

6. Eigenschaften

Kapazität

$$[6.1] \quad C = I * t$$

C	=	Kapazität	[Ah]
I	=	Entladestrom	[A]
T	=	Entladezeit	[h]

Beispiel:

Eine Batterie 12 V / 48 Ah versorgt ein Fahrzeug, bei dem das Standlicht mit 5 Glühlampen à 5 W und 5 Glühlampen à 2 W eingeschaltet ist.

Berechnen Sie die Zeit die bis zur zulässigen Entladung verstreicht!

[16,46 h]

Die Batterie gilt als entladen, wenn bei einem Strom der einer 5- bis 20-stündiger Entladung entspricht, die Spannung pro Zelle auf 1,75 V gesunken ist. Eine tiefere Entladung ist für den Akkumulator schädlich.

Bei sehr hohen Entladeströmen und besonders bei tiefen Temperaturen gelten niedrigere Werte. So gilt für einen Strom, welcher dem dreifachen Kapazitätswert entspricht, bei -18°C eine zulässige Entladespannung von 1 V pro Zelle.

Es gibt verschiedene Arten der Kapazitätsangaben:

- C_{20} = Kapazität bei einer Entladezeit von 20 Stunden.
*Dieser Wert wird gemäss IEC 95-1 [4] als Nennkapazität C_n für Starterbatterien bezeichnet
Sie gilt für eine Temperatur von $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$.*
- C_{10} = Kapazität bei einer Entladezeit von 10 Stunden.
- C_5 = Kapazität bei einer Entladezeit von 5 Stunden.
Dieser Wert wird vor allem für Traktionsbatterien verwendet.
- C_1 = Kapazität bei einer Entladezeit von 1 Stunde.
Dieser Wert gilt für Elektrofahrzeuge.
- $C_{r,n}$ = Nenn-Reservekapazität. Dieser Wert gilt für eine Temperatur von $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
- $C_{r,e}$ = Effektive Reservekapazität
- C_{CC} = Kaltstartkapazität [3]

Die Kapazität einer Batterie ist von vielen Faktoren abhängig

- Temperatur
- Entlade-Stromstärke
- Entladezeit
- zulässige Entladespannung
- Säuremenge
- Säurekonzentration
- Dicke der Platten
- Plattenzahl pro Zelle
- Porosität der aktiven Masse
- Bleigitter-Konstruktion
- Bleigitter-Legierung

Die Kapazität ist keine konstante Grösse !

Kapazität in Funktion der Batterietemperatur

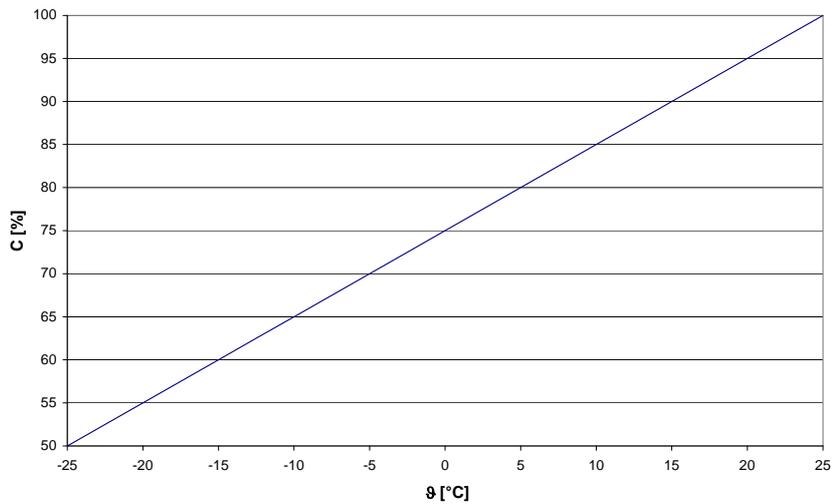


Bild 1: Kapazität in Funktion der Batterietemperatur

Feststellung:

Eine Temperaturänderung von 1°C bewirkt eine Kapazitätsänderung von 1 %.

Batteriekapazität in Funktion der Entladezeit einer Blei-Traktionsbatterie mit Gitterplatten

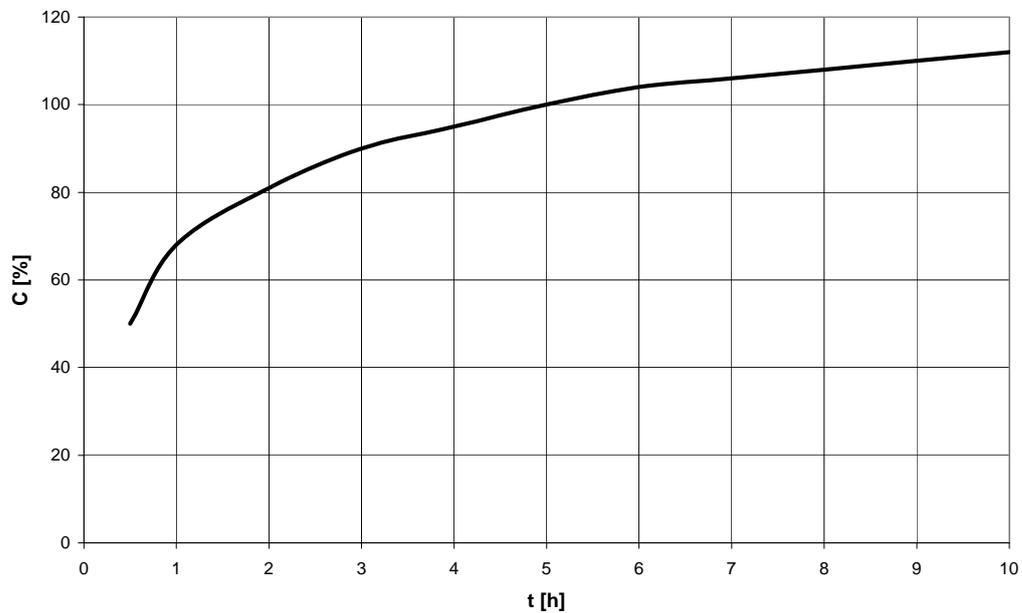


Bild 2: Kapazität in Funktion der Entladezeit

Vergleich einer Gitterplattenbatterie mit einer Röhrenplattenbatterie

Ein Vergleich der C_t -Kennlinien einer Gitterplattenbatterie und einer Röhrenplattenbatterie zeigt, dass sich die Gitterplatte besser für die Entladung mit hohen Strömen eignet.

