

**EUR 3616 d**

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

STUDIE ÜBER DIE EINFLÜSSE VON  
ENTWICKLUNGEN IN DER KERNTÉCHNIK  
AUF DIE HERKÖMMLICHE INDUSTRIE

1967



Bericht abgefasst von der  
Kienbaum Unternehmensberatung GmbH, Gummersbach - Deutschland

Euratom-Vertrag Nr. 033-61-1 ECID

## HINWEIS

Das vorliegende Dokument ist im Rahmen des Forschungsprogramms der Kommission der Europäischen Atomgemeinschaft (EURATOM) ausgearbeitet worden.

Es wird darauf hingewiesen, daß die Euratomkommission, ihre Vertragspartner und die in deren Namen handelnden Personen :

keine Gewähr dafür übernehmen, daß die in diesem Dokument enthaltenen Informationen richtig und vollständig sind, oder daß die Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden und Verfahren nicht gegen gewerbliche Schutzrechte verstößt;

keine Haftung für die Schäden übernehmen, die infolge der Verwendung der in diesem Dokument enthaltenen Informationen, oder der in diesem Dokument beschriebenen technischen Anordnungen, Methoden oder Verfahren entstehen könnten.

Dieser Bericht wird in den auf der vierten Umschlagseite genannten Vertriebsstellen

zum Preise von DM 68,—	FF 85,—	FB 850,—	Lit. 10.612	FL 61,25
------------------------	---------	----------	-------------	----------

verkauft.

**Es wird gebeten, bei Bestellungen die EUR-Nummer und den Titel anzugeben, die auf dem Umschlag jedes Berichts aufgeführt sind.**

Gedruckt von Guyot, s.a.  
Brüssel, September 1967

Das vorliegende Dokument wurde an Hand des besten Abdruckes vervielfältigt, der zur Verfügung stand.

**EUR 3616 d**

EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT - EURATOM

STUDIE ÜBER DIE EINFLÜSSE VON  
ENTWICKLUNGEN IN DER KERNTECHNIK  
AUF DIE HERKÖMMLICHE INDUSTRIE

1967



Bericht abgefasst von der  
Kienbaum Unternehmensberatung GmbH, Gummersbach - Deutschland

Euratom-Vertrag Nr. 033-61-1 ECID

## ZUSAMMENFASSUNG

Viele Bereiche der Industrie wurden und werden indirekt durch Entwicklungen beeinflusst, die ihren Ursprung in den Forderungen der Kerntechnik haben. Dieser sogenannte „spin-off“ hat eine Anzahl nützlicher und teilweise überraschender Fortschritte auf den verschiedensten Gebieten bewirkt.

Der Bericht enthält die Ergebnisse einer Studie, die als erster Schritt in Richtung einer systematischen Untersuchung der technischen sowie der daraus folgenden wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen der Kerntechnik auf die herkömmliche Industrie zu betrachten ist.

Ausgang der Studie war eine repräsentative Umfrage bei Forschungszentren und Industriebetrieben (Fallsammlung). Als „Fall“ war dafür definiert worden: das Ergebnis einer „nuklear“ bestimmten oder beeinflussten Entwicklung auf den Gebieten „Erkenntnisse“, „Verfahren“, „Materialien“ und „Einrichtungen“.

Insgesamt wurden ca. 350 „Fälle“ ermittelt. Ihre sachliche Einordnung erfolgte anhand einer Nummernsystematik, die zusammen mit einer Verschlüsselung der Anwendungsbereiche die Grundlage für eine datenmäßige Erfassung und Auswertung der Informationen bildet.

Der Schwerpunkt der Studie lag auf der Ermittlung und Erarbeitung der Merkmale einer begrenzten Anzahl von besonders markanten „Fällen“.

Trotz des einführenden Charakters dieser ersten Studie lassen sich einige allgemein gültige Aussagen machen hinsichtlich der Schwerpunkte der Übertragung kerntechnischer Entwicklungen auf herkömmliche Bereiche sowie in Bezug auf die dabei wirkenden Einflussfaktoren.

Die Untersuchung macht offenkundig, dass eine Intensivierung und Vervollkommnung der Übertragungsmechanismen der Wirtschaft neue Impulse geben würden.

## SCHLAGWORTE

ECONOMICS

INDUSTRY

STATISTICS

USES

ACCIDENTS

LABELLED COMPOUNDS

TRACER TECHNIQUES

ISOTOPES

RADIATIONS

MCA

sociology

IRRADIATION

METALS

ALLOYS

PLASTICS

STEELS

MECHANICAL STRUCTURES

RADIOCHEMISTRY

RADIATION CHEMISTRY

MATERIALS TESTING

## INHALTSVERZEICHNIS

T E X T T E I L	Seite
	7
1 Zielsetzung und Zusammenfassung	7
11 Zielsetzung der Studie	7
12 Abgrenzung der Untersuchung	9
13 Durchführung der Untersuchung	12
14 Zusammenfassung der Ergebnisse der Studie	13
2 Methode der Untersuchung	24
21 Arbeitsdefinition des Begriffes "Fall"	24
22 Grundlagen zur systematischen Ordnung und Auswertung der Untersuchungsergebnisse	26
221 Allgemeines	26
222 Suchnummernsystematik	28
223 Systematische Nummernschlüssel der Herstellungs- und Anwendungsgebiete	31
224 Karteikarten zur Erfassung und Beschreibung der Fälle	34
23 Ermittlung und Auswahl der Fälle	36
231 Ermittlung und Katalogisierung aller wesentlichen Fälle	36
232 Auswahl und Bearbeitung der näher betrachteten Fälle	38
233 Auswahl und Bearbeitung der ein- gehend untersuchten Fälle	40
3 Darstellung der Untersuchungsergebnisse	45
31 Häufigkeitsverteilung der durch die Kerntechnik beeinflussten Anwen- dungen der erfaßten Fälle	45
32 Kurzfassung der eingehend untersuchten neun Fälle	49

321	Erkenntnisse	50
	321.1 Unfallanalysen (Maximum Credible Accident Analysis)	50
322	Materialien (Werkstoffe, Arbeitsmedien und andere Stoffe)	51
	322.1 Zirkonium und Zirkoniumlegierungen	51
	322.2 Kunststoffe auf Fluorkohlenstoffbasis	52
	322.3 Siliconkautschuk	53
323	Verfahren (Methoden, Techniken, Technologien)	54
	323.1 Elektrische Hochenergieverformung	54
	323.2 Elektronenstrahl als Werkzeug	55
	323.3 Flüssigmetalle als Wärmeübertragungsmittel	56
324	Einrichtungen (Anlagen, Geräte, Maschinen, Apparate, Bau- und Maschinenelemente)	57
	324.1 Stahldruckbehälter	57
	324.2 Stahlfaltenbälge	58
33	Verzeichnis der 16 näher betrachteten Fälle	60
4	Allgemeine Darstellung und Wertung der kerntechnischen Einflüsse	62
41	Arten der kerntechnischen Einflüsse und Beurteilungskriterien für ihre Bedeutung	63
42	Wertung der kerntechnischen Einflüsse aus wirtschaftlicher Sicht	65
43	Wertung der kerntechnischen Einflüsse aus sozialer Sicht	70
5	Überlegungen für Anschlußstudien	80
51	Input-Output-Analyse	83
52	Weiterführung der Arbeiten unter abgewandelter Fragestellung (in Hinsicht auf qualitative Aussagen)	92
53	Regionale Ausdehnung	95
54	Zeitpunkt und Durchführung von Anschlußuntersuchungen	96
55	Zusammenfassung - Arbeitsprogramm	97

A N L A G E N T E I L (siehe detaillierte Inhaltsangabe S. 99)

Die EUROPÄISCHE ATOMGEMEINSCHAFT erteilte uns am 27. Januar 1966 den Auftrag, in einer Vorstudie Untersuchungen über die

"Einflüsse von Entwicklungen in der Kerntechnik auf Verfahren und Tätigkeitsgebiete in der herkömmlichen Industrie"

anzustellen. Die Untersuchungen waren im wesentlichen auf das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland begrenzt.

Die Gesamtleitung der Arbeiten lag in den Händen unseres Geschäftsführers,

Herrn Dipl.-Ing. Ernst Schimke.

Als Mitarbeiter für die Erhebungs- und Auswertungsarbeiten waren eingesetzt:

Herr Prof. Dipl.-Ing. Oskar Männich  
Fräulein Dipl.-Volksw. Dr. rer. pol. Anneliese Grüger  
Herr Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtschaftsing. Peter Schabbeck  
Herr Dipl.-Volksw. Dr. rer. oec. Gerhard Henzel  
sowie als freier Mitarbeiter  
Herr Dipl.-Ing. Peter Jelinek-Fink von der  
Kernforschungsanlage Jülich

Die Arbeiten wurden in der Zeit vom 1. Januar 1966 bis 31. März 1967 durchgeführt.

Über den Stand der Untersuchungen wurde monatlich berichtet.

Gemeinsame Besprechungen mit dem Auftraggeber fanden statt am:

24. 2. 1966	18. 8. 1966
20. 4. 1966	10. 10. 1966
1. 6. 1966	19. 10. 1966
21. 7. 1966	22. 11. 1966
	3. 1. 1967

In ihnen wurden jeweils auch die weiteren Abschnitte und Zielrichtungen der Untersuchung festgelegt.

Wir danken besonders Herrn Dipl.-Phys. Manfred Siebker, dem Leiter der mit der Abwicklung des Auftrags betrauten Abteilung in der Generaldirektion Industrie und Wirtschaft von EURATOM, und seinem Mitarbeiter, Herrn Dipl.-Ing. Heribert Daldrup, für ihre Gedanken und Anregungen zur Lösung der im Verlauf der Untersuchung immer wieder aufgetretenen Probleme. Ferner danken wir Herrn Dr. Dr. Wolfgang Koeck vom Verband der chemischen Industrie und Herrn Dr. Friedrichs von der IG Metall für ihre Bereitschaft, als ehrenamtliche Berater der Kommission bei zahlreichen Zwischenbesprechungen den jeweiligen Stand der Erkenntnisse und den weiteren Fortgang der Arbeiten zu diskutieren. Sie haben damit wesentlich zu den erreichten Ergebnissen und Erkenntnissen beigetragen.

Weiterhin gilt unser Dank allen Firmen, Instituten und Institutionen, die uns für Erhebungen und persönliche Gespräche zur Verfügung standen und unsere Ermittlungen unterstützten.

Gummersbach,  
im Mai 1967

KIENBAUM UNTERNEHMENSBERATUNG GMBH



11 Zielsetzung der Studie

Die wirtschaftliche und technische Nutzung der Kernenergie wirkt wie jede neue Entwicklung ständig eine Vielzahl von Fragen und Problemen auf und bewirkt dabei gleichzeitig Ausstrahlungen auf andere Gebiete. Hierin unterscheidet sie sich nicht von anderen bedeutenden Entwicklungen. Eine gewisse Besonderheit ergibt sich allerdings aus der Tatsache, daß die Kerntechnik eine starke Förderung durch die öffentliche Hand erfährt. Seit 1956 haben Bund und Länder - neben großen Eigenleistungen der Industrie - auf dem Feld der Atomforschung rund 4,3 Milliarden DM investiert. Es wird erwartet, daß diese Investitionen in verstärktem Maße der Allgemeinheit zugute kommen. Da außerdem Entwicklungen der Kerntechnik in größerem Umfang als Entwicklungen auf anderen Gebieten Bedeutung für die Gesellschaft haben, nimmt die Öffentlichkeit eine entsprechende Anteilnahme an allen mit ihr in Zusammenhang stehenden Vorgängen.

Ziel der vorliegenden Studie war die Beantwortung der Frage, inwieweit sich Einflüsse von Entwicklungen in der oder für die Kerntechnik bereits allgemein bemerkbar machen oder welche Möglichkeiten hierfür sich für die Zukunft abzeichnen. Dazu sollten neben einer möglichst vollständigen Erfassung aller relevanten Fälle der Übertragung von Entwicklungen aus der Kerntechnik auf nicht nukleare Bereiche an

Manuskript erhalten am 31. Mai 1967.

ausgewählten Beispielen erste Erkenntnisse darüber gewonnen werden, in welchem Ausmaß sich solche Einflüsse direkt oder indirekt in konventionellen Bereichen der Wirtschaft abzeichnen.

Die Analyse der als Beispiel ausgewählten Fälle sollte sich sowohl auf die technischen als auch in erster Annäherung auf die wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen erstrecken, die durch Übertragungen auf konventionelle Bereiche auftreten. Dabei sollten neben einer qualitativen Darstellung nach Möglichkeit auch quantitative Aussagen erarbeitet werden. Alle in Frage kommenden Bereiche der konventionellen Wirtschaft sollten ferner im Hinblick auf diese technischen, sozialen, betriebs- und volkswirtschaftlichen Auswirkungen mit dem Ziel durchleuchtet werden, sich abzeichnende wirtschaftliche Veränderungen zu ermitteln. Schließlich gehörten zur Zielsetzung der Vorstudie die Entwicklung einer Systematik, nach der die erfaßten Fälle nach bestimmten Gesichtspunkten eingeordnet werden können, und die Ausarbeitung einer Methode, nach der gegebenenfalls weitere Untersuchungen zur Erfassung des gesamten Problembereiches vorzunehmen sind.

Dieser Zielsetzung entsprechend war die Studie mit der Lösung folgender Teilaufgaben verbunden:

- Ermittlung und Katalogisierung aller wesentlichen Erkenntnisse, Verfahren, Werkstoffe und Einrichtungen, die für die oder in der Kerntechnik entwickelt und angewendet werden
- Entwurf von Nummernsystematiken und eines Karteikartensystems zur Erfassung der ermittelten Fälle und deren Herstellungs- und Anwendungsgebiete unter Berücksichtigung der Möglichkeiten des Einsatzes maschineller Datenverarbeitung

- Wertung der ermittelten Fälle hinsichtlich ihrer Bedeutung für die konventionelle Industrie und bestimmte Dienstleistungsbereiche
- Detaillierte Untersuchung ausgewählter Fälle in bezug auf ihre Anwendungsmöglichkeiten in allen in Frage kommenden Bereichen der konventionellen Wirtschaft und Feststellung der dabei auftretenden technischen, sozialen, betriebs- und volkswirtschaftlichen Auswirkungen
- Klärung der methodischen Fragen für weitere eingehendere Untersuchungen über ganze Wirtschaftsbereiche unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Arbeit

## 12 Abgrenzung der Untersuchung

Aufgrund der Fülle des Materials, das für die Untersuchungen heranzuziehen war, sowie der Vielfalt der Anwendungsgebiete, die sich aus Entwicklungen für den Nuklearsektor in herkömmlichen Bereichen bereits abzeichnen, war es notwendig, bestimmte Abgrenzungen zu treffen. Folgende Überlegungen waren hierfür ausschlaggebend:

Die Technik befindet sich allgemein in einem Stadium sehr rascher Fortentwicklung. Einer der "Schrittmacher" des technischen Fortschritts ist die Kerntechnik mit ihren speziellen Aufgaben und Belangen. Dabei erstrecken sich die Auswirkungen der atomaren Entwicklung zwar in weitem Maße auf das Gesamtgebiet von Technik und Wirtschaft; die Mehrzahl der Impulse konzentriert sich jedoch auf die nachfolgend aufgeführten Schwerpunkte, wobei die Reihenfolge der Aufzählung kein Kriterium für ihre Rangigkeit darstellt:

- a) Militärischer Bereich
- b) Energiesektor, das heißt unter anderem Gewinnung elektrischer Energie aus Kernenergie mit den umfangreichen, bereits bekannten und möglichen wirtschaftlichen Auswirkungen sowie Meerwasserentsalzung, Wärmeerzeugung, (Schiffs-)Antrieb
- c) Isotopentechnik, das heißt Kleinstrahlentechnik offener oder umschlossener Präparate
- d) Großstrahlentechnik, das heißt Technik der Bestrahlung mittels Isotopenstrahlenquellen, Abbränden, Beschleunigern und Kernreaktoren für Zwecke der Sterilisation, chemischen Synthese und so weiter
- e) Konventionelle Industrie als Zulieferindustrie für den kerntechnischen Bereich
- f) Konventioneller Bereich als Anwender spezieller Entwicklungen aus dem kerntechnischen Bereich

Gegenstand der vorliegenden Studie ist nur die Untersuchung der Einflüsse im letztgenannten Bereich (f), das heißt der indirekten Auswirkungen der Kerntechnik auf die herkömmliche Industrie. Das Gebiet der Großstrahlentechnik wurde insoweit mit in die Untersuchung einbezogen, als es nicht die Isotopentechnik betrifft. Die Gesamtbreite der indirekten Auswirkungen und die Vielfalt ihrer Möglichkeiten konnten nur am Beispiel einiger ausgewählter Fälle verfolgt werden.

Im Verlauf der Studie zeigte sich immer wieder, daß ständig gegenseitige Beeinflussungen und Befruchtungen zwischen nuklearen und konventionellen technischen Bereichen stattfinden, weshalb oft nicht klar zu erkennen war, wer wen beeinflusst hat. Es war nicht Gegenstand vorliegender Studie, diese Wechsel-

wirkungen im einzelnen zu untersuchen. Maßgebend für die Einbeziehung der Fälle war die Frage, ob überhaupt ein nennenswerter Einfluß der Kerntechnik zu verzeichnen ist.

Schwierigkeiten bereitete die Erfassung der Auswirkungen in arbeitsphysiologischer, arbeitspsychologischer, soziologischer und sozialer Hinsicht. Diese Auswirkungen konnten im Rahmen der Vorstudie mit den verfügbaren Mitteln nicht adäquat erforscht werden, weil ihre Erfassung außerordentlich kompliziert und aufwendig ist. Vielfach sind sich auch die Firmen selbst noch nicht über Form und Ausmaß der Strukturänderungen im Personalsektor im klaren. Zur Erfassung dieser Sachverhalte hätte es daher sehr eingehender Untersuchungen an den Arbeitsplätzen bedurft, wie sie im Rahmen dieser Studie nicht vorgesehen sein konnten. In die vorliegende Studie sind daher Aussagen in dieser Hinsicht nur insoweit eingegangen, als sie im Zusammenhang mit den technischen und wirtschaftlichen Erhebungen gewonnen werden konnten.

Es erwies sich auch als außerordentlich schwierig, die Einflüsse wissenschaftlicher Erkenntnisse und Forschungsergebnisse in derselben Weise zu erfassen, wie es für Materialien, Verfahren, Geräte und Anlagen geschehen ist. Da die Fälle dieser Gruppe sich in der Regel früher oder später in ihren Auswirkungen in einer der letztgenannten Gruppen niederschlagen werden und da in einem Stadium, in dem ihnen vornehmlich theoretische Bedeutung zukommt, die wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen noch kaum zu übersehen sind, wurden sie bei der Untersuchung nur am Rande behandelt. Es kann daher gerade in der

Gruppe Erkenntnisse kein Anspruch auf Vollständigkeit der aufgeführten Fälle erhoben werden.

Es entspricht dem Charakter der Vorstudie, daß auch in den untersuchten Fällen die Einflüsse von Entwicklungen auf den herkömmlichen Bereich nur anhand von zahlenmäßig begrenzten Beispielen herausgestellt werden konnten.

Bei der Würdigung der Ergebnisse der Studie wird man sich stets dieser Abgrenzungen bewußt sein müssen.

### 13 Durchführung der Untersuchung

Der Ablauf der Untersuchung wurde im Einvernehmen mit der EUROPÄISCHEN ATOMGEMEINSCHAFT in turnusmäßigen Arbeitssitzungen festgelegt. Zunächst wurde alles für den Themenbereich in Frage kommende Material gesammelt, katalogisiert und zu einer Liste mit rund 350 Fällen zusammengestellt. Daraus wurden in einer Vorauswahl 25 Fälle aus den Bereichen "Erkenntnisse", "Materialien", "Verfahren" und "Einrichtungen" ausgewählt, von denen später 9 Fälle eingehenden Untersuchungen unterzogen wurden.

Im Verlauf der Arbeiten ergaben sich gewisse Modifikationen des im Vertrag niedergelegten Arbeitsprogramms. Diese erstreckten sich einmal auf die Verlängerung der anberaumten Untersuchungsdauer, da sich herausstellte, daß umfangreichere Ermittlungen und Erhebungen als ursprünglich vorausgesehen notwendig wurden. Zum anderen erfuhren über

die neun eingehend untersuchten Fälle hinaus auch die übrigen sechzehn Fälle der Vorauswahl eine nähere Bearbeitung.

Die notwendigen Informationen wurden anhand umfangreicher Literaturstudien sowie durch Erhebungen in Form von persönlichen Gesprächen bei Firmen, Instituten und Institutionen zusammengetragen.

#### 14 Zusammenfassung der Ergebnisse der Studie

Die Nutzung nuklearer Vorgänge für militärische und friedliche Zwecke führte zu Entwicklungen, die in der Folgezeit auch auf nicht-kerntechnische Bereiche übertragen wurden oder bei denen sich solche Anwendungsmöglichkeiten abzeichnen. Diese Übertragung von Erkenntnissen, Materialien, Verfahren und Einrichtungen (Fälle), deren Entwicklung für kerntechnische Belange betrieben oder durch sie maßgeblich beeinflusst wurde, ist von einer großen Zahl von Folgeerscheinungen und Auswirkungen technischer, wirtschaftlicher und soziologischer beziehungsweise sozialer Art begleitet. Derartige Einflüsse zeigen sich auf allen Gebieten, die mit der Nukleartechnik in Zusammenhang stehen.

Im Verlauf der Untersuchung konnten rund 350 Fälle ermittelt werden, deren Entwicklung von der Kerntechnik bestimmt oder beeinflusst wurde. Zu ihrer sachlichen Einordnung wurde eine Nummernsystematik aufgestellt, die zusammen mit einer Verschlüsselung

der Anwendungsbereiche (in der Kerntechnik und im herkömmlichen Bereich) die Grundlage für eine datenmäßige Erfassung und Auswertung von Informationen über sachliche Zuordnung, Hersteller und Anwender bilden soll.

In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß die Studie insofern begrenzt wurde, als Auswirkungen der Kernenergienutzung (Stromerzeugung, Meerwasserentsalzung und so weiter) sowie das gesamte Gebiet der Isotopentechnik ausgeklammert wurden (vergleiche 12). Darüber hinaus ließ sich innerhalb des engen Rahmens der vorliegenden Studie nicht klären, ob und in welchem Umfang die elektronische Datenverarbeitung durch die Kerntechnik beeinflusst wurde. Auch der Bereich Meß- und Regeltechnik wurde nicht intensiv untersucht.

Die ermittelten Fälle wurden in einer der Nummernsystematik entsprechenden Gliederung zu einer Fall-Liste zusammengestellt. Von den dort aufgeführten Fällen wurden fünfundzwanzig für eine nähere Betrachtung ausgewählt. Davon wurden wiederum neun Fälle einer eingehenderen Untersuchung unterzogen.

Die vorliegende Studie läßt gewisse Schwerpunkte erkennen, in denen der Einfluß der Kerntechnik besonders häufig und ausgeprägt hervortrat. Die Übertragung kerntechnischer Entwicklungen auf den herkömmlichen Bereich ist besonders weit fortgeschritten auf den Gebieten der Chemie und ihrer Randgebiete, des Maschinenbaus, der Hochfrequenztechnik und der Meß- und Regeltechnik.



Als Gebiete, die den Übertragungen von kerntechnisch beeinflussten Entwicklungen besonders aufgeschlossen gegenüberstehen, sind auch die Luft- und Raumfahrt sowie die moderne Medizin zu nennen. Die Auswirkungen auf diesen Gebieten in wirtschaftlicher und sozialer Hinsicht sind schwierig zu erfassen. Das mag zum Teil damit zu erklären sein, daß diese Spezialbereiche in Deutschland keine maßgeblichen Wirtschaftsfaktoren darstellen (ausgenommen die in der Medizin eine bedeutende Rolle spielende Isotopentechnik für Forschung, Diagnose und Therapie, die jedoch vertragsgemäß in dieser Studie nicht behandelt wurde).

Neben dieser Aufgliederung nach branchenmäßigen Schwerpunkten kann man das Ausmaß der Übertragung kerntechnischer Entwicklungen auf den herkömmlichen Bereich auch nach folgenden Kriterien betrachten:

Eine Verwendung ursprünglich für kerntechnische Belange durchgeführter Entwicklungen erfolgt gleichermaßen für die Kerntechnik wie für nicht-nukleare Bereiche, wenn sie Bestandteil eines industriellen Produktionsprogramms sind, das heißt wenn sie zum Beispiel als Bauelemente oder Halbzeug auf den Markt kommen. Die Eingliederung kann so weit gehen, daß der Hersteller nicht mehr weiß, ob seine Produkte für kerntechnische oder für andere Zwecke Verwendung finden, wie es bei einigen Materialien (Zirkon, Teflon, Silicon-Kautschuk) und Geräten (Filtereinsätzen, Baueinheiten für Meßinstrumente) beobachtet werden konnte.

Die Übertragung kann sich aber in herkömmlichen Bereichen unter Umständen auch nur in der Übernahme theoretischer Erkenntnisse oder konstruktiver Ideen

der Kerntechnik niederschlagen; viele Fälle aus den beiden Gruppen "Erkenntnisse" und "Verfahren" sind Beispiele einer derartigen "analogen" Übertragung.

Zwischen den beiden Extremen der unmittelbaren Übertragung und der Übernahme von Ideen aufgrund einer Analogie der Problemstellungen gibt es eine Vielzahl von Zwischenformen. Die meisten der erfaßten Fälle befinden sich in einem solchen Zwischenstadium.

Zahlenmäßig treten die Fälle einer unmittelbaren Übertragung aus der Kerntechnik gegenüber solchen mit einer bloßen Anregung der herkömmlichen Bereiche durch den Nuklearsektor zurück. Das Ausmaß ihrer wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen ist jedoch im Vergleich zu den Fällen, wo nur die technische Idee eine Übertragung findet, häufig größer.

Die Fälle aus dem weiten Spektrum der Zwischenstadien haben zwar bisher in der Regel wenig Bedeutung gewonnen, beinhalten jedoch ein Potential zukünftiger Übertragungsmöglichkeiten mit weitreichenden technischen und wirtschaftlichen Auswirkungen.

Die Übertragung der kerntechnischen Entwicklungen erfolgt je nach Charakter der Fälle mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit und Geschwindigkeit. Dabei spielt es eine Rolle, inwieweit die Entwicklung des einzelnen Falles durch spezielle Belange der Kerntechnik bedingt war.

Bei einer näheren Betrachtung der Fälle in dieser Hinsicht ergeben sich vier Kategorien:

- Im Zusammenhang mit der Kerntechnik wurde eine große Zahl von Entwicklungen betrieben, die aller Wahrscheinlichkeit nach für herkömmliche Bereiche über den Wert einer Erweiterung des theoretischen Wissens hinaus niemals von Bedeutung sein wird. Dies gilt zum Beispiel für die Entwicklung der Plutoniumlegierungen und -verbindungen.
- Die zweite Kategorie von Entwicklungen für die Kerntechnik erfaßt solche Fälle, bei denen kerntechnische Gegebenheiten besondere Materialien (zum Beispiel neutronentransparente Werkstoffe) oder Einrichtungen (zum Beispiel für die Handhabung bestrahlter oder kontaminierter Materialien) bedingen.

Keiner der in diesem Zusammenhang neu entwickelten Werkstoffe hat bisher nennenswerte konventionelle Anwendungen gefunden. Die Möglichkeit eines Einsatzes von Geräten, die in ihrer Funktion denen der Brennelementwechsellmaschinen gleichkommen, sind auf ganz wenige Sonderfälle beschränkt.

- Eine weitere Kategorie bilden solche Fälle, in denen mehr oder weniger bekannte Materialien, Verfahren oder Geräte für die speziellen Belange in der Kerntechnik vervollkommen wurden. Auf die Bedeutung einiger in ihren Grundzügen bekannten Entwicklungen wurde man erst bei der systematischen Suche nach Lösungen für bestimmte kerntechnische Probleme aufmerksam (zum Beispiel Solventextraktion, Silicon-Kautschuk). In anderen Fällen ermöglichten die in der Kerntechnik zur Verfügung stehenden wirtschaftlichen Mittel eine Entwicklung zur technischen Reife (zum Beispiel Fluorkohlenstoff-Kunststoffe). Zudem stellte die Kerntechnik Anforderungen, deren Erfüllung erst die allgemeine Übertragung auf den herkömmlichen Bereich interessant machte (zum Beispiel Einführung der Nanosekudentechnik durch den Bedarf der Kernphysik nach feinsten Auflösung von Impulsen).
- Eine vierte Kategorie sind die Fälle, bei denen eine ausgesprochen wechselseitige Befruchtung zwischen Kerntechnik und nicht-kerntechnischen Bereichen stattgefunden hat

(zum Beispiel Entwicklung der Prozeßrechner). Diese gegenseitige Einflußnahme ist sehr schwer isolierbar. Es war aber auch nicht Sinn dieser Studie, über den Rahmen einer kurzen historischen Betrachtung hinaus den differenzierten Zusammenhängen der Zuordnungen und Prioritäten nachzugehen.

Während die beiden letztgenannten Kategorien in der Mehrzahl Fälle enthalten, deren Anwendung in herkömmlichen Bereichen bereits wirtschaftliche Auswirkungen zeigen, sind die meisten Fälle der ersten Kategorie zwar für den rein nuklearen Bereich interessant, gehören jedoch nicht zu den Objekten dieser Studie. Es hat sich gezeigt, daß spezielle Entwicklungen für die Kerntechnik häufig keine große Bedeutung für die herkömmlichen Bereiche erlangen konnten, da analoge Probleme sich dort bisher nicht ergaben. Die Hoffnungen der damit befaßten Unternehmen richteten sich primär auf die Ausweitung der Kernenergienutzung und einen daraus erwachsenden Bedarfsanstieg. Erst in zweiter Linie hofft man auf die Möglichkeit einer Übertragung auf nicht-nukleare Bereiche. Das Zustandekommen einer derartigen Übertragung überläßt man weitgehend dem Zufall. In Einzelfällen war sogar festzustellen, daß Hersteller bestimmter Einrichtungen und Materialien für nukleare Zwecke noch nicht einmal an die Möglichkeiten weiterer Anwendungen gedacht hatten.

Selbst in den Fällen, in denen eine Beziehung zwischen Kerntechnik und herkömmlichen Gebieten der Wirtschaft von sich aus gegeben ist, zum Beispiel durch parallele Entwicklungsarbeiten in ein und derselben Firma, erfolgt die Übertragung oft nur zögernd.

Bei der Untersuchung der Gründe für Hemmnisse, die einer Übertragung kerntechnischer Entwicklungen entgegenstehen, wurden gewisse Erkenntnisse gewonnen, die allgemein Einblick in den Mechanismus der Übertragung des technischen Fortschritts und die dabei entstehenden Schwierigkeiten gewähren. Es ist zu erkennen, daß der Vorgang der Übertragung vorwiegend durch folgende Faktoren beeinflusst wird:

- Verbreitung der Informationen

Potentielle Anwender sind häufig gar nicht von der Existenz einer Problemlösung für ihren Bereich unterrichtet.

- Zugänglichkeit der Informationen

Diese kann durch staatliche (militärische) oder unternehmerische Interessen (Schutzrechte) behindert sein.

- Wirtschaftliche Gesichtspunkte

Am Anfang der Einführung einer neuen Technik beziehungsweise eines Produktes ist in der Regel die Wirtschaftlichkeit noch nicht gegeben, woraus sich eine verständliche Zurückhaltung der Hersteller und Anwender ergibt.

- Mentalität der Hersteller und Anwender

Unter diesem Gesichtspunkt sind alle Schwierigkeiten zusammenzufassen, die sich aus der Angst vor dem Unbekannten und der mangelnden Bereitschaft zu Neuerungen (auch bewährten) ergeben.

Die Übertragung von Entwicklungen der Kerntechnik auf nicht-nukleare Bereiche ist aus technischer Sicht in vielen Fällen interessant. Bei ihrer Durchführung ergeben sich jedoch auf dem wirtschaftlichen und sozial-personellen Sektor Probleme, die eine schnelle Realisierung der Übertragung beeinträchtigen beziehungsweise gänzlich verhindern können. Als Beispiel sei hier Natrium als Wärmeübertra-

gungsmittel genannt, dessen Einführung in konventionelle Anwendungsbereiche hauptsächlich aufgrund psychologischer Momente bisher weitgehend verhindert wurde.

Als weiteres Ergebnis der Studie ist festzustellen, daß eine Erfassung der wirtschaftlichen und sozialen Einflüsse, vor allem in quantitativer Weise, häufig nicht möglich war.

Die Auswirkungen ließen sich quantitativ nahezu gar nicht und qualitativ nur beschränkt in wirtschaftlichen Dimensionen (Marktanteil beziehungsweise Umsatz, Anzahl der Beschäftigten) darstellen, wie es für eine gesamtwirtschaftliche Beurteilung notwendig wäre.

Trotzdem wurden so weit als möglich die wirtschaftlichen Daten aller untersuchten Fälle erfaßt. Die Erhebungen konnten sich im Rahmen der vorliegenden Studie jedoch nur auf den oder die direkt mit dem Fall in Zusammenhang stehenden Hersteller- oder Anwender-(Verarbeiter-)Firmen erstrecken, nicht aber auf wirtschaftliche Auswirkungen auf vor- oder nachgelagerte Stufen. Die hierbei ermittelten Marktanteile beziehungsweise Umsatzgrößen erwiesen sich noch als ziemlich klein.

Im Einzelfall ist es jedoch nicht ausgeschlossen, daß es als Folge der kerntechnischen Einflüsse zu Umstrukturierungen in den Produktionsprogrammen einzelner Unternehmen oder ganzer Branchen kommen wird. Die ersten Anzeichen solcher Veränderungen können bereits beobachtet werden.

So zeigt sich zum Beispiel, daß gerade auf dem Gebiet der Kunststoffe - und hier wiederum bei Kunststoff-Halbzeug und technischen Kunststoffteilen - die für die Kerntechnik entwickelten oder von ihr beeinflußten Materialien sich einen ständig steigenden Markt erobern.

Diese Entwicklung geht zum Teil zulasten bisher verwendeter Materialien entweder durch eine echte Substitution artgleicher oder artfremder Werkstoffe oder durch eine Substitution über vollkommen neue Konstruktionen. Teilweise konnten auch neue Anwendungsgebiete erschlossen werden. Andererseits aber sind viele speziell für die Kerntechnik entwickelte Kunststoffe in ihren Eigenschaften und Anwendungsbereichen so spezifisch und im Verhältnis zu anderen noch so teuer, daß sie für Werkstoffe, die für Konsumgüter eingesetzt werden, in absehbarer Zukunft keine Konkurrenz bedeuten werden.

Die einzig bekannte Ausnahme ist die Beschichtung von Haushaltbratpfannen mit Fluorkohlenstoff-Kunststoff. Ähnliches trifft auch für viele weitere kerntechnische Entwicklungen zu. Die Marktanteile der einzelnen Fallbeispiele (Fälle, die eingehend untersucht wurden) zu ermitteln, erwies sich als nicht durchführbar. Auch das quantitative Ausmaß etwaiger Einsparungen oder Substitutionen konnte nicht im einzelnen ermittelt werden. Ebenso war es nicht möglich, eine Vorstellung über das wirtschaftliche Gesamtvolumen der Untersuchung durch Addition des Wertes aller erfaßten Fälle zu erhalten.

Die Untersuchungen auf dem sozialen Sektor führten zu keinen hinreichend aussagefähigen Ergebnissen.

In Anbetracht der wenigen untersuchten Einzelfälle und der einengenden Bedingungen dieser Studie erwies es sich als unmöglich, zuverlässige Aussagen über positive oder negative Veränderungen der beruflichen Anforderungen oder der sozialen Stellung der Betroffenen zu erhalten. In den meisten der untersuchten Fälle sind die Arbeitsbedingungen noch durch die Eigenheiten des Pionierstadiums gekennzeichnet. Aussagen über die mit der Einführung neuer Verfahren verbundenen personellen Umstellungen und Anpassungen können daher nur sehr vorläufigen Charakter haben und sind ergänzungsbedürftig.

Die in Punkt 43 zusammengestellten Untersuchungsergebnisse auf dem sozialen Sektor müssen unter den hier genannten Einschränkungen betrachtet werden.

Die Ergebnisse dieser Studie können zwar in technischer Hinsicht als charakteristisch angesehen werden, aber sie erheben weder Anspruch auf Vollständigkeit, noch sind sie so allgemein gültig, daß sie ohne weiteres von einem Bereich auf einen anderen übertragen werden können.

Dies trifft sowohl für die gesamten erfaßten als auch für die im einzelnen untersuchten Fälle zu. Diese Vorbehalte sind im wesentlichen auf folgende Einschränkungen zurückzuführen:

- Die Studie befaßte sich mit mittelbaren Einflüssen der Kerntechnik auf die herkömmlichen Bereiche. Die in Punkt 12 aufgeführten direkten Einflußbereiche waren vertragsgemäß nicht Gegenstand der Untersuchung.



- Die Studie war auf die BRD beschränkt, wobei naturgemäß einige Bereiche der Kerntechnik (zum Beispiel indirekter Einfluß des militärischen Bereichs) einer Erfassung nicht zugänglich waren.
- Die Zahl der einzelnen untersuchten Fälle ist zu gering, um aus jedem von der Kerntechnik beeinflussten Sektor ein Beispiel zu bringen. So wurden unter anderem die weiten Gebiete der Meß- und Regeltechnik und der theoretischen, physikalischen Grundlagen von der detaillierten Untersuchung nicht erfaßt.

Aus dem bisher Gesagten folgt, daß es wünschenswert wäre, die Untersuchung fortzuführen, wobei man in folgender Hinsicht eine Erweiterung des Programms vornehmen sollte:

- Ausdehnung der Untersuchung über die Grenzen der BRD hinaus durch Parallelstudien in anderen Ländern, die über ein entsprechendes kerntechnisches Potential verfügen
- Ausweitung der Studie durch Untersuchung weiterer Einzelfälle
- Ausweitung der Studie durch Suche nach weiteren Übertragungsbeispielen und -möglichkeiten einschließlich einer Analyse der Übertragungsmechanismen
- Erweiterte Betrachtung des sozialen Bereichs durch eine intensiv angelegte Ergänzungsstudie
- Erweiterte Betrachtungen des wirtschaftlichen Bereichs einschließlich der vor- und nachgelagerten Industrien (zum Beispiel mit Mitteln der Input-Output-Analyse; vergleiche Punkt 5.1)
- Einrichtung eines Informationsdienstes, um die Übertragung zu beschleunigen

Auf die allgemeingültigen Ergebnisse der Studie wird im folgenden eingegangen. Die Ergebnisse der einzelnen untersuchten Fälle sind in Anlagen 7 und 8 ausführlich dargestellt.

21      Arbeitsdefinition des Begriffes "Fall"

Der im folgenden häufig benutzte Begriff "Fall" hat einen vielgestaltigen Inhalt und muß daher zum Verständnis des Ganzen eine Präzisierung erfahren.

In der vorliegenden Studie ist ein "Fall" definiert als Ergebnis einer Entwicklung auf den Gebieten der

- (1) Erkenntnisse  
    (theoretische Grundlagen und Denkmodelle)
- (2) Materialien  
    (Werkstoffe, Arbeitsmedien und andere Stoffe)
- (3) Verfahren  
    (Methoden, Techniken, Technologien)  
    oder
- (4) Einrichtungen  
    (Anlagen, Geräte, Maschinen, Apparate,  
    Bau- und Maschinenelemente)

Unabhängig von der Zugehörigkeit zu einer dieser vier Hauptgruppen zeichnen sich bei den erfaßten Fällen graduelle Unterschiede in der Beziehung zur Kerntechnik ab. Die Entwicklung kann nämlich zum Beispiel unmittelbar für die Kerntechnik erfolgt sein, oder eine frühere Entwicklung hat erst durch die Anwendung in der Kerntechnik die Bedeutung gewonnen, die ihr heute zukommt. Die Bedeutung kann dabei technischer, wirtschaftlicher oder sozialer Art sein;

sie kann aus der Anwendung in der Kerntechnik oder aus einer von der Kerntechnik befruchteten Anwendung im nicht-kerntechnischen Bereich resultieren.

Es wurde zunächst versucht, bei der Auswahl und Definition der Fälle als Kriterium das Ausmaß der Beeinflussung durch die Kerntechnik zugrunde zu legen. Im Laufe der Ausarbeitung der ausführlich behandelten Fälle erwies sich jedoch, daß ein solches Vorgehen ohne bis ins Detail gehende Kenntnisse über den Fall häufig zu größeren Unsicherheiten in der Bewertung führt; das heißt, es läßt sich auf Anhieb eine sichere Einordnung eines Falles in eine "Skala der Bedeutung" nicht vornehmen. Daraus folgt auch, daß die Fälle in ihrem Gewicht weder aus technischer noch aus wirtschaftlicher Sicht gleichwertig sein können.

Unabhängig von ihrer Bedeutung wurden - zumindest summarisch - auch solche Fälle mit erfaßt, die zwar in der Kerntechnik eine bedeutende Rolle spielen, für die aber im nicht-kerntechnischen Bereich zur Zeit kein über den theoretischen Erkenntniswert hinausgehendes Interesse zu erkennen ist.

Eine strenge Trennung der Begriffe und damit eine eindeutige Zuordnung der Fälle zu einer der vier Gruppen war nicht immer möglich vor allem dann, wenn die Definition eines Falles einem zeitbedingten Wandel unterliegt, was nicht selten auftrat. Aus einer theoretischen Erkenntnis kann im Laufe der Entwicklung ein Verfahren werden. Dies bedingt für die praktische Anwendung in aller Regel die Entwicklung einer geeigneten Einrichtung oder Maschine.

Um Wiederholungen zu begegnen, ist in der Regel jeder Fall nur einmal aufgeführt, und zwar unter der Rubrik, wo er die entscheidendste Neuerung bedeutet. In der oder den nur sekundär betroffenen Gruppe(n) erscheint der Fall dann nur unter einem Sammelbegriff.

Bei der Erfassung und bei der Einordnung der Fälle in vier Hauptgruppen wurde im wesentlichen die Definition der Begriffe Kenntnisse, Werkstoffe, Verfahren, Geräte und Anlagen laut Vertragstext (Anlage I, Punkt 3 - 1) zugrundegelegt.

Änderungen wurden lediglich insofern vorgenommen, als die beiden Gruppen "Geräte" und "Anlagen" zu einer Gruppe "Einrichtungen" zusammengefaßt wurden, da eine eindeutige Trennung der Begriffe Geräte und Anlagen nicht immer möglich ist und so auch hier wieder Zuordnungsschwierigkeiten entstanden wären. Die Gruppe "Werkstoffe" wurde in "Materialien" umbenannt, da auch andere Stoffe (zum Beispiel Kühlmedien) in die Untersuchung einbezogen wurden.

Der Begriff "Fall" wird also in der vorliegenden Untersuchung für alle kerntechnischen Entwicklungen verwendet, auch solche, für die eine Übertragung auf den herkömmlichen Bereich unwahrscheinlich erscheint. Als herkömmlich oder konventionell sind im folgenden alle Bereiche von Wissenschaft, Industrie und Wirtschaft zu verstehen, die nicht in unmittelbarem Zusammenhang mit der Kerntechnik stehen.

## 22 Grundlagen zur systematischen Ordnung und Auswertung der Untersuchungsergebnisse

### 221 Allgemeines

Es wurden zunächst umfangreiche Arbeiten durchgeführt, die darauf abzielten, möglichst alle zu erwartenden Informationen über einen Fall

zu systematisieren und damit einer maschinellen Datenverarbeitung zugänglich zu machen.

Es hat sich jedoch bei den weiteren Bemühungen um dieses Problem gezeigt, daß die Untersuchungsergebnisse so verschiedene und heterogene Informationen beinhalten, daß es nicht möglich ist, eine einheitliche Systematik zu deren Erfassung einzuführen; das heißt, es gibt keine signifikanten Größen, die allen Fällen gemeinsam sind und auf deren Grundlage man wesentliche Aussagen über den Fall machen beziehungsweise die Fälle untereinander vergleichen oder gar ihre Auswirkung aufaddieren könnte.

Nicht einmal Größen wie

- Zahl der Betroffenen (zum Beispiel Unternehmen, Arbeitnehmer)
- Umsatzwert
- Prozentsatz der Einsparungen

erfüllen diese Bedingungen.

Versuche, im Falle "Unfallanalysen" Umsatzwert oder Einsparungen zu bemessen oder im Falle "Erkenntnisse über den Werkstoff Graphit" die Einsparungen oder die Zahl der Betroffenen zu beziffern, dürfte offensichtlich zu keinem befriedigenden Ergebnis führen.

Auch innerhalb der Hauptgruppen sind die Fälle außerordentlich heterogen und entziehen sich einer

einheitlichen Erfassung und Definition in Form einer systematischen Beschreibung. Diese Feststellung trifft in erster Linie für die Hauptgruppen "Erkenntnisse" und "Verfahren", weniger für "Einrichtungen" und "Materialien" zu. Für die Gruppe "Materialien" ist es bis zu einem gewissen Grade möglich, eine allgemeingültige Systematik der Eigenschaften aufzustellen und mit ihrer Hilfe die einzelnen Materialien zu charakterisieren beziehungsweise zu definieren. Ein Entwurf einer dafür geeigneten Karteikarte ist dem Bericht als Anlage 5 a beigegeben. Die Systematisierung und damit die Möglichkeiten der maschinellen Datenverarbeitung beschränken sich daher mehr oder weniger auf eine begriffliche Einordnung der Fälle in eine Systematik, auf eine Erfassung der Anwendungsbereiche und der Herstellungs- beziehungsweise Urheberbereiche sowie auf generelle Aussagen über den Entwicklungsstand oder die Produktionsreife. Diese Informationen sind systematisiert worden und können aus den in Punkt 224 beschriebenen Karteikarten in Lochkarten, Sichtlochkarten oder andere Speichersysteme übernommen werden.

## 222 Suchnummernsystematik

Für die systematische Einordnung der Fälle im oben geschilderten Sinne wurde zunächst eine Nummernsystematik entwickelt (Anlage 1), die dazu bestimmt ist, unter den genannten vier Hauptgruppen (weitere Hauptgruppen können hinzugefügt werden, sofern sich ein Bedarf dafür ergibt) alle Begriffe, die in irgendeiner Weise

mit der Kerntechnik in Verbindung gebracht werden können, nach logischen Zusammenhängen zu klassifizieren. Die in der Systematik angewandten Ordnungssysteme sind nicht für alle 4 Hauptgruppen einheitlich aufgebaut, da es in der Regel nicht gelingt, mehrere willkürlich zusammengetragene Begriffe nach gemeinsamen Gesichtspunkten zu ordnen. So wurde bei der Ausarbeitung der Hauptgruppe 1 (Erkenntnisse) weitgehend die allgemeine Dezimalklassifikation (Universal Decimal Classification) zugrundegelegt.

Der die Materialien betreffende Teil der Systematik wurde in Ermangelung einer geeigneten, bereits bestehenden Grundlage aus einer Vielzahl von Stoffgliederungen zusammengesetzt und in weiten Bereichen ergänzt. Bei Überschneidungen innerhalb gewisser Klassen wurde so verfahren, daß diese Klassen zwar noch einmal aufgeführt wurden, aber mit Hinweis auf die andere Zugehörigkeit.

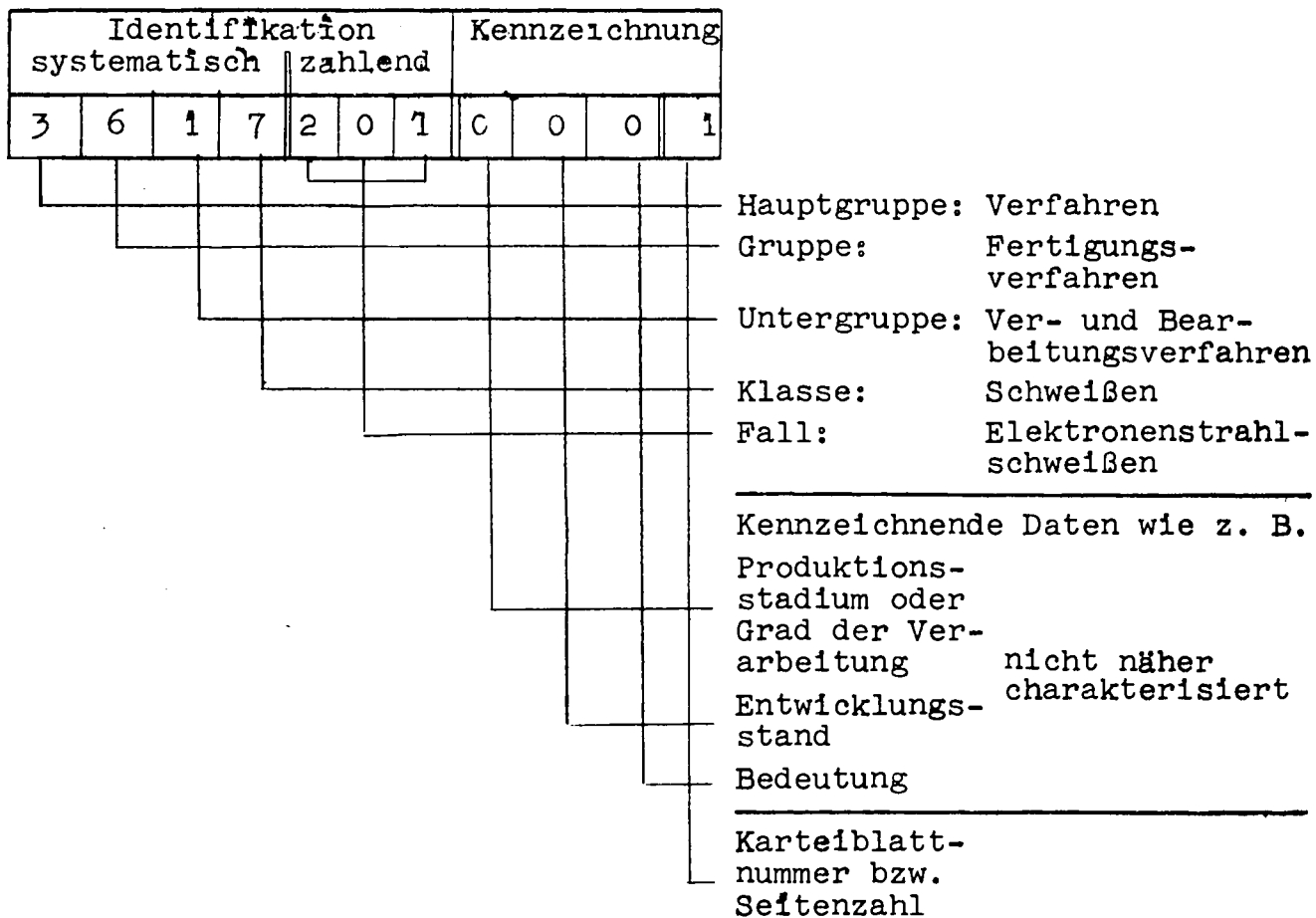
Die Hauptgruppen 3 (Verfahren) und 4 (Geräte) wurden in Anlehnung an die DECHEMA-Empfehlungen für eine systematische Klassifikation von Verfahren und Apparaten aufgebaut.

Dieser "systematische Suchnummern-Katalog" wurde so weit entwickelt, daß alle Fälle der Fall-Liste anhand der in ihm enthaltenen Nummern klassifiziert werden können. In einzelnen Bereichen wurde er im Hinblick auf mögliche spätere Fälle weiter ausgebaut. Dies gilt vor

allem für die Hauptgruppe 1 (Erkenntnisse). Der Katalog enthält außerdem so viele Leerstellen, daß auch Begriffe, die im gegenwärtigen Zeitpunkt unbeachtet geblieben sind oder die noch gar nicht existieren, später eingebaut werden können.

Die Suchnummer, mit deren Hilfe ein bestimmter Fall eindeutig identifiziert wird, besteht aus einer vierstelligen Klassennummer und einer dreistelligen Zählnummer.

Die Klassennummer klassifiziert die Fälle nach den im Suchnummernkatalog aufgeführten Hauptgruppen, Gruppen, Untergruppen und Klassen; die Zählnummer identifiziert einen bestimmten Fall innerhalb der Klasse.





## 223 Systematische Nummernschlüssel der Herstellungs- und Anwendungsbereiche

Weitere systematische Nummernschlüssel wurden entwickelt, um auch die Herstellungs- und Anwendungsbereiche der Fälle in Zahlen verschlüsseln und sie damit einer maschinellen Datenverarbeitung zugänglich machen zu können.

Während zur Gliederung der Herstellungsbereiche eine einheitliche Systematik für Kerntechnik und nicht-nukleare Technik verwendet werden kann, da die Zulieferungen und Leistungen für die nuklearen Einrichtungen durchwegs auch von herkömmlichen Unternehmen erbracht werden, hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die Anwendungsbereiche nach Anwendungen in der Kerntechnik und nach Anwendungen auf nicht-nuklearen Gebieten aufzugliedern und zwei getrennte Systematiken zu verwenden.

Da der Verwender eines Produkts in der Regel selbst Hersteller anderer Produkte ist, lag es nahe, für die Herstellungs- und Anwendungsgebiete eine gemeinsame Systematik aufzustellen und nur die speziellen Anwendungsgebiete der Kerntechnik herauszunehmen und in einer eigenen Systematik zu erfassen.

Durch die gemeinsame Systematik für Herstellungs- und Anwendungsbereiche wird nicht nur die Durchführung der Ver- und Entschlüsselung vereinfacht, sondern auch eine wesentliche Voraussetzung für die Einführung einer Verflechtungsmatrix erfüllt, bei der die auf der Ordinate aufgeführten Herstellerbranchen in derselben Gliederung auf der Abszisse wieder erscheinen (siehe Punkt 51 - Input-Output-Analyse).

