Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 23

Artikel: Der Bleiakkumulator als Energiespeicher für elektrische Strassenfahrzeuge

Autor: Schlüssel, H. / Giess, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904721

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Der Bleiakkumulator als Energiespeicher für elektrische Strassenfahrzeuge

H. Schlüssel, H. Giess

Weltweit werden grosse Anstrengungen unternommen, um den elektrischen Strassenverkehr mit leistungsfähigen Antriebsbatterien zu fördern. Bis heute steht für diesen Zweck praktisch ausschliesslich der Bleiakkumulator zur Verfügung. Die nachfolgenden Ausführungen beleuchten seine Chancen und weiteren Entwicklungsmöglichkeiten unter den Aspekten Rohstoff, Produktion, Entwicklungsstand und Entwicklungsziele in Europa und den USA.

Dans le monde entier, des efforts importants se font afin de promouvoir la circulation électrique à l'aide de batteries performantes. Pour les véhicules, on ne connaît quasiment que l'accumulateur au plomb jusqu'à présent. L'exposé suivant montre les chances et possibilités de développement dans le domaine de l'accumulateur au plomb sous des aspects divers: matière première, production, état de la technique et buts poursuivis dans le développement en Europe et aux Etats-Unis.

Dieser Aufsatz ist eine überarbeitete Fassung des Vortrages anlässlich der ASVER-Tagung vom 20. November 1984 in Bern.

Adresse der Autoren
Herbert Giess, Heinz Schlüssel, Accumulatoren-Fabrik Oerlikon, 8050 Zürich.

1. Blei als Werkstoff

Seit den Veröffentlichungen des Club of Rome ist auf breiter Basis bewusst geworden, dass unsere täglich verwendeten Rohstoffe eine endliche Grösse darstellen. Je nach volkswirtschaftlicher Bedeutung eines Rohstoffes bzw. dessen Zukunftserwartungen, wie z.B. bei den fossilen Brennstoffen, haben diese Betrachtungen eine unterschiedliche Gewichtung. Wie Tabelle I zeigt, ergibt sich für den Rohstoff Blei auch im Hinblick auf steigenden Verbrauch eine sehr günstige Gesamtbeurteilung. Zink und Nickel werden ebenfalls im Akkumulatorenbau verwendet.

Von grosser Wichtigkeit bei der Verfügbarkeitsbeurteilung eines Rohstoffes sind nicht nur die Mengen, sondern auch die geographische Verteilung der Vorkommen. Blei nimmt eine Vorzugsposition ein, weil die Erzvorkommen über alle Kontinente verteilt sind.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist die Rückgewinnung von Werkblei aus dem Recycling von Altbatterien. Während Recycling in vielen Bereichen Neuland darstellt, ist in der Akkuindustrie die Wiederverwertung von Akkuschrott ein seit Jahrzehnten eingespieltes Procedere. Namhafte Akkuhersteller betreiben selbst Verhüttungsanlagen, was sich auf die gesamte Rohstoffbilanz sehr günstig auswirkt. So decken z.B. die USA rund 50% ihres Bleibedarfes aus dem Recycling. Tabelle II gibt einige Hinweise hierzu. Die Differenz der weltweit geltenden Zahlen zwischen Rohstoff aus Erzverhüttung und Raffinadeproduktion wird aus dem Recycling gedeckt.

Wie die Zahlen von Tabelle III zeigen, konzentriert sich die Verarbeitung von Blei auf die Akkumulatorenindustrie. Man kann zudem davon ausgehen, dass die Verwendung von Blei in

Stand der weltweiten Erzvorräte in Mio t — Tabelle I

Metall	Bekannte Vorräte am 1.1.1972	Förderung 1972–1981	Neu entdeckte Vorkommen 1972–1981	Bekannte Vorräte am 1.1.1981
Zink	100	46	162	216
Blei	79	25	84	138
Nickel	45	5	6	44

Bleigewinnung und Verkauf in 1000 t (1982) je nach den acht wichtigsten Ländern — Tabelle II

