

# Erste Schritte ins Solarzeitalter

Vor 50 Jahren wurde die Siliziumsolarzelle erfunden



new  
From BELL TELEPHONE LAB

A solar  
useful amounts of  
electricity—was  
Scientific  
apparatus made of  
could be used to  
wires. The Bell  
power a transistor  
Bell Lab  
a 6 per cent effici  
electricity. This  
and gasoline engin  
which have never  
With the  
said they expected  
is consumed or de  
are no moving par  
last indefinitely



Im April 1954 stellten die Bell Laboratories in New Jersey ihre »Solarbatterie« einer gleichermaßen staunenden wie aufgeschlossenen Öffentlichkeit vor. Und wenn auch die groß angelegte praktische Nutzung – mit Ausnahme der Weltraumfahrt – noch etliche Jahre auf sich warten ließ, waren die theoretischen Möglichkeiten dieser Entdeckung schon damals schnell erkannt. Dabei kam sie eher zufällig zustande.

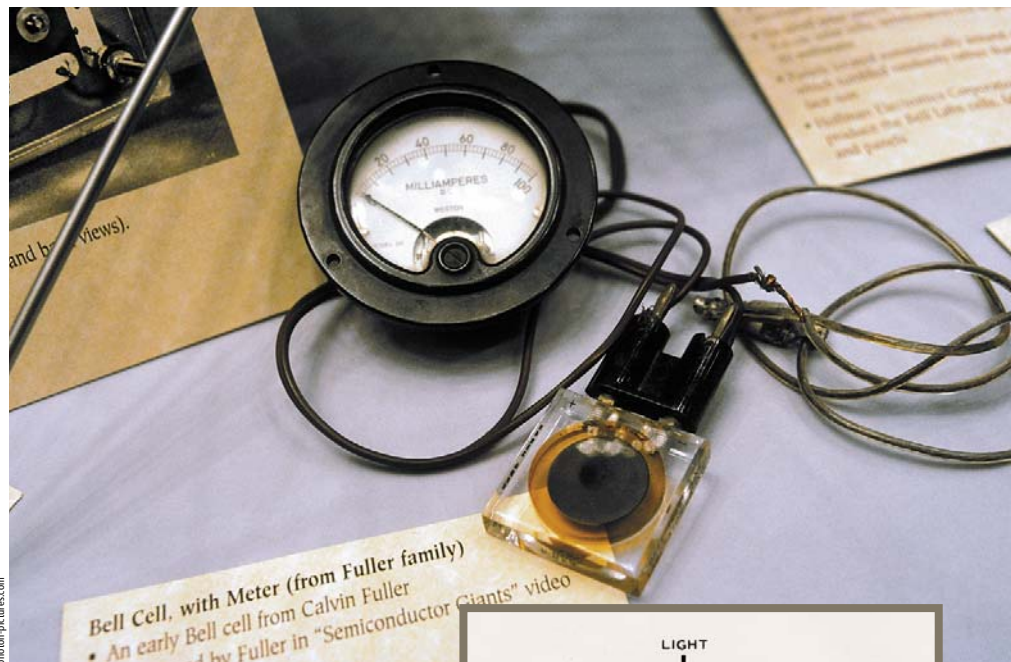
Die neuartige Vorrichtung, ein simpel aussehender Apparat aus Streifen von Silizium, einem der Hauptbestandteile von gewöhnlichem Sand, könnte den Beginn einer neuen Ära markieren, indem sie möglicherweise den Weg zur Verwirklichung eines der meist ersehnten Menschheitsträume weist: die nahezu unbegrenzte Energie der Sonne in den

Dienst der Zivilisation zu stellen.« Die »New York Times« ließ es nicht an Pathos mangeln, als sie am 26. April 1954 ihre Leser über einer Erfindung unterrichtete, die am Tag zuvor von den Bell Telephone Laboratories vorgestellt worden war: die erste Siliziumsolarzelle.

