

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 90 (1972)  
**Heft:** 21: SIA-Hef, Nr. 4/1972: Nukleartechnik und Umwelt

**Artikel:** Kleinstbatterien für medizinische Zwecke  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-85212>

### **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:** 16.05.2025

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

kultur in der Ausflussbucht eines Kraftwerkes durch. Die Bundesforschungsanstalt für Fischerei in Hamburg versucht die Kultur von Süßwasserfischen im Kühlwasser des Hochenergiebeschleunigers *Desy*. Ziel dieser Vorversuche ist die Erarbeitung eines kombinierten Verfahrens zur Energieerzeugung und Abwärmenutzung.

Amerikanische Wissenschaftler arbeiten derzeit an Projekten, bei denen Kraftwerke bereits unter dem Gesichtspunkt der erwähnten Doppelnutzung entworfen und erstellt werden sollen. Mit Hilfe dieser Anlagen soll, neben der Energieerzeugung, das ungenutzte Produktionspotential des Tiefseewassers ausgenutzt werden. Die grossen Ozeane enthalten in den Tropen und Subtropen zwei getrennte Wasserschichten: die obere, durchlichtete Schicht, in der sich das pflanzliche Leben abspielt, und das Tiefwasser. Das Oberflächenwasser ist arm an Nährstoffen und daher auch an pflanzlichem und tierischem Leben. Das Tiefwasser ist dagegen sehr kalt und ausserordentlich reich an Pflanzennährstoffen.

Es gibt viele Vorschläge mit dem Ziel, das Oberflächenwasser durch die im Wasser aus der Tiefe enthaltene Biomasse zu «düngen» und so seine Fruchtbarkeit zu erhöhen. Einer dieser Vorschläge sah sogar vor, einen Kernreaktor im Meer zu versenken; dessen laufende Wärmeabgabe würde ein Aufsteigen des Tiefenwassers bewirken, womit das Oberflächenwasser gedüngt werden könnte. Wegen der Gefahr der radioaktiven Verseuchung wird allerdings dieser Vorschlag kaum zur Anwendung gelangen.

Neuerdings wird vorgeschlagen, zur Kraftwerkskühlung Seewasser aus Tiefen bis etwa 500 m zu verwenden. Dieses Wasser ist einerseits sehr kalt, was zur Steigerung des Wirkungsgrades der Kraftwerksanlagen führt; andererseits würden mit dieser Methode Nährstoffe aus der Tiefe an die Oberfläche gefördert, die man in Buchten oder Kulturteichen nutzen könnte.

Entsprechende biologische Versuche werden an mehreren Orten durchgeführt. In Hawaii werden Experimente im Hinblick auf die Steigerung der Produktion von in Tiefseewasser kultiviertem Plankton durchgeführt. In durchsichtigen und mit Tiefenwasser gefüllten Behältern werden Kulturen einer

Grünalgenart eingebracht. Die Behälter werden in das Meer gehängt, so dass ausser dem Wasser gleiche Umweltbedingungen wie in den umgebenden Gewässern herrschen. Diese Versuche zeigten, dass im Tiefenwasser eine rund 60fache Steigerung der pflanzlichen Erzeugung möglich ist. Es wird damit gerechnet, dass in auf diese Weise mit Nährstoff «angereicherten» Gewässern auch ein entsprechend grösserer Fischbestand sich einstellen könnte. In einer Forschungsstation auf den Jungferninseln wird Tiefseewasser in Kulturbekken gepumpt. Mit dem darin entstehenden pflanzlichen Plankton ernährt man Muschelkulturen. Mit diesen Versuchen wurden Rekorderträge verzeichnet.

#### Nachwort

Wenn auch das Wasservolumen der grossen Ozeane riesig ist und die Wärmeabgabe einiger Kernkraftwerke diese Gewässer kaum messbar erwärmen wird, so muss man sich doch bewusst sein, dass die hier geschilderten Projekte nichts anderes als eine Lösung auf Zeit darstellen. Denn auch die Meere weisen kein unendliches Wärmeaufnahmepotential auf. Zudem dürften nur verhältnismässig wenige Standorte für solche Doppelzweckanlagen geeignet sein. Die Schwierigkeiten für den Transport der erzeugten Energie einerseits und die für eine erhöhte Bioproduktion günstigen Gewässer andererseits werden diesen Vorhaben wahrscheinlich ziemlich enge Grenzen ziehen.

