

**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:** 78 (1987)

**Heft:** 16

**Artikel:** Nickel-Eisen-Akkumulatoren für Elektroautos

**Autor:** Wenzlawe, Dieter G.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-903907>

### **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:** 14.01.2026

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

# Nickel-Eisen-Akkumulatoren für Elektroautos

D. G. Wenzlawe

**Nickel-Eisen-Akkumulatoren zeichnen sich durch hohe Energiedichte, hohe spezifische Leistung und Tiefentladefähigkeit aus – günstige Voraussetzungen also, um Elektrofahrzeugen einen ausreichenden Aktionsradius zu garantieren. Hohe Entlastungsstromstärken bewirken zwar eine starke Erwärmung des Moduls, kurze Teilentladungen sind jedoch ohne Schwierigkeiten möglich.**

**Des accumulateurs au nickel/fer se distinguent par leur densité énergétique élevée, leur haute puissance spécifique et leur capacité de charge en profondeur – des conditions avantageuses garantissant aux véhicules électriques un rayon d'action suffisant. Certes, des puissances de décharge élevées provoquent un fort échauffement du module, mais de brèves décharges partielles sont malgré tout possibles sans difficulté.**

Referat, gehalten anlässlich des ASVER/ACS-Symposiums «Elektromobile im Aufschwung» am 15. Juni 1987 in Interlaken.

## Adresse des Autors

Dieter G. Wenzlawe, SAFT Akkumulatoren und Batterien GmbH, Behringstrasse 13, D-8752 Mainaschaff

## 1. Übersicht

Die Firma SAFT hatte bereits in der Vergangenheit im industriellen Massstab Nickel-Eisen-Akkumulatoren für Traktionstechnik (Gabelstapler) hergestellt.

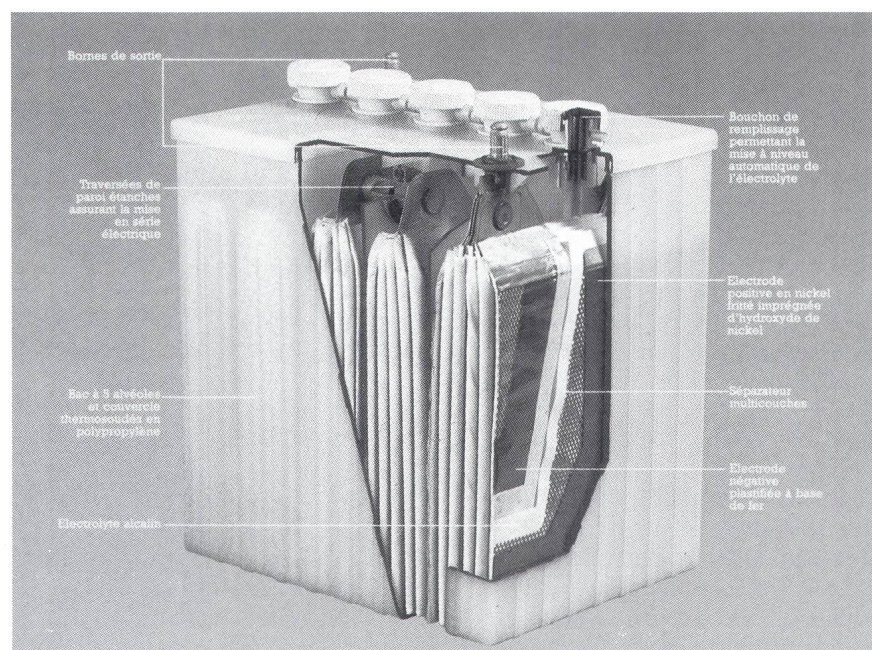
Die damals verwendete Technik beschränkte sich auf eine metallische Röhrenplatte als positiver Masseträger, welche extrem robust war und dadurch Lebenszeiten von etwa 15–20 Jahren erreichte, jedoch in den anderen elektrischen Werten wie innerer Widerstand, Energiedichte usw. keine überragenden Daten aufwies, zumal solche für diese Anwendung der Elektrottraction auch nicht gefordert waren.

In jüngster Zeit hat SAFT mit der Entwicklung eines neuen Konzeptes für Nickel-Eisen-Akkumulatoren mit hoher spezifischer Leistung und Energiedichte begonnen. Die zukunftsweisende Applikation hierfür soll das Elektroauto für den Strassenverkehr sein.