Obwohl sich teilweise erhebliche Abgrenzungsschwierigkeiten ergaben, wurde in Ermangelung eines geeigneteren Systems die Systematisierung der herkömmlichen Herstellungs- und Anwendungsbereiche nach Wirtschaftsgruppen und Branchen vorgenommen. Der entsprechende Katalog ist dem Bericht als Anlage 2 beigegeben. Als Grundlage für die Gliederung diente die Systematik der Wirtschaftszweige des Statistischen Bundesamtes. Diese wurde an einzelnen Stellen ausgebaut, um gewisse Sonderbereiche der Herstellungsgebiete, die sich mit Erzeugnissen für die Kerntechnik befassen, eingliedern zu können.

Branchen, die irgendwie im Zusammenhang mit der Kerntechnik stehen, sind in der Systematik bis zu vier Stellen aufgegliedert, während für Bereiche, die für die Kerntechnik im Rahmen der Untersuchung nicht von Belang sind, die Wirtschaftsgruppen nicht weiter aufgegliedert sind. Die Ziffern, die die Unterbranchen bezeichnen, wurden aus praktischen Gründen verschiedentlich umgestellt.

Für die Verschlüsselung der Anwendungen in der Kerntechnik wurde eine detailliertere Systematik, die nach Verwendungsbereichen gegliedert ist, aufgestellt.

Obwohl im Rahmen der Untersuchung nicht in erster Linie die Verwendung in der Kerntechnik interessiert, ist eine datenmäßige Erfassung aller Anwendungen sowohl der im herkömmlichen

Bereich als auch derjenigen im nuklearen Sektor für das Auffinden der erfaßten Informationen von Bedeutung.

Auf der Grundlage der datenmäßigen Speicherung aller Anwendungsgebiete eines jeden Falles könnte von einer Datenverarbeitungsmaschine zum Beispiel folgende Frage beantwortet werden:

Welches Material, das in der Kerntechnik im Kühlkreislauf von gasgekühlten Reaktoren für Rohrleitungen verwendet wird, kommt auch in herkömmlichen Bereichen zur Anwendung und wo?

Will man derartigen Fragestellungen gerecht werden, so kann auf eine detailliertere Systematik der Anwendungsbereiche in der Kerntechnik nicht verzichtet werden.

Für die Aufgliederung der Anwendungen im nuklearen Bereich konnte keine geeignete Grundlage gefunden werden, so daß die dem Bericht als Anlage 3 beigegebene dreistellige Systematik vollkommen neu erarbeitet werden mußte. Es ist wahrscheinlich, daß sich bei Durchführung der datenmäßigen Erfassung Fehlstellen ergeben und Umstellungen erforderlich werden; es wurden indessen auch in dieser Systematik so viele Klassennummern offengelassen, daß für spätere Ergänzungen genügend Platz bleibt.

Eine Ausarbeitung des Statistischen Amtes der Europäischen Gemeinschaften für eine Statistik

der Kernindustrie, die nach der Fertigstellung dieser Systematik erschien, gliedert die Kerntechnik nach ähnlichen Gesichtspunkten. Im Sinne einer Vereinheitlichung einer solchen generellen Gliederung eines aufstrebenden Wirtschaftszweiges wäre vor der Einführung einer datenmäßigen Erfassung der Informationen aus dieser Untersuchung eine Angleichung der beiden Nummernschlüssel zu empfehlen.

#### 224 Karteikarten zur Erfassung und Beschreibung der Fälle

Wie bereits ausgeführt, sind die Informationen über die Fälle zu heterogen, um vollständig systematisch so geordnet werden zu können, daß sie ohne große Schwierigkeiten einer datenmäßigen Erfassung zugänglich sind. Für die Beschreibung der Fälle sind daher vorwiegend textliche Darstellungen erforderlich, für deren Erfassung Karteikarten entworfen wurden (Anlage 5), in die die Informationen, gegliedert nach folgenden Hauptgesichtspunkten, eingetragen werden können:

1. Definition (Kopfleiste)
2. Beschreibung
3. Urheber, Initiator; Hersteller
4. Entwicklungsstand
5. Anwendungsbereiche
6. Auswirkungen technischer, einzelwirtschaftlicher, sozialer und gesamtwirtschaftlicher Art
7. Bedeutung
8. Zahlenmäßige Angaben zur Durchleuchtung der vorangegangenen Punkte

Die Kopfleiste der Karteikarten enthält die Klasse, in der der beschriebene Fall eingeordnet wurde, und die genaue Bezeichnung des Falles.

Außerdem enthält die Kopfleiste die Nummer des Falles, die sich - wie in Punkt 222 beschrieben - aus einer systematischen Klassennummer und einer Zählnummer zusammensetzt, sowie einige Ziffern, die den Fall näher charakterisieren, und eine klartextliche Kurzbezeichnung mit höchstens 20 Buchstaben, die mit in die zum Fall gehörende Lochkarte zu übernehmen ist.

Die danach folgenden Punkte enthalten die weiteren Informationen über den Fall. Da diese Informationen im allgemeinen so umfangreich sind, daß sie nicht auf einer DIN A 4-Karteikarte unterzubringen sind, werden Folgekarten angelegt, und zwar in der Art, daß zu jedem der oben genannten Hauptpunkte mindestens ein Blatt gehört. Die Nummer der Folgekarte erscheint in der Kopfleiste, die für alle Karten gleich bleibt, hinter der Fallnummer.

Diese Gliederung gilt auch für die untersuchten Fälle, die aber aus Gründen der besseren Einfügung in den vorliegenden Bericht nicht in Karteikartenform dargestellt sind.

Für den Fall einer datenmäßigen Erfassung der Herstellungs- und Anwendungsbereiche nach den in 223 dargestellten Gesichtspunkten erscheinen auf der Kopfleiste des ersten Blattes und auf

dem Rand der Punkte 3 und 5 zusätzlich die verschlüsselten Herstellungs- beziehungsweise Anwendungsbereiche, die bei Anfertigung einer Lochkarte dann in diese zu übernehmen sind.

Die zu jedem Fall gehörende Lochkarte hätte dementsprechend fünf Hauptfelder, von denen

- das 1. in 10 Spalten den Fall mittels systematischer Nummer und Zählnummer, eventuell noch einiger Ziffern, die den Fertigungszustand oder dergleichen charakterisieren, definiert;
- das 2. in 20 Spalten den Fall im Klartext nennt, während
- das 3. in 4 Spalten die Herstellerbranche,
- das 4. in 3 Feldern mit je 3 Spalten die Anwendung in der Kerntechnik und
- das 5. in 10 Feldern mit je 4 Spalten die wichtigsten Anwendungen außerhalb der Kerntechnik beschreibt.

Ein Entwurf der Lochkarte ist als Anlage 6 beigefügt.

## 23 Ermittlung und Auswahl der Fälle

### 231 Ermittlung und Katalogisierung aller wesentlichen Fälle

Die Ermittlung der in Anlage 4 zusammengestellten Fälle sowie die Erarbeitung der charakteristischen Merkmale und der Anwendungen stellt einen der wesentlichsten Teile der Untersuchung dar.

Die Aufstellung dieser Fall-Liste hatte zum Ziel, möglichst alle "Fälle" (im Sinne der in Punkt 21 getroffenen Definition) zu erfassen und dadurch einen Überblick zu gewinnen, wo und inwieweit die Kerntechnik in das heutige Wirtschaftsleben und die allgemeine Technik bereits eingedrungen ist beziehungsweise ein Eindringen in absehbarer Zukunft möglich erscheint.

Die ersten Ermittlungen wurden bei Firmen und Institutionen angestellt, die maßgeblich an Entwicklungen und an der Produktion für die Kerntechnik beteiligt sind. Von ihnen konnte am ehesten erwartet werden, daß sie einen guten Überblick über Kenntnisse, Materialien, Verfahren und Einrichtungen aus dem Kernenergiegebiet haben und daß sie auch verfolgen, wo diese Dinge in herkömmlichen Wirtschaftsbereichen zur Anwendung gelangen oder gelangen können. Gleichzeitig wurden Firmenschriften und Veröffentlichungen aus Fachzeitschriften und technischen Informationsblättern ausgewertet.

Die auf diese Weise gefundenen Fälle wurden in einer ersten Fassung der Fall-Liste zusammengestellt und wiederum an Unternehmen, Institutionen und Privatpersonen (insgesamt rund 50) zur Vervollständigung und Berichtigung weitergeleitet. Die eingegangenen Vorschläge führten zu einer Neufassung der Fall-Liste, in die auch die Anregungen aufgenommen wurden, die von mehreren Gruppen von Fachleuten verschiedener Gebiete aus der Industrie und einem Kernforschungszentrum im Rahmen von Round-table-Diskussionen gegeben wurden.

Vor der Zusammenstellung der Liste für den Schlußbericht wurden die dort aufgeführten Fälle anhand einschlägiger Literatur noch einmal überarbeitet. Insbesondere sollte dadurch sichergestellt werden, daß der Einfluß der Kerntechnik auf jeden der angeführten Fälle tatsächlich gegeben ist oder zumindest, daß der Fall einen erheblichen Bedeutungszuwachs durch die Kerntechnik erfahren hat.

Wie bereits erwähnt, sind in der Liste in großen Zügen auch Neuschöpfungen der Kerntechnik aufgeführt, die auf herkömmlichen Gebieten keine Bedeutung erlangt haben und aller Wahrscheinlichkeit nach auch nicht erlangen werden.

Im Verlaufe der Untersuchung wurden rund 350 Fälle ermittelt, die der Definition entsprachen und daher in die Fall-Liste aufgenommen werden konnten.

Eine allgemeine Charakterisierung und Wertung der Übertragung der erfaßten Fälle auf den nicht-nuklearen Bereich wird in Punkt 31 des Berichts gegeben.

## 232 Auswahl und Bearbeitung der näher betrachteten Fälle

Im Verlaufe der Erarbeitung der Fälle in der im vorangegangenen Punkt beschriebenen Weise kristallisierten sich sehr bald solche heraus, in denen sich der Einfluß der Kerntechnik auf



herkömmliche Bereiche von Wissenschaft und Technik eindeutig abzeichnete und für die auch wirtschaftlich gewisse Auswirkungen festzustellen waren. Da aber die Informationen zunächst oft nicht ausreichten, um diese Fälle in ihrer ganzen Breite übersehen zu können, wurde eine Vorauswahl von rund 25 Fällen getroffen, aus denen später neun Fälle ausgesucht wurden, für die die Weiterführung der Untersuchung hinsichtlich der Anwendungsmöglichkeiten für alle Bereiche der konventionellen Wirtschaft unter Berücksichtigung der technischen, sozialen, betriebs- und volkswirtschaftlichen Faktoren (Punkt (d) der Anlage zum Vertrag) sinnvoll erschien.

Um zur Auswahl der neun Fälle zu gelangen, wurden für die interessant erscheinenden Fälle nähere Informationen gesammelt. Aufgrund dieser Ermittlungen wurden einige Fälle der Vorauswahl wieder verworfen, andere neu hinzugekommen. Als schließlich die Fälle, die einer ausführlichen Untersuchung unterzogen werden sollten, feststanden, waren über die näher betrachteten Fälle der Vorauswahl so viele Informationen gesammelt worden, daß es wünschenswert erschien, über den vertragsmäßig festgesetzten Umfang der Untersuchung hinaus für die restlichen 16 Fälle eine Ausarbeitung nach den unten erwähnten Gesichtspunkten durchzuführen, soweit dies anhand der vorhandenen Unterlagen beziehungsweise aufgrund von vorangegangenen Gesprächen mit entsprechenden Fachleuten möglich war.

Die Ergebnisse dieses Teils der Untersuchung sind als Anlage 8 dem Bericht beigegeben.

233 Auswahl und Bearbeitung der eingehend untersuchten Fälle

Aus der ursprünglichen Vorauswahl von rund 25 Fällen wurden zu einem verhältnismäßig frühen Zeitpunkt im Ablauf des Untersuchungsprogramms acht Fälle für eine eingehende Bearbeitung herausgegriffen.

Die Gesichtspunkte, die zur Bestimmung dieser Fälle geführt haben, waren im wesentlichen folgende:

- Vorhandensein von weitreichenden Anwendungen im konventionellen Bereich (hierfür bedurfte es eines guten Überblicks über Einzelheiten des Falles)
- Möglichst breite Streuung der Fälle über sämtliche Bereiche der Technik beziehungsweise Wirtschaft
- Gleichmäßige Aufteilung der Fälle auf die 4 Hauptgruppen Erkenntnisse, Materialien, Verfahren, Einrichtungen
- Zugänglichkeit zu den notwendigen Informationen

Erst im Laufe der Erhebungen und Ausarbeitungen stellte sich heraus, daß in einigen Fällen die Wahl nicht ganz glücklich gewesen ist: Es wurde daher einer der weniger ergiebigen Fälle (Natriumtechnologie) nicht so ausführlich behandelt und dafür als neuer Fall "Kunststoffe auf Fluor-Kohlenstoff-Basis" in die Untersuchung einbezogen.

Die Beschreibung dieser eingehend untersuchten Fälle ist ebenfalls nach den Punkten der Kartei-

karte gegliedert. Die Unterpunkte richten sich nach der Art des Falles, sind jedoch nach einem einheitlichen Schema aufgebaut:

- 1 DEFINITION
  - 1.1 Klasse
  - 1.2 Bezeichnung
  
- 2 BESCHREIBUNG
  - 2.1 Historische Entwicklung
  - 2.2 Aufbau beziehungsweise technische Darstellung
  - 2.3 Charakteristische Eigenschaften
  
- 3 URHEBER, HERSTELLER
  - 3.1 Urheber/Ursprung
  - 3.2 Hersteller
  - 3.3 Umfang der Produktion
  
- 4 ENTWICKLUNGSSTAND
  - 4.1 Heutiger Stand
  - 4.2 Zukünftige Entwicklung
  
- 5 ANWENDUNG
  - 5.1 Allgemeines
  - 5.2 Anwendung in der Kerntechnik
  - 5.3 Anwendung in herkömmlichen beziehungsweise nicht-nuklearen Wirtschaftsbereichen
  
- 6 AUSWIRKUNGEN
  - 6.1 Allgemeines
  - 6.2 Substitution
  - 6.3 Einzelwirtschaftliche Auswirkungen
  - 6.4 Auswirkungen im sozialen Bereich und im Personalsektor

- 6.5 Firmenverflechtungen und Zusammenarbeit von Firmen und Institutionen, bedingt durch den Einfluß der Kerntechnik
- 6.6 Gesamtwirtschaftliche Auswirkungen
  
- 7 WERTUNG DER BEDEUTUNG DES FALLES FÜR DEN NICHT-KERNTÉCHNISCHEN BEREICH
  
- 8 ZAHLENMÄSSIGE ANGABEN ZUR DURCHLEUCHTUNG DER VORANGEGANGENEN PUNKTE

Für die Bearbeitung der Fälle nach diesem Schema wurden - nach einer Vorbereitung zum Zwecke des technischen Verständnisses anhand einschlägiger Literatur - bei Herstellern und Anwendern Erhebungen angestellt. Dafür wurden gezielte Fragen vorbereitet und in einem Fragenkatalog zusammengestellt.

Mit einigen auf den jeweiligen Fall abgestellten Änderungen konnte der Fragenkatalog für die Erhebungen sowohl bei den Herstellern als auch bei den Verwendern benutzt werden. Mit den Fragen nach Art und Umfang der Zulieferungen und des Absatzes bei Zulieferern und auch Verwendern konnte festgestellt werden, ob und inwieweit die Befragungen auf weitere vor- oder nachgelagerte Stufen auszudehnen waren.

Schwierigkeiten ergaben sich bei der Beantwortung von Fragen, die auf interne Firmenbelange sowie auf die Kalkulation abzielten. Bei keinem der befragten Hersteller konnten Angaben über Wertschöpfung je Beschäftigten oder andere Zahlen betriebsinterner Kalkulation mit solcher Genauigkeit festgestellt werden, daß gegebenenfalls aus dem Unterschied zu den entsprechenden Werten ähnlicher herkömmlicher Produkte Rückschlüsse

auf betriebswirtschaftliche Tatbestände gezogen werden können.

Derartige Erfahrungen bei den ersten Erhebungen ließen es angeraten erscheinen, den Fragenkatalog neu zu fassen und die Fragen, die sich auf Umsatz und Wertschöpfung bezogen, fortzulassen.

Bei der Durchführung der Erhebungen wurden die Befragten um Auskunft gebeten, ob bei der Nichtbeantwortung einer Frage die Antwort aus firmeninternen Gründen nicht gegeben werden kann oder ob eine Antwort nicht bekannt ist. Es wurde festgestellt, daß nach Auslassung der Fragen nach absoluten Umsatzzahlen und Wertschöpfung keinerlei Informationen mehr bewußt zurückgehalten wurden. Wohl aber zeigte es sich, daß die Befragten oft nicht in der Lage waren, auf bestimmte Fragen Antwort zu geben. Schwierigkeiten ergaben sich insbesondere bei der Frage nach

- den Verwendern auf nachgelagerten Produktionsstufen und
- dem Verwendungszweck bestimmter Materialien (zum Beispiel wurden einem der befragten Hersteller von seinem Kunden lediglich die zu erfüllenden Spezifikationen angegeben)
- Investitionsvorhaben und Umsatzerwartungen (zur Zeit der Erhebungen im 2. Halbjahr 1966 bestanden wegen der konjunkturellen Lage zum Teil nur kurzfristige Investitionspläne, zum Teil waren die Investitionen im Fallsektor gestoppt; Auskünfte über längerfristige Umsatzerwartungen wurden mit dem Hinweis auf die ungewisse konjunkturelle Entwicklung von einigen befragten Firmen abgelehnt)

- Auswirkungen auf sozialem Gebiet und dem Personalsektor (über die Einflüsse, die die Kerntechnik in diesen Bereichen ausübt, sowie über die erfolgten beziehungsweise notwendig werdenden Umstrukturierungen sind sich die Firmen selbst in der Regel noch nicht im klaren. Hier wären umfangreiche Erhebungen in den Firmen - zum Beispiel an den Arbeitsplätzen - erforderlich gewesen, was aber im Rahmen der Studie nicht vorgesehen war (vergleiche Punkt 43)

Einigen dieser Schwierigkeiten konnte dadurch begegnet werden, daß mehrere Informationsquellen parallel erfaßt wurden - mindestens ein Anwender und zwei Hersteller beziehungsweise zwei Anwender und ein Hersteller.

Offensichtliche Widersprüche in Aussagen von zwei verschiedenen Seiten konnten in keinem Falle festgestellt werden.

31 Häufigkeitsverteilung der durch die Kerntechnik beeinflussten Anwendungen der erfaßten Fälle

Die in Anlage 4 zusammengestellten Fälle sind mit einer kurzen Charakteristik und einer Aufzählung der wichtigsten Anwendungen in der Kerntechnik und im nicht-kerntechnischen Bereich versehen. Eine Auswertung hinsichtlich der Auswirkungen in technischer, wirtschaftlicher oder sozialer Hinsicht dieser etwa 350 Fälle ist - soweit das dafür notwendige Wissen über die Fälle vorlag - mit in den Punkt 4 (zusammenfassende Wertung) übernommen worden.

An dieser Stelle soll hingegen versucht werden, symptomatische Aussagen über Schwerpunkte der Fälle beziehungsweise ihrer Anwendungsgebiete zu machen. Dabei muß die einschränkende Bemerkung vorangestellt werden, daß die aufgeführten Fälle nicht gleichförmig sind, sondern aus den unter Punkt 21 genannten Gründen teils stärker untergliedert, teils in größeren Bereichen von Einzelfällen zusammengefaßt sind. Zudem kamen in dem Ausmaß der Bearbeitung der einzelnen Bereiche natürlich auch die fachlichen Schwerpunkte der Bearbeiter in einem gewissen Grad zum Ausdruck.

Als Klassifizierungsgrundlage für die überschlägige Auszählung der Anwendungshäufigkeiten wurde noch nicht die für die datenmäßige Erfassung bestimmte Gliederung (gemäß Anlage ) verwendet, sondern eine

auf der im Vertrag (Punkt 3 - 3, Anlage ) genannten Aufgliederung basierende einfache Gliederung der Industrie- und Wirtschaftsgruppen in 9 Gruppen.

Um zu exakteren und aussagefähigeren Ergebnissen zu kommen, müßten die Anwendungsbereiche möglichst vollständig und detailliert anhand der Anwendungssystematik verschlüsselt und datenmäßig erfaßt werden, zum Beispiel durch Übernahme in Lochkarten, die dann aufgrund spezieller Kriterien sortiert werden müßten. Die Grundlagen für eine derartige Datenverarbeitung wurden im Verlauf der Untersuchung erarbeitet; doch geht die praktische Durchführung über den Rahmen dieser Studie hinaus. Es sind daher für die folgende Darstellung nur jeweils die Hauptanwendungsgebiete der einzelnen Fälle im nicht-kerntechnischen Bereich berücksichtigt worden.

Als ein wesentliches Ergebnis der Studie kann angesehen werden, daß für die meisten Entwicklungen (zirka 90 %), die im Zusammenhang mit der Kerntechnik getätigt oder durch sie vorangetrieben wurden, eine Übertragung auf nicht-nukleare Gebiete von Technik und Wissenschaft erfolgt ist oder sich zumindest Übertragungsmöglichkeiten abzeichnen und Rückwirkungen technischer und wirtschaftlicher Art ergeben (zum Beispiel durch analoge Übertragungen von Entwicklungen auf anderen Gebieten, durch Preisdegressionen und so weiter).

#### E r k e n n t n i s s e

Die Erfassung der Fälle aus dieser Gruppe bereitete außerordentliche Schwierigkeiten, weshalb sie



schließlich mit Einverständnis des Auftraggebers bis auf wenige Beispiele zurückgestellt wurde. Die in der "Fall-Liste" zusammengestellten Beispiele betreffen vornehmlich die Naturwissenschaften (Physik, Biologie, Chemie).

## M a t e r i a l i e n

Eine Auszählung der Häufigkeiten der in der Fall-Liste aufgeführten nicht-nuklearen Anwendungsbereiche fällt bei den Materialien eindeutig zugunsten der Anwendungen im Chemiesektor aus.

Die nächsthäufigere Anwendung von Materialien der Kerntechnik findet sich im Maschinenbau; in dritter Linie kommen speziell Materialien in der Elektrotechnik beziehungsweise Elektronik zur Anwendung. Eine große Bedeutung haben neue Werkstoffe auch auf dem Gebiet des Fahrzeug- und Luftfahrzeugbaues (hier speziell für die Raketentechnik) sowie für medizinische Anwendungen, wenngleich letztere in ihrer Häufigkeit zahlenmäßig nicht hervortreten, da die Anwendungsgebiete als solche weniger breit gestreut sind.

## V e r f a h r e n

In dieser Gruppe sind nicht nur Verfahren im Sinne der Verfahrenstechnik der Chemie und Metallurgie mit aufgenommen, sondern auch Meß- und Prüfmethode, Fertigungstechniken, das "know how" um bestimmte Werkstoffe und Medien sowie routinemäßige Vorgänge auf allen Gebieten der technischen und

naturwissenschaftlichen Bereiche, also auch Methoden der Datenverarbeitung, Prüfverfahren und dergleichen.

Trotz einer solchen Ausweitung des Begriffs "Verfahren" finden die meisten der in dieser Gruppe eingeordneten Fälle auf denjenigen Gebieten der nicht-kerntechnischen Branchen Anwendung, die man bereits auf den ersten Blick als prädestiniert für eine starke Beeinflussung durch neue Verfahren ansieht: Chemie und Metallurgie sind diejenigen Bereiche außerhalb der Kerntechnik, in denen sich die meisten der ursprünglich für die Kerntechnik entwickelten oder vervollkommneten Verfahren in neuen Anwendungen niedergeschlagen haben. Es ist dabei vielfach kaum möglich, eine scharfe Grenze zwischen diesen beiden Bereichen zu ziehen, da chemische Prozesse in der Metallurgie bestimmter Metalle (Uran, Zirkonium) genau so angewendet werden wie in der Großchemie (so zum Beispiel die Solventextraktion).

Die nächststärker vertretenen Anwendungen kerntechnischer Verfahren im nicht-nuklearen Bereich verteilen sich auf den Maschinen- und Stahlbau und auf die Elektrotechnik. Die restlichen Anwendungen sind ziemlich gleichmäßig über sämtliche Wirtschaftsbereiche gestreut.

## E i n r i c h t u n g e n

Die meisten der festgestellten Anwendungen und damit die stärksten Einflüsse finden sich auch hier wieder in der chemischen Industrie und ihren Randgebieten und in zweiter Linie in der Elektrotechnik und im Maschinen- und Stahlbau.

Eine sehr große Rolle spielen auch Geräte und Apparaturen, die für spezielle Bedürfnisse in der Kerntechnik entwickelt wurden beziehungsweise deren Konstruktion erst aufgrund von kerntechnischen Erkenntnissen möglich war und die auf den verschiedensten Gebieten der Forschung in Physik, Chemie, Biologie und Medizin zur Anwendung gelangen. Hier sind an erster Stelle Geräte zu nennen, bei denen mittels Strahlungen marko- oder mikroskopische Zustände beziehungsweise Vorgänge erfaßt werden können.

### 32 Kurzfassung der eingehend untersuchten neun Fälle

Im folgenden sind die Ergebnisse der für die eingehende Untersuchung ausgewählten neun Fälle in einer Kurzfassung aufgeführt; ihre ausführliche Behandlung ist im Anlagenteil 7 niedergelegt.

Anhand der ausgewählten neun Fälle, denen das Kriterium des Vorhandenseins weitreichender übertragener Anwendungen (siehe Punkt 233) zukommt, wurde eine Analyse der technischen und in erster Annäherung auch wirtschaftlichen und sozialen Auswirkungen ihrer Anwendung in den konventionellen Bereichen durchgeführt. Das zur Verfügung stehende Informations- und Zahlenmaterial ließ jedoch nur Teilschlußfolgerungen zu, da viele indirekten Einflüsse nicht quantifizierbar waren.

## 321 Erkenntnisse

- 321.1 Unfallanalysen, dargestellt am Beispiel des Denkmodells des größten anzunehmenden Unfalls (MCA-Analyse)  
- siehe hierzu Anlage 7 - 1.

In Deutschland wurde zum ersten Mal eine Unfallanalyse nach dem aus den USA übernommenen Modell des größten anzunehmenden Unfalls bei der Planung und Errichtung des ersten deutschen Kernreaktors angewendet.

Das MCA- (maximum credible accident) Konzept wurde Anfang der fünfziger Jahre entwickelt, das heißt in der Zeit der Errichtung von Forschungsreaktoren und kleineren Leistungsreaktoren für nicht-militärische Anwendungen. Der größte anzunehmende Unfall (in Deutschland GAU abgekürzt), ist ein Denkmodell für die Beurteilung der Sicherheit von Atomanlagen, das ein Schadensereignis von minimaler Wahrscheinlichkeit und maximaler radiologischer Auswirkung postuliert. Die Ergebnisse der MCA-Analyse bilden die Richtschnur für Vorkehrungen, die für die Sicherheit einer Atomanlage zu treffen sind.

Die kollektiv-psychologische Einstellung zu atomaren Risiken, die aus der Furcht vor einer Gefährdung der individuellen und kollektiven Existenz resultiert, deutet auf den Ursprung einer methodischen Beschäftigung mit Unfall-Analysen im allgemeinen hin, die nicht nur auf die Kerntechnik beschränkt sind, sondern auch in andere moderne Techniken Eingang gefunden haben. Das Denkmodell des MCA ist nur ein Aspekt davon und wird besonders eingehend diskutiert.

Eine Weiterentwicklung des MCA-Modells wird vor allem wegen der Subjektivität der bestehenden Annahmen für notwendig gehalten. Aus diesem Grund ist für 1968 in den USA eine experimentelle Auslösung eines MCA-Ereignisses vorgesehen, um dem Konzept realistischere Annahmen zugrundelegen zu können.

Eine sinnvolle Übertragung des MCA-Modells auf nicht-kerntechnische Bereiche wäre überall dort denkbar, wo durch Errichtung oder Betrieb einer Anlage eine größere Anzahl von unbeteiligten Personen gefährdet wird. Angestrebt wird eine alle Bereiche der Technik objektiv beurteilende Sicherheitsphilosophie, die sowohl Arbeits- als auch Umgebungsschutz beinhaltet. Die stärksten Impulse gehen jedoch nach wie vor von der Kerntechnik aus, und ein dort erarbeitetes System kann durchaus für die konventionelle Industrie interessant und anwendbar werden.

## 322 Materialien (Werkstoffe, Arbeitsmedien und andere Stoffe)

### 322.1 Zirkonium und Zirkoniumlegierungen - siehe hierzu Anlage 7 - 2.

Zirkonium ist ein silbrigglänzendes Metall, das sich im Laufe der Zeit durch Bildung einer Oxydschicht an der Oberfläche schwarzgrau färbt. Bis vor etwa 25 Jahren spielte es noch eine untergeordnete Rolle hauptsächlich wegen der Schwierigkeit seiner großtechnischen Reindarstellung und der damit verbundenen hohen Kosten.

Der besonders niedrige Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen sowie die relativ gute Korrosionsbeständigkeit, Festigkeit und Duktilität machten Zirkonium und seine Legierungen für eine Anwendung in der Kerntechnik interessant. An der Vervollkommnung und Entwicklung weiterer Zirkoniumlegierungen wird gearbeitet, wobei man auch die noch bestehenden Verarbeitungsschwierigkeiten zu mindern sucht.

Aufgrund der ermittelten speziellen Eigenschaften des Materials und seiner Legierungen nimmt die Bedeutung für nicht-kerntechnische Bereiche zu, und auf den verschiedensten Gebieten lassen sich bereits Anwendungen verzeichnen. Allerdings muß aus der bisher noch verhältnismäßig geringen Zahl von Anwendungsfällen und

den unbedeutenden Mengen von Zirkonium für Verwendungen außerhalb des Reaktorbaus geschlossen werden, daß die technische und wirtschaftliche Bedeutung dieses Werkstoffs weitgehend noch nicht erkannt ist.

Preisvergleiche mit ähnlichen Materialien zeigen, daß die Preisgestaltung für die zukünftigen Entwicklungsmöglichkeiten und eventuelle Substitutionen von ausschlaggebender Bedeutung sein wird.

### 322.2 Kunststoffe auf Fluorkohlenstoffbasis - siehe hierzu Anlage 7 - 3.

Bei den Fluorkohlenstoff-Kunststoffen handelt es sich um halogenisierte Kohlenwasserstoff-Derivate, die zu langkettigen Molekülen polymerisiert sind.

Die Polymerisationsfähigkeit organischer Fluorverbindungen wurde in den 30er Jahren entdeckt, fand jedoch zunächst keine weitere Beachtung, bis man Ende der 30er Jahre durch Zufall wieder darauf stieß. Die ersten Anwendungen des neuen Materials erfolgten während des 2. Weltkrieges für kerntechnische Zwecke. Aufgrund der chemischen Unempfindlichkeit sowie weiterer besonderer Eigenschaften der Kohlenstoff-Kunststoffe führten die Entwicklungsarbeiten bald zu neuen Anwendungen auch außerhalb des kerntechnischen Gebiets. Die Vielfalt der Verwendungsfälle in fast allen Bereichen der Technik spricht dafür, daß ihre Bedeutung bereits allgemein erkannt wurde.

Ein starker Nachfrageanstieg dürfte für die kommenden Jahre zu erwarten sein, obgleich die Fluorkohlenstoff-Kunststoffe wegen ihres im Verhältnis zu anderen vergleichbaren Materialien noch hohen Preises auf lange Sicht hauptsächlich technischen Anwendungsgebieten vorbehalten bleiben dürften.

Das neue Material konnte auf vielen Gebieten hergebrachte Werkstoffe substituieren. Eine größere Rolle spielt jedoch die Verdrängung ganzer Konstruktionseinheiten aufgrund der Verwendung von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen oder gar die Schaffung ganz neuer Anwendungsbereiche. Entscheidend für zukünftige Entwicklungen auf diesem Sektor wird die Preisgestaltung sein sowie auch die Überwindung gewisser noch bestehender Verarbeitungsschwierigkeiten.

### 322.3 Siliconkautschuk - siehe hierzu Anlage 7 - 4.

Siliconkautschuk ist eine organische Siliziumverbindung, bei der durch gewisse chemische Strukturen und durch Polymerisation auf der Grundlage einer Si-O-Si-Kette elastische Körper zustandekommen. Der elastische Zustand wird erst nach Formgebung durch den Vorgang der Vernetzung erzeugt, der in seiner Wirkung mit dem Vulkanisieren des Kautschuks mit Schwefel vergleichbar ist.

Die Entwicklung des Materials begann vor etwa 35 Jahren; es gewann jedoch erst im 2. Weltkrieg besondere Bedeutung, als sich seine Überlegenheit gegenüber anderen Gummiarten hinsichtlich mechanischer und elektrischer Eigenschaften sowie seiner Strahlenbeständigkeit ab etwa 100 ° C herausstellte. Die besonderen Eigenschaften des Siliconkautschuks ließen ihn unter anderem als Material für verschiedene Zwecke in der Kerntechnik geeignet erscheinen.

Siliconkautschuk hat sich im Laufe seiner Entwicklung und Vervollkommnung aber auch in vielen Bereichen außerhalb der Kerntechnik durchsetzen können, und die Produktion für nicht-kerntechnische Anwendungen stellt heute ein Vielfaches derjenigen für den Nuklearsektor dar. Die Entwicklung auf diesem Gebiet geht weiter, vor allem in der Anpassung des Siliconkautschuks an neue Anwendungsbereiche.

Der Anteil der direkten Substitution von hergebrachten Werkstoffen ist vorerst noch sehr gering; einige Beispiele konnten jedoch ermittelt werden. Weit bedeutender sind aber die Substitutionen ganzer Vorgänge beziehungsweise Konstruktionen, die zum Teil erst durch die Einführung des Siliconkautschuks möglich wurden.

Aufgrund von Preisvergleichen mit ähnlichen Werkstoffen wurde festgestellt, daß die Preise für Siliconkautschuk noch sehr hoch liegen und aus diesem Grunde eine stärkere Verbreitung dieses Materials gehemmt wird.

### 323 Verfahren (Methoden, Techniken, Technologien)

#### 323.1 Elektrische Hochenergieverformung - siehe hierzu Anlage 7 - 5.

In der Praxis werden zwei grundsätzlich verschiedene Wege der elektrischen Erzeugung höchster Drücke auf begrenztem Raum beschritten, um dadurch die spanlose Verformung eines Mediums zu erreichen: die hydroelektrische Umformung und die elektromagnetische Umformung.

Die Kenntnisse über elektrische Hochenergieverformung liegen vor den Anfängen der Kerntechnik, da bereits seit Ende der 30er Jahre die Auswirkungen von Schockwellen labormäßig erforscht wurden. Ihre Nutzung als "Werkzeug" steht im Zusammenhang mit der Entwicklung von Stoßstromanlagen zur Erzeugung von Hochtemperaturplasmen in der Plasmaphysik. Der Einsatz erfolgte zunächst in der Raketen- und Reaktortechnik.

Der Anwendungsbereich des Verfahrens ist vielseitig und nicht nur auf die Umformtechnik allein beschränkt. Trotz dieser Tatsache ist die Verwendung von Hochenergieverformungsgeräten in konventionellen industriellen Bereichen bisher über



das Versuchsstadium nicht hinausgelangt, da zur Zeit noch Lizenzverhandlungen geführt werden. Die Vorstellungen über die künftige Marktsituation sind sehr optimistisch; der Umfang der Anwendung des Verfahrens wird jedoch weitgehend auch von einer entsprechenden Kundenberatung beeinflußt sein, da vorerst noch eine gewisse Reserviertheit hinsichtlich der Aufnahme des Verfahrens in den Produktionsprozeß festzustellen ist.

### 323.2 Elektronenstrahl als Werkzeug Beispiel: Elektronenstrahlschweißen - siehe hierzu Anlage 7 - 6.

Die Tatsache, daß ein Großteil der Energie von Elektronenstrahlen, die auf ein Target auftreffen, in Wärme umgewandelt wird, entdeckte man bereits um die Jahrhundertwende. Einige Jahre später wurde die Nutzung von Elektronenstrahlen als Wärmequelle zum Patent angemeldet. Über die Elektronenstrahlmikroskopie kam man in labormäßigen Untersuchungen zur Entwicklung des Elektronenstrahls als Bohr-, Schneid- und Schweißwerkzeug und Anfang der 50er Jahre zur technischen Realisierung des Elektronenstrahlschweißens.

Das Kernstück eines Elektronenstrahlschweißgerätes ist die "Kanone", ein Hochspannungs-Linearbeschleuniger. Mit Hilfe eines Magnetlinsensystems lassen sich die Elektronenstrahlen bündeln und auf einen Punkt des Werkstücks fokussieren. Der Schweißvorgang erfolgt in einer Vakuumkammer.

Die ersten Anwendungen des Elektronenstrahlschweißens, die über den labormäßigen Maßstab hinausreichen, sind in der Kerntechnik und in der Raumfahrtindustrie zu finden.

Die Einsatzmöglichkeiten des Elektronenstrahlschweißens sind vielseitig und reichen von Mikroschweißungen an elektronischen Bauteilen bis zu Schweißverbindungen im Schwermaschinenbau. Die besonderen Eigenschaften des Verfahrens machen Konstruktionen möglich, die mit herkömmlichen Schweißverfahren

nur schwer verwirklicht werden konnten; außerdem sind höhere Fertigungsqualitäten und wesentliche Kostensenkungen erreichbar.

Für das Verfahren sind sehr positive Entwicklungsmöglichkeiten zu erkennen, wobei eine weitere Verbreitung von der Fähigkeit des Herstellers bestimmt sein wird, potentiellen Anwendern Problemlösungen anzubieten. Die bisherigen effektiven Anwendungen sind sehr gering, nicht nur bedingt durch die Neuartigkeit des Verfahrens, sondern zum Teil wohl auch durch die erheblichen Investitionskosten.

### 323.3 Flüssigmetalle als Wärmeübertragungsmittel Beispiel: Natrium - siehe hierzu Anlage 7 - 7.

Natrium fand seine erste technische Anwendung bereits 1854; Vorschläge, das Metall als Wärmetransportmittel zu verwenden, gehen bis in die zwanziger Jahre dieses Jahrhunderts zurück. Die Einführung des Materials beziehungsweise der Natrium-Kalium-Legierung als Kühlmittel in der Kerntechnik erfolgte 1950, nachdem es bereits zuvor in kleinerem Ausmaß Anwendungen auf nicht-kerntechnischen Gebieten gegeben hat. Die Anwendung des Natriums und der Natrium-Kalium-Legierung als Wärmeübertragungsmittel ist auf eine Reihe vorteilhafter Eigenschaften dieser Flüssigmetalle zurückzuführen; jedoch bestehen besondere Probleme in ihrer Handhabung.

Im Zusammenhang mit der Flüssigmetall-Technologie ging die Entwicklung bestimmter Kreislaufkomponenten ihre eigenen Wege, und ausgedehnte konstruktive Entwicklungsarbeiten waren notwendig, um im Umgang mit flüssigem Natrium in Zwischenkreisläufen absolute Sicherheit und Funktionstüchtigkeit zu gewährleisten.

Flüssigmetalle als Kühlmittel haben in Europa noch keine Anwendungen außerhalb der Kerntechnik gefunden, obgleich zahlreiche Möglichkeiten dafür ermittelt wer-

den konnten. Für die Entwicklungen in der Zukunft lassen sich keine Aussagen machen, zumal festzustellen ist, daß eine psychologische Hürde existiert, die die Verwendung flüssiger Alkalimetalle entscheidend behindert.

Na- beziehungsweise NaK-Kreisläufe, in denen Natrium oder seine Legierung als Wärmetransportmittel verwendet werden, stellen keine Substitution vorhandener Systeme dar, sondern sind nur Hilfseinrichtungen. Hingegen kann das Flüssigmetall selber andere Wärmeübertragungsmittel ersetzen.

Wirtschaftliche Auswirkungen sind weniger durch das Natrium und seine Herstellung gegeben, sondern beruhen auf den erheblichen Entwicklungs- und Baukosten der für die Flüssigmetallkühlung benötigten Anlagen.

## 324 Einrichtungen (Anlagen, Geräte, Maschinen, Apparate, Bau- und Maschinenelemente)

### 324.1 Stahldruckbehälter

- siehe hierzu Anlage 7 - 8.

Die ersten Druckbehälter als Reaktionsgefäße für großtechnische chemische Prozesse wurden kurz nach der Jahrhundertwende gebaut; im Laufe der Zeit wurden sie für immer höhere Drücke ausgelegt. Doch waren diese Reaktionsgefäße ("Öfen") noch verhältnismäßig klein und entweder mit halbkugelförmigem Boden aus einem Stück geschmiedet oder aus mehreren geschmiedeten und aneinandergeflanschten Zylindern zusammengebaut.

Auf der Grundlage der chemischen Reaktionsgefäße scheint die Entwicklung der Druckbehälter für Siede- oder Druckwasserreaktoren zu beruhen. Ende der 50er Jahre begann man, Reaktorbehälter aus aneinandergeschweißten, geschmiedeten, nahtlosen Ringen (Schüssen) zu bauen, nachdem man vorher solche Behälter aus

längsgeschweißten Blechen gefertigt hatte, die jedoch den Sicherheitsanforderungen auf kerntechnischem Gebiet nicht vollaufgerecht wurden.

Gegenüber den herkömmlichen Druckbehältern ergaben sich für die untersuchten Stahldruckbehälter eine Reihe von Besonderheiten sowohl konstruktiver und fertigungstechnischer Art als auch hinsichtlich umfangreicher Entwicklungsarbeiten auf dem Werkstoffsektor, die noch nicht abgeschlossen sind.

Außerhalb der Anwendung in der Kerntechnik ist der Einsatz solcher Stahldruckbehälter auf anderen Gebieten verhältnismäßig begrenzt; doch konnten verschiedene Möglichkeiten hierfür festgestellt werden.

Von einer Substitution der bislang verwendeten Druckgefäße im eigentlichen Sinne kann nicht gesprochen werden, denn die Reaktordruckbehälter stellen nur eine Weiterentwicklung von Behältern der Hochdruckchemie dar.

Im Gegensatz zu den konkreten Vorstellungen, die über den zukünftigen Absatz von Stahldruckbehältern für die Kerntechnik bestehen, können fundierte Aussagen über einen zu erwartenden Absatz an herkömmliche Bereiche vorerst nicht gemacht werden. Die Untersuchungen lassen jedoch entsprechende Möglichkeiten erkennen.

#### 324.2 Stahlfaltenbälge - siehe hierzu Anlage 7 - 9.

Faltenbälge sind Elemente, die bei geringen Eigenabmessungen durch innere Verformung große Verschiebungen aufnehmen können. Die ziehharmonikaartige Aufwicklung des Materials erlaubt es, bei geringen absoluten Verformungsgraden im gesamten Element beträchtliche Längen - und/oder Winkeländerungen - zu verteilen.

Flexible Metallschläuche wurden bereits vor der Jahrhundertwende hergestellt; sie waren zunächst spiralwellig und wurden erst später zu parallelgewellten Elementen ausgebildet. In den letzten 20 Jahren erfuhr die Entwicklung auf diesem Gebiet einen starken Aufschwung, besonders durch die Verwendung von Edelstählen anstelle von Tombak.

Die heutigen Faltenbälge werden aus längsgeschweißten Stahlrohren durch Einrollen von rotationssymmetrischen Falten bei Rotgluttemperaturen hergestellt. Es bestehen jedoch noch immer fertigungstechnische sowie Werkstoffprobleme, an deren Lösung weiter gearbeitet wird; ebenso konnten Bemühungen um Neuentwicklungen auf diesen Gebieten festgestellt werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Stahlfaltenbälgen sind sehr vielfältig. Auch außerhalb der Kerntechnik konnten diese neuartigen Maschinenelemente infolge der wachsenden Anforderungen an Präzision und Betriebssicherheit in weiten Bereichen Eingang finden, denn sie ermöglichen Konstruktionen, die vorher nicht durchgeführt werden konnten. Eine noch größere Verbreitung dieser Maschinenelemente in konventionellen Bereichen wird weitgehend von den werbewirksamen Argumenten der Hersteller abhängen und deren Vermögen, Problemlösungen anbieten zu können.

### 33 Verzeichnis der 16 näher betrachteten Fälle

Für die nachfolgend aufgeführten Fälle wurde eine - gegenüber der Darstellung in der Fall-Liste - erweiterte Ausarbeitung vorgenommen, wobei in erster Linie die technischen Aspekte und die Anwendungsmöglichkeiten im nuklearen und im nicht-kerntechnischen Bereich untersucht wurden.

Die entsprechenden Ausarbeitungen sind dem Bericht als Anlage (8 - 01 bis 8 - 16) beigegeben.

#### M a t e r i a l i e n

- Graphit  
unter besonderer Berücksichtigung hochdichter Graphitsorten und des Pyrographits (Anlage 8 - 01)
- Keramische Hochtemperaturwerkstoffe  
Oxide, Boride, Karbide (Anlage 8 - 02)
- Cermets  
Mischstoffe von Oxiden, Carbiden, Boriden, Siliciden und Nitriden mit Metallen (Anlage 8 - 03)

#### V e r f a h r e n

- Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung  
dargestellt am Beispiel der elektromagnetischen und magnetischen Verfahren zur Rib- und Fehlerprüfung (Anlage 8 - 04)

- Solventextraktion  
Flüssig-flüssig-Extraktion  
mit Tributylphosphat (Anlage 8 - 05)
- Reindarstellung von Stoffen  
dargestellt am Beispiel des  
Zonenschmelzverfahrens (Anlage 8 - 06)
- Chemische Reaktionen durch  
energiereiche Strahlen  
als Beispiele Strahlen-  
synthese und Kettenbildung (Anlage 8 - 07)
- Plasmaschneiden (Anlage 8 - 08)
- Sterilisation durch energie-  
reiche Strahlen  
Strahlensterilisation unter  
Verwendung von Linearbe-  
schleunigern und Reaktor-  
kreisläufen (Anlage 8 - 09)

#### E i n r i c h t u n g e n

- Vielkanal-Impulshöhen-  
analysator (Anlage 8 - 10)
- Stopfbüchsenlose Kreiselpumpen  
Beispiel Spaltrohrpumpe (Anlage 8 - 11)
- Große Gebläse  
unter besonderer Berücksich-  
tigung gasgelagerter Gebläse  
für gasgekühlte Reaktoren (Anlage 8 - 12)
- Filter zum Abscheiden von  
Schwebstoffen (Anlage 8 - 13)
- Spannbetondruckbehälter in  
Einfach- und Mehrlagenbauweise (Anlage 8 - 14)
- Manipulatoren  
von hand- und von elektroni-  
schen Speichern gesteuerte  
Manipulatoren (Anlage 8 - 15)
- Schnellschlußventile  
Schrägsitzschnellschlußventile  
und Radialschieber (Anlage 8 - 16)

Im folgenden Abschnitt sollen die Ergebnisse der Untersuchung, die über die individuelle Bedeutung der einzelnen Fälle hinausgehen, zusammengefaßt und nach den dabei besonders hervorgetretenen Aspekten betrachtet werden.

Die Ausführungen stützen sich vor allem auf die Ergebnisse der eingehenden Untersuchung der neun Fälle, zu deren Erfassung gezielte Befragungen durchgeführt wurden. Als ergänzende Beurteilungsgrundlage wurden die Aussagen über die übrigen Fälle mit herangezogen.

Darüber hinaus sind aber auch allgemeine Gesichtspunkte und Tendenzen mit aufgeführt, die sich aus den zahlreichen Informationsgesprächen mit Unternehmen und Institutionen, die auf dem Gebiet der Kerntechnik tätig sind, ergaben. Diese Informationen lassen sich nicht immer eindeutig einzelnen Fällen oder Fallgruppen zuordnen, sondern beziehen sich in der Regel auf kerntechnische Auswirkungen insgesamt.

Es liegt im Charakter der Vorstudie, daß verschiedentlich gewisse Lücken oder Unvollständigkeiten in Kauf genommen werden mußten oder manche Zusammenhänge nicht restlos geklärt werden konnten.



41 Arten der kerntechnischen Einflüsse und Beurteilungskriterien für ihre Bedeutung

Es gibt verschiedene Arten kerntechnischer Einflüsse. Am häufigsten ist, daß die konventionelle Wirtschaft Produkte oder Verfahren übernimmt, die

- entweder primär für die Kerntechnik entwickelt und in der Kerntechnik zum erstenmal angewendet wurden
- oder bereits vor den Anfängen der Kerntechnik bekannt, aber wenig beachtet waren und die von der Kerntechnik aufgenommen und in ihrer Entwicklung durch kerntechnische Anwendung vorangetrieben wurden. Dieser Gruppe sind auch solche Fälle zuzuordnen, die nicht durch kerntechnische Anwendungen, sondern mittels Apparaturen und Geräten, die nur in kerntechnischen Forschungsanlagen verfügbar sind, weiterentwickelt werden konnten (zum Beispiel auf dem Gebiet der Plasmaphysik).

Eine weitere Art der Beeinflussung der nicht-kerntechnischen Wirtschaft ist dann gegeben, wenn konventionelle, technisch ausgereifte und marktgängige Produkte oder Verfahren von der Kerntechnik nachgefragt werden, für die jedoch die kerntechnische Anwendung keine Weiterentwicklung bringt und somit der Einfluß der Kerntechnik auf eine Erhöhung von Umsatz und Beschäftigung der Lieferfirmen beschränkt bleibt. Diese Fälle sind in die weiteren Ermittlungen und Erhebungen dieser Studie nicht einbezogen worden.

Auch öffentlich finanzierte Forschungsverträge an Firmen mit kerntechnischen Erfahrungen führen zu direkten oder indirekten Auswirkungen auf die

konventionelle Industrie. Die Ergebnisse dieser Forschungsverträge wurden mit erfaßt, soweit sie im Sinne der Fragestellung der Studie relevant waren. Es war dagegen nicht Gegenstand der Studie, Ausmaß und Wirksamkeit der Förderung seitens der öffentlichen Hand zu untersuchen.

Für eine überschlägige Beurteilung der Bedeutung des Einflusses, den ein Fall (Erkenntnis, Material, Verfahren oder Einrichtung aus der Kerntechnik) auf den nicht-nuklearen Bereich genommen hat, können die folgenden Kriterien gelten:

- Die Häufigkeit der Anwendung, die nach der Zahl der Anwenderfirmen oder nach der Anzahl der technischen Einsatzmöglichkeiten gemessen werden kann. Dabei zeigte es sich, daß einem ersten erfolgreichen Einsatz eines Falles in der Regel bald neue Fälle folgen, und zwar in um so stärkerem Maße, je bedeutender der Fall beurteilt wird.
- Umgesetzte Werte oder Mengen  
Diese Kriterien können zu einer völlig anderen Gewichtung des Einflusses führen als bei einer Beurteilung nach dem Kriterium der Häufigkeit.
- Einsparungen  
Dieses Kriterium hat den Nachteil, daß bei einzelnen Anwendern eingehende betriebliche Erhebungen zur Bestimmung der Einsparungsmöglichkeiten durchgeführt werden müßten.

42 Wertung der kerntechnischen Einflüsse aus wirtschaftlicher Sicht

Ein Teil der in der Kerntechnik beobachteten Neu- und Weiterentwicklungen von Produkten und Verfahren hat sich außerhalb der Marktwirtschaft vollzogen; das gilt vor allem für Entwicklungen auf dem militärischen Sektor, aber auch für die Grundlagenforschung und für einen Teil der angewandten Forschung. Die dafür erforderlichen Finanzmittel werden im allgemeinen nicht nach den Gesichtspunkten einer effektiven oder künftigen Rentabilität eingesetzt.

Bei der Einführung von auf diese Weise entwickelten Produkten und Verfahren in marktwirtschaftlich orientierte, konventionelle Verwendungsbereiche waren spezifische Schwierigkeiten festzustellen. Diese bestehen hauptsächlich darin, daß durch ein von der Kerntechnik beeinflusstes Verfahren oder Produkt oft eine extrem hohe Fertigungsqualität bedingt ist; die konventionellen Anwendungen jedoch verlangen häufig keine derartig hohen Qualitäten, oder der konventionelle Anwender kann aus Wirtschaftlichkeitserwägungen die hohe Qualität nicht im Preis honorieren. Lediglich in den Fällen, in denen einem industriellen Anwender ein kerntechnisches Produkt oder Verfahren bekannt wurde, das weitestgehend der Lösung seines konventionellen Problems gerecht wird, traten keine Schwierigkeiten besonderer Art bei der Übertragung in marktwirtschaftliche Anwendungen auf (zum Beispiel Zirkon als Werkstoff für die Kresolsynthese).

Über Probleme bei der marktwirtschaftlichen Einführung wurde zumeist von solchen Hersteller-Unternehmen berichtet, die in einer ersten Phase Produkte an den kerntechnischen Bereich lieferten und sich dann - in einer zweiten Phase - um die Erschließung von konventionellen Absatzbereichen bemühten. Der Anlaß für solche Bemühungen lag entweder darin, daß der Absatz an den kerntechnischen Bereich bereits zurückging oder stagnierte und damit das Problem der Kapazitätsauslastung auftrat, oder in weitblickenden Anpassungsbemühungen an erwartete Marktentwicklungen.

Angesichts der Schwierigkeit, ein ursprünglich für die Kerntechnik entwickeltes Erzeugnis oder Verfahren einer technischen und wirtschaftlichen Problemlösung eines konventionellen Bedarfsfalles zuzuführen, stehen die Hersteller meistens vor der Notwendigkeit, mit einem hohen Aufwand an eigener Erprobung und Beratung sich den Zugang zu den konventionellen Märkten zu erschließen. Bis die konventionellen Anwender sich zu einer Annahme der angebotenen neuen Problemlösung entschließen, bedarf es im allgemeinen einer langen Vorbereitungszeit.

Marktwirtschaftliche Bereiche können sich am ehesten Großunternehmen erschließen, die in ihren Betrieben über großtechnische Anwendungsmöglichkeiten eigener Produkte verfügen. In solchen Fällen lassen sich einem potentiellen fremden Kunden nicht nur ein technisch ausgereiftes Produkt, sondern auch betriebs-eigene Erfahrungen in der konventionellen Anwendung anbieten. Dabei kommt der im eigenen Betrieb gewonnenen anwendungstechnischen Kenntnis der Hersteller eine besondere Bedeutung zu. Sie trägt dazu

bei, die teilweise auftretenden psychologischen Barrieren gegen Neuerungen allgemein sowie diejenigen, die bei der ersten Einführung von Entwicklungen aus dem Bereich der Kerntechnik entstehen, abzubauen.