Bergwerksproduktion		Raffinadeproduktion		Verbrauch	
UdSSR	575	USA	1033	USA	1106
USA	523	UdSSR	800	UdSSR	810
Australien	457	BR Deutschland	351	Japan	354
Kanada	341	Grossbritannien	306	BR Deutschland	333
Peru	201	Japan	302	Grossbritannien	272
Mexiko	168	Australien	247	Italien	243
VR China	160	Kanada	242	VR China	215
Jugoslawien	113	Frankreich	209	Frankreich	195
71,7% =	2538	66,2% =	3490	67,0% =	3528
übrige Welt	1034	übrige Welt	1778	übrige Welt	1739
Welt	3572	Welt	5268	Welt	5267

Endverbrauch von Blei in 20 Ländern der westlichen Welt 1981 Tabelle III

Akkumulatoren	1711 t	51%
Chemische Verbindungen	472 t	14%
Blei, gewalzt und gezogen	375 t	11%
Kabelummantelung	257 t	8%
Antiklopfmittel	209 t	6%
Legierungen	167 t	5%
Verschiedenes	161 t	5%
Insgesamt	3352 t	100%

anderen Bereichen weiter rückläufig ist (z.B. Antiklopfmittel!).

Unter Berücksichtigung der dargelegten Aspekte ist Blei ein auf lange Sicht gesicherter Rohstoff für den Bau von Akkumulatoren.

2. Die Produktionsbasis des Bleiakkumulators

Ein Aspekt, der selten im Vordergrund steht - jedoch nicht unbedeutend ist - liegt darin, dass beim Blei-Säure-System sowohl für die positive wie für die negative Elektrode das gleiche Rohmaterial - eben Blei - eingesetzt wird. Die elektrochemische Verschiedenheit der Elektroden wird im Produktionsprozess erreicht. Bei allen anderen Speichersystemen müssen zwei Grundstoffe bewirtschaftet und bearbeitet werden, wie z.B. Nickel-Cadmium oder Silber-Zink.

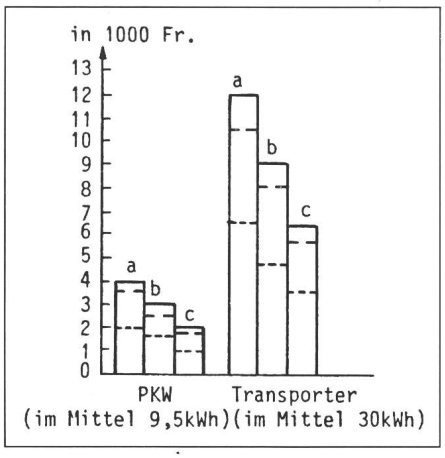

Fig. 1 Zu erwartende Preisentwicklung für Antriebsbatterien in Abhängigkeit der Produktionszahlen

a kurzfristig (etwa 3 Jahre)
b mittelfristig (etwa 6 Jahre)
c langfristig (> 10 Jahre)

——— Preis bei einer Jahresproduktion von etwa 1500 Fahrzeugbatterien
— — von etwa 10 000 Fahrzeugbatterien
------- ab etwa 20 000 Fahrzeugbatterien

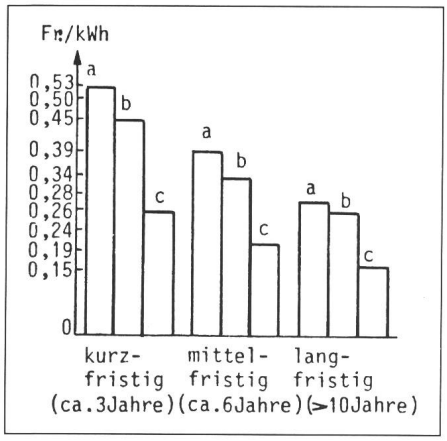

Fig. 2 Zu erwartende Kosten pro durchgesetzte kWh in Abhängigkeit der Produktionszahlen

(Bei etwa 1000 Zyklen)
Preis bei einer Jahresproduktion
a von etwa 1500 Fahrzeugbatterien
b von etwa 10 000 Fahrzeugbatterien
c ab etwa 20 000 Fahrzeugbatterien

Die Herstellung von Bleiakkumulatoren hat weltweit einen hohen technologischen Stand erreicht. In internationalen Normen, wie z.B. IEC, werden zunehmend Teilbereiche der Bleiakkutechnik erfasst. Dadurch bestehen günstige Voraussetzungen für eine grossräumige Förderung und einen einheitlichen Standard in der Ausrüstung von Fahrzeugen mit Bleiantriebsbatterien. Gegenüber möglichen künftigen Speichersystemen, die sich noch im Laborstadium befinden, ist dies vorerst ein wichtiger Vorteil.

