230 x H 108 x T 325 mm
Gewicht	4,2 kg
Preis	518,00 EUR incl. MwSt.

Achtung: Bei den Ladeautomaten die zum gleichzeitigen Laden mehrerer Akkus ausgelegt sind, werden die Minuspole aller Akkus miteinander verbunden. Deshalb können sie nicht bei einer Reihenschaltung von 2 oder 3 Akkus beim 24/36 V Betrieb zum Einzelladen verwendet werden. Sollen in Reihe geschaltete Akkus einzeln geladen werden, dann ist für jeden Akku ein Ladeautomat, z.B. Typ 915-012TA mit 7/15 A Ladestrom und Anschluss für 1 Akku einzusetzen.

Leider macht WAECO keine Angaben zur minimalen Akkukapazität. Geht man beim Schnellladen von einem sanften Ladestrom von 1/5 der Akkukapazität aus, dann ist der 15 A Ladeautomat 915-012TA bei eingeschaltetem Sleep-Modus für Akkus ab 35 Ah und bei ausgeschaltetem Sleep-Modus für Akkus ab 75 Ah geeignet. Akkus die zum Schnellladen geeignet sind, lassen sich ab 20 Ah laden.

Die Ladeautomaten haben Schalter für folgende Funktionen:

1. Die Ladeschlussspannung von 13,8 V z.B. für alte Starterakkus.
2. Die Ladeschlussspannung von 14,4 V z.B. für Nass- und Gelakkus.
3. Die Ladeschlussspannung von 14,8 V z.B. für Vliesakkus.
4. Die Nachladezeit lässt sich auf 4 Stunden oder 8 Stunden einstellen.
5. Die Netzteilfunktion, damit wird aus dem Ladeautomaten ein leistungsstarkes Netzteil.
6. Eine Buchse zum Anschließen des Temperaturfühlers (Zubehör) zum optimalen Laden bei allen Temperaturen.

Zum Lieferumfang der Ladeautomaten gehören keine Ladekabel. Folgende Querschnitte werden empfohlen: Für die 45 A Ladeautomaten 25 mm² - 30 mm², für die 25 A Ladeautomaten 16 mm² - 25 mm², für die 15 A Ladeautomaten 6 mm² - 10 mm² und für den zusätzlichen Anschluss des Starterakkus 1 mm² - 2,5 mm². Die Ladeautomaten sind rückstromfest, sie können deshalb immer am Akku angeschlossen bleiben, auch im ausgeschalteten Zustand und beim Reiheladen. Der Rückstrom ist ca. 9 mA.

WAECO fertigt auch ein primärgetaktetes halbautomatisches Ladegerät mit der IU Kennlinie. Um ein Überladen zu vermeiden, muss bei dieser Ladeart der Akku am Ladeende abgeklemmt werden, sonst wird er überladen.

Typ	mobitronic IU-Kompaktlader 8 A Nr. 808-012
Eingangsspannungsbereich	180 V - 250 V AC
Ausgangsspannung	14,1 V DC
Ladestrom	8 A
Kennlinie	IU
Abmessungen	B 120 x H 70 x T 200 mm
Gewicht	0,9 kg
Qualitätsmerkmale	Verpolungsschutz, Überlastschutz, Kurzschlusschutz, primärgetaktet

Prüfzeichen	GS, CE
Preis	79,00 EUR incl. MwSt.

WAECO fertigt auch sehr preiswerte Ladegeräte mit der Wa-Kennlinie unter der Bezeichnung „mobitronic Battery Charger“ mit einem Ladestrom von 6 - 20 A für 12 V Akkus und 10 A für 24 Akkus. Die Preisspanne liegt zwischen 30,00 EUR und 79,00 EUR incl. MwSt. Achtung: Diese Ladegeräte sind absolut nicht mit dem WAECO „mobitronic IUOU-Automatik-Lader“ vergleichbar.

Ich hatte schon früher den WAECO „mobitronic IUOU-Automatik-Lader“ 915-012-D für einen 12 V Akku mit einem Ladestrom von 15 A und den Temperaturfühler T-500 im Einsatz. Der Ladeautomat arbeitete mit dem Temperaturfühler bei unterschiedlichen Temperaturen einwandfrei. Der Ladestrom, die Ladeschlussspannung, das Nachladen und das Erhaltungsladen waren bei allen Temperaturen optimal. Dieser Ladeautomat ist ein heute veraltetes Gerät. Der vergleichbare Ladeautomat der neuen Generation ist der 915-012TA mit vielen Vorteilen. Er hat u.a. eine modifizierte IUoU Kennlinie, die Umschaltungen der Ladeschlussspannung für alle Akkutypen, den Sleep-Modus mit der Ladestromabsenkung und die zeitlichen Begrenzungen beim Nachladen. Da ich leistungsstarke und universelle Ladeautomaten benötigte, entschloss ich mich für 3 WAECO 15 A „mobitronic IUOU-Automatik-Lader 915-012TA“ der neuen Generation mit modifizierter IUoU Kennlinie und 3 Temperaturfühler TF-500.

