

# Möglichkeiten und Grenzen der Energiespeicherung auf dem Fahrzeug

Autor(en): **Kurth, F.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins :  
gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen  
Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes  
Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **63 (1972)**

Heft 8

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-915685>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Möglichkeiten und Grenzen der Energiespeicherung auf dem Fahrzeug<sup>1)</sup>

Von F. Kurth, Zürich

621.3.016.4.004.4:629.113.65

Unter Fahrzeugen sollen dem Sinn und Zweck der Tagung entsprechend Elektromobile verstanden sein.

## 1. Einleitung

Im Zeichen der Zeit sei erlaubt, in bezug auf den Umweltschutz etwas weiter auszuholen.

Nach der Ansicht amerikanischer und europäischer Wissenschaftler könnte eine weiterhin unkontrollierte Luftverschmutzung die Welt einer neuen Eiszeit näherbringen. Laut Expertenberichten der Behörde für ozeanische und atmosphärische Forschung, ist die Atmosphäre über dem Nordatlantik und dem Indischen Ozean jetzt bereits doppelt so schmutzig wie zu Beginn dieses Jahrhunderts, während die Luft über dem Südpazifik noch ebenso unberührt ist wie vor 60 Jahren.

Wenn sich bisher verschmutzte Luft auf natürlichem Wege zu regenerieren vermochte, so ist zukünftig zu befürchten, dass bei andauernder Verunreinigung der Luft durch uns Menschen, ihre Regulierfähigkeit abnimmt und schliesslich verloren geht. Earl W. Barret vom Laboratorium für physikalische Atmosphärenforschung hat durch Rechnung ermittelt, dass eine zehn- bis zwanzigfache Verschmutzung gegenüber der gegenwärtigen die Durchschnittstemperatur auf der Erdoberfläche von 15,5 °C auf 4,5 °C zu senken vermöchte. Die meisten Pflanzen und Tiere würden in solch eisiger Atmosphäre nicht überleben.

An der Luftverunreinigung sind zu ungefähr gleichen Teilen der Verkehr, die Industrie und die Raumheizung beteiligt. Die Industrie wird durch bessere Einrichtungen — Filter und

<sup>1)</sup> Vortrag, gehalten an der Informationstagung der Elektrowirtschaft über Möglichkeiten und Grenzen des Elektromobils, am 19. Januar 1972 in Zürich.

Waschanlagen — ihren Beitrag an die Reinhaltung der Luft leisten müssen. Für die Raumheizung soll das reinere Erdgas das schwefelhaltigere Öl nach und nach ersetzen, nachdem sich herausstellte, dass für diese Zwecke unsere weisse Kohle zu wertvoll und mengenmässig nicht ausreichend ist.

Elegant und vollständig beseitigt wäre die Luftverpestung durch die Abgase der heutigen Strassenfahrzeuge mit deren Ersatz durch das Elektromobil.

## 2. Das Elektromobil

Das Elektromobil steht und fällt mit der Energiespeicherquelle, der es die Energie genügend lang und mit anspruchsvoller Leistung entnehmen kann. Wenn es darum geht, grössere Energien auf dem Elektrofahrzeug mitführen zu können, als wie es der Werk- oder Stadt- und Vorortsverkehr erfordern, müssen die Batteriehersteller beschämt gestehen, in ihrer Technik, trotz grossen Anstrengungen, noch recht weit entfernt zu sein, von dem was es braucht, um den modernen Individualverkehr mit Benzinmotoren durch Elektromobile ersetzen zu können.

Die Elektromobile, mit denen sich die Wohlstandsgesellschaft so selbstverständlich bequem fortbewegen möchte, benötigen Energiespeicher mit ganz wesentlich höherer spezifischer Leistung, als die mehr als hundertjährigen Bleibatterien herzugeben vermögen. Sie kommen deshalb wohl kaum mehr für diesen Zweck in Betracht.

## 3. Die Brennstoffzelle

Mit dem Erfolg der Apollo-Mondflüge, bei denen die Brennstoffzelle als sichere Energiequelle für viele Aufgaben in der Kapsel den Astronauten gute Dienste leistet, vermutete man, dass sie als Lieferant elektrischer Leistung für Elektromobile vorzüglich geeignet sein würde.

