

Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 104 (1986)
Heft: 6

Artikel: Kernwärme: Heizreaktoren eine Alternative
Autor: Pescatore, Antoine
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76071>

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: 15.03.2025

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

plätze geben wird, steht auf einem anderem Blatt.

Da die erfinderische und innovative Tätigkeit der Ingenieure als für die Volkswirtschaft zentrale Leistung eine ausgeprägt qualitative Komponente enthält, soll hier als Ergänzung zu den quantitativen Überlegungen eine Idee erwähnt werden, die der Präsident der ETH Zürich, Professor H. Ursprung, 1984 geäußert [19] und am STR-Symposium 1985 [20] bekräftigt hat: Es komme auch darauf an, die qualitative Herausforderung anzunehmen. In Analogie zur Situation bei den Chemikern forderte er, dass künftig ein grösserer Teil der Hochschulingenieure – speziell der industrieorientierten Fachrichtungen – eine Dissertation verfassen und promovieren solle, damit in Zukunft mehr Ingenieure mit eigener Forschungserfahrung in die Industrie gelangen, wo sie die Innovationskraft verstärken könnten. Das auch hier wie schon anderswo formulierte Postulat, technisch-naturwissenschaftlich Gebildete müssten über mehr betriebs- und volkswirtschaftliches Zusatzwissen verfügen, rundet das Anforderungsprofil von Hochqualifizierten an der Nahtstelle von Technik und Wirtschaft nach der anderen Seite ab. Ich werde in einem separaten Beitrag speziell auf letzteren Punkt zurückkommen.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. P. Stolz, Lindenplatz 4, 4126 Bettingen. Extraordinarius für Nationalökonomie sowie Wirtschaftsgeschichte an der Universität Basel und Dozent an der Ingenieurschule beider Basel.

Literatur

[1] AGAB (Schweizerische Arbeitsgemeinschaft für akademische Berufs- und Studienberatung): Die Beschäftigungssituation der Neuabsolventen der Schweizer Hochschulen – Ergebnisse der Befragung 1983. In: Wissenschaftspolitik 13 (1984), H. 1, S. 59 f.

[2] Blatner, N.: Jugendarbeitslosigkeit auch in der Schweiz? In: Die Volkswirtschaft 55 (1982), H. 12, S. 817.

[3] Bombach, G.: Die Produktivitätskrise im Spannungsfeld von technischem Fortschritt, Arbeitsmarkt und Bildungspolitik. In: STR-Symposium «Der Ingenieur – Schlüsselfigur der Wirtschaft?» ETH Zürich 1982, S. 16 f.

[4] Das Studium in Elektrotechnik an der ETH Zürich. In: Bulletin der ETH Zürich Nr. 174, November 1982, S. 4.

[5] Graf, P.: Warum nicht Ingenieur? Ursachen des Trends in der Studienwahl. In: NZZ Nr. 68, 22.3.1983, S. 33.

[6] Marelli, B.: Die Nachfrage nach Arbeitskräften in den Kantonen Basel-Stadt und Basel-Landschaft. Forschungsstelle Arbeitsmarkt der Universität Basel: Basel 1985, S. 27, 31.

[7] McCloskey, D. N.: The Loss Function Has Been Misplaced: The Rhetoric of Significance Tests. In: American Economic Review 75 (1985), H. 2 (Papers and Proceedings), S. 202 f.

[8] Rhyner, P.: Forschungsprobleme aus nationaler und privatwirtschaftlicher Sicht. In: Swiss Chem 5 (1983), H. 4, S. 7 f.

[9] Roth, A. W.: Japan als Vorbild: Ingenieure sind gefragt. In: Schweizerische Technische Zeitschrift 80 (1983), H. 9, S. 13, 15.

[10] Roth, A. W.; Forrer, M. P.; Morf, J. J.; Sutter, F. Ingenieure und Industrie in Japan. Kurzbericht einer Studiengruppe der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften. Schweizer Ingenieur und Architekt 102 (1984) H. 19, S. 370, 373

[11] Schucan, L.: Berufswahl und Arbeitsmarkt. Basler Studienführer. Basel, 6., erw. Aufl. 1984, S. 14 f.

[12] Schweizerischer Handels- und Industrie-Verein: Forschung und Entwicklung in der schweizerischen Privatwirtschaft. Bericht zur vierten Erhebung des Vororts über das Jahr 1980. Zürich 1982, S. 11, 31 (Tab. 4.1), 66

[13] Sheldon, G.: Die berufliche Flexibilität in der Schweiz im Spiegel der Eidgenössischen Volkszählungen 1980 und 1970. Forschungsstelle Arbeitsmarkt der Universität Basel. Basel 1985, S. 20, 83 ff. und Tabelle D4 (zusätzliche Ausdrücke der Ausbildung-Beruf-Matrix, die in dieser Arbeit nicht vollständig wiedergegeben sind)

[14] Speiser, A. P.: Die Ausbildung von Ingenieuren in Japan und in der Schweiz. NZZ Nr. 283, 4.12.1984, S. 38

[15] Stampfli, R.: Die Akademikerarbeitslosigkeit in der Schweiz 1977-1984. Diskussionspapier Nr. 98 der beiden Basler sozialökonomischen Institute. Basel 1985, S. 19 ff. und Anhang A/4

[16] Stolz, P.: Möglichkeiten der Substitution in der Beschäftigung von ETH- und HTL-Ingenieuren. Die Unternehmung 33 (1979) H. 2, S. 132 ff.

[17] Stolz, P.: Ingenieure abseits der Bildungsexpansion. Schweizerische Zeitschrift für Volkswirtschaft und Statistik 116 (1980) H. 1, S. 31 ff.

[18] Stolz, P.: Kommentar zum Beitrag von G. Sheldon: Berufliche Flexibilität: Empirische Ergebnisse für die Schweiz. H. Schelbert-Syfrig und W. Inderbitzin (Hrsg.): Beschäftigung und strukturelle Arbeitslosigkeit. Verlag Rüegger, Diessenhofen 1982, S. 201 ff.

[19] Ursprung, H.: Die quantitative Herausforderung an die ETH. ETH-Bulletin, Zürich Nr. 185, April 1984, S. 2 f.

[20] Ursprung, H.: Die Förderung der Kreativität an der Schwelle zur Industrie. ETH-Bulletin, Zürich Nr. 194, Juli 1985, S. 10

Kernwärme

Heizreaktoren eine Alternative

Von Antoine Pescatore, Winterthur

Über 50 Prozent des schweizerischen Energieverbrauchs wird in Form von Heizwärme konsumiert. Die zunehmende Umweltgefährdung zeigt die Grenzen der Verwendung fossiler Energieträger in Verbrennungsprozessen.

Die heutigen Heizreaktorprojekte zeigen in der Übersicht, dass eine Vielzahl technischer Lösungen in Bearbeitung oder schon im Versuchsbetrieb stehen. Heizreaktoren verlangen keine hohen Temperaturen und Drücke. Die Sicherheitsanforderungen lassen sich daher grundsätzlich wesentlich wirtschaftlicher erfüllen.

Tiefe Erdölpreise sind der schlimmste Feind aller Substitutionsanstrengungen; in der Marktwirtschaft hat der Preis eines Beitrages zum Umweltschutz ausserordentliches Gewicht. Die Frage der Akzeptanz des bei jeder Fernheizung erforderlichen Verteilnetzes mit seinen Investitionen und Lieferantenbindungen stellt sich natürlich auch beim Heizreaktor. In der Schweiz kommen die heutigen gesetzlichen Regelungen erschwerend dazu.

Wer die Presse der letzten Monate zum Thema Heizreaktoren, Klein- oder Minireaktoren verfolgt hat, könnte meinen, der Reaktor für die Wärmeerzeugung sei eine neue Erfindung. Anscheinend ging vergessen, dass jeder Kernreaktor seine Energie in Form von Wärme abgibt. Nicht umsonst hiess die 1959

von der Industrie gegründete Gesellschaft zum Bau des ersten schweizerischen Atomwerkes «Thermatom». Eines der ersten Nuklear-Projekte in der Schweiz war ein Reaktor für die Wärmeversorgung der ETH. Was ist seither geschehen? Weshalb kommen wir erst heute wieder zur Überzeugung, dass Wärme aus Kernreaktoren eine Notwendigkeit ist? Vorerst müssen wir die Energiepolitik der vergangenen Jahrzehnte betrachten:

- Der Aufbau der Nachkriegswirtschaft und der damit gewonnene Wohlstand verlangte Energie. Erdöl war als bequemer Energieträger in Überfülle angeboten. Öl ersetzte auch die Kohle in grossem Massstab. Es entstand eine Versorgungs-Infrastruktur für Heizöl und Treibstoffe, ohne die wir uns unser heutiges Leben nicht mehr vorstellen können. Öl hat weltweit mit fast 40 Prozent immer noch den grössten Anteil an der Primärenergie-Versorgung. Öl

lässt sich mit relativ wenig Kapitaleinsatz nutzen, was besonders für die Energiebedürfnisse der kapitalarmen Entwicklungsländer von grosser Bedeutung ist.