Die Batterien von Elektrofahrzeugen entladen sich in 0,5 - 1 h. Bei einer Entladung in einer Zeit von 0,5 h ergibt dies folgendes Bild:

Gitterplattenbatterie	~50 % von C_{20}
Röhrenplattenbatterie	~20 % von C_{20}

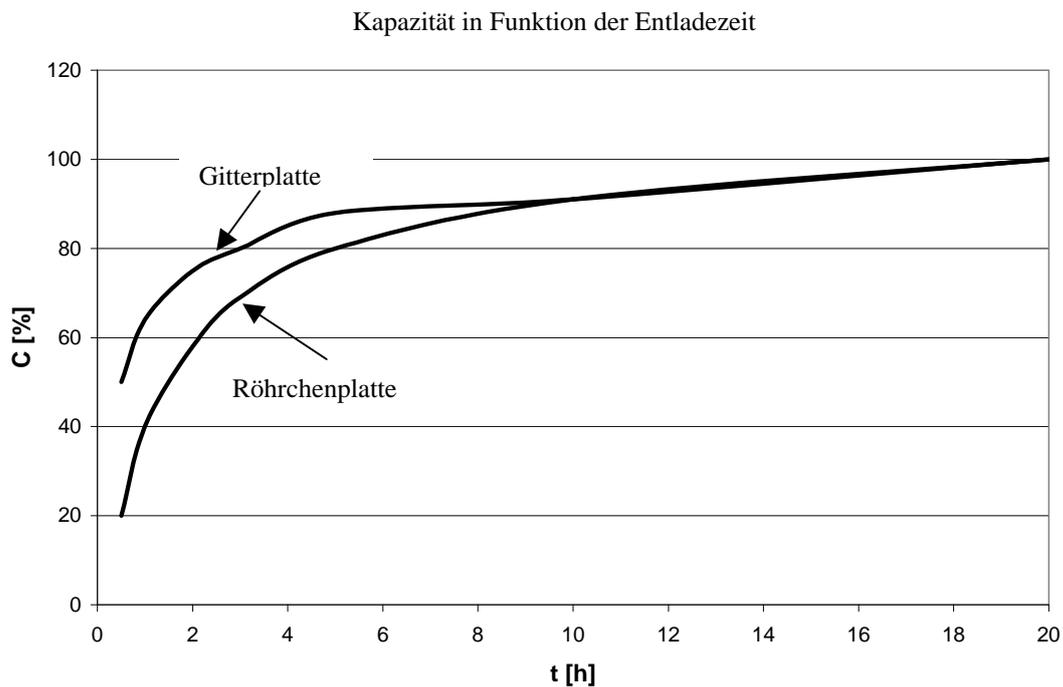


Bild 3: Vergleich der Kapazitätskennlinie einer Gitter- und Röhrenplattenbatterie.

Beispiel

Ein Elektrofahrzeug ist mit folgenden Bleigel-Batterien ausgerüstet:

Marke und Typ:	Sonnenschein dryfit A2000 08 1 90700 6N7G A 212/63 G
Nennspannung:	12 V
Nennkapazität C_{20} :	63 Ah
Masse:	23,1 kg
max. Belastung:	400 A
Anzahl Batterien:	14 in Serienschaltung

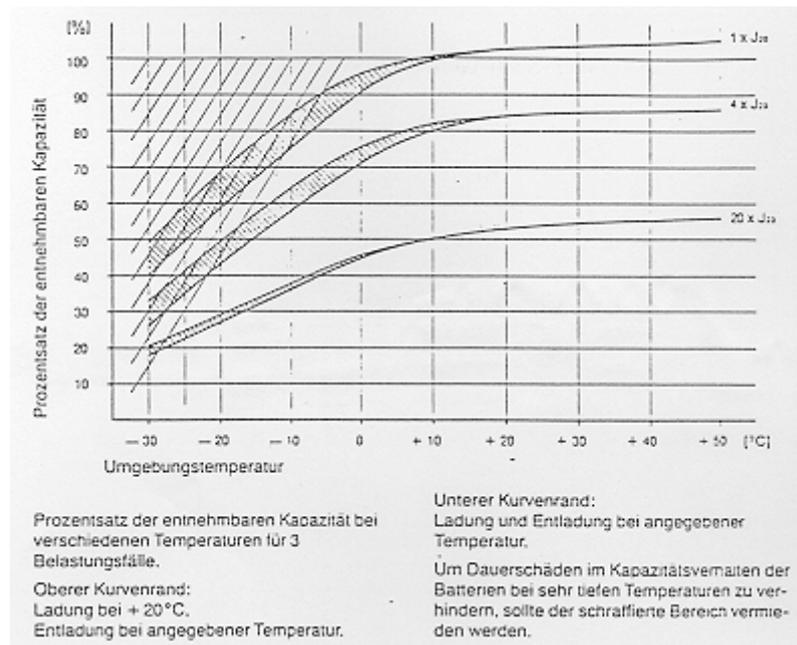


Bild 4: Kennlinien der Sonnenscheinbatterien

$$[6.2] \quad J_{20} = I_{20} = \frac{C_{20}}{20}$$

- Berechnen Sie die Gesamtmasse dieser 14 Batterien ! [323,4 kg]
- Berechnen Sie die gesamte Nennspannung dieser Antriebsbatterie ! [168 V]
- Bestimmen Sie die zulässige Entladedauer für einen Entladestrom von 60 A bei einer Temperatur von 30°C ! [0,56 h]
- Bestimmen Sie die zulässige Entladedauer für einen Entladestrom von 60 A bei einer Temperatur von -10°C ! [0,39 h]
- Bestimmen Sie in beiden Fällen die mögliche Fahrstrecke, wenn das Fahrzeug einen Energieverbrauch von 120 Wh/km ab Batterie aufweist ! [47,04/32,76 km]

Die Reservekapazität

Die Nenn-Reservekapazität $C_{r,n}$ [min]

Die Nenn-Reservekapazität ist die Zeit in Minuten, während der eine Starterbatterie mit einem konstanten Strom von $I = 25$ A bis zu einer Entladespannung von $U_f = 10,5$ V betrieben werden kann.

Dieser Wert gibt also an, wie lange man ein Fahrzeug noch benutzen kann, wenn der Alternator ausgefallen ist. Dabei wird ein Stromverbrauch von $I = 25$ A angenommen.

Die effektive Reservekapazität $C_{r,e}$ [min]

Für die Bestimmung der effektiven Reservekapazität $C_{r,e}$ muss die Batterie mit einem konstanten Strom von $I = 25$ A, bis zur zulässigen Entladespannung $U_f = 10,5$ V entladen werden.

Mit dieser Messung kann die Nenn-Reservekapazität überprüft werden.

Bestimmung der Kapazität C_{20}

$$[6.3] \quad C_{20} \approx -133,3 + \sqrt{17'778 + 208,3 C_r}$$

Diese Formel ergibt gute Näherungswerte für:

$$C_r \leq 480 \text{ min} \rightarrow C_{20} \leq 200 \text{ Ah}$$

Beachten Sie:

Dies ist eine empirische Formel. Sie kann nicht umgestellt und nach C_r aufgelöst werden. C_r kann nur durch das echte Entladen mit 25 A korrekt bestimmt werden.

Beispiel

Bestimmen Sie die Kapazität C_{20} einer Starterbatterie mit einer effektiven Reservekapazität von $C_{r,e} = 68$ min!

[45,42 Ah]

Beispiele

Die Starterbatterie Leclanché 6Pb 45-325A "Polybatt" hat folgende Daten: $U_N = 12 \text{ V}$, $C_{20} = 45 \text{ Ah}$, bei 20°C , $R_i = 0,013 \Omega$.

- Berechnen Sie die grösste Leistung, welche diese Batterie abgeben kann ! [2,769 kW]
- Berechnen Sie den Strom für eine Anlasserleistung von 1 kW, wenn das Anlasserkabel einen Widerstand von $1,5 \text{ m}\Omega$ aufweist ! [733,6 A/94,01 A]
- Wie gross wird die Klemmenspannung des Anlassers ? [1,363 V/10,64 V]
- Berechnen Sie die Reservekapazität der Batterie ! [108 min]
- Warum ergibt diese Berechnung ein anderes Resultat als das Beispiel der vorderen Seite ?

