

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 96 (1978)
Heft: 15

Artikel: Energie aus Fehlstellen
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-73679>

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: 09.07.2025

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

Sehr oft lassen sich Misserfolge ganzer Unternehmen auf eine nicht oder falsch erfolgte Anpassung an lokale Verhältnisse zurückführen. Falsche Kontakte, Partnerschaft mit einer lokalen Gruppe ohne Einfluss, auch Beziehungen zu ethnischen Minderheiten können einen nachteiligen Einfluss haben. Dasselbe gilt für die Firma, die einen Angestellten, Vertreter oder Agenten in einem Entwicklungsland einstellt. Es hat sich herausgestellt, dass, falls immer der «beste» Bewerber eingestellt wurde, dies zu erheblichen Schwierigkeiten geführt hat.

Die Anpassung des Produktes

Die Anpassung des Produktes, sei es eines Projektes für den beratenden Ingenieur oder des Bauwerks für den Unternehmer, stellt einen weiteren Schritt dar, auf dem Wege zur Eroberung des Marktes der Dritten Welt.

Der Ingenieur, der beim Ausarbeiten eines Projektes, z. B. einer Wasserkraftanlage, die selben Kriterien berücksichtigt, die in einem industrialisierten Land zur Anwendung kommen, wird sich sehr oft mit unerfreulichen Situationen konfrontiert sehen. Da viele Entwicklungsländer über keine eigenen Projektierungsnormen verfügen, sind die Projektverfasser oft versucht, die des eigenen Landes in einem Ausmass anzuwenden, das nicht gerechtfertigt werden kann. Ein Projekt, in welchem hochentwickelte bautechnische Verfahren oder Ausrüstungen verlangt werden, welche sich noch nicht über ein längeres erfolgreiches Funktionieren ausweisen können, wird mit grosser Wahrscheinlichkeit nur pseudo-optimal sein.

Spätestens während der Ausführung oder der Inbetriebnahme wird sich zeigen, dass die Vorschriften nicht immer befolgt werden können. Dies führt bei einer nicht konservativen Projektierung oft zu ernsthaften Schwierigkeiten. Dasselbe gilt in vermehrtem Masse noch für Elemente, deren Langzeitfunktion überprüft werden muss, wie beispielsweise Drainagesysteme. Niemand kann garantieren, dass einige Jahre nach Inbetriebnahme die notwendigen Kontrollen noch ausgeführt werden. Daher empfiehlt es sich, bewährte, eher als konservativ zu bezeichnende Systeme zu verwenden.

Energie aus Fehlstellen

Ein neuartiger *Hochleistungsspeicher für elektrische Energie* wird wahrscheinlich schon in wenigen Jahren zum Massenartikel: Die *Festkörperbatterie*. Sie soll bei gleichem Gewicht etwa siebenmal mehr Energie speichern als herkömmliche Blei-Akkumulatoren und etwa zehn Jahre alt werden, ohne ihre Leistungsfähigkeit einzubüssen. Ein Alptraum jedes Autofahrers gehört dann der Vergangenheit an: Festkörperbatterien können nicht auslaufen. Das *Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart* arbeitet an einer Substanz, die sich für solche, nach dem Prinzip der *Ionenleitung* funktionierenden Festkörperbatterien besonders gut eignet: *Lithiumnitrid*.

Bewährtes feuerfestes Keramikgeschirr wies den Weg: Jahrelang suchten Wissenschaftler vergeblich nach einer exakten Erklärung, weshalb manche dieser neuartigen, durchsichtigen Glaskeramiksorten den Temperaturschock zwischen glühend-heisser Herdplatte und eiskaltem Wasser unbeschadet überstehen. Bei den Arbeiten, die er an der *Eidg. Technischen Hochschule in Zürich* begann und am *Max-Planck-Institut für Festkörperforschung in Stuttgart* fortsetzte, kam *Heinz Schulz* schliesslich den Ursachen doch auf die Spur. Ein Hauptbestandteil des feuerfesten Materials verhält sich nämlich besonders merkwürdig: Das bis zu 90 Prozent in solchen Glas-

Kulturelles Verständnis

Die individuelle Adaptation sowie die Anpassung von Organisation und Produkt verlangten, wie gezeigt wurde, gewisse Kenntnisse der kulturellen Werte des eigenen und des Gastlandes. Soll ein gegenseitiges Verständnis erreicht werden, gibt es keinen Ersatz für dieses Wissen. Erst dadurch wird die notwendige Toleranz geschaffen, die zum beschriebenen Anpassungsprozess führt. Nur wenn diese tendenzielle Selbstbezogenheit, der Hauptgrund der Schwierigkeiten des Ingenieurs, isoliert werden kann, besteht Aussicht auf ein erfreuliches Wirken im Ausland.