- Hinzu kommt heute ein europaweites Gasverteilnetz, welches in stetigen Ausbau begriffen ist. In der Schweiz wurden in dieses Netz bisher 1,7 Mia Fr. investiert.

Versorgungssicherheit

Der Versorgungssicherheit wird energiepolitisch grosse Bedeutung beigegeben. 1984 hat die Schweiz über 80 Prozent der Primärenergieträger aus dem Ausland importieren müssen. Davon entfielen 65 Prozent auf Erdöl und seine Derivate, 7,6 Prozent auf Naturgas, 2,4 Prozent auf Kohle und 25 Prozent auf Kernenergie (etwa die Hälfte importiert als Strom von Beteiligungen an KKW, die andere Hälfte importiert als Uran).

Dies verdeutlicht in welch starkem Masse die Schweiz von der Weltenergie-Versorgung im allgemeinen und der Welterdöl-Versorgung im besonderen abhängig ist.

Aufgrund der gültigen Gesetze muss im Bereich der flüssigen Treibstoffe ein Pflichtlager gehalten werden, welches unsere Landesversorgung während sechs Monaten sichern kann. Dies entspricht dem Volumen von etwa 27 Supertankern.

Für Gas besteht zwar aufgrund des kriegswirtschaftlichen Vorsorgegesetzes ebenfalls eine Pflicht zur Lagerhaltung für Notzeiten. Seit Jahren werden daher verschiedene Gasspeichermöglichkeiten studiert: Felsspeicher, Unter-

tagspeicher, Kugelspeicher, Röhrenspeicher. Allerdings wurden bis heute noch keine gebaut. Statt dessen macht die Gasversorgung ihren Grossverbrauchern die Auflage, in Spitzen- und Notzeiten auf einen andern Energieträger umzuschalten. Die im schweizerischen Gasnetz gespeicherte Gasmenge genügt je nach Jahreszeit und -verbrauch für einen Tag bis 14 Tage.

Die in den bestehenden Kernkraftwerken vorhandene Brennstoffmenge genügt für eine Stromversorgung von drei bis vier Jahren. Zudem haben die Kernkraftwerkbetreiber auf freiwilliger Basis Brennelementladungen für weitere ein bis zwei Jahre eingelagert. Daneben bestehen Uranlieferverträge für eine Zeitspanne von 10 bis 20 Jahren. Die Lagerung des Kernbrennstoffes kann in den bestehenden Anlagen geschehen und braucht, abgesehen von der Bindung des Kapitals, keinen nennenswerten Aufwand, auch dann nicht, wenn man Brennstoff für 10 und 20 Jahre einlagern wollte.

Umweltfragen

In den letzten Jahren verdichteten sich die Alarmzeichen in unserer Umwelt. Sie weckten das Bewusstsein der Öffentlichkeit, dass eine Energieverwendung ohne Rücksicht auf Folgen nicht mehr tragbar ist. Dabei wurde vielen auch bewusst, dass Kernenergie nicht nur ein idealer Primärenergieträger zur Stromerzeugung, sondern auch zur Wärmeversorgung sehr geeignet ist und zudem den Postulaten des Umweltschutzes entgegenkommt.

Rauchgase aus Feuerungsanlagen sind nämlich mitverantwortlich für die bekannten Schäden an unserer Umwelt.

Dabei nehmen wir nur ungern zur Kenntnis, dass das Freisetzen von Kohlendioxid (CO₂) als Belastung unseres Planeten langfristig viel drastischere, weltweite Konsequenzen nach sich zu ziehen droht als die bekannten Waldschäden. Allerdings geschieht dies in einem Zeitraster von Jahrzehnten und Jahrhunderten. Heute sind sich die Wissenschaftler einig, dass eine Erhöhung des CO₂-Gehaltes in der Atmosphäre Klimaveränderungen zur Folge haben wird: Veränderung der Niederschlagsmenge und -Häufigkeit, Temperaturanstieg, Klimazonenverschiebungen usw. werden gegenwärtig intensiv erforscht.

Es ist wichtig zu realisieren, dass für das Abfallproblem der nuklearen Anlagen technische Lösungen bereitstehen, für die Abgase aus Feuerungsanlagen hingegen nur teilweise. Eine Gemeinde mit 5000 Einwohnern, die sich während 20 Jahren mit einem Heizreaktor versorgt, erzeugt etwa 8 m³ zur Endlagerung verpackter Abfälle, was einem Würfel von 2 m Kantenlänge entspricht. Die gleiche Wärmemenge, fossig erzeugt, hinterlässt neben 142 Mio. m³ CO₂, als weitere Rückstände Schwefeldioxyd, Stickoxyde usw., die über Kamine in die Umwelt fein verteilt werden (Bild 1). Die Kilowattstunde Heizenergie aus einem Reaktor ist eine saubere Kilowattstunde, die alle Umweltkosten einschliesslich der Endlagerung der radioaktiven Abfälle abdeckt. Würde man bei den fossilen Brennstoffen auch die Umweltbelastung mit einbeziehen, - so schätzen verschiedene Fachleute - müsste sich ihr Preis ungefähr verdoppeln. Wärme aus Kernreaktoren bietet sich hier als umweltfreundliche und sichere Versorgungsquelle an. Es gibt zwei Möglichkeiten, die Wärmeversorgung mit

Bild 2 (rechts). Prinzip der DHAPP-Anlage (UdSSR)

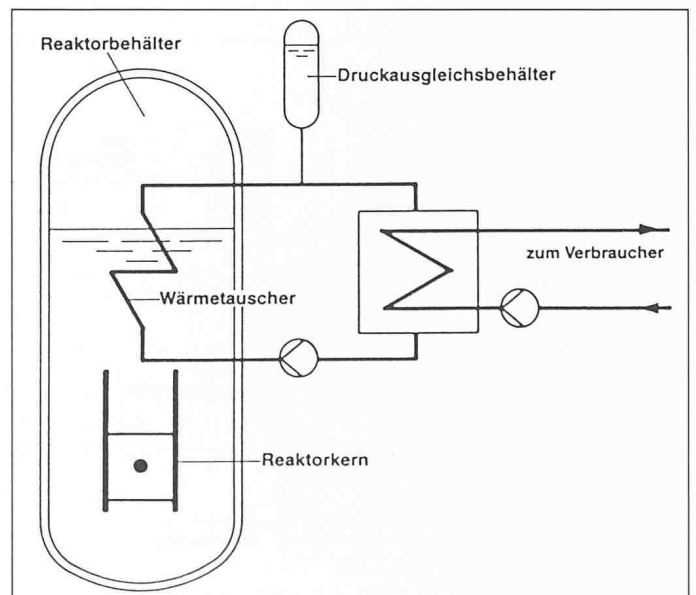


Bild 1. Vergleich der bei Wärmenutzung entstehenden Abfälle

Angaben in Tonnen für eine Betriebsdauer von 20 Jahren	Heizreaktor 10 MW thermisch Uranoxid	Heizanlage mit fossilen Brennstoffen 10 MW thermisch Öl	Kohle
Brennstoff-Verbrauch	1,5t	75 000t	140 000t
Schwach- und mittelaktiver Abfall kleiner als	10t	—	—
Hochaktiver Abfall	0,5t	—	—
Kohlenmonoxid	—	1t	60t
Kohlendioxid	—	250 000t	430 000t
Schwefeloxide	—	1700-4300t	2000t
Stickstoffoxide	—	1000t	1200t
Asche	—	100t	20 000t
Schwermetalle	—	10t	3t

Kernreaktoren sicherzustellen: die Wärmeauskoppelung aus Kernkraftwerken oder das Erstellen spezieller Heizreaktoren.

Wärmeauskoppelung aus bestehenden Kernkraftwerken

Bei der Wärmekraftkopplung (WKK) wird Dampf entnommen, nachdem dieser bereits einen Teil seines Arbeitsvermögens in der Dampfturbine abgegeben hat. Dabei wird die Abwärmemenge, die bei thermischen Kraftwerken 60 bis 70 Prozent beträgt, entsprechend verringert. So kann der Primärenergieträger besser genutzt werden. Zudem bringt eine nukleare Fernwärmeversorgung aus Kernkraftwerken die erwähnten Vorteile der Versorgungssicherheit und des Umweltschutzes. Bereits Mitte der siebziger Jahre wurde im Aare-/Limmattal ein Projekt diskutiert, das Wärme aus dem Kernkraftwerk Beznau liefern könnte. In der engeren Region um Beznau entstand ab 1983 schrittweise ein Teilnetz (Refuna), das heute acht Gemeinden umfasst.

