

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 107 (1989)  
**Heft:** 48

**Artikel:** Uran-Reserven und Entwicklung der Kernenergie  
**Autor:** Pfaeffli, Jean Louis  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-77214>

### **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:** 02.04.2025

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

drin bedingt ebenfalls Einlagen und Hilfskonstruktionen (Bild 9).

### Ausblick

Es wäre vermessen, die in Preonzo-Claro gewählte Lösung als die alleinseligmachende anzupreisen. Vielmehr sind auch Zwischenlösungen denkbar, wie Kabel bestehend aus gefetteten Drähten oder Litzen, die nach wie vor in die Stege einbetoniert werden.

Eher als für Neubauten kommt wohl das gewählte Verfahren zum Zuge, wenn bestehende Brücken saniert, ver-

stärkt oder um die Standspuren verbreitert werden müssen. Gerade letzteres wird langfristig mit vielen Objekten unseres Nationalstrassennetzes zu geschehen haben.

Dass auch die andern Fälle nicht utopisch sind, zeigt die Reussbrücke der N2 in Wassen, wo bei der Rekonstruktion nach den Hochwassern von 1987 dieselben Kabel zur Anwendung gelangten [5].

Adressen der Verfasser: *T. Vogel*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Vizedirektor, GUZZI AG, Ottikerstr. 40, 8006 Zürich. *K. Heer*, dipl. Bauing. ETH/SIA, Vizedirektor, Stahlton AG, Riesbachstr. 57, 8034 Zürich.

### Literatur

- [1] Sartoris G.: Viadotto Preonzo-Claro con precompressione esterna. Stahlton-Informationen Heft 34/November 1988
- [2] Heer K.: Viadotto Preonzo-Claro. Stahlton-Informationen Heft 35/Juni 1989
- [3] SIA: Entwurf E 160 Gelbdruck, Januar 1985: Einwirkungen auf Tragwerke
- [4] Eibl J.: Stellungnahme zur Baubarkeit der Brücke Preonzo-Claro (unveröffentlicht).
- [5] Lüpold K.: Rekonstruktion der Reussbrücke Wassen. Stahlton-Informationen Heft 34/November 1988

## Uran-Reserven und Entwicklung der Kernenergie

**Im Zusammenhang mit der Kernenergie wird die Frage nach den Uranvorräten und ihrer kurz-, mittel- und langfristigen Verfügbarkeit immer wieder gestellt. Die nachfolgenden Ausführungen vermitteln keine neuen Szenarien zur Entwicklung der Kernenergie und zur damit verbundenen Nutzung der Uranvorkommen. Sie beleuchten vielmehr einige besondere Aspekte dieser Ressourcen und ihrer Nutzung, damit das Ausmass der Vorkommen besser beurteilt werden kann, und legen weiter die Gründe dar, die dafür sprechen, dass die Uran-Reserven den Ausbau der Kernenergie nicht bremsen werden.**

### Art und Umfang der Uran-Reserven

In der Erdkruste ist, in mehr oder weniger gleicher Verteilung, enorm viel Uran vorhanden. Der Boden enthält im

VON JEAN LOUIS PFAEFFLI,  
LAUSANNE

Durchschnitt 3 bis 4 Gramm Uran pro Tonne, das Meerwasser ungefähr 3 Milligramm pro Tonne. In konzentrierter Form findet sich Uran in etwa 150 bekannten Arten von Mineralien. Das reichste wirtschaftlich genutzte Vorkommen, das man bisher gefunden hat, weist einen mittleren Gehalt von 120 kg Uran pro Tonne Erz auf. Wegen der Art und mannigfachen Besonderheiten ihrer Entstehung ist die Ausdehnung uranhaltiger Vorkommen in der Erde um so grösser, je geringer ihr Urangehalt ist (in dieser Hinsicht anderen Metallen wie Chrom, Zink oder Blei vergleichbar).