Auf kurze Sicht ist es wahrscheinlich, dass nur Bleiakumulatoren sowie alkalische Nickel-Eisen-Akkumulatoren eine kommerzielle Chance zur Anwendung in der ersten Elektroauto-Generation haben. Trotz den höheren Kosten sind Nickel-Eisen-Akkumulatoren gegenüber Bleiakumulatoren attraktiv, da ihre Eigenschaften wie hohe Energiedichte, Zuverlässigkeit und Tiefentladefähigkeit die besten Voraussetzungen sind, damit ein Elektrofahrzeug einen ausreichenden Aktionsradius mit Sicherheit garantieren kann.

Nachdem die theoretischen Entwurfskonzepte dieser neuen Nickel-Eisen-Akkumulatoren im Labor praktisch überprüft und mit dem Automobilhersteller Peugeot alle tatsächlich herrschenden Bedingungen besprochen waren, hat SAFT anschliessend ein kompaktes 6-Volt-Modul entwickelt (Fig. 1)

Die wichtigsten Ergebnisse sowie die geplanten Ziele dieses Nickel-



Figur 1 Schnittbild eines 6-V-Moduls



Eisen-Programmes sind in Tabelle I dargestellt. Diese Übersicht kann durch einen Modulvergleich ergänzt werden, der zugleich eine Aktualisierung der bisher gewonnenen Resultate und Erfahrungen aus Laboruntersuchung und Feldtest darstellt.

Hierzu dient der in Tabelle II dargestellte Vergleich des bereits seit 1985 serienmässig hergestellten Modultyps HE 1400 mit der aktuellen, neuen Generation Module vom Typ HEH 5200.

## 2. Entwicklungsweg des 6-Volt-Moduls

Auf der Grundlage der Laborergebnisse von 1980, die mit einer 200-Ah-Einzelzelle erzielt wurden, hat SAFT ein 5-Volt-Modul aus 5 Elementen entwickelt. Bei diesem Modul besteht das Gehäuse sowie der Deckel aus Polypropylen. Die Gesamtabmessungen betragen:

L = 244 mm  
B = 190 mm  
H = 280 mm

Das Gesamtgewicht beträgt, einschliesslich Elektrolyt, 25 kg.

Somit entsprechen diese Masse den ebenfalls gebräuchlichen Blockabmessungen bei Bleibatterien in derselben Applikation.

### 2.1 Mechanischer Aufbau

Die positive Elektrode ist 0,9 mm stark und besteht aus Nickelpulver, das auf eine Unterlage aus perforiertem vernickeltem Stahlband gesintert und danach chemisch imprägniert wird.

		1980 200-Zelle	1983-1987 6V Modul / 210 Ah		1995
		Ergebnis	Ziel	Ergebnis	Ziel
Energiedichte	Wh/kg - (A)	50	60	56	70
Volumenenergie	Wh/dm <sup>3</sup> - (A)	90	110	116	130
Spitzenleistung	W/kg - (B)	125	150	140	175
Wirkungsgrad	%	55	60	62	65
Lebensdauer	Anzahl der Zyklen - (C)	1500	1500	Test	2000

**Tabelle I Eigenschaften der Nickel-Eisen-Batterien**

(A) = 3stündige Entladerate

(B) = ausgelegt für 15 s bei zu 50% entladener Batterie

(C) = 80% Entladetiefe, Lebensdauer wie folgt definiert:

Ende erreicht, wenn das Modul 20% der ursprünglichen Kapazität verloren hat

Die aktive Oberfläche jeder Elektrode hat folgende Abmessungen:

B = 175 mm  
H = 190 mm

Jedes der 5 Elemente eines Moduls enthält 20 Elektroden, die sich aus 9 Doppelelektroden in der Mitte des Elementes und 2 Einzelelektroden an der Aussenseite des jeweiligen Stapels zusammensetzen.

Die Nennleistung der Elektroden beträgt:

- Einzelelektrode: 11,6 Ah
- Doppelelektrode: 23,0 Ah

Der Gegenpol, die negative Elektrode, ist 1,6 mm stark und besteht aus plastikgebondetem Eisenoxid mit einem Untergrund aus Streckstahl. Die Oberflächenmasse entsprechen derjenigen der positiven Elektrode.

Die Nennleistung dieser negativen Elektrode beträgt 30,0 Ah bei 10 negativen Elektroden pro Element.

