

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 95 (1977)  
**Heft:** 30/31

**Artikel:** Krebstherapie durch Bestrahlung mit schnellen Neutronen  
**Autor:** [s.n.]  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-73428>

#### **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:** 09.02.2026

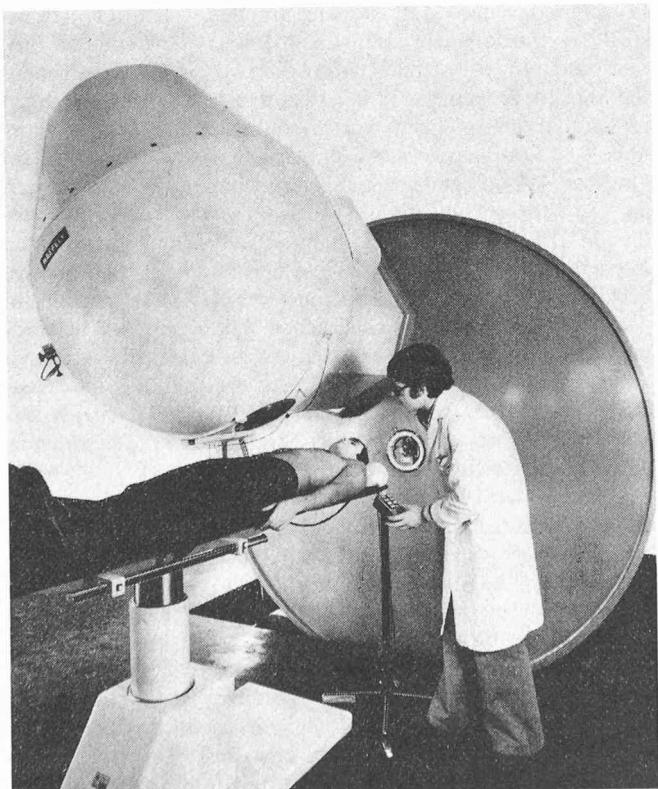
**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

## Krebstherapie durch Bestrahlung mit schnellen Neutronen

Die Strahlentherapie ist heute neben einer frühzeitigen Operation die wichtigste und erfolgreichste Methode zur Bekämpfung bösartiger Tumoren. Durch den gezielten *Beschuss mit energiereicher ionisierender Strahlung* lässt sich erreichen, dass das Krebsgewebe abstirbt und vom Körper resorbiert wird, ohne dass das umliegende gesunde Gewebe wesentlich beeinträchtigt wird. Die in den letzten Jahrzehnten in der Strahlentherapie erzielten Fortschritte sind wesentlich auf physikalische und technische Verbesserungen zurückzuführen. Als Kriterium wurde das *Dosisverhältnis zwischen Herd und Umgebung des Tumors* herangezogen. In dieser Hinsicht scheinen für *Kobaltgeräte und Elektronenbeschleuniger die Grenzen der Optimierung erreicht* zu sein, denn eine Reihe von Tumoren sind wegen ihrer *schlechten Sauerstoffversorgung* resistent gegenüber konventionellen Strahlenarten. In den letzten Jahren hat sich jedoch herausgestellt, dass die Resistenz dieser Tumoren gegen Strahlung mit hoher Ionisationsdichte geringer ist. Darauf begründet sich die Hoffnung, durch Anwendung *dichtionisierender Teilchen* nochmals eine Verbesserung der Strahlentherapie erreichen zu können.

Für die medizinische Anwendung eignen sich von den dicht ionisierenden Strahlenarten aus physikalischen und technischen Gründen in erster Linie energiereiche Neutronen. Die Bestrahlung mit schnellen Neutronen, die in den letzten Jahren hauptsächlich von englischen Forschergruppen angewandt worden ist, hat tatsächlich gezeigt, dass die Verwendung von Neutronen im Vergleich mit konventioneller Strahlentherapie besonders bei solchen Geschwülsten Vorteile bringt, die durch ihre schlechte Sauerstoffversorgung bisher als resistent gelten mussten. Aus diesem Grunde werden heute in vielen Ländern Anlagen zur Erforschung der

Der Strahlerkopf mit eingebauter Neutronenröhre und Kollimator zur räumlichen Begrenzung des Neutronenstrahls kann kreisförmig um den Patienten geschwenkt werden und erlaubt Bestrahlungen des Tumors abwechselnd aus verschiedenen Einfallsrichtungen.



