

## Merkblatt

# Abhängigkeiten und Regeln beim Einsatz von PzS- und PzV-Antriebsbatterien bei tiefen Temperaturen (Kühlhauseinsatz)

### 1 Einleitung

Bei Einsätzen von Antriebsbatterien in Bereichen mit niedrigen Temperaturen, wie z.B. in Tiefkühlagern, sind bei der Batteriedimensionierung und im Betrieb einige wichtige Temperaturabhängigkeiten und Einsatzregeln zu beachten.

Die Batterien erfahren während des Einsatzes eine Abkühlung und während der Ladung wieder eine Erwärmung. Die entnehmbare Kapazität richtet sich dabei weitestgehend nach der mittleren Batterietemperatur. Die Nennkapazität einer Antriebsbatterie ist die bei 30 °C entladbare Kapazität. Bei niedrigeren Temperaturen vermindert sich die verfügbare Kapazität signifikant. Da auch die Entladespannung bei niedrigen Temperaturen absinkt, wird auch die entnehmbare Leistung geringer.

Auch das Ladeverhalten wird bei niedrigen Temperaturen durch eine herabgesetzte Leitfähigkeit des Elektrolyten und eine erschwerte Ladungsaufnahme negativ beeinflusst. Für Standardanwendungen eingestellte Ladegeräte, die ein Abschaltkriterium aus der Hauptladephase (Zeit- bzw. Ah-Bilanzierung) bilden, erzeugen bei niedrigen Batterietemperaturen Mangelladung bzw. Säureschichtung, was zu einem frühen Ausfall der Batterie führt. Insgesamt sind längere Ladezeiten für diese Anwendung notwendig. Mit geregelten Ladegeräten (thyristorgesteuert bzw. primär getaktet) ist eine temperaturregulierte oder auch manuelle Anpassung der Ladespannung (Gasungsspannung) möglich.

Ebenfalls ist der Temperatureinfluss bei Messung der Elektrolytdichte zu berücksichtigen. Tiefe Temperaturen erhöhen die ge-

messene Elektrolytdichte (siehe Angaben in der Gebrauchsanweisung für geschlossene PzS-Traktionsbatterien). Bei tiefentladenen und abgekühlten Batterien kann der Elektrolyt auch gefrieren und somit die Zellen schädigen.

Bei Batterie-Zusatzausstattungen, wie z.B. Wassernachfüllsystemen, Elektrolytumwälzung und elektronischen Bauteilen sind Grenztemperaturen zu beachten.

### 2 Regeln für den Einsatz bei tiefen Umgebungstemperaturen

Die nachstehenden Erläuterungen zeigen die Temperatureinflüsse auf und geben Anwendungshinweise für den optimalen Betrieb bei Tieftemperatureinsätzen.

---

Dieses Merkblatt wurde vom Arbeitskreis „Industriebatterien“ im Fachausschuss „Technik und Normung“ des Fachverbandes Batterien im Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., ZVEI, erarbeitet. (Ausgabe April 2005)

- Um den Kapazitätsverlust bei niedrigen Temperaturen auszugleichen, ist der Einsatz von Batterien mit maximaler Nennkapazität in den jeweiligen Batterieabmessungen der Baureihen zu empfehlen.
- Elektrofahrzeuge sollten nicht unnötig lange im kalten Bereich abgestellt werden. Dies gilt auch für nicht benutzte Batterien.
- Die Ladestation und der Abstellraum für Fahrzeuge und Batterien sollten normale Raumtemperatur (nicht unter 10 °C) haben. Die Ladung bei tiefen Temperaturen dauert sehr lange. Bei Temperaturen unter 10 °C ist mit den üblichen Lade-Parametern eine vollständige Ladung nicht erreichbar.
- Nur Ladegeräte mit geregelten IUI-Ladekennlinien und einer temperaturgeführten Anpassung der Ladespannung sind geeignet, um Mangelladungen zu vermeiden.
- Vor jeder Einsatzschicht ist eine vollständige Ladung vorzunehmen.
- Gereinigtes Wasser (Nachfüllwasser) ist stets während der Gasungsphase nachzufüllen, damit es sich mit der restlichen Säure durchmischt. Ohne Durchmischung kann das Nachfüllwasser gefrieren.
- Wassernachfüllsysteme dürfen bei Temperaturen unter 0 °C nicht eingesetzt werden, da die Systeme und das in den Schlauchleitungen stehende Wasser einfrieren können.
- Kurzzeitladungen von 5 – 6 Stunden mit Elektrolytumwälzsystemen oder Puls-ladungen sind bei Temperaturen unter 10 °C und vollständig entladenen Batterien nicht realisierbar.
- Bei Einsatz von elektronischen Einheiten, wie z.B. Batterie-

controllern, Füllstandsanzeigen, etc. sind die jeweiligen Grenztemperaturen zu beachten.

