

**Zeitschrift:** Technische Mitteilungen / Schweizerische Post-, Telefon- und Telegrafienbetriebe = Bulletin technique / Entreprise des postes, téléphones et télégraphes suisses = Bollettino tecnico / Azienda delle poste, dei telefoni e dei telegrafi svizzeri

**Band:** 68 (1990)

**Heft:** 11

**Artikel:** Die Natrium/Nickelchlorid-Batterie : eine neue Hochenergiebatterie

**Autor:** Böhm, Harald

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-876223>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 06.10.2024

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

# Die Natrium/Nickelchlorid-Batterie, eine neue Hochenergiebatterie

Dr. Harald BÖHM, Ulm

Zusammenfassung. Der Autor berichtet über die Entwicklung einer Hochenergie-Natrium/Nickelchlorid-Batterie, die gemeinsam mit der englischen Firma Beta Research and Development betrieben wird. Die Vorteile des zur Zeit einem Test über Zuverlässigkeit und Lebensdauer unterzogenen Systems liegen in einer einfacheren Herstellungsmethode gegenüber Natrium/Schwefel-Batterien. Nicht nur die hohe Energiedichte, sondern auch der hohe Wirkungsgrad und die Lebensdauer sind von Bedeutung.

## La batterie au sodium/chlorure de nickel, une nouvelle batterie à haute énergie

Résumé. L'auteur décrit le développement d'une batterie au sodium/chlorure de nickel à haute énergie, effectué avec la collaboration de la firme anglaise Beta Research and Development. Cette batterie est actuellement soumise à des essais de fiabilité et de durée de vie. Les avantages du système ne sont pas seulement une densité d'énergie élevée, mais encore un rendement élevé et sa durée de vie.

## La batteria al sodio/cloruro di nichelio, una nuova batteria ad alta energia

Riassunto. L'autore descrive il lavoro di ricerca per lo sviluppo di una batteria al sodio/cloruro di nichelio effettuato in collaborazione con la ditta inglese Beta Research and Development. Attualmente la batteria è sottoposta a una prova di affidabilità e di durata. I vantaggi del nuovo sistema rispetto alle batterie al sodio/zolfo risiedono nel metodo di fabbricazione semplice. Altri elementi rilevanti sono l'elevata densità d'energia, l'alto grado di rendimento e la durata di vita.

## 1 Einleitung

Die Speicherung elektrischer Energie ist für die Infrastruktur und Logistik in den Industrieländern von ausserordentlicher Bedeutung. Durch den Speicher können zeitliche Verschiebungen zwischen Erzeugung und Verbrauch überbrückt und elektrische Energie für mobile Anwendungen nutzbar gemacht werden. Hierfür stehen heute im wesentlichen Sekundärbatterien auf der Basis Blei und Nickel/Cadmium zur Verfügung. Sie haben ein sehr breites Anwendungsspektrum gefunden: von kleinen Gerätebatterien, wie sie in den Rasierapparaten oder Werkzeugen eingesetzt werden, bis zur 14-MWh-Batterie in einem Berliner Kraftwerk zur Frequenzregulierung bzw. zur Abdeckung der Sofortreserve.

Trotz ihrer weiten Verbreitung werden Blei- und Nickel/Cadmium-Batterien den heutigen Anforderungen nicht immer gerecht. Besonders bei grösseren Traktionsbatterien und stationären Batterien werden Energiedichte, Wirkungsgrad, Wartungsaufwand und Kapazitätsaus-

nutzung als verbesserungsbedürftig angesehen. Die eingeführten Batteriesysteme verfügen aber nicht mehr über das Entwicklungspotential, um die von den Anwendern verlangten Verbesserungen zu verwirklichen. Gefordert wird eine leichte und kompakte Batterie mit grosser Kapazität und hoher Leistungsfähigkeit: eine Hochenergiebatterie. Weltweit wird daher seit langem an der Entwicklung dieser Batterien gearbeitet. Als Beispiel ist die Natrium/Schwefel-Batterie zu nennen, die aber bis heute noch keine praktische Anwendung gefunden hat.