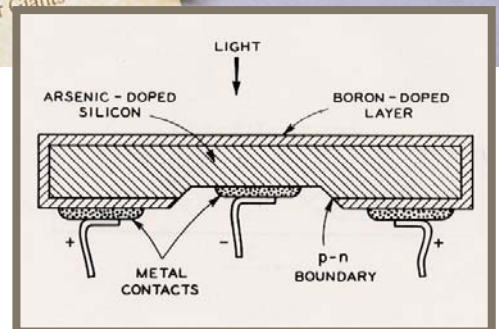
Dabei hatten die Journalisten, die in die damals weltweit führende Technologieschmiede der noch recht jungen Halbleiterbranche eingeladen wurden, nicht viel Spektakuläres gesehen: eine kleine

Drehscheibe, die bei Lichteinfall zu rotieren begann, ein Spielzeug-Riesenrad, das von der neuen »Solarbatterie« angetrieben wurde. Und eine Demonstration auf dem Rasen vor dem Labor-Komplex im amerikanischen Murray Hill (New Jer-

Gerald L. Pearson, Daryl M. Chapin und Calvin S. Fuller (von links nach rechts) demonstrieren für den Fotografen ihre Entwicklung: Solarzellen von der Größe einer Rasierklinge bringen bei Lichteinfall das Messgerät zum Ausschlag. Am 25. April gaben die Bell Laboratories (aus Rücksicht auf die Morgenzeitungen des Folgetages mit Sperrfrist 18 Uhr) die Neuigkeit der Presse bekannt.



Eine Solarzelle aus den Bell Laboratories, vermutlich für Demonstrationszwecke mit fest angeschlossenem Messgerät: Die Siliziumkristalle hatten kaum zweieinhalb Zentimeter Durchmesser, entsprechend klein waren die Scheiben (Wafer) für die Zellen. Dieses Exemplar ist bereits rund, der Wafer wurde also quer aus dem zylinderförmigen Kristall herausgeschnitten. Die Kontakte zur Stromabnahme waren, wie auf der kleinen Skizze zu sehen, auf der Rückseite der Zellen.



sey), bei der Bell-Ingenieur D.E. Thomas die neue Erfindung in die Sonne hielt und ein paar Worte in das Mikrofon eines angeschlossenen tragbaren Senders sprach, die sein einige Meter entfernt postierter Kollege Morton Prince mit einem Empfänger abhörte. Von Energiemengen, mit denen sich Häuser, Städte oder gar die gesamte Menschheit versorgen ließen, waren diese Vorführungen weit entfernt.