Wünschenswert wäre freilich, dass, statt fremde Kulturen mit eigenen Werten zu messen, beide Seiten sich in einem internationalisierten Wertesystem finden. Dieses könnte folgerichtig dann als objektiv bezeichnet werden. Damit wäre eine Übereinstimmung erzielt, welche internationale Geschäftsbeziehungen wesentlich erleichtern würde. Doch bis die Zeit dazu reif ist, wird es beim Gast liegen, sich den Gegebenheiten unterzuordnen.

Literaturverzeichnis

Baranson J.: «Transfer of Technical Knowledge by International Corporations to Developing Economies». *American Economic Review*, 1966.

Fucik E.M.: «Consulting Engineering in Foreign Countries». *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 1964.

Guttmann H.P.: «The International Consultant». McGraw-Hill, New York, 1976.

Lauterbach A.: «Enterprises in Latin America: Business Attitudes in a Developing Economy». Cornell University Press, Ithaca, 1966.

Mueller J.H.: «Beduinen und Computer». Zürcher Verlagsgesellschaft, Zürich, 1974.

Rosenblueth E.: «Decisiones Ethicas en Ingenieria». *Ingenieria Mexica*, 1970.

Adresse der Verfasser: *H.P. Rüfenacht*, dipl. Ing. ETH, c/o Société Générale pour l'Industrie, 71, Avenue Louis-Casaï, 1216 Cointrin, und Prof. *A.F. Chalabi*, Ph. D., Worcester Polytechnic Institute, Worcester, Mass. 01609, USA.

keramiksorten enthaltene *Beta-Eukryptit* zieht sich bei Temperaturen von minus 120 bis plus 1300 Grad Celsius zusammen, statt sich – wie andere Werkstoffe – bei Hitze auszu dehnen. Der atomare Aufbau dieses seltsamen Stoffes – chemisch gesehen ein Lithium-Aluminium-Silikat (LiAlSiO_4) – mit Hilfe von Röntgenstrahlen untersucht, lieferte erste Anhaltspunkte: Atome kleine Kanäle durchqueren das quarz-ähnliche Material. Sie enthalten Lithium.

Sprünge in grössere Lücken

Wird dem *Beta-Eukryptit* Wärme zugeführt, beginnen in diesen Kanälen die Lithium-Atome zu wandern. Sie verlassen ihren Platz, an dem sie von vier Sauerstoff-Atomen umgeben sind und springen in Lücken, die von sechs Sauerstoffatomen gebildet werden und wesentlich grösser sind. Solche Freiplätze im Kristallgitter werden von den Wissenschaftlern «Fehlstellen» genannt. Sobald sich das Lithium-Atom dort niedergelassen hat, zieht es diesen Raum zusammen – freilich nur für kurze Zeit. «Dann springt es wieder in eine Viererlücke und von dort aus weiter in eine Sechserposition», erklärt Prof. Schulz. «Dieses Zusammenziehen des Volumens durch die in den Sechserlücken sitzenden Lithium-Atome erzeugt jedoch, über alles gemittelt, eine Kontraktion des Eukryptit-Kristalls, und zwar um so mehr, je höher die Temperatur ist und je

mehr Lithium-Atome in diesen Fehlstellen verweilen.» Das Material schrumpft also beim Erwärmen zusammen.