Die Kosten der Uranerzgewinnung sind um so grösser, je niedriger der Urangehalt ist. Daraus folgt, dass bei grösseren nutzbaren Uranvorräten ein höherer Uranpreis vertretbar ist, der damit höhere Förderkosten erlaubt.

Bei der Schätzung der unter wirtschaftlichen Bedingungen abbaubaren Uranvorkommen sind zwei Aspekte in Betracht zu ziehen. Das sind einerseits die Entwicklung der Techniken zur Uranerzgewinnung und deren Auswirkungen auf die Förderkosten. Andererseits gehört es zu den bemerkenswerten Besonderheiten der Kernenergie, dass der Preis des Natururans die Gestehungskosten des Nuklearstroms je Kilowattstunde nur wenig beeinflusst (bei Uran, das zu Kosten von US\$ 30 pro Pfund U308 abgebaut wird, macht dies gegenwärtig etwa 5% der Kosten für die kWh aus). Bestünde nicht das gerechtfertigte Bestreben, die Produktionskosten möglichst tief zu halten, könnten zahlreiche Länder schon heute einen zwei- bis fünffach höheren Uranpreis in Kauf nehmen, ohne die Wirtschaftlichkeit des Atomstroms zu beeinträchtigen.

Die noch vor Ende dieses Jahrhunderts zu erwartende Anreicherung mit Laserstrahlen bedingt wegen der grossen Selektivität der Isotopentrennung ausserdem eine weitere Verringerung des spezifischen Natururan-Bedarfs. Dies wiederum reduziert den Anteil des Uranpreises an den Gestehungskosten je Kilowattstunde.

Um das Ausmass der Uran-Reserven richtig beurteilen zu können, sind daher deren Verteilung in der Erde, der bescheidene Einfluss der Gewinnungskosten auf die Stromproduktion und die laufenden technologischen Entwicklungen zu berücksichtigen.

### Neueste Daten über die förderbaren Uran-Reserven

Der Stand der Uran-Reserven in den Ländern ausserhalb des Ostblocks wird durch die Experten der OECD und der IAEA regelmässig ermittelt und analysiert. Die jüngsten Daten sind in einem Bericht aus dem Jahr 1988 enthalten (1). Danach belaufen sich die bekanntesten Reserven ausserhalb des Ostblocks, die nach der Definition der OECD/IAEA die gesicherten Vorkommen und zusätzlich geschätzten Vorkommen zu Gewinnungskosten von weniger als US\$ 130 je Kilogramm Uran umfassen, auf 3,55 Mio Tonnen Uran. Weitere geschätzte Vorkommen und aufgrund geologischer Betrachtungen vermutete Vorkommen der gleichen Kostengruppe werden mit 11,3 bis 13,8 Millionen Tonnen Uran beziffert. In sogenannten nicht-klassischen Vorkommen, hauptsächlich in Phosphaten, werden weitere mehr als 7 Millionen Tonnen Uran an-



Kategorien	Mengen in Mio t U	Bekannte Reserven
Gesicherte Vorkommen (<130 \$/kg U)	2,23	3,55
Zusätzlich geschätzte Vorkommen Kat. I (< 130 \$/kg U)	1,32	
Zusätzlich geschätzte Vorkommen Kat. II (<130 \$/kg U)	1,68	
Vermutete Vorkommen (<130 \$/kg U)	9,6-12,1	
Nicht-klassische Vorkommen (hauptsächlich Phosphate)	>7	

Tabelle 1. Neueste Daten über die Uran-Reserven in den Ländern ausserhalb des Ostblocks

genommen. Tabelle 1 gibt eine Auflistung der Uran-Reserven in den verschiedenen Kategorien.

Bei der Bewertung der vorgenannten Uran-Reserven ist zu berücksichtigen, dass sich die Angaben nahezu ausschliesslich auf Reserven beziehen, die zu Kosten von weniger als US\$ 130 je Kilogramm Uran (US\$ 50 je Pfund U308) abgebaut werden können. Zudem beruhen die Angaben über die bekannten Reserven auf relativ beschränkten Prospektionsstätigkeiten. So nehmen zum Beispiel in Kanada die bekannten Reserven trotz erheblichen Abbaus ständig zu.