Der 4-Zylinder Motor M40 des BMW 318i benötigt bei 20°C ein Anlassdrehmoment von 40 Nm. Die Anlassdrehzahl des Motors soll mindestens 100 1/min erreichen. Der Vorgelege-Anlasser mit Permanentfeld nimmt bei einer Motordrehzahl von $n_M = 240 \text{ 1/min}$ einen Strom von $I = 130 \text{ A}$ auf.

Zähnezahl des Anlasserritzels: 9

Zähnezahl des Zahnkranzes auf dem Schwungrad: 114

Uebersetzungsverhältnis des Vorgeleges: 4,36

Als Spannungsquelle dient eine Starterbatterie mit folgenden Daten: $U_0 = 12,8 \text{ V}$, $K_{20} = 44 \text{ Ah}$, $C_1 = 27 \text{ Ah}$, Innenwiderstand bei 20°C , $R_i = 15 \text{ m}\Omega$.

Das Anlasserkabel hat eine Länge von 95 cm und einen Querschnitt von 16 mm^2 .

- Berechnen Sie das benötigte Drehmoment am Anlasserritzel! [3,158 Nm]
- Berechnen Sie die Mindestleistung, welche vom Anlasser abgegeben muss! [418,8 W]
- Berechnen Sie die effektiv erreichte, abgegebene Anlasserleistung! [1'005 W]
- Berechnen Sie den Leitungswiderstand des Anlasserkabels! [1,039 mΩ]
- Berechnen Sie die Klemmenspannung an der Batterie während dem Anlassen! [10,85 V]
- Berechnen Sie den Wirkungsgrad des Anlassers! [0,722]
- Berechnen Sie die Drehzahl des Anlasserankers! [13'260 1/min]
- Berechnen Sie die grösste Leistung, welche von der Batterie abgegeben werden kann! [2,731 kW]
- Berechnen Sie die Reservekapazität dieser Batterie! [64,8 min]

Spannung

- Man unterscheidet:
- Nennspannung
 - Ruhespannung
 - Betriebsspannung
 - zulässige Entladespannung

Nennspannung U_N

Die Nennspannung beträgt 2 V pro Zelle.

Ruhespannung, Quellenspannung U_0

Ruhespannung ist die Spannung bei unbelasteter Zelle. Das heisst, es fliesst kein Strom. Somit ist der Begriff Ruhespannung gleichbedeutend wie der Begriff Quellenspannung.

In der englischen Sprache wird dafür oft der Begriff „open circuit voltage OCV“ verwendet.

Weil die Ruhespannung von der Säuredichte abhängig ist, gilt sie als indirektes Mass für den Ladezustand der Batterie.

$$\boxed{[6.4] \quad U_0 \approx \rho + 0,84}$$

U_0	=	Ruhespannung,	[V]
		Quellenspannung	[V]
ρ	=	Säuredichte	[kg/dm ³]

Beispiel

Bei einer geladenen Batterie beträgt die Säuredichte 1,28 kg/dm³. Bestimmen Sie die Ruhespannung.

[12,72 V]

Die Ruhespannung stellt sich erst einige Stunden nach erfolgter Entladung oder Ladung ein.

Beispiel

Bestimmen Sie die Säuredichte in kg/dm³ und in °Bé, wenn die Zellenspannung 1,96 V beträgt.

[1,12 kg/dm³]

[15,5°Bé]

Betriebsspannung U

Betriebsspannung ist die Spannung, welche sich im Betrieb einstellt, sobald ein Strom fliesst.

$$\boxed{[6.5] \quad U = U_0 - R_i * I}$$

U	=	Betriebsspannung	[V]
U_0	=	Quellenspannung	[V]
R_i	=	innerer Widerstand der Batterie	[Ω]
I	=	Strom	[A]

Die Betriebsspannung ist genau genommen von mehreren Grössen abhängig. Der Innenwiderstand R_i ist kein reiner ohmscher Widerstand, sondern eine Impedanz (Scheinwiderstand) [8], die sich aus mehreren Werten zusammensetzt. Dieser komplexe Zusammenhang ist im folgenden Diagramm dargestellt [7].

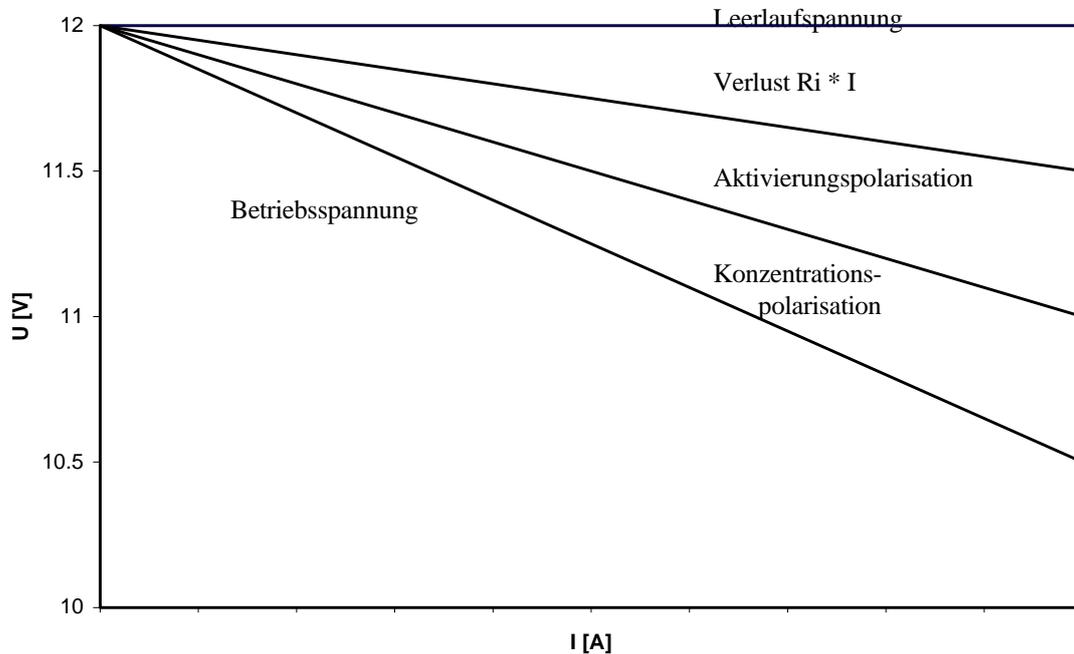


Bild 5: Graphische Darstellung der Betriebsspannung

Leerlaufspannung, Quellenspannung U_0 :	Unter Leerlaufspannung versteht man die Spannung an den Anschlusspolen der Batterie, wenn kein Strom fließt.
Spannungsverlust $R \cdot I$:	Dieser Spannungsverlust wird vom ohmschen Widerstand (Wirkwiderstand) verursacht, sobald ein Strom fließt.
Aktivierungspolarisation:	Unter diesem Begriff sind die Verluste zu verstehen, welche durch die Diffusion der Ionen in die Elektrodenplatten verursacht werden.
Konzentrationspolarisation: Verdünnung des	Damit meint man die Verluste, welche durch die Verdünnung des Elektrolyts verursacht werden.
Betriebsspannung:	Die Betriebsspannung = Klemmenspannung ist die Spannung an den Anschlusspolen der Batterie, wenn ein Strom fließt.