## 2 Die Natrium/Nickelchlorid-Batterie

AEG und ihr englischer Partner Beta Research and Development arbeiten an der Entwicklung einer neuen Batterie: die Natrium/Nickelchlorid-Batterie. Sie ist aus einzelnen Zellen aufgebaut (Fig. 1a und 1b). In jeder Einzelzelle befinden sich im geladenen Zustand Natrium als negative Elektrode und Nickelchlorid als positive Elek-

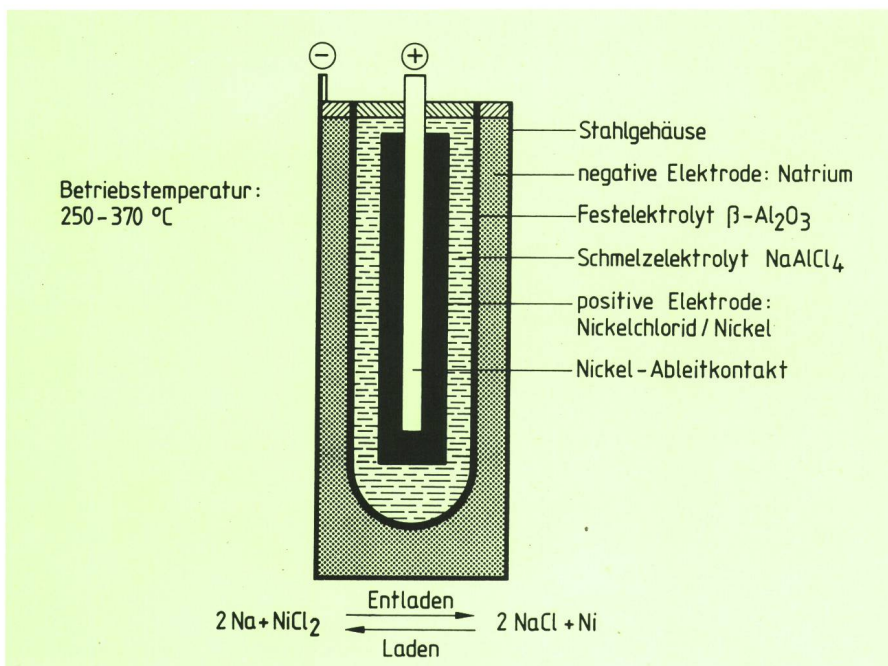


Fig. 1a  
Schematische Darstellung einer Natrium/Nickelchlorid-Zelle

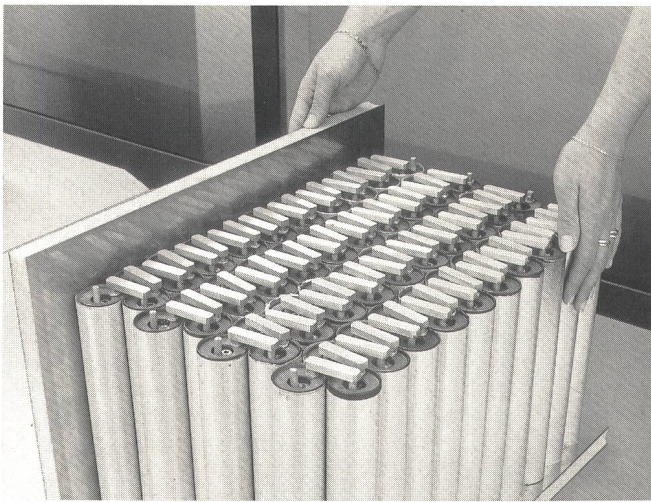


Fig. 1b  
Blick ins Innere der Hochenergiebatterie

trode. Bei der Entladung reagiert Natrium mit Nickelchlorid unter Bildung von Natriumchlorid (Kochsalz) und Nickel. Bei der Ladung läuft der umgekehrte Vorgang ab. Diese Reaktionen zeigt das Bild. Die Umsetzung in der Zelle setzt einen natriumionenleitenden Elektrolyten voraus. Hierfür wird  $\beta''$ -Aluminiumoxyd verwendet. Diese natriumionenleitende Keramik zeigt bei höheren Temperaturen die ausreichende Leitfähigkeit. Daher wird die Zelle und die Batterie bei Temperaturen zwischen 250 °C und 370 °C betrieben. Da die positive Elektrode (Nickelchlorid bzw. Kochsalz und Nickel) als Festkörperelektrode eingesetzt ist, muss ein zweiter, schmelzflüssiger Elektrolyt (Natriumaluminiumchlorid) für ihr Ankoppeln an die Elektrolytkeramik sorgen. Beide Elektrolyte sind nicht an den Zellreaktionen beteiligt, sondern dienen lediglich der Natriumionenleitung.

Die Schlüsselkomponente der Zelle ist die  $\beta''$ -Aluminiumoxyd-Keramik. Mit ihren Eigenschaften und ihrer Geometrie bestimmt sie die Kapazität und die Leistungsfähigkeit einer Zelle. Die  $\beta''$ -Keramik teilt die Zelle in einen Raum für die positive und in einen Raum für die negative Elektrode. Im Inneren des keramischen, am Boden geschlossenen Rohres ist die positive Elektrode angeordnet mit der entsprechenden Stromableitung. Die nega-