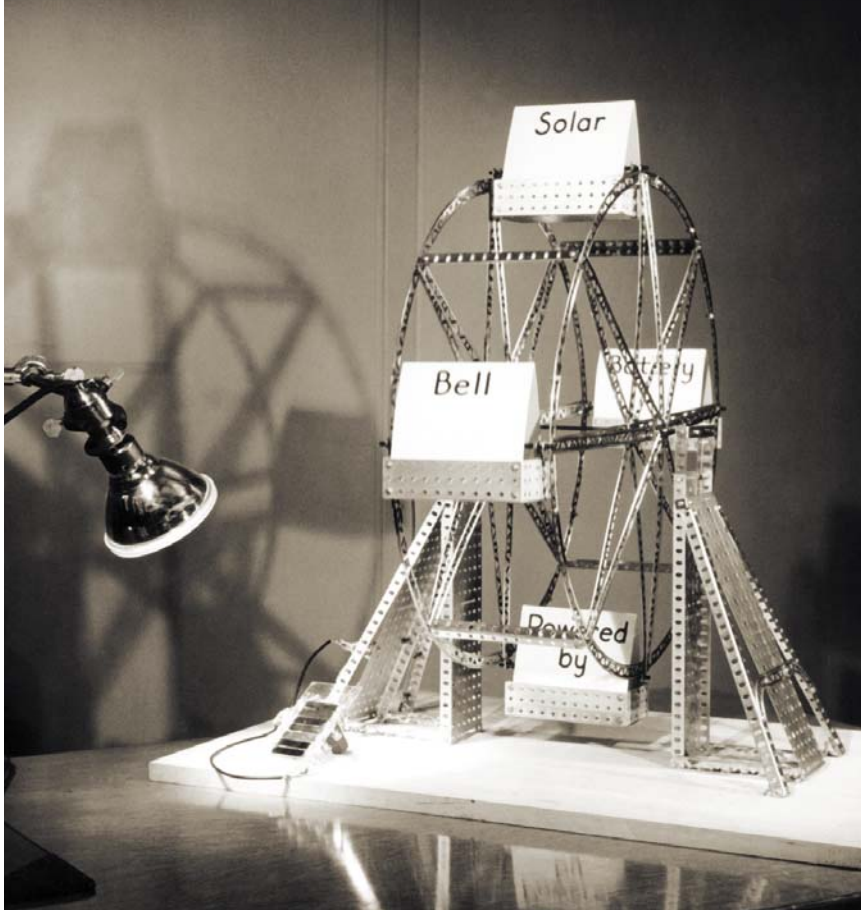
Möglicherweise ließ jedoch der Zeitgeist die Reporter der »New York Times« und anderer Zeitungen ins Schwärmen geraten. Die Bell Laboratories hatten schließlich nur einige Jahre zuvor, 1947, den Transistor entwickelt – Auslöser einer technischen Revolution, die schon einen Vorgeschmack auf den rund zwei Jahrzehnte darauf folgenden Mikroprozessor lieferte. Alles was mit Halbleitertechnik zu tun hatte, galt mithin per se als Zukunft weisend. Und auch die Suche nach einer unerschöpflichen Energiequelle war ein viel diskutiertes Thema, bei dem die Anhänger der Atomkraft – unter dem noch frischen Eindruck von Hiroshima und Nagasaki – auch damals schon auf Widerspruch stießen.

Die Erfinder selbst hatten allerdings keineswegs vor, der konventionellen En-

ergiewirtschaft Konkurrenz zu machen. Was sie suchten, war lediglich eine zuverlässige und kostengünstige Technik zur Stromversorgung von Telefonnetzen in entlegenen Gegenden. Der Ingenieur Daryl M. Chapin hatte sich zu diesem Zweck schon im Januar 1953 mit Möglichkeiten photovoltaischer Stromerzeugung auf Selen-Basis befasst, war aber zu keinen brauchbaren Ergebnissen gelangt. Die Umwandlung von Sonnenlicht in Strom war eine bereits gebräuchliche Technik, aber nur in Form von Photodioden. Deren Wirkungsgrad lag weit unter dem, was eine Nutzung als Energiequelle erfordert hätte.

## Grundlagenforschung

Ebenfalls an den Bell Laboratories hatte der Chemiker Calvin S. Fuller bereits 1952 bewiesen, dass Diffusion, die Einbringung von Fremdatomen durch Erhitzen in einem Plasmaofen, ein geeignetes Verfahren war, um nicht nur Germanium, sondern auch Silizium gezielt zu verunreinigen. Kurz darauf erzeugte er auf diese Weise einen pn-Übergang, die Voraussetzung für das Entstehen elektrischer Felder in Halbleitern, indem er Silizium mit Spuren von Lithium dotierte.



Dieses Spielzeug-Riesenrad wurde in den Bell Laboratories zu Demonstrationszwecken mit solarer Stromversorgung ausgerüstet und gehörte damit zu den ersten jemals durch Photovoltaik angetriebenen Geräten der Geschichte.