Im Gegensatz zum Nickel-Eisen-Akkumulator vom Typ HE 1400 bestehen die positiven wie negativen Elek-

troden beim Typ HEH 5200 jeweils aus Einzelelektroden, wobei positive Elektroden 1 mm, die negativen Elektroden 0,95 mm stark sind. Jedes Element dieses Akkumulators besteht aus 16 positiven und 15 negativen Elektroden. Der Vorteil hierbei ist eine um 12% höhere verfügbare Energiedichte.

Um Kurzschlüsse zu vermeiden, die Wanderung von O<sub>2</sub> von der Plus- zur Minus-Elektrode sowie eine Eisenvergiftung der positiven Elektrode zu verhindern, ist die negative Elektrode von einem Scheider, der aus einer Membran besteht, die zwischen zwei Polyamid-Filzen eingebettet ist, umwickelt.

Um die Ohmschen Widerstände so gering wie möglich zu halten, wurde auf eine äussere Zellenverbindung verzichtet. Stattdessen sind die Elemente durch eine interne Steckverbindung zusammengedrückt.

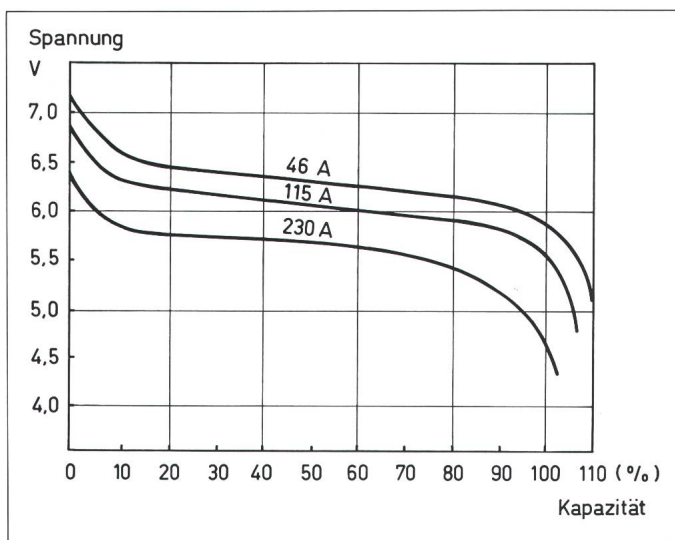
Der jeweilige Elektrodenstapel wird bei Einsetzen (Montage) in das Modul elektrisch an den Intercellverbinder geschweisst. Die Abdichtung der einzelnen Elemente innerhalb des Moduls wird durch das Eindringen der beiden O-Ringe in die vorgesehene Vertiefung auf beiden Seiten der Trennwand erreicht.

Da das Modul so wartungsfreundlich wie möglich gestaltet werden muss, sind alle Elemente mit einem automatischen Wassereinfüllstutzen versehen, der mit einem zentralen Nachfüllsystem verbunden werden kann.

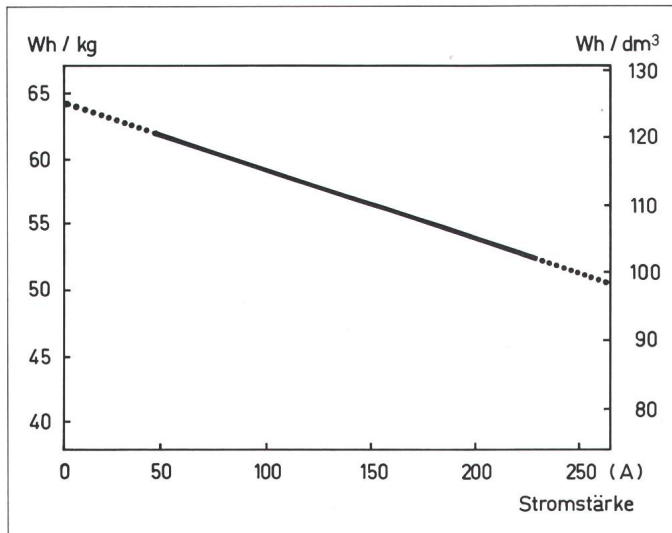
Das jeweilige Nachfüllen von Wasser erfolgt Element für Element aus einem Wasserbehälter, entweder durch Schwerkraftregelung oder mit Hilfe einer Pumpe. Sobald der obere Füllstand erreicht ist, blockiert der Elektrolyt ein Luftloch, so dass ein Überdruck entsteht, der ausreicht, um das Strömen des Wassers in das entspre-