tive Elektrode – das Natrium – befindet sich zwischen der Keramik und dem Zellgehäuse, das gleichzeitig den negativen Pol der Zelle darstellt.

Die Zellen werden im entladenen Zustand gebaut. Dadurch gestaltet sich der Fertigungsprozess sehr einfach: in die vorbereitete Zelle wird als aktive Masse lediglich ein Gemisch aus Nickelpulver und Kochsalz eingefüllt und der schmelzflüssige Elektrolyt  $\text{NaAlCl}_4$  hinzugefügt. Ein Hantieren mit metallischem Natrium ist also nicht erforderlich. Das Natrium wird elektrochemisch während der ersten Ladung in der Zelle gebildet. Die Zellen haben bei Arbeitstemperatur eine Spannung von 2,59 V und eine Kapazität von 40 Ah.

Um zu technisch verwertbaren Spannungen und Energieinhalten zu kommen, werden die Zellen innerhalb der Batterie in Reihen- und Parallelschaltung angeordnet (Fig. 2). Ein vakuumisoliertes Batteriegehäuse hält die Betriebstemperatur der Batterie, die bei Inbetriebnahme aufgeheizt wurde, bei Stillstandszeiten über längere Zeit aufrecht. Sie kann in beliebigen Grössen und Abmessungen gebaut werden; Spannung und Kapazität sind frei wählbar. Derzeit wird eine 150 V/180 Ah-Batterie als Erprobungsmuster hergestellt (Fig. 3). Die Messwerte dieser Batterie sind in Tabelle I zusammengestellt.

Tabelle I. Daten der Na/NiCl<sub>2</sub>-Batterie

Ruhespannung:	2,59 V
Arbeitstemperatur:	250° C bis 370° C
Spezifische Energie: (30-kWh-Batterie bei 5 h Entladung)	89 Wh/kg/113 Wh/l
Spezifische Leistung: (30-kWh-Batterie)	109 W/kg/131 W/l
Energiewirkungsgrad: (12 h Laden, 5 h Entladen)	91 %
Zyklen:	
Zellen	2500
Batterie (Test wird fortgesetzt)	> 300
Abkühlzyklen:	
Zellen	> 91
Batterie (Versuche abgebrochen, keinerlei Schädigung)	> 7
Thermische Selbstentladung: (nicht optimiert)	200 W