Um besser ermessen zu können, was die in Tabelle 1 dargestellten Uran-Reserven bedeuten, kann man sie durch die Zahl der Jahre ausdrücken, während welcher dieses Uran den gegenwärtigen Kernkraftwerkspark zu versorgen vermag. Dabei verhält es sich so, dass die Gesamtheit der bekannten Reserven (3,55 Mio Tonnen) in den Ländern ausserhalb des Ostblocks es ermöglichen würde, die hier zurzeit in

Betrieb stehenden Kernkraftwerke während nahezu eines Jahrhunderts zu versorgen. Unter der Annahme einer systematischen Wiederaufarbeitung und Rezyklisierung der so zurückgewonnenen Spaltstoffe liesse sich dieser gleiche Nuklearkapazität während ungefähr 150 Jahren versorgen. Ohne Wiederaufarbeitung könnte mit der Summe der in der Tabelle insgesamt aufgeführten Reserven mehr als das Fünffache der heutigen Kernkraftwerks-Kapazität in den Ländern ausserhalb des Ostblocks während 120 Jahren versorgt werden. Wenn man bedenkt, dass die in den Ländern ausserhalb des Ostblocks installierte Nuklearkapazität sich bis zum Jahr 2000 nur um den Faktor 1,3 (von 263'000 MW auf ungefähr 340'000 MW) erhöhen wird und dass die vorliegenden Zahlen über die Uran-Reserven sehr lückenhaft sind, dann darf daraus zu Recht gefolgert werden, dass diese Reserven, so wie sie sich darstellen, keinen einleuchtenden Grund bedeuten, die Entwicklung der Kernenergie zu beschränken. Das gilt um so mehr, als bei den vorstehenden Betrachtungen der

Einsatz von Schnellbrüter-Reaktoren mit ihrer rund 60fach besseren Uran-ausnutzung im Vergleich zu den heutigen Leichtwasser-Reaktoren noch nicht einmal berücksichtigt ist.

## Deckung des Bedarfs

Das Problem, das sich wirklich stellt, besteht in der Anpassung der Kapazität der Uranproduktion an die Nachfrage. Dies setzt eine realistische Schätzung des zukünftigen Bedarfs voraus, damit die zusätzlich erforderlichen Produktionsmöglichkeiten geschaffen und die Prospektionsarbeiten aufgenommen werden, die dafür nötig sind, dass ein genügender Teil der gegenwärtig in den Kategorien «zusätzlich geschätzte Reserven» und «vermutete Reserven» enthaltenen Ressourcen rechtzeitig zu den «gesicherten Reserven» gezählt werden kann. Während solche Abschätzungen für kurze und mittlere Fristen verhältnismässig leicht vorzunehmen sind, sieht man sich bei der Beurteilung der Deckung des langfristigen Uranbedarfs einer Fülle von Fragen gegenübergestellt. Mit Bezug auf die Nachfrage geht es darum, mehr als 20 Jahre im voraus den Wachstumsrhythmus der Kernenergie abzuschätzen; die technischen Verbesserungen und neue Technologien zu berücksichtigen, welche die energetische Nutzung des Urans beeinflussen; die Ausweitung der Wiederaufarbeitung bestrahlter Brennstoffe und der Rezyklisierung der daraus gewonnenen Spaltstoffe zu ermitteln; die künftige Bedeutung der Schnellen Brüter abzuwägen und die mit Thorium betriebenen Reaktoren in Rechnung zu stellen.