Fullers Experimente hatten allerdings nichts mit Chapins Suche nach einem netzunabhängigen Stromlieferanten zu tun. Sie gehörten vielmehr zu einem von den Bell Laboratories Anfang der 50er Jahre aufgelegten Programm, bei dem es ganz allgemein um die Erforschung dieser und anderer Halbleiter ging. Fuller und seinem Kollegen, dem Physiker Gerald L. Pearson, ging es zuvörderst um die Entwicklung von Gleichrichtern für Telefonstationen, weil das für diese Zwecke genutzte Selen nicht besonders effektiv war. Auch sollte die Eignung von Silizium als möglicher Ersatz für das bis dahin in Transistoren eingesetzte Germanium erprobt werden, denn es wies vor allem bei hohen Temperaturen weitaus stabilere elektronische Eigenschaften auf.

### Zufallsentdeckung

Bei den verschiedenen Experimenten, die Fuller und Pearson mit negativ dotiertem Silizium anstellten, nahmen sie natürlich auch Spannungsmessungen vor – schließlich ging es um die elektronischen Eigenschaften. Auf Pearsons Arbeitstisch lag das Versuchsmaterial großflächig ausgebreitet, und eines Tages – im März 1953 – bemerkte er, dass bei Lichteinfall eine Spannung entstand.

Au diese Möglichkeit hatte bis dahin niemand gedacht, sie lag überhaupt nicht im Blickfeld des Forscherteams. Pearsons erste Reaktion war deshalb offenbar leicht ungläubiges Staunen – jedenfalls berichtete dies Morton Prince im vergangenen

Jahr in einem Interview mit PHOTON: »Er rief mich sofort in sein Labor, damit ich seine Beobachtung bestätigen und in seinem Protokoll gegenzeichnen konnte« (PHOTON 7-2003). So kam eher zufällig und von keinem der beteiligten Wissenschaftler vorausgesehen die für die spätere Entwicklung der Solarzelle entscheidende Entdeckung im wahrsten Sinne des Wortes ans Licht. Allerdings kümmerte sich das Management der Bell Laboratories nicht weiter darum.

Pearson und Fuller aber waren überzeugt, dass sie den Weg zu praktisch nutzbaren Wirkungsgraden bei der photovoltaischen Stromerzeugung gefunden hatten: »Silizium ist das Material, Diffusion ist der Prozess«, stellte Fuller fest. Pearson präsentierte dem Ingenieur Chapin einen ihrer Versuchsaufbauten, und der zeigte sich nicht nur sehr angetan, sondern erkannte auch die Schwierigkeiten, die es noch zu lösen galt: »Es scheint notwendig unseren pn-Übergang sehr nah an der Oberfläche zu schaffen, wenn das Problem der Kontakte und der hohen Serienwiderstände gelöst werden soll«, notierte er in sein Journal. Im Prinzip sind dies Fragen, mit denen sich die Entwicklungsabteilungen der Zellhersteller auch heute noch herumschlagen.

Die eigentlich angestrebte Verwendung der »Solarbatterie« war die Stromversorgung von Telefonübertragungstechnik in netzfernen Gebieten. Sie wurde erprobt, die Module erwiesen sich als sehr zuverlässig – aber bei weitem zu teuer.