Die Herstellung von Bleiakkumulatoren liegt im Bereich der erprobten, beherrschten Technologie, dadurch sind die Herstellungskosten und insbesondere deren Entwicklung bekannt, was für künftige Gesamtkonzeptionen überblickbare Grundlagen liefert. Abschätzungen und Extrapolationen, wie sie die Figuren 1 und 2 zeigen, sind nur in gut bekannten, überblickbaren Technologien möglich.

3. Technischer Stand und Entwicklungsziele in Europa

Durch die in Europa bevorzugte Röhrchenplatten-Technologie gewinnt der Akkumulator an Lebensdauer. Ein typischer Vertreter der europäischen Technologie ist das 6-V-Antriebsmodul 3×5 PzS 140[1], das

[1] Die Bezeichnung 3×5 PzS 140 bedeutet 3 Elemente zu 5 Plattenpaaren. PzS bezieht sich auf die frühere Bezeichnung Panzerplatte für Röhrchenplatte.

Technische Daten Antriebsmodul 3×5 PzS 140 Tabelle IV

Dimension	244×190×223	mm
Volumen	10,4	l
Gewicht	25	kg
Spannung	6	V
Nenn-kapazität K_5	140	Ah
Energiedichte[1]	26,6	$Wh \cdot kg^{-1}$
Lebensdauer[2]	>1200	Zyklen

[1] bei dreistündiger Entladung (K_3) bis 1,70 V/El. bei 30 °C
[2] bei 80% Entladung

z.B. im City-Stromer der GES (Gesellschaft für Elektrischen Strassenverkehr) eingesetzt wird (Tabelle IV). Im Einzelmodultest wurden 1200 Entladungen bei einer Kapazitätsentnahme von 80% erreicht, ohne einen nennenswerten Kapazitätsabfall zu registrieren. Als Energiedichte steht bei Entladung in 3 h 27 Wh/kg, bei Entladung in 5 h 34 Wh/kg zur Verfügung.

Figur 3a zeigt die beträchtliche Abhängigkeit der Kapazität von der Entladezeit, Figur 3b den relativ geringen Einfluss des Entladezustandes auf die Spannung.

Ein erstes Paket von Zielsetzungen ist heute in der Verbesserung der Batterieperipherie und der Betriebsbedingungen praktisch erfüllt. Das entsprechende Material, wie z.B. automatische Wassereinfüllsysteme, steht zur Verfügung.

Da die Röhrchenplatten-Technologie bereits Voraussetzungen für eine hohe Zyklenleistung bietet, stellt sich in erster Priorität die Aufgabe, die Leistungsdichte zu verbessern. In Betracht fallen folgende Massnahmen:

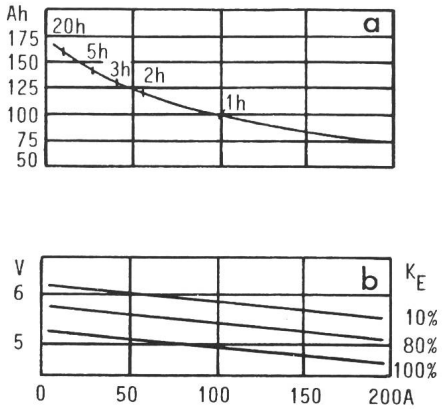

Fig. 3 Leistungsprofil des Antriebsmoduls 3×5 PzS 140

a Kapazität in Abhängigkeit der Entladezeit
b Spannungsverlauf in Abhängigkeit der Entladetiefe K_E

Technische Daten der Antriebsmodule EV-2300, EV-3000 Tabelle V

	EV-2300	EV-3000	
Dimension	356×254×279	381×330×295	mm
Volumen	25,2	37,1	l
Gewicht	57,3	73,1	kg
Spannung	12	12	V
Nennkapazität K_5	200	270	Ah
Energiedichte[1]	39,5	41,5	$Wh \cdot kg^{-1}$
Lebensdauer[2]	>600 (800)	>600 (800)	Zyklen

[1] bei dreistündiger Entladung (K_3) bis 1,75 V/El. bei 27 °C
[2] bei 80% Entladung

Verringern der Spannungsabfälle im Trägersystem der aktiven Masse und die optimale Führung und Auslegung der Plattensatz-Verbindungen. Zwei attraktive Zielrichtungen bestehen in der chemischen Nachbehandlung der negativen Platten und in der künstlichen Elektrolytumwälzung.