Noch schwieriger sind die Schätzungen mit Bezug auf die Prospektion, die Entdeckung neuer Vorkommen und deren Erschliessung, weil hierbei die darauf gerichteten Bemühungen und Investitionen ebenso zu berücksichtigen sind wie die Auswirkungen der bei diesen Aktivitäten traditionsgemäss geltenden Marktmechanismen, möglicher regierungsseitiger Eingriffe und neuer Techniken der Prospektion und Gewinnung von Uran. Man begreift so die Schwierigkeit solcher Untersuchungen und versteht, dass es angebracht ist, alle globalen Ergebnisse mit grosser Vorsicht aufzunehmen. Ein typisches Beispiel hierfür ist die Frage nach der Erschöpfung der Uranreserven. Ausgehend von einem Szenario zum Wachstum der Kernenergie und verschiedenen Annahmen über die eingesetzten Reaktortypen kann man Kurven erstellen, die den kumulierten Bedarf an Uran aufzeigen, und hernach, gestützt auf die



Bild 1. Uranmine (Bild SVA)



derzeitigen Angaben über die Uran-Reserven der verschiedenen Kategorien, die Zeitpunkte der Erschöpfung dieser Reserven ableiten. Eine im Rahmen der Weltenergiekonferenz von 1986 durchgeführte Studie verwendet diese Näherungsmethode [2]. Es handelt sich dabei um ein sehr vereinfachendes Vorgehen, das eine dynamische Einheit (die Entwicklung des Bedarfs) mit einer statischen Einheit (den gegenwärtigen Angaben über die Ressourcen) vergleicht. So nützlich diese Arbeit für die Spezialisten sein mag, die deren Ergebnisse zu interpretieren wissen, birgt sie doch zwangsläufig das Risiko in sich, dass daraus falsche Schlüsse über die Entwicklungsmöglichkeiten der Kernenergie gezogen werden.

In der Tat führt nur eine vertiefte und relativ umfassende Analyse von Angebot und Nachfrage zu Schlüssen, die gewichtet und von praktischer Bedeutung sind. Eine solche Untersuchung wurde von Spezialisten der IAEO durchgeführt und 1986 veröffentlicht [3]. Sie erlaubt es, die langfristigen Perspektiven (bis zum Jahr 2035) der Uranversorgung realistisch darzustellen. Die Ergebnisse dieser Analyse zeigen, dass es unter Berücksichtigung einiger durch-

aus erfüllbarer Voraussetzungen möglich ist, innert der erforderlichen Fristen und für den untersuchten Zeitraum über die Produktionskapazitäten zu verfügen, die zur Deckung des Uranbedarfs nach Massgabe der verschiedenen Szenarien über die Entwicklung der Kernenergie erforderlich sind.

### Schlussfolgerungen

Die Beschaffenheit und Verbreitung der Uran-Reserven in der Erdkruste, der sehr geringe Einfluss des Uranpreises auf die Gesamtgestehungskosten je nukleare Kilowattstunde und die Einführung neuer Techniken mit erheblichen Verbesserungen im technischen Verhalten wie bei den Kosten sind zusammen Faktoren, die die Feststellung erlauben, dass – ohne dabei auch noch die Verwendung von Thorium in Erwägung zu ziehen – die Reserven an spaltbarem Material der Nutzung der Kernenergie nach menschlichem Ermessen keine nennenswerten Grenzen setzen.

Von grundlegender Bedeutung ist es allerdings, die Produktion nach dem Be-

### Literatur

- [1] Uranium – Ressources, Production et Demande, gemeinsamer Bericht der NEA und der IAEO, herausgegeben von der OECD, Paris 1988
- [2] Abondance Energétique: Mythe ou Réalité? – Jean-Romain Frisch, 13e Congrès de la Conférence Mondiale de l'Energie, Cannes, Oktober 1986, Editions Technip, Paris
- [3] Long-term Uranium Supply – Demand Analyses, IAEO-Tecdoc 395, 1986, Internationale Atomenergie-Organisation, Wien.

darf auszurichten. Dies bedingt, dass die Nachfrage vorausschauend abgeklärt und dass die Mittel (einschliesslich jener, die eine bessere Ausnutzung des Urans ermöglichen) zur angemessenen Bedarfsdeckung bereitgestellt werden, was durchaus realisierbar ist.