### Kampf um höhere Wirkungsgrade

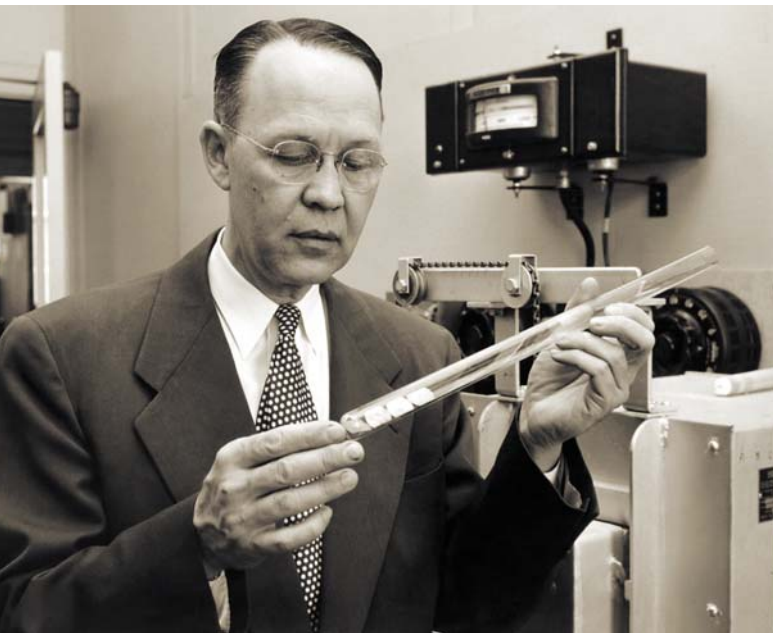
Im Sommer 1953 schloss Chapin sich Fullers Überzeugung an und entschied, seine photoelektrischen Forschungen ganz auf Silizium zu konzentrieren. Die nunmehr zu dritt arbeitenden Wissenschaftler tüftelten in den folgenden Monaten gemeinsam mit weiteren Kollegen und Assistenten vor allem an diversen Möglichkeiten zur Dotierung herum. Im Oktober 1953 berichtete Chapin, dass eine mit Phosphor dotierte Zelle mit einem Wirkungsgrad von vier Prozent die ein halbes Jahr zuvor von Pearson entwickelte Technik um das Doppelte übertraf. Das Team baut einen ersten Solargenerator mit einer Leistung von 0,1 Watt.

Nach derart enormen Fortschritten in so kurzer Zeit muss es den Solarpionieren als herber Rückschlag erschienen sein, dass sie danach monatelang keine wesentliche Verbesserung erreichten. Die vier Prozent schienen eine magische Grenze zu sein, und das stellte den Fortgang des Projekts in Frage. Denn auch wenn sie Grundlagenforschung betrieben und viele Freiheiten hatten, mussten Chapin, Fuller und Pearson ihrem Arbeitgeber natürlich regelmäßig berichten, ob ihr Projekt eines schönen Tages einmal einen praktischen Nutzen zeitigen könnte. Und dieser Nutzen hieß für die Firma Bell nach wie vor: Stromversorgung von Telefonnetzen. Für derlei Anwendungen aber musste eine



National Renewable Energy Laboratory (NREL) (2)



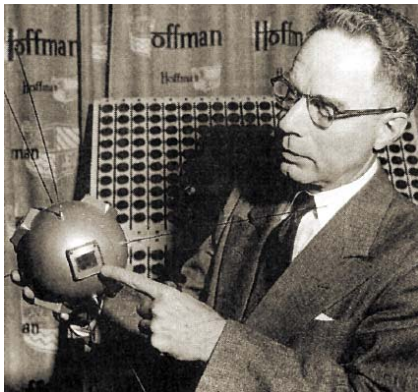


Perspektive bestehen, die Solarzellen in hoher Stückzahl zu vertretbaren Kosten herzustellen. Und das wiederum bedeutete: Die Wirkungsgrade mussten steigen – auch dies ein Problem, das die Branche noch heute beschäftigt.

Im Januar 1954 nahm Fuller mit Arsen positiv dotiertes Silizium und diffundierte nahe an der Oberfläche eine n-Dotierung mit Bor ein. Während bei heutigen

Zellen das Grundmaterial in aller Regel mit Bor p-dotiert ist und eine dünne Schicht unter der Oberfläche meist mit Phosphor n-dotiert wird, war der Aufbau hier also genau umgekehrt. Doch es gelang der entscheidende Schritt um die Vier-Prozent-Schwelle zu nehmen. Im März 1954 sah sich Chapin in der Lage, in einem Memorandum »Design und Produktionstechnik, die zu Zellen mit

sechs Milliwatt pro Quadratcentimeter führen«, dezidiert zu beschreiben. Damit waren also sechs Prozent Wirkungsgrad erreicht. Die im Memorandum beschriebenen, mit Fotos und Messprotokoll vorgestellten Fabrikate (Nummer 88 und Nummer 90) hatten eine Größe von 4,85 Quadratcentimetern. Nummer 88 erreichte 6,1 Prozent Wirkungsgrad, Nummer 90 schaffte 5,88 Prozent.