Worüber man aber noch gar nicht Bescheid weiss, sind die Auswirkungen solcher Vorhaben, wohl nicht auf einen ganzen Ozean bezogen, sondern auf die Gegenden, wo Doppelzweckanlagen möglicherweise zu stehen kämen. Denn sowohl das Fördern von Tiefseewasser in grossen Mengen an die Oberfläche wie auch die andauernde Wärmeabgabe stellen örtliche Umweltveränderungen dar, die sich unmittelbar auf eine bessere Deckung des Weltnahrungsbedarfs und des Energiebedarfs auswirken. Was aber mittelbar, nach Jahrzehnten bzw. nach Jahrhunderten geschieht, kann heute noch niemand voraussagen. Und wie wenig bereits genügt, um das empfindliche biologische Gleichgewicht zu stören, erkennt man aus den Ausführungen von Dr. H. Ambühl (S. 485 dieses Heftes).  
M.K.

## Kleinstbatterien für medizinische Zwecke

DK 621.351 : 539.163 : 61

Für viele Aufgaben in der medizinischen Diagnose und Therapie werden Stromquellen verlangt, die sehr kleine Leistungen über lange Zeiten abzugeben imstande sind. Die elektrische Energie wird für das Betreiben von Sensorelektroden, für telemetrische Messungen, ganz besonders aber zur Lieferung von Reizimpulsen an das Muskelgewebe benötigt. Eine weite Verbreitung hat inzwischen der künstliche Herzschrittmacher gefunden. Der im Körper des Patienten implantierte Herzschrittmacher übernimmt in diesen Fällen die Lieferung des Reizimpulses, der das Herz zu normaler Pumpfunktion anregt. Die bisherige Technik sieht als Stromquelle elektrochemische Primärzellen grosser Lebensdauer vor. Die Häufigkeit der Auswechseloperationen ist von der sicheren Funktion dieser Zellen abhängig. Mit der direkten Umwandlung radioaktiver Strahlung in elektrische Energie beschäftigen sich mehrere Firmen, und man hofft, hier eine Energiequelle gefunden zu haben, die die besonderen Anforderungen dieser Technik zu erfüllen vermag.

#### Einleitung

Die elektrochemischen Batterien, die bisher für den Betrieb von Herzschrittmachern verwendet wurden, weisen eine

Lebensdauer von rund zwei Jahren auf. Sobald ihre Leistung unterhalb eines bestimmten Wertes absinkt, müssen sie operativ vom Körper des Patienten entfernt und ersetzt werden. Abgesehen von den Unannehmlichkeiten einer periodischen Operation, gibt es Fälle, wo ein solcher Eingriff nicht angezeigt oder gar gefährlich sein kann.

Bereits im Jahre 1968 gelang es Forschern der McDonnell Douglas Corp., zwei Nuklearbatterien zu entwickeln, die sehr kleine Abmessungen aufweisen und gegenüber chemischen Zellen eine erheblich höhere Lebensdauer haben. Die Funktion der *Isomite-Batterie* beruht auf der thermoionischen Energieumwandlung, die der *Betacel-Batterie* auf der direkten Umwandlung der  $\beta$ -Strahlung in elektrische Energie.

#### Isomite

Die Isomite-Batterie (Bild 1) ist ein thermoionischer Energieumwandler, der mit verhältnismässig niedriger Temperatur arbeitet. Die Erwärmung der thermoionischen Elektrode (Emitter) auf rund 700 bis 750 K wird durch die radioaktive Strahlung eines Isotopes bewirkt. In diesem Falle wird Promethium-147 oder Plutonium-238 angewendet. Der radioaktive Brennstoff befindet sich in einer hermetisch verschweissten