Adresse des Verfassers: *Jean-Louis Pfaeffli*, dipl. Phys. ETHZ, Lausanne, Mitglied der Brennstoffkommission der Überlandwerke, S.A. l'Energie de l'Ouest-Suisse (EOS), Case postale 570, 1001 Lausanne.

## Die Eisenbahn im 21. Jahrhundert

Internationaler Kongress in Amsterdam

**Anlässlich des 150jährigen Bestehens der Niederländischen Eisenbahnen (NS) fand in Amsterdam vom 27. bis 30. Juni 1989 ein Kongress über «Die Eisenbahn im 21. Jahrhundert» statt, an dem über 560 Verkehrsfachleute aus 18 Ländern und zahlreiche Abordnungen von ausländischen Eisenbahnen teilnahmen. In 38 Vorträgen sprachen Fachleute aus Deutschland, Dänemark, Frankreich, Luxemburg, den Niederlanden, Österreich und der Schweiz über den künftigen europäischen Intercityverkehr, die Rolle der Eisenbahn in der modernen Gesellschaft (öffentlicher Verkehr und Raumordnung, Freizeit und Mobilität, Eisenbahn und Sicherheit) und Massnahmen, wie sich die Eisenbahnunternehmen in den einzelnen Ländern auf gesellschaftliche Entwicklungen einstellen, wie z.B. Verbesserungen in Technik und Logistik. Auf einige Ausführungen wird hier eingegangen.**

### Europäischer Intercityverkehr in der Zukunft

Nach Untersuchungen von Prof. Dr. P. Faller, Wien, über die «Marktentwicklung für den Intercity-/Eurocity-Verkehr mit Entfernungen zwischen 200 und 1000 km» haben Geschäftsreisen berufliche oder dienstliche Gründe und werden unter dem Aspekt des am Zielort für die geschäftlichen Besprechungen benötigten Zeitbudgets (Zeitfensters) besonders sorgfältig geplant. Privatreisen leiden dagegen nicht unter

gleichem Zeit- und Wirtschaftlichkeitsdruck; andererseits tritt hier das verfügbare Einkommen des Reisenden als ein die Verkehrsmittelwahl bestimmendes Element stark in den Vordergrund. Aus einer Prognose zum Hochgeschwindigkeitsverkehr [1], weiteren Verkehrszahlen [2] und Modal-Split-Werten [3] wird abgeleitet, dass auf einen Einwohner der Bundesrepublik Deutschland jährlich mindestens fünf Reisen mit Fahrweiten von über 100 km (Hin- und Rückfahrt) bzw. zehn Beförderungsfäl-

le über 50 km Reisesweite kommen. Da ein Teil der Luftverkehrspassagiere als potentielle IC- und EC-Kunden betrachtet werden, ist interessant, dass für die Prognose der Passagierzahlen im innerdeutschen Luftverkehr die Entwicklung des Bruttoinlandsproduktes [2] herangezogen werden kann; der Korrelationskoeffizient dafür beträgt 0,918 (1977/87). Die Entwicklung des Fahrgastaufkommens (Tab.1) und der durchschnittlichen Reisesweite (Tab.2) veränderte sich in den letzten Jahren bei den europäischen Eisenbahnen [4] sehr unterschiedlich. Aus einer Untersuchung für die am EC-Verkehr beteiligten UIC-Bahnen und der internationalen Expertenbefragung zum Thema «Die Zukunftschancen der Eisenbahn» [5, 6] wurden folgende Schlüsse gezogen: Eine Vergrösserung der Marktanteile der Bahn bei Fernreisen erfordert ein international abgestimmtes Langfristkonzept der Bahnmodernisierung und auf diesem aufbauend ein Kontinuum an Modernisierungsanstrengungen; durch höhere Geschwindigkeit und imagebildende Massnahmen kann Bahnfahren für Entfernungen geschäftlich bis 500 km und privat bis 800 km Entfernung zu einer betont niveaivolten Variante des Reisens umgestaltet werden.