### 3 Einfluss der Temperatur auf die Kapazität

Die Nennkapazität einer Traktionsbatterie ist stets auf die Nenntemperatur von + 30 °C bezogen. Bei niedrigen Temperaturen nimmt die entnehmbare Kapazität ab.

bzw. Abnahme der Kapazität pro 1 °C Temperaturerhöhung bzw. -erniedrigung in Prozent der Kapazität ausgedrückt, ist der Temperaturkoeffizient, der allerdings nur in einem eingeschränkten Temperaturfenster linear verläuft. Dieser Koeffizient hängt außer von der Temperatur auch noch von der Zellenkonstruktion sowie von der Höhe des Entladestromes ab. Der Temperaturkoeffizient ist um so größer, je höher die Entladestromstärke ist.

Die Schwefelsäure hat bei – 10 °C ein ca. 3fach höhere Viskosität als bei + 30 °C. Somit ist die Schwefelsäure entsprechend weniger beweglich. Daraus resultiert eine niedrigere Leitfähigkeit. Beim Entladen und auch beim Laden wird deshalb die Säurediffusion (Austausch der äußeren Säure mit der in den Elektroden befindlichen Säure) stark eingeschränkt.

Die Batteriespannung bei Entladung ist somit bei tiefen Temperaturen generell niedriger und die Entladeschlussspannung wird früher erreicht, d. h., die Kapazität ist geringer. Die Zu-

In der Praxis rechnet man bei mittleren Entladeströmen und Temperaturunterschieden zwischen + 10 ° und + 30 °C mit einem Koeffizienten von 0,6 % pro 1 °C.

Die Kapazität  $K_t$  bei der Temperatur  $\vartheta_t$  der Messung errechnet sich wie folgt:

$$K_t = K_E [1 + 0,006 (\vartheta_t - 30 \text{ °C})]$$

Hierin bedeuten:

$K_E$  Kapazität bei Nenntemperatur von 30 °C

$\vartheta_t$  Temperatur bei Messung

#### 4 Einfluss der Temperatur auf die gemessene Säuredichte

Die Nennelektrolytdichte beträgt bei PzS-Antriebsbatterien 1,29 kg/l bei + 30 °C. Bei der Messung der Säuredichte ist zu beachten, dass die Säuredichte von der Temperatur abhängt. Die Dichte der Säure wird mit zunehmender Temperatur kleiner

und mit abnehmender Temperatur größer. Diese Änderung beträgt pro 1 °C = – 0,0007 kg/l für die in den Zellen als Elektrolyt verwendete verdünnte Schwefelsäure. Eine bei 15 °C gemessene Elektrolytdichte von 1,28 kg/l entspricht einer temperaturkorrigierten Dichte von 1,27 kg/l bei 30 °C.

Die Betriebselektrolytdichte  $d_B$  des Elektrolyten bei Nenntemperatur von 30 °C errechnet sich wie folgt:

$$d_B = d_t - 0,0007 (30 \text{ °C} - \vartheta_t)$$

Hierin bedeuten:

$d_t$  Dichte bei Messung (kg/l)

$\vartheta_t$  Temperatur bei Messung

#### 5 Gefrierpunkt der Schwefelsäure

Die Säure einer geladenen Batterie mit der Nenndichte 1,29 kg/l (bezogen auf + 30 °C) friert erst unterhalb – 70 °C ein. Entladene Batterien mit einer Säuredichte von 1,15 kg/l können schon bei – 15 °C einfrieren.

Bei Nachfüllung von gereinigtem Wasser bei tiefen Umgebungstemperaturen ist darauf zu achten, dass die Nachfüllung gegen Ende der Ladung während der Gasungsphase erfolgt, damit es sich mit der restlichen Säure vermischt. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass das nachgefüllte Wasser gefriert.

**Achtung:** Wassernachfüll-Systeme sind für den dauerhaften Betrieb bei Umgebungstemperaturen unter 0 °C nicht geeignet.

## 6 Einfluss der Temperatur auf das Laden

Analog dem Einfluss der Säuretemperatur auf die Kapazität ist deren Einfluss auch auf die Ladung.