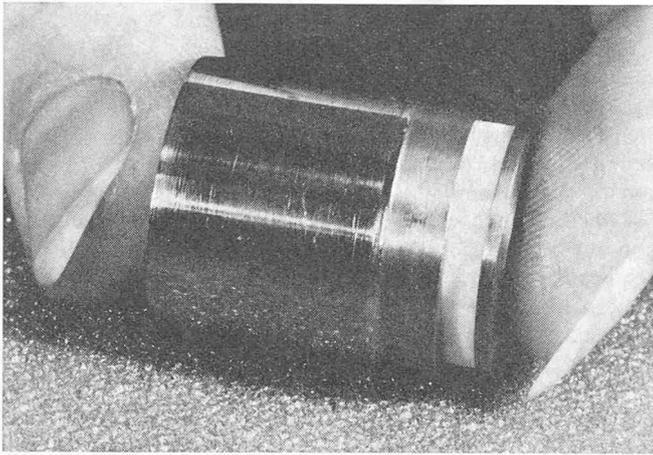


Bild 1. Isomite-Batterie

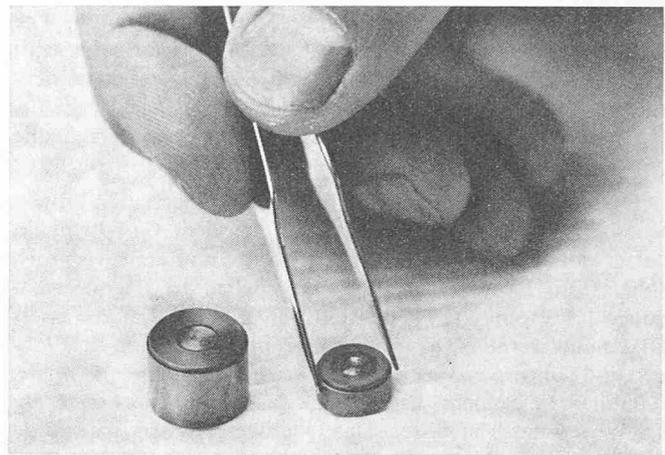


Bild 2. Betacel-Batterie

Primärkapsel, die zugleich die Funktion des Emitters übernimmt. Die Sammelelektrode umschliesst die Primärkapsel und dient als negativer Pol der Batterie. Der Abstand beider Elektroden zueinander (0,025 bis 0,25 mm, je nach Bauart) wird durch Distanzringe gewährleistet, die zugleich thermische und elektrische Isolatoren sind.

Mit dieser Grundkonstruktion kann ein Leistungsbereich zwischen  $100 \mu\text{W}$  und  $1 \text{ W}$  bestrichen werden. Da die elektrische Leistung mit dem Durchmesser der Zelle schnell zunimmt, genügen für den gesamten Leistungsbereich nur vier Grundgrößen (siehe Tabelle 1). Die erzeugte elektrische Spannung liegt zwischen  $0,1$  und  $0,2 \text{ V}$ ; der Wirkungsgrad zwischen  $0,3$  und  $0,6\%$ . Die Lebensdauer dieser Batterien beträgt mindestens 10 Jahre.

#### Betacel

Die Betacel-Batterie (Bild 2) wandelt die  $\beta$ -Strahlen eines geeigneten Isotopes direkt (ohne den Umweg über Wärme) in elektrische Energie um. Sie besteht aus dünnen Halbleiterschichten ( $\text{N}^+/\text{P}/\text{P}^+$ ), welche voneinander durch die radioaktiven Isotopenschichten getrennt sind. Die Halbleiter werden durch die  $\beta$ -Strahlen angeregt und erzeugen durch die Bildung

von Elektroden-Lochpaaren, die in der Sperrschicht getrennt werden, einen elektrischen Strom. Wie bei der Isomite, wird auch bei der Betacel  $\text{Pm}_{147}$  als Strahlungsquelle verwendet. Die gewünschte Leistung bestimmt die Anzahl Schichten. Die Energiedichte dieser Batterien beträgt zurzeit bis etwa  $1 \text{ W}/\text{cm}^3$ . Tabelle 2 zeigt einige technische Daten der Betacel-Zellen. Die Betacel-Batterien sind kleiner als die «Isomite», sie haben aber eine kürzere Lebensdauer von etwa 5 Jahren.

#### Europäische Entwicklungen

Im Jahre 1970 wurden in England erstmals Herzschrittmacher mit Radionuklidbatterien als Energiequelle in Hundten eingesetzt. Die Versuche laufen im Rahmen eines Forschungsprogrammes des Dept. of Health and Social Security, der Atomic Energy Authority und zweier grosser Krankenhäuser in London und Glasgow. Die für die Atombatterie gewählte Bauart entspricht etwa der «Isomite» und beruht auf den radioaktiven Zerfall von  $\text{Pu}_{238}$ , der einen thermoelektrischen Halbleiter-Energieumwandler zur Stromabgabe anregt. Die komplette Batterie (mit DC-DC-Wandler, um die für den Schrittmacher nötige Spannung von  $2$  bis  $7 \text{ V}$  zu erzeugen) ist etwa  $50 \text{ mm}$  lang und hat einen Durchmesser von rund  $6,5 \text{ mm}$ . Das Gewicht der Batterie beträgt etwa  $28 \text{ g}$  und die Lebensdauer mindestens 10 Jahre.