Mitte der Sechzigerjahre entschlossen sich die General Motors, ein Fahrzeug mit Brenn-

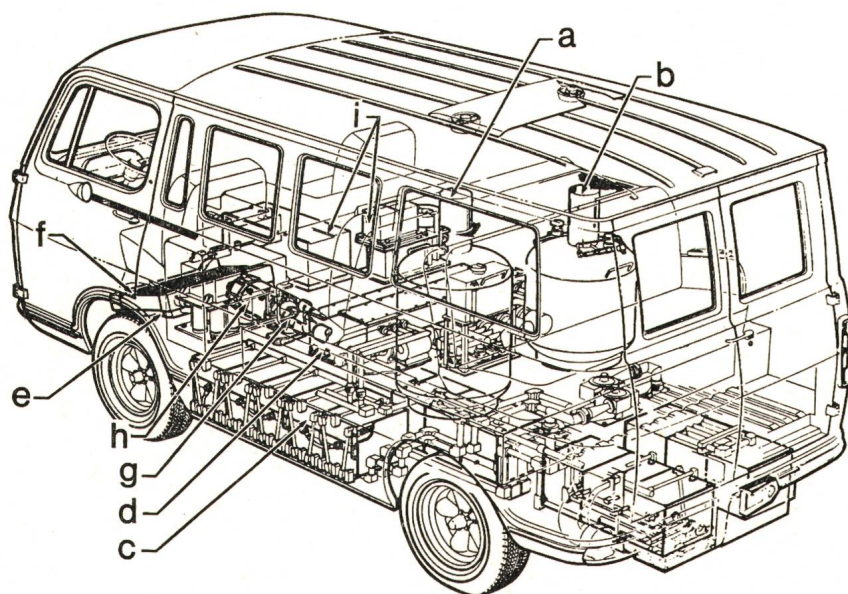


Fig. 1  
Kleinbus «Electrovan» der General Motors Co. mit  
32-kW-H<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>-Batterie

Gewicht 3,2 t; Höchstgeschwindigkeit 114 km/h;  
Reichweite 160...240 km; Gewicht des Antriebs-  
aggregats 1650 kg (nach Irvin)

- a Tank für flüssigen Wasserstoff
- b Tank für flüssigen Sauerstoff
- c 32 Batterien zu 1 kW
- d Elektrolytbehälter
- e Wärmeaustauscher für Elektrolyt
- f Wasserkondensator
- g Untersetzergetriebe
- h Wechselstrommotor
- i Motorsteuerung



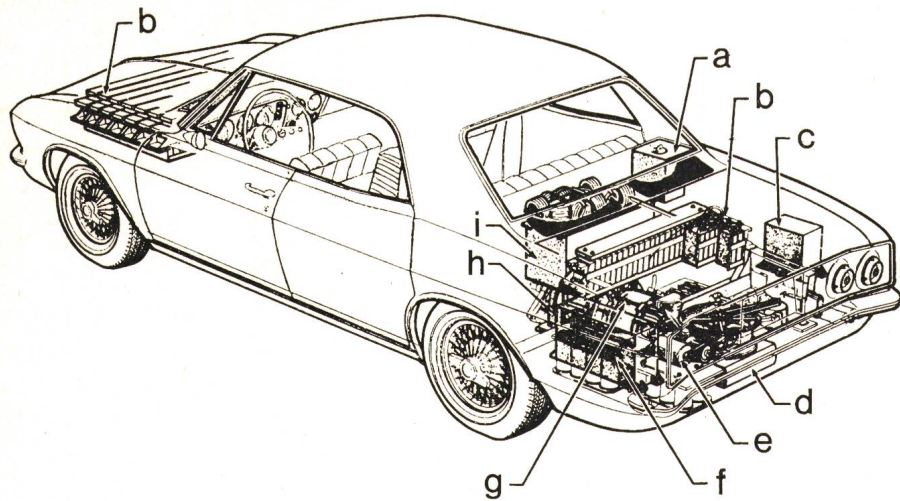


Fig. 2  
Batteriegespiesenes Fahrzeug «Electrovaair II» von General Motors

115 PS; Gewicht 1,54 t; Höchstgeschwindigkeit 129 km/h; Reichweite 65...130 km; Gewicht des Antriebsystems 560 kg

- a Ölbehälter
- b Batterien
- c Regler
- d Ölkühler mit Ventilator
- e Ölpumpe und Motor
- f Umformersteuerung
- g Gleichstrommotor
- h Getriebekasten
- i Wechselstrom-Gleichstrom-Umformer