»Vanguard« (Vorreiter) hieß der erste solarversorgte Satellit, der hier vom Zellhersteller Hoffmann Electronic Corporation präsentiert wird (oben). Bei Hoffmann war der frühere Bell Laboratories-Mitarbeiter Morton Prince maßgeblich an der Entwicklung beteiligt. Auf der ersten Solarenergie-Weltkonferenz in Tucson (Arizona) lief sein Vortrag zum Thema Photovoltaik am 1. November 1955 (Zeitungsausschnitt) noch als – wenn auch viel beachteter – Aspekt am Rande, das Hauptgewicht lag beim Thema Solarthermie. 48 Jahre später besuchte Prince im Mai 2003 zusammen mit Larry Kazmerski, Direktor am US-Solarforschungszentrum NCPV, die Photovoltaik-Weltkonferenz in Osaka (Japan). Kazmerski hält ein Vanguard-Modell in Händen, Prince die erste jemals produzierte Siliziumsolarzelle.







Calvin Fuller im Labor (Foto links), Daryl Chapin mit einem solarbetriebenen Elektromotor, der eine kleine Drehscheibe zum Rotieren bringt – wie das Riesenrad ein Demonstrationsobjekt für die Medien. Das Foto rechts ging ebenfalls durch die Presse: Bell-Ingenieur D.E. Thomas hält die »Solarbatterie« in die Sonne und spricht über einen kleinen tragbaren Sender mit seinem etwas abseits am Empfänger lauschenden Kollegen Morton Prince (im Hintergrund).

Und dennoch ließ der von den euphorischen Journalisten vermutete »Beginn einer neuen Ära« auf sich warten. Der photovoltaische Effekt, bereits 1839 von Alexandre-Edmont Becquerel beschrieben, hatte sich zwar endlich als praktisch nutzbar erwiesen – doch über den Antrieb von Spielzeug-Riesenrädern kam man nicht allzu weit hinaus. Die Firma Bell startete ein Pilotprojekt in Georgia, die »Solarbatterien« versorgten dort die Übertragungstechnik eines abgelegenen Telefonnetzes sehr zuverlässig mit Strom. Für eine breite Anwendung waren die Kosten aber bei weitem zu hoch: Die ersten Solarzellen wurden in Handarbeit aus kleinen, ebenfalls von Hand gezogenen Siliziumeinkristallen gefertigt. Der Preis pro Watt lag um etwa das 1.000fache über dem heutigen.

Einzig die Raumfahrt hatte sofort Verwendung. Geld spielte praktisch keine Rolle, als man für die ersten Satellitenprojekte nach einer geeigneten Stromversorgung suchte. Während die Bell Laboratories die Forschung an Solarzellen recht schnell wieder zurückfuhren, startete am 17. März 1958 mit »Vanguard« der erste von Solarzellen versorgte Satellit. Viele weitere folgten, und auf diesem Weg hielt die Photovoltaik dann doch noch Einzug in die Stromversorgung der Telefonübertragung.

Heute ist dieser ursprünglich geplante Einsatzzweck auch auf der Erde längst Routine. Warum Photovoltaik eben nicht nur für Satelliten die ideale Energieversorgung darstellt, hatten ohnehin schon die Autoren der Bell-Presserklärung vom 25. April 1954 erkannt: »Beim Prozess der Energieumwandlung wird nichts verbraucht oder zerstört und es gibt keine beweglichen Teile, so dass die Bell-Solarbatterie theoretisch unendlich lange leben sollte.«

Jochen Siemer

**Wir bedanken uns** bei Larry Kazmerski und dem National Center for Photovoltaics / National Renewable Energy Laboratory für die Hilfe bei der Recherche und die Bereitstellung von Bildmaterial.