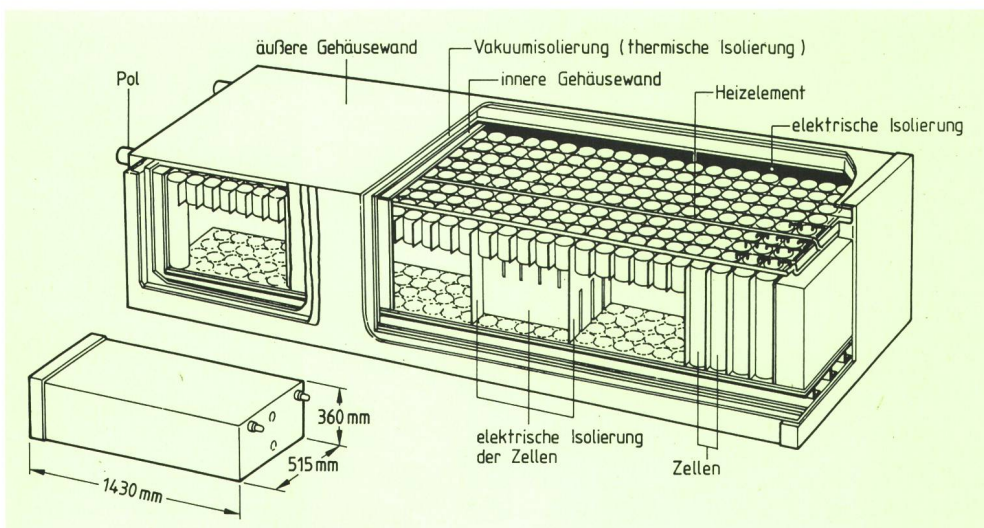


Fig. 2  
Aufbau der Natrium/Nickelchlorid-Batterie

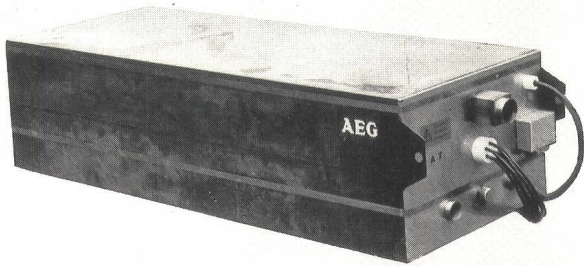


Fig. 3  
Erprobungsmuster

### 3 Neuentwicklung übertrifft Bleiakku um den Faktor 4

Bei den Daten ist besonders auf die hohen Leistungs- und Energiedichten sowie auf den ausgezeichneten Energiewirkungsgrad von 91 % hinzuweisen. Bei der Energiedichte (Wh/kg) übertrifft die neue Na/NiCl<sub>2</sub>-Batterie der AEG den Bleiakku nahezu um den Faktor 4. Lebensdauer-Untersuchungen zeigten, dass Zellen bis zu 2500 Zyklen erreichten. Aufgrund dieses Ergebnisses ist zu erwarten, dass auch die Zyklenzahlen der Batterien in der vom Markt geforderten Grössenordnung von 1000 bis 1500 Zyklen liegen werden.

Zahlreich und überzeugend sind die Vorzüge des Batteriesystems. So können die Batterien vollständig entladen werden, was bei anderen Systemen, z. B. Blei, nicht zulässig ist. Hervorzuheben ist ausserdem die Wartungsfreiheit und die Möglichkeit, die Batterie ohne Schädigung abkühlen zu können. Dadurch kann sie in kaltem Zustand gelagert und verschickt werden. Wesentlich für den Betreiber ist auch die hohe inhärente Sicherheit der Batterie aufgrund des Stoffsystems. Der gewaltsame Bruch der Elektrolytkeramik, z. B. im Crash-

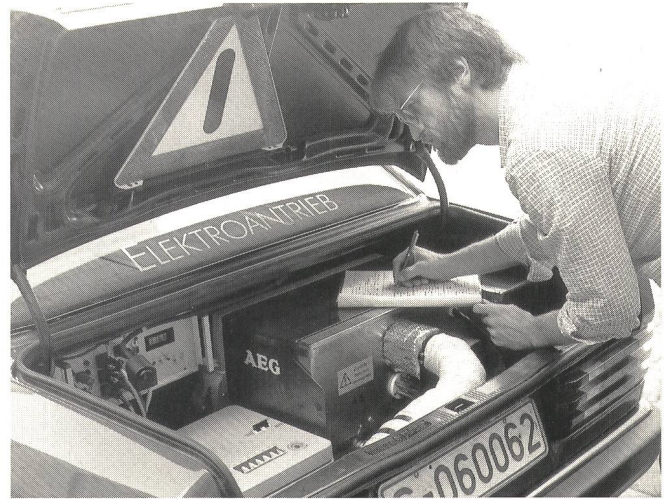


Fig. 4  
Im Versuchswagen eingebaute Batterie und Messgeräte

Fall, stellt ebensowenig ein Sicherheitsrisiko dar wie eine massive äussere Temperatureinwirkung bis zu 600 °C oder ein versehentliches Überladen der Batterie. Darüber hinaus überstanden Zellen und Batterien Vibrations- und Schocktests ohne Schädigungen.