Die negative aktive Masse benötigt Expanderzusätze oder sog. Spreizmittel. Diese Komponenten werden im Laufe der Betriebszeit unwirksam. Durch Erneuern dieser Komponenten auf chemischem Weg über den Elektrolyten kann eine hohe Masseausnützung über längere Zeit sichergestellt werden. Durch künstliche Elektrolytumwälzung und die dadurch erreichten homogenen Verhältnisse im gesamten Akkumulator kann die Leistungsdichte ebenfalls gesteigert werden.

4. Technischer Stand und Entwicklungsziele in den USA

In den USA ist seit Jahren die Gitterplatten-Technologie vorherrschend. Dieser Batterieaufbau ergibt sehr gute Voraussetzungen für das Leistungsprofil, während die erreichbare Zyklenzahl, d.h. die Lebensdauer, geringer ist als bei der europäischen PzS-Technik. Die heute in den USA eingesetzten Fahrzeugmodule EV 2300 und EV 3000 wurden bezüglich der Masseträgerkonstruktion mittels Computersimulation optimiert. Verschiedentlich wird der Elektrolyt auch durch eine eingebaute Luftkolonne während Ladung und Entladung umgewälzt.

Als Energiedichte steht bei Entladung in 3 h 41,5 Wh/kg zur Verfügung, dies bei 80% Entladetiefe und einer Lebensdauer von etwa 800 Zyklen (Tab. V).

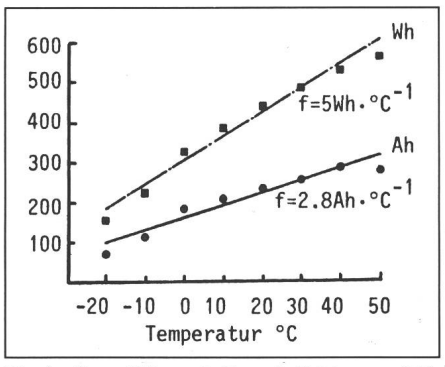

Fig. 4 Kapazität und Energiedichte von EV-3000-Modulen in Funktion der Betriebstemperatur

f Steigung der Geraden
Ah Kapazität
Wh Energie

Die erste Priorität der Entwicklungsziele kommt der Separator- bzw. Eintaschungstechnik zu, um bei diesen Hochleistungsakkumulatoren den Ausfall von aktiver Masse aus den Trägergittern zu verhindern. Es wurden Faserstrukturstoffe zur Umhüllung der Flachplatten (Gitterplatten) entwickelt, mit denen nahezu der gleiche Effekt wie mit der europäischen Röhrchenplatten-Technologie erreicht wird.

Ein weiterer wichtiger Ansatzpunkt ist das Eingreifen in die Systemtemperatur während der Entladung. Generell steigen die Kapazität und der Energieinhalt mit steigender Temperatur. Beim Modul EV 3000 mit 270 Ah_{K5} ergibt sich eine Kapazitätszunahme von 2,8 Ah bzw. 1,03% pro °C. Der Energieinhalt nimmt mit 5 Wh bzw. 2% pro °C zu (Fig. 4). Der Arbeitspunkt mit höchsten Leistungswerten wird bei einer Betriebstemperatur von etwa 40–45 °C erreicht. Höhere Betriebstemperaturen hätten markante Lebensdauereinbussen zur Folge.

5. Schlussfolgerung

Diese Ausführungen beleuchten nur Teilaspekte der äusserst komplexen Materie Antriebsbatterien. Ob aus der Sicht dieser Teilaspekte oder aus der Vielzahl anderer Kriterien geht klar hervor, dass die Bleibatterie für den elektrischen Strassenverkehr zur Verfügung steht und eine Vielzahl von Einsatzprofilen problemlos abdeckt. Im weiteren geht auch klar hervor, dass die Bleibatterie noch weiter entwicklungsfähig ist. Aus der Sicht der Bleibatteriehersteller geht es deshalb in erster Linie darum, Mittel und Wege zu finden, Elektrostrassenfahrzeuge in grösserer Stückzahl und damit preisgünstiger anbieten zu können.