Wir gestalten solare Zukunft

## Qualität ist unser Prinzip

Als eines der führenden Solarsystemhäuser in Deutschland plant, projiziert und vermarktet die SES 21 AG Photovoltaik-Anlagen.

Unser Fokus als Qualitätsanbieter liegt auf der optimalen Abstimmung aller Komponenten, vom Solarmodul über den Wechselrichter bis hin zum Montagesystem. Aus diesem Grund werden von uns nur erstklassige Produkte angeboten.

Auf Grund unserer langjährigen Erfahrungen arbeiten wir deshalb auch bei Solarmodulen vorwiegend mit Shell Solar zusammen, da Shell-Module nachweislich herausragende Ertragswerte und eine weit überdurchschnittliche Haltbarkeit vorweisen können.

Profitieren auch Sie von unserer Erfahrung. Wir freuen uns auf Ihren Anruf.

**Zentrale:** SES 21 AG  
Holzhofring 1, D-82362 Weilheim  
Telefon: +49 (0) 8 81 - 92 54 56 0  
Telefax: +49 (0) 8 81 - 92 54 56 78  
info@ses21.ag, www.ses21.ag

**Vertriebszentrum West:** SES 21 AG  
Josef-Ruhr-Straße 30, D-53879 Euskirchen  
Telefon: +49 (0) 22 51 - 12 59 40  
Telefax: +49 (0) 22 51 - 12 59 42 9  
info@ses21.ag, www.ses21.ag

**Vertriebszentrum Ost:** SES 21 AG  
Lahnsteinerstraße 6, D-07629 Hermsdorf  
Telefon: +49 (0) 3 66 01 - 90 74 6  
Telefax: +49 (0) 3 66 01 - 92 96 8  
info@ses21.ag, www.ses21.ag

**SES 21 AG**

Zu dieser Zeit zeigte auch das Management der Bell Laboratories Interesse an den Ergebnissen. Dies lag nicht zuletzt an der Konkurrenz: Die Forschungslabors der Radio Corporation of America (RCA) hatten im Januar 1954 eine »Nuklearbatterie« präsentiert. Der Physiker Paul Rappaport nutzte radioaktive Isotope, um Elektronen am pn-Übergang eines Halbleiters in Bewegung zu setzen und sorgte damit für einige Furore. Die Bell-Entwicklung war aber nicht nur wesentlich praktischer, weil sie auf überall verfügbares Sonnenlicht anstatt auf Nuklearstrahlung baute, sondern auch tausend Mal effektiver. Die bei RCA erzeugten Ströme bewegten sich im Bereich von Millionstel Ampere.

### Keine praktische Verwendung

Mit solchen Fakten ging man natürlich gern an die Öffentlichkeit. Das jährliche Treffen der Nationalen Akademie der Wissenschaften in Washington bot dazu Ende April 1954 eine sehr gute Gelegenheit. Parallel zum New Yorker Pressetermin erfuhren hier die Wissenschaftskoryphäen der USA offiziell die Nachricht von der »Bell Solar Battery«.

Was Chapin, Fuller und Pearson geleistet hatten, fand viel Beachtung. Zahlreiche Medienberichte beschrieben ihre Arbeit und setzten sich mit den Möglichkeiten der Photovoltaik auseinander, die drei Forscher und auch weitere Kollegen aus ihrem Team hielten in der Folgezeit unentwegt Vorträge vor Fachleuten und Laien. Auch offizielle Anerkennung fehlte nicht: 1956 erhielt das Trio den Philadelphia Prize, 1963 die »Whetherill Medals« des Franklin-Instituts.