.....
.....



Bilderklärung

3 WAECO Ladeautomaten 915-012TA platzsparend übereinander montiert zum Einzelladen von 3 in Reihe geschalteten 12 V Akkus je 120 Ah im 36 V Betrieb.

.....

.....

Der Preis von 180,00 EUR incl. MwSt. für den 915-012TA Ladeautomaten erscheint im ersten Moment recht hoch, aber er lohnt sich bei den vielen Vorteilen:

1. Der Ladeautomat lässt sich auf alle Akkutypen einstellen, wie Starter, Solar, Antrieb, Beleuchtung, Nass, Gel, Vlies, AGM, usw.
2. Mit dem 15 A Ladeautomaten lassen sich Akkus im Sleep-Modus mit Kapazitäten ab 35 Ah und im Normal-Modus ab 75 Ah laden. Akkus bei denen das Schnellladen zugelassen ist lassen sich schon ab 20 Ah laden. Die max. ladbare Akkukapazität ist 150 Ah.
3. Mit dem Sleep-Modus wird der Ladestrom halbiert und der Lüfter abgeschaltet. Das ist sehr angenehm, wenn der Akku nachts im Wohnbereich geladen wird.

4. Der Ladeautomat hat ein zusätzliches Ladeprogramm für alte Starterakkus.
5. Der Ladevorgang ist zeitlich optimiert. Der Akku wird beim Hauptladen und Nachladen nur solange geladen wie es notwendig ist. Das ist beim teilentladenen Akku wichtig. Ladeautomaten mit fester Nachladezeit brauchen auch für einen teilentladenen Akku immer die gleich lange Ladezeit und können den Akku überladen.
6. Die automatische Umschaltung vom Hauptladen zum Nachladen erfolgt wenn der Ladestrom so weit abgenommen hat, dass er den Minimalwert erreicht. Akkus an denen Verbraucher angeschlossen sind oder altersschwache Akkus können den Minimalwert nicht erreichen. Damit diese Akkus nicht überladen werden, kann man die Nachladezeit auf 4 oder 8 Stunden begrenzen. Damit ist ein Überladen absolut ausgeschlossen.
7. Nach einem Stromausfall wird jeder Akku so weitergeladen, als hätte es keinen Stromausfall gegeben. Ladeautomaten mit festgelegter Nachladezeit ohne Messung des Ladestroms wie z.B. der IVT „3-Stufen-Automatik-Lader 4/8A“ starten nach jedem Stromausfall, selbst beim vollgeladenen Akku, das zeitlich festgelegte Nachladen neu. Obwohl der Akku schon auf 100% aufgeladen war, wird er nach jedem Stromausfall wieder stark in die Gasung gebracht. Das kann mit einem WAECO Ladeautomaten nicht passieren.
8. Mit dem Temperaturfühler (Zubehör) wird der Akku bei jeder Temperatur im Sommer und Winter immer optimal geladen.
9. Die Ladeautomaten sind für das Einzelladen von in Reihe geschalteten Akkus sehr gut geeignet. Der Ladestrom, die Ladeschlussspannung und die Erhaltungsladespannung sind extrem eng kalibriert, damit werden Unterschiede zwischen den in Reihe geschalteten Akkus vermieden.
10. Der Akku kann beliebig lange am Ladeautomaten angeschlossen bleiben.
11. Mit einem Schalter lässt sich der Ladeautomat zum leistungsstarken 13,8 V Netzteil mit 7,5 A oder 15 A umschalten. Damit kann man den Motor der Gartenbahn testen oder ihn für andere Stromversorgungen mit hoher Leistung nutzen.

Schlussbemerkungen

In den elektrisch betriebenen Gartenbahnen werden überwiegend nasse Starterakkus, nasse Antriebsakkus, Gel-Antriebsakkus und Vlies-Antriebsakkus eingesetzt. Jetzt sollte man meinen, dass alle Akkuhersteller für die 4 Akkutypen die gleichen Lade- und Entladedaten angeben. Nein, jeder Hersteller hat für den gleichen Akkutyp seine eigenen Lade- und Entladedaten.