Welche Bedeutung dieser Frage beizumessen ist, zeigt sich beispielsweise am Elektronenstrahlschweißen, das im amerikanischen Sprachgebrauch mit "electron beam welding" bezeichnet wird, während die Engländer vorsichtigerweise nur von "dynamic beam welding" sprechen, um jeden Hinweis auf die Kerntechnik zunächst zu vermeiden.

Die genannten Schwierigkeiten beeinflussten die beobachteten Fälle auf ihrem Weg zur konventionellen Marktreife in unterschiedlichem Ausmaß. Sie wurden zum Teil noch durch spezifische, nur den einen oder anderen Fall betreffende Hindernisse verstärkt (zum Beispiel Blockierung der Entwicklung durch Grundsatzpatente, mangelnder Schutz während einer Periode von etwa 4 Jahren der Patentanmeldung und daher Geheimhaltung durch die Firmen, außerdem die Schwierigkeit, Patente für Produkte oder Verfahren zu erlangen, die militärisch genutzt werden), andererseits aber vor allem durch gute Zusammenarbeit zwischen Hersteller- und Anwenderfirmen gemindert.

Die untersuchten Fälle befinden sich in einem sehr unterschiedlichen Stadium der Anwendung im konventionellen Bereich. Die Skala reicht von kürzlich abgeschlossenen Laborversuchen bis zur großtechnischen Anwendung.

Im Gegensatz zu Firmen der chemischen Industrie, die sich im allgemeinen sehr stark um den konventionellen Einsatz von Produkten und Verfahren aus der Kerntechnik bemühen, steht eine Anzahl von Firmen, die die konventionellen Einsatzmöglichkeiten völlig ungenutzt lassen. Es war auffallend, daß einige Firmen mit kerntechnischem Produktionsprogramm den konventionellen Markt unter dem Gesichtspunkt der Absatzchancen für ihre Produkte überhaupt nicht erkundeten. Als besonders erwähnenswertes Beispiel hierfür ist der Fall der Natriumtechnologie zu nennen.

Mit Ausnahme eines Falles (Fluor-Kohlenstoff-Kunststoffe) führten die untersuchten Fälle noch zu keinen Größenordnungen, zum Beispiel im Umsatz, in der Beschäftigung oder bei den Investitionen, die von beachtlichem Umfang sind.

Diese Feststellung schließt jedoch die sich bereits abzeichnende Tendenz nicht aus, daß es als Folge der kerntechnischen Einflüsse zu Umstrukturierungen in Produktionsprogrammen kommen wird und schon strukturverändernde Indikatoren bestehen. Der heutige, teilweise noch unerhebliche Marktanteil der durch die Kerntechnik beeinflussten Verfahren und Produkte ist im Wachsen begriffen. Handelt es sich dabei entweder um eine echte Substitution gleichwertiger Erzeugnisse (wird beispielsweise ein bestehender Kunststoff durch einen anderen substituiert) oder um eine solche in ihrer Beschaffenheit vollständig differierender Erzeugnisse (zum Beispiel Ersatz eines Rollen-

durch ein Kunststoff-Brückenaufleger), so wird diese Entwicklung zulasten des Marktanteils der betroffenen Erzeugnisse gehen.

Aufgrund einer einfachen Auszählung (ohne Wertung) der erfaßten Fälle gliedert sich die Zahl der nicht-kerntechnischen Anwendungen kerntechnischer Entwicklungen so auf, daß die Chemie an erster Stelle steht, gefolgt vom Maschinen-, Stahl- und Fahrzeugbau, weiterhin Elektrotechnik, Dienstleistungen (einschließlich nicht firmengebundener Forschung) sowie metallherstellende Industrie und Bausektor (vergleiche Punkt 31).

Diese Feststellungen unterliegen der Einschränkung, daß nicht alle tatsächlichen Anwendungen erfaßt wurden. Die Firmen der chemischen Industrie gaben zum Beispiel nur sehr zurückhaltend Auskunft. Zunächst wurde von zwei führenden Unternehmen jeder Einfluß der Kerntechnik auf ihr Gebiet verneint, obgleich gerade in der Chemie Fälle mit weitreichenden Auswirkungen gegeben sind, wie sich bei der eingehenden Untersuchung einiger Fälle zeigte.

Andererseits sind in den Branchen mit größerer Informationsbereitschaft verhältnismäßig viele Fälle bekanntgeworden. Ebenso wurden wegen der Fülle des Materials die Gebiete der Elektronik sowie der Meß- und Regeltechnik nur gestreift, so daß die sich bei der Auszählung der erfaßten Fälle ergebenden Schwerpunkte unter den genannten Einschränkungen zu sehen sind.

Betrachtet man das Wachstum der einzelnen Industriebranchen, zum Beispiel gemessen an den Indizes der

Nettoproduktion 1958 und 1965, so zeigt sich, daß die Branchen, die kerntechnisch beeinflusste Anwendungen aufweisen, zwar wachstumsintensiv sind, jedoch nicht zur Spitzengruppe gehören. Eine deutliche Abweichung zeigt der Maschinenbau, der im Vergleich mit anderen Branchen aufgrund des Index als weniger wachstumsintensiv bezeichnet werden kann.

Hingegen entspricht die aufgrund der Auszählung sich ergebende Häufigkeitsverteilung der Anwendungen in den Branchen der Chemie und Elektroindustrie auch den Relationen der Aufwendungen für Forschung und Entwicklung. Gemessen an den Aufwendungen für betriebseigene Forschung und Spenden für Gemeinschaftsforschung stehen Chemie und Elektrotechnik an erster Stelle (nach den Angaben des Bundesberichts Forschung I, Drucksache IV, 2963 des Deutschen Bundestages, 4. Wahlperiode).

43 Wertung der kerntechnischen Einflüsse aus sozialer Sicht

Für die Beurteilung der kerntechnischen Auswirkungen auf den Personalsektor der nicht-nuklearen Wirtschaft wurde versucht, folgende Fragen zu klären:

- Wie groß ist die Zahl der in den Fallsektoren mit der Herstellung, Anwendung beziehungsweise Weiterverarbeitung Beschäftigten, und zeichnen sich Tendenzen für künftige Änderungen ab?



- Unterscheiden sich die Qualifikationsanforderungen an die in den Fallsektoren Beschäftigten von Qualifikationsanforderungen in analogen Bereichen, die nicht von kerntechnischen Einflüssen berührt sind?
- Stellt die Arbeit in den Fallsektoren eine neuartige Tätigkeit dar?
- Unterscheidet sich die Lohn- beziehungsweise Gehaltsstruktur in den Fallsektoren von der Höhe der Einkommen in vergleichbaren, nicht-kerntechnisch beeinflussten Bereichen?
- Unterscheidet sich die Ausrüstung der Arbeitsplätze in den Fallsektoren von vergleichbaren Arbeitsplätzen in herkömmlichen Bereichen (zum Beispiel durch die Investitionen für ihre Ausstattung oder besondere Sicherheitsvorkehrungen)?

Die nachfolgenden Aussagen hierüber beruhen in den meisten Fällen auf Gesprächen mit Personen, die von den befragten Firmen benannt wurden; nur in Ausnahmefällen konnten unmittelbare Beobachtungen (zum Beispiel an den Arbeitsplätzen angestellt werden. Auch ist eine genaue Differenzierung zwischen nuklearen und nicht-nuklearen Bereichen in der Produktion nicht immer möglich, so daß die gemachten Aussagen unter den genannten Hinweisen zu sehen sind. Vielfach ist es auch so, daß die von der Kerntechnik beeinflusste Fertigung beziehungsweise Anwendung noch kaum in den konventionellen Bereich Eingang gefunden haben, so daß nur über den Weg des Analogieschlusses die zu erwartenden Auswirkungen im konventionellen Bereich vorausgesehen werden können.

Im Verlauf der Untersuchung ergab sich, daß die Veränderungen der Beschäftigtenzahlen zwar ein

Indiz für die Dynamik des Fallsektors darstellen können, daß aber aus der Zahl der Beschäftigten nicht unbedingt auf die gegenwärtige Bedeutung eines Falles geschlossen werden kann. Der Grund hierfür liegt zum Teil in den sehr unterschiedlichen Fertigungsprozessen der Fallsektoren (zum Beispiel Chemie und Feinmechanik) und in ihrer nicht vergleichbaren Arbeitsintensität.

Die Zahl der in der industriellen Herstellung und Anwendung Beschäftigten konnte nur in wenigen Fällen genau erfaßt werden, da die mit dem Fallsektor befaßten Abteilungen durch ihn oft noch nicht ausgelastet waren und deshalb für fallfremde Tätigkeiten mit herangezogen wurden. Die Beschäftigten können an demselben Arbeitsplatz mit der Bearbeitung unterschiedlicher Produkte betraut sein oder wechselweise an verschiedenen Arbeitsplätzen eingesetzt werden. Daraus ergeben sich Schwierigkeiten in der Zuordnung der Beschäftigten zu bestimmten Produkten.

Über die zukünftige Entwicklung der Zahl der Beschäftigten ist keine einheitliche, für alle Fälle zutreffende Aussage möglich. Die Erwartungen reichen von einem sprunghaften Anstieg der Beschäftigtenzahl (meist als Folge von Neugründungen) über eine zum Arbeitsvolumen parallel laufende Entwicklung bis zu einer - gemessen am Ausstoß - relativ sinkenden Tendenz. Am häufigsten wird eine zum Auftragsvolumen parallel verlaufende Beschäftigtenzahl für die nächsten Jahre erwartet. Dies ist eine typische Entwicklung für solche Fälle,

die sich erst am Anfang des großtechnischen Einsatzes befinden, das heißt, die entweder noch in einem Stadium der Einzelfertigung sind und daher zum Teil einen erheblichen Anteil an manueller Arbeit aufweisen oder die sich noch im Stadium der Fertigung in kleinen Serien und Chargen befinden, wobei sich noch keine Rationalisierungsmöglichkeiten ergeben.

Das Bild der Qualifikationsanforderungen an die Beschäftigten in den Fallsektoren, das heißt in der Herstellung, Anwendung oder Weiterverarbeitung, zeigt teilweise erhebliche Unterschiede im Vergleich mit den Anforderungen in nicht-kerntechnischen Bereichen beziehungsweise mit Arbeitsplätzen, die durch den Fall substituiert wurden.

Aus der Eigenart der nuklearen oder kerntechnisch beeinflussten Fertigungen und Anwendungen, die besondere Anforderungen an

- Betriebssicherheit
- Präzision
- Sauberkeit

stellen, ergeben sich für die Beschäftigten aller Berufsgruppen (einschließlich der angelernten Kräfte) besonders hohe Anforderungen an den persönlichen Einsatz und an die Einstellung zur Arbeit.

Diese Anforderungen, die sich vor allem auf Gewissenhaftigkeit, Verantwortungsbewußtsein, Sauberkeit (im wörtlichen und übertragenen Sinn), Aufmerksamkeit, Sorgfalt (exaktes Arbeiten) und

Bereitschaft zur Teamarbeit beziehen, werden verschiedentlich als "kerntechnische Mentalität" bezeichnet.

Wenn auch derartige Anforderungen an den persönlichen Einsatz in anderen Tätigkeitsbereichen nicht unbekannt sind, so unterscheiden sie sich hier durch die Häufigkeit ihres Auftretens, das heißt durch die Tatsache, daß sie meistens an alle Beschäftigten und nicht nur an bestimmte Gruppen gerichtet sind. Vor allem besteht ein Unterschied in der Unbedingtheit der Anforderungen. Es wurden Beispiele bekannt, wo Nachlässigkeiten, mangelnde Präzision der Arbeit, Nichtbeachtung der Betriebsanweisungen fristlose Entlassung nach sich gezogen haben. Derartig strikte Anweisungen und kompromißlose Konsequenzen bei ihrer Nichteinhaltung werden auch auf den nicht-kerntechnischen Bereich übertragen, wenn in der Produktion kein Unterschied besteht, ob das zu erstellende Produkt an kerntechnische oder konventionelle Bereiche geliefert wird. Dies ist deswegen nötig, weil man häufig nicht von vornherein weiß, für welchen der beiden Bereiche die Produktion Verwendung findet. Auch ist es außerordentlich schwierig, im gleichen Betrieb auf der einen Seite höchste Qualität und Sauberkeit erreichen zu wollen, während auf der anderen Seite der Einhaltung einer allgemeinen internen Disziplin nicht die nötige Aufmerksamkeit geschenkt wird.

Es hat den Anschein, daß die fachlichen Qualifikationsanforderungen an den einzelnen sich nicht wesentlich von denen vergleichbarer nicht-nuklearer

Bereiche unterscheiden. Soweit durch die technischen Besonderheiten der von der Kerntechnik beeinflussten Produkte höhere fachliche Qualifikationen des Mitarbeiterstabes insgesamt bedingt sind, schlagen sich diese in einem Mehrbedarf an hochqualifizierten Kräften nieder, das heißt, die Beschäftigtenstruktur in den Fallsektoren verändert sich einerseits in Richtung auf einen vermehrten Einsatz von hochqualifizierten Kräften (Naturwissenschaftler, Ingenieure, Techniker und besonders geeignete Facharbeiter), andererseits auf Arbeitskräfte in Tätigkeiten mit kurzfristigen Anlernzeiten.

Hinsichtlich der Ausbildungsstufen der in den Fallsektoren Beschäftigten im Vergleich zu nicht-kern-technischen Bereichen zeichnet sich folgende Entwicklung ab:

Von den wissenschaftlichen Kräften wird je nach Art ihrer Tätigkeit und Stellung im Betrieb neben dem konventionellen Fachwissen, zum Beispiel aus den Gebieten der Physik, Chemie, Elektrotechnik und Maschinenbau, das Wissen von und das Denken in kerntechnischen Zusammenhängen erwartet. Diese Voraussetzungen sind jedoch nur dort gegeben, wo noch ein enger Zusammenhang mit der Kerntechnik besteht.

Es konnte nicht festgestellt werden, ob alle entsprechenden Positionen bereits mit Beschäftigten besetzt sind, die über eine adäquate Vorbildung verfügen.

Es blieb auch die Frage offen, inwieweit die Beschäftigten sich die Kenntnisse im vor- oder zwischenberuflichen Eigenstudium erworben haben oder

ob das Wissen durch berufsbegleitende, betriebliche Ausbildung vermittelt wurde.

Die Ermittlungen ergaben, daß der Anteil der Physiker und Mathematiker in den Fallsektoren besonders hoch ist. Zur Erlangung der speziellen kerntechnischen Qualifikationen gibt es für diese Gruppe Spezialausbildungsstätten an in- und ausländischen Instituten, die im allgemeinen auf dem an den Hochschulen vermittelten Wissen aufbauen.

Von der Gruppe der Ingenieure (grad.) und leitenden Techniker wird das Bewußtsein verlangt, daß ihre Arbeit sogenannten "advanced projects" gilt und von ihrem persönlichen Einsatz die Entwicklung und der Vorsprung vor anderen Bereichen bestimmt ist. Auch für sie gilt die Notwendigkeit des speziellen Wissens über kerntechnische Zusammenhänge. Je nach Art der Anforderungen werden Bewerber mit einer entsprechenden Ausbildung bevorzugt, oder das notwendige kerntechnische Wissen wird den entsprechend qualifizierten Kräften im Laufe der Berufstätigkeit in Spezialkursen oder durch firmeninterne Anleitung vermittelt.

Von den in kerntechnisch beeinflussten Sektoren tätigen Spezialisten wird vielfach neben sehr hohen Fähigkeiten in konventionellen Tätigkeiten auch eine genaue Kenntnis des von der Kerntechnik beeinflussten Teilbereichs gefordert. Diese Kenntnisse werden in der Regel nicht von vornherein in der Vorbildung verlangt, sondern es wird im Rahmen der Tätigkeit in der Firma das spezielle

"know how" vermittelt. Ein Überblick über die Grundlagen der Kerntechnik wird von dieser Beschäftigten-  
gruppe nicht erwartet.

Die angelernten Kräfte in den Fallsektoren besitzen in der Regel keine Kenntnis der Funktionszusammenhänge. Die Anwendung technischer Entwicklungen ist deshalb darauf gerichtet, die Handhabungen so zu vereinfachen, daß sie von angelernten Kräften, die keine Kenntnisse der Zusammenhänge haben, ausgeübt werden können. Dabei tritt die auch in rein konventionellen Bereichen bekannte, aber hier besonders ausgeprägte Erscheinung zutage, daß zum Beispiel die Qualifikationsanforderungen an das Personal für Einrichten und Reparatur der Maschinen, Apparate und Einrichtungen um so höher steigen, je geringer die Anforderungen an das Bedienungs-  
personal sind. Die hier gemachten Aussagen gelten in gleicher Weise auch für angelernte Kräfte in rein kerntechnischen Bereichen.

Für beide Bereiche - für die rein kerntechnischen und für die kerntechnisch beeinflussten Gebiete - ist charakteristisch, daß der Abstand im Wissensniveau zwischen denjenigen, die über Kenntnisse der theoretischen Grundlagen und deren technische Anwendung verfügen, und angelernten Arbeitskräften, denen dieses Wissen fehlt und die lediglich ausführende Tätigkeiten ausüben, besonders groß ist und in einem erheblichen Maß die Unterschiede des Wissensstandes, die in Arbeitsgruppen der übrigen Wirtschaft bestehen, übersteigen kann.

Die in den Fallsektoren bestehenden Unterschiede im Wissensstand haben steigende Tendenz, was indessen auch auf anderen Gebieten der Technik mit neuartigen Produkten (zum Beispiel Elektronik) beobachtet werden kann und als "Polarisierung der Arbeitstätigkeiten" bezeichnet wird. Bezüglich der Entlohnung der in den Fallsektoren Beschäftigten scheint es so zu sein, daß die Arbeiter, von denen höhere Leistungen und besondere Gewissenhaftigkeit und Sauberkeit gefordert werden, höhere Löhne erhalten.

Ebenso werden spezielle Ausbildungen und in Anlernzeiten erworbene Fertigkeiten bei der Entlohnung mit bewertet. Eine übertarifliche Honorierung von Leistungen ist aber nicht fallspezifisch, sondern teils in der jeweiligen Firmenpolitik, teils auch in der allgemeinen Arbeitsmarktsituation begründet.

Auch bei den Gehältern in den Fallsektoren sind Unterschiede möglich. Im allgemeinen liegen die tariflichen Gehälter zumindest in den Herstellerbetrieben über denen vergleichbarer konventioneller Bereiche. Über außertarifliche Gehälter konnten keine Informationen von ausreichender Aussagekraft erlangt werden, denn gerade auf diesem Gebiet besteht eine gewisse Informationszurückhaltung.

Neuartige und vermehrte Sicherheitsvorkehrungen zum Schutze der Beschäftigten sind nur in einigen Fallsektoren erforderlich. Diese Feststellung ist



jedoch mit dem Hinweis zu ergänzen, daß die Anwendung von radioaktiven Isotopen nicht in die vorliegende Untersuchung einbezogen wurde (hier wären in verstärktem Maße neuartige Sicherheitsvorkehrungen festzustellen).

Eine allgemeingültige Aussage über die verschiedenen Sicherheitsvorkehrungen in den Fallsektoren kann nicht gemacht werden, da sie ausgesprochen fallspezifisch sind, wie zum Beispiel beim Umgang mit flüssigem Natrium.

Über psychologische Barrieren, welche die Arbeitnehmer daran hindern könnten, Tätigkeiten in den Fallsektoren mit möglichen Gefährdungen aufzunehmen, machten die Firmen unterschiedliche Angaben: Einige Unternehmen hatten keine Schwierigkeiten, Arbeitskräfte zu gewinnen, während in anderen bekanntgewordenen Fällen spezielle Aufklärungen der Arbeitnehmer erforderlich waren, um Abneigungen gegen teilweise bestehende Risiken und besonders schwierige Arbeitsbedingungen abzubauen.

Das Arbeitsprogramm der vorliegenden Studie sah unter anderem auch die "Aufstellung einer Methodik für weitere eingehendere Untersuchungen über ganze Wirtschaftsbereiche unter Berücksichtigung der Ergebnisse dieser Arbeit" vor. Im Zusammenhang mit den hierfür anzustellenden methodischen Überlegungen ist zu erwägen, ob das in der Vorstudie angestrebte Ziel, die Auswirkungen der Kerntechnik auf die konventionellen Bereiche der Wirtschaft in technischer, betriebswirtschaftlicher, volkswirtschaftlicher und soziologischer Hinsicht sowohl qualitativ als auch quantitativ zu erfassen, auch für Anschlußstudien beibehalten werden sollte. Eine Quantifizierung der Einflüsse ist in erster Linie bei Werkstoffen, Verfahren und Einrichtungen notwendig, weil diese Fallgruppen aus wirtschaftlicher Sicht gesehen Güter darstellen, die mit ihrem wertmäßigen Anteil zur gesamtwirtschaftlichen Struktur beitragen. Die Einflüsse von "Erkenntnissen" (eine weitere Gruppe der Fallsystematik) können aber anhand einer allgemeinen Methodik kaum festgestellt und quantifiziert werden. Hier werden auf die einzelnen Fälle zugeschnittene Untersuchungsmethoden erforderlich sein.

Für die erstgenannten Fallgruppen wäre es denkbar, ihre Einflüsse auf ganze Wirtschaftsbereiche mittels der deduktiven Betrachtungsweise (Schluß vom Ganzen auf das Einzelne) quantitativ zu ermitteln. Ein solches Vorgehen läuft auf die Beobachtung gesamtwirtschaftlicher Daten und ihrer Veränderungen hinaus, um daraus die Einflüsse der Kerntechnik auf nicht-kerntechnische Bereiche abzuleiten.

Diese Methode würde unter der Voraussetzung, daß signifikante Einflüsse der Kerntechnik auf die untersuchten konventionellen Bereiche vorhanden sind, unter anderem die Beantwortung folgender Fragen erlauben:

- Welche Veränderungen sind in den Güter- und Leistungsströmen und damit in den Verflechtungen der Wirtschaftsbereiche durch die Kerntechnik eingetreten?
- Wie groß sind die Veränderungen in gesamtwirtschaftlicher Sicht, und welche Teilbereiche werden davon beeinflußt?
- Welche strukturellen Veränderungen ergaben sich allgemein beziehungsweise innerhalb der jeweiligen Branchen?
- Welche Veränderungen wurden durch Einflüsse der Kerntechnik auf dem Arbeitsmarkt insgesamt oder auf den einzelnen Teilmärkten festgestellt, zum Beispiel in den Beschäftigtenzahlen, den Beschäftigtengruppierungen, der Lohnentwicklung und so weiter?

Voraussetzung für die Anwendung der deduktiven Methode ist, daß mit genügender Zuverlässigkeit aus der Gesamtheit der Veränderungen diejenigen herausgeschält werden können, die eindeutig auf kerntechnische Einflüsse zurückzuführen sind.

Wie die Vorstudie ergeben hat, zeigen sich technische, betriebswirtschaftliche, volkswirtschaftliche und soziologische Auswirkungen der Kerntechnik auf konventionelle Bereiche, soweit letztere unter die der Untersuchung zugrundegelegten Abgrenzungen fallen, bisher nur in weitgestreuten Einzelfällen. Die sich hier abzeichnenden Veränderungen in den Güter- und Leistungsströmen sind zum Teil heute noch so gering, daß sie im Rahmen der Gesamtwirtschaft größenordnungsmäßig

nicht ins Gewicht fallen und durch Deduktion nicht erfaßt werden können. Außerdem besteht bei der deduktiven Betrachtungsweise die Schwierigkeit, nachzuweisen, daß eingetretene Veränderungen wirklich nur auf Einflüsse der Kerntechnik zurückzuführen sind. Aus diesen Gründen ist für weitere Untersuchungen ein Vorgehen nach der deduktiven Methode heute noch nicht möglich.

Um ein umfassendes Bild der Einflüsse der Kerntechnik auf konventionelle Bereiche zu erhalten, müßte bei weiteren Untersuchungen - wie dies auch bei der Vorstudie der Fall war - nach der **i n d u k t i v e n M e t h o d e** (Schluß vom Einzelnen auf das Ganze) vorgegangen werden. Die Untersuchungen hätten allerdings wesentlich umfangreicher als die Vorstudie zu sein, um eine genügende Repräsentanz der Ergebnisse sicherzustellen.

Dieses Verfahren würde die Erhebung einzelwirtschaftlicher Daten durch Ermittlung und Firmenbefragung und daraus abzuleitende Schlußfolgerungen auf wirtschaftliche Teilbereiche oder die Gesamtwirtschaft umfassen. Es könnten unter anderem folgende Fragen beantwortet werden:

- Inwieweit ist ein gegebenes Material, Gerät beziehungsweise Bauteil oder ein Verfahren in seiner Entwicklung von der Kerntechnik beeinflusst?
- In welchem technischen Entwicklungsstadium befindet sich der Fall?
- Welche Anwendungsmöglichkeiten für konventionelle Bereiche bestehen bereits beziehungsweise zeichnen sich für die Zukunft ab?
- Welches Volumen und welche Richtung haben die Zulieferungen, die zur Herstellung des Fallproduktes benötigt werden?

- Welches Volumen und welche Richtung hat der Absatz des als Fall definierten Produktes?
- Welche Beschäftigungseffekte beziehungsweise Möglichkeiten der Einsparung von Arbeitskräften werden durch den Fall verursacht?

Solange die Einflüsse der Kerntechnik, das heißt ihre indirekten Auswirkungen auf die herkömmliche Industrie sich nur in weitgestreuten Einzelfällen zeigen, müßte eine Anschlußstudie mit der Untersuchung der Einzelfälle nach diesen Gesichtspunkten beginnen. Die gesamtwirtschaftliche Bedeutung kerntechnischer Einflüsse kann bei diesem Vorgehen gerade deshalb erfaßt werden, weil dabei die strukturellen Veränderungen zum Ausdruck kommen. In schrittweiser Annäherung wäre dazu jeweils die Frage zu untersuchen, ob ein Vergleich der festgestellten Größenordnungen des Einzelfalles und seiner Auswirkungen mit gesamtwirtschaftlichen Daten zu einer signifikanten Aussage führt.

## 51 Input-Output-Analyse

Für die Darstellung der auf induktivem Wege ermittelten Auswirkungen der Einflüsse kerntechnischer Entwicklungen auf konventionelle Bereiche kann eine volkswirtschaftliche Betrachtung herangezogen werden, die die in Frage kommenden Wirtschaftsbereiche und damit auch die Gesamtwirtschaft als System miteinander verbundener Verbrauchs- und Leistungsglieder ansieht, die das Sozialprodukt hervorbringen. Die einzelnen Glieder verbrauchen Güter und Dienstleistungen, die von anderen hergestellt oder angeboten werden, und geben ihrerseits Güter und Dienstleistungen an andere ab. Die inputs (Einsätze)

eines Gliedes stellen also immer die outputs (den Ausstoß, die Hervorbringung, die Leistung) vorgelagerter Glieder dar, während sein output bei anderen zum input wird.

Das Wesen dieser Input-Output-Analyse besteht in dem Versuch, die stoff- und arbeitswirtschaftlichen Beziehungen der verschiedenen IO-Glieder (im folgenden wird für Input-Output die Abkürzung IO verwendet) unter Hervorhebung ihrer wechselseitigen Relationen größtmäßig darzustellen.

Die schachbrettartig angelegte IO-Tabelle (Matrix), in der für jedes IO-Glied eine Zeile und eine Spalte vorgesehen sind, nimmt alle Transaktionen auf, die mit dem Kauf oder Verkauf von Gütern und Dienstleistungen innerhalb eines Teilbereiches oder der Gesamtwirtschaft während einer gegebenen Periode verbunden ist.

In den senkrechten Spalten sind die Einsätze aus den verschiedenen Gliedern vermerkt, mit denen der betreffende, in der Kopfzeile genannte Wirtschaftszweig durch Beschaffung verbunden ist; die Addition der einzelnen Einsätze ergibt den Gesamteinsatz einschließlich des Importes.

Die waagerechte Zeile der IO-Tabelle gibt die Verteilung des Gesamtausstoßes einschließlich Export des in der Randleiste genannten Wirtschaftsbereiches auf diejenigen IO-Glieder an, die von dem betreffenden Wirtschaftszweig beziehen.

Der hervorbringende Wirtschaftszweig selbst kann auch in seiner eigenen Spalte eine Verwendungsquote seines

eigenen Ausstoßes aufweisen, und zwar dann, wenn ein Eigenverbrauch vorliegt. Diese Art der Verflechtung zeigt sich in der Hauptdiagonale der Matrix.

Grundlage einer Input-Output-Analyse ist die möglichst detaillierte, quantitative Erfassung der Beziehungen zwischen den einzelnen Gliedern. Ein solches Vorgehen kann sich sowohl auf die Volkswirtschaft als Ganzes als auch auf größere oder kleinere Wirtschaftsbereiche erstrecken. Die Darstellung der jeweiligen Verflechtungen in der oben beschriebenen Tabelle sollte alle an dem wirtschaftlichen Prozeß beteiligten Glieder enthalten. Der Umfang der Tabelle (Gesamtwirtschaft beziehungsweise Teilbereiche) und die Zahl der IO-Glieder ist dabei weitgehend eine Frage der Zweckmäßigkeit sowie der Möglichkeit, entsprechend aufgegliedertes Zahlenmaterial zu erhalten. Eine vollständige Aufgliederung der gesamten Produktionssphäre wäre dann gegeben, wenn jedes einzelne Produkt, das irgendwie mit dem Fall-Sektor in Zusammenhang steht, durch ein bestimmtes IO-Glied (Koordinatenpunkt in der Verflechtungsdarstellung) verkörpert würde.

Als Folge des technischen Fortschritts und der unterschiedlichen Entwicklungen in den Zuwachsraten verändern sich die Verflechtungen im Zeitablauf. Aus diesem Grund sind zwei voneinander getrennte Darstellungen der Verflechtungstabelle zweckmäßig, und zwar eine Darstellung des derzeitigen Standes, in dem sich der einzelne Fall auf nicht-kerntechnischem Bereich befindet (sogenannte faktische oder Stichtag-Matrix) und eine Darstellung, die die Veränderungen in der Nutzung der Fälle aus der Sicht der im Fall-Sektor tätigen Unternehmen beinhaltet (sogenannte prognostische oder Potential-Matrix).

Die Darstellung der Verflechtungen gibt Auskunft über Entwicklungstendenzen, macht jedoch in dieser Form noch keine Aussagen über den wirtschaftlichen Nutzen, den der betrachtete Fall auslöst beziehungsweise auslösen kann. Diesen Nutzen auch nur einigermaßen zuverlässig und in seiner Fallbezogenheit zutreffend zu erfassen, dürfte nicht nur deshalb praktisch unmöglich sein, weil dazu eine Vielzahl von Wirtschaftlichkeitsermittlungen in allen Produktionsstufen erforderlich wäre, sondern auch weil die Erfassung und Abgrenzung der vielfältigen Einflußfaktoren auf kaum zu bewältigende Schwierigkeiten stößt.

Das Schema einer Verflechtungstabelle, wie sie für die Darstellung der wirtschaftlichen Beziehungen eines einzelnen Falles in Frage kommt, ist in Abbildung Seite 83 für den Fall "Elektronenstrahl-Schweißgerät" aufgezeigt, wobei die Potential-Matrix, also die zukünftig zu erwartenden Verflechtungen, und die Stichtag-Matrix, das heißt der derzeitige Stand der Verbreitung, zusammengefaßt sind. Der IST-Zustand ist durch ein Gleichheitszeichen (=), die zukünftigen möglichen Veränderungen sind durch ein Plus (+) gekennzeichnet, das heißt, anstelle von Größenangaben finden zunächst Symbole Anwendung. Alle Anwendungsbranchen werden dabei als gleichrangig angesehen, da für das gewählte Beispiel der Elektronenstrahl-Schweißgeräte vorerst keine Aussagen über spätere Schwerpunkte in der Anwendung gemacht werden können.

Um die Entwicklung der Verflechtungen im Zeitablauf auch quantitativ sichtbar machen zu können, müßten an bestimmten Stichtagen die Verschiebungen in ihren



Verflechtungsmatrix für Elektronenstahl - Schweißgeräte

Verwender	Grundst. Prod.güter - Ind.				Investitionsgüter - Industrie								
	Eisen- Stahl- Temper- gieß.	Zieher. u. Kaltwalzw.	Met. Gieß.	Stahlb. Leicht- metall- bau	Masch. Appar. bau	Elekt. Herst.	Fahrzeug- u. Luftfahr- zeugbau	Elektro- techn. Ind.	Feinm. u. Opt. Industrie	Eisen-, Blech-, Metallw. ind.	Stahl- verfor- mungs- ind.	Son- stiges	Gesamt- aus- stoß
Zulieferer													
Eisen-, Stahl-, Tempergießer, Ziehereien und Kaltwalzwerke					= +								
Metallgießereien					= +								
Stahlbau, Leichtmetallbau													
Maschinen- und Apparatebau						= +							
Speziell Hersteller	+				= +	= +	+	+	+	+	+	+	
Fahrzeug- und Luftfahrzeugbau					+								
Elektrotechn. Industrie					= +	= +							
Feinmechan. u. Optische Ind.					= +	= +							
Eisen-, Blech- u. Metallwarenind.					= +								
Stahlverformungsindustrie					= +	= +							
Sonstige													
Gesamteinsatz													

Erläuterung : = IST-Zustand

+ Potential

absoluten Größenordnungen in einer sogenannten Veränderungsmatrix angegeben werden.

Die am Beispiel "Elektronenstrahl-Schweißgerät" aufgestellte Verflechtungsmatrix enthält nur Branchen als Verwender der Geräte und Zulieferer zu ihrer Herstellung, jedoch keine Einzelfirmen; lediglich der oder die Hersteller der Geräte sind gesondert aufgeführt.

Aus der Verflechtungsmatrix können folgende Aussagen abgelesen werden:

Zur Erzeugung eines Elektronenstrahl-Schweißgerätes werden vom Hersteller folgende Branchen als Zulieferer in Anspruch genommen:

- Maschinen- und Apparatebau
- Eigenleistungen
- Elektrotechnische Industrie
- Feinmechanische und optische Industrie
- Stahlverformungsindustrie

Ein durch Eigenleistungen und Zulieferungen erstelltes Gerät wird (=) und kann (+) vom Hersteller an folgende Branchen geliefert werden:

- Eisen-, Stahl- und Tempergießereien
- Maschinen- und Apparatebau
- Eigenverwendung
- Fahrzeug- und Luftfahrzeugbau
- Elektrotechnische Industrie
- Feinmechanische und optische Industrie
- Eisen-, Blech- und Metallwarenindustrie
- Stahlverformungsindustrie
- Sonstige (zum Beispiel Institute, Forschungsstätten und so weiter)

Das Gleichheitszeichen (=) stellt den derzeitigen Zustand dar (sowohl bei Zulieferungen als auch bei Verwendungen), das Pluszeichen (+) drückt das Potential aus, das heißt die Ausbaumöglichkeiten der bisherigen Lieferbeziehungen und die möglichen künftigen neuen Anwendungen.

Die als Beispiel dargestellte Matrix könnten wie folgt ausgebaut werden:

- Verfeinerung durch Unterteilung der Branchen nach Firmen auf der Zulieferer- und Anwenderseite (zum Beispiel Firmen A, B, C und so weiter)
- Ausbau der Matrix in der Richtung, daß nicht nur die direkten Lieferungen an den Hersteller des Fallprodukts zum Ausdruck kommen, sondern auch weitere vorgelagerte Produktionsstufen
- Ähnlicher Ausbau nach der Anwenderseite hin, indem die der ersten Anwendungsstufe nachgelagerten Stufen ebenfalls verfolgt werden

Wie die Ausführungen erkennen lassen, sind in einer Matrix für eine IO-Analyse nur die tatsächlichen Verflechtungen und Veränderungen in den Lieferbeziehungen feststellbar. Aussagen über den technologischen Inhalt und die Möglichkeiten seiner Ausnutzung sowie über betriebswirtschaftliche Auswirkungen und soziologische Aspekte können jedoch nicht gemacht werden. Hingegen ist das Ausmaß der Lieferbeziehungen ersichtlich, und es können daraus strukturelle Veränderungen abgeleitet werden. Aus diesem Grund müßten die Auswirkungen der Kerntechnik auf nicht-kerntechnische Bereiche aus betriebswirtschaftlicher Sicht durch Wirtschaftlichkeitsrechnungen und die sozialen und personellen Auswirkungen mittels einer Sozialstudie mit speziellem methodischem Ansatz untersucht werden.

Schwierigkeiten ergeben sich bei der Anwendung des induktiven Verfahrens dadurch, daß eine Vielzahl von Einzelerhebungen bei allen in irgendeiner Weise an dem jeweiligen Fall beteiligten oder durch ihn beeinflussten Stellen notwendig ist. Verbunden damit wären umfangreiche Aufschlüsselungen der für den Fall-Sektor notwendigen Informationen, die um so eingehender sein müßten, je mehr die Fallproduktion nur einen geringen Teil des gesamten Produktionsvolumens eines betroffenen Unternehmens darstellt beziehungsweise beeinflusst. Die Exaktheit der Berechnung ist dabei ganz allgemein von der Genauigkeit der in das System eingehenden Daten abhängig.

Die Erfahrungen aus den bisherigen Untersuchungen haben allerdings gezeigt, daß man zunächst von einem Minimalprogramm für den jeweiligen Fall ausgehen kann, das heißt von Erhebungen bei einem potenten Zulieferer, einem oder zwei Herstellern und einem oder zwei Verwendern. Je nach der Bedeutung der kerntechnischen Einflüsse, die auf diesen drei Ebenen festgestellt werden, kann man dann entscheiden, ob die Erhebungen auf weitere Produktionsstufen, zum Beispiel Zulieferer von Lieferanten, Kunden der Verwender und so weiter auszudehnen sind, wobei allerdings wegen der zunehmenden Verzweigung der Aufwand für die Erhebungen immer mehr steigt.

Aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse muß allerdings bezweifelt werden, ob im Rahmen einer Anschlußstudie eine Untersuchung von vielleicht 30 - 50 auszuwählenden typischen Fällen es heute bereits ermöglicht, durch Extrapolation und Addition aller zu ermittelnder wirtschaftlicher Daten zahlenmäßig signifikante Veränderungen auf gesamtwirtschaftlichem Gebiet im Sinne einer

v o l k s w i r t s c h a f t l i c h e n   G e s a m t -  
r e c h n u n g   festzustellen und damit zu einer aus-  
sagefähigen quantitativen Beurteilung zu gelangen. Hin-  
gegen wäre es eher möglich, Veränderungen aufgrund spe-  
zieller kerntechnischer Einflüsse aufzuzeigen, vielleicht  
nicht so sehr in einzelnen quantitativen Größen als viel-  
mehr in   U m s t r u k t u r i e r u n g e n   der jewei-  
ligen Produktionsprogramme und ganzer Branchen.

Die Summierung der quantitativ erfaßbaren Größen er-  
scheint deshalb problematisch, weil die Fälle, bei  
denen eine bereits erfolgte Übertragung festgestellt  
werden konnte, in sehr unterschiedlichem Maße Einzug  
in konventionelle Anwendungsbereiche gefunden haben.  
Hinzu kommt, daß sich, wie bereits erwähnt, gewisse  
Zuordnungen nur sehr schwer oder überhaupt nicht tref-  
fen lassen. Vor allem die Frage, welche Auswirkungen in  
der Wirtschaft im einzelnen auf welche Einflußfaktoren  
zurückzuführen sind, wird sich häufig nicht schlüssig  
beantworten lassen, es sei denn, die Fälle würden so  
gezielt ausgewählt, daß sie nur einen bestimmten Teil-  
bereich (zum Beispiel ganz bestimmte Branchen der bis-  
her in der Studie berücksichtigten Industrie- und Wirt-  
schaftsgruppen) umfassen.

52 Weiterführung der Arbeiten unter abgewandelter Fragestellung (in Hinsicht auf qualitative Aussagen)

Die zur Input-Output-Analyse angestellten methodischen Überlegungen gingen von der Voraussetzung aus, daß die der Vorstudie zugrundeliegende Konzeption einer qualitativen und in erster Annäherung auch quantitativen wirtschaftlichen Analyse der Auswirkungen der Kerntechnik auf bestimmte konventionelle Bereiche (vergleiche Punkt 12) auch für Folge-Untersuchungen beibehalten wird.

Nach den Ergebnissen der Vorstudie ist kaum zu erwarten, daß diese Konzeption zur Zeit zu einem für die Gesamtwirtschaft oder einzelne Wirtschaftsbereiche signifikanten Ergebnis führen wird, da die quantitativen Auswirkungen kerntechnischer Einflüsse auf die untersuchten Teilgebiete des nicht-kerntechnischen Bereiches noch sehr gering sind. Weit informativer sind jedoch die strukturellen Veränderungen in Produktionsprogrammen und innerhalb bestimmter Branchen, wie sie sich bereits abzeichnen.

Es erhebt sich damit die Frage, ob es nicht sinnvoll ist, bei der Weiterführung der Untersuchungen von der betont quantitativen Fragestellung, besonders in gesamtwirtschaftlicher Hinsicht, zunächst abzugehen und den Schwerpunkt auf eine vornehmlich qualitative Betrachtungsweise zu verlegen. Die zur Zeit noch bestehenden Schwierigkeiten einer Quantifizierung der Einflüsse auf wirtschaftlichem und sozialem Gebiet würden bei einem

solchen Vorgehen nicht hindernd im Wege stehen, und der Schwerpunkt könnte auf eine möglichst weitreichende Erfassung der Auswirkungen - vorläufig nur in qualitativer Hinsicht - gelegt werden.

Mit einer qualitativen, im wesentlichen technischen Analyse der Auswirkungen einer möglichst großen Zahl von Fällen auf nicht-kerntechnische Bereiche könnte erreicht werden, daß zunächst einmal das Ausmaß der Übertragungen mit ihren sämtlichen Auswirkungen in seiner vollen Breite überschaut werden kann. Hierbei wäre es jedoch unerlässlich, auch die unter Punkt 12 e) genannten konventionellen Industrien als Zulieferindustrien für den kerntechnischen Bereich in die Untersuchung mit einzubeziehen, da sie vielfach mit bisher untersuchten konventionellen Verwendern kerntechnischer Entwicklungen identisch sind und ein großes wirtschaftliches Potential darstellen.

Die dadurch gewonnenen Informationen wären nach der in der Vorstudie entwickelten Systematik zu dokumentieren. Eine solche Dokumentation würde der Industrie insgesamt und den sich speziell interessierenden Firmen eine wertvolle Informationsquelle für neue Anwendungen im konventionellen Bereich bieten und darüber hinaus Orientierung und Anregung für andere, zunächst nicht an dem Fall beteiligte Industriebereiche und Wissensgebiete darstellen.

Mit Hilfe dieser Dokumentation wäre man auch in der Lage, das Ausmaß der Übertragungen und der

Nutzbarmachung von Erkenntnissen aus der Kerntechnik für konventionelle Anwendungen umfassend und laufend zu beobachten.

In der Dokumentation sollte auch die Quelle der Informationen über den bekanntgewordenen Fall registriert werden. Darüber hinaus sollten die (direkt an den Hersteller oder Verwender beziehungsweise an die Dokumentationsstelle gerichteten) Anfragen ausgewertet werden, um zu erfahren, welches Interesse die Informationstätigkeit und speziell die regelmäßig zu publizierenden Untersuchungsergebnisse finden, welche Gebiete von den Fragen betroffen werden und um welche Interessentenkreise es sich dabei handelt. Alle Anfragen müßten im Hinblick auf spätere Auswirkungen verfolgt werden.

Im einzelnen Fall ließen sich dadurch Schwerpunkte feststellen, bei denen eine Marktforschung sinnvoll wäre. Ebenso könnten neue Anwendungsbereiche auf dem Produktions- und Dienstleistungssektor ermittelt beziehungsweise Möglichkeiten für die Substitution konventioneller Erzeugnisse und Verfahren aufgezeigt werden, vor allem dann, wenn mit Hilfe einer Input-Output-Tabelle die Verflechtungen im jeweiligen Fall und sich abzeichnende Veränderungen beziehungsweise Tendenzen dargestellt würden.

Eine derartige Weiterführung der Arbeiten würde auf längere Sicht gesehen auch den Trend der technischen Entwicklung erkennen lassen, zumal wenn die einzelnen Fälle fortlaufend in ihrer Weiterentwicklung beobachtet würden.



Ungeachtet dieser modifizierten qualitativen Betrachtungsweise, bei der alle den sozialen Teil betreffenden Fragen ausgeklammert und einer besonderen Studie überlassen blieben, sollten bei den Erhebungen so weit wie möglich auch quantitative wirtschaftliche Merkmale ermittelt werden. Wenn diese auch gesamtwirtschaftlich zunächst nicht aussagefähig sein werden, so können sie doch nützlich sein, um

- einzelwirtschaftliche Größenverhältnisse festzustellen und damit die Bedeutung des kerntechnischen Einflusses auf das jeweilige Unternehmen und gegebenenfalls die Branche (eventuell im Hinblick auf Umstrukturierungen) zumindest annähernd zu erfassen
- im Verlauf der Zeit einen eventuellen gesamtwirtschaftlichen Bedeutungszuwachs registrieren zu können und
- durch Addition der jeweiligen Einzeldaten so weit als möglich zu einer überschlägigen Gesamtaussage beizutragen.

### 53 Regionale Ausdehnung

Die bisherigen Untersuchungen beschränken sich auf die Bundesrepublik Deutschland. Zukünftige Untersuchungen müßten auch auf andere Länder der Europäischen Gemeinschaft und Staaten außerhalb der Europäischen Gemeinschaft, zum Beispiel USA, England, Schweden und die Schweiz, die auf dem Nuklearsektor tätig sind, ausgedehnt werden.

Den Folgestudien sollte eine Diskussion der Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung mit Vertretern aus Industrie und Wirtschaft vorausgehen. Hieran anschließend wären weitere "Fälle" zu erfassen, und zwar aus allen Stadien der Übertragung, angefangen bei solchen, für die die ersten Überlegungen für eine mögliche Anwendung angestellt werden, bis hin zu den Fällen, die bereits großtechnische Verwendung im nicht-nuklearen Bereich gefunden haben. Eine kontinuierliche Beobachtung ist dabei wünschenswert, um aufkommende Neuentwicklungen möglichst frühzeitig zu registrieren. Die erfaßten Fälle wären auszuwerten und in die Dokumentations-Systematik einzuordnen. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse könnten periodisch in einer Liste zusammengestellt und veröffentlicht werden. Diese Liste sollte - ähnlich dem bisherigen Verzeichnis der erfaßten Fälle - eine kurze Definition des Falles, Anwendungen im nuklearen Sektor und Möglichkeiten für konventionelle Bereiche enthalten.

Um die Grundlage für eine Quantifizierung bei einer späteren gesamtwirtschaftlichen Betrachtung zu legen, sollten für jeden Fall auch bereits wirtschaftliche Daten so weit als möglich erfaßt werden.

Da bislang die Vermittlung von Wissen und Erkenntnissen auf dem Nuklearsektor an nicht-nukleare Bereiche weitgehend dem Zufall überlassen

blieb, würde eine solche Dokumentation es auch ermöglichen, die technische Entwicklung im herkömmlichen Bereich in eine bestimmte Richtung zu lenken und auch zu beschleunigen.

## 55 Zusammenfassung - Arbeitsprogramm

Anhand der vorangegangenen Überlegungen über die Möglichkeiten einer erfolversprechenden Anschlußstudie kann zusammenfassend folgendes Arbeitsprogramm vorgeschlagen werden:

- Fortsetzung der Untersuchungen in der bisherigen Art (falls sich aufgrund der Diskussion nicht grundsätzlich neue Gesichtspunkte ergeben) und Ausweitung durch Suche nach weiteren Übertragungsbeispielen und -möglichkeiten einschließlich einer Analyse der Übertragungsmechanismen mit dem Ziel, so viele Daten wie möglich in einer Dokumentation zu erfassen
- Erweiterte Betrachtungen des wirtschaftlichen Bereichs (zum Beispiel mit Mitteln der Input-Output-Analyse, um Entwicklungstendenzen festzustellen)
- Regelmäßige Veröffentlichung der Untersuchungsergebnisse in Kurzfassung mit Hinweis auf die Dokumentation
- Auswerten und Beantworten von Anfragen von seiten der Industrie oder Forschungsstätten
- Gezielte Hinweise an interessierte Kreise anhand der Dokumentation
- Vorarbeiten für eine später durchzuführende quantitative Analyse und gesamtwirtschaftliche Wertung

- Getrennte Studie des sozialen Bereichs, um ein möglichst genaues und vollständiges Berufsbild des in den Fallsektoren tätigen Personals, seiner berufsmäßigen Struktur, seiner Funktionen, seiner Qualifikationen und seiner Ausbildung und der erforderlichen betrieblichen und überbetrieblichen Anpassungsmaßnahmen zu erhalten, sowie Untersuchungen über die Veränderungen des Sozialstatus der betroffenen Arbeitnehmer
- Ausdehnung der Untersuchung über die Grenzen der BRD hinaus durch Parallelstudien in anderen Ländern, die über ein entsprechendes kerntechnisches Potential verfügen

Nach den Erkenntnissen der Vorstudie dürfte es außer Zweifel stehen, daß alle Bemühungen zur Intensivierung der Übertragung von Erfahrungen aus der Kerntechnik auf die konventionellen Bereiche sinnvoll sind und den technischen Fortschritt in der Wirtschaft beschleunigen helfen.