Zulässige Entladespannung

Für kleinere Belastungen, die etwa einer 5- bis 20-stündigen Entladung entsprechen, gilt folgender Richtwert:

$$U_E = 1,75 \text{ V pro Zelle}$$

Dieser Wert variiert genau genommen mit dem Entladestrom. Bei sehr grossen Entladeströmen, wie sie beim Anlassen auftreten, fällt die Spannung sehr schnell ab, kann sich aber in der folgenden Pause wieder erholen.

Zu tiefe Entladung schadet der Batterie insofern, als sich in den Platten grosse Bleisulfatkristalle bilden, die während der Aufladung nicht mehr vollständig zurückverwandelt werden können.

Selbstentladung [1]

Der Begriff Selbstentladung beschreibt die Erscheinung, dass Akkumulatoren von selbst Kapazität verlieren. Dieser Kapazitätsverlust wird vor allem durch folgende Gründe verursacht:

- Antimongehalt des Bleigitters
 - Sb > 2,5% → Antimonvergiftung
 - erhöhter Wasserverbrauch
- Verunreinigung des Elektrolyts
- Kriechströme auf nassen und schmutzigen Gehäusen
- Wasserzersetzung [1]

Die Selbstentladung entspricht der Stromaufnahme bei Schwebeladung einer aufgeladenen Batterie.

Bei modernen Starterbatterien (Antimongehalt im Bleigitter < 2,5%) beträgt die Selbstentladung 0,1 - 0,2% pro Tag [1].

Der Spannungssack bei der Entladung

12 V Batterie Oerlikon 6 MT80-50 (Traktion)
Entladestrom 50 A

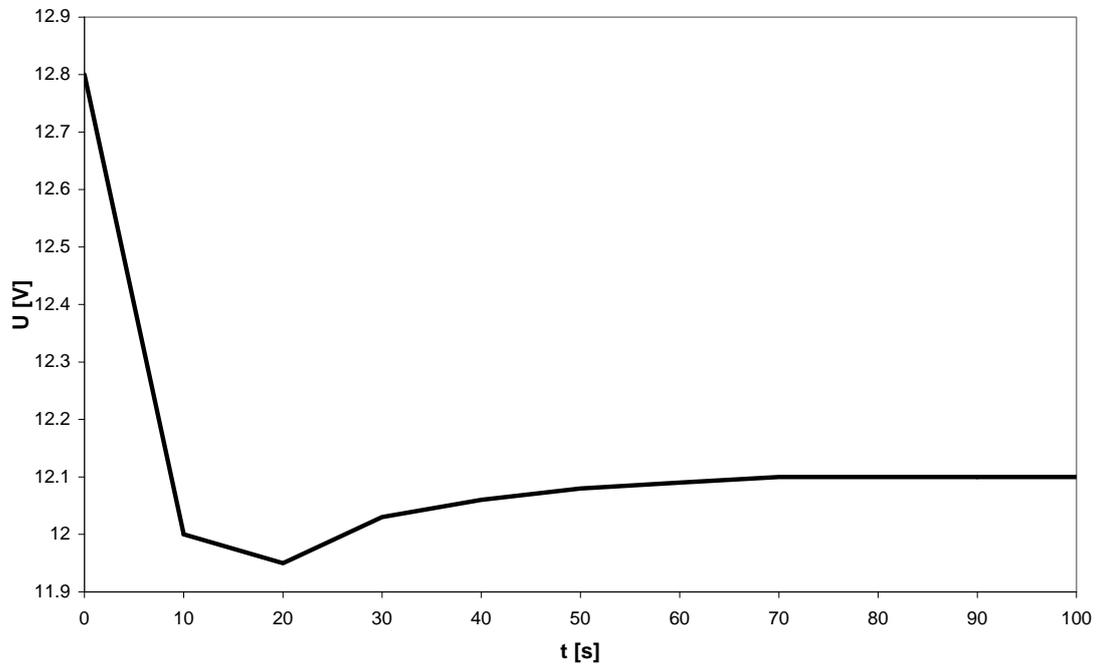


Bild 6: Spannungssack beim Beginn der Entladung

Unmittelbar nach dem Beginn der Entladung einer gut geladenen Batterie, bildet sich im U - t -Diagramm der sogenannte Spannungssack. Die Tiefe dieses Sacks beträgt etwa 20 - 50 mV pro Zelle.

Dieser Spannungssack kann mit einer Pulsbelastung gemäss [12] verwendet werden, um die Kapazität einer Batterie festzustellen.

Kälteprüfstrom I_{CC}

Die Startfähigkeit einer Batterie wird mit dem Kälteprüfstrom angegeben.

Kälteprüfstrom ist der Strom, den eine Batterie bei niedriger Temperatur liefern kann, ohne dass die Spannung innerhalb einer bestimmten Zeit zusammenbricht.

Man unterscheidet verschiedene Prüfnormen:

Kälteprüfstrom nach EN 60095-1 [3]

Endspannung [V]	Entladedauer [s]	Entladetemperatur [°C]
7,5	10	-18

Kälteprüfstrom nach IEC 95-1 [4]

Klassifikation	Endspannung [V]	Entladedauer [s]	Entladetemperatur [°C]
A + B	8,4	60	-18
AT + BT	8,4	60	0

Der Innenwiderstand der Batterie

Der Innenwiderstand der Batterie wirkt sich vor allem bei grossen Entladeströmen auf die Betriebsspannung aus. Er ist von folgenden Faktoren abhängig:

Temperatur	Separatoren
Stromstärke	Alter der Batterie
Säuredichte	Zustand der Batterie
Plattenzahl	Ladezustand
Plattendicke	Gitterkonstruktion
Porosität der aktiven Masse	Gitterlegierung
Plattenabstand	

Der Innenwiderstand steigt während der Entladung an und fällt während der Ladung wieder auf den ursprünglichen Wert zurück.

Innenwiderstand einer Starterbatterie in Funktion der Temperatur

Marke und Typ:	=	Leclanché 6 PB 45	
C_{20}	=	45	[Ah]
Entladestrom:	=	109 - 115	[A]

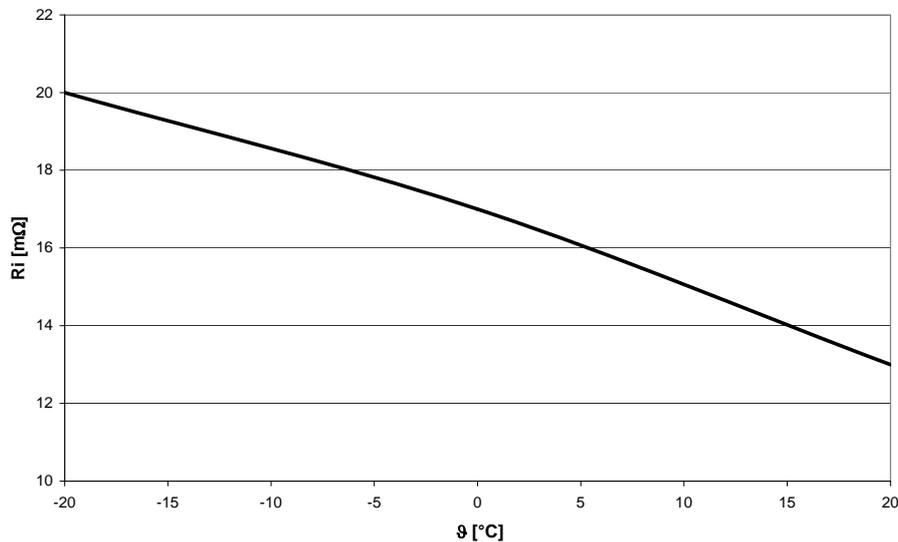


Bild 7: Innenwiderstand einer Starterbatterie

Ersatzschaltbild für den Innenwiderstand [7]