	HEH 5200 neue Generation / 1987	HE 1400	Differenz
Abmessungen	L×B×H = 244×190×280 mm		
Gewicht	23,5 kg	25 kg	-6%
Nennkapazität	200 Ah	210 Ah	-5%
Nennspannung	6,25 V	6,25 V	
Energie 0,2 C <sub>5</sub>	1330 Wh	1400 Wh	-5%
Energiedichte bei 0,2 C <sub>5</sub>	56,5 Wh/kg	56 Wh/kg	1%
Verfügbare Energie	1230 Wh	1170 Wh	5%
Verfügbare Energiedichte	52,3 Wh/kg	46,8 Wh/kg	12%
Erwärmung bei Entladung mit 1 C <sub>5</sub> / Luftkühlung mit 2 m/s	33 °C	39 °C	15%

**Tabelle II Weiterentwicklung eines Modul-Typs**



Figur 2 Entladecharakteristik eines 6-V-Monoblocks bei 25 °C



Figur 3 Energiedichte und Volumenenergie eines 6-V-Monoblocks

chende Element zu unterbrechen. Da alle Verschlüsse in Reihe geschaltet sind, erfolgt hiernach das Füllen des nächsten Elementes usw. bis zum letzten Element.

Die in Tabelle III dargestellte Gewichtsauflage eines Moduls zeigt deutlich, dass die aktiven Bestandteile des Moduls, die positive und negative Elektrode sowie der Elektrolyt 90% des Gesamtgewichtes des Moduls für sich in Anspruch nehmen. In der Zukunft wird jede Verbesserung des spezifischen Leistungsverhältnisses des Moduls ausschliesslich durch eine Änderung in der Auslegung der Elektroden, und zwar insbesondere bei der positiven, erfolgen können. Dieser Entwicklungsschritt ist bei dem Typ HEH 5200 durch die Einbringung von positiven Einzelelektroden bereits geschehen.

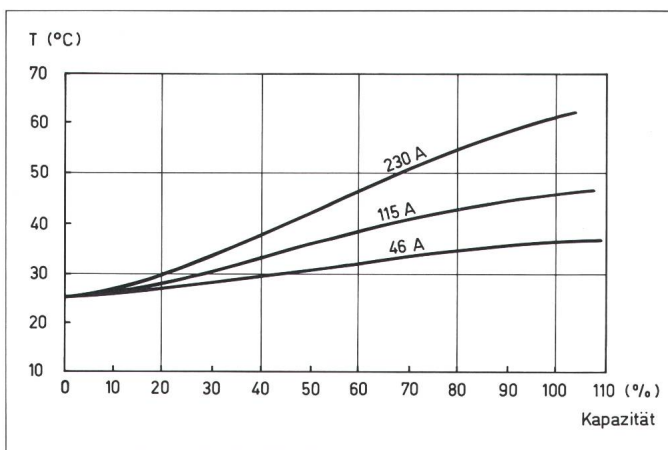
## 2.2 Elektrische Daten

In Figur 2 sind die Entladekurven eines 6-Volt-Moduls dargestellt, das bei +25 °C 10 Stunden lang mit C/7 geladen worden war und hierauf eine Stunde in Ruhe verweilte.

Hier sieht man ganz deutlich das ausgezeichnete Verhalten bei hohen Entladestromstärken.

Aus diesen Ergebnissen lassen sich Veränderungen der spezifischen Leistung und der Energiedichte in Abhängigkeit von der Entladestromstärke berechnen (Fig. 3)

Bedeutend ist ebenfalls, dass bei vollständiger Entladung des Moduls die spezifische Leistung von 62 Wh/kg auf 53 Wh/kg sinkt, wenn die Entladestromstärke von C/5 auf C steigt.