In Wirklichkeit ist es noch viel komplizierter. Zum optimalen Laden von nassen Antriebsakkus nannte mir der Hersteller vor dem Kauf der Akkus die entsprechende Ladekennlinie und Ladespannungen. Die Akkus hatten nach wenigen Zyklen keine Kapazität mehr und wurden von mir reklamiert. Für die neuen Akkus nannte mir der Hersteller eine 2. Ladekennlinie mit anderen Ladespannungen. Aber auch die damit geladenen Akkus hielten nur wenige Zyklen. Für den 3. Akkusatz sollte ich wieder eine andere Ladekennlinie benutzen. Wohlgermerkt, es waren immer Akkus vom gleichen Typ und der Hersteller gab mir dafür 3 völlig unterschiedliche Ladekennlinien und Ladespannungen an. Ich habe sehr viele Ladegeräte, hatte aber nicht den Ladeexoten der die Akkus mit der 3. angegebenen Ladekennlinie lädt. Ich bat deshalb den Akkuhersteller um leihweise Überlassung eines Ladegerätes, das die entsprechende Ladekennlinie und Ladespannung hat. Der Hersteller hatte das Ladegerät selbst nicht. Er kann seine eigenen Akkus nicht mit der von ihm vorgeschlagenen Ladekennlinie testen, das ist unglaublich! Der Akkuhersteller ist kein „kleiner Krauter“ sondern ein weltweiter Konzern der Akkus aller Art herstellt. Also baute ich mir ein Ladegerät das die Akkus mit der 3. vom Hersteller angegebenen Kennlinie laden konnte. „Kochende“ Akkus waren das Ergebnis. Um das abzustellen sollte ich eine 4. Ladekennlinie versuchen, die ich aber verständlicher Weise nicht mehr ausprobierte. Unter diesen Umständen bitte ich um Verständnis, dass mein Bericht nur beispielhaft sein kann, zu beachtende Unterschiede beim Laden und Entladen aufzeigt und ohne jegliche Gewähr ist. Wenn ich Angaben aus Datenblättern verwendet habe sind sie auf Richtigkeit zu überprüfen.

Tipp: Bevor ein unbekannter Ladeautomat gekauft wird, sollte man die vom Akkuhersteller vorgegebene (richtige!!!) Ladekennlinie und die (richtigen!!!) Ladespannungen kennen und den Ladeautomaten auf seine Eignung prüfen. Das sind folgende wichtige Punkte:

1. Die Ladekennlinie
2. Der Hauptladestrom
3. Die Ladeschlussspannung
4. Die Erhaltungsladespannung
5. Wenn der Akku im Außenbereich geladen wird, die temperaturabhängige Ladeschluss- und Erhaltungsladespannung für Temperaturen zwischen -15°C und $+35^{\circ}\text{C}$.
6. Bei welchem Ladestrom soll vom Nachladen zum Erhaltungsladen umgeschaltet werden? Ist die Nachladezeit zusätzlich zeitlich zu begrenzen? Wie lange ist die Zeit?
Alternativ wenn der Ladeautomat den Ladestrom beim Nachladen nicht messen kann um automatisch zum Erhaltungsladen umzuschalten: Nach welcher Nachladezeit soll der Ladeautomat das Erhaltungsladen starten?
7. Ist das dauernde Erhaltungsladen mit abgesenkter Spannung erlaubt?
Alternativ: Ist das gepulste Erhaltungsladen beim Spannungsabfall des Akkus erlaubt? Dann die Angabe der Einschaltspannung bei der das gepulste Erhaltungsladen starten soll.
Alternativ: Ist das gepulste Erhaltungsladen zeitlich zu steuern? Dann die Zeiten für das Ein- und Ausschalten des Erhaltungsladens.
8. Der Innenwiderstand des Akkus. Damit lässt sich der Spannungsabfall im Akku für jeden Entladestrom berechnen.
9. Die Kapazität die der Akku unter Fahrbedingung beim Motorstrom von ? A hat.
10. Ganz wichtig ist die Angabe der Entladeschlussspannung, um den Akku nicht durch Tiefentladung

zu beschädigen.

11. Interessant ist auch die Anzahl der Ladezyklen bei Entladungen unter Fahrbedingung mit ? A bis zur Entladeschlussspannung von ? Volt.