Neutronentherapie aufgebaut und teilweise auch klinisch erprobt. Überwiegend handelt es sich dabei jedoch um *Zyklotronanlagen* oder andere Beschleuniger, die noch manche Wünsche der Strahlentherapeuten offen lassen, weil die Energie oder die Intensität der Neutronen zu gering sind. Darauf hinaus fehlt bei den meisten dieser Bestrahlungsanlagen auch die Möglichkeit, den Therapiestrahl von jeder Seite auf den Tumor zu richten oder um den Patienten herum bewegen zu können.

Der Durchbruch zum Bau einer neuartigen Neutronentherapieanlage, die diese Nachteile vermeidet, gelang im Jahre 1971 der *Gesellschaft für Kernforschung mbH, Karlsruhe*. Der vom Physiker *K. Albrecht Schmidt* erfundene und weiterentwickelte *Karlsruher Ringionenquellen-Neutronengenerator «KARIN»* stellt eine ungewöhnlich intensive Quelle von Neutronen mit grosser Energie und damit hohem Durchdringungsvermögen dar. Er ist das Kernstück einer neuen Therapieanlage, deren Entwicklung mit besonderen Mitteln des Bundesministeriums für Forschung und Technologie gefördert worden ist. Mit ihr ist zu Jahresanfang ein klinisches Forschungsprogramm in Zusammenarbeit mit den Kliniken Heidelbergs und der näheren Umgebung begonnen worden. Das Programm ist dem Schwerpunkt «Forschung und Entwicklung zur Problemlösung bei Krankheiten von hoher gesundheitspolitischer Bedeutung» des Rahmenprogramms der Bundesregierung «Forschung und Technologie im Dienst der Gesundheit» zuzuordnen.

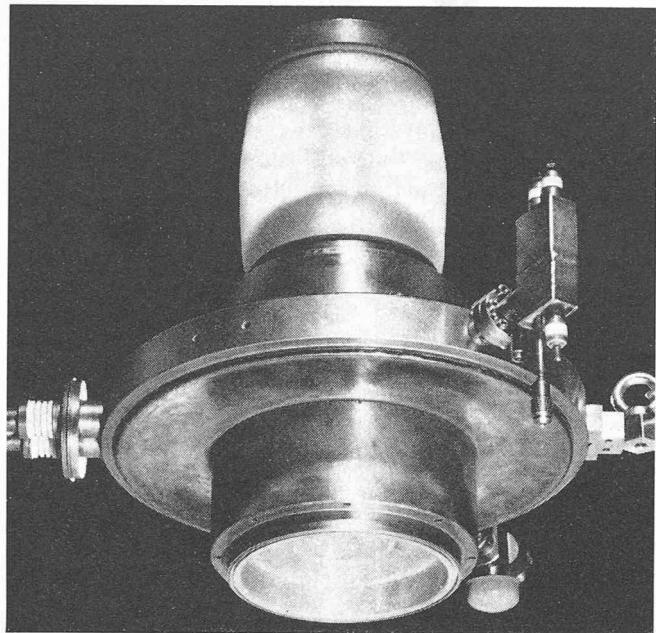
Die Neutronentherapie wird wahrscheinlich nie zum Allheilmittel für alle Krebserkrankungen werden. Nach Ablauf des *klinischen Forschungsprogramms am Deutschen Krebsforschungszentrum in Heidelberg* und an weiteren Kliniken wird man jedoch mit grösserer Sicherheit sagen können, bei welchen Geschwülsten die Neutronentherapie den Tumorkranken Vorteile bringt und ob mit der neuen Anlage bei bestimmten Tumoren eine erhebliche Verbesserung der Strahlentherapie erreicht werden kann.