Der Wärmepreis setzt sich zusammen aus den Kapitalkosten für das Leitungsnetz, den Betriebskosten und den Energiekosten, wobei hier nur der Ersatz der elektrischen Minderleistung in Rechnung gestellt wird. Es bestehen ebenfalls Projekte für die Wärmeversorgung der Stadt Bern vom Kernkraftwerk Mühleberg her und für die Versorgung der Städte Olten und Aarau aus dem Kernkraftwerk Gösigen. In der Botschaft des Bundesrates an das Parlament betreffend der Erteilung der Rahmenbewilligung für das Kernkraftwerk Kaiseraugst, ist die Auskoppelung von Wärme für die Versorgung der Stadt Basel Bestandteil dieser Botschaft. Das

Substitutionspotential der nuklearen Wärmekraftkopplung aus den bestehenden Kernkraftwerken ist jedoch beschränkt. Wirtschaftlich vertretbare Heiznetzlängen lassen eine Versorgung dieser Art nur in relativ grossen, zusammenhängenden Bevölkerungs-Agglomerationen zu. Die Wirtschaftlichkeitsgrenze liegt bei einer Erschliessungstiefe von etwa 20 bis 30 km.

Die bekannten Heizreaktor-Projekte

Trotz Sparanstrengungen macht der Energiebedarf für die Wärmeerzeugung in unserem Lande noch immer weit über 50 Prozent aus. Mit besser isolierten Häusern könnten wir diese Zahl wohl um einige Prozent reduzieren. Nach wie vor verbleibt aber ein sehr grosser Bedarf an Energie in Form von Wärme. Darin liegt das Marktpotential der Heizreaktoren in unserem Land, könnte doch mehr als die Hälfte unserer Bevölkerung mit sauberer Wärme versorgt werden. Der folgende Überblick über die bekannten internationalen Heizreaktorprojekte zeigt Vorschläge von einer Kopie der Leistungsreaktoren bis zum Schwimmbadreaktor, welcher auf der Erfahrung von Laboranlagen aufbaut.

Ausländische Projekte

DHAPP: District Heating Atomic Power Plant (UdSSR)

Die UdSSR hat offenbar eines der grössten Heizreaktorprogramme. Zwei Prototypanlagen (AST 500) sind bei Gorki bzw. Woronesch im Bau. Es handelt sich um Siedewasserreaktoren der Leistungsgrosse 500 MW_{th}. Sie bauen auf der 17jährigen Erfahrung mit einem 50 MW-Reaktor auf. Der Reaktorkern

(Bild 2) besteht aus hexagonalen Brennelement-Registern. Die stabförmigen Brennelemente sind die gleichen wie im sowjetischen Leistungs-RBMK-Reaktor. Die Brennelementhüllen bestehen aus Zirkaloy. Das Uranoxyd ist leicht angereichert. Als Kühlmittel und Moderator dient Leichtwasser, das die Wärme im Naturumlauf transportiert. Der Primärkreislauf ist von zwei unabhängigen Druckgefässen (Stahl und vorgespannter Beton) eingeschlossen.

Slowpoke 3: Safe Low Power Critical Experiment (Kanada)

Ausgehend von den Erfahrungen mit ihren bewährten kleinen 20 kW_{th} Slowpoke-Schwimmbadreaktoren, die in einem halben Dutzend kanadischer Forschungsstätten in Betrieb stehen, entwickelt die Atomic Energy of Canada, Ltd. einen kleinen Schwimmbadreaktor für Heizzwecke (Bilder 3 a und 3 b). Er ist für eine thermische Leistung von 2 MW_{th} ausgelegt. Der Kern befindet sich in einem Metallrohr in Bodennähe eines Wasserbeckens und enthält Brennelemente mit einer Urananreicherung von 5 Prozent und einer Zirkaloy-Umhüllung. Als Kühlmittel und Moderator dient leichtes Wasser, das im Naturumlauf zirkuliert, und die Wärme vom Reaktorkern zu den oberliegenden Plattenwärmetauschern transportiert. An der Wasseroberfläche herrscht Atmosphärendruck. Bei 50 Prozent Auslastung reicht eine Brennstoffladung für zwei Jahre. Die Reaktorleistung wird mit einem motorbetriebenen, den Reaktorkern umgebenden Berylliumreflektor automatisch durch die Reaktorausstrittstemperatur geregelt. Für längere Abschaltungen kann ein löslicher Neutronenabsorber zugeführt werden. Der Reaktor soll unbemannt betrieben werden. Besondere Sicherheitsmerkmale sind die Begren-

Bild 3a. Slowpoke-Prinzip (Kanada)

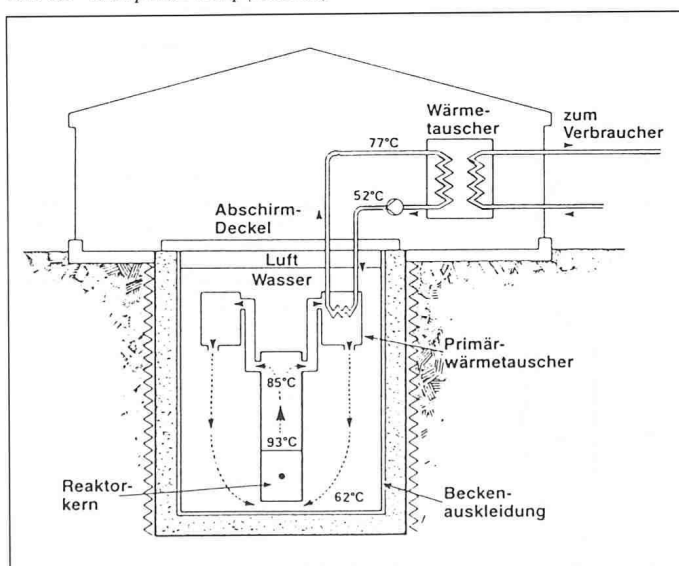
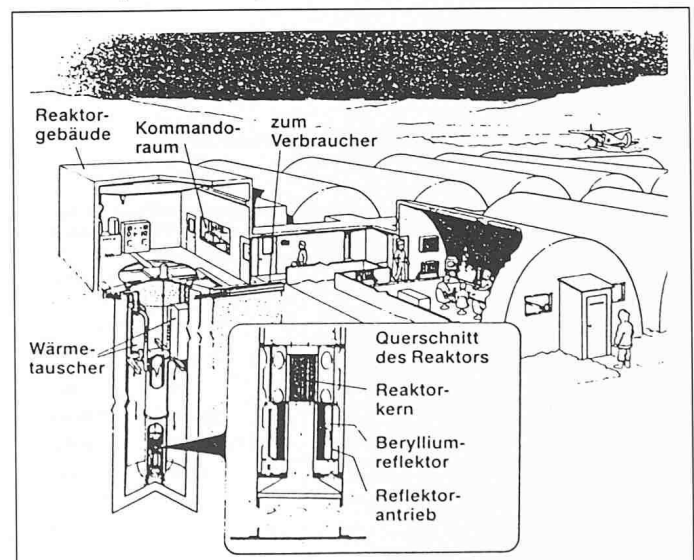


Bild 3b. Aufbau einer Slowpoke-Anlage



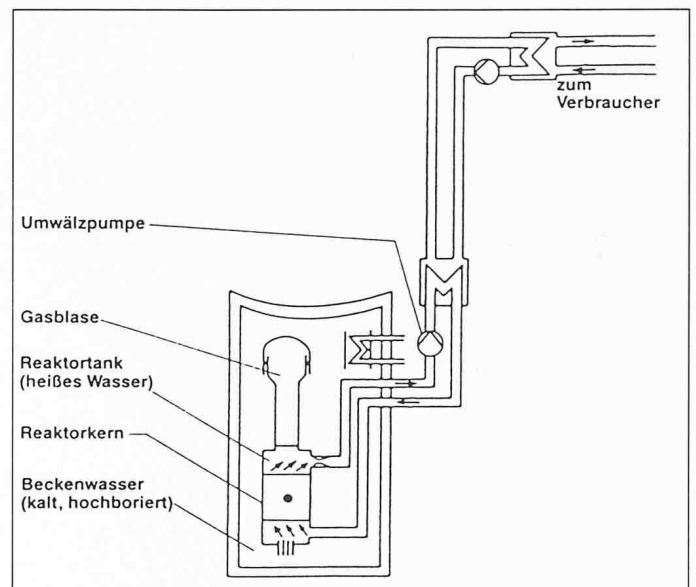
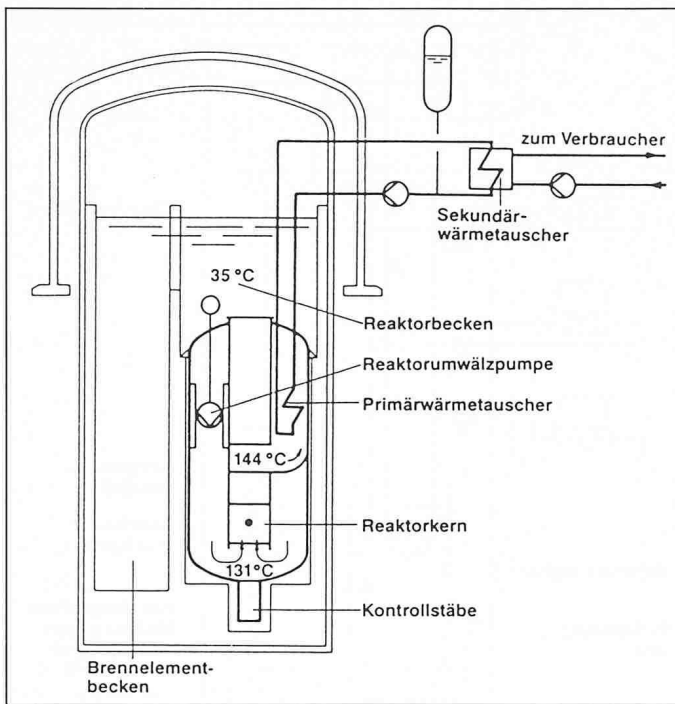


Bild 5. Prinzip der Secure-H-Anlage (Schweden)

Bild 4 (links). Prinzip der Thermos-Reaktoranlage (Frankreich)

zung der Reaktivitätszufuhr durch eine entsprechende Konstruktion des Reflektorantriebes sowie der Verzicht auf einen Überdruck, was aber den Nachteil hat, dass die Vorlauftemperatur auf 70 °C beschränkt ist.

