

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 105 (1987)  
**Heft:** 49

**Artikel:** Neue Erkenntnisse zur Diffusion von Wasserstoff in Metallen  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76769>

#### 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:** 24.01.2026

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

□ Herabsetzen der Überlebens- und Entwicklungschancen eines Teils der Menschheit: Durch Verzicht auf die Nutzung der Rohstoffe Uran und Thorium, die sonst keine Verwendung finden, würden die fossilen Vorräte als billig und leicht zu handhabende Rohstoffe viel rascher verbraucht.

□ Wir würden unseren nächsten Generationen geplünderte Ölfelder hinterlassen und sie zwingen, Öl als wertvollen Rohstoff mit hohem Energie- und Kostenaufwand durch künstliche Stoffe zu ersetzen.

## Schlussfolgerungen

Die Nutzung von Wissenschaft und Technik bietet Möglichkeiten, das Leben auf dieser Erde menschenwürdiger zu gestalten, das Zusammenleben und die Solidarität zu verbessern, Bedrohungen durch Hunger, Krankheiten und Naturkatastrophen abzubauen und die Überlebenschancen der Menschheit zusammen mit den natürlichen Lebensgrundlagen zu erhöhen. Es gehört zum Menschsein, dass die Wahrnehmung von Chancen auch Risiken mit sich bringt. Ethisches Handeln ist demzufolge so zu gestalten, dass die Bedrohungen insgesamt abnehmen.

Die Kerntechnik bringt die Chance, über Jahrhunderte einen wesentlichen Beitrag zur Energieversorgung der Erdbevölkerung zu leisten und dabei die Rohstoffe Uran und Thorium zu nut-

zen, die zu nichts anderem brauchbar sind. Die Nutzung der Kernenergie ist ethisch verantwortbar, vorausgesetzt, dass einige elementare Grundregeln bei der technischen Auslegung kerntechnischer Anlagen befolgt werden.

Solche Grundregeln wurden im Unfallkraftwerk Tschernobyl eindeutig verletzt. In unseren bestehenden Kernkraftwerken werden sie jedoch befolgt. Gewisse Perfektionierungen sind in neuen Kernkraftwerken möglich.

Im Vergleich zu anderen nutzbaren Energiesystemen weist die Kernenergie nach dem Erdgas das geringste Risiko pro erzeugte Energiemenge auf. Sonnen- und Windenergiesysteme und insbesondere die Nutzung von Öl und Kohle sind mit höheren Risiken behaftet. Bei dieser Aussage ist die Bedrohung durch globale Auswirkungen der CO<sub>2</sub>-Anreicherung der Atmosphäre durch die rasche Verbrennung unserer fossilen Bodenschätze noch nicht berücksichtigt.

Zur ethischen Verantwortbarkeit gehört auch die Frage nach den Folgen der Nicht-Nutzung der Kernenergie. Unter einem Verzicht auf die Kernenergie hätten insbesondere die sozial Schwächeren unserer Bevölkerung zu leiden. Außerdem würden mit einem Verzicht der Industrieländer auf die Kernenergienutzung die Zukunftsaussichten der Entwicklungsländer erheblich verschlechtert.

Die weitverbreitete Angst und Verunsicherung in der Bevölkerung ist die Fol-

ge einer unsachlichen Diskussion um die Kernenergie und stellt wohl die grösste Bedrohung für das Zusammenleben unserer Bevölkerung dar. Ebenso wichtig wie die Frage der ethischen Verantwortbarkeit der Kernenergienutzung ist deshalb die Frage der ethischen Verantwortbarkeit der Angstmacherei durch Kreise der Kernenergiegegner.

Adresse des Verfassers: H. Zünd, Mitglied der Direktion, Motor-Columbus Ingenieurunternehmung AG, Geschäftsbereich Nuklear- und Verfahrenstechnik, 5400 Baden.

## Literatur

- [1] Jeanne Hersch: «Energie im Dienste menschlicher Möglichkeiten», Informationsbulletin INFEL, Februar 1987
- [2] Bruno Capol: «Vom Wesen der Führung», Buchmanuskript 1987
- [3] Nuclear Energy Agency, «Chernobyl and the Safety of Nuclear Reactors in OECD Countries», OECD 1987
- [4] Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen (BEW), «Der Unfall Tschernobyl», Ein Überblick über Ursachen und Auswirkungen
- [5] J. Grawe: «Verantwortbare Energiepolitik», Strom der Zeit, VDEW, Juni 1987
- [6] H. Inhaber: «Energy Risk Assessment», Gordon and Breach, 1982
- [7] R. Latorjet: «Le Risque de la Technique avancée», RGN 1982, No. 1
- [8] Robert Gale: Interview mit Nuclear Energy 5/87, «Chernobyl in Perspective»

## Neue Erkenntnisse zur Diffusion von Wasserstoff in Metallen

Am Höchstflussreaktor (HFR) des Instituts Laue-Langevin (ILL/Grenoble) werden mit Hilfe von Neutronenstrahlen Struktur und Dynamik der Materie im atomaren Bereich untersucht. Manche dieser Untersuchungen haben über den grundlegenden Charakter hinaus auch technische Bedeutung. Dies gilt z. B. für die Experimente zum Verhalten von Wasserstoff in intermetallischen Verbindungen, die das Institut für Festkörperforschung der Kernforschungsanlage Jülich am HFR durchführt. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse sind wichtig für die Wasserstoffkorrosion in Stahlbetonbauwerken, für die Herstellung von hochreinem Wasserstoff oder die Entwicklung von Wasserstoffspeichern.