Mit Vergleichsuntersuchungen festigte Prof. Schulz seine Theorie: Er benutzte Beta-Eukryptit, in dem die Lithium-Atome gegen grössere Magnesium-Atome ausgetauscht waren. Und tatsächlich: In dem so veränderten Werkstoff sassen die dickeren Magnesium-Atome in den grösseren Lücken und blieben dort festgeklemmt. Die Wanderung zu den anderen Fehlstellen fand also nicht statt, bei Wärmezufuhr dehnte sich das Material jetzt aus. Geschirr aus solchem Werkstoff würde bei raschem Temperaturwechsel zerspringen.

Thermische Ausdehnung Null

Obwohl man die Eigenschaften zunächst zwar gemessen, aber noch keinesfalls vollständig verstanden hatte, wurden sie bereits in der Glastechnik genutzt. Wenn man also diese Effekte in einer Glaskeramik geschickt koppelt, erhält man ein Material mit der thermischen Ausdehnung Null. Nach diesem Prinzip entstanden zum Beispiel auch die Träger für die Spiegel von 1,2, 2,2 und 3,5 Meter Durchmesser der neuen Teleskope, die für das Max-Planck-Institut für Astronomie in Spanien auf dem Berg Calar Alto gebaut wurden oder zurzeit noch entstehen: Weil sich dieser *Glaskeramik-Werkstoff* selbst bei einseitiger Erwärmung oder Abkühlung nicht verändert und somit auch die Spiegel nicht verzerrt, erwarten die Astronomen besonders scharfe Bilder vom Sternenhimmel.

Erst in den letzten Wochen lieferten Untersuchungen mit Neutronen aus Kernreaktoren in den *Forschungszentren Karlsruhe und Jülich* den endgültigen Beweis: Die von Prof. Schulz entwickelten Modelle über die dynamischen Vorgänge im Beta-Eukryptit stimmen mit der Wirklichkeit überein. Auch hierfür wurden am Stuttgarter Institut gezüchtete Beta-Eukryptit-Kristalle benutzt. Damit stand fest: Die Lithium-Atome im Beta-Eukryptit müssen beweglich sein. Weil sie elektrisch geladen, also Ionen sind, werden in dem Werkstoff bei angelegter Spannung – wie in einer Batterie – elektrische Ladungen hin- und hergeschoben, also Strom transportiert. Nur: In diesem Fall sind es nicht – wie üblich – winzige Elektronen, sondern die wesentlich schwereren Ionen, die für die elektrische Leitfähigkeit verantwortlich sind.

Komplizierte Dynamik

Solche *Ionenleiter* wurden bereits vor der Jahrhundertwende entdeckt. Manche erreichen sogar die elektrische Leitfähigkeit von flüssigen Elektrolyten, wie beispielsweise die der Schwefelsäure in Autobatterien. Das ist bei einem der bekanntesten Ionenleiter, dem *Silberjodid*, der Fall. Bei ihm schlängeln sich Silberionen ungeordnet durch ein Jod-Kristallgitter. Anders im Beta-Eukryptit: Hier wandern die Lithium-Ionen ausschliesslich in den winzigen Kanälen im Material entlang, es gibt also nur Vorwärts- oder Rückwärtsbewegungen: «Beta-Eukryptit ist der einzige eindimensionale Ionenleiter, der bisher bekannt wurde», sagen die Wissenschaftler in Stuttgart. «Weil er so einfach gebaut ist, kann man damit die Grundlagen der komplizierten Dynamik der Ionenwanderung besonders gut untersuchen und ein besseres Verständnis für die elektrischen Transportvorgänge in Festkörpern gewinnen.»

Seit Sommer 1975 arbeiten Wissenschaftler in Stuttgart intensiv an Ionenleitern. Dabei entstanden einige bemerkenswerte praxisnahe Ergebnisse. *Albrecht Rabenau* ist es in einigen Fällen gelungen, teure, herkömmliche Ionenleiter durch billigere Substanzen zu ersetzen, so zum Beispiel *Silber- durch Kupferverbindungen*. Wichtige Beiträge bei der systematischen *Untersuchung der elektrischen Transportmechanismen* in Ionenleitern leisteten auch die Theoretiker des