Die Punkte 8 - 11 interessieren den Ladegerät-Verkäufer natürlich nicht. Leider mangelt es oft an fachkundiger Beratung im Handel beim Kauf eines Ladegerätes. Besonders dann, wenn man die konkreten Ladedaten angibt. Setzen Sie sich deshalb besser mit dem Hersteller oder Importeur des Ihnen empfohlenen Ladegerätes in Verbindung. Legen Sie ihm die Ladedaten des Akkuherstellers vor und lassen Sie ihn das Ladegerät als dafür geeignet bestätigen. Es geht auch anders. Lassen Sie sich von dem empfohlenen Ladegerät die Daten geben und bitten Sie den Akkuhersteller um sein ok, oder fragen Sie den Akkuhersteller nach dem optimalen Ladegerät für seine Akkus. Das ist zwar der einfachste Weg, aber vermutlich auch der teuerste weil der Akkuhersteller bestimmt ein hochwertiges Ladegerät für den professionellen industriellen Einsatz vorschlagen wird. Oder er kennt kein Ladegerät, das seinen Anforderungen entspricht (siehe oben).

Am Besten alles schriftlich geben lassen, das ist im Gewährleistungsfall beim defekten Akku immer von Vorteil. Ich schreibe das nicht ohne Grund. Von Juni 2004 bis September 2004 hatte ich 12 Antriebsakkus wegen Kapazitätsverlust und frühzeitigem Ausfall reklamiert. Hätte ich nicht nachweisen können, dass ich die Akkus nach Herstellerangabe geladen und entladen hatte, dann säße ich jetzt auf einem großen und sehr teuer bezahlten Haufen Sondermüll. Jetzt kommt das Unglaubliche was wirklich niemals passieren darf: 6 der von mir wegen Kapazitätsverlust reklamierten Akkus hat der Händler nicht an den Hersteller zur Reklamation zurückgegeben, er hat sie sofort wieder als neue einwandfreie Akkus weiterverkauft, das versicherte mir der Akkuhersteller. Deshalb mein Tipp: Seien Sie vorsichtig beim Kauf eines Akkus. Wenn Gebrauchsspuren, eingefüllte Säure und andere Hinweise, wie z.B. Schmorstellen an den Akkupolen, auf einen gebrauchten Akku schließen lassen, sollten Sie den Akku nicht kaufen.

Nachtrag

Zur Zeit teste ich neu entwickelte 12 V 120 Ah Vliesakkus mit hohem Entladestrom. Die Akkus haben die gleichen Abmessungen wie die bisher gefertigten 100 Ah Akkus. Bei dem neuen Typ wurden die Bleiplatten und Vliese noch dichter gepackt um die hohe Kapazität auf gleichem Raum zu erreichen. Die Angaben im dem mir vorliegenden Datenblatt sind faszinierend. Nachfolgend die wichtigsten Auszüge:

Für den Test werden neue Akkus verwendet, die 24 Stunden vorher mit einer Spannung von 14,5 V bis 14,9 V und einem Anfangsladestrom von weniger als 30 A geladen worden sind.