Wasserstoff wird von verschiedenen Metallen oder Verbindungen von Metallen unter Bildung sogenannter Metallhydride im Gitter der Metallatome in unterschiedlichem Mass eingelagert. Metallhydride sind spröde Verbindungen, so dass sich bei diesem Prozess die Festigkeitseigenschaften der Metalle verschlechtern. Bei Bauwerken kann dies

durch sogenannte wasserstoffinduzierte Spannungsrißkorrosion zum Versagen der Stahlarmierungen führen – wie spektakuläre Beispiele der Vergangenheit schon gezeigt haben. Ein anderer Aspekt der Hydridbildung ist die Speicherung von Wasserstoff. Hydridspeicher können mehr Wasserstoff aufnehmen als im gleichen Volumen flüssi-

gen Wasserstoffs enthalten ist. Derzeit werden solche Speicher zur Herstellung hochreinen Wasserstoffs eingesetzt, der als Trägergas für die Spurenelemente verwendet wird, mit denen Halbleiter zur Erzielung bestimmter elektronischer Eigenschaften dotiert werden. Die Anwendung der Hydridspeicher für Wasserstofffahrzeuge bedarf dagegen wegen der derzeit noch erheblichen Gewichte noch weiterer Entwicklungsarbeiten. Aussichtsreichster Kandidat für solche Speichermaterialien sind intermetallische Verbindungen auf Titan-Mangan-Basis, wie Ti<sub>0,98</sub>Zr<sub>0,02</sub>V<sub>0,45</sub>Fe<sub>0,1</sub>Cr<sub>0,05</sub>Mn<sub>1,4</sub>. Die komplizierten Zusammensetzungen sind die Folge der Verwendung kostengünstiger Vorlegierungen anstelle der reinen Metalle bei der technischen Herstellung. Diese Verbindungen bilden «Tieftemperaturhydride», deren Wasserstoffdruck bei 50 °C über 10 bar und bei 0 °C noch bei mehr als 1 bar liegt. Einem solchen Speicher kann also auch bei tieferen

Temperaturen noch Wasserstoff ohne besondere Massnahmen entnommen werden – ein technisch wichtiger Gesichtspunkt.

Zur Verbesserung solcher Speichermaterialien sind genaue Kenntnisse ihrer atomaren Struktur und des zeitlichen Ablaufs der einzelnen Schritte des Speichervorgangs notwendig, da davon letztlich technisch wichtige Aspekte wie Belade- und Entladegeschwindigkeit oder die Speicherkapazität bestimmt werden. Ein besonders geeignetes Instrument für solche Untersuchungen steht mit dem HFR am ILL in Grenoble zur Verfügung.

Das Institut Laue-Langevin ist eine gemeinsam von Frankreich, Grossbritannien und der Bundesrepublik Deutschland getragene Grossforschungseinrichtung. Die Aufwendungen betragen jährlich etwa 70 Mio. Fr. Zentrales Forschungsinstrument ist ein Höchstflussreaktor mit einer thermischen Leistung von 57 Megawatt, dessen Neutronenfluss von keinem anderen Forschungsreaktor Europas erreicht wird. Diese intensive Neutronenquelle nutzen im Lauf eines Jahres etwa 1700 Gastwissenschaftler mit etwa 700 Experimenten. Die Neutronenstrahlen des HFR dienen den Materialforschern, ähnlich wie Licht- oder Röntgenstrahlen, als Sonden für die statische und dynamische Struktur der Materie. Aus der Richtungs- oder Geschwindigkeitsänderung, die sie beim Durchgang durch die Materie erfahren, kann auf die Anordnung der Atomkerne, ihren Bewegungszustand, auf die Verteilung der Elektronen und die magnetischen

Eigenschaften geschlossen werden. Die wesentlichsten Gerätetypen, die bei diesen Untersuchungen eingesetzt werden, sind Spektrometer oder Diffraktometer.

Bei einem Spektrometer wird ein Neutronenstrahl einheitlicher Geschwindigkeit auf die Probe gerichtet. Die räumliche Verteilung und die Geschwindigkeit der aus der ursprünglichen Strahlrichtung herausgestreuten Neutronen wird mit Hilfe eines Analysatorsystems untersucht. Zur Untersuchung elastischer Streuprozesse, bei denen sich die Geschwindigkeit der Neutronen bei der Streuung nicht ändert, dienen Diffraktometer, bei denen die räumliche Intensitätsverteilung der gestreuten Neutronen gemessen wird. In diesem Fall ist es von besonderem Vorteil, die räumliche Verteilung unmittelbar durch eine grossflächige Anordnung von Zählern bestimmen zu können.