Instituts. Während einer Diskussion über die Arbeiten aus diesem Themenkreis berichteten sie über die grosse Verformbarkeit der Elektronenhülle des zweifach negativ geladenen Sauerstoff-Ions (O^{2-}) und ihre Auswirkung auf die elektronischen und gitterdynamischen Eigenschaften mancher Kristalle. Dabei kam Prof. Rabenau die Idee, dass sich die Elektronenhülle eines dreifach negativ geladenen Stickstoff-Atoms (N^{3-}) noch stärker verformen lassen müsste – allerdings war ein solches Stickstoff-Ion bisher noch nie nachgewiesen worden. In dieser Situation erinnerte sich Rabenau an eine Substanz, mit der er Anfang der fünfziger Jahre als Doktorand bei der Darstellung neuer Nitride für kurze Zeit gearbeitet hat: *Lithiumnitrid* (Li_3N). An diesen Stoff traute sich bisher allerdings kaum jemand heran. Er ist als feinkörniges Pulver luftempfindlich und selbstentzündlich. Für die Spezialisten des Instituts war es jedoch kein Problem, diese Substanz zu entschärfen.

Geduld und Fingerspitzengefühl

Eine weitere wichtige Voraussetzung für die Untersuchung der Substanz schufen die *Kristallzüchter* des Instituts. In einer selbstgebastelten, nach dem *Czochralski-Verfahren* arbeitenden Anlage, synthetisierte *Erich Schönherr* erstmals grosse *Einkristalle aus Lithiumnitrid*. Dazu gehören viel Fingerspitzengefühl und vor allem Geduld: Die rubinrot leuchtenden Lithiumnitrid-Kristalle wachsen je Stunde nur etwa fünf Millimeter. In Stuttgart wurden Exemplare von bis zu fünf Zentimetern Länge und drei Zentimetern Durchmesser gezüchtet – erst solche nahezu ideal und frei von Fremdstoffen aufgebauten Einkristalle eignen sich für die physikalischen Messungen, mit denen die Grundlagenforscher die Eigenschaften des nun nicht mehr entzündlichen Lithiumnitrids bestimmen können. Als die Wissenschaftler die Struktur der Lithiumnitrid-Kristalle mit Hilfe von Röntgenstrahlen untersuchten, erlebten sie eine erste Überraschung: Zum ersten Mal wiesen sie ein *dreifach negativ geladenes Stickstoff-Atom* nach.

Billiges Ausgangsmaterial

Gewitzigt durch frühere Rückschläge beim Messen der elektrischen Leitfähigkeit von Ionenleitern, hängt *Ulrich von Alpen* auch das Lithiumnitrid an die Apparatur – und traute seinen Augen kaum. Das Lithiumnitrid erwies sich als einer der wirkungsvollsten Ionenleiter. Er funktioniert auch noch bei Zimmertemperatur so gut, dass er derzeit als bester Kandidat für eine leistungsfähige Festkörperbatterie gilt. Das Material für die Herstellung solcher Energiespeicher ist billig. «Damit ist die Massenproduktion der ersten Hochleistungsbatterie, die ausschliesslich aus festen Stoffen besteht und somit nicht auslaufen kann, in greifbare Nähe gerückt.» Bei den bisher als «Trockenbatterien» bezeichneten Geräten ist lediglich der Elektrolyt zu einer festen Paste eingedickt.

Die Funktion der Schwefelsäure im Bleiakкумуляtor übernimmt in der Lithium-Batterie das Lithiumnitrid. «Lithium ist das leichteste Metall, das es gibt», betont Prof. Rabenau. «Deshalb zeichnen sich solche Energiespeicher durch ihr niedriges Gewicht aus.» Inzwischen ist auch die Industrie auf die Forschungsarbeiten über das Lithiumnitrid aufmerksam geworden. In- und ausländische Firmen haben bereits Kontakte zum Institut geknüpft. Vor allem für wieder-auf-ladbare Miniaturbatterien, wie sie in medizinischen Geräten, Uhren oder Fotoapparaten gebraucht werden, gilt das Lithiumnitrid als ein vielversprechendes Material. Die Wissenschaftler haben ausgerechnet: Sie erwarten für eine mit Lithiumnitrid arbeitende Festkörperbatterie Energiedichten von ungefähr 200 Wattstunden je Kilogramm. Herkömmliche Bleibatterien erreichen etwa 30 Wattstunden.

MPG