stoffzellen auszürüsten und anzutreiben. Sie wählten die Brennstoffelementausführung, die nach dem Bacon-Prinzip mit Wasserstoff und Sauerstoff arbeitet und heute noch die grösste Leistungsfähigkeit aufweist. Zur Unterbringung aller Aggregate benötigten die Ingenieure einen Lieferwagen, wie ihn die Fig. 1 zeigt. Im Laderaum sind die Thermosflaschen für den flüssigen Wasser- und Sauerstoff untergebracht, daneben finden gerade knapp alle notwendigen Zellen in Serie- und Parallelschaltung ihren Platz. Ausser dem Fahrer- und Mitfahrersitz ist jeder verfügbare Raum ausgenutzt. Die Preisstellung der Stromquelle dieses Elektrofahrzeuges kann aufgrund der Angaben des 2-kW-Gemini-Brennstoffelementes grob auf ca. Fr. 500000.— geschätzt werden. Das Elektrofahrzeug «Elektrovan» mit einer Leistung von 32 kW der General Motors kostete ohne Entwicklungsaufwand vermutlich mehrere Millionen.

Parallel zu dieser Entwicklung bauten die Ingenieure der GM den akkumulatorgespiesenen «Elektrovaair», wie er in Fig. 2 dargestellt ist. Silber-Zink-Akkumulatoren dienten als Energiespeicher, sie allein kosten die Summe von über Fr. 60000.—. Im dafür verwendeten Corvaair musste der ganze Kofferraum zur Unterbringung der Batterien beansprucht werden. In Tabelle I sind die Gewichte und Leistungsdaten des Elektrovan, d. h. dem Auto mit Brennstoffelementen ausgerüstet, des herkömmlichen «General-Motors-Van», des «Elektrovaair», d. h. dem batteriebetriebenen «Corvaair» und des normalen «Corvaair» einander gegenübergestellt.

Die Beschleunigung und die Höchstgeschwindigkeit des «Elektrovan» sind nahezu mit denjenigen des konventionellen «GM-Van» vergleichbar. Dagegen ist das Gesamtgewicht des «Elektrovan», also des brennstoffelementbetriebenen Fahrzeuges, etwa doppelt so schwer.

Die Leistungsdaten des «Elektrovaair» und des «Corvaair», Beschleunigung und Höchstgeschwindigkeit, liegen bei beiden Fahrzeugen ziemlich nahe; dagegen ist das Antriebsaggregat des Elektrovaair, Motor und Batterien, beträchtlich schwerer als das System mit Benzinmotor des «Corvaair». Wenn anstelle von Silber-Zink-Batterien Bleibatterien eingesetzt würden, hätte das Elektromobil «Elektrovaair» bei gleichem Gewicht einen viermal kleineren Aktionsradius von nur ca. 16...32 km.

Die Kehrtwendung der General Motors in ihrer Forschung von der Brennstoffzelle zum Akkumulator zurück beweist, dass es ihnen nicht gelungen ist, auf diesem Weg ein finanziell tragbares Energiespeicheraggregat zu entwickeln, das die Automobilindustrie in die Lage bringt, das Elektromobil als interessanten Ersatz für das Fahrzeug von heute anbieten zu können.

#### 4. Neue Batteriesysteme

Der Automobilist von morgen steigt von seinem «schnittigen» Wagen nur dann in das Elektromobil um, wenn ihm dieses erlaubt, sich mindestens gleich schnell und komfortabel fortzubewegen; die grosse Mehrheit der Autofahrer ausserdem nur, wenn die Anschaffung und der Betrieb desselben nicht teurer zu stehen kommen.

Die Energiespeicherquelle des neuzeitigen Elektromobils für den individuellen Strassenverkehr müsste ein Energie-Gewichtsverhältnis oder eine spezifische Energie von 300...400 Wh/kg und gleichzeitig eine hohe spezifische Leistung von 400...2000 W/kg aufweisen; gewissermassen das 6- bis 12-fache des Bleiakкумуляtors.

Es sind Batteriesysteme bekannt und befinden sich in Forschungsphase, die die Forderungen höherer spezifischer

Gewichte und Leistungsdaten

Tabelle I

		Electrovan	GM-Van	Electrovaair	Corvaair
Gewicht	kg	3220	1470	1540	1180
Beschleunigung 0...97 km/h	s	30	23	16	16
Höchstgeschwindigkeit	km/h	114	114	129	138
Reichweite	km	160...240	320...400	65...130	400...480
Gewicht des Antriebsystems	kg	1650	394	560	276