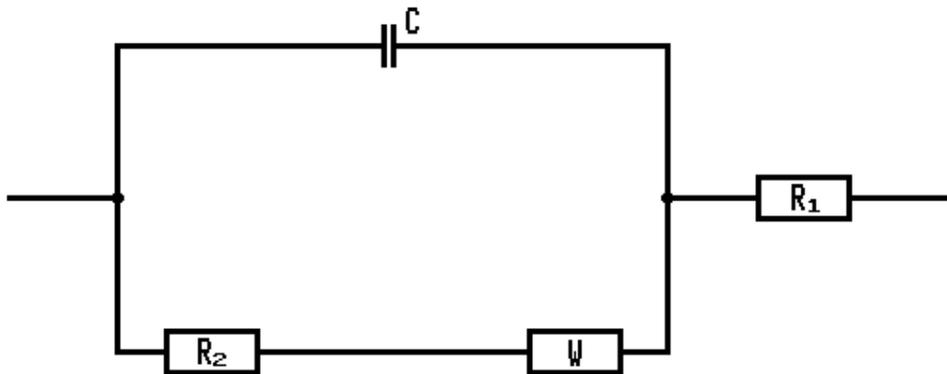


Bild 8: Ersatzschaltbild für den Innenwiderstand einer Batterie

R_1	=	Widerstand der elektrischen Leiter
R_2	=	Widerstand des Elektrolyts und der chemischen Reaktion
C	=	Kapazität gebildet durch die positiven und negativen Platten
W	=	Warburgimpedanz, abgeleitet aus den Diffusionsregeln

Dieses Ersatzschaltbild zeigt, dass der Innenwiderstand einer Batterie auch als Scheinwiderstand = Impedanz [8] betrachtet werden kann. Tatsächlich existieren verschiedene Messmethoden, bei welchen der Innenwiderstand mit Hilfe eines Wechselstromes bestimmt wird.

Messen des Innenwiderstandes mit dem KO

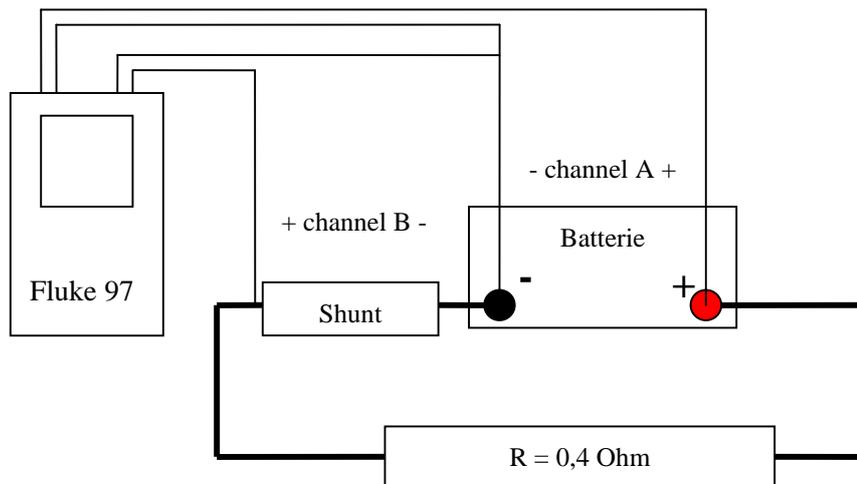


Bild 9: Schema für die Messung des Innenwiderstandes. Dazu ist die Funktion „Single Shot“ des Oszilloskops zu verwenden. Für die Messung der Spannungsänderung beim Channel A ist „Coupling AC“ zu wählen.

Auswertung mit einer Excel-Tabelle

Ri 220604-1 neu

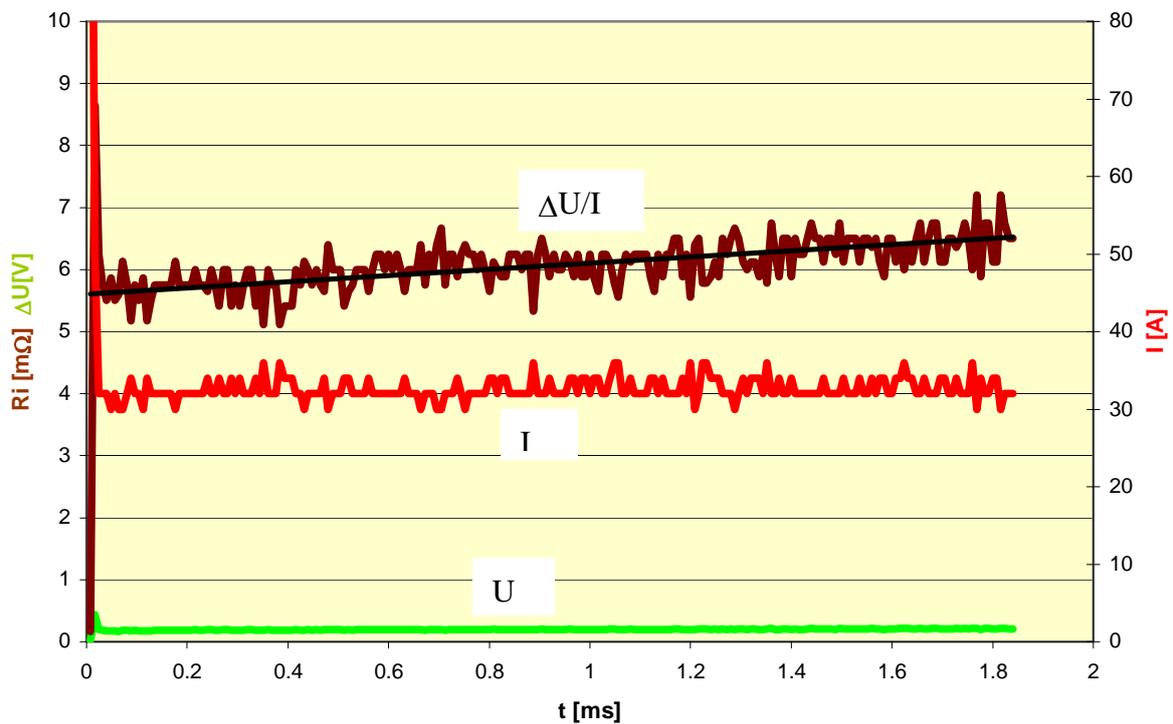


Bild 10: Messung des Innenwiderstandes: Strom und Spannung werden während einigen Millisekunden gemessen. Der Wert $\Delta U/I$ wird mit einer linearen Regression ergänzt. Der Schnittpunkt der Regressionslinie mit der Y-Achse gibt den Innenwiderstand. Im abgebildeten Diagramm beträgt der Innenwiderstand demnach $5,6 \text{ m}\Omega$.

Wirkungsgrad

Um eine Batterie vollständig aufzuladen, ist mehr Energie zuzuführen, als entnommen wurde. Man unterscheidet zwei verschiedene Wirkungsgrade.