## A N L A G E N T E I L

	Seite
1 Suchnummernkatalog	101
2 Allgemeiner Katalog der Anwendungs- und Herstellungsbereiche	135
3 Spezieller Katalog der Anwendungen im kerntechnischen Bereich	145
4 Verzeichnis der erfaßten Fälle	153
5 Karteikartenentwurf	271
5a Karteikartenentwurf für die Fälle der Hauptgruppe Materialien	273
6 Lochkartenentwurf	275
7 Darstellung der neun eingehend untersuchten Fälle	277
7-1 Unfallanalysen	278
7-2 Zirkonium und Zirkoniumlegierungen	300
7-3 Kunststoffe auf Fluor-Kohlenstoff-Basis	326
7-4 Siliconkautschuk	367
7-5 Elektrische Hochenergieverformung	396
7-6 Elektronenstrahl als Werkzeug	424
7-7 Flüssigmetalle als Wärmeübertragungsmittel	448
7-8 Stahldruckbehälter	474
7-9 Stahlbälge	504
8 Darstellung der sechzehn näher betrachteten Fälle	525
8-1 Graphit	526
8-2 Keramische Hochtemperaturwerkstoffe	539
8-3 Cermets	552
8-4 Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung	561
8-5 Solventextraktion	572
8-6 Reindarstellung von Stoffen nach dem Zonenschmelzverfahren	577

	Seite
8-7 Chemische Reaktionen durch energiereiche Strahlen	585
8-8 Plasmaschneiden	596
8-9 Sterilisation durch energiereiche Strahlen	605
8-10 Vielkanal-Impulshöhenanalysator	613
8-11 Stopfbüchsenlose Kreiselpumpen	621
8-12 Große Gebläse	629
8-13 Filter zum Abscheiden von Schwebstoffen	639
8-14 Spannbetondruckbehälter in Einfach- und Mehrlagenbauweise	652
8-15 Manipulatoren	662
8-16 Schnellschlußventile	672

## Anlage 1.

### SUCHNUMMERNKATALOG

1 ERKENNTNISSE

(Theoretische Grundlagen und Denkmodelle)

11 Philosophie, Psychologie, Logik

12

13 Wirtschafts- und Sozialwissenschaften

14

15 Naturwissenschaften

151 Mathematik

1511 Arithmetik, Zahlentheorie

1512 Algebra

1513 Geometrie

1514 Trigonometrie

1515 Darstellende Geometrie

1516 Analytische Geometrie

1517 Analysis, Kalkül

1518 Mathematische Spiele, Hilfen für das Rechnen mit Computern

1519 Statistik, Kombinatorik, Wahrscheinlichkeitsrechnung

152 Astronomie, Geodäsie

153 Physik

1530 Allgemeine Theorien

1531 Mechanik, Festigkeitslehre

1532 Mechanik der Flüssigkeiten

1533 Mechanik der Gase, Plasmaphysik

1534 Akustik, Schall

1535 Optik, Licht

1536 Thermodynamik

1537 Elektrizität

1538 Magnetismus

1539 Physikalische Natur der Materie, Festkörperphysik



- 154 Chemie, Mineralogie
  - 1541 Theoretische Chemie
  - 1542 Experimentalchemie
  - 1543 Allgemeines über analytische Chemie
  - 1544 Analytische Chemie
  - 1545
  - 1546 Anorganische Chemie
  - 1547 Organische Chemie
  - 1548 Petrochemie
  - 1549 Mineralogie
  
- 155 Geologie, Paläontologie
  
- 156 Meteorologie
  
- 157 Biologie
  - 1571 Vorgeschichte
  - 1572 Anthropologie
  - 1574 Technische Biologie
  - 1575 Allgemeine Biologie, Abstammung, Vererbung
  - 1576 Mikrobiologie
  - 1578 Botanik
  - 1579 Zoologie

16 Erkenntnisse auf dem Gebiet der angewandten Wissenschaften

161 Medizin, Gesundheitswesen

1611 Anatomie

1612 Physiologie

1613 Hygiene, private Gesundheitspflege

1614 Öffentliches Gesundheitswesen, Unfallschutz

1615 Therapeutik, Arzneimittelkunde, Toxikologie

1616 Pathologie

1617 Orthopädie, Chirurgie, Augenheilkunde

1618 Gynäkologie

1619 Vergleichende Medizin, Veterinärmedizin

162 Ingenieurwissenschaften und Technologie allgemein

1621 Theoretische Grundlagen für Maschinenbau und Elektrotechnik

1622 Berg- und Hüttenwesen

1623 Wehrtechnik

1624 Hoch- und Tiefbau

1625 Verkehrswegebau

1626

1627 Werkstoffkunde

1628

1629 Transportwesen, Fahrzeugbau

2 MATERIALIEN , STOFFE

Nachgestellte Ziffern charakterisieren den Stoff wie folgt:

- 0 nicht näher charakterisiert
- 1 Rohprodukt, Ausgangsmaterial
- 2 Halbzeug
- 3 Material in verarbeiteter Form
- 4 physikalisches Gemenge, Emulsion
- 5 homogenes Gemisch, Sinterzeug
- 6 Legierung, Lösung
- 7 chemische Verbindung
- 8 chemisches Element (natürliches Isotopengemisch)
- 9 Isotop, angereichertes Isotopengemisch
  
- 21 Rohstoffe
  - 211 Steine, Erden
  
  - 212 Anorganische Bodenschätze
    - 2121 Erze
    - 2122 Edelsteine
    - 2123 Edelmetalle
    - 2124
    - 2125
    - 2126
  
  - 213 Organische Bodenschätze
    - 2131 Kohle
    - 2132 Erdöl
    - 2133 Erdgas
    - 2139 Sonstige

215 Pflanzliche oder tierische Rohstoffe

2151 Fasern

2152 Häute

2153 Kautschuk

2154 Cellulose

2155 Holz

22 Werkstoffe

221 Eisenmetalle und Ferrolegerungen

2211 Reines Eisen

2212 Kohlenstoffstahl

2213 Niedriglegierte Stähle

2214 Nichtrostende ferritische Stähle

2215

2216 Nichtrostende austenitische Stähle

2217 Bohrstähle

2218

2219 Sonstige Ferrolegerungen und dergleichen

222 Leichtmetalle

2221 Beryllium, Be-Legierungen und metallartige Verbindungen

2222 Magnesium, Mg-Legierungen und metallartige Verbindungen

2223 Aluminium, Al-Legierungen und metallartige Verbindungen

2225 Leichtmetalle der Alkali (I)

2226 Leichtmetalle der II (außer Be und Mg)

2227 Leichtmetalle der III (außer Al)

} Hauptgruppe des Period. Systems der Elemente, einschließlich Verbindungen mit Metallcharakter und Legierungen

- 223 Nickel, Zirkonium, Vanadium, Molybdän und ihre Legierungen
  - 2231 Nickel, Ni-Legierungen und metallartige Verbindungen
  - 2232 Zirkonium, Zr-Legierungen und metallartige Verbindungen
  - 2233 Vanadium, V-Legierungen und metallartige Verbindungen
  - 2234 Molybdän, Mo-Legierungen und metallartige Verbindungen
  - 2235
  - 2236
  - 2238 Mangan
  - 2239 Rhenium
  
- 224 Andere Metalle, Metallegierungen und -verbindungen
  - 2241 Metalle der I. Hauptgruppe des Period. Systems
  - 2242 Metalle der II. Hauptgruppe des Period. Systems
  - 2243 Metalle der III. Hauptgruppe des Period. Systems
  - 2244 Metalle der IV. Hauptgruppe des Period. Systems
  - 2245 Metalle der V. Hauptgruppe des Period. Systems
  - 2246 Metalle der VI. Hauptgruppe des Period. Systems
  - 2247 Metalle der VIII. Hauptgruppe des Period. Systems
  - 2248 Transurane (Actiniden)
  - 2249 Seltene Erden (Lanthaniden)
  
- 225 Metalloide
  - 2251 Silizium
  - 2252 Kohlenstoff
  - 2253 Metalloide der III. Gruppe des Period. Systems
  - 2254 Metalloide der IV. Gruppe des Period. Systems
  - 2255 Metalloide der V. Gruppe des Period. Systems
  - 2256 Metalloide der VI. Gruppe des Period. Systems
  - 2257 Halogene
  - 2258

**226 Kunststoffe, Gummi und Verbundstoffe**

**2261 Polymerisationskunststoffe, u. a.**

- Polyisobutylen
- Polystyrol
- Polyvinylchlorid
- Polyvinylacetat
- Polyvinylalkohol
- Polyvinylacetale
- Polyvinyläther
- Polyvinylcarbazol
- Polyäthylen
- Polymethacrylester
- Polyacrylester
- Polyfluorkunststoffe
- Polybutadien

**2262 Polykondensationskunststoffe**

- Phenoplaste
- Aminoplaste
- Carbamidharze
- Melaminharze
- Polyamide
- Polyesterharze
- Alkydharze

**2263 Polyadditionskunststoffe**

**2264**

**2265 Cellulosekunststoffe**

- Vulkanfiber
- Hydratcellulose
- Celluloseester (Celluloid)
- Celluloseacetat

**2266 Casein Kunststoffe**

- Kunsthorn

**2267 Kautschukumwandlungsprodukte**

- Weichgummi
- Hartgummi (Ebonit)
- Chlorkautschuk
- Kautschukhydrochlorid
- Cyclokautschuk

**2268 Silicons**

**2269 Sonstige Kunststoffe**

227 Mineralische Werkstoffe

2271 Steine, Erden

2272 Glas, Quarz/Email

2273

2274 Asbest

2275

2276 Beton

228 Keramische und Sinterstoffe

2281 Irdengut

2282

2283

2284 Steinzeug

u. a. - Klinkerware  
- säurefeste Ware

2285 Porzellan

2286 andere Isolier- und Hochtemperaturstoffe

u. a. - Steatit  
- Zirkonporzellane  
- Cordierit  
- Titanate

2287 Metallkeramik

2288 Ferrite

2289 Hartmetalle, Cermets

229 Sonstige Werkstoffe

2291 Holz und Holzverbundstoffe

2292

2293

- 23 Brenn- und Treibstoffe
  - 231 Kohle, Koke
  - 232 Flüssige Brenn- und Treibstoffe
  - 233 Gasförmige Brenn- und Treibstoffe
  - 234 Holz, Torf etc.
  - 235 Sonstige feste Brenn- und Treibstoffe
  - 236
  - 237
  - 238
  - ( 239 Kernbrennstoffe, Brutstoffe, s. unter den entsprechenden Metallen 2248 und Verbindungen 2287)
  
- 24 Garne, Gewebe, Stoffe, Papier
  - 241 Garne, Fäden, Seile
  - 242 Gewebe, Gespinste
    - 2421 Gewebe, Stoffe
    - 2422
    - 2423
    - 2424 Vliese
  - 243 Papier
  
- 25 Hilfsstoffe
  - 251 Chemische Hilfsstoffe
    - 2511 Säuren
    - 2512 Laugen
    - 2513 Salze
    - 2514 Lösungsmittel
      - u. a. - Detergentien
      - Extraktionsmittel
      - anorganische Lösungsmittel
    - 2515 Adsorptionsmittel
    - 2516 Absorptionsmittel
    - 2517 Ionenaustauschermedien



## 253 Technische Hilfsstoffe

2531 Betriebsmedien (Kühlmittel/Wärmeübertragungsmedien etc.)

u. a. - Wasser und wäßrige Lösungen, Deuterium, Tritium

- Organische Flüssigkeiten

- Flüssigmetalle (s. unter "Metalle")

- Andere anorganische Flüssigkeiten

- Salzschnmelzen (s. unter "Salze")

- Gasförmige Wärmeübertragungsmittel (s. unter 37 "Gase")

2532 Bindemittel, mineralische Bindemittel, Leim, Casein und andere organische Bindemittel

2533 Schweiß- und Lötmittel

2534 Schmierstoffe

2535 Schutzstoffe, Anstriche

2536

2537 Sprengstoffe

## 254 Gase

2541 Edelgase

2542 Gase mit Siedepunkt nahe dem absoluten Nullpunkt

2543 Gase mit Siedepunkt  $\leq 173^{\circ}$  K

2544 Dämpfe (im Beobachtungspunkt)

2545 Flüssiggase

2546 Nat. Gasgemenge

2547 Techn. Gasgemenge

2548 Radioaktive Gase

27 Pharmazeutika

28 Nahrungsmittel

29 Nebenstoffe, besondere Formen der Materie

291 Radioaktive Produkte

2911 (offene) Präparate

2912 Strahlungsquellen

2913

2914 Abfälle in fester Form

2915 Flüssige Abfälle

(2916 Gasförmige Abfälle, s. 378 "radioaktive Gase")

292 Elementarteilchen, Kern- und Atombausteine u. ä.

2921

2922

2923

2924

2925

2926

2927

2928 Kosmische Teilchen

293 Kristalle

2931

2932

2933 Szintillationskristalle

3 TECHNISCHE VERFAHREN

31 Regel- und Steuerungstechnik

311 Allgemeines

3111 Methodik, Begriffe

3112 Verstärken

3113 Impulsübertragung, Signalübertragung, Fernsteuerung

3114

3115

3116 Steuerung von Längen, Winkeln, ein- und zweidimensionalen Größen

3117 Geschwindigkeitsregelung und -steuerung

3118 Sicherheitsschaltungen

312 Regelung und Steuerung mechanischer Größen

3121 Druck und Zug

3122 Gewicht, Volumen und Dichte

- Dosieren

- Niveauregelung

3124 Mechanische Eigenschaften flüssiger und gasförmiger Stoffe

3125 Fluß- und Bewegungsgrößen

3126 Form und Größe

3127 Akustische und mechanische Schwingungen

313 Regelung und Steuerung thermischer Größen

3131 Temperatur

3132 Wärmemengen

3133 Wärmetübergang

3134

3135

3136 Regelung von Feuerungsanlagen

3137

3138 Feueralarm

- 314 Regelung und Steuerung von Konzentrationen
  - 3141 Feuchtigkeit
  - 3142 Sauerstoffkonzentration
  - 3143 Gaskonzentrationen
  - 3144 Azidität (pH-Wert)
  - 3145 Lösungskonzentrationen
  - 3146 Anteile bzw. Konzentrationen fester Stoffe
  - 3147 Diffusions-, Reaktionsgeschwindigkeiten
  - 3148
  - 3149 Sonstige Konzentrationen
  
- 315 Regelung bzw. Steuerung elektrischer und magnetischer Größen
  - 3151 Strom, Spannung, statische Aufladung
  - 3152 Leitvermögen, Widerstand
  - 3153 Dielektrische Größen, Kapazität
  - 3154 Elektrische Schwingungen
  - 3155 Elektrizitätsmengen, elektrische Arbeit und Leistung
  - 3156 Magnetische Größen
  
- 316 Regelung bzw. Steuerung von Strahlungen aller Art
  - 3161 Sichtbares Licht
  - 3162 Ultraviolettstrahlen
  - 3163 Infrarotstrahlen
  - 3164 Röntgen- und Gammastrahlung
  - 3165 Elektronenstrahlung, Ionenstrahlung
  - 3166 Neutronenstrahlung u. ä.

32 Messen, Messmethoden, quantitative Analyse

321 Allgemeines

3211 Methodik, Begriffe

3212

3213 Zählen, Impulszählung

3214

3215 Zeitmessung

3216 Längenmessung, Winkelmessung

3217 Geschwindigkeitsmessung

322 Messen mechanischer Größen

3221 Druck, Zug

3222 Gewicht, Volumen, Dichte

3223 Mechanische Eigenschaften fester Stoffe

- u. a. - Festigkeitsmessung
- Bestimmung von Reibung etc.

3224 Mechanische Eigenschaften flüssiger und gasförmiger Stoffe

- u. a. - Viskositätsmessung
- Kompressibilitätsbestimmung

3225 Fluß- und Bewegungsgrößen, mechanische Arbeit und Leistung

3226 Mikroskopische Größen

- u. a. - Teilchenform und -größe
- Schichtdicken
- Oberflächenrauigkeit
- Porosität

3228 Mechanische und akustische Schwingungen

323 Messen thermischer Größen

3231 Temperatur

3232 Wärmemengen

3233 Wärmeübergang

3234 Thermische Ausdehnung

- 324 Messung von Konzentrationen, quantitativer Nachweis von Bestandteilen
  - 3241 Feuchtigkeit, Wassergehalt
  - 3242 Sauerstoffgehalt (auch chemisch gebunden)
  - 3243 Gaskonzentrationen bzw. -gehalt
    - u. a. - Vakuummessung
    - Leckratenbestimmung
  - 3244 Azidität (pH-Wertbestimmung)
  - 3245 Lösungsbestandteile bzw. Lösungskonzentrationen
  - 3246 Bestandteile bzw. Konzentrationen von festen Stoffen
  - 3247 Diffusions - Reaktionsgeschwindigkeitsbestimmung
  
- 325 Messen elektrischer und magnetischer Größen
  - 3251 Strom, Spannung, statische Aufladung
  - 3252 Leitvermögen, Widerstand
  - 3253 Dielektrische Größen, Kapazität
  - 3554 Elektrische Schwingungen
  - 3555 Elektrizitätsmenge, elektrische Arbeit und Leistung
  - 3556 Magnetische Größen
  
- 33 Prüf- und Kontrollverfahren, Beobachten qualitative Analyse
  - 331 Allgemeines
    - 3311 Methodik
  
  - 332 Beobachten, Prüfen, qualitative Bestimmung mechanischer Größen und Eigenschaften
    - 3321 Druck, Zug
    - 3322 Gewicht, Volumen, Dichte
    - 3323 Mechanische Eigenschaften fester Stoffe
      - u. a. - Reibung
      - Verarbeitbarkeit
    - 3324 Mechanische Eigenschaften gasförmiger und flüssiger Stoffe
    - 3325 Fluß- und Bewegungsvorgänge, mechanische Arbeit und Leistung

- 3326 Struktur und Aufbau der Stoffe (mikroskopisch)  
u. a. - Teilchenform, -zahl, -größe  
- Oberflächenbeschaffenheit  
- Schichtdicken  
- Orientierung und Aufbau von Gitterstrukturen  
- Porosität
- 3327 Struktur und Aufbau von Materialien (makroskopisch)
- 3328 Mechanische Schwingungen, Schall
- 333 Beobachten thermischer Größen und Vorgänge
- 3331 Temperatur
- 3332 Wärmemengen
- 3333 Wärmeübergang
- 3334 Thermische Ausdehnung
- 3335
- 334 Beobachten, Prüfen, Kontrollieren von Konzentrationen
- 3341 Wassergehalt, Feuchtigkeit
- 3342 Sauerstoffgehalt (auch Gehalt an chemisch gebundenem Sauerstoff)
- 3343 Gaskonzentrationen bzw. -gehalt  
u. a. - Lecktest
- 3344 Azidität
- 3345 Lösungsbestandteile bzw. -konzentrationen
- 3346 Bestandteile bzw. Konzentrationen von festen Stoffen
- 3347 Reaktionsabläufe  
u. a. - Diffusionsvorgänge  
- Absorptionsvorgänge
- 335 Beobachten elektrischer und magnetischer Vorgänge und Größen
- 3351 Strom, Spannung, elektrostatische Aufladung
- 3352 Leitvermögen, Widerstand
- 3353 Dielektrische Größen und Vorgänge
- 3354 Elektrische Schwingungen
- 3355 Elektrische Flußgrößen, elektrische Arbeit
- 3356 Magnetische Vorgänge und Größen

- 336 Beobachten von Strahlung
  - 3361 Strahlen des sichtbaren Lichtes
  - 3362 Ultraviolettstrahlung
  - 3363 Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung s. auch unter 333)
  - 3364 Röntgen- und Gammastrahlung
  - 3365 Elektronen- und Ionenstrahlung
  - 3366 Neutronenstrahlung u. ä.
  - 3367
  - 3369 Sonstige Strahlungsarten
  
- 34 Energieerzeugung, -umwandlung, -speicherung, -transport
  - 341 Verfahren der Thermodynamik
    - 3411 Verbrennung (für Heizzwecke)
    - 3412 Verdampfen, Kondensieren
    - 3413 Wärmeaustausch
    - 3414 Expandieren
    - 3415 Komprimieren (vgl. auch 351 - Fördern)
  
  - 342 Erzeugung mechanischer Arbeit aus Wärme
  
  - 343 Erzeugung mechanischer Arbeit auf andere Weise
  
  - 344 Erzeugung, Umwandlung, Speicherung, Transport elektrischer Energie
    - 3441 Erzeugung elektrischer Energie
    - 3442 Umspannen, Transformieren, Drosseln
    - 3443 Stromspeicherung
    - 3444 Gleichrichten, Umformen
    - 3445 Elektrische Wärme- und Kälteerzeugung
    - 3446 Elektrisches Beleuchten



3448 Elektro-chemische Verfahren (s. auch unter dem Zweck des entsprechenden Verfahrens)

3449 Sonstiges

35 Aufbereitung, chemische Verfahren

351 Fördern

3511 Heben, Schräg- und Vertikaltransport

3512 (produktionsinternes) Transportieren

3513

3514

3515 (rohrleitunggebundenes) Transportieren von Flüssigkeiten und Gasen

352 Speichern, Verteilen, Verpacken und Lagern

3521 Speichern von Flüssigkeiten und Gasen

3522 Fassen, Lagern von festen Stoffen und Gegenständen

3523

3524 Abfüllen

3525 Verpacken

3526 Umhüllen

3527 Einvibrieren

353 Vereinigen, Mischen, Mengen

3531 Rühren

3532 ~~Bretzen~~, Quellen

3533 Lösen

- u. a. - Sättigen
- Auflösen
- Emulgieren
- Suspendieren
- Homogenisieren
- Strahlmischen

3534 Stoffaustauschverfahren

- u. a. - Diffusion
- Osmose

3535 Aufbereiten

- u. a. - Agglomerieren
- Rösten
- Fritten
- Brikettieren

3536

354 Trennen

3541 Mechanisches Trennen von Stoffen (nach Korngröße)

- u. a. - Klassieren
- Sieben

3542 Trennen fester Stoffe nach physikalischen Eigenschaften

- u. a. - Extraktion
- Flotation
- Auslaugen

3543 Abtrennen aus Suspensionen

- z. B. - Absetzen
- Eindicken
- Filtrieren
- Zentrifugieren

3544 Abtrennen aus flüssigen Mischungen

- z. B. - Rektifizieren, Destillieren
- Solventextraktion
- Ionenaustausch
- Adsorption
- Ausfällen
- Kristallisieren
- Zonenschmelzen

3545 Abtrennen aus bzw. von Gasen

- u. a. - Absorption
- Diffusion
- Adsorption
- Entstauben
- Auswaschen
- Sublimieren
- Wirbelbettverfahren
- Gaszerlegung

3546 Trocknen, Eindampfen

3547 Isotopentrennverfahren

3548

3549 Sonstige Trennverfahren

355 Zerkleinerungsverfahren

3551 Schneiden (vgl. auch Verfahren zur spanlosen Verformung)

3552 Brechen

3553 Mahlen

3554 Schleifen (nicht Formschleifen, vgl. spanende Verformung)

3555 Zerreißen etc.

356 Chemische Umsetzungen

3561 Oxydieren

3562 Reduzieren

3563 Kracken, Spalten

3564

3565 Synthese

3566 Kettenbildung (Polymerisieren etc.)

3567

3568

3569 Sonstige

36 Fertigungsverfahren

361 Verfahren zur spanlosen Ver- und Bearbeitung und Formgebung

3611 Gießen, Schmelzen

3612 Pulvermetallurgische Formgebungsverfahren

3613 Spanlose Formung auf mechanischem Weg

- u. a. - Pressen  
- Schmieden  
- Walzen  
- Ziehen  
- Fließen  
- Schneiden  
- Explosionsverformung  
- Biegen

- 3614 Blasen, Spinnen (aus Düsen) etc.
- 3615 Wärmebehandlungen
- 3616 Oberflächenbehandlungen
  - u. a. - Reinigen
  - Galvanisieren
  - Beschichten, Plattieren (Auftragsschweißen s. 3617)
  - Aufdampfen
  - Spritzen, Streichen
  - Ätzen
- 3617 Schweißen, auch Auftragsschweißen
- 3618 (Bearbeitung bzw. Behandlung durch Bestrahlung s. 395) Elektroerosion u. ä.
- 3619 Sonstige (nicht spanende Be- oder Verarbeitungsverfahren)
  
- 362 Verfahren der spanenden Formgebung
  - 3621 Bohren
  - 3622 Drehen
  - 3623 Fräsen, Sägen
  - 3634 Schleifen
  - 3635 Hobeln
  - 3636 Räumen
  
- 363 Weben, Wirken, Flechten etc
  
- 364 Drucken, Vervielfältigen
  
- 365 Handwerkliche bzw. manuelle Verfahren und Tätigkeiten
  
- 366 **Montieren**

- 37 Spezielle Verfahren des Bau- und Bergbauwesens
  - 371 Verfahren im Hoch- und Tiefbau
  - 372
  - 377 Erschließungsverfahren
    - 3773
    - 3794 Tiefbohrungen
    - 3775 Erdbewegungen
    - 3776
    - 3777 Abbau
  - 378 Gesundheitstechnik
- 38 Arbeitsmethoden, Techniken
  - 381 Schreiben, Vervielfältigen etc.
  - 382 Rechenverfahren und -methoden (als Wissenschaft s. 151 Mathematik)
    - 3821
    - 3822 Registrieren
    - 3823 Rechnen mit Rechenschiebern und mechanischen Rechenmaschinen
    - 3824 Arbeiten mit mechanischen Lochkartenmaschinen
    - 3825 Computerrechnen, Programmieren, Auswerten etc.
  - 383 Organisationsmethoden und -techniken
    - 3831 Organisieren
    - 3832 Rationalisieren
    - 3833 Optimieren, Netzplantechnik
    - 3834
    - 3835 Speichern von Informationen
    - 3836 Lernmethoden

384

385 Überwachung, Tests

3851 Fertigungskontrolle, Toleranzen (vgl. auch 33 Prüfverfahren)

3852 Funktionskontrolle

3853

39 Verfahren mit speziellen Anwendungsbereichen

391 Arbeiten unter besonderen Bedingungen

3911 Vakuumtechnik

3912 Fernbedienungstechnik

3913 Technik des Arbeiters mit besonderen Sauberkeitsanforderungen (clean conditions)

3914 Umgang mit schwierig zu handhabenden Stoffen  
u. a. - Heliumtechnologie

3915 Umgang mit gefährlichen Stoffen bzw. Gegenständen  
- Brennbare Stoffe  
- Explosivstoffe  
- Toxische Stoffe

392

393

394

395 Strahlentechnik

3951 Bestrahlen von anorganischen Stoffen (Metallen)

3952 Bestrahlen von organischen Stoffen

3953 Bestrahlen von Organismen, Strahlensterilisation

#### 4 EINRICHTUNGEN

(Anlagen, Geräte, Maschinen, Apparate, Bau- und Maschinenelemente)

Angehängte Ziffer bedeutet:

- 0 Nicht näher charakterisiert
- 1 Halbzeug (Profile und dergleichen)
- 2
- 3 Bauelemente
- 4
- 5
- 6 Anlagenreile
- 7 Ganze Anlagen
- 8 Integrierte Anlagen; Fertigungsstraßen
- 9 Prozessgesteuerte Anlagen und dergleichen
- 41 Regel- und Steuergeräte

##### 411 Allgemeines, Zubehör

- 4111
- 4112 Verstärkereinrichtungen, Relais
- 4113 Impulsübertragungssysteme
- 4114 Bauelemente, Bauteile
- 4115 Geschwindigkeits-, Regel- und Steuereinrichtungen
- 4116 Apparate für die Steuerung von Längen, Winkeln und Flächen

##### 412 Vorrichtungen für die Regelung bzw. Steuerung mechanischer Größen

- 4121 Druck (einschließlich akustische Wellen, mechanische Schwingungen), Zug
- 4122 Gewicht, Volumen, Dichte, u. a.
  - Dosieren
  - Niveauregelung
- 4123 Mechanische Eigenschaften fester Stoffe
  - u. a. - Festigkeit
  - Plastizität
  - Elastizität
  - Reibung
- 4124 Mechanische Eigenschaften flüssiger und gasförmiger Stoffe
  - u. a. - Viskosität
- 4125 Fluß- und Bewegungsgrößen, mechanische Arbeit und Leistung
- 4126 Mikroskopische Größen
  - u. a. - Schichtdicken
  - Form, Größe
  - Porosität
- 4127 berührte

413 Vorrichtungen zur Regelung bzw. Steuerung thermischer Größen

- 4131 Temperatur
- 4132 Wärmemenge
- 4133 Wärmeübergang
- 4134 Thermische Ausdehnung
- 4135
- 4136 Regelung von Feuerungsanlagen

414 Vorrichtungen zur Regelung bzw. Steuerung von Konzentrationen

- 4141 Wassergehalt, Feuchtigkeit
- 4142 Sauerstoffkonzentration
- 4143
- 4144 Konzentration von Gasen
- 4145 Azidität (pH-Wert), Redoxsysteme
- 4146 Konzentration von Lösungsbestandteilen
- 4147 Konzentration bzw. Anteile fester Stoffe
- 4148 Diffusionsgeschwindigkeit, Reaktionsgeschwindigkeit

415 Apparate zur Regelung bzw. Steuerung elektrischer und magnetischer Größen

- 4151 Strom, Spannung, statische Aufladung
- 4152 Leitvermögen, Widerstand
- 4153 Dielektrische Meßgrößen, Kapazität
- 4154 Elektrische Schwingungen
- 4155 Elektrizitätsmengen, elektrische Arbeit und Leistung
- 4156 Magnetische Größen
- 4157 Elektronische Geräte, Frequenzmodulationsgeräte etc.

416 Apparate zur Regelung bzw. Steuerung von Strahlung

- 4161 Sichtbares Licht
- 4162 Ultraviolettstrahlung
- 4163 Infrarotstrahlung, Wärmestrahlung
- 4164 Röntgen- und Gammastrahlung
- 4165 Elektronenstrahlung, Ionenstrahlung
- 4166 Neutronenstrahlung, Reaktivitätsregelung



42 Meßgeräte, Analysengeräte (für quantitativen Nachweis)

421 Allgemeines, Zubehör

4211

4212 Verstärkereinrichtungen

4213 Bauteile für Meßgeräte

4214 Zählwerke, Impulszählung und -messung

4215 Apparate für die Zeitmessung

4216 Apparate für die Längen-, Winkel- und Flächenmessung

422 Apparate für die Messung mechanischer Größen

4221 Druck, Zug (einschließlich akustische Wellen und mechanische Schwingungen)

4222 Gewicht, Volumen, Dichte, z.B.

- Füllstandsmessung

4223 Mechanische Eigenschaften fester Stoffe

u. a. - Festigkeit

- Elastizität

4224 Mechanische Eigenschaften flüssiger und gasförmiger Stoffe

- Viskosität

- Kompressibilität

4225 Fluß- und Bewegungsgrößen, mechanische Arbeit und Leistung

4226 Mikroskopische Größen

u. a. Apparate zur Bestimmung von :

- Teilchenform und -größe

- Schichtdicken, Moleküllschichten

- Mikrokristallorientierung

- Porosität

423 Meßgeräte für thermische Größen

4231 Temperatur

4232 Wärmemenge

4233 Wärmeübergang

4234 Thermische Ausdehnung (Dilatometer)

4235

4236

424 Apparate zur Messung von Konzentrationen, quantitativer Nachweis

4241 Feuchtigkeitsmeßgeräte, Messung des Wassergehalts

4242 Sauerstoffanteil (auch in gebundener Form)

4243 Konzentrationen an gasförmigen Stoffen allgemein

u. a. - Vakuummeter

- Leckmessgeräte

- Massenspektrometer

4244 Azidität (pH-Wertbestimmung)

4245 Lösungsbestandteile, Lösungskonzentrationen

4246 Konzentrationen bzw. Anteile fester Stoffe

4247 Meßgeräte für Diffusions- und Reaktionsgeschwindigkeiten

## 425 Meßgeräte für elektrische und magnetische Größen

- 4251 Strom, Spannung, statische Aufladung
- 4252 Widerstand, Leitvermögen
- 4253 Dielektrische Meßgrößen, u. a.
  - Kapazität
- 4254 Elektrische Schwingungen
- 4255 Elektrizitätsmenge, elektrische Arbeit und Leistung
- 4256 Magnetische Meßgrößen
- 4257

## 426 Strahlungsmeßgeräte für

- 4261 Sichtbares Licht, Farbmessung, Glanzmessung
- 4262 Ultraviolettstrahlung
- 4263 Infrarotstrahlung, Wärmestrahlung
- 4264 Röntgen- und Gammastrahlung,
- 4265 Elektronen- und Ionenstrahlung
- 4267 Neutronenstrahlung u. ä.
- 4268 Sonstige Strahlung

## 43 Beobachtungs-, Prüf-, Kontrollgeräte, Geräte für die qualitative Analyse

## 431 Allgemeines, Systematik, Zubehör

- 4311
- 4312 Verstärker (für Beobachtungsgeräte)
- 4313 Fernbeobachtungseinrichtungen
- 4317

## 432 Geräte zum Beobachten, Prüfen, Kontrollieren mechanischer Vorgänge und Größen

- 4321 Druck, Zug, Schallwellen, mechanische Schwingungen
- 4322 Gewicht, Volumen, Dichte, Füllung
- 4323 Mechanische Eigenschaften fester Körper
- 4324 Mechanische Eigenschaften flüssiger und gasförmiger Stoffe
- 4325 Mechanische Leistung
- 4326 Teilchenform, -zahl und -größe, Oberfläche, Schichtdicke,
  - Orientierung und Aufbau von Gitterstrukturen und Texturierung, Porosität
- 4327 Formen, Fluß- und Bewegungsvorgänge (mitgeschichtlich) (vgl. auch 4313)

## 433 Apparate zur Beobachtung und Prüfung usw. thermischer Größen und Vorgänge

- 4331 Temperatur (auch Pyrometer)
- 4332 Wärmemengen
- 4333 Wärmeübergang, Wärmetransport
- 4334 Thermische Ausdehnung
- 4335

- 434 Apparate zur Beobachtung und Prüfung von Konzentrationen
  - 4341 Wassergehalt, Feuchtigkeit
  - 4342 Sauerstoffgehalt bzw. -anteil
  - 4343 Andere Gase
    - Lecksuchgeräte
  - 4344 Azidität (pH-Wert)
    - Indikatoren
  - 4345 Lösungsbestandteile, Lösungskonzentrationen
  - 4346 Konzentrationen fester Stoffe
  - 4337 Reaktionsabläufe, Diffusionsvorgänge
  
- 435 Apparate zur Beobachtung und Prüfung elektrischer und magnetischer Größen und Vorgänge
  - 4351 Strom, Spannung, statische Aufladung
  - 4352 Leitvermögen, Widerstand
  - 4353 Dielektrische Größen
  - 4354 Elektrische Schwingungen
    - u. a. - Oszillographen
    - (- Fernsehanlagen, elektrooptische Geräte siehe 4313)
  - 4355
  - 4356 Elektrische Flußgrößen und -vorgänge
    - u. a. - elektrische Leistung
    - elektrische Arbeit
  - 4357 Magnetische Vorgänge und Größen
  
- 436 Apparate zur Beobachtung von Strahlung
  - 4361 Sichtbares Licht
  - 4362 Ultraviolettstrahlung
  - 4363 Infrarotstrahlung (Wärmestrahlung siehe thermische Größen)
  - 4364 Gamma-Strahlung, Röntgenstrahlung
  - 4365 Elektronen- und Ionenstrahlung
  - 4366 Neutronenstrahlung u. ä.
  - 4367
  - 4368
  - 4369 Sonstige Strahlungsarten
  
- 44 Apparate für die Energieerzeugung, -umwandlung, -speicherung und -transport
  - 441 Wärmeerzeuger und -umwandler
    - 4411 Verbrennungskessel, -öfen
    - (4412 Kernreaktoren siehe 4453)
    - 4413 Wärmetauscher, Dampferzeuger
    - 4414 Rückkühlanlagen, Kondensatoren
    - 4415
    - 4416 Kältemaschinen, Expansionsmaschinen (Tiefemperaturkondensatoren siehe 4414)

## 442 Wärmekraftmaschinen, Triebwerke

- 4421 Verbrennungsmotoren
- 4422 Gasturbinen
- 4423 Dampfturbinen (Tiefemperatur-Expansions-turbinen siehe 4416)
- 4424 Dampfmaschinen
- 4425
- 4426 Verbrennungstriebwerke
- 4427
- 4428
- 4429 Sonstige Wärmekraftmaschinen

## 443 Elektrische und mechanische Kraftmaschinen etc.

- 4431 Elektrische -
- 4432 Wasserkraftmaschinen
- 4433 Windkraftmaschinen
- 4434
- 4435

## 444 Elektrische Energieumformer, -erzeuger, -speicher, -leiter

- 4441 Gleichrichter, Photozellen
- 4442
- 4443 Geräte auf dem Prinzip der Induktivität
  - Transformatoren
  - Generatoren
  - Stromaggregate
- 4444 Kapazitäten
- 4445 Direktumwandler
- 4446 Akkumulatoren, galvanische Elemente, elektrochemische Brennstoffzellen  
(Nuklearbatterien siehe 4445)

## 445 Apparate für die Erzeugung energiereicher Strahlung

- 4451 Linear - Teilchenbeschleuniger
- 4452
- 4453 Kernreaktoren
- 4454 Isotopenstrahlenquellen

## 45 Förder-, Aufbereitungsanlagen, Reaktionsapparate

## 451 Förderer

- 4511 Hebezeuge, Schräg- und Vertikaltransportvorr.
- 4512 Flurfördermittel
- 4513 Stetigförderer, Förderbänder
- 4514
- 4515 Einrichtungen zum Fördern von Flüssigkeiten und Gasen
  - Pumpen
  - Gebläse
  - Kompressoren
- 4516 Rohrleitungen, Kanäle
- 4517
- 4518 Transportbehälter
- 4519

## 452 Apparate zum Speichern und Verteilen

- 4521 Behälter für Flüssigkeiten und Gase  
(Druckbehälter siehe 4567)
- 4522 Lager
- 4523 Lagereinrichtungen
- 4524 Apparate zum Abfüllen
- 4525 Apparate zum Verpacken, Einhüllen und dergleichen
- 4526

## 453 Apparate zum Vereinigen und Mischen von Stoffen

- 4531 Rührer
- 4532 Strahlmischer, Homogenisierer
- 4533 Apparate zum Sättigen
  - Auflösen
  - Emulgieren
  - Suspendieren u. ä.
- 4534 Apparate für Stoffaustausch durch Diffusion usw.
- 4535 Apparate zum Agglomerieren:
  - Rösten
  - Fritten u. ä.
- 4536 Apparate zur chemischen Vereinigung von Stoffen
  - Verbrennung
  - Katalytische Vereinigung

## 454 Apparate zum Trennen von Stoffen

- 4541 Zum Trennen fester Stoffe nach Korngröße
- 4542 Zum Trennen fester Stoffe nach Eigenschaften
- 4543 Zum Abtrennen aus Suspensionen, flüssigen Mischungen und Lösungen
  - u. a. - Zentrifugen
  - Verdampfer
  - Ionenaustauscher
- 4543 Zum Abtrennen aus Gasen
  - u. a. - Zentrifugen
  - Entstauber
  - Luftfilter
  - Gaswascher
  - Absorber
  - Adsorber, Aktivkohlefilter
- 4546 Gaszerlegungsapparate
- 4547 Isotopentrennanlagen
- 4548

## 455 Apparate zum Zerkleinern

- 4551 Schneiden (nicht zur Formgebung)
- 4552 Brechen
- 4553 Mahlen
- 4554 Schleifen (nicht zur Formgebung)
- 4555

456 Behälter und Apparate für (chemische) Umsetzungen, Apparate zur Erzeugung extremer oder besonderer Bedingungen

- 4561 Offene Reaktionsgefäße
- 4562 Apparate für Unterdruck, Vakuumanlagen
- 4563 Beheizte bzw. gekühlte Reaktionsapparate
- 4564 Apparate für die Anwendung besonderer Energieformen (Chemiereaktoren siehe 4453)
- 4565 Kolonnen
- 4566 Autoklaven, Apparate für höchste Drücke
- 4567 Großdruckbehälter

46 Produktionsmaschinen und -apparate, Werkzeuge

461 Maschinen und Apparate für die spanlose Formgebung, Ver- und Bearbeitung

- 4611 Gießereimaschinen einschließlich Schmelzöfen
- 4612 Formsintervorrichtungen
- 4613 Maschinen für die spanlose Formgebung
  - u. a. - Pressen
  - Schmieden, Gesenke
  - Walzen
  - Ziehmaschinen
  - Elektronenstrahlwerkzeugmaschinen
- 4614 Maschinen zum Blasen, Spinnen und dergleichen (Faser-, Folienprodukte)
- 4615 Maschinen und Apparate für Wärmebehandlungen
- 4616 Maschinen und Apparate für Oberflächenbehandlungen
  - u. a. zum
  - Galvanisieren
  - Beschichten
  - Aufdampfen
  - Spritzen, Streichen
- 4617 Schweißmaschinen
- 4618 Apparate für Bearbeitung bzw. Behandlung durch Bestrahlung (siehe aber 445 Erzeugung energiereicher Strahlung)
- 4619 Sonstige nicht spanende Ver- oder Bearbeitungsmaschinen

462 Maschinen und Apparate für die spanende Formgebung

- 4621 Bohrmaschinen
- 4622 Drehmaschinen
- 4623 Säge - Fräsmaschinen
- 4624 Schleifmaschinen
- 4625 Räummaschinen
- 4626 Hobelmaschinen
- 4627

463 Web-, Wirk-, Flechtmaschinen

464 Druck- und Vervielfältigungsmaschinen

465 Werkzeuge (auch mechanisierte), Hilfseinrichtungen

- 4651
- 4654 Zeichenmaschinen und -geräte
- 4655 Fernbedienungswerkzeuge, -geräte

466 Vorrichtungen für den Arbeitsschutz

- 4661 Atem- und Körperschutz
- 4662
- 4663 Berührungsschutz

47 Bauelemente

471 Maschinenelemente

- 4711 Lager
- 4712 Dichtungen
- 4713 Antriebe, Getriebe, Verzahnungen
- 4714 Rollen, Räder
- 4715 Verbindungselemente (Schrauben, Nieten etc.)
- 4716 Kompensatoren
- 4717
- 4718
- 4719

472 Teile für elektrische Anlagen

- 4721 Isolatoren
- 4722 Schalter
- 4723 Leitungen, Kabel

473 Armaturen

- 4731 Absperrorgane
- 4732 Verbindungselemente (Flanschen, Stutzen)
- 4733 Sammler, Verteiler, Krümmer

474 Beschläge

475

476 Halbzeuge

- 4761 Rohre
- 4762 Profile
- 4762 Folien, Schutzschichten
- 4764 Bleche, Platten

48 Geräte für spezielle Anwendungen (Büromaschinen etc.)

481 Schreib- und Rechenmaschinen

4811 Schreibmaschinen, Vervielfältigungs- und Adressiermaschinen

4812

4813 Mechanische Rechenmaschinen, Buchungsmaschinen, Rechenschieber

4814 Mechanische Lochkartenmaschinen, Sortiermaschinen etc.

4815 Elektromagnetisch und elektronische Rechner (Computer)

u. a. - Digitalrechner

- Analogrechner

- Prozettrechner

4816 Optische und pneumatische Rechner

49 Verkehrs- und Transportmittel



Anlage 2

ALLGEMEINER KATALOG DER ANWENDUNGS-  
UND HERSTELLUNGSBEREICHE

- 0 LAND - UND FORSTWIRTSCHAFT, FISCHEREI, TIERHALTUNG
  - 00 Land- und Forstwirtschaft
    - 002 Landwirtschaftliche Tierhaltung und -zucht
    - 005 Forstwirtschaft
  - 05 Fischerei und Fischzucht
  
- 1 BERGBAU, ENERGIEWIRTSCHAFT, WASSERVERSORGUNG
  - 10 Energiewirtschaft und Wasserversorgung
  - 11 Bergbau
    - 110 Steinkohlenbergbau und Kokerei
    - 111 Braun- und Pechkohlenbergbau und Braunkohlenschwelerei
    - 113 Erzbergbau
      - 1130 Eisenerzbergbau
      - 1135 Metallerzbergbau (Bauxit, Magnetkies, Konzentrate etc.)
      - 1136 Uranerzbergbau
    - 115 Kali- und Steinsalzbergbau sowie Salinen
    - 116 Gewinnung von Erdöl, Erdgas und bituminösen Gesteinen
    - 118 Sonstiger Bergbau (einschließlich Torfgewinnung)
      - 1181 Flußspat-, Graphit- und sonstiger Bergbau
    - 119 Bergbauliche Tiefbohrung, Aufschließung und Schachtbau (ohne Erdölbohrung)
  - 15 Energiewirtschaft und Wasserversorgung
    - 150 Allgemeine Energiewirtschaft
    - 151 Elektrizitätserzeugung und -verteilung
      - 1510 Elektrizitätserzeugung
        - 15100 Elektrizitätsversorgung auf Wärmebasis
        - 15105 Elektrizitätsversorgung mit Wasserkraft
      - 1515 Elektrizitätsverteilung
    - 153 Gaserzeugung und -verteilung
      - 1530 Gaserzeugung
      - 1535 Gasverteilung
    - 155 Fernheizung
    - 157 Wassergewinnung und -verteilung

2 VERARBEITENDE INDUSTRIE (OHNE BAUGEWERBE)

- 20 Chemische Industrie und Mineralölverarbeitung, Kunststoff-, Gummi- und Asbestverarbeitung
  - 200 Chemische Industrie
    - 2000 Chemische Industrie (ohne Herstellung von Chemiefasern und Kohlenwertstoffen)
    - 2002 Herstellung von Chemiefasern
    - 2003 Kohlenwertstoffindustrie
  - 202 Mineralölverarbeitung, Braunkohlenteer-, Ölschiefer- und Torferdedestillation
    - 2020 Verarbeitung von Mineralöl
    - 2025 Braunkohlenteer-, Ölschiefer- und Torferdedestillation
  - 210 Kunststoffverarbeitung
- 22 Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden; Feinkeramik und Glasgewerbe
  - 220 Gewinnung und Verarbeitung von Steinen und Erden
    - 2200 Gewinnung, Be- und Verarbeitung von Natursteinen
    - 2201 Gewinnung und Aufbereitung von Sand und Kies
    - 2202 Herstellung von Zement und zementähnlichen Bindemitteln
    - 2203 Gewinnung und Aufbereitung von Kalkstein, Gips und Kreide sowie Herstellung von Gipserzeugnissen
    - 2204 Gewinnung und Verarbeitung von sonstigen Steinen und Erden
    - 2205 Herstellung von grobkeramischen Erzeugnissen
    - 2206 Herstellung von Kalksandsteinen
    - 2208 Herstellung von Betonsteinerzeugnissen
    - 2209 Herstellung von sonstigen künstlichen Steinerzeugnissen, Mörtel und Transportbeton
  - 224 Feinkeramik
    - 2240 Herstellung von Porzellan und feinkeramischen Massen (nicht technisch)
    - 2242 Herstellung von Gebrauchssteingut, Feinsteinzeug, Ton- und Töpferwaren
    - 2244 Herstellung von sanitärer, technischer und chemisch-technischer Keramik
      - 22445 Herstellung technischer Keramik
    - 2247 Herstellung von Kacheln, Ofen- und Baukeramik
    - 2249 Herstellung von Schleifmitteln
  - 227 Herstellung und Verarbeitung von Glas und Quarzglas
    - 2270 Flachglasherstellung
    - 2274 Herstellung von Hohlglas
    - 2277 Verarbeitung und Veredlung von Glas, Herstellung von Glasfaser
    - 2278 Verarbeitung und Herstellung von Quarzglas

- 23 Eisen- und Stahlerzeugung
  - 230 Eisen- und Stahlerzeugung
    - 2300 Hochofenwerke
    - 2301 Stahlwerke
    - 2302 Walzwerke
    - 2305 Schmiede-, Preß- und Hammerwerke
  - 232 NE-Metallerzeugung (einschließlich -halbzeugwerke)
  - 234 Eisen-, Stahl- und Tempergießerei
  - 236 NE-Metallgießerei
  - 238 Ziehen und Kaltwalzen, Stahlverformung, Oberflächenveredlung und Härtung
    - 2380 Ziehen und Kaltwalzen
    - 2384 Stahlverformung
    - 2387 Oberflächenveredlung und Härtung
  - 239 Schlosserei, Schweißerei, Schleiferei und Schmiede
- 24 Stahl-, Maschinen- und Fahrzeugbau
  - 240 Stahl- und Leichtmetallbau
    - 2400 Hoch-, Brücken- und Wasserbau aus Stahl und Leichtmetall sowie Weichenbau
    - 2403 Waggon-, Feld- und Industriebahnwagenbau
    - 2406 Herstellung von Dampfkesseln, Wärmetauschern und Dampferzeugern, ortsfesten Behältern für flüssige und gasförmige Stoffe sowie von zugehörigen Rohrleitungen
    - 2409 Bau von Lüftungs-, wärme- und gesundheitstechnischen Anlagen
  - 242 Maschinenbau
    - 2420 Allgemeiner Maschinenbau
    - 2421 Metall- und Holzbearbeitungsmaschinen
    - 2422 Vorrichtungen und Einrichtungen für den Bergbau
    - 2423 Landmaschinen, Maschinen für Nahrungsmittelindustrie
    - 2424 Papier- und Druckereimaschinen
    - 2425 Büromaschinen
    - 2426 Textilmaschinen
    - 2427 Armaturen, Maschinenelemente
    - 2428 Sonstige Fachzweige des Maschinenbaus
    - 2429 Montage und Reparatur von Erzeugnissen des Maschinenbaus
  - 244 Straßenfahrzeugbau
    - 2441 Herstellung von Kraftwagen und Kraftwagenmotoren und Kraftträdern
    - 2441 Motorenbau
    - 2443 Herstellung von Kraftfahrzeugteilen und -zubehör
    - 2444 Herstellung von Karosserien und Anhängern für Kraftfahrzeuge
    - 2449 Lackierung von Straßenfahrzeugen

- 246 Schiffbau
  - 2460 Schiffbau (ohne Boots- und Jachtbau)
  - 2465 Boots- und Jachtbau
- 248 Luftfahrzeugbau und Raumfahrtindustrie
- 25 Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik; Herstellung von EBM-Waren
  - 250 Elektrotechnik
    - 2500 Allgemeine Elektrotechnik
    - 2502 Herstellung von Erzeugnissen der Starkstromtechnik
    - 2504 Herstellung von Erzeugnissen der Nachrichtentechnik und Elektronik
    - 2506 Herstellung von sonstigen Erzeugnissen der Elektrotechnik
    - 2508 Montage und Reparatur
  - 252 Feinmechanik und Optik
    - 2520 Herstellung von optischen Instrumenten
    - 2522 Herstellung von Foto-, Projektions- und kinotechnischen Geräten
    - 2525 Herstellung von feinmechanischen Erzeugnissen
    - 2527 Herstellung von medizinischen und orthopädiemechanischen Erzeugnissen
  - 254 Uhrenherstellung
  - 256 Herstellung von Eisen-, Blech- und Metallwaren
  - 258 Herstellung von Musikinstrumenten, Sportgeräten und Spielwaren
  - 259 Herstellung von Schmuckwaren
- 26 Holz- und Papierindustrie und Druckgewerbe
  - 260 Säge- und Holzbearbeitungswerke
  - 262 Holzverarbeitung
    - 2621 Herstellung und Reparatur von Möbeln aus Holz, Holzkonstruktionen und sonstigen Tischlereierzeugnissen
    - 2629 Veredlung von Holz- und verwandten Waren
  - 264 Zellstoff-, Holzschliff-, Papier- und Pappeerzeugung
  - 265 Papier- und Pappeverarbeitung
  - 268 Druckerei und Vervielfältigung
    - 2680 Druckerei
    - 2684 Chemigrafisches Gewerbe sowie Herstellung von Stereos, Galvanos und Gummistempeln
    - 2687 Licht- und Fotopauserei

27 Leder-, Textil- und Bekleidungsgewerbe

270 Herstellung, Zurichtung und Veredlung von Leder

271 Lederverarbeitung

272 Herstellung von Schuhen

275 Textilgewerbe

2751 Aufbereitung von Spinnstoffen

2752 Spinnweberei

2753 Spinnerei und Zwirnerei

2754 Weberei

2755 Wirkerei und Strickerei

2756 Sonstige Spinnstoffverarbeitung

2757 Veredlung von Textilien

2758 Textilhilfsgewerbe

276 Bekleidungsgewerbe

279 Polsterei und Dekorateurgewerbe

28 Nahrungsmittelindustrie

281 Mahl- und Schälmaschinen (ohne Ölmühlen)

282 Stärkegewinnung und -verarbeitung, Verarbeitung von Kartoffeln  
(ohne Brennerei und Futtermittelherstellung)

283 Herstellung von Nahrungsmitteln und Teigwaren

284 Herstellung von Backwaren

285 Zuckerindustrie

286 Obst- und Gemüseverarbeitung

287 Herstellung von Süßwaren

288 Milchverwertung

289 Herstellung von Speiseöl und Speisefett

2891 Ölmühlen, Ölraffination und -härtung

2895 Herstellung von Margarine und Kunstspeisefett

29 Genußmittelherstellung, Futtermittelherstellung

293 Brauerei und Mälzerei

294 Alkoholbrennerei, Herstellung von Spirituosen, Weinherstellung und -verarbeitung

295 Gewinnung von Mineralbrunnen, Herstellung von Mineralwasser und Limonaden

296 Tabakverarbeitung

298 Sonstige Nahrungs- und Genußmittelgewerbe

2981 Verarbeitung von Kaffee und Tee, Herstellung ähnlicher Erzeugnisse

2987 Eisgewinnung

299 Herstellung von Futtermitteln

3 BAUGEWERBE

30 Bauhauptgewerbe

300 Hoch- und Tiefbau

302 Spezialbau

3020 Schornsteinbau

3023 Isolierbau

3026 Brunnenbau, Tiefbohrung

305 Stukkateurgewerbe, Gipserei und Verputzerei

308 Zimmerei

309 Dachdeckerei

31 Ausbau- und Bauhilfsgewerbe

310 Bauinstallation

3100 Klempnerei, Gas- und Wasserinstallation

3105 Elektroinstallation

312 Glaser- und Malergewerbe, Tapetenkleberei

315 Fußboden-, Fliesen- und Plattenlegerei, Ofen- und Herdsetzerei

318 Bauhilfsgewerbe

3181 Gerüstbau

3182 Fassadenreinigung und Gebäudetrocknung

4 HANDEL

5 VERKEHR UND NACHRICHTENÜBERMITTLUNG

50 Eisenbahnwesen

51 Straßen- und Kommunalverkehr

511 Personenbeförderung im Straßenverkehr mit Fahrzeugen verschiedener Art

512 Personenbeförderung mit schienen- und oberleitungsgebundenen Fahrzeugen  
(ohne Eisenbahnen)

5121 Straßenbahn-, Untergrundbahn- und Obusverkehr

5122 Bergbahn- und Seilbahnverkehr

513 Personenbeförderung mit Omnibussen

514 Personenbeförderung mit Personenkraftwagen

517 Güterbeförderung mit Kraftfahrzeugen (ohne Möbeltransport)

518 Möbeltransport mit Kraftfahrzeugen

519 Güter- und Personenbeförderung mit Gespannfahrzeugen

- 52 Binnenschifffahrt, -wasserstraßen und -häfen
    - 521 Binnenschifffahrt
    - 525 Binnenwasserstraßen und -häfen (ohne Fähren und Hafenschifffahrt)
  - 53 See- und Küstenschifffahrt, Seehäfen
    - 531 See- und Küstenschifffahrt
    - 535 Seehäfen (ohne Hafenschifffahrt)
  - 54 Luftfahrt, Flugplätze
    - 541 Luftfahrt
    - 545 Flugplätze
  - 55 Transport in Rohrleitungen, sonstige Transportarten
  - 57 Postwesen, Spedition
    - 571 Postwesen
    - 572 Spedition, Lagerei und Verkehrsvermittlung
  - 58 Nachrichtenübermittlung
- 6 KREDITINSTITUTE UND VERSICHERUNGEN
- 60 Kredit- und sonstige Finanzierungsinstitute
    - 600 Deutsche Bundesbank
    - 601 Kreditbanken
    - 602 Institute des Sparkassenwesens (ohne Post- und Bausparkassen)
    - 603 Genossenschaftliche Kreditinstitute
    - 604 Hypothekenbanken und öffentlich-rechtliche Grundkreditanstalten
    - 605 Kreditinstitute mit Sonderaufgaben
    - 606 Postscheck- und Postsparkassenämter
    - 607 Sonstige Kreditinstitute
    - 608 Bausparkassen
    - 609 Effektenbörsen, Vermittlung von Bank- und Effektengeschäften
  - 61 Versicherungsgewerbe
    - 610 Lebensversicherung, Pensions- und Sterbekassen
    - 611 Krankenversicherung
    - 614 Schaden- und Unfallversicherung
    - 616 Rückversicherung
    - 619 Vermittlung von Versicherungen



7 DIENSTLEISTUNGEN, SOWEIT VON UNTERNEHMEN UND FREIEN BERUFEN  
ERBRACHT

71 Bildungswesen

716 Wissenschaftliche Bildung, Erziehung, Sport

7160 Wissenschaftliche Einrichtungen, selbständige Wissenschaftler

71600 Wissenschaftliche Bibliotheken und Archive

7162 Unterrichtsanstalten

7164 Sonstige Bildungsstätten

7166 Erziehungsanstalten

717 Filmindustrie

718 Verlags- und Pressewesen

72 Gesundheitswesen, Medizin

721 Anstalten und Einrichtungen des Gesundheitswesens

7211 Krankenhäuser

722 Medizin (Therapie, Diagnose, Forschung)

723 Veterinärwesen

73 Rechtsberatung

74 Wirtschaftswerbung, Wirtschaftsberatung, Prüfung

75 Architektur- und Ingenieurbüros, Laboratorien und ähnliche Institute

76 Forschungsinstitute ohne Bindung an (Hoch-) Schulen



Anlage 3

SPEZIELLER KATALOG DER ANWENDUNGEN  
IM KERNTÉCHNISCHEN BEREICH

1 VERWENDUNG BEI DER HERSTELLUNG VON MATERIALIEN FÜR DIE  
KERNTECHNIK

11 Herstellung von Kernbrenn- und Brutstoffen

- 111 Mechanische Aufbereitung der Erze
- 112 Chemische Aufbereitung der Erze
- 113 Trennung von Beimengungen anderer Stoffe
- (114 Isotopentrennung, Anreicherung s. 131)
- 115 Plutoniumgewinnung im Reaktor
- 116 Konzentration
- 117 Reduktion zum Metall

12 Herstellung von Reaktorstrukturmaterialien, Hilfs- und Betriebsstoffen

- 121 Struktur- und Hüllmaterialien
- 122 Abschirmmaterialien
- 123 Moderatormaterialien
- 124 Absorbermaterialien
- 125 Flüssige Kühlmittel
- 126 Gase für die Verwendung in kerntechnischen Anlagen
- 127 Andere Materialien

13 Isotopentrennung

- 131 Kernbrennstoff-Anreicherung
- 132 Anreicherung von  $D_2$  bzw.  $D_2O$
- 133 Darstellung von anderen flüssigen Moderatorstoffen oder Kühlmitteln
- 134 Herstellung von Strukturwerkstoffen mit geringem Einfangquerschnitt
- 135 Herstellung von Absorbern

14 Gewinnung von Radionukliden

- 141 Durch Aktivierung
- 142 Gewinnung aus den Spaltprodukten

2 VERWENDUNG BEI DER HERSTELLUNG VON BAUTEILEN FÜR KERN-  
TECHNISCHE ANLAGEN

- 21 Herstellung von Brennelementen
  - 211 Formgebung des Brennstoffs
  - 212 Herstellung von Hüllrohren
  - 213 Umhüllen des Brennstoffs
  - 214 Herstellung von Platten- und Metallmatrixbrennelementen
  - 215 Herstellung von "coated particles"
  - 216 Dichtschweißen von Brennstäben
  - 217
  - 218 Brennelementassembling
  
- 22 Bau von Reaktorkomponenten
  - 221 Wärmetauscher, Verdampfer
  - 222 Behälter
  - 223 Pumpen/Gebälse
  - 224 Armaturen
  - 225 Rohrleitungen
  
- 23 Herstellung von Teilen für andere kerntechnische Anlagen

### 3 AUFBEREITUNG

- 31 Aufbereitung nicht radioaktiver Stoffe
  - 311 Kesselspeisewasseraufbereitung (Vollentsalzung, Reinigung, Entgasung)
  - 312 Nicht radioaktive Abwasseraufbereitung
  - 314 Reinigung von Gasen
  - 315 Luftreinigung und -überwachung
  
- 32 Aufbereitung radioaktiver Stoffe
  - 322 Beseitigung bzw. Aufbereitung fester radioaktiver Abfälle (Verbrennen)
  - 323 Behandlung flüssiger radioaktiver Abfälle
  - 324 Behandlung gasförmiger radioaktiver Abfälle
  - 325 Reinigung von Abluft aus Reaktorbetriebsgebäuden
  
- 33 Behandlung radioaktiver Teile
  - 331 Dekontamination
  - 332 Handhabung
  - 333 Transport radioaktiver Stoffe und Teile
  - 334 Lagerung und Beseitigung
  
- 34 Reinigung von Kreislaufmedien
  - 341 Primärwasser
  - 342 D<sub>2</sub>O-Kreislauf
  - 343 Organische Kühl- bzw. Moderatorflüssigkeiten
  - 344 Reinigung von Flüssigmetallen
  - 345 Reinigung von Schutz- bzw. Druckhaltegasen
  - 346 Reinigung von gasförmigen Kühlmitteln
  
- 35 Wiederaufbereitung bestrahlten Brennstoffs

#### 4 ANWENDUNG IN KERNTÉCHNISCHEN ANLAGEN

- 41 Reaktor
  - 411 Brennstoff
  - 412 Brennelementteile
  - 413 Strukturteile
  - 414 Moderator/Reflektor
  - 415 Meß- und Regelteile
  - 416 Speziell Regelstäbe und Absorberelemente
  - 417 Strahlenschilder
  
- 42 Haupt-Kühlkreislauf
  - 421 Kühlkanäle
  - 422 Wärmetauscher/Verdampfer
  - 423 Kühlmedium
  - 424 Rohrleitungen
  - 425 Armaturen
  - 426 Kühlmittelumwälzung
  - 427 Messung und Regelung
  
- 43 Nebenkreisläufe
  - 431 Kühlmittel-Reinigungskreislauf
  - 432 Moderatorkreislauf
  - 433 Andere Reaktorhilfskreisläufe
  - 434
  - 435 Schutzgas bzw. Druckhaltegas-Kreislauf
  - 436 Belüftung von Betriebsgebäuden
  
- 44 Hilfseinrichtungen
  - 441 Lademaschine
  - 442 Transporteinrichtung für Brennelemente innerhalb der Reaktoranlagen
  - 443 Transportvorrichtung für Reaktorkomponenten
  - 444 Lager für bestrahlte Brennelemente und Teile
  - 445 Heiße Zellen
  - 446
  
- 45 Andere kerntechnische Anlagen
  - 451 Teilchenbeschleuniger
  - 452 Isotopenstrahlenquellen
  - 453 Anlagen für die Kernfusionstechnik
  - 454

5 ISOTOPENTECHNIK (IM RAHMEN DER STUDIE NICHT BEHANDELT)

6 ANWENDUNG IN DER (KERN-)FORSCHUNG

61 Kernphysik

- 611 Neutronenphysik
- 612 Technische Physik
- 613 Aufbau der Materie - Festkörperphysik
- 614 Plasmaphysik
- 615 Kernphysik/Hochenergiephysik

62 Kernchemie

- 621 Radiochemie
- 622 Physikalische Chemie
- 623 Chemische Technologie

63 Lebenswissenschaften

- 631 Nuklearmedizin
- 632 Botanik
- 633 Zoologie
- 634 Landwirtschaft
- 635 Mikrobiologie
- 636



7 DIENSTLEISTUNGSBEREICHE IN DER KERntechnik

- 71 Gesundheit
  - 711 Strahlenüberwachung und -messung
- 72 Sicherheit
- 73 Tests
- 74 Unfallanalyse
- 75 Planung, Berechnung
- 76 Konstruktion
- 77 Ausbildung, Forschung
- 78 Versicherungswesen



VERZEICHNIS DER ERFASSTEN FÄLLE

**Erläuterung der Zeichen:**

Die in runden Klammern ( ) erscheinende Ziffer in der Spalte "von der Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen" geben Aufschluß über den Entwicklungsstand des Falles.