Thermos (Frankreich)

Das Commissariat à l'Énergie Atomique (CEA) in Frankreich hat den Thermos-Reaktor seit etwa Anfang der 70er Jahre entwickelt. Er ist für eine Wärmeleistung von 100 MW_{th} ausgelegt (Bild 4). Der Reaktorkern befindet sich in einem Behälter aus nichtrostendem Stahl, der mit Wasser gefüllt ist. Der Reaktorbehälter ist in einem Stahlbetongefäß in boriiertem Wasser aufgestellt. Der obere Teil dieses Behälters wird als Reaktorgebäude genutzt und enthält unter anderem die Einrichtungen für den Brennstoffwechsel. Die Antriebsvorrichtungen für die Kontrollstäbe sind in einem Raum unter dem Reaktorbehälter angebracht. Im Reaktorbehälter sind drei Geradrohr-Wärmetauscher und drei Kühlmittelpumpen untergebracht. Die Brennelemente sind plattenförmig und in Zirkaloy-Hüllen eingeschlossen. Diese Kombination wurde für Leistungsreaktoren in U-Booten entwickelt. Als Brennstoff benötigt der 100 MW_{th} Thermosreaktor 3,1 At zu 4 Prozent angereichertes Uran.

Secure: Safe Environmentally Clean Urban Reactor (Schweden)

In Schweden haben Projektstudien Mitte der 50er Jahre dazu geführt, dass 1958 der Bau einer 70 MW_{th} Zweizweck-Anlage für die Stadt Ägesta geplant wurde. Diese Anlage ging 1963 in

Betrieb, wird heute aber abgebaut. Secure-Anlagen dagegen sind reine Heizwerke mit einer Leistung von 200 MW_{th} bis 400 MW_{th} (Bild 5). Der Reaktorkern befindet sich am Boden eines Spannbetonbehälters, der ungefähr 1500 m³ kaltes Wasser von hohem Borgehalt enthält. Im Behälter herrscht ein Überdruck von 20 bar. Der eigentliche Reaktortank trennt das stark boriierte Beckenwasser vom schwach boriierten Primärkühlmittel. Die Primärkühlkreise mit Pumpen und Wärmetauschern liegen ausserhalb des Spannbetonbehälters. Das Kühlwasser wird beim Durchströmen des Reaktorkerns von 150 °C auf 190 °C aufgewärmt. Die Reaktivitätsregelung geschieht durch Justierung des Borsäuregehaltes im Primärkühlmittel. Das besondere Sicherheitsmerkmal des Secure-Reaktors ist der gegen das boriierte Beckenwasser hin offene Primärkreis, mit dem im Normalbetrieb herrschenden Druckausgleich. Wird das Gleichgewicht durch Ausfall der Primärpumpen oder durch überhöhte Temperatur des Primärkühlmittels gestört, so strömt das boriierte Beckenwasser in den Reaktorkern und schaltet diesen ab.

KWU Naturumlauf-Siedewasser-Reaktor (BRD)

Das KWU-Heizreaktor-Konzept baut auf der langjährigen Erfahrung dieser Firma im Bau von Druck- und Siedewasserreaktoren für Kernkraftwerke auf (Bilder 6 a und 6 b). Bei einem primären Systemdruck von 15 bar und einer Temperatur von 160 °C tritt das Wasser in den Reaktorkern ein. Dieser besitzt eine ähnliche Konfiguration wie ein Siedewasser-Reaktor. Beim Verlas-

sen beträgt die Temperatur des Wasserdampfgemisches 200 °C. Der relativ niedere Kühlmitteldruck legt es nahe, die Primärwärmetauscher, die hydraulischen Steuerantriebe und das Lager für abgebrannte Elemente innerhalb des Druckgefäßes unterzubringen. Die Wärme wird im Naturumlauf auf zwölf Wärmetauscher übertragen, deren sekundärseitige Ein- und Austrittstemperaturen 100 °C bzw. 160 °C betragen. Als Vorlauf- und Rücklauftemperaturen für das Heiznetz wurde 120 °C bzw. 70 °C angenommen. Der Reaktordruckbehälter ist von einer Sicherheits-hülle umgeben, die ihrerseits gegen die äussere Betonabschirmung isoliert ist. Als besonderes Sicherheitsmerkmal gilt, dass bei einem Leck in der primären Druckbarriere wegen der eng anliegenden Sicherheitshülle der Reaktorkern nicht trockengelegt werden kann. Das Abschalten des Reaktors erfolgt durch Abstellen der Pumpen der hydraulischen Absorberantriebe. Die Nachwärmeabfuhr erfolgt durch Ventilschaltung auf Kreisläufe mit Naturzugkühltürmen.

LTR Low Temperature Reactor (China)

Zurzeit werden Studien über den Einsatz eines 455 MW_{th} Heizreaktors für die beiden Standorte Shenyang und Xarbin durchgeführt. Der Bau eines 5 MW_{th}-Prototyps am Institut für Nukleare Energietechnik (INET) in Peking soll Ende 1985 begonnen haben. Zwischen dem EIR und dem INET besteht ein Abkommen über technische Zusammenarbeit. Im Druckgefäß sind der Reaktor, die Primärkühler und die Steuerstabantriebe (Bild 7) sowie die Lager für die abgebrannten Brennele-

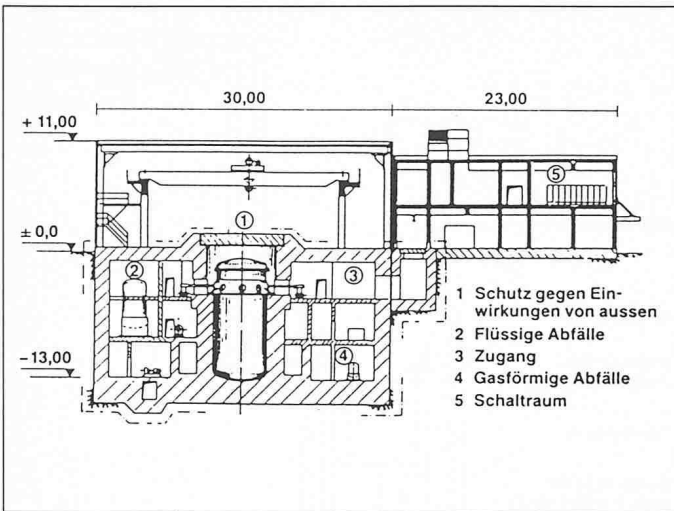


Bild 6a. Schnittbild des KWU-Reaktors (BRD)

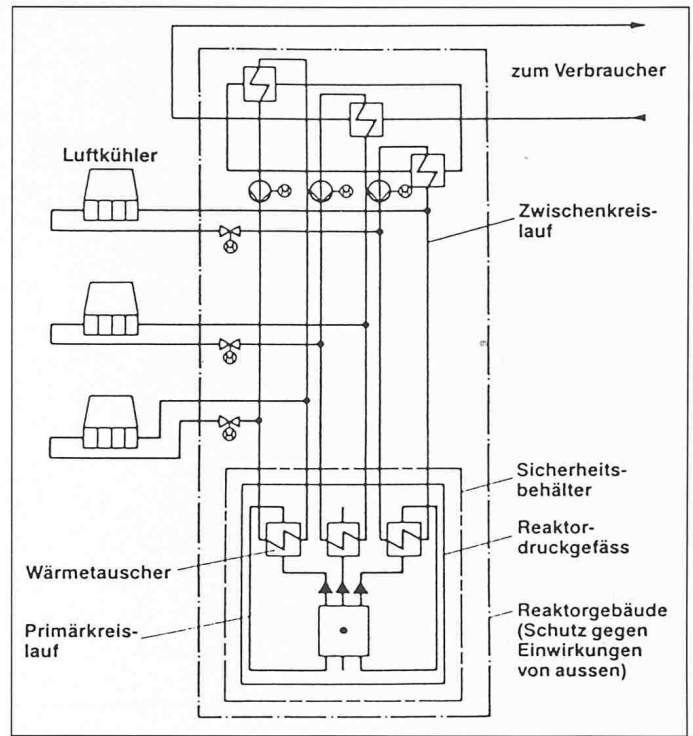


Bild 6b (rechts). Prinzip einer KWU-Heizanlage

mente integriert. Der Wärmetransport erfolgt im Naturumlauf. Das Kühlmittel verlässt den Reaktor gesättigt und verdampft teilweise beim weiteren Aufsteigen.