Ah-Wirkungsgrad

$$[6.6] \quad \eta_{Ah} = \frac{C_{ab}}{C_{zu}}$$

η_{Ah}	= Ah-Wirkungsgrad	
C_{zu}	= zugeführte Kapazität	[Ah]
C_{ab}	= abgegebene Kapazität	[Ah]

Richtwert: $\eta_{Ah} \approx 0,8 - 0,9$

Wh-Wirkungsgrad

Beim Laden der Batterie beträgt die Zellenspannung zwischen 2,1 - 2,7 V. Beim Entladen der Batterie beträgt sie nur 2,0 - 1,75 V pro Zelle. Das bedeutet, dass der Wh-Wirkungsgrad kleiner wird als der Ah-Wirkungsgrad.

$$[6.7] \quad \eta_{Wh} = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$$

η_{Wh}	= Wh-Wirkungsgrad	
W_{zu}	= zugeführte Energie	[Wh]
W_{ab}	= abgegebene Energie	[Wh]

Richtwert: $\eta_{Wh} \approx 0,7$

Energiedichte

Die Energiedichte von Bleibatterien beträgt etwa 20 - 35 Wh/kg.

Wartungsfreiheit

Mit dem Ausdruck „Wartungsfreiheit“ wird vor allem ausgedrückt, dass der Automobilist nichts mehr mit der Wartung zu tun haben soll.

Man unterscheidet drei Prüfnormen

- IEC-Norm (International Electrotechnical Commission)
- DIN-Norm
- USA-Norm

Die beiden ersten Normen akzeptieren einen Wasserverbrauch von 6 g/Ah bei 500 Stunden Ueberladung mit 14,4 V bei 40°C. Diese Menge kann nachgefüllt werden.

Bei den Batterien nach der USA-Norm kann nie Wasser nachgefüllt werden.

Beispiel

An einem Elektrofahrzeug werden auf dem Rollprüfstand im zweiten Gang folgende Daten ermittelt:

- Entladestrom	I	=	40	[A]
- Entladezeit bis zum Erreichen der zulässigen Entladespannung	t	=	37	[min]
- Fahrdistanz	s	=	22	[km]

Beim anschließenden Aufladen der Batterien mit dem öffentlichen Netz werden folgende Werte gemessen:

- zugeführte Energie	W_{zu}	=	6,08	[kWh]
- zugeführte Kapazität	C_{zu}	=	31,81	[Ah]

Batteriedaten:

- Anzahl Batterien in Serienschaltung	n	=	14	
- Nennspannung einer Batterie	U	=	12	[V]
- Kapazität einer Batterie	C_5	=	60	[Ah]

Berechnen Sie:

- die entnommene Kapazität in	C_{ab}	=	?	[Ah]	[24,67 Ah]
	% von C_5				[41,12%]
- die der Batterie entnommene Energie	W_{ab}	=	?	[kWh]	[4,15 kWh]
- den Ah-Wirkungsgrad	η_{Ah}	=	?		[0,77]
- den Wh-Wirkungsgrad	η_{Wh}	=	?		[0,68]

Beispiel

Bei einer Temperatur von -20°C vermag eine Batterie 12 V 40 Ah den Motor nicht mehr zu starten. Nun schaltet der Fahrer das Abblendlicht 2 x 55 W und 6 x 5 W ein, damit sich die Batterie aufwärmen kann.

Die Batterie hat ein Gewicht von 15 kg. Sie setzt sich vor allem aus den folgenden Materialien zusammen:

18% PbO	Bleioxid
47% Pb	Blei
12% H_2SO_4	Schwefelsäure
16%	Wasser

Das Batteriegehäuse aus Polypropylen (7%) soll für diese Berechnung vernachlässigt werden.

- Berechnen Sie die nötige Energie, damit diese Masse um 1°C erwärmt werden kann in Wh!		[3,916 Wh]
- Wieviel Energie wird benötigt, um diese Masse auf eine Temperatur von 0°C zu heizen?	[78,33 Wh]	
- Was für eine Verlustleistung entsteht in der Batterie, wenn der Innenwiderstand pro Zelle 20 m Ω beträgt ?		[16,33 W]
- Wie lange dauert das Heizen der Batterie auf eine Temperatur von 0°C ?	[4,795 h]	
- Was für eine Batteriekapazität wird für diese Aufheizung benötigt?		[55,96 Ah]
- Was schliessen Sie aus diesen Resultaten?		

Lebensdauer und Zyklfestigkeit [9][11]

Die Lebensdauer der Bleibatterie wird vor allem durch folgende Faktoren begrenzt:

- Korrosion der positiven Gitter
- Abschlamung (Ablösung) der aktiven Masse an der positiven Platte
- Bildung von nichtauflösbaren Bleisulfaten
- Kurzschluss
- Wasserverlust
- Säureschichtung = Säurestratifikation

Vor jeden Einsatz von Batterien sind die Einsatzbedingungen möglichst wirklichkeitsnah zu erfassen.

Je nach Art des Einsatzes wird einer der oben genannten Faktoren für die Begrenzung der Lebensdauer dominieren.

So galt für die Starterbatterie, dass sie wie der Name sagt, vor allem für das Anlassen Strom zur Verfügung stellen musste. Während der Fahrt wurde die Stromversorgung für das Fahrzeug vom Generator voll abgedeckt.

Die Lebensdauer dieser Batterie wurde vor allem durch die Gitterkorrosion begrenzt.

Gitterkorrosion der positiven Platten

Die Korrosion des Bleigitters an der positiven Platte ist ein Prozess, welcher die Lebensdauer der Starterbatterie begrenzte.

Richtwert: ~0,1 mm pro Jahr

Bei 3 Millionen Fahrzeugen in der Schweiz und einer Lebensdauer von 5 Jahren ergab sich ein jährlicher Bedarf von 600'000 Starterbatterien!

Die Korrosionsgeschwindigkeit nimmt mit der Ladespannung und der Temperatur exponential zu.

Das heisst, zum Erreichen einer hohen Lebensdauer sollte die Batterie eine Ladespannung von 2,25 V pro Zelle nicht überschreiten und eine Temperatur unter 20°C aufweisen.

Für normale Starterbatterien dürfte mit einer Lebensdauer von etwa 4-5 Jahren gerechnet werden.

Bei künftigen Anwendungen von Starterbatterien ist davon auszugehen, dass vermehrt ein Zyklbetrieb mit einer Entladetiefe (DOD) von 5-10% auftreten wird.

Bei dieser Betriebsart tritt Säureschichtung auf. Damit löst sich in der oberen Hälfte der positiven Platte die aktive Masse ab und in der unteren Hälfte tritt Sulfatierung auf.

Für derartige Belastungen empfiehlt sich der Einsatz von Batterien mit Glasfaserseparatoren (AGM). Diese absorbieren den flüssigen Elektrolyt und unterbinden damit die Säureschichtung weitgehend.

Bei Elektrofahrzeugen wird die Lebensdauer vorwiegend durch die Anzahl von Ladezyklen bestimmt. Dabei spielt die Art der Entladung und der Aufladung eine wesentliche Rolle. Deshalb werden für derartige Anwendung Traktionsbatterien eingesetzt.

Zyklusfestigkeit

Traktionsbatterien müssen zyklusfest sein. Die erreichbare Zyklenzahl hängt von der Entladetiefe (Depth of discharge DOD) ab.