**Es bedeutet:**

- 0 Anwendungen, die nicht durch die Kerntechnik beeinflusst sind
- 1 Es gibt keine Anwendung
- 2 Es können keine Anwendungen in Erfahrung gebracht werden, sie sind aber im Bereich der Möglichkeiten
- 3 Der Fall wird diskutiert
- 4 Erprobungen werden angestellt
- 5 Prototyp-Stadium
- 6 Prototyp-Fertigung ist abgeschlossen; Beginn der großtechnischen bzw. allgemeinen Anwendung
- 7 Dieser Fall hat anderes in großtechnischer Anwendung

Ein  $\longleftrightarrow$  zwischen den Spalten mit Anwendungen in der Kerntechnik und denen in herkömmlichen Bereichen soll zum Ausdruck bringen, daß eine gegenseitige Befruchtung stattgefunden hat.

1

ERKENNTNISSE

(Theoretische Grundlagen und Denkmodelle)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
15 THEORETISCHE GRUNDLAGEN AUF DEM GEBIET DER NATURWISSENSCHAFTEN			
<u>153 Physik</u>			
1536 Thermodynamik			
1536.401			
Wärmeübergang an überkritischen Dampf	Theoretische Grundlagen des Wärmeübergangs wurden er- forscht und halbempirische Formeln aufgestellt	Von besonderer Bedeutung für Wärmeübertragung von Natrium an Wasser (in Einrohr- oder Rohrbündelwärmetauschern)	Hochdruck-Dampfkraftwerke; Hochtemp- raturchemie; von Bedeutung auch für Wärmeübertragung an andere über- kritische Dämpfe
1536.402			
Wärmeübergang an überhitzten Dampf	Theoretische Erforschung der Zusammenhänge, die bisher häufig nur empirisch erfaßbar waren	Von Bedeutung für die Entwick- lung der Heißdampfreaktoren und dampfgekühlten schnellen Brüter	Rückwirkungen auf Wirkungsgrad und Dimensionen von Wärmetauschern
1537 Elektrizität			
1537.300			
Grundlagen der Supraleitung	Erforschung der theoretischen Grundlagen des Supraleit- effekts und Entwicklung von geeigneten supraleitenden Materialien, insbesondere von "harten" Supraleitern	In der Plasmaphysik zur Steige- rung des Wirkungsgrades von MHD-Generatoren; für Magnet- spulen in Beschleunigern	In der Raumfahrt für Energiespeicher (4)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

1538 Magnetismus

1538.056

Cerenkov-Effekt

Wenn ein sehr energiereiches Teilchen (Elektron mit Vakuum-Lichtgeschwindigkeit) durch Materie dringt, so erzeugt es eine Wellenstrahlung (Lichtstrahlung), die sich nicht in Form einer Kugelwelle ausbreiten kann, wenn die Phasengeschwindigkeit des Lichtes in der betreffenden Materie kleiner ist als die Geschwindigkeit des lichterzeugenden Elektrons. Es entsteht eine Strahlung mit kegelförmiger Wellenfront

Über Photozellen und Elektronenvervielfacher (Cerenkov-Zähler) zur Zählung sehr energiereicher Elektronen, Positronen und Protonen

Analogien beim Entstehen der Kopfweile eines mit Überschallgeschwindigkeit fliegenden Flugkörpers

1538.400

Magnetohydrodynamik

Strömungsvorgänge von Plasmen oder Flüssigkeiten mit großer elektrischer Leitfähigkeit in Anwesenheit innerer und äußerer magnetischer Felder. Analogon zur Hydrodynamik und Gasdynamik

Von Bedeutung für thermische Fusionsprozesse

Von Bedeutung für astrophysikalische Probleme und Direktumwandlung von Wärme in elektrische Energie

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste An- wendungen in herkömmlichen Bereichen
1538 1538.401 Pinch-Effekt	Eigenmagnetische Kontraktion eines Lichtbogens bei Übersteigen einer bestimmten Stromstärke; beruht auf der Anziehung paralleler Ströme; der magnetische Druck wird größer als der Gasdruck	Experimentelle Kernphysik: Erzeugung von Höchsttemperatur-Plasmen für die Kernfusion im Zetagerät	Rückwirkungen auf Höchsttemperaturforschung
1539 1539.100 Festkörperphysik	Sowohl durch die Erfordernisse der Kerntechnik, Aufbau und Vorgänge zu erkennen, als auch durch die Hilfsmittel, die d. Kerntechnik der Wissenschaft (z.B. in Form der verschiedenen, die Materie durchdringenden Strahlen) an die Hand gab, wurden seit den 30er Jahren große Fortschritte auf diesem Gebiet erzielt	Als typische Beispiele sind zu nennen: Vertiefung des Wissens über die Formen des Kohlenstoffs, insbesondere des Graphits, über die einzelnen Phasen des Urans, Thoriums und Plutoniums sowie deren Verbindungen	Neue Erkenntnisse auf dem gesamten Gebiet der Festkörperphysik, z.B. durch die Hilfsmittel der Diffraktometrie und Ionenoptik; von Bedeutung u.a. für Halbleiter- und Supraleittechnik
1539.401 Kernresonanz	Mitschwingen von Atomen, Atomkernen und Molekülen, das eintritt, wenn die Frequenz der einwirkenden Strahlung (insbesondere Neutronenstrahlung) der oder einer Eigenschwingungszahl des betreffenden Systems (Kern, Molekül) entspricht. Spielt eine große Rolle bei der Auslösung von Kernreaktionen durch Resonanzeinfang, wenn die Schwingung der Strahlung bzw. der dem Teilchen entsprechenden Materiewelle einem Resonanzniveau des Atomkerns entspricht	Bedeutung über Resonanzeinfang für Kernspaltung und Brutreaktionen (Bildung von Pu <sup>239</sup> ); Kerne, die ausgeprägte Resonanzen haben, werden als Detektoren für Neutronen der Resonanzenergie benützt (Cd, In, Rh)	Magnetische Kernresonanzspektroskopie für die qualitative Bestimmung von molekularen Strukturen, insbesondere für die Ermittlung von Art und Anordnung funktioneller Gruppen in Molekülen; geeignet vor allem für leichte Kerne (H, F, P, B), die O- und C-Isotope beeinflussen das Spektrum nicht.



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<u>157 Biologie</u>			
1579 Zoologie			
1579.001			
Zucht von Versuchstieren: Schweine (Hanford Miniatures)	Das Schwein hat in mancher Hinsicht (Haut, Struktur der Zähne u.a.) Ähnlichkeit mit dem menschlichen Körper; deshalb ist es als Versuchstier geeignet; ein Problem war bisher das große Gewicht, wodurch es nicht nur schwer zu "handhaben" war, sondern auch die Relationen der Größen der einzelnen Organe verschoben waren; neu ist die Züchtung eines Typs, der nicht schwerer als 75 bis 85 kg wird	Untersuchung von Strahleneinflüssen auf den Organismus, insbesondere auf Haut und Blut	Studien in der Dentalmedizin, z.B. Bildung von Zahnstein; Versuche auf dem Gebiet der Krebsforschung
16 THEORETISCHE GRUNDLAGEN AUF DEM GEBIET DER ANGEWANDTEN WISSENSCHAFTEN			
<u>161 Medizin, Gesundheitswesen</u>			
1614 Unfallschutz, öffentliches Gesundheitswesen			
1614.870 +)			
Unfallanalyse (Modell des größten anzunehmenden Unfalls)	Kriterium für die Beurteilung der Sicherheit von Atomanlagen unter Zugrundelegung einer festgelegten zulässigen Strahlenbelastung der Umgebung (für Personen 25 rem)	Anwendung in erster Linie für die Beurteilung von Leichtwasserreaktoren; neuerdings auch für andere Anlagen u.a. auch für gasgekühlte Reaktoren und Brennstoffwiederaufbereitungsanlagen	In der Praxis verwirklichte Anwendungen wurden nicht bekannt; denkbare Anwendungen sind: Erdölpipelines in Trinkwassereinzugsgebieten; Flüssiggasbehälter, Chemieanlagen und Speicher, die größere Mengen giftiger Gase beinhalten, z.B. Chlorgasbehälter usw.

+ ) Fall, der im Rahmen der Studie einer eingehenden Untersuchung unterzogen wurde (siehe Anlage 7 - 1)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

1615 Therapeutik, Arzneimittelkunde, Toxikologie

1615.849  
Strahlenmedizin  
(Radiotherapie)

Neues Gebiet der Medizin, das sich mit der Anwendung von (energiereichen) Strahlen und ihrer Wirkungen auf den lebenden Organismus befaßt. In den letzten Jahren wurden eine Vielzahl von Verfahren und Geräten entwickelt. Zum Einsatz gelangen meist Gamma-Strahlen (Röntgenröhren, Isotopenquellen)

Theoretische Grundlagen und apparative Voraussetzungen wurden durch die Kerntechnik bereitgestellt

Therapie von Hautkrankheiten, Entzündungen und bösartigen Geschwülsten

1615.900  
Industrielle  
Toxikologie

Untersuchungen, die durch den vermehrten Einsatz toxischer Stoffe (Be, BeO, Tl und Tl-Verbindungen, Pu u.a.) notwendig wurden, führten zu vollkommen neuen Erkenntnissen (z.B. hinsichtlich der individuell unterschiedlichen Anfälligkeit einzelner Personen)

Gezielte Maßnahmen um Herstellungsverfahren und Be- und Verarbeitung so gestalten zu können, daß Berufskrankheiten vermieden werden; spielt eine besondere Rolle bei der Herstellung von Plutoniumverbindungen und Berylliumbrennelementen

Erkennen grundlegender Zusammenhänge in der Medizin; von Bedeutung vor allem für die Berylliumtechnologie

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

162 Ingenieurwissenschaften und Technologie

1627 Werkstoffkunde

1627.201

Wigner-Effekt  
(Strahlenschäden)

Vorgang, bei dem ein schnelles Neutron ein Atom von seinem Gitterplatz verstößt; die Folge ist das Entstehen von Strahlenschäden

Wesentliche Erkenntnis für das Verstehen von Strahlenschäden in Festkörpern: besondere Bedeutung u.a. im Zusammenhang mit Graphit und Uran, die durch Strahlenschäden einem Längenwachstum in bevorzugten Richtungen unterliegen

Rückwirkungen auf Festkörperphysik: Erkenntnisse über Zwischengitteratome und Kristallgitteraufbau

2        M A T E R I A L I E N

(Rohstoffe, Werkstoffe, Arbeitsmedien und andere Stoffe)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<b>22 WERKSTOFFE</b>			
<b><u>221 Eisenmetalle und Ferrolegierungen</u></b>			
2213.000 Stähle niedrig legierte --	Mit geringem C-Gehalt für manche Zwecke auch bor-, tantal- und kobaldfreie Stähle (< 50 ppm)	Reaktordruckgefäße, Reak- toreinbauten, Primär- und Sekundär-Reaktorkreisläufe	Keine direkte Anwendung bekannt, jedoch Rückwirkungen durch hoch- gezüchtete Prüfverfahren auf Stahl- qualitäten für konventionelle An- wendungen
2213.110 Stähle vergütete Fein- korn (bau)-Stähle	Hohe Streckgrenzen, gute Schweiß- eignung, unempfindlich gegen Sprödbruch, gute Kaltverformbar- keit, gasfrei durch Umlaufent- gasungsverfahren; durch Wärmebehandlungen (Vergü- tung) feinkörnig gemacht, um die Wandstärken von Druckbehäl- tern möglichst gering halten zu können	Containments	↔ Tankbehälterbau, hochbeanspruchte Druckbehälter (7)
2214.101 Niob- und Titan- stabilisierte Ferrite	Stähle, bei denen der Kohlenstoff in Niob- bzw. Titankarbid gebunden ist; diese sind beständiger gegen Auskohlung als Fe <sub>3</sub> C (weiterent- wickelt im Zusammenhang mit der Kerntechnik)	Konstruktionswerkstoff für Flüssigmetall-Reaktorkreis- läufe und in wassergekühlten Reaktoren	↔ Für den chemischen Apparatebau, da billiger als Austenite und für gewisse Zwecke durchaus gleich- wertig
2216.001 Austenitische Edel- stähle, 18 - 8 S, wenig C	Hochwarmfeste Legierung; nur mit Spuren von Bor- und anderen Stoff- en, die starke Neutronenabsorber sind	Geeignet zum Ziehen dünnstwan- diger Rohre für Brennstoffum- hüllung in Natururanreaktoren	Rohre im konventionellen Kesselbau für höchste Temperaturen (6); Rückwirkungen auch durch verbes- serte Qualitätskontrolle

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2216.103 - 6 Austenitische Edel- stahl 25 - 20 Si	Hochwarmfeste, korrosionsbe- ständige Ni-Cr-Fe-Legierungen mit hoher Ermüdungsbruch- festigkeit, für Temperaturen bis 500 - 600 ° C	Hüllen- und Strukturmaterial für Reaktoren mit angerei- chertem Uran	Chemie der fluor- und chlorhal- tigen Stoffe (7)
2217.000 - 6 Borstahl	Borlegierte ferritische und austenitische Stähle mit Bor- anteilen von 1 - 1,5 % (... 6 % Gußzustand) in Form von Fe <sub>2</sub> B oder Komplex Fe <sub>3</sub> C. Fe <sub>2</sub> B, die das Material sehr spröde ma- chen und die Verformbarkeit stark beeinträchtigen	Absorber z.B. Regelstäbe, Ab- schirmung des Kerns und in Wiederaufbereitungsanlagen für Raschig-Ringe, um das Zu- sammenkommen kritischer Men- gen zu verhindern	Borzusätze in Größenordnungen von einigen % für be- sondere Härteprobleme

222 Leichtmetalle, Leichtmetall-Legierungen

2221.001 - 8

Beryllium

Leichtmetall der Dichte 1,82; Smpkt  $1.280^{\circ}\text{C}$  mit sehr niedrigem Absorptionsquerschnitt ( $\sigma_{a,th} = 10\text{ mb}$ ); Kristallstruktur, hexagonal dichteste Kugelpackung. Besitzt gute Strahlenbeständigkeit und Korrosionsbeständigkeit (gegen  $\text{CO}_2$  bis  $650^{\circ}\text{C}$ , gegen Na und NaK bis  $600^{\circ}\text{C}$ ; gegen Wasser weniger gut); es besitzt einen hohen Elastizitätsmodul; seine Sprödigkeit bereitet jedoch große Verarbeitungsschwierigkeiten (bedingt durch Verformungsmechanismus im Gitter); Formgebung des Halbzeugs auch in der metallischen Phase vorzüglich über pulvermetallurgische Verfahren; Be- und BeO-Pulver sind toxisch.

Kupfer-Berylliumlegierungen mit 6 - 7 % Be sind so hart wie härtester Stahl. Sie sind unmagnetisch, gute Stromleiter, korrosion- und hitzebeständig. Berylliumlegierungen lassen sich vergüten, schreckt man sie bei höheren Temperaturen ab ( $750 - 1.050^{\circ}\text{C}$ ), werden sie weich und lassen sich verarbeiten. Nach Anlassen auf  $200 - 500^{\circ}\text{C}$  werden Härte, Festigkeit, Elastizitätsgrenze gesteigert.

Der Einfluß der Kerntechnik auf die Berylliumtechnologie ist außerordentlich groß.

Als Moderator- und Reflektormaterial gut geeignet sowohl als metallisches Material wie als Berylliumoxyd ( $\text{BeO}$ ); Strukturmaterial, Brennstoffhüllmaterial für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren; Material für Fenster von Detektoren

Bereits früher verwendet als Legierungspartner für Leichtmetallelegierungen und Kupfer, um ihre Starrheit und Härte zu erhöhen, z.B. für Bohrmeißel ( $\text{CuBe}$ -Legierungen sind funkenfrei). In Platinlegierungen kann Beryllium das Iridium ersetzen; Austrittsfenster von Röntgenröhren, Elektroden für Neonlampen, Wärmeschild für Raumfahrzeuge und Schutz gegen Mikrometeorite; in letzter Zeit große Bedeutung als Strukturmaterial im Flugzeug- und Leichtbau; Berylliumspiegel werden für die Beobachtung von Vorgängen außerhalb unbemannter Raumfahrzeuge verwendet (Surveyor 3); elektrische Kontaktfedern, Federmaterial für Uhren; Materialien für Präzisionsinstrumente

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kern.chnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2222.013 - 6 Magnox	Warmfeste Magnesiumlegierung; Magnesium-Non-Oxidizing (eng- lische Entwicklung für den aus- laufenden Calder-Hall-Typ Mg mit $\leq 1\%$ Al, $\leq 0,01\%$ Ca, $\leq 0,05\%$ Be (z.B. Magnox A-12: 0,7 - 0,9 % Al, 0,002 - 0,03 % Be, max. 0,008 % Ca, max. 0,006 % Fe, Rest Mg)	Hüllenwerkstoff in CO <sub>2</sub> -gekühl- ten Reaktoren	Geeignet für Flugzeug- und Auto- mobilbau sowie andere Probleme im Leichtbau  Raketenstrukturmaterial und andere schnelle Flugkörper
2222.040 - 6 Magnesium- Zirkonium	Warmfeste Magnesium-Legierung, französische Entwicklung (EdF 1 - 3); durch einen Zusatz von 0,2 - 0,7 % Zr verhindert man Kornwachstum bei höheren Tem- peraturen	Hülsenmaterial für gasgekühl- te, graphitmoderierte Reak- toren	Geeignet für Flugzeug- und Auto- mobilbau sowie andere Anwendungen im Leichtbau  Raketenstrukturmaterial und für andere schnelle Flugkörper; einige amerikanische Flugzeugabwehrrake- ten z.B. bestehen zu 90 % aus MgZr Legierungen
2222.057 - 6 Magnesium-Misch- metall (ZRE 1, ZRE 0 bzw. EZ 33 u.a.)	Zusatz von Seltenen Erden zur Unterdrückung von Feinlunkern, um höhere Kriechfestigkeit und Streckgrenzen zu erreichen; geeignet für Temperaturen bis zu 250° C, gut gießbar, völlig druckdicht	Untersuchungen in GB und USA für Anwendung im Reaktor	Anwendungen für hochbelastete Flug- zeugteile (ohne hohe Temperaturen)



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2222.090 - 6 Magnesium- Thorium	Eine Legierung mit 3 % Th, 2,5 % Zn, 0,7 % Zr macht eine Temperatursteigerung um 50° C (bis auf fast 350° C) gegen- über allen anderen Mg-Legie- rungen möglich	Entwickelt in England und USA für Brennelementhüllen in CO <sub>2</sub> -gekühlten Reaktoren	In der Raumfahrt als Kapsel- struktur-Material Material für Schmiede- und Strangpreßteile im Raketen- bau
2223.028 - 6 Al-Ni 8001	Prototyp einer Entwicklungs- reihe von Al-Legierungen mit bis zu 1,3 % Ni; Struktur- werkstoff für Leichtbauweise; Zusammensetzung: 0,17 - 0,19 Si 0,45 - 0,7 Fe 0,15 Cu 0,9 - 1,3 Ni mit kathodischem Teil gut korrosionsbeständig	Material für Militärreaktoren für entlegene Stützpunkte, Core-Konstruktion, Umhüllung von U-Al-Brennstoff- elementen hoher Uranan- reicherung	Anwendungen sind dort denkbar, wo bei mittleren Temperaturen (ca. 270°) höhere Festigkeiten verlangt werden; bisher keine Anwendungen bekannt
2223.113 - 5 Sinter-Alu-Pulver (SAP)	Sintermaterial aus Al und ca. 13 % Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mit metalli- schem Charakter; mit wesent- lich besseren mechanischen Eigenschaften bei höherer Temperatur als metallisches Al	Hüllenmaterial der Orgel-Reihe	Filterplatten Motorkolbenteile Verdichterschaufeln

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2223.200 A9-G1, A9-G3 und A9-G5 (Brilumag 1, 3, 5)	Franz. Al-Mg-Legierungen; Al mit 1, 3 bzw. 5 % Mg mit stabiler Gitterstruktur, guter Verformbarkeit, Schweißbarkeit, guten mechanischen Eigenschaften und gutem Korrosions- verhalten	Struktur- und Hüllenmaterial für Versuchs- und Materialprüf- Reaktoren	AlMg wird angewendet, wo mitt- lere und hohe Festigkeitswerte in Verbindung mit hoher Bestän- digkeit gegen Korrosion (See- wasser) gefordert werden: Chemische Industrie, Nahrungsmittelindustrie, Schiffbau
2223.214 Al-Mg-Silizium- Legierungen (Almasilium, Inoxalium)	Gut schweißbare Aluminium- legierung (1,2 Si; 0,9 Mg) mit ausgezeichnetem Korrosions- verhalten und guter chemischer Beständigkeit namentlich im kaltausgehärteten Zustand	Struktur- und Hüllenmaterial für Versuchs- und Materialprüf- Reaktoren	Chemischer Apparatebau, Fahrzeugbau, Außen- und Innenarchitektur, zum Teil mit durch anodische Oxydation aufgetragenen Schichten
2223.230 A-Z8GU (Zicral)	Hochfeste Al-Mg-Zn-Legierung (8 Zn, 2,6 Mg, 1,7 Cu, 0,25 Cr) mit sehr guten mechanischen Eigenschaften (Bruchlast ca. 60 kg/mm <sup>2</sup> , Bruchdehnung 5 %)	Struktur- und Hüllenmaterial für Versuchs- und Materialprüf- Reaktoren	Werkstoff für Gesenkschmiede- stücke und Preßteile
2225.101 Lithium	Alkalimetall mit niedrigem Schmelzpunkt; leichtestes aller Metalle (d = 0,53); das Isotop Li 7 hat gute Moderatoreigenschaften	Gefrierdichtungen; Isotop Li 7 wird als Kühlmittel für thermi- sche, das natürliche Isotopen- gemisch für schnelle Reaktoren vorgeschlagen	Gefrierdichtungen; als Legierungselement in geringsten Mengen zu Al, Mg, Zn; denkbar als Kühlmittel für konventionelle Kreisläufe

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2225.201 Natrium (vgl. Natrium- technologie <sup>+</sup> ) (3913.301)	Alkalimetall mit geringem Ab- sorptionsquerschnitt, niedri- gem Schmelzpunkt, gute Wärme- leitfähigkeit	Kühlmittel für Reaktoren mit hoher spezifischer Leistung	Reduktionsmittel, Katalysator als Kühlmittel bzw. Wärmeüber- tragungsmittel schon vor der Kerntechnik verwendet (0), aber neuerdings wieder diskutiert (3); Erprobung, Natrium in strahlen- gehärteten Polyäthylenrohren als Hochspannungskabel zu verwenden, werden angestellt (4)
2225.251 Natrium-Kalium- legierungen	Zeichnen sich durch besonders niedrige Schmelzpunkte aus (Schmelzpunkt des Eutektikums - 12,5° C)	Kühlmittel für Reaktoren mit hoher spezifischer Leistung	Als Wärmeübertragungsmittel besser geeignet wegen des niedrigeren Schmelzpunktes

<sup>+</sup>) Fall, der im Rahmen der Studie einer eingehenderen Untersuchung unterzogen wurde (siehe Anlage 7 - 7)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

223 Nickel, Zirkonium, Vanadium, Molybdän und ihre Legierungen

2231.001 - 6  
Hastelloy X

Ni-Legierung (22 Cr, 45 Ni,  
9 Mo, 24 Fe, Mn, Si) mit hoher  
Korrosionsfestigkeit, hoch-  
warmfest bis zu 800° C

2231.002 - 6  
Nimonic 75

20 Cr, 5 Fe, 1 > Mn, 1 > Si,  
0,6 Ti, 0,15 > C, Rest Ni

2231.003 - 6  
Nimonic 80 A

20 Cr, 5 Fe, 1 > Mn, 1 > Si,  
0,1 > C, 2 > Co, Rest Ni

2231.004 - 6  
Nichrom

ca. 20 Cr, Rest Ni  
(schon länger bekannt)

2231.005 - 6  
Inconel

Verschiedene neue Versionen  
einer amerikanischen Nickel-  
legierung  
< 80 Ni, Cr, Fe, versprö-  
det oberhalb 550°, sehr gute  
Korrosionsbeständigkeit

2231.006 - 6  
Incoloy 800

21 Cr, 33 Ni (Rest Fe)

Nur mittelbarer Einfluß der Kern-  
technik durch vermehrte Entwick-  
lungsarbeit und Verwendung;  
wechselseitige Beeinflussung;  
als vakuum-erschmolzene Materia-  
lien für Hüllen, Flüssigmetall-  
Kreisläufe und Heißdampfreaktoren;  
Hüllen- und Strukturmaterial für  
fortschrittliche U-Bootreaktoren;  
Strukturmaterial für flüssig-  
metallgekühlte Reaktoren,  
Heißdampfreaktoren,  
gasgekühlte Hochtemperatur-  
reaktoren bei Anwesenheit  
von Graphit  
Kreisläufe:  
Dampferzeugerrohre für  
Siedewasser- und Druck-  
wasserreaktoren

Werkstoffe für  
Gasurbinen für Strahlantriebe;  
Chemische Industrie:  
Autoklaven,  
(Hochtemperatur- und Hoch-  
drucktechnik) für Chemie der  
Chlor- und Fluorverbindungen

Geeignet für organische  
Säuren bei höheren Temperaturen,  
z.B. für Nahrungsmittel-  
industrie

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkma.	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2231.007 - 6 Incoloy 825	21 Cr, 42 Ni, 3 Mo, 2 Cu (+Ti), Rest Fe, hoch korrosionsbe- ständig, vakuum-erschmolzene Sondergüte	Anlagen für die Brennstoffauf- bereitung	Anlagen für die chemische Indu- strie
2232.000 - 8 Zirkonium	Metall (d = 6,5; Schmelzpunkt 1.845° C) neutronenökonomisch günstig, korrosionsfest gegen Wasser bis 400° C, gegen CO <sub>2</sub> bis 480° C, gute mechanische Eigenschaften; Gewinnung in der westlichen Welt über den Krollprozeß als Schwammzirkonium; in den UdSSR als Jodidzirkonium über das van- Arkel-deBoer-Verfahren (bis 1964)	Großtechnische Anwendung über- haupt erstmalig in der Kerntech- nik, Struktur- und Hüllenma- terial ohne oder nur mit ge- ringsten Spuren von N, O, Hf	Gettermaterial in Elektronenröhren; Supraleiter; Material für Reak- tionsgefäße und Rohrleitungen in der chemischen Industrie, statt des billigeren, aber weniger kor- rosionsbeständigen Titans; Rückwirkungen auf die Titantechno- logie  Zirkonschwamm statt Barium zum Entfernen von N <sub>2</sub> und O <sub>2</sub> aus Ar- gon beispielsweise: es bilden sich sehr stabile Oxyde und Ni- tride bei ca. 600° C
2232.100 - 6 <sup>xx)</sup> Zirkoniumlegierungen	Verschiedene Legierungen wur- den entwickelt um die Korro- sionsfestigkeit des reinen Zirkoniums zu verbessern:	Reaktorstrukturmaterialien	Korrosionsfeste Werkstoffe

xx) Fall, der im Rahmen der Studie einer eingehenden Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 7 - 2)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kern-chnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2232.102 Zircaloy - 2	} Zirkonlegierungen mit 1,5 % Sn, 0,12 Fe, 0,05 Ni, 0,1 Cr, bes- ser korrosionsbeständig bei Ver- unreinigungen durch N und O	Reaktorstrukturmaterial wie Zir- konium, aber für höhere Tempera- turen	In der experimentellen Chemie als Schmelztiegelmaterial; Material für chemischen Apparatebau bei hohen Korrosionsanforderungen: Behälter, Rohrleitungen, Arma- turen etc.; in der Textilindustrie für Spinn- düsen; in der Medizin für chirurgische Instrumente
2232.104 Zircaloy - 4			
2232.221 Zirkon-Titan	Späne in Kolonnen bei 800 - 900° C	Reinigung von Edelgasen in Reak- torkreisläufen von O <sub>2</sub> und N <sub>2</sub>	Reinigung von Edelgasen
2232.291 - 6 Zirkonium-Kupfer	1,6 Cu bzw. 2,5 Cu	Struktur und Hüllenmaterial für gasegekühlte Hochtemperaturreak- toren	Legierung für Punktschweißelek- troden (fünffmal längere Standzeit als die üblichen Elektroden)
2232.411 - 6 Zirkonium- Niob-Legierungen	Legierungen mit Nb-Gehalt bis zu 3 % erhöhen die Korrosions- beständigkeit und setzen die Wasserstoffversprödung herab bei höheren Temperaturen (Be- reich 320 - 500° C)	Hüllen- und Strukturmaterial für Heißdampfreaktoren	Werkstoffe für Hochtemperatur- prozesse in der Chemie  Nb-Zr-Legierungen dienen als Ma- terialien für "harte Supraleiter z.B. Nb - 33 Zr

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2232.510 - 7 Zirkonhydrid	Fest Lösungen von Wasserstoff in Metall; mehrere Phasen in Abhängigkeit von der Temperatur, sehr gute Moderator-eigenschaften, das heißt es bremst schnelle Neutronen auf Geschwindigkeiten der Molekularbewegung ab, wobei die Absorptionsresonanzen durchschritten werden, ohne daß die Neutronen absorbiert werden; außerordentlich gute Strahlenbeständigkeit	In thermischen natriumgekühlten Reaktoren als Moderator (KNK-Reaktor); als Moderator in Brennstäben (TRIGA) für thermische Reaktoren zur Verbesserung der Flußverteilung, Abschirmung für schnelle Reaktoren	Hydrierkatalysator und Wasserstoffspender sowie für die Darstellung von Reinstwasserstoff (2), in Vakuumröhrenindustrie als Leg.-Partner für Gettermaterialien; als Zugabestoff zu Mg- und Al-Legierungen zur Erzeugung von Metallschäumen
2234.000 - 8 Molybdän	Schwermetall (d = 10,1; Schmelzpunkt 2.630° C), neutronenökonomisch günstig, hochwarmfest, niedriger Dampfdruck	Legierungszusatz zu Uranmetall zur Stabilisierung der Gamma-Phase; zum Beschichten kleiner Brennstoffteilchen (coated particles) zur Verbesserung der Wärmeleitfähigkeit, z.B. in U-Boot-Reaktoren (dispersed fuel)	Legierungsbestandteil von hochwertigen Stählen für Kontakte im Schalterbau; Bleche für Hochtemperaturöfen; Baumaterial für Raumfahrzeuge mit entsprechenden Schutzschichten; Material für Thermionikelemente
2233.000 - 8 Vanadium	Hochwarmfestes strahlenbeständiges Material	Als Brennelement-Hülsenmaterial für schnelle Brüter und als Werkstoff für Natrium-Kreisläufe in Erwägung gezogen	In Form von Verbindungen für Katalysatoren und als Legierungselement für hochwarmfeste Stähle, bereits vor den Zeiten der Kerntechnik angewandt (0); keine neuere Anwendung des Reinstmetalls bekannt (2)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kern-technik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<u>224 Weitere Schwermetalle, -legierungen und metallartige Verbindungen</u>			
2242.420 Kadmium	Kommt in geringen Mengen zusammen mit Zn vor, weiches Material, Smpkt 321° C; das Isotop Cd 113 zeigt quantitative n-Absorption bis 0,5 eV	Im Reaktor als Material für Regelstäbe; in Exp. Kernphysik als Abschirmmaterial thermischer Neutronen für Flußmessungen	Von der Kerntechnik beeinflusste Anwendungen sind nicht bekannt (0), aber Rückwirkungen auf Technologie; neuere Anwendungen auf Grund seiner reduzierenden Wirkung z.B. für Rostschuttschichten auf Eisen
2244.720 Hafnium	Stark neutronenabsorbierendes Schwermetall (d = 11,4), kommt zusammen mit Zr vor und ist von diesem nur schwer abzutrennen, da es ihm physikalisch und chemisch gleicht	Bestandteile von Cermets für Absorberelemente	Legierungsmaterial für Superlegierungen in der Raketentechnik, für Temperaturen > 2.000° C (z.B. in 4 TaC . 1 HfC, Schmelzpunkt bei fast 4.000° C); Cermetbestandteil
2244.820 - 0 Blei	Schwermetall (d = 11,34), Endprodukt der radioaktiven Zerfallsreihen	Abschirmmaterial gegen Gamma-Strahlung.	Kaum neuere Anwendungen; Abschirmmaterial gegen Röntgenstrahlung in industriellen Geräten (z.B. Elektronenstrahlmaschinen) und an medizinischen Geräten (z.B. Durchleuchtungsapparaten)



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2245.410 Niob	Schwermetall ( $d = 8,6$ ; Schmelzpunkt $2.415^{\circ} \text{C}$ ), geringer Neutronen-Absorptionsquerschnitt	Als Werkstoff im Reaktorbau in Erwägung gezogen, Legierungselement zum Stabilisieren des Kohlenstoffs in Zirkonium-Legierungen und Stählen für Kessel (z.B. Salzschmelze-Reaktor)	War schon bekannt zum Stabilisieren des Kohlenstoffs in Stählen und wurde technisch durchgeführt (0); Material für Plattierungen; Material für harte Supraleiter für MHD-Generatoren, Linearbeschleuniger u.a.
2247.450 Rhodium	Sehr edles Metall; abbrennbares Neutronengift; Resonanz im epithermischen Bereich; gut für negativen Temperaturkoeffizient von Kernreaktoren	Neutronengift (für Katastrophenabschaltungen von Reaktoren)	Für Spezialtiegel, Katalysatoren und technische Spiegel wird Rhodium schon länger verwendet (0); Rhodium-Thermoelemente
2248.001 - 8 Thorium	Natürliches Thorium besteht fast völlig aus dem Isotop Th 232, hat eine eigene Zerfallsreihe (Halbwertszeit $1,39 \cdot 10^{10} \text{a}$ ). Th 232 ist durch schnelle Neutronen spaltbar. Durch Anlagerung eines Neutrons bildet sich Th 233, dieses geht durch Beta-Zerfall in U 233 über, welches durch therm. Neutronen spaltbar ist und die höchste Neutronenergiebigkeit im therm. Bereich hat.	Brut- und Abschirmstoff	Legierungselement für elektrische Heizdrähte, um deren Verzunderung zu mindern; Mesothorium für selbstleuchtende Massen und Strahlenbehandlung von Hautkrankheiten; Abschirmung für Röntgenanlagen

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2248.201 - 8 Uranmetall natürliches	Schwermetall ( $d = 19$ ; Smpkt. $1.132^{\circ} \text{C}$ ), 99,28 % U 238, 0,71 % U 235. Die ungeraden Uranisotope las- sen sich durch Beschuß mit therm. Neutronen spalten	Kernbrennstoff bis zu $660^{\circ} \text{C}$ für graphit- oder schwerwassermoderier- te Reaktoren	Anwendungen nicht bekannt (2)
2242.202 - 9 Uranmetall angereichertes	Uran, in dem das spaltbare Iso- top 235 konzentrierter als im Natur-Uran vorliegt	Metallischer Kernbrennstoff, heute meist in Metallmatrix aus Stahl, Al oder Zr eingebettet	Anwendungen nicht zu erwarten
2248.203 - 9 Uranmetall abgereichertes	Uran, bei dem das Uranisotop 235 abgereichert ist; mit einer Halb- wertzeit $4,6 \times 10^9$ a nur sehr schwach radioaktiv	Brennstoff und (biologische) Abschirmung	Legierungsbestandteil; Abschirmung von Röntgenanlagen als Reduktionsmittel zur Reini- gung für Tritium und Heliumgas von $\text{O}_2$ und $\text{N}_2$ ; denkbar auch zur Herstellung sehr reinen $\text{H}_2$ (die großtechnische Darstellung ist aber elektrolytisch billiger)

2248.216  
Uranoxyde

Es gibt vier Uranoxyde von eini- Kernbrennstoff  
ger Bedeutung:

$UO_2$  (Uran-IV Oxyd): vgl. Kern-  
brennstoffe 2287.920

$UO_3$  (Uran-VI-Oxyd): orangefar- Zwischenprodukt bei der Urange-  
benes Pulver winnung

$UO_4$ : sechswertiges Uran in Form Mögliches Zwischenprodukt bei der  
von  $UO_4 \cdot 2 H_2O$  (Uranperoxyd), Uranherstellung  
das sich als Niederschlag dar-  
stellt

$U_3O_8$ : in den Uranerzen meist Ausgangsstoff der Uranmetall-  
vorliegende Mischung; etwa und Oxydkeramikbrennstoff-Her-  
als 2 .  $UO_3$  + 1 .  $UO_2$  mit wech- stellung  
selndem Mischungsverhältnis.

Abgereichertes Material: Gewin-  
nung des reinen Stoffes aus dem  
bei der Isotopentrennung anfal-  
lenden abgereicherten  $UF_6$

Zwischenprodukt bei der Urange-  
winnung

Mögliches Zwischenprodukt bei der  
Uranherstellung

Ausgangsstoff der Uranmetall-  
und Oxydkeramikbrennstoff-Her-  
stellung

Keine Anwendungen bekannt

Bestandteil eines Katalysator bei  
der Herstellung von Acrylnitril,  
welches Ausgangsstoff für Acryl  
kunstharze ist. Substituiert  
Wismut  
(Bedarf bei einem amerikanischen  
Verwender: mehrere t/a,  
Wert: ca. 2 Mio DM/a)

2248.213  
Uran-Aluminium

$UAl_4$  in einer Matrix von Al mit  
M 235 angereichert

Brennelemente für MTR Reak-  
toren

Konventionelle Anwendungen mit  
angereichertem Uran sind nicht  
zu erwarten (1)

2248.226 - 5  
Uran-Eisen

Eisen mit stark angereichertem  
Uran 235, wobei dieses in das  
Gitter des Fe eingelagert ist

Hüllenlose Brennelemente für Re-  
aktoren, die extrem harten Be-  
dingungen ausgesetzt sind, z.B.  
für U-Boot-Reaktoren

Konventionelle Anwendungen mit  
angereichertem Uran sind nicht zu  
erwarten (1)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2248.242 - 6 Uran-Molybdän	Legierung angereicherten Urans mit Molybdän; etwa 4 % Mo stabilisieren die Gamma-Phase des Urans bis herab zu Umgebungstemperaturen	Anwendung in der Kerntechnik wie unlegiertes Uranmetall	Anwendungen mit angereichertem Uran nicht zu erwarten (1)
2248.290 - 7 (Uran)hexafluorid	Zwischenprodukt bei der Uran-Brennstoffgewinnung, Verbindung, die bei ca. 60° sublimiert	Ausgangsstoff für die Isotopentrennung U 235 - U 238 und sämtlich Kernbrennstoffe	Rückwirkung auf Wissen über Fluoride u.a., deren fraktionierte Destillation, z.B. MoF6 (alle leichter flüchtigen Fluoride eignen sich für die Feinreinigung der Metalle) zur Reindarstellung von Molybdän
2248 400 Plutoniumlegierungen, Plutoniumverbindungen	Diagramme von zahlreichen Zweistoff- und Dreistoffsystemen (35 seit 1962) wurden aufgestellt; Legierungen mit U, Al, Zr, die aber technisch wegen der ungelösten Probleme, die die Anisotropie des Pu mit sich bringt, noch keine Bedeutung gewonnen haben, wurden im Labor erprobt.	Anwendung in schnellen Brütern; vielfältige Anwendung als Brennstoff ist zu erwarten	Anwendung im nicht kerntechnischen Bereich höchst unwahrscheinlich (1)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2248.401 Plutonium	Wichtigstes Transuran, 6 Modifikationen, dadurch sehr anisotrop; das Isotop Pu 239 wird durch therm. Neutronen gespalten und ermöglicht Kettenreaktion; es entsteht durch Anlagerung von n an U 238 und darauffolgende Beta-Zerfall; Pu 239 ist ein schwacher Alpha-Strahler ( $T_H = 2,4 \cdot 10^4$ a), sehr toxisch	Erst seit Inbetriebnahme des ersten Kernreaktors in größeren Mengen erzeugter Kernbrennstoff; für schnelle Reaktoren besonders geeignet. Einsatz in thermische Reaktoren in Erwägung gezogen	Anwendung aus heutiger Sicht nicht zu erwarten (1)
2249.000 - 0 Seltene Erden	Auch Lanthanoide genannt; ihre wirtschaftliche Bedeutung nimmt in letzter Zeit stark zu; Euronium Samarium Cerium Neodym u.a.	Absorber-Materialien	Legierungsbestandteile; rote TV-Phosphore und andere elektronische Anwendungsmöglichkeiten, z.B. Laser
2249.640 - 0 Gadolinium	Metall. Element mit dem größten Absorptionsquerschnitt ( $4,6 \cdot 10^4$ barn) für therm. Neutronen; eisenmagnetisch	Absorberstäbe für Kernreaktoren; Abschirmmaterial für Leichtbaukonstruktionen und in Bekleidung eingearbeitet	Zukünftige Anwendung in der Elektronik für magnetische Sonderlegierungen und Supraleiter für Crytrons zu erwarten

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<u>225 Metalloide</u>			
2251.520 - 7 Siliziumcarbid	Material höchster Härte und für Nichtmetalle hervorragender Wärmeleitfähigkeit; weitgehend undurchlässig für Ba, Cs, Sr, was seine Bedeutung als Hüllmaterial und dergleichen erklärt	Anwendungsbereich wie Pyrographit, z.B. Coated Particles; Matrixmaterial für suspendierten Brennstoff bei AGR, wo es als Diffusionsbarriere dient	Hochohmwiderstände; feuerfestes Material; Halbleiter
2252.001 - 2 Kohlestein	Nicht ganz graphitierter Kohlenstoff, sehr hart, schwer bearbeitbar	Billiger Isolierstoff und Neutronenabschirmstoff	Isolierstoff zur Wärmedämmung
2252.002 +) Graphit (hochdichter)	Verdichten durch mechanische Einflußnahme und Abdichten gegen Gasdurchlässigkeit durch Imprägnieren; nur bedingt strahlenbeständig	Brennstoffhüllen für Hochtemperaturelemente	Für den chemischen Apparatebau als korrosionsbeständiger Werkstoff
2252.003 Isotroper Graphit	Geringe Dimensionsänderungen unter Bestrahlung	Moderator- und Strukturmaterial	(Synthetische) Herstellung isotropen Graphits hat erst mit der Entwicklung der Reaktortechnik die heutige Bedeutung gewonnen; Rückwirkungen auf Festigkeit von Elektroden, auch mit "coating" aus Pyrographit zu erwarten

+ ) Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (siehe Anlage 8 - 1)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2252.00. +) Pyrographit (pyrolytischer Kohlenstoff)	Aus der Gasphase auf einer heißen Oberfläche abgeschiedener Graphit; die Orientierung der Gitterstruktur parallel zur Ablagerungsfläche bewirkt die Bildung einer gasdichten Graphitschicht, die jedoch auch einen erhöhten Wärmeleitwiderstand aufweist	Umhüllung von Spalt- und Brutstoffpartikeln für HT-Reaktoren in Form sog. "coated particles" (Schalenkörner); Abbrandgeschützte Hüllrohre	Herstellung korrosions- und erosionsfester Graphite zum Beschichten z.B. für Schichtwiderstände aus Pyrographit (6) Wärmeschutzschild für Raketen; Pyrographit als Korrosionsschutz auf Graphit (4)
2253.000 - 8 Bor	Stark neutronenabsorbierendes, äußerst sprödes Element; bisher kaum bearbeitbar	Als Legierungselement zu Eisen oder anderen Materialien für Regelstäbe; mit Bor 10 ausgelegte Zählrohre zum Registrieren von Neutronen über B 10 ( $n, \alpha$ ) Li 7-Reaktion	Als Werkstoff nicht geeignet, aber mögliche Anwendung für strahlen-chemische Synthese unter Verwendung der Energie von der 2,8 MeV, die beim 10 B ( $n, \alpha$ ) 7 Li Prozeß frei wird; Vorteil: kein Entstehen von Radiosotopen (2)
2253.060 - 7 Borkarbid	Material mit hoher Härte und thermischer Widerstandsfähigkeit, Formgebung durch Preßsintern oder Vibrationsverdichtung von pulverförmigen B <sub>4</sub> C; auch als Mischstoff, bei dem B <sub>4</sub> C in BN gebunden ist, in Anwendung	In Stahlhüllen als Neutronenabsorber für Steuerstäbe und in Brennelementen zur Beeinflussung der Neutronenflußverteilung	Als Material für Elektrolyse-Elektroden in Erprobung

+ ) Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (siehe Anlage 8 - 1)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2253.062 - 5 Boral	Aus pulverförmigem Al und B <sub>4</sub> C gesintertes Material, auf das beidseitig dünne Al-Platten auf- gewalzt sind	Abschirmstoff für thermische Neutronen	Anwendung wurde nicht bekannt (2)
<u>226 Kunststoffe, Gummi und Verbundstoffe</u>			
2261.090 <sup>++)</sup> Fluorkohlenstoff- Kunststoffe	Fluorierte Äthylenderivate, die sich zu langkettigen Mole- külen polymerisieren lassen und Produkte von unübertroffener chemischer Resistenz, Wärmebe- ständigkeit und elektrischer Durchschlagsfestigkeit ergeben	Entwickelt als Werkstoff für die Uranhexafluoridanlagen in Oak Ridge, USA; Anwendungen heute als Dich- tungs- und Isoliermaterial in Apparaten, Maschinen und elektrischen Geräten in Kernenergieanlagen	Material für Lager-, Dichtungs-, Isolier- und Beschichtungszwecke in allen Bereichen der Technik (7)
2261.101 H-Folien	Hoch-temperaturbeständige Synthese-Folien aus Pyromellit- säuredianhydrid und 4,4'-Diamino- diphenyläther; ausgezeichnete mechanische und elektrische Eigenschaften, die selbst nach 12-monatiger Lagerung bei 300° unverändert bleiben; Einfluß der Kerntechnik nur be- dingt gegeben	Kabelisolierungen und Kabel- durchführungen für Pumpen, Steuerstabantriebe u.dgl.	Kabelisolierungen, Transforma- torenwicklungen

<sup>++)</sup> Fall, der im Rahmen der Studie einer eingehenden Untersuchung unterzogen wurde (siehe Anlage 7 - 3)



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2261.881 - 3 Nycon	Strahlenabschirmende Kunststoffolie	Als Abschirmung in Strahlenschutzanzüge eingenäht	Anwendung für Bekleidung von Strahlung ausgesetzten Personen; u.U. gegen Korrosionseinflüsse als Schutzschicht (?)
2261.882 Bleihaltiger Kunststoff ("encapsulated substrats")	Bleipulver wird in einer flüssigen Polyäthylen-Kunststoffmasse durch Verwirbelung suspendiert, dann diese zu papierartigen Bahnen ausgerollt	Abschirmung; wird z.B. in Strahlenschutzanzüge mit eingenäht	Anwendung für Bekleidung von Raumfahrern (außerhalb der Raumkapseln wegen kosmischer Strahlung) und Röntgenpersonal denkbar
2262.110 - 7 Kunstharze	Ionenaustauscherharze, die nicht auf dem üblichen Weg regeneriert werden können, sondern wegen der an ihnen haftenden radioaktiven Substanzen gesondert behandelt werden müssen, d.h. nach Verbrauch ins Endlager kommen	Dekontaminierungsanlagen für wässrige, radioaktive Abfälle	↔ Durch besonders hohe Anforderungen der Kerntechnik Rückwirkungen in erster Linie auf die Wirtschaftlichkeit; die Harze sind grundsätzlich von der konventionellen Industrie zur Kerntechnik gekommen
2268.100 Silikongummi	Gummi auf der Basis von Si (statt Kohlenstoff), geeignet für hohe Temperaturen bis zu 250 (-300)°C; physiologisch indifferent; läßt einige organische Lösungsmittel diffundieren, z.B. Äther	Aufsetzdichtungen von Lademaschinen, Dichtungen von Drehschilden	↔ Dichtungsmaterial, z.B. für Kugellager, Dichtungsringe; Material für Abdruckverfahren; Bluttransfusionsschläuche; in der Anästhesie als Material für die direkte Diffusion von Äther in die Venen in Aussicht genommen