### Lizenzvertrag mit Emil Haefely & Cie in Basel

Gebaut wurde die Neutronentherapieanlage im Auftrag des Deutschen Krebsforschungszentrums von der Firma *Emil Haefely & Cie. AG, Basel*. Die Firma hat mit der Gesellschaft für Kernforschung mbH einen *ausschliesslichen Lizenzvertrag* für die Herstellung und den weltweiten Vertrieb des Neutronengenerators abgeschlossen, der zentraler Teil der Anlage ist. Haefely ist im Bau von Hochspannungsanlagen und Beschleunigern für Strahlenanwendung in Forschung und Industrie spezialisiert und hat es übernommen, die Neutronengeneratorröhre industriell herzustellen und sie zusammen mit kompletten Bestrahlungsanlagen für die klinische Therapie, für die Aktivierungsanalyse sowie für wissenschaftliche und technische Anwendungen zu vertreiben.

Die im *Institut für Nuklearmedizin* des Deutschen Krebsforschungszentrums in Heidelberg aufgebaute Neutronentherapieanlage hat bereits an vielen Stellen in *Europa* und den *USA* lebhaftes Interesse hervorgerufen. Grund hierfür sind die *besonderen technischen Eigenschaften* des Geräts:

- Durch die *geringen Abmessungen* der Neutronenröhre von nur 40 cm Durchmesser und 60 cm Höhe bleibt die zur Ausblendung eines Therapiestrahls nötige Strahlenabschirmung kompakt und kann als Ganzes schwenkbar aufgehängt werden. Der Durchmesser des Strahlerkopfes beträgt 1,5 m, sein Gewicht einschliesslich der Strahlenabschirmung rund 8 t. Damit lässt sich der Therapiestrahl wie bei bisherigen Bestrahlungsanlagen aus verschiedenen

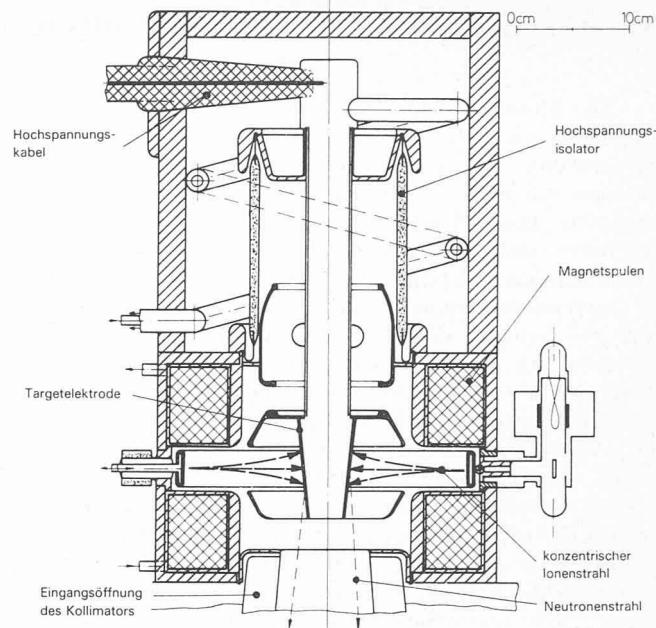


Das Kernstück der Neutronentherapieröhre bildet ein kompaktes, pumpenloses Beschleunigersystem, das in Abmessungen und Bauweise einer Hochleistungs-Senderöhre entspricht. Es erzeugt im Betrieb energiereiche Neutronen mit einer Quellstärke, die um ein Vielfaches höher ist als bei allen bisher bekannten ähnlichen Systemen ( $5 \times 10^{12}$  Neutronen/Sekunde).

Richtungen auf den Tumor einstellen und bietet alle Vorteile der Bewegungsbestrahlung.