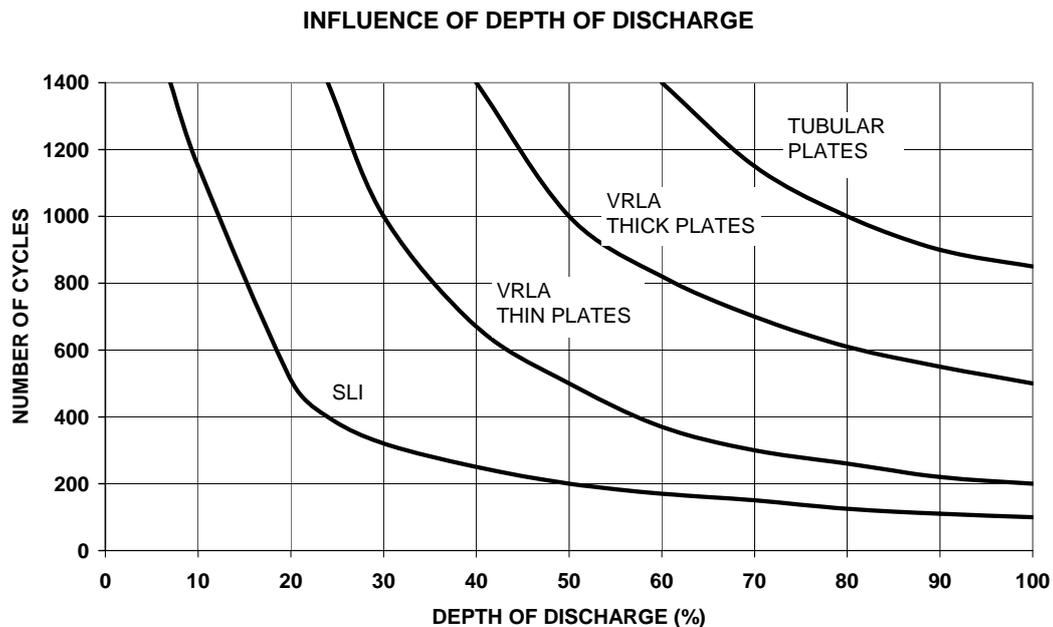


Bild 11: Die erreichbare Zyklenzahl (number of cycles) ist abhängig von der Entladetiefe (depth of discharge DOD) und von der Batterieart.

Dabei bedeuten SLI = start, light, ignition => Starterbatterie; VRLA Thin Plates => ventilregulierte Batterie mit dünnen Platten; VRLA Thick => ventilregulierte Batterie mit dicken Platten; Tubular Plates => Röhrenplatten.

Vorzeitiger Kapazitätsabfall (premature capacity loss PCL) bei Zyklusbetrieb [14]

Werden Batterien beim Zyklusbetrieb mit hohen Strömen entladen und mit kleinen Strömen geladen tritt ein frühzeitiger Kapazitätsabfall auf.

Elektrolytschichtung, Stratifikation [2]

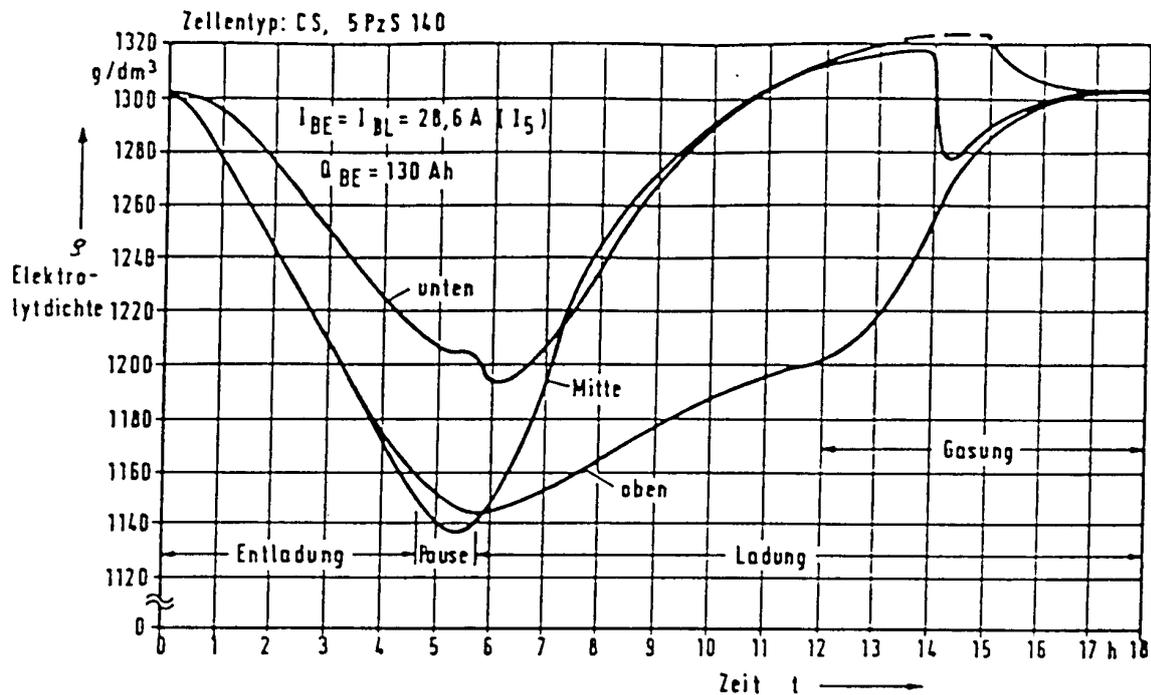


Bild 12: Elektrolytschichtung, Säureschichtung oder Stratifikation findet man vor allem beim Zyklenbetrieb

Bei der Bleibatterie ist der Elektrolyt an der chemischen Reaktion beteiligt. Während der Entladung wird Schwefelsäure gebunden und dabei Wasser gebildet. Bei der Ladung ist es umgekehrt.

Aus dem Diagramm ist zu erkennen, dass dabei die schwere Säure nach unten sinkt. Damit wird das leichtere Wasser nach oben verdrängt. Mit dem Einsetzen der Gasentwicklung wird diese Elektrolytschichtung wieder abgebaut. Allerdings braucht es dazu eine Ladezeit von mehreren Stunden. Dabei muss die Gasungsspannung (2,4 V pro Zelle) erreicht werden.

Dieser Effekt tritt auch bei Teilzyklen (shallow cycling) auf. Bei Batterien mit festgelegtem Elektrolyt wie AGM- oder Gel-Batterien wird diese Säureschichtung deutlich reduziert.

Bei Batterien mit flüssigem Elektrolyt kann diese Säureschichtung mit einer Elektrolytumwälzung [L1] nach dem Airlift-Prinzip deutlich reduziert werden. Damit wird die Lebensdauer verlängert.