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2268.200 Silikonöle	Betriebsmittel für organisch moderierte Reaktoren; hat gegenüber den Polyphenylen den Vorteil, bei noch höheren Temperaturen kaum Geruchsbelästigung hervorzurufen; geringe Temperatur-Abhängigkeit der physikalischen Eigenschaften	Als Moderator für die Orgel-Reihe in Aussicht genommen	Wasser- und schmutzabweisende Schichten in Molekülschichtdicke; Schmiermittel für extreme Bedingungen
<u>227 Mineralische Stoffe</u>			
2271.182 Bleiglas	Glas mit hohem Prozentsatz (bis zu 80 Gew.%) PbO, ( $d > 6$ )	Fenster mit Abschirmung gegen Gamma-Strahlen, entspricht der Abschirmung von Fe oder 50 % der des Pb	Rückwirkungen auf Glastechnologie allgemein; wissenschaftliche Erfassung der Steuerbarkeit bestimmter Eigenschaften, z.B. der Brechungsindexe
2272.200 Quarz	Strahlen- und hitzebeständiges Material, das im Gegensatz zu Bleiglas keine Absorptionseigenschaften besitzt	Optische Geräte und Fenster im Strahlenfeld	<p>←→ Rückwirkungen auf Technologie des SiO<sub>2</sub>; die Anwendungen sind meist älter; chemischer Apparatebau: Überzüge über Bauteile aus Graphit u.a., um deren Abriebfestigkeit zu erhöhen; temperaturbeständiges Material für Laborgeräte (0) Optische Geräte für spezielle Zwecke (0)</p>

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

2276.005 - 4  
Schwerbeton

Beton, dem statt Sand und Kies  
Blei, Eisen oder Mineralien  
wie Limonit, Colemanit,  
Hämatit, Baryt, Borkalzit  
beigegeben sind (Dichte bis  
 $6,9/\text{cm}^3$ ) bietet zusätzliche  
n-Absorption zur Gamma-Absorp-  
tion des Kristallwassers

Material für Abschirmungen  
im Reaktor (biologische  
Schilde)

Material für Steine zur  
Küstenbefestigung;  
Atombunkerbaumaterial

2276.006 - 4  
Warmfester Beton

Geeignet für Temperaturen bis  
etwa  $400^\circ\text{C}$  durch Entzug des  
nicht als Kristallwasser gebun-  
denen  $\text{H}_2\text{O}$

Reaktordruckgefäße;  
Schilde; temperaturbean-  
spruchte Wandungen in  
Reaktor-Betriebsgebäuden

Reaktionsgefäßwandungen;  
Ofenwandungen und Umbauungen

2276.055 - 4  
Borbeton

Schwerbeton mit Zugabe von  
Bormineralien

Biologische Schilde mit  
Abschirmung gegen langsame  
Neutronen und Verhinderung  
der Erzeugung starker Ein-  
fang-Gammastrahlung

Keine Anwendung zu erwarten (1)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<u>228 Keramische und Sinter-Stoffe</u>			
2287.000 <sup>+) )</sup> Keramische Hochtemperatur- Werkstoffe	Vielzahl von Entwicklungen metallkeramischer Werkstoffe auf Oxid-, Karbid-, Nitrid-, Silizid-, Borid- und Sulfid-Basis, die als Werkstoffe erst in letzter Zeit an Bedeutung gewinnen; für die Kerntechnik wurden insbesondere folgende Stoffe entwickelt und vervollkommenet: UO <sub>2</sub> , UC, Pu <sub>2</sub> , ThO <sub>2</sub> , ZrB <sub>2</sub> , ZrB, ZrC, ZrO <sub>2</sub> , BeO, Be <sub>3</sub> N <sub>2</sub> , Be <sub>2</sub> C etc. und Mischstoffe	Nukleare Brenn- und Brutmaterialien; Hüllenwerkstoffe für Hochtemperatur-Brennelemente; Moderatormaterialien; Strukturwerkstoffe in der Plasmatechnik	Schmelztiegelmaterialien; Werkstoffe für Heizleiter-Tragkörper; Werkstoffe für chemische Hochtemperaturprozesse; Werkstoffe für Gasturbinenschaufeln
2287.040 - 7 <sup>+) )</sup> Berylliumoxyd (BeO)	Metallkeramischer Stoff; hoher Schmelzpunkt (2.530° C); gute Reduktionsbeständigkeit und Wärmeleitfähigkeit Nachteil: stark toxisch und teuer	Moderatormaterial; Werkstoff für BeO - UO <sub>2</sub> Brennelemente	Hochtemperaturwerkstoff; Metallurgie: Pyrometer-Schutzrohre, Tiegel Chemie: Hochtemperaturapparate Turbinebau: Rotor- und Leit-schaufeln

<sup>+) )</sup> Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (siehe Anlage 8 - 2)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2287.046 - 7 Berylliumnitrid	Keramischer Werkstoff mit guten Hochtemperatureigenschaften, relativ guter Temperaturwechselbeständigkeit und niedrigem Dampfdruck	Anstoß der Entwicklung durch die Kerntechnik (direkte Anwendungen konnten nicht ermittelt werden, sind aber wahrscheinlich)	Material für Tiegel zum Vakuumschmelzen von Al, Mg etc.
2287.405 - 7 <sup>+) )</sup> Zirkonkarbid (ZrC)	Hochtemperaturfester metallkeramischer Werkstoff (Schmelzpunkt 3.550° C); gute elektrische und Wärmeleitfähigkeit sowie hohe Härte	Erst am Anfang der Entwicklung; Untersuchungen der Möglichkeiten für eine Anwendung als Brennelement; Hüllenmaterial für hohe Temperaturen	Cermetbestandteil; Legierungspartner in Superlegierungen
2287.407 - 7 <sup>+) )</sup> Zirkonborid (ZrB, ZrB <sub>2</sub> )	Keramischer Werkstoff mit metallischen Eigenschaften, auch bei höheren Temperaturen noch stabil	Untersuchungen im Gange; Verwendung als Hüllenmaterial wird erwogen	Hochtemperaturwerkstoff, z.B. für Induktionsöfen; Cermetbestandteile
2287.900 - 7 <sup>+) )</sup> Thoriumoxyd (ThO <sub>2</sub> )	Oxydkeramik mit guten Wärmeleit-eigenschaften und guter Temperaturbeständigkeit (Smp. 3.200° C) aber schlechter Temperaturwechselbeständigkeit	Allein oder zusammen mit UO <sub>2</sub> für Brutelemente	Hochtemperaturwerkstoff; Thoriummischoxyde mit seltenen Erden für Nernststife; spielt eine Rolle bei der Entwicklung ionenleitender Elektroden für Fuelcells; Zusatz zu metallischen Sinterwerkstoffen zur Verhinderung des Kornwachstums (z.B. rekristallisationsfestes Wolfram); Oxydische Komponente in Cermets (z.B. Ni - ThO <sub>2</sub> )

<sup>+) )</sup> Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (siehe Anlage 8 - 2)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Atom-Technik	Anwendungen in der Atom-Technik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2287.920 - 7 Urandioxyd	<p>UO<sub>2</sub> ist ein braunes Pulver, das sich bis nahe der theoretischen Dichte sintern läßt.</p> <p>Keramischer Kernbrennstoff für hohe Temperaturen (bis etwa 1.600° C; Smpkt 2.700° C). Beständig bis zu 1.600° C.</p> <p>Nachteil: geringe Wärmeleitfähigkeit</p>	Heute meist verwendeter Kernbrennstoff	Anwendungen sind nicht bekannt und nur für abgereichertes Uran zu erwarten
2287.924 Plutonium-Uranium-Oxyd	<p>Plutonium wird als Kernbrennstoff in der Regel als PuO<sub>2</sub> . UO<sub>2</sub>-Oxyd verwendet.</p>	Brennstoff für schnelle Brüter	Aus der heutigen Sicht zeigen sich keine Anwendungsmöglichkeiten (1)
2287.925 Uran-Karbid	<p>In der Entwicklung; noch keine wirtschaftliche Anwendung; UC und UC<sub>2</sub>, von denen UC und die Zusammensetzungen nahe der stöchiometrischen Verb. UC besser bekannt sind; ausgezeichnetes Verhalten unter Bestrahlung, Wärmeleitfähigkeit zehnfach größer als UO<sub>2</sub>; nicht gelöst sind die Probleme des Hüllmaterials bei den angestrebten Temperaturen von 1.800° C an der Oberfläche</p>	Kern-Brennstoff für gasgekühlte Hochtemperaturreaktoren; Reaktoren mit hoher Konversionsrate (z.B. Orgel)	Anwendungen sind nicht zu erwarten; als Mischkristall mit Thorium-(U,Th)C <sub>2</sub> für Konverter-Reaktoren

Fall-Nummer	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2289.200 <sup>+) )</sup> Cermets	Verbundwerkstoffe aus keramischen Kernbrennstoffe, Absorbermaterialien, Strukturwerkstoffe (Oxyde, Carbide, Boride, Silicide, Nitride) und Metallen in homogener Mischung; Herstellung durch Sintern; Cermets zeichnen sich durch hohe Temperaturbeständigkeit bei befriedigender Wärmeleitfähigkeit und relativ guten Festigkeitseigenschaften aus.		Hochwarmfeste Materialien für Gasturbinenschaufeln, Düsen und Auskleidung von Verbrennungskammern; Schutzrohre für Thermoelemente; Widerstands- und Kathodenmaterialien
2289.113 SAP (Sinter-Alu-Pulver) s. 2223.113			
<u>229 Sonstige Werkstoffe</u>			
2291.300 Holz-Kunststoff- Verbundwerkstoff	Verbundwerkstoff, der aus der Imprägnierung von Holz mit einer flüssigen Kunststoffmasse entsteht, wobei die Moleküle des Kunststoffs nach dem Imprägnieren unter Einwirkung von Gammastrahlen (Dosisleistung von 70 - 500 000 rad/h) polymerisiert werden; unterscheidet sich durch bessere Dimensionsstabilität und physikalische und chemische Eigenschaften, nicht aber durch das Aussehen von nicht behandeltem Holz	Einfluß der Kerntechnik durch die Zurverfügungstellung der Bestrahlungsgeräte, bzw. des Wissens um die Strahlenpolymerisation der Kunststoffe	Sport- und Freiluftausrüstung; Lehrmittel und Spielwaren; Haushaltsgegenstände; Werkstoffe für Bau- und Möbelindustrie

<sup>+) )</sup> Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 3)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmal	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
24 GARNE, GEWEBE, PAPIER			
<u>242 Gewebe, Gespinste, Vliese</u>			
2424.110 Feinstfaserige Filter-Kunststoffe	Z.B. Mikrosorban, feinstfaserige Filter-Materialien aus Kunststoffasern	Material für Abluftfilter für Luft mit radioaktiven Feinstteilchen	Meßfilter; Umluftfilter für Reinstraumanlagen (sog. weiße Räume)
2424.120 Glasfaser-Filtermaterialien	Faservliese aus Glasfasern für die Filterschicht hochwertiger Schwebstoff-Luftfilterzellen	Zu- und Abluftreinigung in Reaktoranlagen	Für hochwertige Luftreinigungsanlagen in der Industrie
25 HILFSSTOFFE			
<u>251 Chemische Hilfsstoffe</u>			
2514.200 Organische Extraktionsmittel z.B. Tributylphosphat (TBP) Methyl-isobutylketon u.a.	(siehe auch Solventextraktion) Organische Lösungsmittel für das selektive Herauslösen von Schwermetallsalzen aus wässrigen Lösungen, wobei das Extraktionsmittel nicht in Wasser löslich sein darf. In der Kerntechnik erstmals hinsichtlich ihrer Eignung für die Extraktion im technischen Maßstab untersucht; analytische Bedeutung	Zur Feinreinigung von Uran, zum Trennen Uran von Plutonium und Uran-Spaltstoffen u.a. Fremdstoffen	Für Verfahren der Lösungsmittel-extraktion, für die Reindarstellung von Metallen bereits als Trennmittel ins "Bewußtsein der Chemiker" gelangt (6)
2517.500 Organ. Harz-Ionenaustauschermedien	Kunstharze mit Sulfosäure- oder Hydroxylgruppen (Kationen A.) bzw. quaternäre Aminogruppen (Anionen A.); neu ist vor allem die Entwicklung von strahlenbeständigen organ. Harzen (z.B. Dowex, Amberlite)	Urangewinnung; für Kernbrennstoffaufbereitungsprozesse zur Entgiftung radioaktiver Abfall-Lösungen und Rückgewinnung von Uran, Plutonium und Thorium aus sehr verdünnten wässrigen Lösungen; Aufbereitung radioaktiver Abwasser	Anwendungen der neuen Ionenaustauscherharze wurden nicht bekannt, sind aber durchaus denkbar (2)



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<u>253 Technische Hilfsstoffe</u>			
2531.002 - 9 Schweres Wasser	Wasser, bei dem das H <sub>2</sub> durch Trennung der Isotopen H <sub>2</sub> - D <sub>2</sub> entfernt wurde, ausgezeichnete Moderator; Nachteil: hoher Dampfdruck	Als Moderator und Reflektor und Kühlmittel in thermischen Reaktoren; teilweise auch als Wärmeübertragungsmedium; zur Regelung der Reaktivität über Niveauregelung; als Target für gepulste n-Quellen	Aufgrund der Tatsache, daß Reak- tionen mit D <sub>2</sub> langsamer vor sich gehen als mit H <sub>2</sub> in geringen Mengen für Forschung in Chemie und Biologie interessant
2531.210 Polyphenyle	Aromatische Kohlenwasserstoffe (Diphenyl, Terphenyl und Quater- phenyl) mit hohem Siedepunkt und niedrigem Dampfdruck; aufgrund der für organische Stoffe guten Strahlen- und Temperaturbestän- digkeit wurden die Polyphenyle als Moderator- und Wärmetrans- portmittel in Erwägung gezogen und in Prototypreaktoren er- probt	Reflektor, Moderator und Wärme- transportmittel für Leistungs- reaktoren	Rückwirkung auf die Chemie der aromatischen Kohlenwasserstoffe und Instrumentierung
2531.211 Dowtherm A (Diphenyl)	Gemisch aus 27 % Diphenyl und 73 % Diphenyloxyd; Siedepunkt 257° C; gestattet Beheizung durch Kondensationswärme bis 390° C bei einem Dampfdruck < 10 atü	Organischer Moderator	Wärmeübertragungsmittel

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
2531.212 Dowtherm C (Diphenylbenzol, Diphenylphenylen, Terphenyl)	Terphenyl-Isomerengemisch Siedepunkt 340 - 390° C, mit besserer Temperaturbe- ständigkeit	Moderator-, Reflektor- und Wärmeübertragungsmittel für OMR-Anlagen; Szintillationsmaterial	In der Chemie für Farbstoff- synthesen Wärmeübertragungsmittel
2531.301 Silikonöle	Siehe unter Silikone (Nr. 2268.200)		
2534.101 Molybdänbisulfid	Als Schmiermittel (ohne Öle auf Kohlenwasserstoffbasis) erst durch die Kerntechnik im großen Maßstab zur Anwendung gekommen, Schmierstoff mit hoher Wärme- und Strahlenbe- ständigkeit; MoS <sub>2</sub> mit Gußmehl und Beryllium ergibt einen Schmierstoff, der unter hohen Temperaturen einen minimalen Reibungskoeffizienten hat und besonders strahlenbeständig ist	Schmierung für Regelstäbe und Lager in hochreiner und trockener Gasatmosphäre	Allgemein: für hochbelastete und Wärmeeinfluß unterliegende Lagerstellen; wegen guter Not- laufeigenschaften auch für Trockenschmierung

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

2535.101  
Abziehlack

Filmbildendes Material, das auf Gegenständen, die möglicherweise radioaktiv verseucht werden können, aufgebracht wird. Die Haftung des Lackfilms auf dem Träger ist so gering, daß er bei Verseuchung abgezogen und erneuert werden kann. Die Lackfilme sollen chemisch beständig und gegen höhere Temperaturen und mechanische Beanspruchung unempfindlich sein

Schutz von Gegenständen und Anlageteilen im Bereich erhöhter Radioaktivität

Anwendungen wurden nicht bekannt, sind aber durchaus denkbar (2), z.B. bei Verschmutzung oder Verfärbung des Lackes

254 Gase

2511.180 - 8  
Argon

Edelgas; trotz schlechterer Wärmeübertragungseigenschaften gegenüber Helium in der Reaktortechnik verwendet  
Nachteil: Bildung von aktivem Ar 41

Als Kühlgas für Hilfskreisläufe und Schutzgas in Betracht gezogen

In der Schweißtechnik als Schutzgas (0);  
Gasturbinen Kreisläufe (2)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
29 NEBENSTOFFE, BESONDERE FORMEN DER MATERIE			
<u>293 Kristalle</u>			
2933.000			
Anorganische Kristalle z.B. Natriumjodid Lithiumjodid Cäsiumjodid Kalziumwolframat Zinksulfid Diamant	Substanzen, in denen bei Auftreffen einzelner energie- reicher Teilchen Lichtblitze hervorgerufen werden. Im Szi- ntillationszähler werden diese Lichtblitze von Photozellen und Elektronenvervielfachern verstärkt, um sie einer Beob- achtung bzw. Analyse zugängig zu machen	Detektoren an Szintillations- kammern für Alpha-Teilchen; Szintillatoren für die Spektrometrie ionisierender Strahlung	Dünnste optische Fenster; Rückwirkung auf die Herstellung "ultrareiner" Salze von größerer Reinheit als "pro Analyse", als erstes Natriumjodid für Spektro- graphen im Infrarotbereich; Kuvetten aus Einkristallen für Infrarotaufnahmen von Gasen
2933.500			
Organische kristall- bildende Substanzen (organ. Szintilla- toren) z.B. Anthrazen Stilben Terphenyl	Gezüchtete Kristalle; für die Herstellung von Fäden aus szintillierendem Material, die als Lichtleiter wirken, wenn sie (am Ende) von Teil- chen getroffen werden	Szintillatoren für die Spektrometrie ionisierender Strahlung (und Kernstrahlung)	Optische Instrumente, z.B. Endoskope

3 VERFAHREN DER TECHNIK UND  
NATURWISSENSCHAFTEN

(Methoden, Techniken, Technologie, Verfahren)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<b>31 REGEL- UND STEUERUNGSTECHNIK</b>			
<u>311 Allgemeines</u>			
3113.300			
Fernbetätigung (remotely controlled)	Kernenergieanlagen, insbesondere solche, bei denen auch die Turbinenanlage während des Betriebs nicht zugänglich ist, werden von einer Stelle aus bedient und überwacht. Dies bedingt Steuerungen, die nicht nur absolut zuverlässig sein müssen, sondern auch eine sichere Rückmeldung der Steuervorgänge gewährleisten	Kernenergieanlagen (mit aktivem Turbinendampf)	Rückwirkungen auf die Instrumentierung und Regeleinrichtungen von konventionellen Wärmekraftanlagen, Chemieanlagen u.a.
3116.210			
Koordinatensteuerung	Präzisionssteuerung u.a. für große numerisch gesteuerte Werkzeugmaschinen (Bohrwerke) zum Teil eigens für Aufgaben der Kerntechnik entwickelt, teils nur in vermehrtem Maße angewendet	Steuerung von Brennelementwechselmaschinen; Bearbeitung von Großwerkstücken für Kernreaktoren (Deckel, Flansche von Druckgefäßen, Brennelement-Führungsplatten)	Steuerung für Werkzeugmaschinen; in Erwägung gezogen für die Nachführung von Empfangsstationen für Satellitensignale; Steuerung für Tunnelbohrgerät
3118.110			
Sicherheits-schaltungen (Koinzidenz-schaltung)	Schaltungen, bei denen zur Auslösung eines bestimmten Vorganges $x$ von $y$ (z.B. 2 von 3) Meßgeräte, die alle auf dasselbe Charakteristikum ansprechen, einen anomalen Zustand anzeigen müssen, bevor es zu einem Steuer- (Abschalt-) Vorgang kommt	Reaktorsicherheitssystem	Für Schaltungen von Produktionsanlagen der Großchemie, Fertigungsstraßen und dergleichen in Erwägung gezogen

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

3118.120  
Signalfolge-  
schaltungen

Schaltungen, die das zeitliche  
Auftreten von Fehlern regi-  
strieren und so ermöglichen,  
Ursachen (Anfänge) von Störun-  
gen bzw. Ausfällen zu erkennen

In Kernenergieanlagen für Reak-  
torsicherheit und -überwachung

Für besonders wichtige Meßgrößen  
an Kesseln, Turbinen, chemischen  
Apparaten, insbesondere bei großen  
Anlagen

32 MESSEN, MESSMETHODEN, QUANTITATIVE ANALYSE

321 Allgemeines, Methodik

3211.100  
Meßbereiche

In der Kerntechnik wurden -  
insbesondere auf dem Gebiet  
der Impulsmeßtechnik - Me-  
thoden entwickelt, um über-  
große Meßbereiche exakte Mes-  
sungen vornehmen zu können

Impulszählung (Auflösevermögen  
von  $0 - 10^6$  Impulsen / sec);  
Neutronenflußmessung von Re-  
aktor (Meßbereich von  $10^0 - 10^{14}$ );  
Vakuummessungen Meßbereich von  
760 Torr bis  $10^{-9}$  Torr

Zeitmessung  
Vakuummessungstechnik

3213.210  
Nanosekunden-  
technik  
(schnelle Impuls-  
technik)

Für Belange der Kerntechnik  
entwickelte Verfahren, die es  
erlauben, mittels elektroni-  
scher Geräte Impulse, die im  
Abstand von  $10^{-8}$  (bis  $10^{-9}$ )  
sec aufeinander folgen, noch  
getrennt (auch nach Größen-  
ordnungen) zu registrieren  
oder die zeitliche Beziehung  
zwischen Impulsen im Abstand  
von  $10^{-10}$  sec zu erfassen; auch  
die Erzeugung derartiger Im-  
pulse spielt eine Rolle sowie  
Stabilitätsprobleme

Logische Elektronik in der Kern-  
meßtechnik, hauptsächlich für  
Probleme der Hochenergiephysik  
(Plasmatechnik); Digitalzähl-  
geräte für Impulsdetektoren  
(z.B. Szintillationsgeräte,  
Impulshöhenanalysatoren etc.)

Rückwirkung auf Technologie der  
elektronischen Rechner;  
Radartechnik; Ultrakurzzeit-  
photographie

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

3213.220  
Koinzidenz-  
technik

Verfahren zur Feststellung der  
Gleichzeitigkeit von  
(elektrischen) Vorgängen

Zählung von gleichzeitig oder  
in sehr kurzem Abstand auf-  
tretenden Impulsen

Kabelradargerät zur Bestimmung  
von Kabellängen und Kabel-  
bruchstellen;  
Radartechnik;  
Rückwirkungen auf den Bau von  
Pulsverstärkern und Gleich-  
stromverstärkern



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
----------------------------	--------------------	--------------------------------	--

### 322 Messen mechanischer Größen und Eigenschaften

3221.110

Spannungs-  
dehnungsmessungen  
(Strain gage)

Verfahren zur Kontrolle und Messung von Spannungen in Werkstücken mittels aufgeklebter Meßstreifen, die kleinste mechanische Bewegungen in elektrische Signale umwandeln. Beruht auf der Tatsache, daß ein Draht, der gedehnt wird, seinen elektrischen Widerstand erhöht, woraus über elektrische Meßbrücken die Dehnungen und auftretenden Spannungen im untersuchten Werkstück bestimmt werden können

Bei der Druckprobe von Reaktorsicherheits- und Druckbehältern und anderen Reaktorkomponenten, die Druckbeanspruchungen ausgesetzt sind, bei denen die Spannungsverhältnisse schwer zu erfassen sind (z.B. Stahlbalgkompensatoren)

Druckbehälter für Hochdruckchemie;  
Flugzeugbau

### 324 Messung von Konzentrationen, quantitative Bestimmung von Bestandteilen

3246.101

Aktivierungs-  
analyse

Verfahren zum quantitativen Nachweis atomarer Anteile eines Fremdstoffes durch Bestrahlung des Materials (im Reaktor) mit Neutronen oder anderen energiereichen Teilchen und Aktivierung der zu bestimmenden Elemente mit anschließender chemischer Isolierung und Vergleich mit einer bekannten Menge

Experimentelle Kernphysik;  
Bestimmung von Spuren-Konzentrationen von Stoffen;  
Abbrandbestimmung

Produktionsüberwachung durch Spurenanalysen u.a. in Halbleiter- und Röhrentechnik; Bestimmung des Volumens komplizierter Körper mittels gekennzeichnete Isotopen

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

3246.110

Staub- und Aerosol  
Gehaltbestimmung

Verfahren, bei denen ein Filter Überwachung der Abluft aus Reak-  
genormter Größe dazu verwendet toranlagen, "heißen" Labors,  
wird, die Ablagerung nach einem Brennstoffaufbereitungsanlagen;  
Durchgang von einer definierten Auffangen von Alpha-Teilchen zu  
Menge eines zu beobachtenden Ga-Messungen bei Alphareaktionen  
ses quantitativ und qualitativ  
zu bestimmen

Raumluftüberwachung;  
Überwachung der Abgase von Raf-  
finerien, Öl- und Kohlefeuerungen  
und der Niederschläge in der Um-  
gebung solcher Anlagen

326 Strahlungsmessung (vgl. auch 426 Strahlungsmeßgeräte)

3266.063

Aeroballverfahren

Verfahren zur Messung der Reak-  
torreaktivität und Flußvertei-  
lung:  
Durch den Reaktor führende  
Rohre werden von Kugeln durch-  
laufen, deren induzierte Akti-  
vität ein Maß für die Neutronen-  
Flußdichte inden von ihnen  
durchlaufenen Kanälen ist

Flußmessung und Bestimmung der  
Flußverteilung über die Messung  
der Aktivität

Anwendungen wurden nicht bekannt (2)

3266.101

Szilard-Chalmers  
(Rückstoff-)Verfahren

Verfahren der indirekten Mes-  
sung von Neutronenstrahlung  
beruht auf einem chemischen  
Effekt, wonach Nuklide, die  
aus Kernreaktionen hervor-  
gehen, von ihrer Ausgangs-  
substanz getrennt werden kön-  
nen, denn durch die Kernreak-  
tion werden die Atome zum Teil  
aus ihrem ursprünglichen Mole-  
külverband herausgerissen. Sie  
liegen dadurch in einer anderen  
chemischen Form vor und können  
vom Ausgangsmaterial leicht  
getrennt werden

Aktivierungs-Detektoren für  
langsame Neutronen;  
Isolierung von Radioisotopen  
(z.B. Ausfällen von Mn 56 in  
Form von  $MnO_2$  aus wäßriger  
Lösung von  $Ca (MnO_4)_2$ )

Herstellung von markierten Ver-  
bindungen für Untersuchungen in  
Medizin und Biologie, in der Fest-  
körperphysik u.a.

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
----------------------------	--------------------	--------------------------------	--

33 PRÜF- UND KONTROLLVERFAHREN, BEOBACHTEN, QUALITATIVE ANALYSE

332 Prüfen, Beobachten, qualitative Bestimmung mechanischer Größen und Eigenschaften

3327.100 +)

Zerstörungsfreie  
Werkstoffprüfung  
(Fehlerprüfung)

Verfahren zur Überprüfung von  
Fertigteilen auf Fehler (z.B.  
Risse, Inhomogenitäten); die  
an sich bereits bekannten Prüf-  
verfahren wurden weiterentwickelt,  
neue kamen hinzu. Die Reaktor-  
technik bedingt darüber hinaus  
häufig die kombinierte Anwen-  
dung mehrerer Methoden; u.a. fin-  
den folgende Methoden Anwendung:

Die Anwendungsgebiete auf kerntechnischem und herkömmlichem  
Gebiet unterscheiden sich nicht (nur die Häufigkeit der An-  
wendung)

3327.110 +)

Wirbelstrom (oder elektromagne-  
tische) Verfahren

Anwendungsbeispiele: Prüfung auf Risse und andere Fehler an  
Rohren, Drähten, Stangen, Bolzen, das heißt rotationssymme-  
trischen Körpern, aber auch beliebigen Formen;

3327.120 +)

Magnetische Streuflußverfahren

Prüfung von Walzerzeugnissen (z.B. Blechen);  
Schichtdicken-, Wandstärken- und Dimensionsmessungen;  
Messung der Haftung mehrerer metallischer Komponenten, Be-  
stimmung der Anisotropie, Kontrolle von Schweißverbindungen  
und wärmebehandelten Werkstücken;

3327.130

Ultraschallverfahren

3327.140

Farbeindringverfahren

Oberflächenrißprüfung

3327.150

Durchleuchten, Röntgen

Werkstücke aller Art bis zu Wandstärken von ca. 300 mm (mit  
Betatron)

Methoden, die ursprünglich mit  
Röntgenröhren durchgeführt wur-  
den, für die heute aber meist  
Gamma-Strahler (z.B. Co-Quellen)  
oder Betatrons verwendet werden  
(Vorteil gegenüber anderen Ver-  
fahren: die Prüffilme können auf-  
bewahrt werden)

+ ) Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 4)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

334 Prüfen, Kontrollieren von Konzentrationen

3343.101

Helium-Lecktest

Hochempfindliche Methode der Leckfindung an geschlossenen Behältern, Rohren etc.. Das zu prüfende Teil wird evakuiert und von außen (in Sonderfällen auch umgekehrt) mit Helium oder einem heliumhaltigen Gemisch besprüht. Das abgesaugte Gas wird durch einen Helium-Lecksucher geleitet, der bereits sehr geringe Mengen Helium auf massenspektroskopischem Weg nachzuweisen gestattet. Erkennungsgrenze für Undichtigkeiten liegt bei  $10^{-9}$  Torr . Liter/sec

Dichtigkeitsprüfung von Brennelementhüllrohren, von Rohrleitungssystemen und Armaturen von Behältern (auch Druck und Sicherheitsbehälter)

Findet heute allgemein Anwendung, wo hohe Anforderungen an Dichtigkeit gestellt werden. Zur Kontrolle von Behältern, Rohren, Stahlbälgen, Armaturen; Schweißnähten; Folien, Schichten

3343.102

Ammoniaklecktest

Verfahren zur Dichtigkeitsprüfung von Hohlkörpern und Rohren, die zu diesem Zwecke verschlossen und mit Ammoniak gefüllt werden. Beruht auf dem einfachen Nachweis auch sehr geringer Mengen  $NH_3$ , z.B. durch Rotfärbung von angefeuchtetem, farblosen Phenolphthaleinpapier

Dichtigkeitsprüfungen von Rohren, Stahlbälgen, Armaturen

Prüfung von Rohren, Druckbehältern, von Flansch- und Schweißverbindungen (0)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

34 ENERGIEERZEUGUNG, -UMWANDLUNG, -SPEICHERUNG UND -TRANSPORT

344 Elektrische Energieerzeugung, -umwandlung, -speicherung

3441.400

Direktumwandlung

Die Direktumwandlung von Wärme in elektrische Energie ist besonders interessant im Zusammenhang mit der Verwertung der Zerfallswärme von Radioisotopen. Als Radioisotope werden z.B. verwendet: Strontium 90 mit einer Halbwertszeit von 28 Jahren, möglicherweise demnächst auch Plutonium 238 ( $T_H = 89$  a). Grundsätzlich gibt es mehrere technische Möglichkeiten einer Direktumwandlung, z.B. Direktumwandlung über Thermoelemente, MHD-Wandler, Thermoionikelemente etc.

Die Nachzerfallswärme wird zwar in Energieerzeugungsanlagen zum Teil mitausgenutzt; sie ist aber als Nebenprodukt zu bezeichnen. Es bedarf bei Stillstand der Reaktoren und in gewissen Anlagenteilen (z.B. Brennelement-Abklingbecken) umfangreicher Maßnahmen, um die entstehende Wärme abzuführen

Prototypenanwendungen: Elektrische Aggregate für Wetterstationen, Leuchtbojen

Im Projektstadium: Stromversorgung für Navigationssysteme für die Luftfahrt

Elektrischer Korrosionsschutz für Metallflächen

Großtechnische Anwendungen sind nicht bekannt

3441.410

Direktumwandlung  
über Thermoelemente

Beruhet auf dem "Peltiereffekt", der die Tatsache beschreibt, daß in einem aus zwei verschiedenen Metallen oder Halbleitern zusammengesetzten Stromkreis ein elektrischer Strom fließt, wenn man die Lötverbindungsstelle der beiden Stoffe erwärmt

Bereitstellung der Wärmequellen (Radioisotope, Abbrände) durch die Kerntechnik)

Einige der SNAP-Generatoren arbeiten nach diesem Prinzip; RIPPLE-Generatoren; in erster Linie von militärischer Bedeutung

3441.420

MHD-Wandler

Auf dem magnetohydrodynamischen Prinzip aus Entwicklungen der Plasmatechnik hervorgegangen

Die Magnetohydrodynamik hat Bedeutung bei der Aufheizung von Plasmen im Zusammenhang mit thermischen Fusionsproblemen

Direktstromerzeuger im Labormaßstab  
Anwendungen wurden bisher nicht bekannt (2)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

3441.430

Thermoionische  
Energieumwandlung

Prinzip der Elektronenröhre:  
Eine Kathode in Form einer zylindrischen Hülle wird von einem Brennstoff (z.B. Brennelemente eines Kernreaktors) von innen her beheizt; sie ist in geringem Abstand von einem weiteren Rohr (Anode), das gekühlt wird, umgeben. Zwischen Kathode und Anode herrscht ein Vakuum (mit Caesium-Metall-Ionen) in dem ein Strom von Elektronen von der heißen Kathode zur kalten Anode fließt und über den Verbraucher zur Kathode zurückgeleitet wird. Bei Verwendung geeigneter Hochtemperaturwerkstoffe können Temperaturunterschiede von  $2.000^{\circ}$  C beherrscht werden

Kann vielleicht einmal die Funktion der konventionellen Dampfkraftanlagen bei der Erzeugung elektrischer Energie aus Kernenergie übernehmen (nur für kleine Leistungen)

Im Versuchsstadium;  
wirtschaftliche Nutzung noch nicht gegeben  
Energieanlagen kleiner Leistung mit hohem Verfügbarkeitsgrad (4)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

35 AUFBEREITUNGS- UND CHEMISCHE VERFAHREN

352 Speichern, Verteilen, Verpacken etc.

3526.900

Umhüllen  
(canning, cladding)

Das Umhüllen metallischen oder keramischen Kernbrennstoffs etc. mit gasdichten Hülse aus metallischen und neuerdings auch keramischen Materialien und Cermets dient der Zurückhaltung der (gasförmigen) Spaltprodukte und ist eine typische Entwicklung der Kerntechnik. Die Gewährleistung eines innigen Kontakts zwischen Brennstoff und Überzugsmaterial, die Vermeidung dünner Oxydschichten und das Zustandekommen einer gewissen metallischen Bindung zwischen beiden Materialien haben viele technologische Probleme mit sich gebracht: Form und Beschaffenheit der Oberfläche, Korrosions-, Strömungs- und Wärmeübertragungsprobleme

Umhüllen von Kernbrennstoffstäben bzw. Pellets von Brut- und Moderatormaterialien sowie von Absorberstäben

Vergleichbare Aufgabenstellungen in der herkömmlichen Industrie sind nicht bekannt, aber Rückwirkungen auf vielen Gebieten der Technik (z.B. Herstellung von dünnsten Rohren (bis zu 0,1 mm Wandstärke bei Edelstahl) mit und ohne Rippen bei höchsten Präzisionsanforderungen

3527.910

Ein vibrieren in  
Hülse

Verfahren für pulverförmigen Kernbrennstoff, der erst in der Hülse verdichtet wird

Geeignet für keramische Brennstoffe  $UO_2$ ;  $UO_2$ - $PuO_2$

Rückwirkungen auf die Herstellung anderer dichter keramischer (Hochtemperatur) Werkstoffe

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<u>353 Vereinigen, Mischen etc.</u>			
3535.300 Aufbereitung von Erzen	Das Granulieren und die Aufbereitung von Erzen ist weiterentwickelt worden, insbesondere sind für die Urangewinnung Verfahren zur Sinterung des Erzes in Drehrohröfen entwickelt worden, die auf Ergebnissen wissenschaftlicher Untersuchungen basieren und nicht nur rein empirisch sind	Aufbereitung des yellow cake (Uranoxyd mit größeren Mengen von Alkalierden)	Rückwirkungen auf die allgemeine Metallurgie, z.B. Aufbereitung der Zuschlagstoffe für die großtechnische Reduktion von Schwermetallen
<u>354 Trennverfahren</u>			
3542.410 Stofftrennung durch Fällung-Kristallisation	Reinigungsverfahren über Mischkristalle, z.B. Beryllium-Aluminium-Mischkristalle	Beryllium-Aluminium-Silicium-Trennung	Anwendungen konnten nicht ermittelt werden, sind aber denkbar (2)
3542.510 Trennen seltener Erden (Lanthaniden)	Seltene Erden sind Metalle mit sehr weitgehender Übereinstimmung ihrer chemischen Eigenschaften und gleichem Aufbau der äußeren Elektronenschalen; Trennung erfolgt über Solventextraktion, selektive Adsorption in Trennsäulen oder über Ionenaustauscher	Wirtschaftliche Trennverfahren wurden für die Deckung des Bedarfs an Seltenen Erden für atomare Waffen entwickelt; Europium, Gadolinium u.a. als Absorbermaterial für Kernreaktoren	Verwendung bestimmter Lanthaniden in phosphorisierenden Materialien für die Rottöne in Farbfernsehröhren



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3544.110 Fraktionierte Destillation der Halogenide	An und für sich bekannte Trennverfahren, deren Anwen- dungsbereich aber bedeutend erweitert wurde. Metalle werden z.B. in Fluoride übergeführt und fraktioniert destilliert; niedrigerer Siedepunkt und thermodynamisch günstiger	Zirkon-Hafnium-Trennung über Destillation von Zirkonchlorid	Reindarstellung von Stoffen über Fluoridedestillation; Darstellung vo. Reinstcarbiden
3544.200 +) Solventextraktion (Flüssig-flüssig- Extraktion)	In einer Trägerflüssigkeit ge- löste Substanzen werden durch Zumischen eines Lösungsmittels mit selektivem Lösungsvermögen extrahiert. Sofern Träger- flüssigkeit und Lösungsmittel verschiedene spez. Gewichte haben, lassen sie sich anschlie- ßend durch Absetzen bzw. in Zen- trifugen wieder trennen. Als Ex- traktionsmittel wird Diäthyläther oder neuerdings vor allem Tributyl- phosphat verwendet. Um den Wirkungs- grad zu steigern, wird u.U. in meh- reren Stufen und im Gegenstrom ge- arbeitet. Die wichtigsten Verfahren sind im folgenden aufgeführt:	Reindarstellung des Uran (in Form von Uranylнитrat) aus den Ausgangserzen und bei der Aufarbeitung bestrahlten Brennstoffs aus den aufgelösten Brennelementen (Redoxprozeß); außerdem Reindarstellung von Pu (Purex-) und Th (Thorex- prozeß); Trennung Seltener Erden, insbesondere Gadolinium- Reindarstellung	(Pharmazeutische Industrie; Erdölindustrie und Petrochemie)  Abtrennen bestimmter Stoffe; Phenolgewinnung; Reindarstellung von Schwermetall- salzen; Trennung Seltener Erden; Trennung Rhodium-Iridium

+ ) Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (siehe Anlage 8 - 5)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3544.201 25-TBP-Prozeß	Auflösung des bestrahlten Urans mittels Salpetersäure; Solvent- extraktion mittels organ. Lö- sungsmittel: 5% TBP in Kerosin, Salzagens Salpetersäure-Alumi- nium-Nitratlösung	Trennung und Entgiftung von angereichertem Uran; neuer- dings auch für die Trennung Zirkonium-Hafnium angewandt	Trennung Seltener Erden (z.B. Gadoliniumoxydherstellung mit TBP, Varsol, Salpetersäure)
3544.202 Purex-Prozeß	Ähnlich wie das Redoxverfahren; Auflösemittel Salpetersäure; organ. Extraktionsmittel 30 % TBP in Kerosin ohne Salzagens	Brennstoffaufarbeitung zur Extraktion von Uran und Plu- tonium aus wäßriger Lösung und Trennung Pu und Uran voneinander	Unmittelbare Anwendungen wurden nicht bekannt, sind aber denkbar (2)
3544.203 Hallex-Prozeß	Unterscheidet sich vom Purex- Prozeß nur dadurch, daß das TBP nicht in Kerosin, sondern in Tetrachlorkohlenstoff aufge- löst wird; Nachreinigung der Uranylsalzlösungen über Kiesel- gurfilter	Zur Aufbereitung neutronenbe- strahlter angereicherter Uran-Kernbrennstoffe	Unmittelbare Anwendungen wurden nicht bekannt, sind aber denkbar (2)
3544.204 Thorex-Prozeß	Auflösungsmittel Salpetersäure, als Katalysator der Thoriumauf- lösung werden Fluor-Ionen, als Katalysator der Aluminiumpulver- lösung Quecksilber-Ionen verwendet; organ. Extraktionsmittel 42,5 % TBP in Kerosin; Aluminiumnitrat- lösung mit wenig Ferrosulfat als Auswaschlösung	Zur Extraktion neutronenbe- strahlten Konvertermaterials (Thorium und Uran 233) aus Spaltproduktlösung	Unmittelbare Anwendungen wurden nicht bekannt, sind aber denkbar (2)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendung in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3544.205 Interim-23-TBP- Prozeß	Auflösungsmittel Salpetersäure; Katalysator der Thoriumauflösung Fluorionen, der Aluminiumauflö- sung Quecksilberionen; als organ. Extraktionsmittel wird für Uran 15 % TBP, für Thorium 45 % TBP Lösung in Kerosin benutzt; Salzagens salpetersaure Aluminium- Nitratlösung	Zur Entgiftung von Thorium und Uran sowie Trennung Thorium Uran 233	Unmittelbare Anwendungen wurden nicht bekannt (2)
3544.207 Interim-23-Hexon- prozeß	Ähnlich wie Redox-Prozeß; Auflösungsmittel Salpetersäure, organ. Extraktionsmittel Hexon, Salzagens-Aluminium-Nitrat; Thorium wird gemeinsam mit den Spaltprodukten ausgewaschen.	Entgiftung von U 233 und Thorium und Trennung beider Stoffe voneinander	Unmittelbare Anwendungen wurden nicht bekannt, sind aber denkbar (2)
3544.208 Redox-Prozeß	Der bestrahlte Brennstoff wird mittels Salpetersäure aufgelöst; organ. Extraktionsmittel Hexon; Salzagens Aluminiumnitrat	Brennstoff-Wiederaufberei- tung von Natur-Uran, Trennung von Uran-Plutonium, quantitative Extraktion von U und Pu	Unmittelbare Anwendungen wurden nicht bekannt, sind aber denkbar (2)
3544.211 Chelation-TTA- Prozeß	Auflösungsmittel Salpetersäure; organ. Extraktionsmittel TTA (Thenoyl-tri-fluorazeton) ver- dünnt in Benzol	Zur Extraktion des 4-wertigen Plutoniums (zusammen mit dem Spalt- oder Legierungsprodukt Zirkon) aus wäßriger Lösung der Spaltprodukte und des Restbrennstoffs	Unmittelbare Anwendungen wurden nicht bekannt (2)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3544.251 Amine-Extraktion	Verfahren zur Reindarstellung von Schwermetallverbindungen, bei dem organ. Amine die Rolle von Ionenaustauscherharze übernehmen	Endreinigung von Plutonium, Extraktion Uran-Plutonium	Reindarstellung von Thorium, Hafnium, Zirkon
3544.300 Ionenaustauscher- Verfahren	Verfahren, bei denen in Lösung befindliche Ionen eines zu reinigenden oder anzureichernden Stoffes gegen Ionen eines Austauscherstoffes, die sich ebenfalls in Lösung befinden, ausgetauscht werden. Nach der auszutauschenden Ionenart unterscheidet man Kationen - und Anionen-Austausch, darüber hinaus gibt es Verfahren mit kombinierten Anionen-Kationen-Austauschermaterialien	Wesentliche Erweiterung der Bedeutung durch Anwendung zur quantitativen Rückgewinnung der Schwermetallionen (U, Pu, Th, Zr etc.) aus sehr verdünnten Lösungen; Ionenaustausch an Kunstharzen (z.B. Amberlite) bzw. an org. Stoffen (z.B. Zeolithe) ermöglichen die Anreicherung von Isotopen: Das Isotopengemisch wird auf einem Anionen- bzw. Kationen-Austauscher absorbiert und durch geeignete Lösungsmittel eluiert	Für die Vollentsalzung von Kesselspeisewasser schon seit längerem bekannt (0). Durch Fortschritte auf dem Gebiet neuerdings auch für die Entsalzung von Meerwasser in Betracht gezogen. Für die Gewinnung von (Schwermetall-) Ionen aus Lösungen, in denen sie in geringer Konzentration vorliegen
3544.400 Fällungsverfahren	Dazu gehören u.a. das Wismut-Phosphat-Verfahren, das Uranyl-Ammonium-Phosphat-Verfahren, das Beryllium-Hydroxyd-Sulfat-Verfahren u.a. (man fällt z.B. das Komplexsalz aus und kristallisiert dann noch einmal)	Erste, heute kaum noch angewandte Verfahren zur Uran-Plutonium Trennung Beryllium- Al, Si	Besonders in der analytischen Chemie allgemein angewendete Verfahren (0); neuere durch die Kerntechnik beeinflusste Anwendungen wurden nicht bekannt, sind aber möglich (2)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3544.510 Fraktionierte Kristallisation	Reinigungsverfahren durch "portionsweises" Auskristallisieren verschiedener Bestandteile aus einem Schmelzgemisch	Teilweise verwendetes Verfahren zur Zirkonium-Hafniumtrennung	Wahrscheinlich bei der Entstehung der Lagerstätten maßgeblich beteiligter Vorgang; häufig angewandte Verfahren in der präparativen Chemie zur Reindarstellung kleiner Mengen bestimmter Stoffe z.B. Niob-Tantal-Trennung über deren Fluorsalze; Reindarstellung von Rhodium über die entsprechenden Salze
3544.601 Zonenschmelzen +)	Diskontinuierliches Verfahren zur Reindarstellung kleinerer Mengen von Metallen und anderen Stoffen; beruht auf der Tatsache, daß Verunreinigung gewöhnlich in der flüssigen Phase des Trägerstoffes leichter löslich sind als in dessen fester Phase.	Reindarstellung von Szintillationsmaterialien und für bestimmte Metalle z.B. Zirkon, Uran (im Labormaßstab)	Reindarstellung kleinerer Mengen von Metallen (z.B. Fe)
3544.610 Vakuumschmelzen (s. 3611.610)			
3544.612 Elektronenstrahlschmelzen (s. 3611.612)			

+ ) Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 6)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3545.301 Aktivkohletechnologie	Aktivkohle wurde für die Kerntechnik untersucht, insbesondere hinsichtlich ihres Vermögens, bestimmte radioaktive Spaltgase zu adsorbieren oder zeitweise festzuhalten, bis die Radioaktivität abgeklungen ist	Von Bedeutung für die Herstellung von Aktivkohlefiltern für die Filtrierung bzw. Adsorption von radioaktiven Isotopen (Xenon und Jod) für Raum- und Atemfilter	Bedeutung auch für konventionelle Filter hinsichtlich der qualitativen und quantitativen Adsorption bestimmter Gaskomponenten
3545.400 Luftreinigung (vgl. auch Anlagen zur Luftreinigung)	Für die hohen Sicherheitsanforderungen wurden Filteranlagen in vorher nicht bekannten Größen (Luftwechselzahlen zwischen 8 und 15) und mit Wirkungsgraden bis zu 99,98 % gebaut; diese Tatsache erforderte nicht nur eine Perfektion der herkömmlichen Filtertechnik, sondern auch die Entwicklung neuer Filtermaterialien aus Zellulos-Asbest- oder Kunstfasermaterialien	Abluft aus Reaktorbetriebsgebäuden, Zuluft- und Abluftreinigung in kerntechnischen Labors und heißen Zellen	Reinigung der Zuluft zu Produktionsräumen der chemischen, feinmechanischen, elektronischen Industrie; in Forschung auf den Gebieten der Raumfahrt, Medizin und Biologie für die Belüftung von Räumen mit keimfreier Atmosphäre

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

3545.810

Tieftemperaturgas-  
zerlegung  
(Verflüssigungs-  
verfahren mit an-  
schließender frak-  
tionierter Destil-  
lation)

Verfahren, bei denen das verflüs-  
sigte Gas in Brüdenverdampfern  
schrittweise von anderen (gasför-  
migen) Verunreinigungen abdestil-  
liert wird, anschließend u.U. noch  
über Tieftemperatur-Adsorber wei-  
tergeleitet wird; verbleibende Aus-  
gangskonzentrationen (an Xenon und  
Krypton)  $10^{-3}$  bis  $10^{-2}$  ppm;  
die verlangten Reinheitsgrade ge-  
hen so weit, daß die Verunreini-  
igungsgrade denen der Austritts-  
reinheitsgrade konventioneller An-  
lagen entsprechen, die für die Kern-  
technik verlangten aber oft mehr  
als eine 10er Potenz unter diesen  
liegen müssen; neu sind auch die  
Größen solcher Anlagen

Reinigung der Schutzgase (He-  
lium und Argon) von Xenon und  
Krypton, die als Spaltprodukte  
anfallen;  
Reinigung der Wärmeübertragungs-  
mittel (He und  $\text{CO}_2$ ) von gasför-  
migen Verunreinigungen, z.B.

Bedeutung der erreichten Rein-  
heitsgrade bei Helium und Argon  
ist wahrscheinlich nur für Analy-  
segeräte und spezielle Probleme  
in der Forschung gegeben.

3547.000

Isotopentrennver-  
fahren

Eine Vielzahl von Verfahren, die aber alle auf den geringen Massen-  
unterschieden der einzelnen Isotope der betreffenden Elemente be-  
ruhen, wurden entwickelt. Die wichtigsten Prinzipien sind im folgen-  
den aufgeführt:

Ihre Bedeutung für den nichtnuk-  
learen Bereich ist im allgemeinen  
nur auf Grund indirekter Auswir-  
kungen gegeben.