- Mit 14 Millionen Elektronenvolt (MeV) ist die *Neutronenenergie fast doppelt so hoch wie bei Zyklotronanlagen* und erlaubt damit die Behandlung auch tiefliegender Tumoren.
- Die *Intensität des Therapiestrahls* übertrifft bei einer Quellstärke von  $5 \times 10^{12}$  Neutronen je Sekunde alle anderen Generatoren von 14-MeV-Neutronen wesentlich, so dass dadurch kurze Bestrahlungszeiten möglich werden, wie dies die Strahlentherapeuten wünschen.
- Die *Neutronenröhre* hat eine *lange Lebensdauer bei praktisch konstanter Strahlenintensität*. Am Ende der Nutzungsdauer wird das abgeschlossene Hochvakuumssystem als Ganzes ersetzt. Dadurch werden Kontaminationsrisiken, wie sie bei anderen Anlagen vorhanden sind, vermieden.

Erstmals steht damit eine kommerzielle Neutronentherapieanlage zur Verfügung, die den Anforderungen der Strahlentherapeuten entspricht, und sowohl in der Baugröße als auch im finanziellen Aufwand den durch die bisherigen

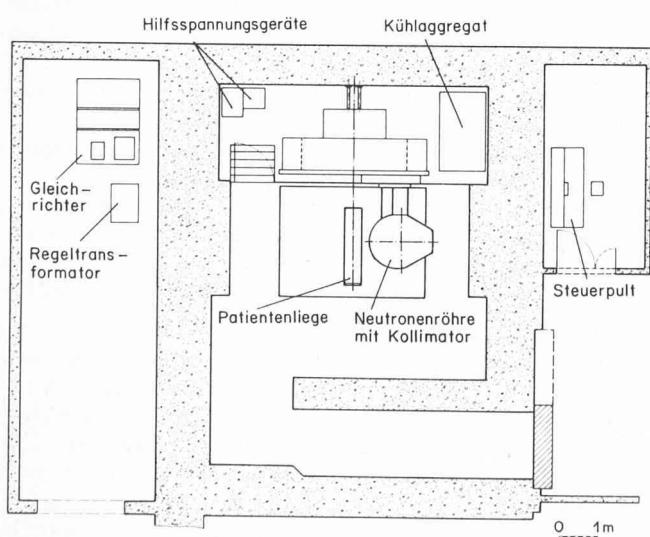


Therapiegeräte gesetzten Rahmen nicht überschreitet. Nach dem Heidelberger Gerät ist auch vom *Kantonsspital Zürich* (Klinik für Nuklearmedizin und Strahlentherapie) eine weitere Neutronentherapieanlage in Auftrag gegeben worden.

#### Das klinische Forschungsprogramm in Heidelberg

Im Frühjahr 1976 wurde damit begonnen, die Haefely-Neutronentherapieanlage im Institut für Nuklearmedizin des Deutschen Krebsforschungszentrums in Heidelberg aufzubauen. Den grössten Teil der Mittel für den Kauf und die Einrichtung der Anlage hat der Bundesminister für Forschung und Technologie zur Verfügung gestellt. Die für die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten benötigte Infrastruktur wurde auch vom Land Baden-Württemberg mitfinanziert. In den letzten Monaten wurde die Neutronentherapieanlage eingehend getestet, dosimetrische Messungen und Flussbestimmungen wurden durchgeführt, ein Monitor- und ein Dosimetriesystem entwickelt und aufgebaut. Im Oktober 1976 begannen tierexperimentelle Untersuchungen an der neuen Anlage, z.T. wurden damit Untersuchungen, die am Zyklotron des Instituts im letzten Jahr vorgenommen worden sind, zur Kontrolle wiederholt. Um die relative biologische Wirkung des Neutronenstrahls zu bestimmen und das optimale Schema der zeitlichen Aufteilung der Behandlung auf mehrere Einzelbestrahlungen zu ermitteln, wurde die *Hautreaktion von Schweinen* bei der Bestrahlung mit Neutronen untersucht, denn auf die *Wahl eines geeigneten Bestrahlungsschemas* muss bei jeder Strahlentherapie besonderes Augenmerk gerichtet werden.