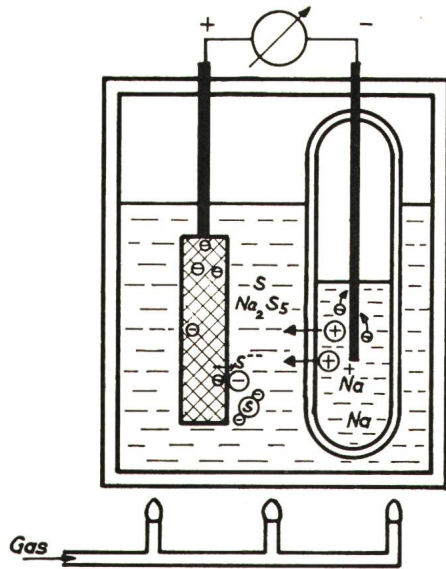


Fig. 3

**Natrium-Schwefel-Zelle von Ford**

Die Na<sup>+</sup>-Ionen (+) wandern durch die Keramik. Die Elektronen (-) wandern über die negative Elektrode und über den äusseren Stromkreis zur positiven Elektrode und werden dort an den Schwefel abgegeben, wodurch sich die Schwefelionen S<sup>-</sup> bilden. Na<sup>+</sup> und S<sup>-</sup> vereinigen sich teils zu Na<sub>2</sub>S<sub>5</sub>, bleiben aber auch teils als Ionen dissoziiert. Betriebstemperatur 300 °C. Bei Ladung sind alle Vorgänge umgekehrt.

Leistung und höherer spezifischer Energiespeicherung erfüllen könnten. Einem amerikanischen Regierungsauftrag gemäss wurde planmässig, selbstverständlich unter Zuhilfenahme von Computern, das ganze periodische System der Chemie nach geeigneten Elementen für Anoden und Kathoden sowie organische Substanzen nach Elektrolyten abgesucht und die Voraussetzungen erforscht, nach denen Hochleistungsakkumulatoren gebaut werden müssen. Von einer erstaunlichen Anzahl geeigneter Kombinationen, die in der Folge weiter untersucht wurden, sind die Ergebnisse der Forschungsarbeiten in Berichten veröffentlicht worden.

Eine Neuheit, der Natrium-Schwefel-Akkumulator, hat vor einiger Zeit sehr von sich reden gemacht, als man ihn in den Ford-Laboratorien ganz intensiv bearbeitete. An dort zuständiger Stelle wurde vermutet, in ihm die Energiespeicherquelle des Elektromobils der Zukunft in greifbarer Nähe zu haben.

Der Natrium-Schwefel-Akkumulator, Fig. 3, besteht aus einem Becher als fester Elektrolyt, in dem geschmolzenes Natrium enthalten ist. Der feste Elektrolyt, ein keramischer Natrium-Ionenleiter, wird aussen von Schwefel und Natriumsulfid umgeben. Wie in einer Salzwasserlösung leiten Natriumionen den Strom von Kathode zu Anode. Die Natriumionen transportieren Natrium durch den keramischen Elektrolyten zum Schwefel, das sich zu Natriumsulfid verbindet. Beim Austritt der positiven Ionen aus dem Natrium im Innern der Keramik, bildet sich in der Flüssigkeit Na ein Überschuss an Elektronen, die mittels der Kohleelektrode über den äusseren Stromkreis in das Schwefelbad abfliessen und dort negative Schwefelionen bilden. Auf diese Art wird die Energie der Verbindung von Natrium mit Schwefel als Elektrizität frei. Damit Natrium, Schwefel und Natriumsulfid flüssig sind und der keramische Elektrolyt genügende Leitfähigkeit aufweist, muss die Zelle bei einer Temperatur von ca. 300 °C arbeiten. Zudem darf die Keramikwand nur sehr feinhäutig sein, damit der

innere Widerstand den Energiefluss nicht zu stark hemmt. Die notwendige Wärme zur Erhaltung der hohen Temperatur müsste jedenfalls zum Vergleich in der Leistungsberechnung der Natrium-Schwefel-Zelle ebenfalls mit einbezogen werden. Um diese Neufindung ist es inzwischen ebenso still geworden, wie um die Brennstoffzelle. Man weiss aber, dass bei Ford das Projekt auf Sparflamme weiterläuft.

Nicht nur die Ingenieure der General Motors sind von der Brennstoffzelle zum Akkumulator zurückgekehrt, auch die Appollo-Leute verwenden für Mondautoantrieb wiederum Batterien, und weil bei solchen Experimenten und Expeditionen das Geld keine Rolle spielt, dürfen es Silber-Zink-Akkumulatoren sein (Fig. 4). Die Entwicklung dieses Elektromobils, bei dem die Luftverschmutzung auf dem Mond ausser acht fällt, kostete mehrere Millionen Dollar. Trotzdem bleibt es mit dieser teuren Entwicklung nur beim Auto auf dem Mond!