Triga (USA)

Auf der Basis ihres bewährten Triga-Forschungsreaktors entwickelt die Firma GA-Technologies einen Heizreaktor unter Einführung eines Druckgefäßes, um geeignete Temperaturen für ein Heiznetz zu erreichen. Das Primärsystem besteht aus einer Reaktor- und einer Wärmetauschereinheit. Dazwi-

schen befinden sich die Primär-Kühlmittelpumpe und ein Druckhalter (Bild 8.) Als besondere Sicherheitsmerkmale gelten der Uran/Zirkon-Hydrid-Brennstoff mit seinem prompt wirkenden Temperaturkoeffizienten und der ohne aktive Komponente funktionierende Übergang vom Normal- in den Nachwärme-Abfuhr-Betrieb bei Ausfall der Primärpumpe.

Die Schweizerischen Projekte

Diesen Projekten liegt der Gedanke der Nahwärme-Versorgung zugrunde, d. h. das Prinzip, die Leistungsgröße eines

Heizreaktors der Bevölkerungsverteilung anzupassen (Bild 9). Aus der Untersuchung von Prof. Dr. W. Seifritz am EIR geht hervor, dass ein grosses Potential für Anlagen besteht, die Wohnagglomerationen von 5000 bis 15000 Einwohnern versorgen, d. h. Leistungsgrößen von 10 bis etwa 50 MW_{th}. Um eine finanziell tragbare Auslastung solcher Anlagen zu erreichen, wird sie nicht auf die Spitzenleistung dimensioniert, sondern auf etwa die Hälfte (Bild 10). Der Rest wird fossil oder elektrisch gedeckt. Auf diese Weise erhält man eine Auslastung von 50 %.

Bild 7. Prinzip des LTR (China)

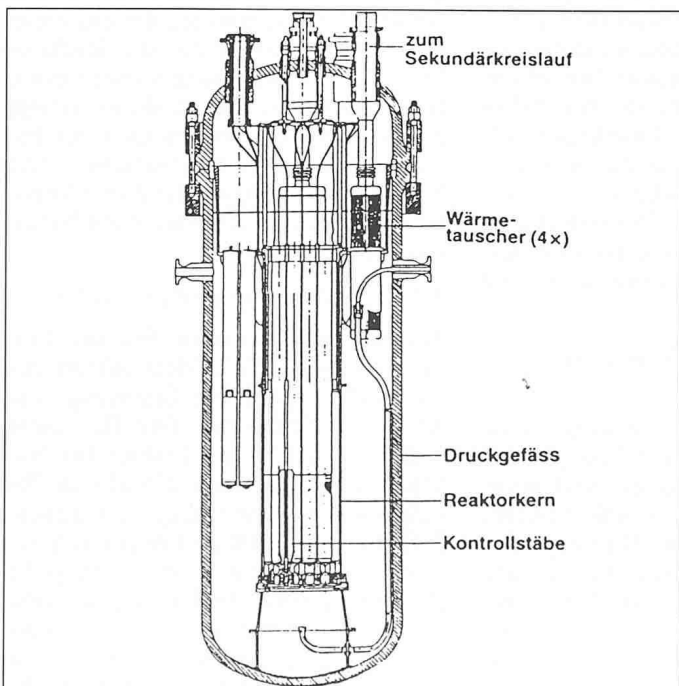
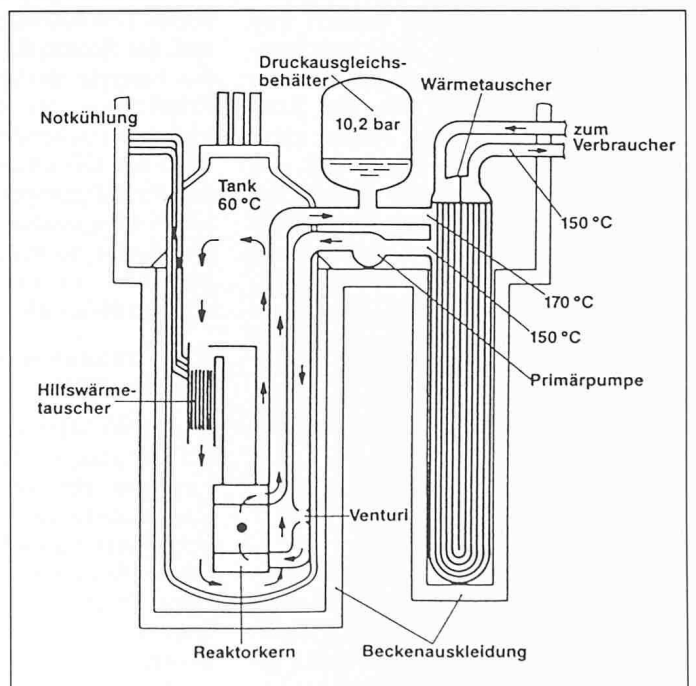


Bild 8. Prinzip des Triga-Heizreaktors (USA)



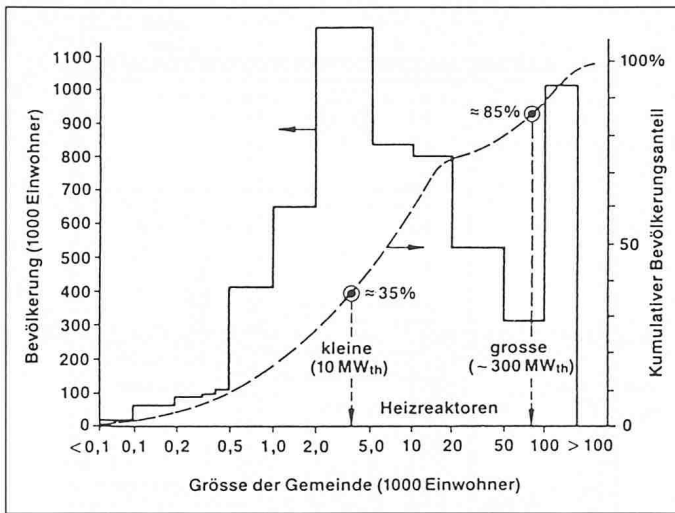


Bild 9. Verteilung der Einwohnerzahlen der Gemeinden in der Schweiz

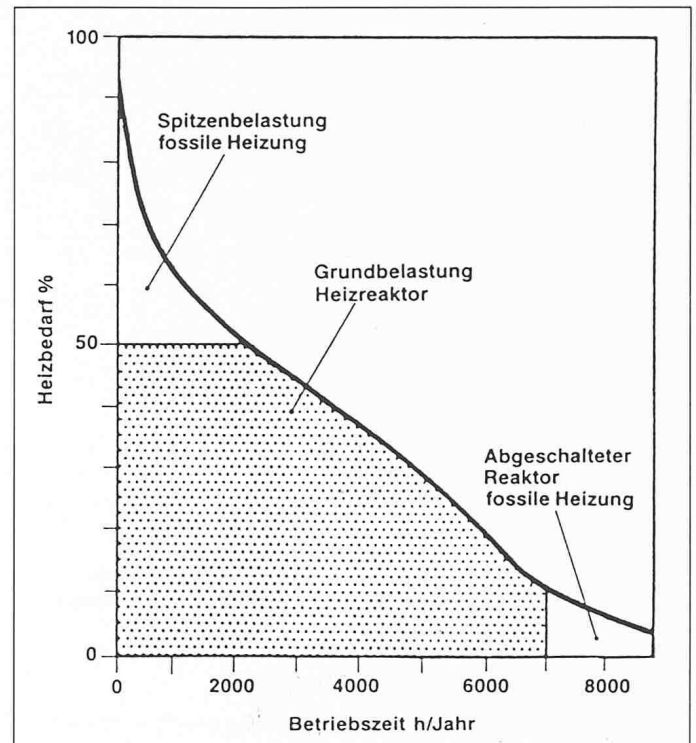


Bild 10 (rechts). Typische Heizlastkurve für Heizreaktoren

Geysier (CH)

Dieses am Schweizerischen Institut für Nuklearforschung (SIN) verfolgte Konzept nutzt den statischen Druck einer hohen Wassersäule und verzichtet auf ein eigentliches Druckgefäss (Bild 11 a). Der Reaktor befindet sich in einem Schacht von etwa 50 m Tiefe und 5 m Durchmesser. Auf diese Weise erreicht man den Sättigungszustand des Primärkühlwassers am Reaktorausstritt bei 150°C. Bei weiterem Aufsteigen geht das Kühlmittel teilweise in die Dampfphase über und transportiert die

Wärme zum ebenfalls im Schacht angeordneten Primärwärmeaustauscher. Dieser funktioniert auf seiner Primärseite als Kondensator und Kühler, auf der Sekundärseite als Verdampfer. Der so entstandene Dampf gibt seine Wärme durch Kondensation an das Heiznetz ab. Primär- und Sekundärkreislauf arbeiten im Naturumlauf. Als besonderes Sicherheitsmerkmal gilt die grosse Menge boriierten Wassers im Schacht, die in Abhängigkeit vom Gleichgewicht zwischen freigesetzter und abgeführter Wärme in den Primärkreis eindringen kann und so zu einer leistungs-

abhängigen Selbstregulierung und nötigenfalls zur Abschaltung führt.