Figur 4 Wärmeentwicklung eines 6-V-Monoblocks in Abhängigkeit vom Entladestrom

Der wichtigste Faktor, der bei Entladungen auf einem niedrigen Kapazitätsniveau bei hohen Entladestromstärken einschränkend wirkt, ist die Erwärmung des Akkumulators (Fig. 4). Bei einer anfänglichen Umgebungstemperatur von +25 °C erreicht

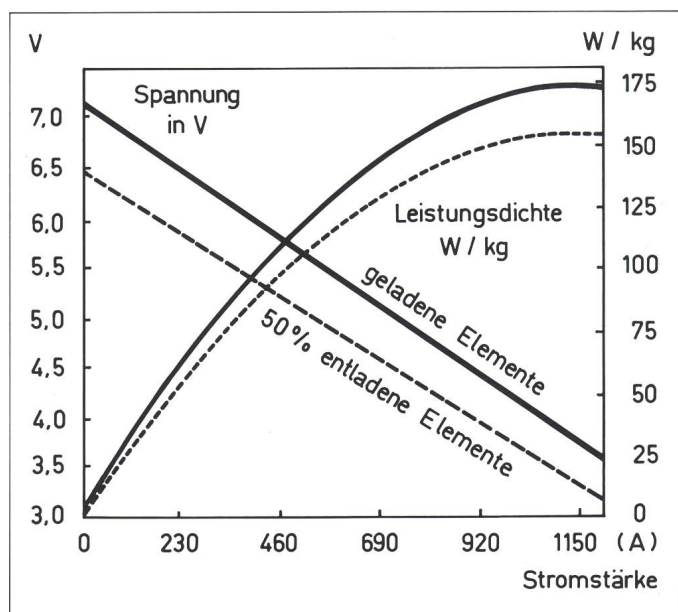
das Modul bei einer Entladestromstärke von 230 A eine Endtemperatur von mehr als 60 °C. Aus diesem Grunde ist es nicht ratsam, Entladungen auf einem niedrigen Stand mit hohen Entladeströmen durchzuführen. Wie man sieht, erreicht man eine exzellente elektrische Leistungsbilanz, jedoch wirken diese hohen Temperaturen auf die Dauer zerstörend. Als Alternative kann man ohne jede Schwierigkeit Teilentladungen, sogar bei viel höheren Stromentnahmen, durchführen (Pulse). Ein interessantes Beispiel hierfür ist das in Figur 5 dargestellte Ergebnis: Es ist somit möglich, kurze Spitzenentladungen in der Grössenordnung von 1000 A durchzuführen. Das grösste spezifische Leistungsgewicht beträgt 172 W/kg bei Spitzen von 15 s Dauer und einer Entladestromstärke von 5 C.

Die Eiselektrode hat aus der Vergangenheit den Ruf mitgebracht, dass

	Gewicht	
	kg	%
Pos. Elektroden	11,30	45,0
Neg. Elektroden	5,95	23,7
Scheider	0,65	2,6
Elektrolyt	5,40	21,5
Gehäuse/Deckel	1,25	5,0
Pole und Zwischenwände	0,45	1,8
Verschlussstopfen	0,10	0,4
Gesamtgewicht	25,10	100,0

Tabelle III Zusammensetzung des Gewichtes eines 6 V-Monoblocks /230 Ah





Figur 5 Leistungsbilanz eines 6-V-Monoblocks bei 25 °C bei kurzen Spitzenentladungen

ihre elektrischen Kenndaten bei niedrigen Temperaturen sehr schlecht sind. Um ihr Verhalten im unteren Temperaturbereich zu verbessern, hat SAFT einige Additive beigegeben, so dass die Leistungskennwerte des gesamten Moduls bei Minustemperaturen zwar deutlich abfallen, jedoch für die Anwendung im Bereich Elektrofahrzeuge mit kurzen Spitzenströmen bei weitem ausreichend sind.

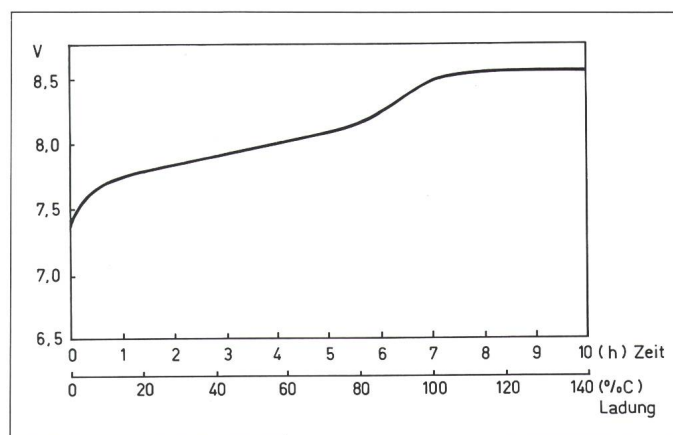
## 2.3 Ladung

Nickel-Eisen-Akkumulatoren wurden in der Regel mit Konstantstrom wie in Figur 6 aufgezeigt, geladen. Der Hauptnachteil dieses Ladeverfahrens war der grosse Gasanteil, der am Ende der Ladung entsteht. Daraus ergab sich ein höherer Wasserverbrauch und ein niedrigerer Wirkungsgrad von etwa 55%.