Frühere Forschungsergebnisse der Silber-Zink-Batterie liessen vermuten, dass sie für den Individual-Strassenverkehr als Energiespeicherquelle bezüglich spezifischer Energie und Leistung nahe an das herankomme, was zu fordern ist, aber zum vornherein als zu teure Lösung angesehen werden muss. Deshalb war zu überlegen, wie man das kostspielige Silber geeignet ersetzen kann. Wie der Braunstein in der Primärzelle oder der Taschenlampenbatterie hat hier das Silber die Aufgabe des Sauerstoffträgers. Im geladenen Silber-Zink-Element ist das aktive Silber als Silberoxyd vorhanden, das bei der Entladung den Sauerstoff zur Oxydation des Zinks abgibt. Dank der Brennstoffelementeforschung ist man in der Lage, hochaktive Sauerstoffelektroden zu bauen, die im Zink-Luft-Akkumulator die Aufgabe des Silbers im Silber-Zink-Akkumulator übernehmen, d. h. an die Stelle des teuren Silbers treten.

Es scheint sogar, dass es möglich sein wird, aus diesem System einen Hochleistungsakkumulator entwickeln zu können. Die anfänglichen Schwierigkeiten bei der Ladung der Zellen und dem Wiederaufbau der Zinkelektrode konnten durch die Erfindung der Firma Leeson Moos behoben werden, indem sie die Elektrode auswechselbar ausführt (Fig. 5).

Zwischen zwei Sauerstoffelektroden ist die Zinkelektrode eingeschlossen. Der gelierte Elektrolyt überdeckt die Zinkelektrode. Sie kann nach ihrer vollständigen Entladung gegen

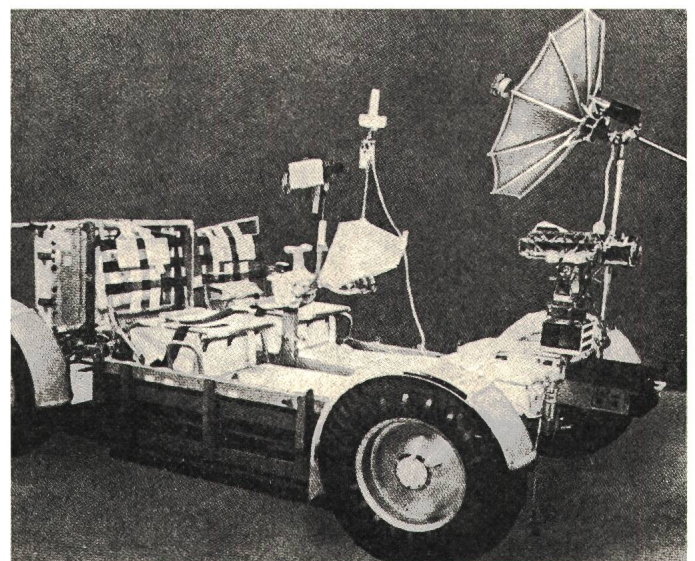


Fig. 4

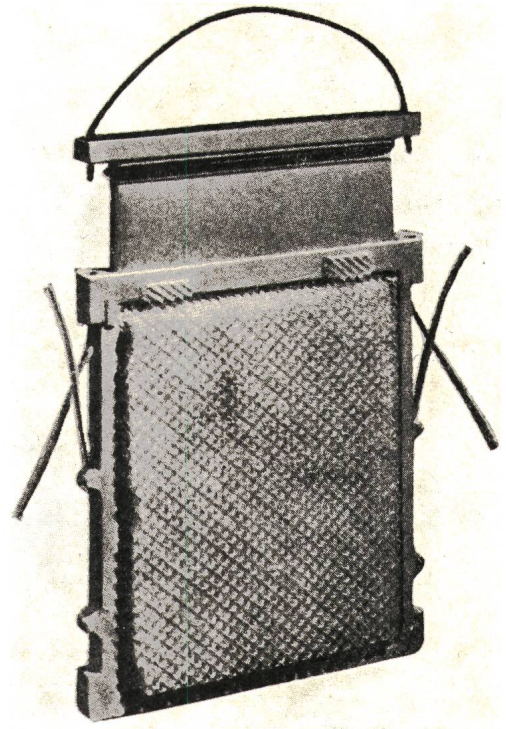
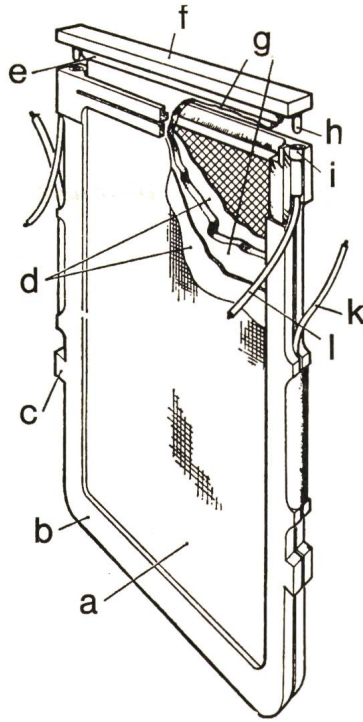
**Elektrisches Mondauto**