Je niedriger die Temperatur der Säure ist, desto unbeweglicher ist sie und umso geringer ist die Leitfähigkeit. Das führt bei niedrigen Temperaturen zu einer höheren Ladespannung. Darüber hinaus ist die Temperaturabhängigkeit der Gasungsspannung zu berücksichtigen (s. a. Kap. 7).

Die im Ladegerät standardmäßige Umschaltspannung wird zu einem früheren Zeitpunkt erreicht. Dadurch wird eine geringere Lademenge bis zur Umschaltspannung von der Batterie aufgenommen und die Ladezeit verkürzt sich. Da Nachladephasen bei herkömmlichen Ladegeräten immer anhand der Hauptladezeit bzw. Hauptlademenge in Ah (Erreichung der Gasungsspannung) ermittelt werden, erreichen diese Verfahren ihr automatisches Abschaltkriterium zu früh.

Bei optimaler Anpassung der Ladecharakteristik auf die jeweilige Elektrolyttemperatur wird die Verkürzung der Hauptladezeit durch eine erhöhte Gasungsspannung kompensiert und entsprechend der Ladefaktor angepasst, was zu einer generellen Ladezeitenverlängerung führt. Überschlägig muss mit einer Verlängerung der Ladezeit von bis zu 1,5 – 2 Stunden je 10 K Temperaturabweichung von 30 °C gerechnet werden.

Geregelte IUI-Lademethoden mit temperaturgeführter Anpassung der Ladespannung ermöglichen eine Zeitkompensierung der Hauptladephase und vermeiden Mangelladungen.

Ungeregelte W(s)a - / W0Wa-Lademethoden sind problematisch in der Anpassung an tiefe Temperaturen, da neben einer Anpassung der Gasungsspannung auch eine Änderung der Ladeparameter erforderlich ist. Zudem kann ggf. die bei tiefen Temperaturen benötigte Ladeschlussspannung und der notwendige Überladestrom vom Transformator nicht mehr bereitgestellt werden.

## 7 Ladung mit konstanter Spannung (IU- / IUI-Kennlinie) und Temperaturkorrekturfaktor für die Ladespannung

Die Gasungsspannung einer Batterie ist temperaturabhängig und nimmt mit fallender Temperatur zu.

Um bei tiefen Temperaturen die Ladezeit zu verkürzen (d. h. das Ladegerät anpassen), kann die Ladespannung des Ladegerätes (bei IUI-Kennlinie) temperaturkompensiert werden. Im Temperaturbereich von 0 ° bis + 40 °C wird ein Temperaturkorrekturfaktor von – 0,004 V/Zelle pro 1 K empfohlen.

Die temperaturkorrigierte Ladespannung  $U_{LK}$  errechnet sich wie folgt:

für PzS-Batterien:

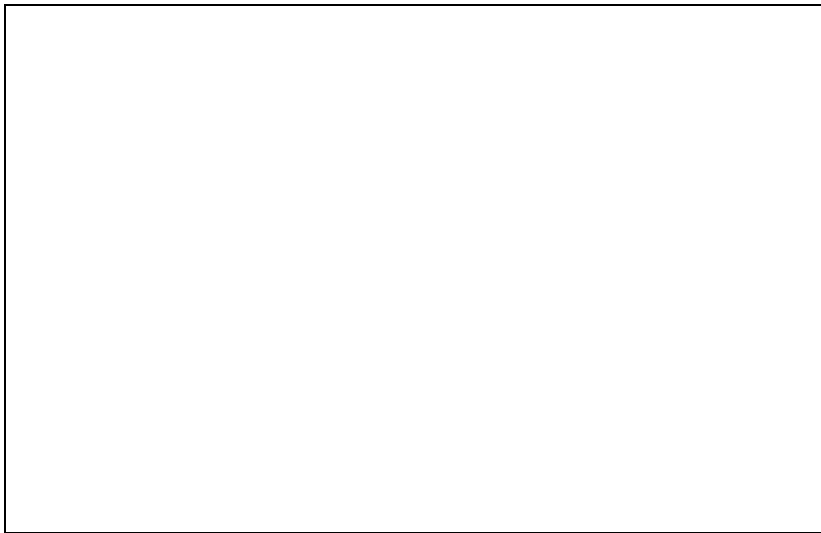
$$U_{LK} = 2,40 \text{ V} + [- 0,004 (\vartheta_t - 30 \text{ °C})]$$

für PzV-Batterien:

$$U_{LK} = 2,35 \text{ V} + [- 0,004 (\vartheta_t - 30 \text{ °C})] \\ (\text{für } 0 \text{ bis } - 10 \text{ °C konstant } 2,47\text{V/Zelle})$$