Wasserzersetzung [1]

Eine unangenehme Eigenschaft jedes wasserhaltigen Elektrolyten ist die Elektrolyse von Wasser. Die chemische Formel lautet: $H_2O \rightarrow H_2 + 0,5 O_2$

Zersetzungsspannung für Wasser

Mit Hilfe der freien Bildungsenthalpie von Wasser $\Delta G = -237,4 \text{ kJ}$ (bei 25°C) kann die Zersetzungsspannung von Wasser berechnet werden:

$[6.8] \quad U_0 = -\frac{\Delta G}{nF} = -\frac{-237,4 \cdot 10^3}{2 \cdot 96'487} = 1,23V$	U_0 = Quellenspannung [V]
	ΔG = freie Bildungsenthalpie [J]
	n = Anzahl Elektronen pro Reaktion
	F = Faradaykonstante 96'487 [As]

Das Resultat liegt mit 1,23 V deutlich unter der Zellenspannung einer Bleibatterie. Das bedeutet, dass ständig eine Elektrolyse und damit eine Selbstentladung der Batterie stattfindet. Glücklicherweise ist die Reaktionsgeschwindigkeit (kinematische Parameter) bis zu einer Zellenspannung von 2,2 V derart klein, dass die Wasserzersetzung vernachlässigt werden kann. Erst ab einer Zellenspannung von 2,4 V setzt eine deutlich sichtbare Elektrolyse ein.

Gleichzeitig folgt aus dieser Gleichung, dass beim umgekehrten Prozess (Brennstoffzelle) höchstens eine Spannung von 1,23 V entstehen kann.

Die folgende Darstellung zeigt den Zusammenhang zwischen der Wasserstoff- und Sauerstoffentwicklung an den Batteriepolen und der entsprechenden Elektrodenspannung.

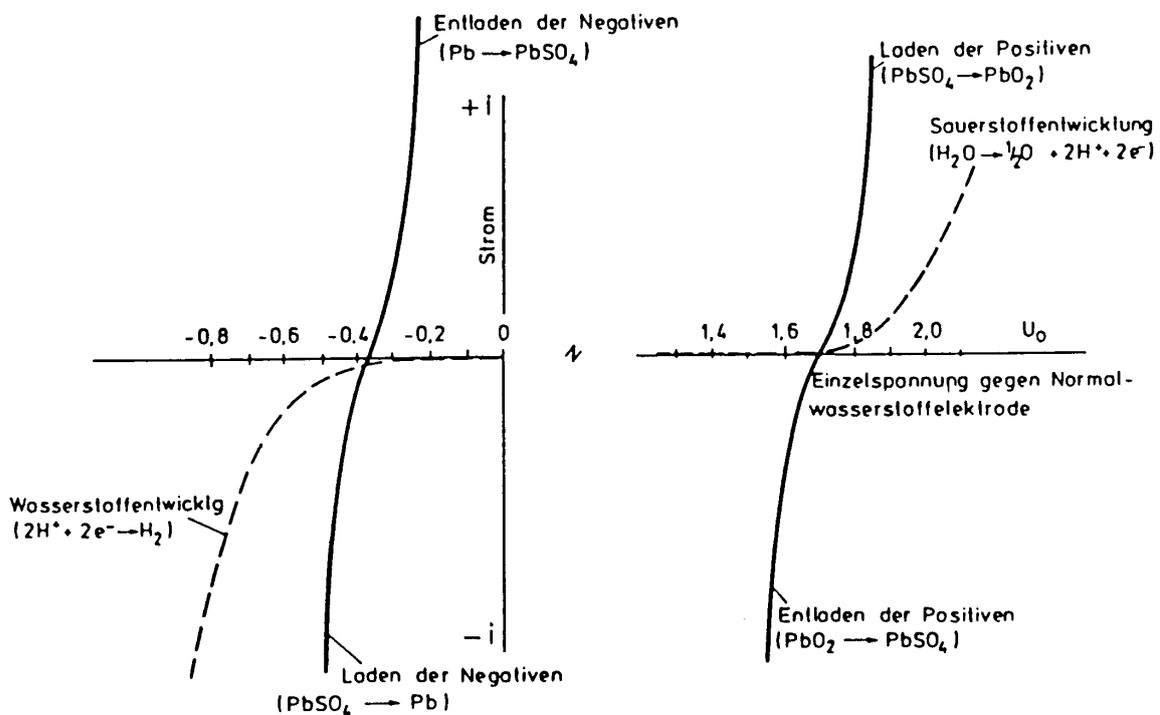


Abbildung 13: Sauerstoff- und Wasserstoffentwicklung in Funktion der Spannung

Batterietemperatur [6]

Bekanntlich werden chemische Prozesse von der Temperatur beeinflusst. Das gilt auch für die Batterie. Die ideale Temperatur für den Betrieb einer Batterie beträgt 20 – 30°C.

Während der Ladung sind sogar Temperaturen über 35°C [13] vorteilhaft.

Zu tiefe Temperatur verursacht eine Reduktion der Batteriekapazität und der Startfähigkeit.

Zu hohe Temperatur (> 45°C) reduziert die Lebensdauer der Batterie. Dies ist besonders bei der zyklischen Beanspruchung in Elektrofahrzeugen von grosser Wichtigkeit.

Faustregel:

Eine Temperaturerhöhung von 10°C halbiert die Lebensdauer der Batterie !

Temperaturdifferenzen die grösser sind als 5°C, sind vor allem bei der Serienschaltung von vielen Einzelbatterien (Elektrofahrzeuge) schädlich.

Aus diesem Grund müssen derartige Systeme mit einem Temperaturnausgleichssystem ausgerüstet werden.

Literaturverzeichnis:

- [1] Varta: Bleiakкумулятор, VDI-Verlag, ISBN 3-18-400534-8
- [2] Naunin Dietrich: Elektrische Strassenfahrzeuge, expert verlag, Band 255, ISBN 3-8169-0317-7
- [3] EN 60095: Blei-Starterbatterien, Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen
- [4] IEC 95-1: Batteries d'accumulateurs de démarrage au plomb
- [5] Kalker M. und Zahnder E.: Verschlussene Bleibatterien für Elektrofahrzeuge, RWE informiert 264
- [6] Sonnenschein: Batteriemangement für Elektrofahrzeuge, Gemeinsamer Bericht zum Thema Antriebsbatterien bei Elektrofahrzeugen
- [7] Halaczek / Radecke: Batterien und Ladekonzepte, Franzis'-Verlag, ISBN 3-7723-4602-2
- [8] Meier-Engel Karl: Wechselstrom, HTA Biel-Bienne, Abteilung Automobiltechnik
- [9] Trueb Lucien F.; Rüetschi Paul: Batterien und Akkumulatoren, Mobile Energiequellen für heute und morgen; Springer Verlag 1998; ISBN 3-540-62997-1
- [10] Meier-Engel Karl: VEBILA, Verbesserung der Lebensdauer von Batterien mit einem intelligenten Ladegerät; Jahresbericht 2000; HTA Biel-Bienne; Abteilung Automobiltechnik
- [11] Ruetschi Paul; "Aging Mechanisms and Service Live of Lead-Acid Batteries", 2002, J. Power-Sources 127 (2004) 33-44
- [12] Pascoe Philip E.; Anbuky Adnan H.: *The behaviour of the coup de fouet of valve regulated lead-acid batteries* Journal of Power Sources 111, 2002 304-319
- [13] Meier-Engel Karl: OPAL Optimierung der Antriebsbatterie eines Elektrofahrzeuges; Schlussbericht, HTI, Fachbereich Automobiltechnik, 7. Dezember 2004
- [14] Ruetschi Paul: *Anleitung zum optimalen Umgang mit Batterien zur Verlängerung der Lebensdauer*; Vortrag M. Pulfer; 2003-

Links

- [L1] www.froetek.com