Mit Hilfe der Neutronenbeugung wurde von der Jülicher Arbeitsgruppe am Pulverdiffraktometer D1B des ILL die Struktur von  $Ti_{1,2}Mn_{1,8}$ , also der Muttersubstanz der benannten technischen Speicherlegierungen, sowohl in unbeladenem als auch in beladenem Zustand, bei verschiedenen Temperaturen untersucht. Statt Wasserstoff wurde dabei Deuterium – das schwere Isotop des Wasserstoffs – benutzt, da dieses vom Neutronenstrahl besser «sichtbar» gemacht werden kann. Auf diese Weise können diejenigen Stellen im Verbund der Metallatome bestimmt werden, die für das dynamische Verhalten des Wasserstoffs ausschlaggebend sind. In der elementaren Zelle des Kristall-

gitters wurden insgesamt 48 solche Zwischengitterplätze identifiziert, an die der Wasserstoff unterschiedlich stark gebunden ist. Zur Bestimmung des dynamischen Verhaltens der Wasserstoffatome selbst wurde die sogenannte quasielastische Neutronenstreuung eingesetzt, die es gestattet, die mit der Bewegung einzelner Wasserstoffatome verbundenen Energieänderungen direkt zu messen. Nur die sogenannten Rückstreuспектrometer in Grenoble und Jülich haben die notwendige Messgenauigkeit für derartige Untersuchungen. Dabei konnte eine neue Modellvorstellung über das Diffusionsverhalten des Wasserstoffs in Metallhydriden entwickelt werden. Diese unterscheidet 3 verschiedene, zunehmend schneller ablaufende Sprünge, d. h. Platzwechsel der Wasserstoffatome innerhalb des Verbunds der Metallatome: Das Entkommen des Wasserstoffatoms von einer sogenannten Haftstelle im Gitter, den «Transportsprung» zum nächsten freien Platz und den «korrelierten» Sprung, ein Platzwechsel zweier Wasserstoffatome. Die quantitative Analyse zeigt, dass bei dieser Klasse intermetallischer Verbindungen die Diffusionsprozesse nicht den geschwindigkeitsbestimmenden Schritt bei der Hydridbildung darstellen – im Gitter des Speichermediums macht der Wasserstoff zu «grossen Sprüngen» –, sondern dass Hemmschichten an der Oberfläche der Materialpartikel die Beladegeschwindigkeit begrenzen. Derartige detaillierte Kenntnisse über die Struktur und Dynamik eröffnen die Aussicht auf eine Optimierung der Zusammensetzung solcher Hydridspeicher.

## Mit zwei Schwüngen über den Main-Donau-Kanal

### Die Buckelbrücke aus Holz im Altmühlthal (BRD)

**Die neue Holzbrücke von Essing im Altmühlthal (BRD) führt Radfahrer und Fussgänger mit zwei sanften Schwüngen über den Main-Donau-Kanal. Diese fast 200 m lange Konstruktion besticht nicht nur durch ihre schwungvolle Form, sondern weist darüber hinaus auch einige beachtenswerte technische Besonderheiten auf.**

Bild 1. Die sanft geschwungene neue Brücke von Essing ist Teil des Wanderwegnetzes im landschaftlich schönen, aber auch empfindlichen Altmühlthal



Für den Bauherrn und auch für den Architekten war es von Beginn an klar, dass diese Brücke der Landschaft zuliebe aus Holz erstellt werden sollte (Bild 1). Man suchte nach einer neuen und zeitgemässen Form, welche aus Konstruktion und Statik heraus zu entwickeln war. Die Antwort lautete: ein Spannband. Dieses Spannband, bestehend aus neun dicht nebeneinanderliegenden, 65 cm hohen und 22 cm breiten, je 192 m langen Balken aus Brettschichtholz, bildet das eigentliche Tragwerk.

Die neun Balken wurden aus einzelnen, dreissig bis vierzig m langen Teilstücken zusammengesetzt, miteinander verzinkt und auf der Baustelle verleimt. Das Tragwerk ist derart in die betonierten Brückenköpfe eingespannt, dass rund 90 Prozent der Lasten über diese Stahlbetonwiderlager abgetragen werden und nur noch zehn Prozent der Kräfte als Druckkräfte auf die entsprechend feingliedrig gestalteten Zwischenpfeiler aus Holz entfallen (Bilder 2 und 3). Es ergaben sich Felder mit Stützweiten von rund 30, 32, 73 und 35 m. Die Spannbänder aus Schichtholz sind durch einen unterhalb der Konstruktion liegenden Diagonalverband aus Kanthölzern (6x16 cm) und über zwei Lagen diagonal verlegter Schalungsbretter quer wie ein Kasten ausgesteift, um den Windkräften zu widerstehen (Bild 4).

Jeweils drei Trägerbänder sind durch eine