Fig. 5

## Zink-Luft-Zelle der Leasona Corp. (USA)

- a Kathode  
 b Doppelzellen-  
 rahmen  
 c Zellenträger  
 d Anodentrennpapier  
 e Elektrolytdichtung  
 f Anodenkopf aus  
 Plastic  
 g Anode  
 h gemeinsame  
 Kathodenver-  
 bindung  
 i Kathoden-  
 anschluss  
 k Anodenleitung  
 l Kathodenleitung



eine neue ausgewechselt werden. Die verbrauchten Zinkelektroden lassen sich regenerieren. Der Zink-Luft-Akkumulator weist eine wesentlich grössere Leistungsfähigkeit auf als der Silber-Zink-Akkumulator. Leider ist in letzter Zeit die Berichterstattung über dieses Forschungsprojekt ausgeblieben.

### 5. Eigenschaften von Akkumulatoren-Kombinationen

In Tabelle II sind die Kombinationen von Substanzen an Anode und Kathode in geladenem und entladem Zustand der in Betracht gezogenen Akkumulatoren, die möglichen Elektrolyte und die Betriebstemperaturen sowie die Aggregatzustände der Medien dargestellt.

Es betrifft die folgenden Lösungsvorschläge:

- a) Natrium-Schwefel-Akkumulator  
 b) Zink-Luft-Akkumulator  
 c) Nickel-Cadmium-Akkumulator  
 d) Lithium-Schwefel-Akkumulator  
 e) Lithium-Chlor-Akkumulator  
 f) Festkörper-Akkumulator mit Calciumfluoridelektrolyt

- g) Akkumulator mit organischem Elektrolyt  
 h) Bleiakкумуляtor, als altbekannter, für den Bedarf im Werkverkehr bewährter Energiespeicher, immer als Grundmaßstab.

Ganz neue Techniken sind anzuwenden, um die anzustrebenden Vorgänge der einzelnen Akkumulatorkombinationen beherrschen zu können. Flüssige Elektrodenmaterialien — Schwefel, Natrium, Lithium — können nur in speziell dazu entwickelten Keramikmembranen oder Graphitgefäßen schmelzflüssig gehalten und ihre Aktivität ausgenutzt werden. Nur dank ausgeklügelten Technologien gelingt es, gasförmige

### Eigenschaften von Akkumulatoren-Kombinationen

Tabelle II

	Akkumulator System (Kombination)	Elektrolyt	Betriebs-temperatur °C	Elektroden-Materialien			
				Geladen		Entladen	
				Anode	Kathode	Anode	Kathode
a	Natrium — Schwefel	Keramischer Becher Aus «β — Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> »	300	Na <sup>1)</sup>	S <sup>1)</sup>	—	Na <sub>2</sub> S <sub>3</sub> <sup>1)</sup>
b	Zink — Luft	wässrig KOH	≈ 20	Zn	O <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	K <sub>2</sub> Zn(OH) <sub>4</sub> <sup>3)</sup>	—
c	Nickel — Cadmium	wässrig KOH	≈ 20	Cd	NiOOH	Cd(OH) <sub>2</sub>	Ni(OH) <sub>2</sub>
d	Lithium — Schwefel	Schmelze z. B. LiJ + KJ + LiCl	300...400	Li <sup>1)</sup>	S <sup>1)</sup>	—	Li <sub>2</sub> S <sub>2</sub> <sup>1)</sup>
e	Lithium — Chlor	Salzschmelze	450...650	Li <sup>1)</sup>	Cl <sub>2</sub> <sup>2)</sup>	—	LiCl <sup>1)</sup>
f	Festkörper — Calciumfluorid	Keramische Membran dot. CaF <sub>2</sub>	400...500	Ca	NiF <sub>2</sub>	CaF <sub>2</sub>	Ni
g	mit organischem Elektrolyt	NaPF <sub>6</sub> , LiClO <sub>4</sub> gelöst Polypropylen-Carbonat	≈ 20	Li	CuF <sub>2</sub>	LiF	Cu
h	Blei	wässrige H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	≈ 20	PbO <sub>2</sub>	Pb	PbSO <sub>4</sub>	PbSO <sub>4</sub>