Im Januar 1977 hat das klinische Forschungsprogramm am Krebsforschungszentrum mit ersten Patientenbestrahlungen an der Haefely-Neutronentherapieanlage begonnen. Die Auswahl der Patienten geschieht in enger Zusammenarbeit mit den Kliniken in Heidelberg und Umgebung sowie mit dem Onkologischen Arbeitskreis in Heidelberg, der aus Ärzten und Wissenschaftlern der Kliniken und des Krebsforschungszentrums besteht. Bei bestimmten Tumoren wird nach den bisher vorliegenden Ergebnissen selbst in fortgeschrittenen Fällen eine Besserung des subjektiven Befindens und Schmerzlinderung sowie Teilrückbildung



Therapieanlage mit Bedienungsräumen.

des Tumors zu erwarten sein. Die gemeinsame klinische Studie soll zur Beantwortung folgender Fragen beitragen:

- Bei welchen Tumoren erhöht die neue Therapie die Heilungschance?
- Welche ist die beste Aufteilung der Gesamtbehandlung in mehrere Einzelbestrahlungen?
- Ist evtl. eine kombinierte Behandlung mit anderen Strahlenarten oder mit Chemotherapeutika erfolgversprechend?

In der ersten etwa einjährigen Studie sollen voraussichtlich 100 bis 200 Patienten mit fortgeschrittenen Tumoren bestrahlt werden. Es wird sich dabei vor allem um Patienten mit Weichteilsarkomen, Synovialomen (Tumoren an der Innenschicht von Gelenkkapseln), mit bösartigen Knochentumoren, Hirntumoren, Hauttumoren und Lungenmetastasen handeln. Die Patienten werden durchschnittlich vier- bis fünfmal wöchentlich bestrahlt. Die Gesamtdosis der Neutronenbestrahlung wird zwischen 1.600 und 1.800 rad am Tumor liegen.

#### Wie funktioniert die Neutronengeneratorröhre «Karin»

Der Generator erzeugt Neutronen durch die *Fusion von Wasserstoffkernen* — ein Vorgang, der sich in der Natur in

der Sonne abspielt und die Sonnenenergie erzeugt. In der Neutronenröhre werden Atomkerne des schweren und über schweren Wasserstoffs (Deuterium bzw. Tritium) mit hoher Energie aufeinander geschossen. Sie verschmelzen — fusionieren — dabei zu *Heliumatomkernen unter Abspaltung eines schnellen Neutrons*. Im Prinzip ist der im Kernforschungszentrum Karlsruhe entwickelte Neutronengenerator ein *pumpenlos betriebenes Ultrahochvakuum-Beschleunigungsrohr*, an dem eine Spannung von 250000 Volt liegt. Den einen Pol bildet das leicht stumpfkegelige Target. Das Neuartige der Erfindung ist eine *ringförmige Ionenquelle*, die das Target umgibt und die den anderen Pol des Beschleunigerrohrs darstellt. Durch Beschleunigung von Deuterium- und Tritiumionen aus der Ionenquelle im Feld der Hochspannung kommt es beim Aufprall der Ionen auf das Target zur Fusionsreaktion. Aus dem in alle Richtungen emittierten Neutronenstrom wird durch eine Öffnung in der den Generator umgebenden Strahlenabschirmung der für die Therapie benutzte Strahlenkegel ausgeblendet.

Im Kernforschungszentrum Karlsruhe ist eine Anlage im Bau, bei der der gleiche Generator für die Neutronenaktivierungsanalyse und die strahlenbiologische Grundlagenforschung eingesetzt werden wird.

## Umschau

### Reaktorunfall erfolgreich simuliert

Wissenschaftlern und Technikern des *Kernforschungszentrums Karlsruhe* ist es dieser Tage im *stillgelegten Heissdampfreaktor (HDR)* in *Karlstein (Grosswelzheim)/Main* gelungen, einen sogenannten *Kühlmittelverlustunfall* erfolgreich zu simulieren. Dieser Unfalltyp spielt für die sichere Auslegung von Kernkraftwerken unter der Bezeichnung *«Grösster anzunehmender Unfall» (GAU)* bei jedem Genehmigungsverfahren eine wesentliche Rolle.