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3547.100 Destillationsverfahren	Dazu gehören u.a.: - Gleichgewichtsdestillation, z.B. Tieftemperaturrektifikation, Trennverfahren für niedermolekulare Stoffe, insbesondere für flüssigen Wasserstoff bei Temperaturgradienten von $3^{\circ}$ ( $21^{\circ}$ - $24^{\circ}$ K) in großtechnischem Maßstab (mehrere m <sup>3</sup> flüssiges H <sub>2</sub> ); thermodynamisch günstiger als die Destillation von Wasser, weil die Verdampfungswärme von Wasserstoff weit unter der des Wassers liegt; - Austauschdestillation über Komplexverbindungen - Molekulardestillationstrennung auf Grund relativer Unterschiede der Verdampfungsgeschwindigkeiten der verschiedenen Komponenten bei sehr geringem Restgasdruck	Gewinnung und Reinigung von D <sub>2</sub> , Anreicherung schwerer Sauerstoffisotope O 17 und 18  Anreicherung von B 10  Anreicherung von Li 7 im Labormaßstab	Die Isotopentrennung ist typisch für die Kerntechnik und wird in der herkömmlichen Industrie wahrscheinlich nie eine bedeutende Anwendung finden (1) (Rückwirkungen auf Tieftemperaturtechnologie und Handhabung flüssiger Gase)
3547.200 Gasdiffusionsverfahren	Irreversible Prozesse, wegen des hohen spezifischen Energieverbrauchs nur dort angewandt, wo keine anderen Verfahren zur Verfügung stehen. In der Praxis werden u.a. folgende Verfahren angewendet:		
3547.201 Druckgasdiffusion	Mittels Trenndüsenapparat, beruht auf der Tatsache, daß sich die leichtere Komponente bevorzugt in Richtung kleinerer Drücke bewegt; als großtechnisches Verfahren in Entwicklung	Für die Trennung der meisten gasförmigen Isotopengemischen geeignet	Bedeutung außerhalb des Bereichs der Kerntechnik nicht zu übersehen



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3547.202 Trennwanddiffusion	Erstes Hertzsch'sches Isotopentrennverfahren; in einem äquimolaren Gemisch zweier Gase trifft die leichtere Komponente wegen ihrer größeren, mittleren Molekulargeschwindigkeit häufiger auf die Trennmembran	Einzige bekannte Anwendung: Anreicherung des U 235	} Bedeutung außerhalb des Bereichs der Kerntechnik nicht zu übersehen
3547.203 Thermodiffusion	Mittels Trennröhrapp.; beruht auf der Störung der Verteilungsfunktion der Molekeln durch ein Temperaturgefälle	Grundsätzlich für die Trennung der meisten gasförmigen Isotopengemische geeignet	
3547.211 Fremdgasdiffusion	Diffusion des gasförmigen Isotops in ein durch Kondensation abtrennbares Hilfsgas	Für die Trennung der Uranisotope über gasförmiges UF <sub>6</sub> im Labormaßstab angewandt	
3547.300 Chemische Verfahren	Die chemischen Verfahren zur Isotopentrennung arbeiten meist auf der Grundlage des Gleichgewichtseffekts; in der Praxis durchgeführt nach dem Prinzip chemischer Austauschverfahren	Abtrennung von C 13 und N 15	Die Isotopentrennung ist typisch für die Kerntechnik und wird in der herkömmlichen Industrie wahrscheinlich nie eine bedeutende Anwendung finden (1)
3547.350 Trennung durch Elektrolyse	Verfahren, das auf den verschiedenen Abscheide- und Wanderungsgeschwindigkeiten im Elektrolyten basiert	Anreicherung von Li 7 durch Schmelzelektrolyse von LiCl; Gewinnung von Schwerwasser durch Wasserelektrolyse	Direkte Anwendungen nicht zu erkennen

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3547.400 Magnetisches Verfahren	Trennen von ionisierten Gasen auf Grund von verschiedenen Ablenkungen der Isotopen im Magnetfeld; geringer Durchsatz (100 g/Tag)	Geeignet für fast alle Isotopen	Die Isotopentrennung ist typisch für die Kerntechnik und wird in der herkömmlichen Industrie wahrscheinlich nie eine bedeutende Anwendung finden (1)
3547.500 Trennung im Schwerefeld	Trennung mittels (schnellaufender) Ultrazentrifugen	Trennung gasförmiger Isotopengemische; anfangs für die Produktion von U 235 in Erwägung gezogen und erprobt aber sehr unwirtschaftlich	Ultrazentrifugen haben z.B. in der Kolloid-Forschung Bedeutung gewonnen
<u>356 Chemische Umsetzungen</u>			
3562.110 Darstellung von Metallen mit großer Sauerstoff- affinität	Entwicklung geeigneter Geräte für (grundsätzlich bekannte) thermische Verfahren zur Darstellung von Metallen aus ihren Oxyden, Fluoriden und dergleichen, wobei pulverförmiges, metallisches Calcium oder Magnesium als Reduktionsmittel verwandt wird; die Reaktion erfolgt unter großer Wärmeentwicklung	Calciothermie für die Uran- und Plutoniumgewinnung aus den Fluoriden;	Gewinnung anderer Metalle mit großer Affinität zu Sauerstoff, z.B. Titan über Natriumthermie, Beryllium über Magnesiumthermie aus Berylliumfluorid
3563.101 Strahlen- Kracken	Der Einsatz von energiereicher Strahlung bei Krackprozessen kann die Funktion von Katalysatoren übernehmen. Die Vorteile sind in der Vermeidung von Verunreinigung (durch Einsatz geschlossener Strahler) und in besseren Ausbeuten an definierten Produkten zu sehen	Apparative Voraussetzungen, Strahlenquellen und Strahlentechnologie aus der Kerntechnik	Für Erdölkrackung in Erwägung gezogen und erprobt, aber noch keine industrielle Anwendung (4)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3565.100 <sup>+) )</sup> Strahlensynthese	Methode der präparativen Chemie, bei der die für die entsprechenden chemischen Reaktionen notwendigen Energie durch Abbremsung von Strahlung in das Reaktionsgemisch eingebracht wird. Zur Anwendung gelangen Röntgen- und Gamma-, Neutronen- und Elektronenstrahlung sowie Kernbruchstücke aus radioaktiven Zerfällen	Die in der Strahlenchemie verwendete Strahlung entsteht gewissermaßen als "Nebenprodukt" bei der Kernspaltung (außer Neutronenstrahlung)	Stickoxyd-Salpetersäure-Synthese, Synthese von Äthylbromid, Hydrazin, Äthylenglykol u.a.; Benzolchlorierung bzw. -sulfochlorierung
3566.100 <sup>+) )</sup> Molekül-kettenbildung unter Einwirkung energiereicher Strahlung	Methode der präparativen Chemie, bei der die für die entsprechenden chemischen Reaktionen notwendigen Energie durch Abbremsung von Strahlung in das Reaktionsgemisch eingebracht wird. Zur Anwendung gelangen Röntgen- und Gamma-, Neutronen- und Elektronenstrahlung sowie Kernbruchstücke aus radioaktiven Zerfällen. Folgende strahlenchemische Reaktionen kommen in Betracht:	Die verwendete Strahlung (außer Neutronenstrahl.) ist "Nebenprodukt" bei der Kernspaltung; Großstrahlentechnik und zugehörige Geräte in der Kerntechnik entwickelt	Strahlenreaktionen in Polymeren, z.B. Vernetzung; Polymerisation, Ppropf-Misch-Polymerisation (Graften), wobei die letztgenannte Anwendung bereits wirtschaftlich ist und bessere Qualitäten als die herkömmlichen Verfahren erbringt. Technische Darstellung von Polybutadien, -Äthylen, -Propylen und -Isopren in Erwägung gezogen; im Labormaßstab bereits erprobt
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vernetzung</li> <li>- Vulkanisation</li> <li>- Polymerisation</li> <li>- Propfpolymerisation</li> </ul>		

<sup>+) )</sup> Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 7)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

3566.111

Kautschukvulkanisation Die Vulkanisation von Kautschuk kann durch Beeinflussung mit radioaktiven Strahlen bedeutend erleichtert werden, wobei die thermischen und mechanischen Eigenschaften des Kautschuks verbessert werden

Gummiherstellung aus Kunstkautschuk, Isopren (Versuchsanlage in den USA in Betrieb)

3953.200<sup>+) )</sup>

Strahlensterilisation Ionisierende Strahlung, die in Gewebe eines lebendigen Organismus eindringt, ruft Veränderungen an den Makromolekülen hervor. Es kann dadurch Wachstum und Vermehrung v. Bakterien und anderen (Mikro-)Organismen eingeschränkt oder das Leben ganz abgetötet werden

Beziehungen zur Kerntechnik über die Technologie der ionisierenden Strahlungen

Verhinderung des Frühkeimens von Kartoffeln, Zwiebeln und dergleichen; Fäulnisverhinderung bei leicht verderblichen Gütern (Seetiere, Obst, Fleisch); Sterilisation von Operationsmaterial (z.B. Katgut) und Verbandzeug

<sup>+) )</sup> Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 9)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

### 36 FERTIGUNGS-VERFAHREN

#### 361 Verfahren zur spanlosen Bearbeitung und Formgebung

3611.610

Vakuumschmelzen

Schmelzen reaktiver Materialien mittels elektrisch beheizter Öfen, die für die großtechnische Darstellung von Zirkon und anderen Materialien für die Kerntechnik entwickelt wurden (Vakuum ca.  $10^{-3}$  Torr, für Chargen von einigen Tonnen)

Erschmelzen reaktiver Metalle für Gießverfahren; Herstellung und Umschmelzen von Zirkonium aus dem Kroll-Prozess und Uran aus Calciothermie-Red. Entgasen, insbesondere Beseitigung von  $H_2$ , von niedrig- und hochlegierten Stählen (hochwertige Ni- und V-Stähle)

Entfernung von Versprödung bewirkenden Gasen (hauptsächlich  $H_2$ ,  $N_2$ ,  $O_2$ ) aus Titan und Tantal; Entgasen von unlegierten und legierten Stählen (neuerdings Anstoß durch die Raumfahrt)

3611.612

Elektronenstrahl-  
schmelzen

Weiterentwicklung aus dem Schmelzen im Vakuum-Lichtbogenofen. Wie dort, so gelangen auch hier wassergekühlte Metalltiegel zur Anwendung, damit jede Verunreinigung der Schmelze durch Tiegelmateriale vermieden wird. Zum Erhitzen werden Elektronenstrahlkanonen verwendet, die den beim E-Schweißen verwendeten im Aufbau ähnlich sind, jedoch weniger scharf gebündelte Strahlen und größere Leistungen haben (bis zu 500 kW)

Konstruktion auf Grund von Anregungen der für die Kerntechnik entwickelten Elektronenstrahl-Schweißgeräte: Zur Herstellung von Legierungen mit hohen Reinheitsanforderungen sowie von stark gasenden Materialien und solchen mit großer Sauerstoffaffinität

Im Labormaßstab: Herstellung von kleinen Mengen hochschmelzender Metalle und Metallverbindungen (z.B. Boride, Carbide) unter saubersten Bedingungen; im größeren Maßstab: Herstellung von Niob, Tantal, Hafnium sowie deren Legierungen; Entfernen gasförmiger Verunreinigungen

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

3612.100  
Formsintern

Die Sinterung hochschmelzen-  
der Stoffe zur Herstellung von  
Formkörpern ohne mechanische  
Nachbearbeitung hat durch die  
Kerntechnik starken Auftrieb  
erhalten sowohl hinsichtlich  
der Verarbeitung keramischer  
Stoffe als auch von intermetal-  
lischen Verbindungen, Hartmetall-  
en und Cermets, z.B. Drucksin-  
terverfahren

Brennstoff-, Brutstoff-, Mo-  
derator- und Absorber-Pellets,  
Brennelementhüllrohre verschie-  
dener Art

Rückwirkungen auf Formgebungs-  
verfahren für Berylliumoxyd,  
Thoriumoxyd u.a. Materialien  
für Tonköpfe und viele andere  
Anwendungen; weiterhin Formge-  
bungsverfahren für Ferritkörper  
für Anwendungen in der Elektronik

3613.302  
Walzplattieren

Verfahren entwickelt zur Her-  
stellung von Platten- oder  
röhrenförmigen Brennelementen  
durch Plattierungswalzen von  
Uran-Legierungen mit entspre-  
chenden Blechen

Aluminium-Brennelemente für MTR-  
Reaktoren; Plattenelemente mit  
Dispersion von angereichertem  
Uran in nicht rostendem Stahl  
für U-Boot-Reaktoren

Direkte Anwendungen wurden nicht  
bekannt, sind aber durchaus denk-  
bar (2). Grundsätzlich geeignet  
zur Verbindung von Blechen ver-  
schiedener Werkstoffe

3613.401  
Herstellung von  
Rohren mit glatter  
Oberfläche

Neue Verfahren zum Ziehen von  
Rohren aus legierten Stählen,  
Zirkonium u.a.. Die Anfor-  
derungen an die Oberflächen-  
qualität gehen bis zu Rest-  
rauhigkeiten, die früher nur  
durch Schleifen erreicht wer-  
den konnten

Brennelement-Hüllrohre aus hoch-  
warmfesten Stählen, die innen  
und außen einen Rauigkeitsgrad  
von  $< 5 \mu$  RMS haben müssen

Rohre für Wärmetauscher in Anlagen,  
in denen sich keine Verunreinigun-  
gen festsetzen dürfen.  
Sichtbare Teile ohne Nachbear-  
beitung (denkbar z.B. für Haus-  
haltsmaschinen)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

3613.601 +)  
Plasmaschneiden

Brennschneidverfahren:  
Die hohe Temperatur (bis zu  
25.000° C) eines Plasmastrahls  
(hoch beschleunigtes ionisier-  
tes Gas) wird zum Schmelzen  
des Werkstoffs genutzt, die  
kinetische Energie des scharf  
gebündelten Plasmastrahls bläst  
das Schmelzgut aus der Schnitt-  
fuge

Schneiden von Materialien, die  
empfindlich gegen Wärmeeinflüsse  
sind (z.B. Gefügeveränderungen  
durch lokale Überhitzung) oder  
sehr hohe Schmelzpunkte haben  
(z.B. austenische CrNiTi -Stähle)

Im Flugzeug- und Schiffbau für  
austenische Stähle; Nickel-, Kupfer-  
und Al-Legierungen

3613.612  
Bearbeitung mit  
Elektronenstrahl  
(Bohren, Schneiden)

Die kinetische Energie eines  
auf hohe Geschwindigkeit (ca.  
2/3 Lichtgeschwindigkeit) be-  
schleunigten Elektronenstrahls  
wird beim Aufprall auf ein Tar-  
get (in diesem Falle das Werk-  
stück) in Wärme umgewandelt.  
Die entstehende Wärme kann groß  
genug sein um das Material des  
Werkstücks zu verdampfen, d.h.  
man kann mittels scharf gebün-  
delter Elektronenstrahlen feinste  
Bohrungen und Schnitte ausführen

Einfluß der Kerntechnik geht vom  
Elektronenstrahlschweißen aus,  
für das die ersten Maschinen ent-  
wickelt wurden

Maschinenbau: Bohren von Werkstücken  
aus Werkstoffen großer Härte z.B.  
Gasturbinenschaufeln aus hoch warm-  
festen Legierungen, technische Dia-  
manten; E-Schneiden statt Elektro-  
erosion;  
Kunststoffverarbeitende Industrie:  
Perforieren von Kunststofffolien, um  
sie luftdurchlässig zu machen

---

+ ) Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 8)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3613.710 ++) Elektrische Hochenergieum- formung	Die elektrische Energie einer Kondensatorbatterie wird benutzt um mechanische (Unterwasser-Funkenexplosion) oder elektromagnetische Kräfte zu erzeugen, die groß genug sind, um Bleche bis zu mehreren Millimetern Stärke zu verformen und in ein Gesenk zu pressen.	Aufschumpfen von vakuumdichten Verbindungen an Brennelementver-schlüssen; Formgebung von Zirkonium-(und Beryllium) Teilen; Die Kondensatorbatterien werden auch zur Erzeugung von Hoch-temperaturplasmen benutzt	Hauptanwendungsgebiete EBM-Waren Ind., Feinmechanik, Ma-schinen- und Gerätebau für Formgebungsarbeiten
3615.100 Wärmebehandlungen zur Verbesserung der Materialeigen- schaften (Ausbildung einheit- licher Korngrößen)	Verbesserte Verfahren zur Ver-wirklichung möglichst feinkör-niger Strukturen ohne Textu-risierung des Materials zur Verhinderung von Ermüdungskor-rosionserscheinungen	Für alle (thermisch oder mecha-nisch) hochbelasteten Teile und solche, die Korrosionsangriffen ausgesetzt sind (z.B. Brennele-ment-Hüllrohre, Reaktordruckbe-hälter)	Rückwirkungen auf Technologie der Kristallisationsvorgänge und der Verbesserung der Fein-struktur der Materialien allge-mein
3616.100 Reinigung des Halbzeugs	Verfahren wie z.B. "Vapor Degreasing", Entfetten und Entfernung von Rückständen, die die Korrosion fördern oder Kühlmittel, Moderator, Druckhaltegas etc. verunreini-gen könnten und zu Ablagerung von aktiven Produkten führen würden, meist mit Trichlor-äthylen. Entsprechend weitere Vorsichtsmaßnahmen (z.B. ver-packen in staubdichte Plastik-folien	Brennelement-Hüllrohre, Rohre Armaturen und dergleichen für Primärkreisläufe	Materialien für die Herstellung höchstempfindlicher Geräte (z.B. Elektronenrechner) (Reinigung und Sauberhalten hat wahrscheinlich noch größere Be-deutung für Raketen und Raumfahr-zeuge)

++) Fall, der im Rahmen der Studie einer eingehenderen Untersuchung unterzogen wurde (s. Anlage 7 - 5)



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3616.308 Schweißplattieren s. 3617.800.			
3616.401 Ionenplattieren	Verfahren, bei dem ein Metall durch Ionenbeschuss plattiert wird; die auftreffenden Ionen des Plattierungsmaterials reinigen das Grundmaterial und zerstören auf diesem haftende Gas- oder Oxydschichten und sorgen für eine sehr innige Verbindung auch solcher Kombinationen, die man früher nicht verbinden konnte	Plattierungen Al auf Stahl, Al auf Uranium	Gold und Kupfer auf Aluminium; Gold und Kupfer auf Molybdän
3616.410 Aufdampfen (vapor deposition) (vapor plating)	Beschichten durch Abscheidung von Stoffen aus der Gasphase; Verfahren, die für die Aufbringung von Graphit auf Teilchen keramischen Kernbrennstoffs entwickelt wurden, wobei die Kontrollmöglichkeit durch gekennzeichnete Atome (Tracer) angewandt wird, um die Schichtdicken zu messen. Beruht auf dem Zerfall von Verbindungen wie $\text{SiCl}_4$ , $\text{ZrCl}_4$ , $\text{CrCl}_2$ , $\text{Ni}(\text{CO})_4$ und dergleichen bei höheren Temperaturen; Abscheidung im Vakuum auf der heißen Werkstückoberfläche	Herstellung von "Coated Particles" (Schalenkörner)	Schutzüberzüge von 1 $\mu$ bis einige mm durch Beschichtung von Metallen, Carbiden, Nitriden, Boriden, Siliciden z.B.: Aufdampfung von Halbleitermaterialien für Transistoren; Beschichtung von Lagern, Gleitringen, Gießformen, Tiegeln etc. aus Graphit zur Verbesserung der Abbrandbeständigkeit in Luft

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3616.415 Umhüllen mit nicht- metallischen Werk- stoffen	Beschichten metallischer oder oxyd- bzw. karbid-keramischer Teilchen (200 - 1000 $\mu$ $\phi$ ) mit pyrolytischem Graphit oder Si- liziumpkarbid im Wirbelbett oder Drehrohrofen	Umhüllung von kleinsten Brenn- stoffteilchen für HT-Reaktoren (z.B. Kugelhaufenreaktor, Jülich)	Herstellung von Coatings für Katalysatoren
3617.110 gasdichtes Schweißen von Aluminium	Besonders für das Aluminium- schweißen entwickeltes Verfahren (Inertgas- und Explosionsschweiß- Verfahren)	Aluminiumreaktorgefäße und andere Behälter für Kernenergieanlagen	Schweißungen an Behältern und Kanälen in Luftfahrt- und Raum- fahrtindustrie, Schweißungen an Sonderanlagen und chemischen Apparaten
3617.201 ++) Elektronenstrahl- schweißen	Die kinetische Energie eines in einem einstufigen Linearbeschleuniger auf ca. 2/3 der Lichtgeschwindigkeit gebrachten Elektronenstrahls wird beim Aufprall auf ein Target (Werkstück) in Wärme umgewandelt. Diese Wärme erhitzt das Material beim E-Schweißen bis zum Schmelzen	Dicht- und Längsschweißungen an Brennstäben; Verschweißung von Plattenelementen; Schweißungen an Sondermaterialien (z.B. Zirkonium, SAP); Schweißungen an Behältern aus Sondermaterialien (z.B. Inox)	Feinmechanik, Optik: Schweißungen von Kleinstbauteilen; Maschinenbau: Schweißungen an fertigbearbeiteten Präzisionsteilen Elektroindustrie: Dichtschweißungen an Mikrorelais; Schweißungen an dickwandigen Konstruktionen (bis zu 100 mm) in einem Arbeitsgang

++) Fall der im Rahmen der Studie einer eingehenderen Untersuchung unterzogen wurde (s. Anlage 7 - 6)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3617.220 Schutzgasschweißen	Z.B. Heliarc-, Argonarc-Verfahren; Weiterentwicklung bekannter Inertgasschweißverfahren, die für die Kerntechnik deshalb besondere Bedeutung haben, weil hier vielfach reaktive Materialien zur Anwendung gelangen, Verunreinigungen durch Oxydbildung aber unbedingt zu vermeiden sind. Besondere Probleme stellt das Schweißen extrem dünnwandiger Rohre.	Hüllrohrverschlüsse mit Heliarc, weil eine Heliumfüllung der Brennstäbe aus Gründen besseren Wärmeübergangs vorgenommen wird; Schweißungen an schalenförmigen Brennstabhüllen; Schweißen von Stahl, Zr-Legierungen und anderen Sonderwerkstoffen	Apparatebau für Wärmetauscherrohre für Anlagen der Kältetechnik. Flugzeug- und Raketenbau für Leichtmetall- und Sonderlegierungen. Elektronik
3617.251 Schweißen ohne Fremdschweißgut	Mit nicht aufbrauchbaren Wolfram- elektroden	Dichtschweißungen von Wärmetauscherrohren in Rohrböden	Wärmetauscher für Tieftemperatur- technik und Chemieanlagen (3)
3617.291 Explosionsschweißen	Für reaktive Metalle, die sonst nur Schutzgasatmosphäre geschweißt werden können	Bei hohen Anforderungen an Gasdichtigkeit bei Aluminiumkonstruktionen im Reaktorbau; Versuchsweise für Brennelementassembling	Aluminiumkonstruktionen in Sonderfällen. Das Verfahren ist u.U. im Zusammenhang mit der elektrischen Hochenergie-Explosionsbearbeitung <sup>++</sup> ) für die Serienfertigung von besonderem Interesse
3617.300 Schweißen im Behälterbau	Schweißen dickwandiger Gefäße (bis zu 250 mm)	Reaktordruckgefäße für wassergekühlte Reaktoren; Reaktorkreislaufkomponenten	Autoklaven; chemische Reaktionsgefäße, Speicher-Druckbehälter

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3617.400 Baustellen- schweißen	Schweißen dicker Bleche (mit und ohne Wärmenachbehandlung) auf der Baustelle	Reaktorsicherheitsbehälter; Reaktordruckgefäße für gasgekühlte und große wassergekühlte Reaktoren	Von Bedeutung für die Montage von großen, dickwandigen Teilen (z.B. im Druckbehälterbau, beim Schweißen von Schiffsstegen)
3617.601 Plasmaschneiden (s. 3613.601)			
3617.800 Auftragsschweißen (Schweißplattieren)	Aufbringung von dichten Schichten höherwertigen Materials auf Kohlenstoff- oder niedriglegierte Stähle mittels Auftragsschweißens statt durch Walzplattierung, wo dieses Verfahren unmöglich ist (z.B. Reaktordruckgefäße) u.a. sind zu nennen: - Ellira-Verfahren - Series-ARC-Verfahren - MIG (Metall-Inert-Gas)-Verfahren	Innenauskleidung von Wärmetauschern, Reaktordruckgefäßen für wassergekühlte Reaktoren zur Vermeidung von Korrosion	Auskleidung großer Behälter für die chemische Industrie (allerdings nur als Behelf)
3617.910 Schweißen mit fernbedienten Geräten	Die Technik des fernbedienten Schweißens mit eigens entwickelten Spezialgeräten oder Koordinaten gesteuerten, mehrfach verwendbaren Geräten ist für die Belange der Kerntechnik stark vorangetrieben worden.	Reparaturen an aktivierten Teilen in heißen Zellen oder an Ort und Stelle im Reaktor (z.B. beim Auswechseln der Druckröhren im KKN-Reaktor); Montage- und Dichtschweißungen an Reaktorkomponenten	Schweißungen an unzugänglichen Stellen in Wärmetauschern, vor allem für Reparaturen in Einzelfällen bereits angewendet; von Bedeutung für Unterwasserschweißungen (evtl. an Schiffen) und außerhalb der Atmosphäre

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

---

3618.210

Strahlungshärtung  
(von Kunststoffen)

Verfahren, bei dem durch Einfluß von Kernstrahlung, Gamma oder Elektronenstrahlung der Gefügebau durch Vernetzung der Makromoleküle so verändert werden soll, daß günstigere mechanische Eigenschaften (Härte) und bessere Temperaturbeständigkeit erreicht werden.

In der Kerntechnik meist unerwünschte Nebenerscheinung, durch die die mechanischen Eigenschaften der Werkstoffe z.T. erheblich verschlechtert werden

Kunststoffe, z.B. PVC, Polyäthylen für Spezialrohre und Folien (wird aber möglicherweise durch Hochdruckvernetzung bei 5000 at verdrängt werden); Die Eigenschaften von Metallen werden im allgemeinen unter Einfluß von energiereichen Strahlen schlechter, das heißt es findet eine Versprödung statt.

### 37 SPEZIELLE VERFAHREN DES BAU- UND BERGBAUWESENS

#### 377 Erschließungsverfahren, Erdbewegungen

3774.010

Schachtbohren

Das Abteufen großer Bohrungen wurde im Zusammenhang mit unterirdischen Atombombenexplosionen bis in große Tiefen (1.500 m) durchgeführt, Durchmesser 1,5 m; auch mit Doppelrohren für Unterwasserbohrungen

Für Versuche mit unterirdischen Atombombenexplosionen für militärische und friedliche Zwecke

Erdgas- und Erdölbohrungen

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
3774.910 Kernexplosionen für Tiefbohrungen	Im Versuchsstadium: Ein Atomsprengkörper (z.B. 20 Kilotonnen TNT) wird in großen Tiefen zur Explosion gebracht (1.000 m und tiefer). Die Energie bricht das umgebende Gestein auf, schmilzt und verdampft es. Es entsteht eine Höhle mit einem Durchmesser von etwa 50 m, die bis in die erdgashaltige Formation reicht. Beim Abkühlen bricht die Decke der Höhle ein, es entsteht eine zylindrische Kammer, in die das Erdgas einströmt und von dort zu Tage gefördert werden kann. Man erwartet erhebliche (ca. siebenfache Steigerungen der Ausbeute	Unterirdische Explosionen für Zwecke der Erprobung atomarer Sprengkörper	Aufschlüsse für Erdgasförderung
3775.500 Unterirdische nukleare Explosionen	Im Rahmen des Unternehmens "Plowshare" gestartete Versuchsreihe der USAEC, die atomare Explosionen für konstruktive Zwecke nutzbar zu machen	Kernwaffentests	Erdbewegungen großen Ausmaßes (z.B. für Kanalbau (4) Druckerzeugung für Erdölförderung (3); für Energiespeicherung in Erwägung gezogen

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<b>38 ARBEITSMETHODEN</b>			
<u>385 Überwachung</u>			
3852.100			
Funktionskontrollen vor Inbetriebnahme (preoperational Tests)	Die ununterbrochene Verfügbarkeit kerntechnischer Anlagen spielt aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eine hervorragende Rolle. Daher werden alle fertiggestellten Anlagenteile vor Inbetriebnahme eines Reaktors Erprobungen - einzeln und in Verbindung mit anderen Anlageteilen - unterzogen	Alle Anlagenteile (z.B. Kreisläufe, Steuerungselemente etc.) von Kernenergieanlagen	Geeignet für alle Anlagen, bei denen der absolut sicheren Funktion besondere Bedeutung zukommt, elektronische Anlagen; Versorgungsstationen für entlegene Stützpunkte; Luftseilbahnen, Flugzeuge, Raketen und Raumschiffe
<u>386 Arbeiten unter besonderen Bedingungen</u>			
3861.090			
Ultrahochvakuumtechnik	Graduelle Verschiebungen der Grenzen, die aber so weit gingen, daß heute Vakua erreicht werden, die früher für unrealisierbar gehalten wurden ( $<10^{-8}$ Torr). Bereich der herkömmlichen Technik, der wahrscheinlich von der Kerntechnik die meisten Anregungen empfangen hat, da viele ähnliche Probleme vorhanden sind: z.B. Schmiermittel zeigen ähnliche Veränderungen durch Zerfall im Hochvakuum wie unter Bestrahlung; Anforderungen an extreme Dichtigkeit von Armaturen, Leitungen und Gefäßen	Beschleuniger; Versuchsanlagen für die Kernfusion	Angewendet und noch weiter vorge-trieben (bis zu $10^{-10}$ Torr) für Versuchsanlagen in der Raumfahrt-technik (Weltraumdruck = $10^{-16}$ Torr). Herstellung von physikalisch reinen Oberflächen (5) und von Reinstmetallen (4)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<p>3862.100 Handhabung von Gegenständen an unzugänglichen Stellen (remote handling) (s. auch "Manipula- toren")</p>	<p>Die Notwendigkeit, auch stark radioaktive Teile zu handhaben und zu bearbeiten bedingte die Entwicklung einer ganz neuen Technik; die Handhabung solcher Teile geschieht hinter Abschir- mungen die die häufig sehr star- ke Gamma-Aktivität auf das zu- lässige Maß abschwächen. Es werden hierzu Manipulatoren verwendet, die entweder bei op- tischer Sicht durch ein Fenster aus dickem Glas (Bleiglas oder Quarz) oder mit Hilfe einer Fern- sehanlage gesteuert werden. Neuerdings setzen sich auch pro- grammgesteuerte Anlagen durch.</p>	<p>Heiße Zellen; Reparaturen an ausbaubaren Anlageteilen; Un- tersuchungen in Kernphysik und -chemie</p>	<p>Unterwasserarbeiten; Arbeiten außerhalb der Atmosphäre und außerhalb des menschlichen Wirkungsbereich; Denkbar z.B. für ferngesteuerte unbemannte Raum- schiffe</p>
<p>3863.002 Räume mit lamina- rer Luftströmung (laminar air flow clean room)</p>	<p>Prozeß, bei dem ein laminarer Strom gefilterter Luft von der Decke zum Boden oder von Wand zu Wand fließt und Verunreini- gungen oder toxische bzw. konta- minierte Mikropartikel und Aero- sole mit fortschwemmt; Reinheitsgrad: &lt;math&gt;10^4&lt;/math&gt; Partikel (<math>&gt; 0,3 \mu</math>)/m<sup>3</sup> Luft (gegenüber ca. 10<sup>7</sup> Partikel in einem Raum mit üblichen Filtrier- einrichtungen)</p>	<p>Montage von Einheiten für Kernwaffen</p>	<p>Behandlung von Allergien und hochgradigen Verbrennungen; für Operationssäle in Krankenhäusern (6); Sektionsräume der Pathologie zur Minderung der Infektionsgefahr durch Bakterien; Räume für den Umgang mit Impfstof- fen und die keimfreie Aufzucht von Versuchstieren (4)</p>



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
386 <sup>4</sup> .110 Heliumtechnologie	Helium ist ein neuerdings vielseitiges angewendetes Gas; auf Grund seiner guten Wärmeübertragungseigenschaften, seines absolut vernachlässigbaren Absorptionsquerschnitts, seiner geringen induzierbaren Aktivität hervorragender Reaktorbetriebsstoff. Nachteile: ins Gewicht fallende Kosten bei größeren Leckverlusten, was zu besonderen konstruktiven Maßnahmen Anlaß gibt.	Lösung von Dichtungsproblemen bei der Anwendung des Heliums als Medium zur Druckregulierung, Kühlmittel und Schutzgas in Kernenergieanlagen, Kühlmittel für kernphysikalische Experimente	Anwendung des Heliumgases für Dichtigkeitsprüfungen (vgl. Heliumlecktest); für Schutzgasschweißungen (ausnahmsweise); als Wärmeübertragungsmedium für Gasturbinen mit geschlossenem Kreislauf und für Anlagen der Kältetechnik; Rückwirkung auf Lösung von schwierigen Dichtproblemen in der Technik allgemein
3865.110 ++) Flüssigmetall- technologie (vgl. auch Natrium und andere niedrig schmelzende Metalle)	Umgang mit flüssigen Metallen (z.B. Natrium, Kalium, Wismut) als Wärmeübertragungsmittel nebst der daraus resultierenden Notwendigkeit, neue Konstruktionen und Werkstoffe zu schaffen; Methoden zur Messung von Druck, Druckdifferenzen, Durchfluß, Temperatur u.a. mußten entwickelt werden	Kühlung von Höchstflußreaktoren, insbesondere von schnellen Brüttern; auch bei thermischen Reaktoren spielt die Natrium-Kühlung eine Rolle (KNK, Atom U-Boot Sea-wolf); Natriumthermie für die Reduktion von Metalloxyden; Lösung von U 233 in B1 als Energiequelle und Wärmetransportmittel für homogene Reaktoren vorgeschlagen	Kühlung in Kleinkreisläufen in Verbindung mit Peltier-Elementen, Kühlung von hochbelasteten Ventilen von Verbrennungsmotoren; Wärmetransport in Chemie- und anderen verfahrenstechnischen Anlagen; Wärmetransport zur Zwischenüberhitzung von Turbinendampf; Hochspannungsübertragung mittels natriumgefüllter Polyäthylen-Kabel (4)

++) Fall, der im Rahmen der Studie einer eingehenderen Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 7 - 7)

4        E I N R I C H T U N G E N

(Anlagen, Geräte, Maschinen, Apparate, Bau- und Maschinenelemente)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<u>41 REGEL- UND STEUERGERÄTE</u>			
<u>415 Apparate zur Regelung und Steuerung elektrischer Größen</u>			
4151.001 Kurzschluß- sicherung	Elektrischer "Bypass" (in Form einer Funkenstrecke) mit der Auf- gabe, im Falle einer Überlastung teure elektronische Anlagen (z.B. Röhren) vor Zerstörung zu schützen	Für die Sicherung elektronischer Komponenten zur Steuerung der Mag- netfelder von Beschleunigern	Sicherung für Fernsehsenderöhren u.a.
<u>416 Apparate und Vorrichtungen zur Regelung und Steuerung von Strahlung</u>			
4166.001 Regelstäbe Steuerstäbe	In den Reaktor schiebbare Stäbe aus neutronenabsorbierenden Ma- terialien, (u.a. Bor- oder Kad- miumlegierungen, z.B. 80 Ag, 5 Cd, 15 In)	Zur Regelung der Reaktivität des Reaktors	Anwendungen sind nicht zu erwar- ten (aber zahlreiche Rückwirkun- gen auf Werkstoffentwicklungen)
<u>42 MESSGERÄTE</u>			
<u>421 Allgemeines Zubehör</u>			
4212.201 Photomultiplika- toren	Geräte, die mittels Photozellen die Lichtblitze in Szintillisa- tionskristallen registrieren und elektrisch verstärken	Zusatzgeräte für Szintillations- kammern	Auffänger in der Lichtmeßtechnik und Massenspektrometrie
4212.301 Gleichstromverstärker	Hochempfindlicher Verstärker mit hochohmigem Eingang; driftarm	Hilfsgerät für die Neutronenfluß- messung	Verstärker für pH-Messung (5); von Bedeutung bei Meßfehlern mit hohem Quellwiderstand

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4214.111 Digitalzähler	Geräte zum Zählen v. elektr. Impulsen; mit Auflösungsvermögen für Impulse im Abstand von $10^{-9}$ sec	Für die Erfassung der Impulse aus Zählrohren und Szintillatoren	Erfassen von Daten für Prozeßsteuerungen, evtl. für Auszählungen statistischen Materials etc.
4214.201 <sup>+) )</sup> Vielkanal- Impulshöhen- Analysator	Gerät, das geeignet ist, Impulse unterschiedlicher Amplitudenhöhe nach Größenklassen zu sortieren, zu speichern und mit Hilfe eines Analog-Digital-Wandlers und Rechners auszuwerten	Aufnahme (und Darstellung) von Impuls-Amplituden-Spektren zur Bestimmung der Energieverteilung von Strahlungen	Auswertung von elektrischen Impuls-Spektren aller Art, z.B. von statistischen Untersuchungen mit großen Mengen einfacher Auszählungen
<u>424 Apparate zur Messung von Konzentrationen</u>			
4243.101 Alphatron (Vakuummeter)	Ionisationsmanometer zum Messen des Gasdrucks in Vakuumanlagen: ein radioaktives Präparat ionisiert Gasatome durch Alphateilchen längs einer Entladungsstrecke. Die Stromstärke ist proportional der Gasdichte. Geeignet besonders für Messungen oberhalb $10^{-3}$ Torr.	Beschleunigungsanlagen; Anlagen für experimentelle Plasmaphysik	Hochvakuumtechnik, u.a. Höhensimulatoren, Anlagen zur Molekulardestillation und andere Vakuumprozesse
4243.301 Massenspektrometer (-spektrograph)	Analysengerät, das auf der unterschiedlichen Ablenkung verschiedenen schwerer Ionen im Magnetfeld beruht; die Kernphysik hat bewirkt, daß diese Geräte heute ein Auflösungsvermögen von $\Delta m/m$ bis zu $10^{-9}$ haben	Zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der Isotopen eines chemischen Elements	Lecktestgeräte; Analytik: quantitativer und qualitativer Nachweis von Stoffen aus den Isotopen bzw. Isotopengemischer

<sup>+) )</sup> Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 10)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4246.101 Gerät zur Metall- bestimmung (Metal Identification Meter)	Gerät, das in der zu untersu- chenden Metallprobe elektrische Ströme induziert und über Unter- schiede in der elektrischen Leitfähigkeit und Permeabilität Metalle identifiziert bzw. ihre Legierungsbestandteile angibt	Ursprünglich, um Inconel von an- deren Metallen zu unterscheiden, später auch, um Aluminiumle- gierungen voneinander zu unter- scheiden	Zum Unterscheiden der Aluminium- legierungen und Edelstähle unter- einander; allgemein zur Schnellbestimmung von Metallen
<u>426 Strahlungsmeßgeräte</u>			
4264.100 Strahlungs- detektoren für ionisierende Strahlung	Geräte zur Erfassung, Analyse und Energiebestimmung von ionisierender Strahlung; über (n; $\alpha$ )- oder (n; $\gamma$ )-Reaktionen auch für nicht geladene Teilchen. Als wichtigste Detektoren sind zu nennen: - Proportionalzähler - Ionisationskammern - Stromkammern - Impuls-kammern - Zählrohre (Geiger-Müller-Zähler) - Szintillationskammern - Szintillationsspektrometer	Kontrolle und Überwachung kern- technischer Anlagen in erster Linie Kernreaktoren und deren Umgebung sowie radioaktive Iso- topenquellen und Beschleuniger; Monitoren für Personenschutz; Abluft- und Abwasserüberwachung bei Kernenergieanlagen und Labors; Beobachtungsgeräte für experimen- telle Kernphysik; Uranerzprospekting	Anwendungen nur bedingt gegeben: Analyse und Beobachtung der kos- mischen Strahlung; Radioaktivitätsüberwachung in der Photoindustrie; Röntgenstrukturanalyse; (Isotopenmesstechnik <sup>1)</sup> )

<sup>1)</sup> im Rahmen der Studie nicht untersucht

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4264.800 Strahlendosimeter	<p>Meßgeräte zur Bestimmung der integrierten Strahlungsenergie, der ein Stoff ausgesetzt ist. Man unterscheidet:</p> <p>Festkörper-Dosimeter (z.B. photographische Filme), chemische Dosimeter (Ausnutzung von strahlenchemischen Reaktionen z.B. Redoxreaktionen) und Ionisations-Dosimeter (Bildung von Ionen in Gasen zur Dosisbestimmung)</p>	<p>Messung von Strahlendosen ionisierender Strahlung für technische Zwecke und zur Strahlenüberwachung von Personen und Lebewesen</p>	<p>In der Röntgentechnik für Personenschutz; (vielleicht für die Raumfahrt) weitere Anwendungsbereiche sind nicht zu erkennen</p>
4265.100 Neutronendetektoren	<p>Meßgeräte für den quantitativen Nachweis von Neutronenstrahlungen; N. beruhen auf der Umwandlung von Neutronenstrahlung in ionisierende Strahlung. Als Strahlenwandler dienen Isotope mit grossem Wirkungsquerschnitt für Kernreaktionen (für den Nachweis thermischer N.) bzw. Stoffe mit leichten Kernen, die durch einen Stoß mit einem Neutron ionisiert werden. In der Praxis werden mit geeigneten Stoffen (B bzw. H<sub>2</sub>) ausgekleidete bzw. gefüllte Zählrohre, Ionisationskammern und Szintillationszähler sowie Aktivierung-Detektoren verwendet.</p>	<p>Hauptanwendung: Neutronenflußmessung im Reaktor für Reaktivitäts- und Leistungsbestimmung; in der experimentellen Kernphysik zum Studium von Kernumwandlungen und dergleichen</p>	<p>Anwendungen wurden nicht bekannt (1) (vgl. aber Resonanzdetektor)</p>

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4265.201 Resonanzdetektor	Gerät, das auf der Erzeugung von Kernresonanzschwingungen beruht und über abgegebene Gammastrahlung zur Neutronendetektion verwendet wird. Geeignet für die n-Detektion sind solche Stoffe, die durch Resonanzeinfang von Neutronen aktiviert werden und ausgeprägte Resonanzen zeigen (Indium, Gold)	Selektive Detektion von Neutronen bestimmter Energien (z.B. 1,44 eV mit Indium; 4,9 eV mit Gold)	Bedeutung für die Entwicklung der magnetischen Kernresonanzspektroskopie
<b>43 BEOBACHTUNGS-, PRÜF- UND KONTROLLGERÄTE</b>			
<u>431 Allgemeine Beobachtungsgeräte, Zubehör</u>			
4313.200 Teleskope	Geräte, die z.T. auf kleinstem Raum unterzubringen sind und neben einer Beleuchtungsvorrichtung eine optische Einrichtung haben, die über Spiegel und Linsen eine Abbildung des beobachteten Objektes in einem entfernten Raum ermöglichen	Zum Beobachten von Manipulationen im Strahlenfeld oder an unzugänglichen Stellen (z.B. Schweissungen im Reaktor; Brennelementhandhabung bei Störfällen in der Lademaschine)	Für unzugängliche Systeme z.B. das Innere von Rohrleitungen
4313.500 Endoskope			
4313.502 Fadenperiskop	Eine stecknadelkopfgroße Linse überträgt über einen Sucharm, der aus mehreren tausend dünnsten Fasern aus einem lichtleitenden Material besteht das Bild auf einen Schirm (bzw. Okular), der mehrere Meter entfernt sein kann. Das Instrument hat die Schmiegsamkeit von Nylonfäden	Spezielle Untersuchungen, besonders auf dem Gebiet der Nuklearwaffentechnik	Geeignet und dünn genug, um beispielsweise über die Harnwege in die Niere eingeführt zu werden. Es dient sowohl zur Beleuchtung der zu untersuchenden Organe, als auch für die Übertragung mikroskopischer Bilder

- 237 -

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4313.601 Fernsehkameras	Spezialfernsehkameras für deren Objektiv besondere Glasentwicklungen erforderlich waren wegen der Strahleneinwirkungen, die normale optische Gläser in kurzer Zeit blind machen	Zum Beobachten von Manipulationen im Strahlenfeld oder an unzugänglichen Stellen (z.B. Schweißungen im Reaktor; Brennelementhandhabung bei Störfällen in der Lademaschine)	Für unzugängliche Systeme, z.B. das Innere von Rohrleitungen
<u>432 Geräte zum Beobachten mechanischer Vorgänge und Größen</u>			
4326.210 Protonen-Mikroskop - 238 -	Gerät, bei dem Protonen dazu verwendet werden, ein Streubild der atomaren Struktur des Kristallgitters eines zu untersuchenden Stoffes aufzuzeichnen; erlaubt sehr dünne Schichten von weniger als 100 Atomlagen übereinander noch genau zu analysieren	Für die Untersuchung von Reaktormaterialien	Allgemein für Untersuchungen in der Festkörperphysik, z.B. Kristallstrukturanalysen, genaue Ortung einzelner Fremdatome
<u>436 Apparate zur Beobachtung und qualitativen Analyse von Strahlung</u>			
4365.102 Blasenkammer	Vorrichtung zum Nachweis und zur Sichtbarmachung der Ionisationsspuren energiereicher Teilchen, die in einer überhitzten Flüssigkeit längs ihres Weges winzige Dampfbläschen verursachen. Als Flüssigkeit wird Äther oder flüssiger Wasserstoff (mehrere m <sup>3</sup> ) verwendet. Letzterer bietet den Vorteil, daß in ihm die Teilchen mit Protonen reagieren, was schärfere Abbildungen gewährleistet	Nachweis ionisierender energiereicher Teilchen	Beobachtung der kosmischen Strahlung; wissenschaftlicher Erkenntniswert für Physik und Chemie; Rückwirkungen auf Tieftemperaturtechnologie



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
44 APPARATE FÜR ENERGIEERZEUGUNG, -UMWANDLUNG, -SPEICHERUNG UND -TRANSPORT			
441 Wärmeerzeuger und -umwandler			
4413.100 Wärmetauscher	Sehr hohe Anforderungen hinsichtlich Dichtigkeit und Sauberkeit des Rohrmaterials; für sehr große Wärmeleistungen	Kühlkreisläufe von Kernenergieanlagen mit verschiedenen Kühlmitteln beaufschlagt	Dichtigkeitsqualitäten und Sauberkeit in der Fertigung wurden z.T. in der Kältetechnik und für chemische Anlagen übernommen
4413.200 Rohrbündeldampf- erzeuger	Für die Kernenergie-technik entwickelte Wärmetauscher mit sehr hohen Anforderungen hinsichtlich Dichtigkeit und Sauberkeit des Rohrmaterials; bis zu Wärmeleistungen von 600 MW (in Deutschland erst 150 MW), wobei die strömenden Medien, primärseitig Druckwasser, siedendes Wasser, Gase (CO <sub>2</sub> , Helium) oder Flüssigmetalle (Na, NaK) sind, sekundärseitig Wasser-Wasserdampf	Bei allen Leistungsreaktoren, soweit nicht ausschließlich Primärdampf oder Gas direkt als Arbeitsmedium verwendet wird	Die erfolgreichen Bemühungen, größere Wärmeübergangszahlen bei hohen Wärmebelastungen zu erreichen, haben auch für den Bau von konventionellen Kraftwerksanlagen und für Chemieprozesse Bedeutung
4413.510 Doppelrohrdampf- erzeuger	Mit zwei bzw. drei konzentrischen Rohren; in dem innersten strömt Flüssigmetall mit Temperaturen bis zu 600° C, im äußeren verdampfendes bzw. überkritisches Wasser bzw. umgekehrt: das verdampfende Wasser strömt durch das Innenrohr; vielfach ist zwischen beiden Medien noch ein Doppelrohr mit Zwischen-Medium vorgesehen	Vorschlag für Dampferzeuger natriumgekühlter Reaktoren großer Leistung	Anwendung grundsätzlich für alle Wärmeübertragungsprobleme möglich, wo große Wärmeübergangszahlen erreicht werden können und große Mengen durchzusetzen sind.

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4413.601 Löfflerkessel	Zwangsumlaufkessel, bei dem statt Wasser überhitzter Dampf umgepumpt wird, wobei die Überhitzungswärme an Wasser abgegeben wird und dadurch neuer Dampf erzeugt wird. Ältere Entwicklung, die neuerdings wieder Bedeutung zu erlangen scheint	Für dampfegekühlte schnelle Reaktoren in Erwägung gezogen	Der Löfflerkessel wurde entwickelt, um die Schwierigkeiten der Speisewasseraufbereitung für Hochdruckkessel zu umgehen (0); Bedeutung für Wärmeübertragungsprobleme in der chemischen Industrie
4416.001 Kolbenexpansions- maschinen 4416.101	Mit Kolbenspielen von 1 - 2 $\mu$ ohne jede Schmierung (Wasserstoffverflüssigungsaggregate s. 4546.101)	In der experimentellen Kernphysik (Nebelkammern)	Kältemaschinen für Tiefsttemperaturbereich
<u>442 Wärmekraftmaschinen</u>			
4423.101 Naßdampfturbinen für Leistungen bis zu 600 MWe	Turbinen für große Dampfdurchsätze bei hoher Dampfdrücke mit Durchmessern in den Endstufen bis zu 4-5 m; vollkommen neue Konstruktionen zur Entwässerung aller Turbinenstufen	Turbinen für sattdampferzeugende Reaktoren	Ähnliche neuartige Entwässerungen werden auch für die Endstufen von Heißdampfturbinen angeboten
<u>443 Elektrische und mechanische Kraftmaschinen</u>			
4431.201 Ponymotoren	Elektromotoren für Gebläsemindestleistung; auf Gebläse aufgefänscht und ständig mitlaufend; sie dienen bei Ausfall der Gebläse-Antriebsturbinen der Nachkühlung des abgeschalteten Reaktors	Antriebe für die Nachkühlung gasgekühlter Reaktoren (KKN) und Heißdampfreaktoren	Anwendungen konnten nicht ermittelt werden, sind aber denkbar (2)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<u>444 Elektrische Energieumformer, -erzeuger, -speicher und -transportsysteme</u>			
4443.200 Notstromaggregate	Bei Ausfall des öffentlichen Netzes wird die Notstromversorgung von Reaktoranlagen von dieselektrischen Aggregaten übernommen, die in 5 - 15 sec mit Vollast beaufschlagt werden können und Leistungen bis zu 10 MW erbringen; die Zwischenzeit wird durch die Energie von Schwungrädern überbrückt, die u.U. auch die Motoren über eine Hochreibkupplung anwerfen	Stromerzeugung in erster Linie für die Kühlmittel-Umwälzpumpen zur Nachkühlung des abgeschalteten Reaktors, Leistungen ca. 1500 kVA; bei Leichtwasserreaktoren zum ordnungsgemäßen Abfahren des Reaktors bei Ausfall des Netzes	Krankenhäuser (Konstanz 450 kVA); Post- und Flugplatznotstromversorgung
4443.201 Unterbrechungslose Notstromaggregate	Notstromaggregate mit Pufferbatterien zur Versorgung von Verbrauchern, die nicht außer Betrieb sein dürfen	Für Stromversorgung der Instrumentierung	Raumfahrtbodenstationen, Flugplatzinstrumentierung
4445.411 Nuklearbatterie mit Thermoelementen	Gerät, durch welches die Zerfallswärme aus Radioisotopen in elektrische Energie umgewandelt wird. Bei schwachen Leistungen ( $5 \cdot 10^{-15}$ A, einige 10 V) für Dauerstromerzeugung über sehr lange Zeiträume (einige Jahre) geeignet	Beziehung zur Kerntechnik unmittelbar nur über den Brennstoff	In speziellen Anwendungen als Stromnormal; für Stromversorgung von Meß-Sendern an entlegenen oder unzugänglichen Stellen

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<u>445 Apparate für die Erzeugung von Strahlungsenergie</u>			
4451.001 Pulsatron (Neutronengenerator)	Laborgerät; Miniaturbeschleuniger zur Erzeugung von Neutronen über eine (D + T = n + He)-Reaktion; Energie der Neutronen 14,3 MeV, des Heliums 3 MeV	Experimentelle Kernphysik: Neutronennachweis; Fusionsreaktionen; Bremsreaktionen; Resonanzeinfang; Halbwertszeitbestimmungen	Kernresonanz-Spektrographie; Aktivierungsanalyse
4451.100 Beschleuniger geradliniger Teilchenbahn	Apparate, die zum Beschleunigen geladener Teilchen auf hohe Energien dienen, wobei die Teilchenbahn einen geradlinigen Verlauf hat. Man kann folgende Bauformen unterscheiden: Kaskadengeneratoren, Bandgeneratoren, Impulstransformatoren, Linearbeschleuniger	In der experimentellen Physik für Kernumwandlungen	In Medizin, Biologie, Nahrungsmittelindustrie, Chemie, Metallurgie und Festkörperphysik für Bestrahlungen
4451.101 (Drucktank)-- Kaskadenbeschleuniger	Teilchenbeschleuniger zur stoßartigen Beschleunigung geladener Elementarteilchen; Erzeugung einer hohen Gleichspannung (bis 3 MV) durch ein System von Kondensatoren und zwischengeschalteten, als "Einweg-Ventile" wirkenden Vakuumröhren, wodurch eine Vervielfachung des Spitzenwertes der Ausgangs-Beschleunigungsspannung erreicht wird. Strahlleistungen bis ca. 30 kW (≅ 30 · 70 000 Curie)	Mit einem einfacheren Gerät nach dem gleichen Prinzip wurde bereits 1932 die erste Kernumwandlung erzielt	Geeignet für die Beschleunigung von Elektronen auf hohe Energien z.B. zur Polymerisation, Misch- und Pfropfpolymerisation, Quervernetzung von Kunststoffen und Vergütung von Kunstfasern sowie Kautschukaltvulkanisation

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4451.600 Kreisbeschleuniger	Apparate zum Beschleunigen geladener Teilchen (Elektronen, Ionen und andere positiv geladene Teilchen) mit geschlossener bzw. spiralförmiger Teilchenbahn u.a.: Betatron, Zyklotron, Synchrotron, Phasatron	In der experimentellen Physik für Kernumwandlungen	Materialprüfung; medizinische Therapie  Rückwirkungen auf Elektrotechnik über den Bau der Magnete zur Fokussierung der Teilchen; Elektronik über Synchronisation der Beschleunigung und Teilchenablauf; auf Vakuumtechnik; Bau- und Vermessungswesen über die Anforderungen an Gründung und Maßgenauigkeit der Bauanlagen
4453.700 Chemiereaktoren	Kernreaktoren verschiedener Bauarten, meist als kombinierte Anlagen zur Energieerzeugung und Darstellung (chemischer) Produkte, dienen (als Haupt- oder Neben Zweck) der Einleitung und Durchführung chemischer (und Kern-) Reaktionen, bewirken deren Lenkung auf bestimmte Produkte und Isomere und liefern die Reaktionswärme. Grundsätzliche Möglichkeiten: homogene Reaktoren, solche mit einem Kreislauf eines leicht aktivierbaren Stoffes (Indium, Natrium) oder Reaktoren mit Bestrahlungskanälen	Meist kombiniert mit Wärme- bzw. Stromerzeugung. Gewinnung von radioaktiven Isotopen u.a. (Tc, Ba, Zr, Mo) aus dem Brennstoffabbrand oder durch Einsatz von stabilen Isotopen von Stoffen, von denen man künstliche radioaktive Isotope haben möchte (P 32, S 35, Cl 36, Fe 55, Co 60, J 131 etc.)	In der Polymerchemie für Lösungs- und Emulsionspolymerisation von Styrol-Vinylchlorid, Methylmethacrylat; Veredelung von Nahrungsmitteln und Kunststoffen; Materialprüfung und -untersuchung; Sterilisation von Konserven, hitzeempfindlichen Arzneimitteln (6); Gewinnung von Ruthenium, Rhodium, Xenon (3)

1  
2  
3  
4

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
<b>45 FÖRDER- UND AUFBEREITUNGSANLAGEN, REAKTIONSAPPARATE</b>			
<b><u>451 Fördergeräte, Pumpen</u></b>			
4511.110 Reaktorkran	Hängekran mit Elektrozugkatze oder Rundlaufkran mit Windwerkskatze in der Reaktorkuppel, der die gesamte Fläche unter der Kuppel des Reaktorsicherheitsbehälters bestreicht. Höchste Anforderungen an Präzision und Betriebssicherheit	Allgemeiner Montagekran für Reaktorkomponenten; mit Spezialgreifvorrichtung für Transport der Brennelemente; Abtransport verbrauchter Brennelemente; Ausbau von Anlageteilen	Unmittelbare Anwendungen sind nicht zu erkennen
- 244 - 4511.120 Brennelementkrane	Sonderausführungen von Hängekränen mit spezieller Stapelkatze	Transport und Lagerung von Brennelementen	Rückwirkungen auf Bau von Transportkränen für Lager
4511.130 Heißzellenkrane	Laufkrane mit Windwerkskatze oder Elektrozugkatze auf paralleler Laufkranbahn mit besonderer Präzision in den Hubbewegungen und weitgehend wartungsfrei	Krananlagen für Arbeiten an schweren Teilen in "heißen Zellen"	Präzisionskrane für Montagezwecke unter ungewöhnlichen Bedingungen (korrosive Atmosphäre)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4515.102 +) Spaltrohrpumpen	Pumpen, bei denen der Rotor im Fördermedium läuft; die Abdichtung nach außen erfolgt durch ein nicht magnetisches Rohr zwischen Rotor und Stator; für Leistungen bis zu 600 (- 1000) kW	Umwälzpumpen für flüssige Reaktorkühlmittel und Moderatorstoffe (H <sub>2</sub> O, D <sub>2</sub> O u.a.) vorallem für PWR und BWR Leistungsreaktoren	Förderung ungewöhnlich wertvoller Medien oder solcher, die nicht von Schmiermitteln verunreinigt werden dürfen; allgemein dort, wo hohe Anforderungen an Dichtigkeit gestellt werden z.B. für Sonderfälle in der chemischen Industrie, herkömmliche Kraftwerksanlagen, La-Mont-Kessel, Unterwasserpumpen
4515.103 Pumpen mit Wellen- abdichtung 245 -	Für die Förderung großer Kühlmittelmengen, für Leistungen bis zu 5 (-6) MW; mit neuartigen Wellenabdichtungen für hohen Druck, hohe Temperatur und hohe Umfangsgeschwindigkeit	Primärumwälzpumpen für Förderung von flüssigen Reaktorkühlmitteln (z.B. Schwerwasser, (Druck-)Wasser	Umwälzpumpen für große Kessel; für extrem hohe Betriebsanforderungen
4515.104 Schmierungsfreie Pumpen	Mit Lagern, die durch das Fördermedium durchströmt und geschmiert werden; wird bei Spaltrohrpumpen u.a. angewandt	Pumpen für Flüssigmetall und Dampfkreisläufe u.a.	Chemiepumpen und Tauchpumpen, die in der Flüssigkeit liegen und bei denen die konventionellen Wälzlager oder auch ölgeschmierten Gleitlager aus Gründen der schwierigen Abdichtung nicht verwendet werden können

+ ) Fall, der im Rahmen der Untersuchung einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 11)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4515.301 Membrankompressoren	Mit Membran an Stelle von Kolben; keine Dichtungsprobleme bei Er- zeugung hoher Drücke	Zum Fördern radioaktiver Gase	Anwendung dort, wo eine einfache Maschine die absolute Dichtigkeit ohne Stopfbuchsenprobleme gewährt, verlangt wird z.B. Farbspritzpisto- len (7)
4515.311 Kolbenkompressoren	Mit schmierungsfreien Kolben zur Erzeugung hoher Gasdrücke	Plasmaverdichtung	Rückwirkungen auf die Entwicklung von Hochdruckkompressoren
4515.501 Gebläse mit Sonderdichtungen	Für größte Leistungen (6 MW), für hohe Temperaturen und Betriebs- drücke (60 atü); hohe Dichtigkeit gegen Eindringen von Schmiermit- teln in den Kreislauf des Förder- mediums, vollgekapselt gegen Aus- treten von Spaltprodukten und von Verunreinigungen des Fördermediums in Lager und Antriebe	Gasgekühlte (Helium- und CO <sub>2</sub> -) Reaktoren	Metallurgie z.B. für Hochofena- lagen (3); chemische Industrie
4515.511 <sup>+) )</sup> Gasgelagerte Gebläse	Gebläse, bei denen der Rotor ohne Fremdschmierung auf einem sich selbstaufbauenden Gaspolster läuft	Uranhexafluoridfördergebläse, Kühlmittel-Umwälzgebläse für gas- gekühlte HTGR-Kernenergieanla- gen. Um- und Abluftförderung für heiße Zellen	Chemische, pharmazeutische und Lebensmittelindustrie (3)

<sup>+) )</sup> Fall, der im Rahmen der Untersuchung einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 12)



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4518.101 Brennelementtransport- vorrichtungen "Flaschen"	Gegen Strahlung mit schweren Sub- stanzen (z.B. Blei, Gesamtgewicht 10 - 100 t) abgeschirmte Behälter, die einen sicheren Transport von radioaktiven Großquellen über Land und auf dem Seeweg gewährlei- sten	Abtransport von ausgebrannten Brennelementen und hochaktiven Bauteilen aus Kernenergieanlagen mit konventionellen Transport- mitteln (Eisenbahn, LKW)	Keine direkte Anwendung bzw. Beeinflussung zu erwarten (1)
4518.102 Behälter mit Ab- standshalter	Bestehend aus einem Innenbehälter in käfigartigem Außenbehälter	Transport spaltbarer Stoffe zur Verhinderung von Ansammlung kri- tischer Mengen	Anwendung für die herkömmliche Technik erscheint wenig wahr- scheinlich (1)
<u>452 Apparate zum Speichern und Verteilen</u>			
4523.110 Abklingbecken	Becken mit kontrollierten Undich- tigkeiten, in dem bestrahlte Brenn- elemente gelagert werden können; zur Abführung der Nachzerfallswär- me und als Schutz der Umgebung ge- gen Strahlung sind die Abklingbecken mit Wasser ( seltener anderen Kühlmedien ) gefüllt	Als Brennelement-Zwischenlager bei jedem Leistungsreaktor und Materialtestreaktor	Keine direkte Anwendung, aber ähnliche Becken mit höchsten Anforderungen an Dichtigkeit auch für Industrielaboratorien
4523.210 Abklingbehälter	Gefäße aus Edelstahl oder mit strahlenbeständigen Kunststoff- auskleidungen zum Schutz gegen Korrosion	Für die Zwischenlagerung radio- aktiver Flüssigkeiten	Behälter für Industrielaboratorien und für die Lagerung aggressiver Stoffe (z.B. Halogenverbindungen)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

453 Apparate zum Vereinigen und Mischen von Stoffen

4536.201

Rekombinations-  
anlagen

Anlagen zur katalytischen Re-  
kombination des durch Radiolyse  
gespaltenen  $D_2O$ ,  $H_2O$  und  $CO_2$

Quantitative Wiedergewinnung  
des  $D_2O$  aus dem Schutzgas im  
Schwerwasserreaktor; gegen Knall-  
gasbildung im Leichtwasser- und  
homogenen Reaktor und CO-Gas-Bil-  
dung im  $CO_2$  gasgekühlten Reaktor

Dort, wo mit wertvollen Gasen  
gearbeitet wird; Nachbrenner  
für Autoabgase (3) und derglei-  
chen

454 Apparate zum Trennen von Stoffen

4543.200

Verdampfer  
(Wasseraufbereitungs-  
anlage)

Volumenreduktion von spaltpro-  
dukthaltigen Flüssigkeiten durch  
Verdampfung und Niederschlag in  
Brüdenkondensatoren (Eindicken)

Für die Aufbereitung wäßriger,  
aktiver Lösungen aus Reaktorbe-  
triebsgebäuden; Destillation der  
Fluoride bei der nicht wäßrigen  
Aufbereitung von Uran

Denkbar für Kondensmilch- und  
Pulverkaffeeherstellung (3)

4543.300

Ionenaustauscher

Austauschen der (radioaktiven)  
Ionen in Harzen (Amberlite, Do-  
wex), die eigens für diesen Zweck  
entwickelt wurden und gegen Nach-  
zerfallswärme und Strahlung be-  
ständig sind;  
neu sind anorganische Substanzen,  
da sie strahlenbeständig und bil-  
liger (aber weniger leistungsfähig)  
sind (Zeolithe u.a.)