Temperatur	25 +-5°C		
Luftfeuchtigkeit	25 - 85% rel.		
Luftdruck	86 - 106 kPa		
Entladeschlussspannung	Die Entladeschlussspannung des Akkus darf den vorgegeben Wert nicht unterschreiten. Wiederholte Tiefentladung kann zu Kapazitätsverlust führen.		
Entladestrom	Entladeschlussspannung		
< 12 A	10,8 V		
12 A < 60 A	10,5 V		
60 A < 120 A	10,2 V		
>= 120 A	9,6V		
Temperatur	Kapazität		
40°C	102%		
25°C	100%		
0°C	85%		
-15°C	65%		
Leerlaufspannung geladen	>= 13,02 V		
Die Kapazitätsangaben sind der Mittelwert aus 2 - 3 Messungen an neuen Akkus.			
Kapazität	Entladezeit	Entladestrom	Entladeschlussspannung
120 Ah	20 std.	6 A	10,5 V
110 Ah	10 std.	11 A	10,5 V
93 Ah	5 std.	18,7 A	10,5 V
71 Ah	1 std.	71 A	10,2 V
50 Ah	15 min.	200 A	9,6 V
Innenwiderstand	4 mOhm = 0,004 Ohm		
Hochstromentladung	3 Sekunden mit 450 A bleiben ohne Auswirkungen.		
Überladung	Vollgeladenen Akku 160 Stunden mit 3,6 A laden, kein Auslaufen, keine Explosion.		
Rekombinations- wirkungsgrad	>= 95%, wenn der vollgeladene Akku 96 Stunden mit 1,2 A geladen wird, danach mit 0,6 A für 1 Stunde geladen, und das Gas über 1 Stunde messen wird.		
Sicherheitsventil- Funktionsprüfung	10 - 20 kPa öffnend, <= 2 kPa schließend.		
Ausblasschutz	Vollgeladenen Akku mit Flamme prüfen, keine Explosion.		
Feuchtigkeitsschutz	Vollgeladener Akku in feuchter Umgebung, keine Säure ausgetreten.		
Kapazitätserhalt	>= 80%, beim vollgeladenen Akku nach 120tägiger Lagerung und Entladung mit 0,04 A.		
Ladezyklen	>= 250, gem. JISC 8702-1995,8.3.12		
Schwingungsfestigkeit	Der aufrechtstehende Akku wird mit einer Amplitude von 4 mm und einer Frequenz von 16,7 Hz für 60 Minuten beaufschlagt, dabei verhält er sich mechanisch und elektrisch normal.		
Stoßfestigkeit	Der aufrechtstehende Akku fällt dreimal aus 200 mm Höhe auf eine mindestens 10 mm starke Holzplatte, dabei verhält sich mechanisch und elektrisch normal.		
Ladeanweisungen	Der Akku ist nach dem Entladen sofort wieder aufzuladen. Laden mit konstanter Spannung wird empfohlen. Der max. Anfangsladestrom sollte 30 A nicht übersteigen. Die Ladespannung für den Zyklenbetrieb beträgt 14,4 V - 15 V und beim Standby-Betrieb 13,6 V - 13,8 V. Wenn die Akkus in Reihe		

Ladecharakteristik	oder parallel geschaltet werden, ist auf den richtigen Leiterquerschnitt zu achten. Der Akku darf nicht „auf dem Kopf stehend“ geladen werden. Der Akku benötigt ca. 110% der Entladeenergie zur Wiederaufladung. Konstantspannung 2,27 V - 2,3 V/Zelle (Erhaltungsladen). Zyklusspannung 2,4 V - 2,45 V/Zelle.
Temperatur-kompensation	Mit steigender Temperatur ist die Ladespannung zu reduzieren, um Überladen zu verhindern. Bei sinkender Temperatur sollte die Ladespannung erhöht werden um Unterladung zu verhindern. Der empfohlene Kompensationsfaktor beträgt im Bereitschafts-Paralell-Betrieb (Erhaltungsladen) 3 mV/°C je Zelle (18 mV beim 12 V Akku) und beim zyklischen Betrieb 4 mV/°C je Zelle (24 mV beim 12 V Akku). Die Bezugstemperatur ist 25°C.
Entladeanweisungen	Der Akku darf nicht entladen gelagert werden. Die Leerlaufspannung während der Lagerung darf 12 V nicht unterschreiten. Andernfalls kann die volle Kapazität und die Lebensdauer nicht erreicht werden. Der maximale Entlade-Konstantstrom beträgt 1.000 A. Für einen höheren Entladestrom ist vorher eine technische Beratung einzuholen. Um eine Tiefentladung des Akkus zu vermeiden, sollte die Entladeschlussspannung mehr als 9,6 V betragen
Lagerung	Die Lagerung der Akkus sollte außerhalb des Gerätes und ohne Verbindung zur Last oder dem Ladegerät erfolgen. Die Lagerung sollte in einem trocken und kühlen Raum erfolgen. Auch während der Lagerung altern die Akkus. Gelagerte Akkus sollten in Abständen eine Erhaltungsladung bekommen. Wir empfehlen:
Lagertemperatur	Ladeintervall
0°C bis 20°C	Alle 12 Monate
21°C bis 30 °C	Alle 9 Monate
31°C bis 40 °C	Alle 5 Monate
41°C bis 50°C	Alle 2,5 Monate, nur kurzzeitig zulässig
Gelagerte Akkus entladen sich selbst. Die Kapazität nimmt ohne Erhaltungsladung wie folgt ab (bei 20°C):	
Lagerzeit	Restkapazität
Nach 3 Monaten	90%
Nach 6 Monaten	80%
Nach 9 Monaten	60%

Den Verkaufspreis kenne ich noch nicht, die Akkus sollen aber vergleichsweise günstig angeboten werden. Nachstehend meine ersten Testergebnisse:

Testakkus	3 Stück Vliesakkus BTL-120S, 12 V 120 Ah/20std (71 Ah/1std) in 36 V Reihenschaltung. Sehr kleine Abmessungen L 330 x B 171 x H 222 mm. Vertrieb durch SWT, Emsdetten, weitere Info Tel. 02572-958534.
Ladetechnik	Einzelladen mit 3 Stück WAECO mobitronic IUOU-Automatik-Lader Typ 915-012TA mit 3 Temperaturfühlern TF-500, Ladestrom 15 A, Ladeprogramm eingestellt auf Vliesakku. Weitere Info zu den Ladeautomaten siehe oben unter „WAECO Ladeautomaten“ oder WAECO Tel. 02572-8790.
Testfahrzeug	Mini el Elektromobil, Baujahr 1992, weitere Info unter www.elweb.info , im Menü Projekte unter dieterwerner.
Entladestrom	Wechselnd zwischen 30 A und 130 A, max. Leistung 4.700 VA = 4,7 kW.
Abkürzungen	
Zykl.	Anzahl der Ladezyklen
Zeit	Dauer des Entladens
Ah	Entnommene Kapazität
A	Gemittelter Entladestrom

Zykl.	Datum	Zeit	Ah	A
1	27.09.2004	00:50:41	43,20	51,1
2	28.09.2004	01:41:14	64,58	38,3
3	29.09.2004	01:31:24	62,46	41,0
4	01.10.2004	01:16:21	52,77	41,5
5	04.10.2004	01:00:57	41,14	40,5

6	06.10.2004	01:00:47	45,98	45,4
7	07.10.2004	00:58:32	46,59	47,8
8	08.10.2004	01:13:10	49,69	40,7
9	08.10.2004	01:00:48	38,01	37,5
10	10.10.2004	00:58:35	42,08	43,1
11	10.10.2004	01:01:21	52,80	51,6
12	13.10.2004	00:53:19	38,20	43,0

Die vorstehenden Werte sind eine Auswahl meiner gesamten Testdaten. Die Zyklen 8 bis 11 machte ich bei der Hin- und Rückfahrt zum Abdampfen am 9.10.2004 zu den Hammer Modell- und Gartenbahnfreunden. Die Strecke Riesenbeck-Hamm-Riesenbeck ist 170 Kilometer, dazu benötigte ich als reine Fahrzeit 4:13:54, im Schnitt 40,3 km/h. Rein theoretisch hätte ich bei vorsichtiger Fahrweise den Hin- und Rückweg von je 85 km ohne Zwischenladen schaffen können. Weil ich die Akkus noch nie bis zur Entladeschlussspannung entladen hatte, entschloss ich mich unterwegs kurz nachzuladen. Der Tankwart wollte nicht glauben, dass ich kein Benzin sondern Strom benötigte. Pro Aufladen zahlte ich ihm 50 Cent. Das war sogar noch verhältnismäßig teuer, die Stromkosten liegen beim Normalladen bei ca. 75 Cent pro 100 km. Ich bin von der Leistung der Akkus begeistert. Sie sind extrem hochstromfest, selbst beim Entladestrom von 130 A bricht die Spannung nur gering ein. Hoffentlich bleiben sie auch im weiterem Test stabil und sind nicht so untauglich wie die nassen DETA DRIVEMOBIL[®] oder die SONNENSCHNEIN DRYFIT[®] Akkus, die diese Werte niemals erreichten und teilweise schon nach 5 Zyklen defekt waren. Den Test beende ich voraussichtlich Anfang 2005 um die Akkus auch bei Kälte zu prüfen. Dann werde ich bei jedem der 3 Akkus einzeln die Ist-Kapazität messen. Wenn es die Kapazität zulässt fahre ich mit dem Mini el am 19.3.2005 ohne Zwischenladen zum Abdampfen nach Hamm in den Maxi-Park. Wer näheres zum Test, zum Einsatz der Vliesakkus in der elektrisch betriebenen Gartenbahn und anderen Elektrofahrzeugen wissen möchte, kann mich anrufen. Auch bei allen anderen Rückfragen helfe ich gerne weiter, Tel. 05454-99858.

Alle Preisangaben sind unverbindliche Preisempfehlungen der genannten Firmen incl. der MwSt., Stand August 2004. Sollte ich Firmennamen oder Produkte mit geschützten Waren- und Markenzeichen wie [®] oder [™] verwendet und nicht ausdrücklich darauf hingewiesen haben, dann geschah das ohne jegliche Absicht. Alle Warenzeichen sind uneingeschränktes Eigentum ihrer jeweiligen Inhaber.