Die Versuche in Karlstein werden im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie als Teil des HDR-Sicherheitsprogramms von der Karlsruher Grossforschungseinrichtung durchgeführt. Der erste Versuch hatte zunächst nur die Aufgabe, nachzuweisen, dass an der stillgelegten und von Kernbrennstoff gereinigten HDR-Anlage Kühlmittelverlustunfälle betrieblich simuliert werden können und dass die Erfassung der dabei sich abspielenden physikalischen Phänomene messtechnisch möglich ist. Ihm werden in den nächsten Jahren eine Serie weiterer Unfallsimulationen folgen, deren Ziel es ist, die Sicherheitsreserven bei der Auslegung sicherheitstechnisch wichtiger Komponenten von Kernkraftwerken — z. B. Reaktordruckbehälter und Einbauten, Sicherheitsarmaturen, Sicherheitsbehälter und Einbauten — zu erfassen und damit die Auslegungswerte für das Genehmigungsverfahren weiter abzusichern.

### Weltzementproduktion 1976

Die Weltzementproduktion ist im Jahre 1976 um 3,6 % auf 727,4 Mio Tonnen (1975: 702,3 Mio Tonnen) gestiegen. Westeuropa verzeichnete dabei eine Steigerung um 3,2 %, Osteuropa um 3,4 %, Amerika um 1,3 % und Asien um 6,6 %. In Afrika blieb die Zementerzeugung auf dem Vorjahresstand.

Westeuropa konnte mit einer Produktion von 201,1 Mio Tonnen, d. h. 27,7 % der Gesamtproduktion, seine führende Stellung in der Weltzementindustrie weiterhin behaupten.

Osteuropa erzeugte mit 194,2 Mio Tonnen 26,7 % des Welttotaus. Asien lag mit 178,5 Mio Tonnen (24,5 %) wiederum auf Platz drei, gefolgt von Amerika mit 123,2 Mio Tonnen (16,9 %). In Afrika und Ozeanien belief sich die Produktion auf 24,2 bzw. 6,2 Mio Tonnen (3,3 bzw. 0,9 %).

Die zehn führenden Zementerzeugerländer waren 1976: die UdSSR (124 Mio Tonnen), Japan (68,2 Mio Tonnen), die USA (61,7 Mio Tonnen), Italien (36,6 Mio Tonnen), Westdeutschland (33,8 Mio Tonnen), China (31 Mio Tonnen, geschätzt), Frankreich (30,6 Mio Tonnen), Spanien (26 Mio Tonnen), Polen (19,8 Mio Tonnen) und Brasilien (19,1 Mio Tonnen).

Eine *Analyse* der Weltzementproduktion, insbesondere des westeuropäischen Zementmarktes, ist anhand des Zembureau-Bulletins Nr. 60/1977 «The Cement Market in 1976 and Outlook» möglich, das auch den Entwicklungen in der Bauindustrie Rechnung trägt und eingehende Angaben über Transport, Absatz, Preise, Investitionen, Verkaufs- und Produktionszahlen sowie die Ein- und Ausfuhr der einzelnen Länder enthält. Die Publikation ist bei Zembureau, dem europäischen Zementverband, 2, rue Saint-Charles, F-75740 Paris, Cedex 15, erhältlich.

### Versuchsanlage für Kohleverflüssigung im Saarland

Bundesforschungsminister *Hans Matthöfer* und der Wirtschaftsminister des Saarlandes, *Werner Klumpp*, teilten nach einem Gespräch in Bonn mit, dass sie den Bau einer Versuchsanlage für Kohleverflüssigung im Saarland finanziell fördern werden. Die Anlage soll von den *Saarbergwerken AG* in *Völklingen* gebaut und betrieben werden und eine Kapazität von 6 Tonnen Kohle je Tag haben.

Die Gesamtkosten des Vorhabens werden sich auf rund 30 Mio Mark für den Zeitraum 1. Juli 1977 bis 31. März 1981 belaufen, wovon das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) aus Mitteln des Investitionsprogramms den Hauptanteil von 75 Prozent tragen wird. Die restlichen Kosten werden die Saarbergwerke tragen, deren Aufsichtsrat sich noch im Juli mit dem Projekt befassen wird. Matthöfer bezeichnete die getroffene Entscheidung für den Bau der Versuchsanlage als ersten Teilerfolg der bisherigen Förderung der Technik zur Herstellung von