In Deutschland wird ebenfalls an solchen Batterien gearbeitet. In den Erlanger Forschungslaboratorien von Siemens ist zurzeit die erste in Deutschland entwickelte Energiequelle für einen Herzschrittmacher in Betrieb, die die Zerfallsenergie eines radioaktiven Isotops nutzt (Bild 3). Mit diesem funktionsfähigen Labormodell konnten die vorausgerechneten Werte experimentell bestätigt werden. Nach Beendigung der Erprobung werden solche Isotopenbatterien in Herzschrittmachern der Siemens-Tochtergesellschaft Elema-Schönander verwendet.

Die Energiequelle der thermoelektrischen Radionuklidbatterie ist Plutonium-238. Es wird von der Gesellschaft für Kernforschung gewonnen und in Zusammenarbeit mit der Firma Alkem in strahlendichte Kapseln sicher eingeschlossen. Das Isotop  $\text{Pu}_{238}$  ist ein reiner Alpha-Strahler mit einer günstigen Energiedichte. Die Halbwertszeit beträgt 86 Jahre. Reine Alpha-Strahler haben den Vorzug, dass ihre Strahlung schon von einer verhältnismässig dünnen Metallschicht vollkommen absorbiert wird. Für die geforderte elektrische Leistung der Batterie von etwa  $200 \mu\text{W}$  ist eine thermische Leistung von  $100 \text{ mW}$  erforderlich, wozu  $200 \text{ mg}$   $\text{Pu}_{238}$  benötigt werden. Diese Menge wird in einer Kugel von  $10 \text{ mm}$  Durchmesser untergebracht. Die beim radioaktiven Zerfall des Plutoniums

Bild 3. Labormodell des ersten deutschen Herzschrittmachers mit einer atomaren Energiequelle

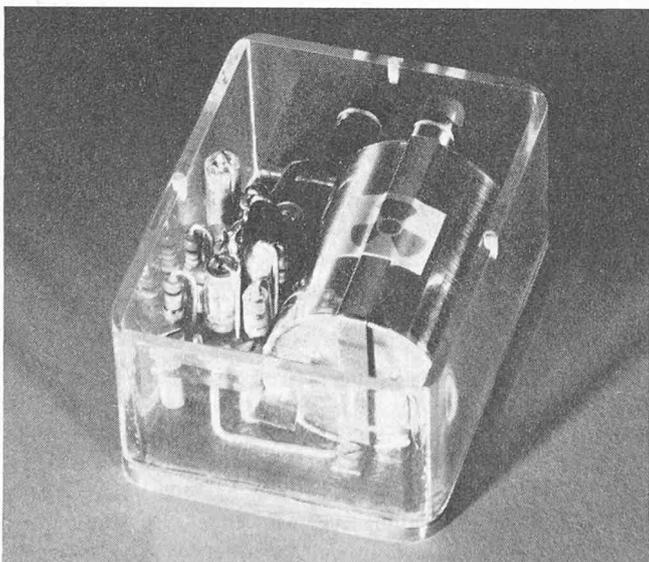


Tabelle 1. Abmessungen der Isomite-Zellen

Grösse	Durchmesser (mm)	Höhe (mm)	Leistungsbereich
1	10	13	100 $\mu$ W — 1 mW
2	13	17	1 mW — 10 mW
3	20	25	10 mW — 100 mW
4	28	34	100 mW — 1 W

frei werdende Energie führt zur Erwärmung der Kapsel auf etwa 100°C. Diese Wärmeenergie wird mit Thermoelementen in elektrische Energie umgewandelt. Dabei wird das Temperaturgefälle zwischen Kapseloberfläche und Körpertemperatur ausgenutzt. In den Erlanger Forschungslaboratorien wurde dazu ein Verfahren entwickelt, bei dem die Thermoelemente auf dünne Polyimidbänder aufgedampft werden. Auf 1 m Band sind etwa 700 Elemente als fortlaufender Mäander untergebracht. Die Thermoelementschenkel bestehen abwechselnd auf P- und N-leitendem Halbleitermaterial. Die Bänder werden zu kleinen Spulen aufgewickelt und mit der Plutoniumkapsel verklebt. Die Stirnseiten der Wickel sind die Heiss- bzw. Kaltseiten des Systems. Ein Wickel mit 700 Elementen liefert unmittelbar die geforderte Lastspannung. Durch Parallelschalten von zwei Wickeln erhält die Miniaturbatterie zusätzliche Sicherheit, so dass selbst bei Ausfall eines Wickels noch genügend Energie zur Verfügung steht. Die Arbeiten werden vom Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft gefördert.