Hochtemperatur Reaktor (BRD)

Neuerdings wurden auch Heizreaktor-Konzepte auf der Basis des Hochtemperatur-Reaktors von der Kernforschungs-Anstalt in Jülich und der Hochtemperatur Reaktor AG, Mannheim, - Töchter der BBC - vorgeschlagen (Bild 11 b). Detaillierte Konstruktionen sind in Bearbeitung: Eine Regelung mit Reflektorstäben bietet sich an. Wegen der geringen Leistungsdichte und der hohen Wärmekapazität des

Bild 11a. Prinzip des Geysier-Heizreaktors (Schweiz)

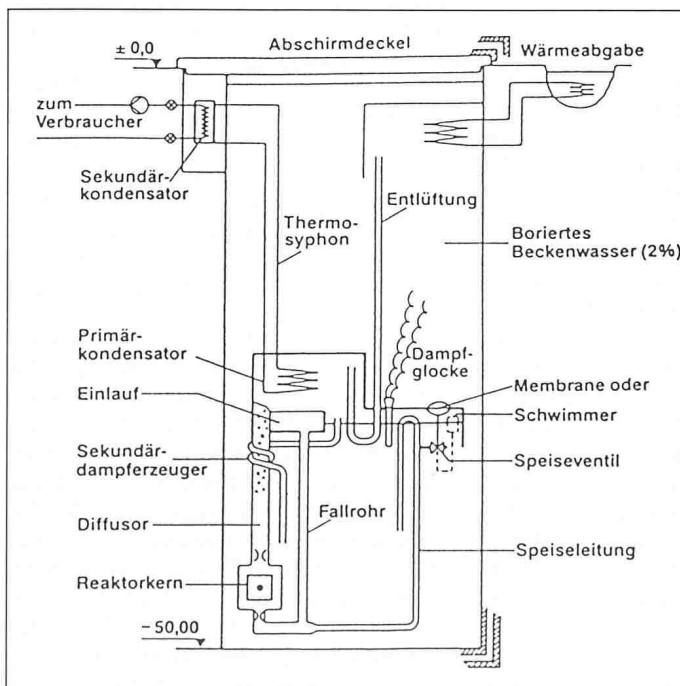
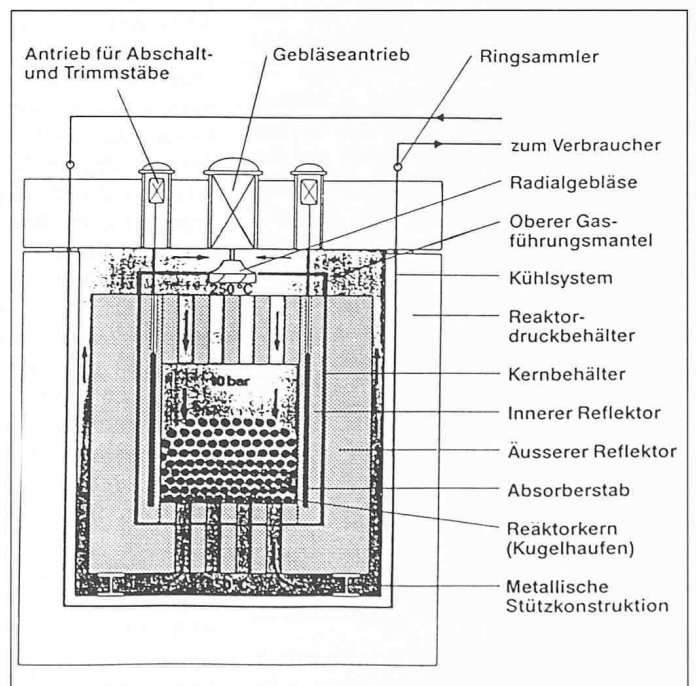


Bild 11b. Geysier-Heizreaktor, Schnitt



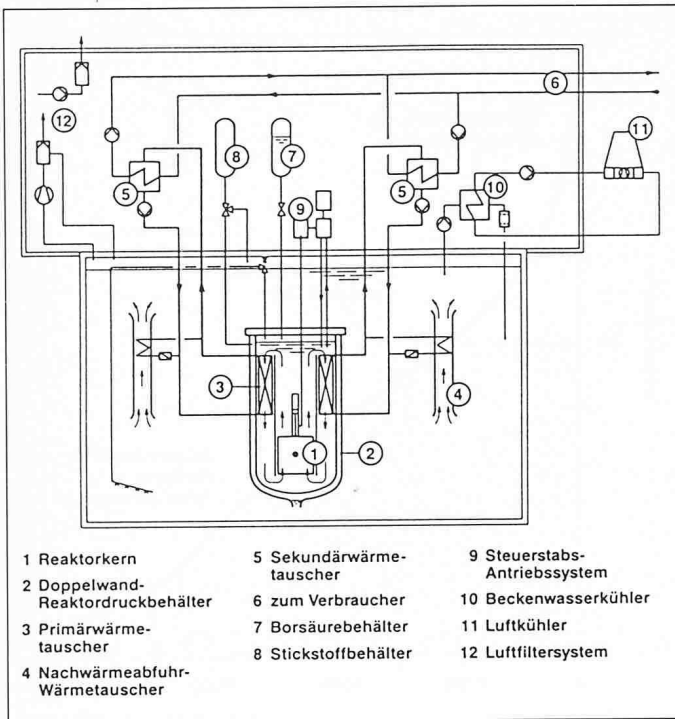


Bild 12a. Prinzip des SHR-Heizreaktors (Schweiz)

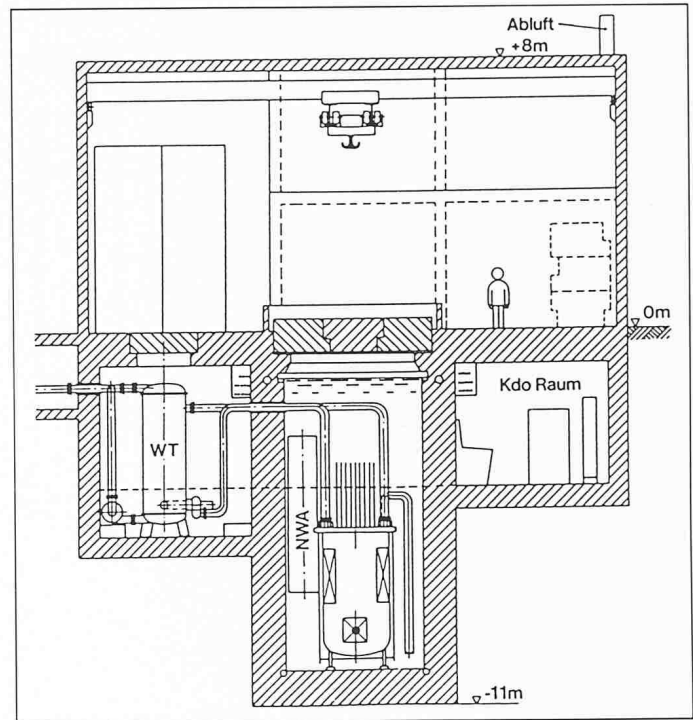


Bild 12b. SHR-Heizreaktor, Querschnitt

HTR-Kerns, zusammen mit seiner besonders hohen Hitzebeständigkeit, bietet dieser Reaktortyp bei geeigneter Auslegung eine attraktive Lösung.

Schweizer Heizreaktor (SHR)

Das Grundprinzip des Schweizer Heizreaktors wurde in den letzten zwei Jahren am EIR entwickelt (vgl. Schweizer Ingenieur und Architekt 103 [1985] H. 11 S. 204), seit Mitte 1984 unter Mitwirkung der interessierten Industrie (Bild 12 a-c). Der Wärmetransport erfolgt durch Naturzirkulation bei partiellem Sieden. Das Druckgefäss steht in einem grossen Wasserbecken, das einerseits zur Strahlenabschirmung und andererseits als potentielle Wärmesenke dient. Das Druckgefäss ist gegen das Beckenwasser durch einen Luftspalt isoliert. Bei Unterbrechung des normalen Wärmeflusses im Heiznetz werden die Antriebspumpen der Steuerstabs hydraulik abgestellt und der Reaktor durch die einfallenden Absorberstäbe abgeschaltet. Die Restwärmeabfuhr erfolgt über Kühler und/oder die Flutung des isolierenden Luftspaltes direkt in das grosse Wasserbecken. Auch bei Ausfall des Beckenluftkühlers wird die Wärme durch die Beckenwand ins Erdreich abgeführt.