Weitere Eigenschaften des Batteriesystems sind:

- Konstante Ruhespannung während der Entladung
- hohe Leistungs- und Energiedichten
- Anstieg des Innenwiderstandes beim Entladen
- Unabhängigkeit von der Umgebungstemperatur
- reversible Überladung und Überentladung begrenzt möglich
- umweltverträglich, keine Entsorgungsprobleme
- keine Korrosionsprobleme
- Selbstüberbrückung ausgefallener Zellen.

### 4 Anwendungsfelder der Natrium/Nickelchlorid-Batterie

Im stationären Bereich kann die Batterie als Speicher für den Spitzenlastausgleich, für regenerative Energiequellen und für die unterbrechungsfreie Stromversorgung

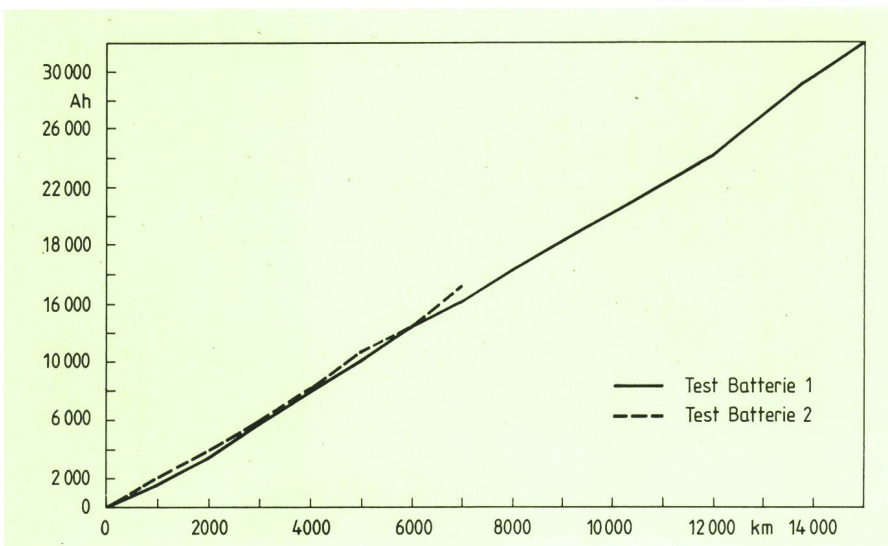


Fig. 5  
Fahrversuche: Zugeführte und entnommene Ladung in Ah über die Fahrstrecke