#### Biobrennstoffzellen

Vollständigkeitshalber sei hier über weitere Bemühungen berichtet, um kleine Energiequellen mit langer Lebensdauer zu entwickeln im Hinblick auf die Versorgung von Herzschrittmachern mit elektrischer Energie. In den Forschungslaboratorien von Siemens in Erlangen wird derzeit an den sog. «offenen Zellen» gearbeitet. Damit sind Zellen gemeint, die nicht wie bisher im Herzschrittmacher eingekapselt sind, sondern deren Elektroden mit dem Gewebe in Berührung stehen und in denen die Gewebeflüssigkeit als Elektrolyt dient. Wenn man als negative Elektrode ein unedles korrodierendes Metall, wie zum Beispiel Aluminium, vorgibt und die positive Elektrode als sauerstoffverzehrende Elektrode ausbildet, dann spricht man von *biogalvanischen Zellen*. Ihr Energieinhalt ist durch die vorgegebene Menge des Metalls stets begrenzt. Der Sauerstoff dagegen, der im durchbluteten Gewebe ständig nachgeliefert wird, würde eine unbegrenzte Funktion sichern.

Eine konsequente Weiterführung stellt der Zellentyp dar, in dem auch an der negativen Elektrode körpereigene Substanz verzehrt wird – die Glucose. Vom Prinzip her ist dieser Zellentyp so lange funktionsfähig, wie das Gewebe normal durchblutet wird. Der Verwirklichung des Konzepts der Biobrennstoffzellen stellen sich jedoch grosse Schwierigkeiten entgegen:

Tabelle 2. Technische Daten der Betacel-Batterien

		Grösse A	Grösse B
Höchstleistung	( $\mu$ W)	43	212
Spannung bei Höchstleistung	(V)	1,35	3,35
Höhe	(mm)	7,8	13,2
Durchmesser	(mm)	12,0	15,7
Wirkungsgrad	(%)	1,04	0,84

Sowohl das Oxidationsmittel Sauerstoff wie auch der biologische Brennstoff Glucose sind in der Lösungsphase enthalten. Die Elektroden haben nun die Aufgabe, nur jeweils einen Partner umzusetzen. Eine Möglichkeit, die sich hier bietet, ist es, die Elektroden mit selektiven Katalysatoren auszustatten.

Alle mit dem Körper in Berührung kommenden Bauteile der Zelle und die Produkte der Zellenreaktion müssen körperverträglich sein. Mechanische und chemische Reizungen müssen ebenso wie die Ausbildung eines zu starken Bindegewebes vermieden werden. Zu starke Bindegewebescheiden würden den Antransport der Reaktionspartner ebenso wie die Abgabe der Reaktionsendprodukte behindern und damit den Zellenstrom begrenzen.

Während mit biogalvanischen Zellen bereits Tierversuche laufen, sind die Arbeiten an der Biobrennstoffzelle noch im Forschungsstadium. Eine solche Zelle besteht aus katalytisch aktiven Elektroden, die eine angepasste poröse Struktur besitzen. Die Elektroden sind voneinander und auch nach aussen durch hydrophile Membrane abgeschirmt. Die Aufgabe der Membrane ist es dabei, grossmolekulige Substanzen, die den Elektrodenprozess inhibieren, von den aktiven Stellen des Katalysators fernzuhalten, dagegen den Transport der Reaktionspartner nicht zu unterbinden. Gleichzeitig sollen sie die Körperreaktion verringern, die beim direkten Kontakt mit der Elektrode untragbar wäre. Die Zelle taucht in eine Lösung, die nach ihrem *pH*-Wert, ihrer Glucose- und Sauerstoffkonzentration der Körperflüssigkeit nachgebildet ist. Die von der Zelle erzeugte elektrische Energie wird zum Betreiben eines Gleichstromwandlers benutzt. Die Energie von diesem wird in dem Herzschrittmacher dazu verwendet, Reizimpulse zu erzeugen, die dem Herzmuskel zugeführt werden. Die Modellzelle hat 12 cm<sup>2</sup> grosse Elektroden und liefert in der Phosphatpufferlösung von *pH* 7, die Glucose in physiologischer Konzentration enthält und luftgesättigt ist, bei 37°C und 0,5 V etwa 100  $\mu$ W. Das ist die zum Betrieb der Reizelektroden ausreichende Leistung. Eine Erhöhung der Ausgangsleistung kann sowohl durch Vergrössern der Elektrodenfläche als auch durch Erhöhung der katalytischen Aktivität der Elektroden angestrebt werden. Die nächsten Versuche werden sich auf die Sicherung des Langzeitbetriebes und auf die Vergiftungsunempfindlichkeit zu konzentrieren haben, bevor dieser Zelltyp im Tierversuch unter biologischen Bedingungen geprüft wird.