Aggregatzustand: Alle nicht spez. bezeichneten sind fest. <sup>1)</sup> flüssig <sup>2)</sup> gasförmig <sup>3)</sup> gelöst



	Akkumulator System (Kombination)	Stand der Technik	Erreichte und gemessene Werte der Zellen			Kosten der Elektrodenmaterialien Fr./kWh
			Spez. Energie Wh/kg	Spez. Leistung (Maximalwert) W/kg	Entladespannung V	
a	Natrium — Schwefel	Laborausführung	250...360	300...550	≈ 1,8	≈ 2.—
b	Zink — Luft	Prototypen	100...140	80...150	≈ 1,25	≈ 2.—
c	Nickel — Cadmium	handelsüblich	20...60	560	1,1	190...475
d	Lithium — Schwefel	Laborausführung	220	100...150	—	≈ 25
e	Lithium — Chlor	Laborausführung	300...400	400...2000	≈ 3	10...18
f	Festkörper — Calciumfluorid	theoretisch berechnet	(1000)			13...25
g	Organischer Elektrolyt	Laborausführung	50...300	80...40	2,6	18...120
h	Blei	handelsüblich	12...40	100...150	1,85	20...70

Reaktionsstoffe wie Chlor in der notwendigen Menge am geeigneten Ort unterzubringen.

Für die Eignung der hier dargestellten Auswahl von möglichen Akkumulator-Kombinationen sind verschiedene Kriterien massgebend. Einmal fallen der sichere Anlauf der für die Energieentnahme zur Voraussetzung kommenden Reaktionen und die praktische Betriebstüchtigkeit sehr stark ins Gewicht. Hierbei muss eine hohe Betriebstemperatur eines Akkumulator-Systems als eher erschwerende Eigenschaft gewertet werden; wie das bei den Kombinationen Natrium—Schwefel, Lithium—Schwefel und Lithium—Chlor der Fall ist; ebenso beim Festkörperakkumulator mit Calciumfluorid. Die Aggregatzustände der Anoden- und Kathodensubstanzen, wie auch des Elektrolyten, sind durch die Betriebstemperatur sichergestellt und können nur in dem aufgeführten Zustand eine gewollte Reaktion für die Energielieferung unterhalten.

In Tabelle III sind von oben nach unten in gleicher Reihenfolge wie vorangehend die spezifische Energie in Wh/kg, die spezifische Leistung in W/kg, die Entladespannung in V und die Kosten der Elektrodenmaterialien in Fr. pro kWh, d. h. pro gespeicherte Energie für die betrachteten Akkumulatorensysteme dargestellt. Die Daten der Tabellen II und III entstammen Literaturangaben aus Forschungsberichten amerikanischer, europäischer und japanischer Herkunft.

Der Bleiakkumulator hat, wie bereits erwähnt, als Energiequelle für den Individualverkehr wahrscheinlich ausgespielt. Von den hier aufgeführten möglichen Speicherquellen ist er jedoch fast als einziger Stromlieferant seit Jahrzehnten in vielen Personen- oder Transportfahrzeugen zu guten Diensten herangezogen worden. Zur Klärung der Ausgangslage darf man ihn deshalb als Vergleichsbasis nochmals näher betrachten.