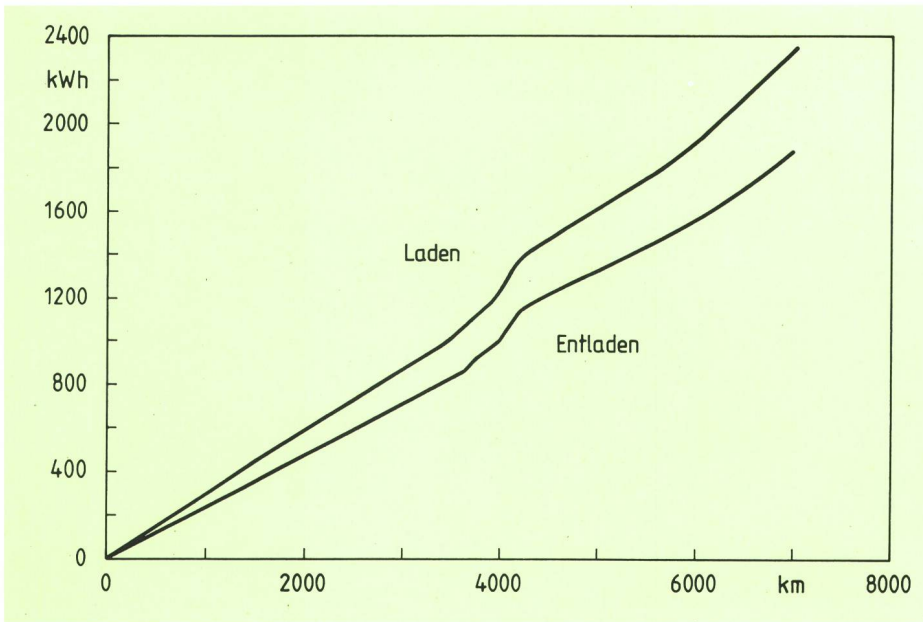


Fig. 6  
Fahrversuche: Zugeführte und entnommene Energie in kWh über die Fahrstrecke

eingesetzt werden. Bei diesen Anwendungen wird weltweit ein sehr stark steigender Bedarf bis zum Jahr 2000 erwartet. Hierbei sind weniger eine hohe Energiedichte, sondern ein hoher Wirkungsgrad, lange Lebensdauer und ein niedriger Preis gefragt.

Erste Anwendungen des Batteriesystems werden aber im mobilen Bereich erwartet, in dem die spezifischen Eigenschaften der Natrium/Nickelchlorid-Batterie die Voraussetzung für eine erfolgreiche Anwendung bilden: bei Elektrofahrzeugen und bei Flurförderzeugen.

Elektrostrassenfahrzeuge sind grundsätzlich als Stadtfahrzeuge für den Kurzstreckenverkehr mit täglichen Fahrstrecken bis maximal 150 km konzipiert. Solche Fahrzeuge konnten bis heute kaum erfolgreich betrieben werden, da die bisher eingesetzte Bleibatterie wegen ihres hohen Gewichtes und ihrer geringen Speicherkapazität den Fahrzeugen zu geringe Reichweiten und zu geringes Leistungsvermögen verlieh. Die Erprobung der Na/NiCl<sub>2</sub>-Batterie in einem Elektrostrassenfahrzeug wird gemeinsam mit Daimler-Benz durchgeführt. Als Erprobungsträger dient ein Mercedes-Benz-Fahrzeug Typ 190 (Fig. 4), das mit einem Elektroantrieb ausgerüstet ist. In Figur 5 ist die der Batterie entnommene Ladung über der Fahrstrecke aufgetragen, und zwar für die ersten beiden Versuchsbatterien. Der Ah-Wirkungsgrad ist bei dieser Batterie 100 %, d. h. eingeladene und entnommene Ladung sind identisch und in Figur 6 dargestellt. Daraus ergibt sich ein Energiewirkungsgrad für den Fahrbetrieb von knapp 80 %. Trotz des schweren Fahrzeuges mit einem Gesamtgewicht von fast 1600 kg ergeben sich ansehnliche Fahrleistungen: die Höchstgeschwindigkeit beträgt 130 km/h, die Reichweite bei konstantem Tempo von 50 km/h 175 km, die Steigfähigkeit 30 %. Das schwere Fahrzeug hatte einen Energieverbrauch je Kilometer zwischen 140 und 350 Wh. Der durchschnittliche Verbrauch lag bei 229 Wh/km. Die Fahrversuche wurden intensiviert, um eine breitere Basis für die Beurteilung der Batterieanwendung im Elektrofahrzeug zu schaffen.