$\vartheta_t$  Batterietemperatur

**Hinweis:** Falls die Ladespannung nicht temperaturgeführt sondern fest eingestellt wird, kann bei nicht temperierten Laderäumen eine Winter- / Sommerumstellung erforderlich werden. Wenn eine PzS-Batterie z. B. im Winter in einem kühlen Laderaum bei + 10 °C mit angepasster Ladespannung von 2,48 V/Z geladen wird, würde dies bei einer höheren Laderaumtemperatur im Sommer zu schädigenden Überladungen der Batterie führen.



### 8 Temperaturverhalten einer PzS-Antriebsbatterie beim Einsatz im Kühlhaus

Bei einem zeitlich begrenzten Einsatz im Kühlhaus mit regelmäßigem Ein- und Ausfahren des Flurförderfahrzeuges und einer Ladung außerhalb des Kühlhauses erfolgt während des Einsatzes eine Abkühlung und während der Ladung wieder eine Erwärmung.

Das folgende Diagramm zeigt den typischen Temperaturverlauf einer PzS-Antriebsbatterie während einer Einsatzwoche im Kühlhaus.

Ausgehend von einer Batterie-Anfangstemperatur von + 15 °C, einer 24V / 340 Ah-Batterie, einer Kühlhaustemperatur von – 28 °C und einer Laderaumtemperatur von + 20 °C, stellt sich eine mittlere Batterietemperatur von etwa + 10 °C ein. Somit können ca. 90 % der Batterie-Betriebskapazität genutzt werden.

**Hinweis:** Durch zusätzliche Isolierungen im Batterietrog kann ein insgesamt höheres Batterietemperaturniveau und ein verbesserter Temperaturhub bei der Ladung erreicht werden.

### 9 Auskühlzeiten einer PzS-Antriebsbatterie bei tiefen Umgebungstemperaturen

Da die Auskühlzeit einer warmen Batterie abhängig von der Batteriegröße etwa 12 bis 24 Stunden beträgt, können PzS-Antriebsbatterien unter Beachtung der vorstehend aufgeführten Regeln ohne weiteres auch bei sehr tiefen Umgebungstemperaturen eingesetzt werden.

Überschlägig kann die Batterietemperatur nach einer Standzeit (ohne Entlade- oder Ladebetrieb) wie folgt berechnet werden:

$$\vartheta_t = \vartheta_u + (\vartheta_o - \vartheta_u) \cdot \exp \frac{-18 \cdot A_B \cdot t_s}{m_B}$$

$\vartheta_u$  Umgebungstemperatur (°C)

$\vartheta_o$  Ausgangsbatterietemperatur (°C)

$A_B$  Gesamtoberfläche der Batterie (m<sup>2</sup>)

$m_B$  Masse der Batterie [kg]

$t_s$  Standzeit der Batterie bei Temperatur  $\vartheta_u$  (h)

Berechnungsbeispiele für das Abkühlverhalten von verschiedenen Antriebsbatterien (im Stand ohne Entlade- oder Ladebetrieb) zeigt die folgende Tabelle:

### Berechnungsbeispiele für das Abkühlverhalten von verschiedenen Antriebsbatterien (im Stand ohne Entlade- oder Ladebetrieb) zeigt die folgende Tabelle:

Batterie	Abmessungen			$A_B$ m <sup>2</sup>	$m_B$ kg	$t_s$ h	$\vartheta_o$ °C	$\vartheta_u$ °C	$\vartheta_t$ °C	K
	L x B x H									
	m	m	m							
24V 3 PzS 375	0,624	0,284	0,612	1,47	299	8	10	-30	-10	20
	0,624	0,284	0,612	1,47	299	16	10	-30	-20	30
	0,624	0,284	0,612	1,47	299	24	10	-30	-25	35
48V 5 PzS 625	1,03	0,529	0,612	3,00	906	8	10	-30	-5	15
	1,03	0,529	0,612	3,00	906	16	10	-30	-15	25
	1,03	0,529	0,612	3,00	906	24	10	-30	-20	30
80V 5 PzS 700	1,03	0,852	0,769	4,65	1863	8	10	-30	-2	12
	1,03	0,852	0,769	4,65	1863	16	10	-30	-11	21
	1,03	0,852	0,769	4,65	1863	24	10	-30	-16	26