Im vorher erwähnten Beispiel des «Elektrovair» der General Motors diente ein Silber—Zink-Akkumulator von ca. 20 kWh praktisch zur Verfügung stehender Energie. Das Fahrzeug erreichte eine Stundengeschwindigkeit von 129 km und konnte mit einer Ladung von ca. 25 kWh eine Strecke von 65...130 km

zurücklegen. Der Speicher mit Silber, im Gewicht eines für Diebe transportablen Kassenschrankes, stellt die respektable Summe von Fr. 60000.— dar, während der ungefähr viermal schwerere Bleiakkumulator gleichen Energieinhaltes ca. Fr. 7800.— kosten würde. Mit dem letzteren können unter günstigen Strassenverhältnissen 100000...120000 km gefahren werden bei einer praktisch erreichbaren Lebensdauer von 1400...1500 Entladungen. Die auf dem Fahrzeug mitfahrende Energie kostet demzufolge unter Einrechnung der Amortisation des Bleiakkumulatorenwertes bei einem angenommenen kWh-Preis von 5...10 Rp. für den gefahrenen km ca. 8...10 Rp. Der silberglänzende Standard müsste mit einem mindestens zehnmal höheren Preis pro km abgegolten werden. Vom Benzin-Motorfahrzeug weiss man, dass der entsprechende Aufwand 6...15 Rp. fordert. Bezüglich den Kosten pro Fahrstrecke wäre der Bleiakkumulator als Energiespeicherquelle tragbar. Der Fahrer und seine Fahrgäste wollen oder müssen schneller am Ziele sein als mit Blei. Es behagt ihnen nicht, zufolge eines zu geringen spezifischen Speichervermögens, regelmässig nach 80...120 km Fahrt einen längeren Halt, eventuell von mehreren Stunden, einschalten zu müssen.

Die Möglichkeiten und Grenzen der vorhandenen, für gewisse Anwendungsgebiete brauchbaren und bewährten Elektro-Energiespeicher sind durch die gestellten persönlichen Forderungen, weil von anderen Energiequellen angeboten, längst überholt.

Von den in Tabelle III genannten Kombinationen sind Natrium—Schwefel und Zink—Luft vorher schon eingehender besprochen worden. Die entwicklungsmässig etwas fortgeschrittenere Lösung Zink—Luft kann voraussichtlich die modernen Forderungen wegen zu kleinen Werten in den Kolonnen 4 und 5 nicht erfüllen. Richtigerweise ist zu ergänzen, dass in den beiden Kolonnen die in Forschungsprojekten ermittelten Werte eingetragen sind. Theoretische Werte — spezifische Energie und spezifische Leistung — können von den meisten Kombinationen dieser Tabelle höher veranschlagt werden.

Vom Elektrodenmaterial aus gesehen wären beide Lösungen unter *a* und *b*, verglichen mit Blei und Nickel—Cadmium, sehr interessant. Das Beispiel *c*, praktisch längst schon vielseitig angewendet, fällt wie Blei, aber zusätzlich noch aus preislichen Gründen, ausser acht. Von den Kombinationen *d* bis *g* kommt aller Voraussicht nach nur Lithium—Chlor in Frage.

Die Forschungsergebnisse all der in den Vordergrund gerückten, heute erst in Laborausführung vorhandenen Kombinationsbeispiele *a*, *b* und *d* sind nur ungenügend aussagefähig. Es ist nicht möglich, bereits überblicken zu können, welches Forschungsprojekt am ehesten zum Ziele führt.

Das Batelle-Institut Frankfurt will dem Natrium—Schwefel-Akkumulator den Vorzug geben und ihn zur modernen Hochleistungs- und Hochenergiebatterie entwickeln. Von den anderen Projekten ist noch nichts bekannt. Es wird ein langer, steiniger und kostspieliger Weg zu beschreiten sein, und es ist zu hoffen, dass er zum Ziele führt.

Die Möglichkeiten und Grenzen der Energiespeicherung auf dem Elektrofahrzeug sind noch völlig ungeklärt und offen.

Das Benzinmotorfahrzeug des Individual-Strassenverkehrs kann leider noch nicht durch das komfortablere, abgasfreie und leisere Elektromobil ersetzt werden. Dem Ruf um Umweltschutz auch im Bereiche der Strassenkreuzer unserer Wohlstandsgesellschaft, wo der Stärkere nicht immer der Bessere ist, muss dieser sicher berechtigten, in unser gesamtverantwortliches Denken und Handeln eingeschlossene Forderung auf andere praktisch mögliche Weise nachgekommen werden.

Den Herren der Elektrizitätswerke bleibt es vorerst noch erspart, sich Sorgen zu machen, die für die Ladung der Elektromobile des Strassenverkehrs notwendige elektrische Energie wegen unerwünschter Kühltürme nicht erzeugen und nicht verkaufen zu können. Sind wir ihnen dankbar, dass sie zugunsten des Umweltschutzes den angestammten Energiebedarf und dessen Zuwachsrate laufend decken!

**Adresse des Autors:**

Dr. F. Kurth, Direktor der Accumulatoren Fabrik Oerlikon, 8050 Zürich.