Ein weiteres Anwendungsfeld stellen die Flurförderzeuge dar. In diesem Bereich werden heute überwie-

gend Bleibatterien eingesetzt. Lediglich bei fahrerlosen Transportsystemen finden auch Nickel/Cadmium-Batterien Anwendung. Rationalisierungsmassnahmen in den Fertigungsabläufen haben in den letzten Jahren die Anforderungen an Batterien für Gabelstapler stetig steigen lassen. Es werden hierbei Zweischichtbetrieb ohne Batteriewechsel, Ladung der Batterie am Einsatzort, Möglichkeit von Tiefentladungen, zuverlässige Anzeige des Ladezustandes und vor allem die Reduzierung der heute nötigen Wartungsarbeiten gefordert. Der Zweischichtbetrieb mit einer Batterieladung wird aber erst möglich, wenn die Batterie bei gleichem Gewicht und gleichem Volumen etwa die doppelte Speicherkapazität aufweist. Im Betrieb wird während 16 Stunden entladen; für das Laden stehen die verbleibenden acht Stunden zur Verfügung. Die heutigen Batterien können diese Forderungen

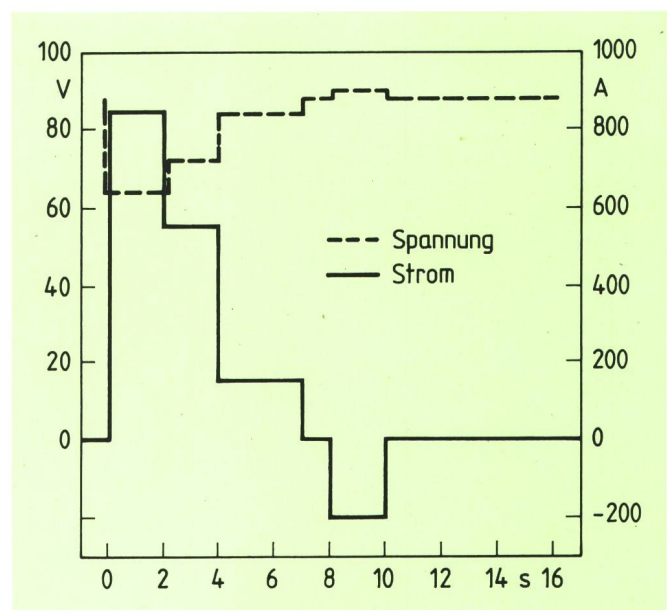


Fig. 7  
Anwendung der Batterie in einem Gabelstapler. Typischer Belastungszyklus für das Arbeitsspiel Fahren, Heben, Bremsen

nicht erfüllen. Mit der Na/NiCl<sub>2</sub>-Batterie bietet sich die Chance, die Arbeitsabläufe im Flurförderbereich zu vereinfachen und weiter zu rationalisieren. Dass die Na/NiCl<sub>2</sub>-Batterie nicht nur die Kapazitätsforderungen, die den Zweischichtbetrieb gestatten, erfüllt, sondern auch den leistungsmässigen Anforderungen gewachsen ist, zeigt der Belastungszyklus eines 3-t-Gabelstaplers (Fig. 7). Für diesen Stapler ist eine 80 V/660 Ah-Batterie vorgesehen, die im gleichen Volumen die doppelte entnehmbare Kapazität gespeichert hat wie eine entsprechende Bleibatterie. Den hohen Strombelastungen während des Arbeitsspieles Fahren, Heben und Bremsen – ausgelöst durch gleichzeitiges Fahren und Heben – kann die Batterie folgen, ohne dass die Spannung auf zu niedrige Werte absinkt. Während des Bremsvorganges wird Energie wieder in die Batterie rückgespeist.

## 5 Stand der Entwicklung

Das Entwicklungsvorhaben Na/NiCl<sub>2</sub>-Batterie der AEG ist weit fortgeschritten. Die Leistungs- und Energiedaten entsprechen den Forderungen des Marktes und qualifizieren die Batterie für viele Anwendungen. In der derzeitigen Entwicklungsphase wird die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer des Systems unter Anwendungsbedingungen nachgewiesen. Gleichzeitig wird das Verhalten der Batterie in Flurförderzeugen und Elektrostrassenfahrzeugen demonstriert und die Batterie für diese Anwendungen qualifiziert. Dazu hat AEG eine umfangreiche Zusammenarbeit mit Herstellern und Betreibern von Flurförderzeugen und Elektrofahrzeugen begonnen. Bei erfolgreichem Abschluss der jetzigen Entwicklungs- und Erprobungsphase folgt die Fertigungsentwicklung mit dem Ziel, die Batterie von 1995 an zu produzieren.