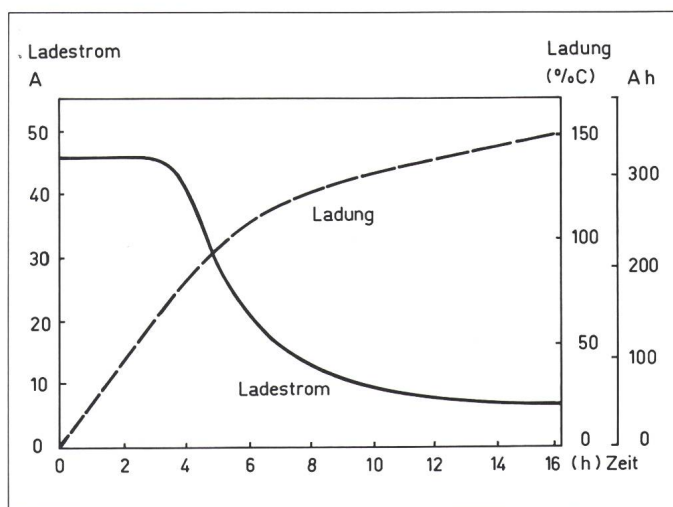
Bei einer Ladung mit Konstantspannung und einem limitierten Strom, wird die Gasentwicklung gegenüber der Konstantstromladung beträchtlich verringert. Daraus ergibt sich ferner, dass das Modul in 8 bis 10 Stunden vollständig geladen ist. Diese Werte entsprechen einem Wirkungsgrad zwischen 60% bis 65%, was einem Ladekoeffizienten zwischen 1,2 und 1,3 entspricht (Fig. 7).

Aus Figur 8 ist ersichtlich, dass Nickel-Eisen-Akkumulatoren durchaus höhere Ladestromstärken ohne jede Leistungsminderung zulassen. Es ist z.B. möglich bei Konstantspannung

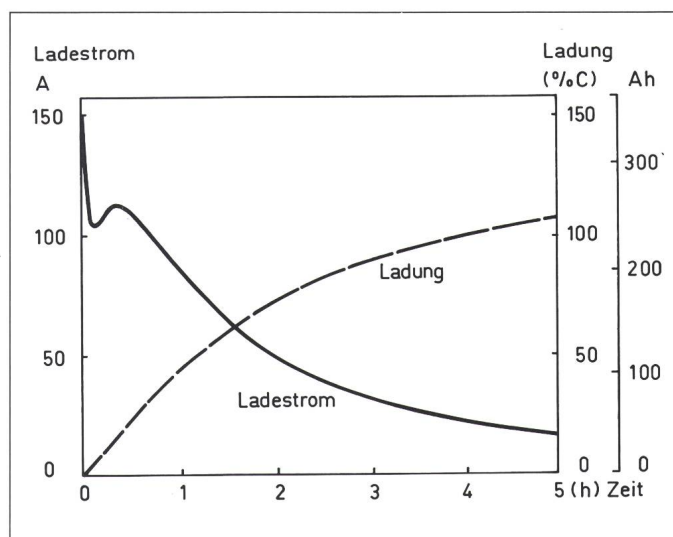
Figur 8  
Ladekennlinie mit  
 $U = 8 \text{ V}$   
 $I = \text{ohne Strom-}$   
 $\text{begrenzung}$



Figur 6 Ladekennlinie eines 6-V-Monoblocks mit  $I = 33 \text{ A}$



Figur 7 Ladekennlinie eines 6-V-Monoblocks  
 $U = 8 \text{ V}$   $I = 46 \text{ A limitiert}$



ohne Strombegrenzung zu laden. Nach einer 2-stündigen Ladung werden ungefähr zwei Drittel der Kapazität wieder erreicht. Diese Möglichkeit ist beim Elektro-Automobil sehr hilfreich, zumal kürzere Zwischenladungen durchaus die Regel sind.

Aus heutiger Sicht wird SAFT dieses Programm fortsetzen, um einmal die Anwendung im Elektro-Automobil experimentell abzudecken und zum anderen die industrielle Nutzung dieses Moduls voranzutreiben, um dadurch die Fertigungskosten zu senken.