Zusammenfassung

Praktisch alle Varianten des Heizreaktors haben gewisse gemeinsame Cha-

rakteristiken. So wird (Bild 13) allgemein zwischen Primärkreis und Heiznetz ein Zwischenkreislauf geschaltet, um mit Sicherheit eine Verschleppung von Radioaktivität in das Heiznetz zu verhindern. Typisch ist ferner die durchwegs konservative Auslegung der Reaktorparameter. Die Forderung nach relativ kleinen Leistungseinheiten mit niedrigen Temperaturen und Drücken erlaubt eine niedrige spezifische Brennstoffbelastung MW/kg Brennstoffinventar und reduziert die Materialbeanspruchung im ganzen System.

Zudem können die umlaufenden bzw. in Reserve stehenden Kühlmittelmengen ohne nennenswerten Aufwand gross gehalten werden, so dass zur geringen Leistungsdichte eine hohe Wärmekapazität kommt. Dadurch wird das System träge gegenüber transienten Vorgängen, so dass ein rasches Eingreifen des Personals bei Störfällen nicht erforderlich ist. Das Spektrum der Leistungsgrössen heute bekannter Heizeaktoren erstreckt sich von 2MW_{th} bis 500MW_{th} . Von zehn aufgeführten Konzepten arbeitet in sechs Fällen der Primärkreis im Naturumlauf, während vier Konzepte den Zwangsumlauf mit Pumpe anwenden. Die Leistungsdichte des Reaktorkerns ist bei den Naturumlaufvarianten besonders niedrig und beträgt durchschnittlich etwa ein Viertel jener eines Druckwasser-Leistungsreaktors. Da die Heiznetz-Vorlauftemperaturen zwischen 110°C und 150°C liegen, sind auch die Daten des Primärkühlkreises entsprechend konservativ.

Der Druck liegt eine bis zwei Grössen-

ordnungen und die Temperatur $100\text{--}200^\circ\text{C}$ unter denen eines Leistungsreaktors. In den meisten Fällen wird angereicherter UO_2 -Brennstoff in konventioneller Stabform verwendet.

Aber auch die sogenannten Caramel-Elemente des Thermos sowie das Uran/Zirkon-Hydrid des Triga sind bewährte Brennstoffarten. Als Absorber werden vorwiegend kreuzförmige Borkarbidstäbe verwendet, die elektro-mechanisch oder hydraulisch betätigt werden. Nur Secur und Geyser benutzen die reine Borsäure-Regelung. Der Slowpoke kann wegen seiner Kleinheit über reine Reflektorabsorption gesteuert werden, ebenso der Hochtemperaturreaktor. Schliesslich soll nochmals der Aspekt der erhöhten Sicherheit von Heizeaktoren betrachtet werden. Der Gedanke, Heizreaktoren über gewisse Zeiträume ohne Betriebspersonal zu betreiben, basiert auf den besonderen transienten Eigenschaften dieser Systeme und insbesondere auf dem günstigen Verhältnis von hier weiter instantan vorhandener Wärmesenken zu Reaktorleistung.

Allein im Druckgefäss des SHR zum Beispiel, befinden sich pro MW_{th} rund 700 l Wasser. Das ist spezifisch zehnmal mehr als im gesamten Primärkreis eines Leistungsreaktors. Nimmt man das angekoppelte Beckenwasser dazu, so ergibt sich die Situation, dass für die Nachwärmeabfuhr dieses System praktisch unbegrenzte Zeit sich selbst überlassen bleiben kann, da die Wärme zunächst unter allmählicher Temperaturerhöhung gespeichert und langsam ans Erdreich abgegeben wird.

Wirtschaftlichkeit des Heizreaktors

Obwohl ein zunehmendes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung zu beobachten ist, und die entsprechende Bereitschaft zu längerfristig rentierenden Investitionen gestiegen ist, wird es kaum möglich sein, ein Heizsystem zu vermarkten, dessen Wärmekosten - wenn auch nur momentan - merklich über den konventionellen liegen. Die Wärmegestehungskosten des nuklearen Heizsystems werden sich also im wesentlichen an der verbreiteten individuellen Ölheizung orientieren müssen. Womöglich muss auch ein finanziellen Anreiz zur Förderung der Anschlusswilligkeit in Betracht gezogen werden.

Detaillierte Kostenanalysen für den SHR liegen noch keine vor. Erste Schätzungen sind am EIR unter Mithilfe der Industrie durchgeführt worden. Die Ergebnisse sind jedoch so lange nicht belastbar, als die Kriterien des Genehmigungsverfahrens unbekannt sind. Sie deuten aber darauf hin, dass bei Ausnutzung der für einen derart kleinen Reaktor typischen Sicherheits-Eigenschaften wettbewerbsfähige Kosten erreicht werden können.

Ausgehend von Wärmekosten einer konventionellen Ölheizung in Einzelgebäuden von etwa 10 Rp./kWh (einschliesslich Heizöl, Kessel, Tank, Tankraum usw.) und nach Abzug der bereits mit einiger Zuverlässigkeit ansetzbaren Kosten für

- den nuklearen Brennstoffzyklus 1 Rp./kWh
- das Verteilnetz (Basis Feinverteilung Refuna) 3 Rp./kWh
- die Betriebskosten (volle Betriebsequipe) 3 Rp./kWh

verbleiben noch 3 Rp./kWh für die Investitionskosten des Heizreaktors.

Diesem Wert entsprechen bei 50 Prozent Lastfaktor (Heizreaktoren werden, wie schon gezeigt, nicht auf die Spitzenleistung dimensioniert) und bei heute üblichem Zinsniveau Installationskosten von 2000 Fr./kW_{th}. Dieser Betrag mag zunächst knapp erscheinen, wenn man weiss, dass neue grosse Kernkraftwerke 1500-2000 Fr./kW_{th} kosten und die Leistungseinheit eines Heizreaktors (10-50 MW_{th}) um zwei Grössenordnungen kleiner ist. Dabei ist allerdings folgendes zu bedenken:

- Von den Installationen des Kernkraftwerkes sind nur das nukleare Dampferzeugungssystem und der Bauteil, nicht aber der Energieumwandlungsteil relevant, d. h. nur zwei Drittel

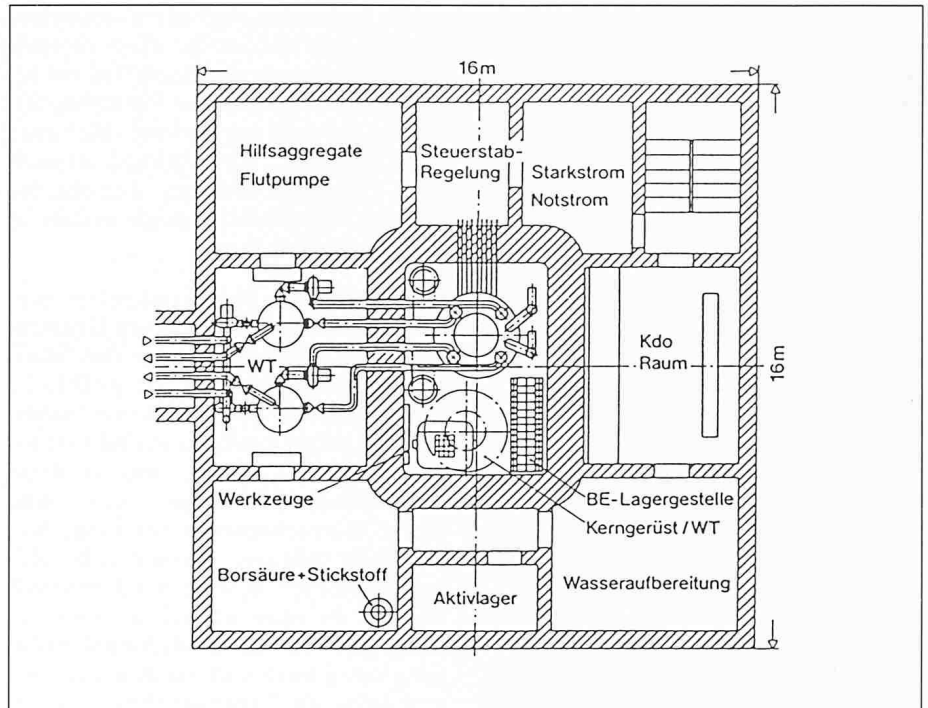


Bild 12c. SHR-Heizreaktor, Grundriss

des genannten Wertes sind für diesen Vergleich anzusetzen.

- Die Zunahme der Einheitskosten mit abnehmender Leistungsgrösse ist keine stetige Funktion, weil bei kleineren Leistungseinheiten andere Konstruktionsprinzipien zum Tragen kommen.
- Aus einer mehrfachen Wiederholung gleicher Anlagen sollte sich eine Kostendegression ergeben.
- Beim angestrebten, unbemannten Betrieb verringern sich die Betriebskosten von 3 auf 1 Rp./kWh, was eine entsprechende Erhöhung der In-

stallationskosten auf fast das Doppelte erlauben würde.

Schliesslich sollte erwähnt werden, dass die nuklearen Brennstoffzyklus-Kosten auch die Kosten für volle Entsorgung umfassen, was für andere Heizsysteme nicht gefordert wird.

Die bisher nur andeutungsweise erfasste Kostensituation lässt immerhin erkennen, dass eine wettbewerbsfähige Realisierung von Heizreaktoren durchaus im Bereich des Möglichen liegt, wobei heute noch nicht feststeht, bei welcher Leistungsgrösse die Wirtschaftlichkeitsgrenze liegt.

Bild 13. Systematischer Vergleich aller Heizreakortypen, wesentliche Parameter und Merkmale

	DHAPP AST-500	Slow- poke	Ther- mos	Secure-H	KWU	LTR	Geysier	Triga	HTR	SHR	PWR
Leistung MW _{th}	500	2	100	400	200	450	50	50	10	10	3000
Mittlere Leistungs- dichte MW/m ³	klein	55	75	45	20	30	75	100	2	20	100
Heiznetz-Vorlauf- temperatur °C	150	70	130	150	120	120	118	110	120	120	—
Primärkreislauf											
- Druck bar	14	1,7	11	20	15	15	4,7	8	10	8	160
- Eintritts- temperatur °C	167	60	131	150	158		135	82	250	155	330
- Austritts- temperatur °C	190	90	144	190	198		149	121	450	170	295
- Zirkulation	Natur	Natur	Pumpe	Pumpe	Natur	Natur	Natur	Pumpe	Gebläse	Natur	Pumpe
Brennstoff	UO ₂ - Stäbe	UO ₂ - Stäbe	UO ₂ - Platten	UO ₂ - Stäbe	UO ₂ - Stäbe	UO ₂ - Stäbe	UO ₂ - oder UZrH- Stäbe	UZrH- Stäbe	UO ₂ - Coated Part. Kugeln	UO ₂ - Stäbe	UO ₂ - Stäbe
Anreicherung % U ₂₃₅	1,6	5	3,5	2,5	3,0	1,3- 1,9		19,7	3,5	4,5	3,5
Reaktivitäts- kontrolle	Stäbe	Beryl- lium- reflektor	Stäbe	Borsäure	hydr. Stäbe	hydr. Stäbe	Bor- säure	Stäbe	Reflektor- stäbe	hydr. Stäbe	Stäbe
Wärmespeicher Primärkreis dm ³ /MW _{th}									*	700	80

13/12.85

* Reaktorkern und Reflektor-Behälter keramisch

Wünschbarkeit einer angemessenen Atomgesetzrevision

Am 23. Dezember 1959 wurde das Bundesgesetz über die friedliche Verwendung der Atomenergie und den Strahlenschutz durch die Eidgenössischen Räte erlassen. Am 6. Oktober 1978 wurde ein Bundesbeschluss über das Bewilligungsverfahren zum Atomgesetz verabschiedet, der in einer Referendumsabstimmung am 20. Mai 1979 vom Schweizer Volk gutgeheissen wurde. Dieser Bundesbeschluss entspricht einer Vorwegrevision einiger besonders umstrittener Punkte, mit denen aus politischen Gründen nicht bis zur Totalrevision des Atomgesetzes zugewartet werden konnte.

Neu wurde dabei die Rahmenbewilligung als Voraussetzung für die Erteilung der Bau- und Betriebsbewilligung eingeführt. Die Rahmenbewilligung «legt den Standort einer Atomanlage und das Projekt in seinen Grundzügen fest». Sie muss von der Bundesversammlung genehmigt werden. Weder im Atomgesetz von 1959 noch im Bundesbeschluss zum Atomgesetz ist explizite die Bewilligungserteilung für einen Heizreaktor vorgesehen. Nach Art. 3 Abs. B des Atomgesetzes ist eine Rahmenbewilligung nur zu erteilen, sofern «an der Energie, die in der Anlage erzeugt werden soll, ein hinreichender Bedarf besteht».

Dies wurde auch von der Arbeitsgruppe des Bundesamtes für Energiewirtschaft (BEW) in dem Bericht zum Entwurf des

neuen Kernenergiegesetzes festgehalten. Sie schreibt darin: «Der *«vorausichtlich hinreichende Bedarf»* ist ein sogenannter unbestimmter Rechtsbegriff, dessen Anwendung sowohl Elemente einer Prognose für die Zukunft als auch eines energiepolitischen Entscheides enthält. Aus diesem Grunde müsste er weggelassen werden».

Ein Heizreaktor ist so konstruiert, dass das Gefährdungspotential um Grössenordnungen kleiner ist als bei den heutigen Leistungsreaktoren wie in Bild 13 gezeigt wurde. Heizreaktoren haben tiefe Betriebstemperaturen und eine geringe Leistungsdichte, was niedrige Materialbeanspruchungen und eine grosse Wärmekapazität zur Folge hat. Demnach müssten sie von den Bewilligungsbehörden entsprechend beurteilt werden. Es wäre wünschbar, dass für Heizreaktoren keine Rahmenbewilligung nötig wäre und das Bewilligungsverfahren als Typengenehmigung gestaltet würde, wobei Leistungsgrösse, Spaltstoffinventar, Selbstregelungsverhalten, thermische Trägheit, Druck- und Temperaturpegel usw. als Klassierungsmerkmale festzulegen wären. Dies würde erlauben, Heizreaktoren gleichen Typs mit einer einfachen Baubewilligung zu erstellen.

Schlussgedanken

Dem EIR ist zu danken für die Initiative und die gute Zusammenarbeit im Rahmen dieses Projektes. Besonders hervorzuheben ist das Verdienst von

Prof. Dr. W. Seifritz, der als wesentlicher Initiator und Rufer in der Wüste seit mehreren Jahren sich unermüdlich für den Heizreaktor eingesetzt hat.

Die heutige Umweltbelastung zwingt uns, neue Wege zu gehen. Was unseren Energiehunger begriffen, ist eine Spar-diät sicher zu empfehlen, aber dies löst die Probleme nicht, welche die Schadstoffe aus der Verbrennung fossiler Primärenergieträger verursachen. Deren Anteil sollte verringert werden. Dort, wo es möglich ist, kann nukleare Wärme als Substitution dienen.

Diese Übersicht soll aufzeigen, welche technischen Gedanken vorhanden sind, wo heute noch die Unbekannten liegen. Ich bin überzeugt, dass die technischen, wirtschaftlichen und politischen Probleme, die wir lösen müssen, eigentlich gering sind im Vergleich zu dem, was wir dabei für unsere Umwelt gewinnen.

Adresse des Verfassers: Vizedir. A. Pescatore, dipl. Masch.-Ing.ETH, Gebrüder Sulzer AG, Zürcherstrasse 9, 8400 Winterthur.

Nach einem Vortrag vom 5. 12. 1985 vor dem Technischen Verein und der Sektion Winterthur des SIA sowie der Sektion Winterthur des STV.

Wettbewerbe

Erweiterung der Schulanlage Brunnenmoos in Kilchberg ZH

Die Schulpflege Kilchberg veranstaltet einen öffentlichen Projektwettbewerb für die Erweiterung der Schulanlage Brunnenmoos in Kilchberg. *Teilnahmeberechtigt* sind alle in der Gemeinde eingebürgerten oder seit dem 1. Januar 1983 niedergelassenen (Wohn- oder Geschäftssitz), selbständigen Architekten. Betreffend Arbeitsgemeinschaften oder Architekturfirmer wird ausdrücklich auf die Bestimmungen der Art. 27 und 28 der Ordnung für Architekturwettbewerbe SIA 152 sowie auf den Kommentar zu Art. 27 hingewiesen. *Fachpreisrichter* sind Max Ziegler, Zürich, Peter Stutz, Winterthur, Hansruedi Büchi, Kilchberg. Dem

Preisgericht stehen für die *Prämierung* von fünf bis sechs Entwürfen 27 000 Fr., für Ankäufe zusätzlich 5000 Fr. zur Verfügung. *Aus dem Programm:* Unterniveaugarage für 30 Autos, 2 Schulküchen mit entsprechenden Nebenräumen, 6 Musikzimmer, Sekretariat, Lehrerzimmer, Gemeindebibliothek, 3 Wohnungen für Gemeindeangestellte. Die *Unterlagen* können bis zum 31. März gegen Hinterlage von 300 Fr. beim Schulsekretariat, Alte Landstrasse 120, 8802 Kilchberg, bezogen werden. *Termine:* Fragestellung bis 28. Februar, Ablieferung der Entwürfe bis 30. Mai, der Modelle bis 13. Juni 1986.

Indira Gandhi National Centre for the Arts

To select a suitable design for the proposed Indira Gandhi National Centre for the Arts the Government of India has decided to organise an international design competition. The competition will be open to all architects

registered with the Council of Architecture in India as well as to qualified architects in other parts of the world. The successful candidate will be appointed as the architect to design and supervise the construction of the Indira Gandhi National Centre for the Arts. To evaluate and review the design submissions, an international jury is being set up. This will include a panel of prominent Indian and international architects and other members.

Architects interested in registering for the competition may do so by sending in an application to:

Ranjit Sabikhi, Professional Adviser, Ignc Competition Secretariat, Vigyan Bhawan Annexe, New Delhi 110001.

Applications from architects abroad must enclose a photocopy of their basic architectural qualification or national registration to practise as applicable in their country plus a