Aufbereitung wäßriger Abfälle mit  
aktiven Verunreinigungen in star-  
ker Verdünnung

Auswirkungen auf herkömmliche  
Industrie durch Verbesserung  
von Wasseraufbereitungsanlagen  
für Industrielaboratorien;

Meerwasserentsalzung für be-  
stimmte Zwecke (5)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4543.401 Extraktionsapparate (Mixer Settler)	Für die Solventextraktion verwendete Geräte; Ergänzung und Verbesserung der herkömmlichen Extraktionsapparate, bei denen die Vorgänge des Mischens (Dispersion) der Lösung und des Extraktionsmittels und des Trennens nicht mehr in verschiedenen Behältern, sondern in einem Gefäß unter Verwendung bestimmter Reaktionsgefäß-Formen und Wahl und Anordnung spezieller Pumpen und Rührer erfolgt	Solventextraktion in der Kernchemie	Solventextraktion für die separate Gewinnung von einzelnen Metallsalzen und anderen Stoffen aus verdünnten Lösungen
4543.402 Extraktionszentrifugen	Apparate zur technischen Durchführung der Extraktion	Feinreinigung von Uran bzw. Uranverbindungen	Flüssig-flüssig-Extraktion z.B. von Materialien für Halbleitertechnik
4543.403 - 8 Pulsierende Kolonnen	Integrierte Anlage für die Durchführung der flüssig-flüssig-(Solvent)-Extraktion mit mehrfacher Wiederholung des Extraktionsprozesses	Großtechnische Durchführung der Solventextraktion in der Uran-Thorium- und Plutonium-Gewinnung bzw. Wiederaufbereitung	Solventextraktion im technischen Maßstab

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4545.401 +) Schwebstofffilter	Aerosol-(Absolut-, Ultra-)Filter als Nachschaltfilter für die Abscheidung von Teilchen von 1 $\mu$ bis herab zu 0,02 $\mu$ mit einer Wirksamkeit von mehr als 85 %; bzw. für Schwebstofffilter Sonderstufe "S" 99,7 % und Abscheidegrade von 99,97 % ( $10^4$ ) für Teilchengrößen von 1 - 5 $\mu$ ; Filtermaterialien aus Glasfiber-, Quarz-, Keramik-, Asbest-, Kunststoff-, Zellulosefasern, die möglichst löslich, jedoch nicht brennbar sein sollen	Zu- und Umluft von Reaktoranlagen, heißen Zellen, Brennstoff-Herstellungs- und Aufbereitungsanlagen, überhaupt überall dort, wo radioaktive Aerosole vorhanden sein können. Außerdem in der BeO-Technologie	Filter für die Luftreinigung für staub- und keimfrei zu haltende Räume in der chemischen, Textil-, elektronischen, feinmechanischen und Lebensmittelindustrie, Montageräume für elektronische Einheiten, in Telefonzentralen und Datenverarbeitungsanlagen; für Forschung in Biologie und Medizin; Operationssäle etc. zur Erzeugung keimfreier Atmosphären; Filterung von Giftstoffen, z.B. Berylliumoxyd
4549.402 - 3 Luftfiltergehäuse	Gasdichte Ausführung zum Einsatz der Schwebstofffilterzellen; mit Randbord zum gefahrlosen Austausch staubgesättigter Filterzellen; Sonderausführungen für Fernbedienung, wenn zu hohe Aktivität der Zellen bei radioaktiver Staubbelastung zu erwarten ist	Zu- und Abluftreinigung in Reaktoranlagen	Anwendung in Chemie und Biologie bei Gefahr einer Verseuchung der Schwebstofffilter mit toxischen Stoffen oder Bakterien

+ ) Fall, der im Rahmen der Untersuchung einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 13)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4547.000 Isotopentrennanlagen	(s. auch Isotopentrennverfahren)		
4547.101 Tieftemperaturrek- tifikationsanlagen (Linde'scher Zwei- säulenapparat)	Durch fraktionierte Destillation (und Adsorption) von flüssigem Wasserstoff bei Temperaturen von 21 - 25 ° K	Gewinnung von D <sub>2</sub> aus dem natür- lichen Isotopengemisch	Eine direkte Übertragung ist nicht zu erkennen, jedoch weit- reichende fertigungstechnische Rückwirkungen auf die Tieftem- peraturtechnik und Umgang mit flüssigem Wasserstoff in Mengen von mehreren m <sup>3</sup>
4547.201 Trenndüse	Durch Thermodiffusion und Druck- diffusion ergibt sich beim Durch- strömen einer Düse eine räumliche Entmischung der verschieden schweren Komponenten eines Gases	Geeignet, um gasförmige Isoto- pengemische zu separieren	Geeignet, um Gase mit sehr ähnlichen chemischen Eigen- schaften auf Grund ihrer unter- schiedlichen Massen zu trennen
4547.202 Trennwand (Diffusionsanlagen)	Trennung von Isotopengemischen durch Diffusion von Gasen durch poröse Wände (im Falle des UF <sub>6</sub> poröser Nickel, fluorierte Kunst- stoffe); schrittweise Anrei- cherung durch Hintereinanderschalt- tung vieler Stufen (Kaskaden)	Zur Abtrennung von U 235 aus dem natürlichen Isotopengemisch heute hauptsächlich verwendet	Zur Trennung von Gasgemischen schon früher bekannt. Es wurden jedoch im Zusammenhang mit der technischen Verwirklichung zahl- lose Neuentwicklungen betrieben, die heute weiten Kreisen zugute kommen (z.B. die Fluorkohlen- stoff-Kunststoffe).
4547.300 Elektrolyseanlagen	Apparate, die nach dem Restprin- zip arbeiten; das schwere Isotop sammelt sich in der Restlösung an	Gewinnung von D <sub>2</sub> O, Li 7, O 18	Direkte Übertragungen wurden nicht bekannt

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4545.750 Tieftemperatur- adsorber	Nicht regenerierbare Gasreiniger (Silikagel, Zeolithen, Aktivkohle u.a.). Während normalerweise ein beladener Adsorber dadurch regeneriert wird, daß man Spülgas mit relativ höherer Temperatur über den Adsorber ins Freie leitet, ist dieses Vorgehen bei aktiven Teilchen nicht praktikabel; wegen der Zerfallswärme der radioaktiven Teilchen muß außerdem die Wärme durch ein Kühlmedium abgeführt werden	Reinigung von Helium und Argon, das mit gasförmigen aktiven Verunreinigungen beladen ist	Anwendungen konnten nicht festgestellt werden
4546.100 Gas-Verflüssigungs- anlagen	Zur Verflüssigung bestimmter Abgase aus kerntechnischen Anlagen	Adsorptionsanlagen in Abgasanlagen: Zurückhalten von gasförmigen Radioaktivitäten für 20 bis 40 d	Direkte Übertragung von Anwendungen konnten nicht ermittelt werden, sind aber durchaus möglich (2)
4546.101 Wasserstoffver- flüssigungs- aggregate	Geräte, die mit Hilfe von kaltem, gasförmigem Helium auf kleinstem Raum im Reaktor Wasserstoff verflüssigen sollen bei gleichzeitig zu erfüllenden Randbedingungen (geometrische Form, Werkstoffe der Wärmeaustauscherfläche); ungewöhnliche Anforderungen an Betriebssicherheit	Kalte Neutronenquellen, Bestrahlungsversuche bei Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt; (Blasenkammern, Schaffung von Supraleitern für die Plasmaphysik)	Kühlaggregate für Supraleitertechnik (Normalerweise wird jedoch die Kühlung mit Helium bevorzugt, da es weniger gefährlich als Wasserstoff ist.)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4545.411 Tiefbettfilter	Filter aus Schüttungen mehrerer Schichten verschiedener Sande und Kiese; Abscheidegrad bis zu 99,9 %; geeignet für hohe Temperaturen; große Standzeiten; meist in der Verbindung mit nachgeschalteten Absolut-Filtern; unempfindlich gegen Nachzerfallswärme	Teilstromfilterung von Kühlgas graphitmoderierter Reaktoren	Abzüge für Gießereien (6); für Atombunker vorgeschlagen (3)
4545.701 Aktivkohlefilter	Neuere Entwicklungen, die es ermöglichen sollen (radioaktive) gasförmige Produkte selektiv wenigstens so lange festzuhalten, bis die Aktivität teilweise abgeklungen ist, bevor sie in die freie Atmosphäre austreten	Abluft aus Reaktorbetriebsgebäuden; Umluftreinigung, u.a. zur Abscheidung von radioaktiven Joddämpfen aus Kreisläufen und Abgasanlagen	Zum Entfernen spezifischer Stoffe, z.B. nur einer Komponente aus einem Gasgemisch; Ultrareinigung von Flüssigkeiten von grenzflächenaktiven Stoffen (4)
4545.702 - 3 Patronen für Aktivkohlefilter	Zum schnellen und einfachen Auswechseln der Aktivkohle in Aktivkohlefilteranlagen	Zur Abscheidung von Joddämpfen aus Abgasen von kerntechnischen Anlagen mit vorgeschaltetem Absolutfilter	Zum Auswechseln der Aktivkohlefilter in herkömmlichen Filteranlagen

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4547.401 Calutron	Magnetische Trennanlage für Isotope nach dem Prinzip des Massenspektrographen; ursprünglich durch Umbau eines Zyklotrons in der Universität California entwickelt	Anfangs (1941/44) für die Abtrennung von U 235 verwendet. Die Ausbeute ist aber sehr gering ( $10^{-6}$ g U 235/h)	Reindarstellung von Aktiniden
4547.501 Ultrazentrifuge	Im Vakuum arbeitende Zentrifugen mit Magnetlagern und magnetischem Antrieb, bei denen Zentrifugal-Kräfte erreicht werden, die das $10^8$ -fache des Gewichts betragen können	Trennung von Isotopengemischen, u.a. U <sub>238</sub> - U <sub>235</sub>	Kolloidforschung; Rückwirkungen für Lagertechnik, insbesondere die Weiterentwicklung von Magnet- und Nadellagern; Virenforschung, z.B. zum Ausschleudern und Sichtbarmachen von Viren
<u>456 Apparate und Behälter für (chemische) Umsetzungen</u>			
4567.101 ++) Stahl Druckbehälter	Hochdruckbehälter in Schmiedeschweißkonstruktion mit Abmessungen, wie sie in der konventionellen Hochdrucktechnik bislang unbekannt waren (Ø bis zu 5 m, Höhe bis zu 17 m)	Reaktor-Druckbehälter für die Durchführung kontrollierter Kernspaltungsreaktionen im technischen Maßstab, z.B. für Siede- und Druckwasserreaktoren	Chemische Reaktionsgefäße für die Durchführung von Synthese- und Crackprozessen im großtechnischen Maßstab (6), z.B. für Ammoniak-, Harnstoff- und Methanolsynthese, Hydrierung von best. Erdöldestillaten; Speicherbehälter für technische Gase und Flüssiggase (5)

++) Fall, der im Rahmen der Studie einer eingehenden Untersuchung unterzogen wurde (siehe Anlage 7 - 8)



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4661.201 Gasmasken (Mundstückgeräte)	Zum Überstreifen in Alarmfällen gegen Einatmen von radioaktiven Aerosolen	Für Atemschutz bei Kontaminierung der Atemluft; entwickelt als Reaktorfluchtgerät	Fluchtgerät für Arbeitsvorgänge, bei denen Atemgifte in die Umluft treten können
4661.202 Vollmasken	Mit Spezialfiltern; Abscheidegrad für Schwebstoffe 99,95 % (und für radioaktive Gase), jedoch nicht Edelgase und CO <sub>2</sub> bzw. CO	Für Arbeiten in Luft mit Kon- zentrationen von Radioaktiviti- täten bis zum Tausendfachen der zulässigen Konzentration	Für Arbeitsvorgänge in toxischer Atmosphäre
4661.250 Atemgeräte (Preßluftatmer)	Tauchgeräten ähnliche Vorrich- tungen, die den Benutzer von der Umgebungsluft unabhängig macht	Für Arbeiten dort, wo die zu- lässige Konzentration noch weiter überschritten wird, wo giftige bzw. radioaktive Gase auftreten	Arbeiten in Atmosphären mit giftigen Gasen oder Sauerstoff- armut
4663.110 Handschuhkasten (Glove Box)	Mit Handöffnungen und Sicht- scheiben versehenes kastenförm- iges Gerät, mit Schwebstoff-Fil- teranlagen zur Be- und Entlüf- tung; die Handhabungen erfolgen mit Gummi-Schutzhandschuhen, die luftdicht mit dem Kasten verbun- den sind. Zum Schutz der Umge- bung gegen Austritt radioaktiver oder toxischer Stoffe wird ein Unterdruck aufrecht erhalten	Gerät für experimentelle Kernchemie und -physik für einfache Handhabungen und (manuelle) Bearbeitungen leicht radioaktiver Stoffe, haupt- sächlich Alpha-Strahler	Als Inkubatoren in der Medizin seit Ende der 30er Jahre für die Behandlung von Frühgeburten ver- wendet (0); für die Zucht von Versuchstieren (4); für die experi- mentelle Chemie und Pharmakologie für die Handhabung toxischer Stoffe und bei hoher Infektionsgefahr; Handhabung von Antibiotika

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4655.310 Greifzangen	Greifwerkzeuge, die mittels Kran oder Lademaschinen betätigt werden	Zum Be- und Entladen der Brennelemente; Auffinden verlagertes Brennelemente bzw. heruntergefallener Teile	Analoge Probleme im "Raum" (2) und sonstigen unzugänglichen Räumen
4655.350 Lademaschinen	Hand- oder programmgesteuerte Maschinen, die eine Vielzahl von Greif- und Fördervorgängen in der Regel ohne Sicht, an Orten durchführen, die wegen starker Strahlung für Personen nicht zugänglich sind	Manipulieren bestrahlter Brennelemente auf dem Weg zwischen Reaktor und Zwischenspeicher	Unmittelbare Anwendungen sind nicht zu erkennen (2); es tauchen jedoch bei der Beschickung von automatischer Werkzeugmaschinen ähnliche Probleme auf
<u>466 Vorrichtungen für den Arbeitsschutz</u>			
4661.101 Arbeitskleidung	Arbeitsanzug aus weißem (oder hellgelbem) engmaschigem, fuselfreiem waschbarem Kunststoffgewebe	Für Begehungen und Reparaturen in Reaktorbetriebsgebäuden	Für Arbeiten in "weißen Räumen" und in leicht toxischer Atmosphäre
4661.102 Schutzanzüge	Anzüge aus beidseitig kunststoffbeschichtetem Gewebe, die vollkommenen Schutz vor Inkorporation und Kontaminierung für den ganzen Körper bieten; Einsatz mit Preßluftatmer oder Fremdbelüftung	Reparaturen in Räumen mit Inkorporationsgefahr radioaktiver Stoffe	Arbeiten in toxischer Atmosphäre

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
465 Werkzeuge, Hilfseinrichtungen			
4655.10( +) Manipulatoren	Geräte zur fernbedienten Handhabung von Gegenständen; Steuerung manuell, manuell mit Servokraftverstärkern und durch elektronische Datenspeicher	Handhabung von (stark) aktivierten Gegenständen für Reparaturzwecke, Montage, Demontage, Untersuchungen etc. in heißen Zellen, unter Wasser und an unzugänglichen Stellen in nuklearen Anlagen	Handhabung gefährlicher Gegenstände, z.B. von Explosionskörpern; Umgang mit toxischen Stoffen; für Unterwassertechnologie; Handhabung und Bedienung aus Entfernung bei Unzugänglichkeit; keimfreies Arbeiten, z.B. in pharmazeutischer Industrie; Vorrichtungen für Handhabungen außerhalb der Erdatmosphäre, z.B. von unbemannten Raumfahrzeugen aus (4) (in Erprobung bei Luna Orbiter 3)
4655.200 Fernbediente Werkzeuge	Mechanische Spezialwerkzeuge verschiedenster Konstruktionen zum Aus- und Einbauen von Reaktorkomponenten	Handhabung von Pumpen, Wärmetauschern, Reinigungskolonnen, vor allem für integrierte Reaktoren, wo starke Oberflächenverseuchungen auftreten	Unterwassertechnik (3); Raumfahrt, z.B. für die Koppelung von einzelnen Raumkapseln zu einem Ganzen (2)
4655.210 Fernbediente, vollautomatische Schweißmaschinen	Zum Teil mit Fernsehkameras ausgerüstete Vorrichtungen zum Verschweißen und Trennen von Rohren und Dichtschweißungen	An unzugänglichen Stellen im Reaktor, z.B. Druckröhren im KKN-Reaktor, Deckel von Reaktor-druckgefäßen	Allgemein für Anlagenteile, die aus irgendeinem Grunde (Temperatur, Platzmangel etc.) nicht zugänglich sind

- 257 -

+ ) Fall, der im Rahmen der Untersuchung einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (siehe Anlage 8 - 15)

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

46 PRODUKTIONSMASCHINEN UND -APPARATE, WERKZEUGE

461 Maschinen und Apparate für die spanlose Formgebung und Ver- und Bearbeitung

4611.201

Elektronenstrahl-  
Schmelzofen

Prozeß im Hochvakuum  
( $10^{-4}$  Torr); ein von einer  
Glühkathode ausgehender und ge-  
bündelter Elektronenstrahl  
wird auf einen Punkt gerichtet,  
wo sich der zu reinigende Me-  
tallblock (Abschmelzstab) befin-  
det. Beim Auftreffen der mittels  
einer Anodenspannung von einigen  
1000 V beschleunigten Elektronen  
auf das umzuschmelzende Metall  
wird dieses hoch erhitzt und ver-  
flüssigt. Es tropft ab, z.B. in  
eine Stranggußkokille, wo sich  
der gereinigte "Vakuumblock"  
aufbaut; gleichzeitig kann ein  
anderes Metall zulegiert werden

Reindarstellung von Zirkon  
und anderen Reaktormaterialien

Reindarstellung von Germanium und  
Silizium für die Halbleitertechnik;  
metallische Darstellung von Wolfram,  
Tantal und anderen hochschmelzender  
Metallen; hochreine Stähle für  
Flugzeug- und Raketenbau; in der  
Kugellagerindustrie und in anderen  
Industriesektoren mit höchsten  
Materialanforderungen für Fe-Legie-  
rungen

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4567.111 Mehrlagen- Stahldruck- behälter	Behälter aus mehreren Schalen (Lagen von Blechen höherer Zug- festigkeit); bei der ersten Druckbeanspruchung findet eine plastische Verformung der inne- ren Schalen statt, wodurch sich diese an die äußeren anlegen; keine rißbegünstigende Stoffbindung zwischen den einzelnen Schalen	Für Reaktor-Druckbehälter in Erprobung; Reaktorsicherheits- behälter	Anwendungen möglich für Druck- behälter, an die höchste Sicher- heitsanforderungen gestellt werden, z.B. Reaktionsapparate für Hoch- druckchemie (als Substitution für Wickelhochdruckbehälter denkbar)
4567.201 Druckröhren- behälter	Reaktorbehälter, bei denen die einzelnen Brennelemente sich in jeweils gesonderten Druckröhren befinden; Prinzip der Kessel in Lokomotiven	Schwerwassermoderierte Reaktoren bis zu 550° C (EL 4, KKN)	Anwendungen in der herkömmlichen Technik wurden nicht bekannt (2)
4567.400 +) Spannbe- ton- druckbehälter	Entwicklung, die ursprünglich für die französischen und englischen gasgekühlten Kernreaktoren betrie- ben wurde. Der Beton wird mit Stahlspannseilen so stark vorge- spannt, daß im Betriebszustand noch keine Zugspannungen im Beton auftreten; eignen sich auch bei großen Abmessungen für die Baustel- lenfertigung und bieten größere Sicherheit. Verschiedene Versionen befinden sich zur Zeit in Erpro- bung, u.a. Behälter in Mehrlagen- bauweise, Behälter aus vorgefertig- ten Teilen.	Gasgekühlte Reaktoren; erste Anwendung in der BRD im Rah- men des THTR-Projektes. Mögliche Anwendungsgebiete auch auf dem Gebiet der wasser- und natriumgekühlten Reaktoren	Reaktionsgefäße für die groß- technische Durchführung gewisser Synthesen (Harnstoff, Ammoniak) (3); Speicherbehälter für Flüssiggase (3)

+ ) Fall, der im Rahmen der Studie einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (siehe Anlage 8 - 14)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4663.150 Heiße Zellen	Mit Schwerbeton abgeschirmte Räume, in denen radioaktive Gegenstände fernbedient untersucht und bearbeitet werden können	Vorwiegend für Reparaturen und labormäßige Untersuchungen von Einzelteilen und Kleinserien stark aktivierter Teile	Die gesamte Heiße-Zellen-Technik dürfte nur geringe Bedeutung für die herkömmliche Produktion und Forschung haben (eventuell beim Umgang mit stark giftigen Stoffen, doch spielt dabei die Abschirmung keine Rolle)
47 BAUELEMENTE			
<u>471 Maschinenelemente</u>			
4711.101 Lager mit Ölsperren- kreislauf	Konventionelle Lager, bei denen aber das Öl ständig von Spaltprodukten gereinigt wird	Gebläse für gasgekühlte Reaktoren	Gebläse für giftige Gase
4711.201 Lager mit beson- deren Schmierungen	Schmierungsfreie und solche, deren Schmiermittel gegen Strahlung beständig sind, d.h. auf anorganischer Basis; geeignet für hohe Temperaturen und für reaktionsfreudige Fördermedien (als Schmiermittel wird z.B. Molybdändisulfid mit Gußstaub etc. verwendet)	Regelstabmechanismen; Pumpen im Strahlenfeld; rotierende Teile im Strahlenfeld	Antriebe, die unter Hochvakuum oder in hochreiner (Inertgas-) Atmosphäre oder in Medien, die die konventionellen Schmiermittel angreifen, arbeiten

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4711.301 Gaslager (Helium- Gaslager)	Lager, bei denen zwischen Welle und Lager ein Gaspolster aufgebaut wird, das die Welle trägt; es werden Dichtungsprobleme umgangen, indem man das Fördermedium als Schmiermedium benutzt	Gebläse für gasgekühlte (Helium-) Reaktoren (Dragon-Reaktor)	Tieftemperatur-Expansionsturbinen (5) Gasturbinen; allgemein leichte Turbomaschinen (5)
4711.302 Dampflager	Wartungsfreie Lager, bei denen die Welle auf einem Dampfpolster läuft	Dampfgelegerte Gebläse mit angekuppelter Turbine, besonders dort, wo das Betriebs- und Fördermedium verunreinigt werden soll Dampf ist, z.B. Gebläse für dampfgekühlte schnelle Brüter	Allgemein dort, wo das strömende Medium nicht durch Schmiermittel
4711.303 Lager mit Wasser- schmierung	Alternativlösung zum Dampflager, bietet vor allem beim Anfahren größere Sicherheit	Vgl. Dampflager, Anwendung dort, wo Gefahr der Kondensation des Dampfes besteht	Geeignet für wasser- bzw. dampfbeaufschlagte Turbomaschinen ohne Fremdschmierung
4711.401 Magnetlager	Die Welle wird durch ein Magnetfeld zentriert, das als Radiallager dient	Ultrazentrifugen	Denkbar für Kreiselkompaßaufhängung; Ultrazentrifugen für Kolloidalchemie und andere wissenschaftliche Zwecke
4712.110 Gefrierdichtungen	Dichtungen mit Labyrinth, die mit Metallen und Legierungen mit niedrigem Smpkt. <math><150^{\circ}</math> C gefüllt sind z.B. Zinn-Wismut; Natrium; Quecksilber und Amalgame; Lithium; Blei -Antimon	Gefrierdichtungen für Drehschilde u.a.	Denkbar auch für Dichtungen von großen Durchführungen auf nicht kerntechnischem Gebiet

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4712.120 Faltenbälge s. 4716.220 Stahlbälge			
4712.501 Drehdurchführungen	Übertragung von Drehbewegungen durch gasdichte Wandungen mittels Exzenter und Faltenbälgen	Durchführung von Wellen durch gasdichte Wandungen, z.B. Antriebswellen vom Kontrollraum in radioaktive Wasseraufbereitungsanlage für die Betätigung von Ventilen	Vakuumentchnologie
4712.602 Gasdichte Durchführungen (vgl. auch Stahlbälge)	Gießharze- oder Glaseinschmelzdurchführungen, Montage durch Schweißen oder Schrauben für Schwach- und Starkstromtechnik und anderen Leitungen bis 350° C/ hohen Drücken	Durchführungen von Kabeln, Rohrleitungen u.a. durch Wandungen von Reaktorbehältern und heißen Zellen	Durchführungen für Pumpen, Generatoren; Durchführungen in der Vakuumtechnik
4713.400 Regelstabantriebe Steuerstabantriebe	Mechanismen für die Verstellung der Regelstäbe mit gleichzeitiger Rückmeldung der Stellung der Stäbe; es gibt verschiedene Systeme: - Noniusregelstabantrieb - Zahnstangenantrieb - pneumatische Antriebe - hydraulische Antriebe u.a.	Reaktorregelung bzw. Steuerung; Antriebe für Reaktortrimmstäbe Regelstabantrieb für kleinste Vorschübe, Reaktivitätsfeinregelung	Anwendungen konnten nicht in Erfahrung gebracht werden, sind aber durchaus denkbar für fernbediente Regelungssysteme (2)
4713.410 Schnelleinfahr- vorrichtungen	Pneumatische, hydraulische, mit Federkraft betriebene oder auf Grund der Schwerkraft arbeitende Vorrichtungen für das Einfahren der Regelstäbe im Gefahrenfall	Für die Schnellabschaltung des Reaktors	Die Mechanismen sind grundsätzlich geeignet für Hochspannungsschalter (2)



Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4716.220 <sup>++)</sup> Stahlbälge	Platzsparende Faltenbalg-Kompensatoren für große Verschiebungen; bewegliches Dichtungselement aus hochwertigem nichtrostenden Stählen in Abmessungen bis zu 2 m Ø	Dichtungen in Lademaschinen, an Ventilen; Drehdurchführungen; Durchführungen von Primär- oder Sekundärdampfleitungen durch das Containment; Kompensatoren in Wärmetauschern und Rohrleitungen	Stopfbuchsenlose Abdichtungen, Kompensatoren für Wärmetauscher, Dampf- und Gasleitungen; allgemein Leitungen, die irgendwelche Bewegungen aufzufangen haben z.B. beim Übergang von einem freischwingend aufgehängtem Teil zu einem starren Teil
<u>473 Armaturen</u>			
4731.101 Absperrventile	Mit Teflon- oder Vitondichtung; Dichtigkeit im Ventilsitz $10^{-4}$ Torr · Liter/sec für Temperaturen bis zu 200° C	Helium-Kreisläufe	Vakuumtechnik; allgemein für wertvolle oder schädliche Gase unter Druck bis zu ca. 50 at
4731.102 Stonfbuchsenfreie Ventile	Verschweißte Konstruktionen mit Stahlbälgen, Membran und/oder Dichtlippenschweißung für bisher nicht gekannte Dichtheitsanforderungen mit zulässigen Gasverlusten bis herab zu $10^{-9}$ Torr · Liter/sec	Für Kreisläufe mit gasförmigen aktiven Medien, Schwerwasser und anderen wertvollen Fördermedien unter hohem Druck	Hochvakuumtechnik und im Umgang mit Edelgasen, insbesondere Helium (6), mögliche Anwendung im chemischen Apparatebau (2)
4731.103 Schleusenventile	Doppelsitzventile mit optisch freiem Durchgang, spezielle Fertigung für AVR-Reaktor	In Brennstoffbeschickungsanlagen, als Schleusen für Brennelementkugeln	Anwendungen konnten nicht festgestellt werden, wären aber denkbar als Dosierventile (2)
4731.104 Doppelsitzventile	Mit Sperrmedium zwischen den Sitzen; Metall-auf-Metall-Dichtung	Helium- und andere (heiße) Gas-kreisläufe in Reaktoren	Vakuumtechnik

<sup>++)</sup> Fall, der im Rahmen der Studie einer eingehenderen Untersuchung unterzogen wurde (s. Anlage 7 - 9)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4731.500 Schnellschlußventile großer Abmessung	Mit Schließzeiten von $\leq 3$ sec, pneumatisch oder mechanisch be- triebene Ventile mit Nennweiten bis zu NW 700	Turbinen-Schnellschlußventile; Bypass-Ventile	Schnellschlußventile in her- kömmlichen Kraftwerksanlagen
4731.510 +) Schrägsitz-Schnell- schlußventile	Dampfabsperrentventile mit Preßluft- antrieb; gefertigt aus hochwertig- en Materialien unter besonders sorgfältiger Fehlerprüfung	Absperrorgane für den Schnell- schluß der Hauptdampfleitungen flüssigkeitsgekühlter Kernreak- toren	Denkbar als Schnellschlußventile für Dampfleitungen in herkömmli- chen Kraftwerksanlagen (2)
4732.001 Automatische Ver- schraubungen	System, zur Verschraubung großer Flansche mittels hydraulischer Vorspannung aller Bolzen gleich- zeitig	Deckelverschraubung von Reaktor- druckgefäßen (KWL, Lingen und KRB, Gundremmingen)	(Chemische) Reaktionsgefäße für diskontinuierliche Produktion; für Großmotorenmontage denkbar (3)
<u>476 Halbzeuge</u>			
4761.100 Kunststoff-Rohr- leitungen	Strahlenbeständiges Halbzeug aus FVC und PET u.a.	Rohrleitungen in Abwasseraufbe- reitungsanlagen; Abführung radio- aktiver Abwässer	Da alterungsbeständiger auch für Industrielaboratorien und Wasser- aufbereitungsanlagen der Industrie

+ ) Fall, der im Rahmen der Untersuchung einer näheren Betrachtung unterzogen wurde (s. Anlage 8 - 16)

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4763.101 Dekontaminierbare Anstriche	Abwaschbare oder abziehbare Anstriche auf Kunststoffgrundlage nicht aktivierbar; für Beton und alle rauhen Oberflächen in Reak- torbetriebsgebäuden und Aufberei- tungsanlagen	Fußböden und Wände in Reaktor- anlagen, Laboratorien etc.	Anstriche in Räumen, wo Sauber- keit eine besondere Rolle spielt
4763.100 Kunststoffbe- schichtungen	Nicht aktivierbare Kunststoffüber- züge über alle Bauteile, soweit sie nicht vollkommen glatte Ober- flächen besitzen; zur Erleich- terung der Reinigung der Wandungen von aktiven Verunreinigungen	Fußböden, Wände in Reaktorbe- triebsgebäuden und Labors für radioaktive Stoffe; Aufberei- tungsanlagen	Atombunker; Schutzbunker; Krankenhäuser, sterilisierbare Räume; Räume für die Montage von elek- tronischen und feinmechanischen Geräten; da billiger als Kache- lung
4763.310 Kunststoff- auskleidungen	Strahlungs-, Korrosions- und al- terungsbeständige Kunststoff-Fo- lien, die auf eine zu schützende Oberfläche aufgebracht werden	Korrosionsschutz für Behälter und Rohrleitungen in Abwasseraufbe- reitungsanlagen, Brennstoffrepro- cessinganlagen etc.	Korrosionsschutz und zur Vereinfachung der Reinigung für Platten im Fertighausbau, Behälter und Apparate in der chemischen Industrie; in Erwägung zu ziehen für Schutzschichten bei Automobilen

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

48 BÜROMASCHINEN UND ANDERE GERÄTE FÜR DIE ERLEICHTERUNG GEISTIGER ARBEITEN

481 Schreib- und Rechenmaschinen

4815.200

Digitalrechner  
(2. Rechnergenera-  
tion)

Bei der Entwicklung leistungs-  
fähiger Kernreaktoren tauchen  
eine Vielzahl von Rechenproble-  
men auf, die ohne den Einsatz  
moderner Elektronenrechner nicht  
oder nur sehr unvollkommen zu lö-  
sen sind. Die Kerntechnik hat  
durch diesen Bedarf die Weiterent-  
wicklung der Digitalrechner der  
1. Generation (Elektronenröhren-  
rechner) zur 2. Generation  
(Kennzeichen: Transistoren, Dio-  
den Magnetkernspeicher, kleinere  
Abmessungen und bedeutend gesteig-  
erte Arbeitsgeschwindigkeit) maß-  
geblich mit beeinflusst u.a. durch  
die Vorbereitung der Nanosekunden-  
technik für die Auflösung schneller  
Impulse und durch die Entwicklung  
von Rechnern mit Programmspeichern

Lösung von Rechenproblemen aus-  
den Gebieten der Physik, Chemie,  
Mechanik, Thermodynamik, Restab-  
ilitätsüberlegungen;  
insbesondere Aufgaben in Verbin-  
dung mit dem "kritischen Prob-  
lem", z.B. Ermittlung der Abhän-  
gigkeit des Neutronenflusses von  
verschiedenen Reaktorparametern  
und der Temperatur, Lösung des  
Abschirmungsproblems, Wirkung der  
Spaltprodukte im Verlauf des Be-  
triebs.  
Allgemein: Lösung der Boltzmann-  
schen Transportgleichung oder  
der Multigruppen-Diffusionsglei-  
chung für die räumliche und ener-  
getische Verteilung der Neutro-  
nen im Reaktor.

Technisch-wissenschaftliche An-  
wendungen: Bemessung der Leiter-  
seile von Drehstrom-Leitungen;  
Unterprogrammsystem der Zustands-  
größen des Wasserdampfs für Tur-  
binerberechnungen; Prozeßrech-  
nungen; Approximation von Funk-  
tionen; Verkehrsberechnungen

Kommerzielle Anwendung:  
Unternehmerische Entscheidungen;  
Vorausberechnung und Auswertung  
von Wahlergebnissen; Betriebs-  
abrechnung; Steuerung von Lager-  
beständen nach Verbrauch;  
Programmierungssysteme

Mögliche zukünftige Anwendungen:  
Medizinische Diagnosen;  
Übersetzung von Sprachen

4815.220

Prozeßrechner  
(digitale)

(Elektronische) Datenverarbeitungs-  
Kernenergieanlagen  
anlage, die eine Vielzahl von Meß-  
daten eines Prozesses erfaßt, nach  
vorgegebenen Richtlinien (z.B. Er-  
reichung größter Leistung oder höch-  
sten Wirkungsgrades) verarbeitet und  
mit dem Ergebnis den Prozeß steuert.  
Einfluß der Kerntechnik ist erheblich,  
aber es konnte nicht sichergestellt  
werden, ob der Anstoß von der Kern-  
technik ausging.

↔ Einsatzplanung von Kraftwerken  
und Netzen, herkömmliche Kraft-  
werksanlagen;  
Chemische Produktionsprozesse;  
Erdölverarbeitungsprozesse

4815.300  
Elektronische  
Analogrechner

Die Entwicklung der 2. Generation der Analogie-Rechengeräte wurde maßgeblich durch die Kerntechnik beeinflusst.

Entwicklung zur Lösung von Gleichungssystemen einschließlich der Differentialgleichungen mit konstanten und veränderlichen Koeffizienten;

Die Grenzen der Anwendungen der Analogrechner liegen darin, daß nur eine Veränderliche vorhanden ist, nämlich die Zeit. Probleme mit mehreren Veränderlichen müssen auf solche mit einer zurückgeführt und über Parameter-Gleichungen gelöst werden. Der Rechengang muß dabei in mehreren Durchgängen ausgeführt werden.

Reaktorsimulatoren für Untersuchungen in der Reaktordynamik und Kinetik

←→ Vorwiegend für wissenschaftliche Aufgaben:  
Lösung von Gleichungen und Gleichungssystemen z.B. Differentialgleichungen;  
Prozeßrechner für Netzrechnungen

4815.310  
Reaktorsimulatoren  
(s. auch Analogrechner)

Geräte, mit denen mittels eines elektronischen Analogrechners die Reaktordynamik und -Kinetik nachgebildet werden kann.

In der Reaktorphysik zur Beobachtung des Reaktor-Betriebsverhaltens, z.B. Darstellung der Reaktorleistung bzw. des Neutronenflusses als Funktion der Zeit; Xenon- und Symariumvergiftung nach Abschalten des Reaktors;  
räumliche Flußverteilung;  
Nachbildung ganzer Kraftwerke denkbar

←→ Elektrische Netzwerke  
Flugsicherung  
Strahlleitsysteme

Fall-Nummer  
Bezeichnung

Besondere Merkmale

Anwendungen in der Kerntechnik

Durch die Kerntechnik direkt  
oder mittelbar beeinflusste  
Anwendungen in herkömmlichen  
Bereichen

4815.350  
Optische  
Analogrechner

3. Generation der Analogrechner mit der Möglichkeit, Funktionen mit zwei unabhängigen Veränderlichen zu verarbeiten. Ist für die Lösung vieler Probleme der Kerntechnik geeignet. Ihre Entwicklung zur technischen Perfektion und Marktreife wird daher von der Kerntechnik stark vorangetrieben; gekennzeichnet durch optische Eingabegrößen und Resultatsfunktionen (Dicken- und Durchlässigkeitsverteilungen, geometrische Längen). Zur Lösung derselben Probleme werden auch p n e u m a t i s c h e Rechner entwickelt.

Lösung der Integralgleichungen, die die Energieverteilung der Neutronen in einem Moderator beschreiben (Fremsgleichung); Lösung der Reaktorgleichung zur Neutronenbilanz eines Kernreaktors; Laplace-Transformationen

Nachrichtentechnik, Regeltechnik, Kybernetik und Statistik. Geeignet zur Lösung von Fourier- und Laplace-Transformationen, Faltungsintegralen und Korrelationsfunktionen.

Fall-Nummer Bezeichnung	Besondere Merkmale	Anwendungen in der Kerntechnik	Durch die Kerntechnik direkt oder mittelbar beeinflusste Anwendungen in herkömmlichen Bereichen
4815.400 Analog-Digital- Umsetzer (ADC)	Einrichtung zum Umsetzen von Daten in Analogdarstellung (meist als kontinuierlich ver- änderliche Signale) in gleich- wertige digitale Daten, normaler- weise in einen Binärcode (Aus- maß des Einflusses der Kern- technik ist nicht im einzel- nen ermittelt worden)	Speicherung von analogen Daten, Vielkanalanalysator, Prozeßrechner	Umwandlung analoger Werte in digitale Daten, z.B. bei Werkzeug- maschinensteuerungen zum Ablesen der Winkelstellung einer Welle; allgemein für die Adaption von kontinuierlichen Meßwerten für die Eingabe in Digitalrechner zur Überwachung industrieller Produk- tionen und Steuerungsprozesse und für die Speicherung analoger Daten

Anlage 5

KARTEIKARTENENTWURF







Anlage 5a

KARTEIKARTENENTWURF FÜR DIE FALLE DER HAUPTGRUPPE  
MATERIALIEN



Anlage 6

LOCHKARTENENTWURF



Sachgebiet:

Kartenart:

Sachnummer ( Identifikation )		Klartextliche Kurzbezeichnung										Her- steller			Verwendung in der Kerntechnik			Verwendung außerhalb der Kerntechnik								Hinweis auf Folgekarten															
												1	2	3	1	2	3	4	5	6	7	8																			
systematisch	kenn- zeichnend	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0000								
-	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1111								
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2222								
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3333								
4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4444								
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5555								
6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6666								
7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7777								
8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8888							
9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9999							
1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80	

A N L A G E 7

Darstellung  
der neun eingehend untersuchten Fälle

FALL-NR.: 1614.870

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Sicherheit, Öffentliche Gesundheit

1.2 BEZEICHNUNG: Unfallanalyse; das Modell des größten  
anzunehmenden Unfalls (MCA) als Beispiel



## 2. B E S C H R E I B U N G

### 2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

In Deutschland wurde zum ersten Mal eine Unfallanalyse nach dem Modell des größten anzunehmenden Unfalls bei Planung und Errichtung des ersten deutschen Kernreaktors angewendet; es handelte sich um den Forschungsreaktor Garching (FRM), der am 30. Oktober 1957 kritisch wurde. Das Modell des größten anzunehmenden Unfalls (GAU) ist aus den USA übernommen worden, zusammen mit der Übernahme des in den USA entwickelten Prinzips des wassergekühlten Reaktors.

"Der größte anzunehmende Unfall" (GAU) ist eine sinngemäße, aber wegen Meinungsverschiedenheiten über den Begriffsinhalt nicht einhellig anerkannte Übersetzung von "maximum credible accident" (MCA).

In den USA wurde diese Unfall-Analyse Anfang der fünfziger Jahre entwickelt, d.h. in der Zeit der Errichtung von Forschungsreaktoren und kleineren Leistungsreaktoren für nicht-militärische Anwendungen. Das Konzept des MCA wird sachlich mit der Entwicklung der wassergekühlten Reaktoren in Verbindung gebracht, jedoch nicht ausschließlich auf diese angewendet. Aus England und Frankreich, wo man sich hauptsächlich mit anderen, nichtwassergekühlten Reaktortypen befaßte, sind Unterschiede zu den hier erörterten Sicherheitsbetrachtungen festzustellen, die jedoch weniger prinzipieller als vielmehr quantitativer Art sind und auf eine unterschiedliche Terminologie zurückgeführt werden können.

Bei den Sicherheitsanalysen bestimmter Reaktoren beschränkte man sich nicht auf die Behandlung des MCA allein, sondern untersuchte alle, auf Grund der Sachkenntnis für möglich gehaltenen Schadensfälle in ihrem Ablauf und ihren Auswirkungen. Der hinsichtlich der

Auswirkungen größte Schadensfall, der MCA, mußte durch entsprechende Sicherheitsvorkehrungen beherrscht werden. Die bei Eintritt des MCA zu erwartenden Äquivalentdosen in der bewohnten Umgebung durften festgelegte Grenzwerte nicht überschreiten.

Charakteristisch für jede Sicherheitsanalyse bei Kernenergieanlagen ist, daß man nicht nur Unfälle zu verhindern sucht, sondern der Beherrschung von Unfallfolgen mindestens die gleiche Aufmerksamkeit widmet.

Vorstufen des MCA-Modells sind nicht eindeutig erkennbar: bei dem Bau des ersten Kernreaktors in den USA im Jahr 1943 wurden offenbar keinerlei Unfall-Analysen durchgeführt außer den Maßnahmen gemäß den militärischen Sicherheitsvorschriften; auch bis 1948 basierten die Sicherheitsvorkehrungen in den USA hauptsächlich auf den Faustregeln von sogenannten Abstandsformeln des ADVISORY COMMITTEE ON REACTOR SAFEGUARDS, in die u.a. Reaktorleistung und Bevölkerungsdichte der Reaktor Umgebung eingehen. Die Formel setzte pauschal eine Verstreueung von 50 % des Spaltproduktinventars und eine zulässige Strahlenbelastung von 300 rem voraus. Das ist jedoch ein MCA, bei dem nicht nach der Ursache gefragt wird und "engineered safeguards" nicht wirksam werden.

## 2.2 DARSTELLUNG

### 2.2.1 Allgemeines

Der größte anzunehmende Unfall (MCA), ein Kriterium für die Beurteilung der Sicherheit von Atomanlagen, ist ein Denkmodell, das ein Schadensereignis von minimaler Wahrscheinlichkeit und maximaler radiologischer Auswirkung postuliert.

Als **S i c h e r h e i t** wird in erster Linie der Schutz von unbeteiligten Dritten vor Strahlenexposition, d.h. die Unfallsicherheit, betrachtet; dieser Sicherheitsbegriff wird theoretisch getrennt von dem Begriff der Betriebssicherheit, die den ungestörten Ablauf der Funktionen der Atomanlagen und den Arbeitsschutz umfaßt. Praktisch ist die Unfallsicherheit von der Betriebssicherheit einer Atomanlage nicht immer eindeutig zu trennen. Eine Kernenergieanlage ist wie jede Industrieanlage dann als sicher zu betrachten, wenn ausreichend Arbeits- und Umgebungsschutz gewährleistet wird.

Das **S c h a d e n s e r e i g n i s** wird in der Regel als kombinierte Folge einer Ereigniskette angesehen, wobei schwerwiegende Auswirkungen nur bei einer Kombination mehrerer Versager zu erwarten sind. Zur Messung des größten anzunehmenden Unfalls wird die Strahlenbelastung der Umgebung herangezogen. Als Maßstab bei der Wahl möglicherweise erforderlicher Schutzmaßnahmen gegenüber **r a d i o l o g i s c h e n A u s w i r k u n g e n** gilt im allgemeinen der Bezugswert von 25 rem (roentgen equivalent man) für die Ganzkörperdosis der Strahlung von außen. Die errechnete Strahlenbelastung ist dabei nicht isoliert, sondern im Zusammenhang mit der Zahl der betroffenen Personen zu sehen.

Die **m i n i m a l e W a h r s c h e i n l i c h k e i t** im Sinne des MCA ist weder quantitativ noch logisch eindeutig festgelegt. Reaktorunfälle werden eingeteilt in glaubhafte bzw. anzunehmende Unfälle, denen die Eintrittswahrscheinlichkeit = 1 gegeben wird und in unglaubhafte Unfälle, denen man die Eintrittswahrscheinlichkeit = 0 gibt. Die Grenze zwischen diesen extremen Wahrscheinlichkeitswerten wird postuliert.

Die in dieser hypothetischen Form gegriffenen (nicht berechneten oder beobachteten) Wahrscheinlichkeitswerte für Reaktorunfälle

sind das wesentlichste Begriffselement und kennzeichnen das MCA-Konzept als ein vorwiegend hypothetisches Denkmodell einer Sicherheitsphilosophie.

Der größte anzunehmende Unfall bildet die Richtschnur für Vorkehrungen, die für die Sicherheit einer Atomanlage zu treffen sind: in der Gruppe der als glaubhaft postulierten Unfälle wird der Unfall mit den größten Auswirkungen als die *G r e n z e* angesehen, *b i s* zu der Sicherheitsvorkehrungen zu treffen sind; Unfälle jenseits dieser Grenze werden als nicht mehr möglich und für Sicherheitsvorkehrungen als irrelevant angesehen.

#### 2.2.2 Beschreibung der Störfälle

Ursache und Ablauf des MCA hängen von Art und Betriebsweise des jeweiligen Reaktors ab.

Bei dem Typ des Leichtwasser-Reaktors wird als größter anzunehmender Unfall

der Verlust von *g r ö ß e r e n M e n g e n* des Kühlmittels verursacht durch einen Bruch der Primär-Kühlmittel-Leitung und als Folge  
das teilweise oder völlige Schmelzen des Kerns und die Freisetzung von Spaltprodukten

angesehen.

Im Druckwasserreaktor wird in der gleichen wie oben beschriebenen Verkettung von Ereignissen

der *t o t a l e* Kühlmittelverlust nach Bruch der Primärleitung

als der größte anzunehmende Unfall postuliert.

Außerdem wird angenommen, daß

die Kern-Notkühlanlage ausgefallen ist  
die Gebäudesprühanlage und Luftumwälzanlage nicht voll  
funktionsfähig sind.

Die Möglichkeit eines Reißens des Reaktordruckbehälters ist bisher noch nicht als relevanter Störfall in das MCA-Modell einbezogen worden.

Bei einer Wiederaufbereitungsanlage für bestrahlten Brennstoff wird als größter anzunehmender Unfall ein sogenannter Kritikalitätsstörfall angesehen, bei dem bereits vorhandene und neugebildete Spaltprodukte freigesetzt werden. (A. Patzelt; Institut für Reaktorsicherheit: "Wiederaufbereitungsanlagen")

Allgemein kann angenommen werden, daß bei einer entsprechenden Freisetzung die Menge der in die Umgebung gelangenden Spaltprodukte u.a. von der Verfügbarkeit und Wirkung der "engineered safeguards" abhängig ist.

Auch für den gasgekühlten Reaktor gilt als größter anzunehmender Unfall der Verlust des Kühlmittels; jedoch nicht der Kühlmittelverlust schlechthin, sondern die Geschwindigkeit des Ausströmungsvorgangs ist bestimmend für die Gefährdung der Umgebung.

Dabei wird postuliert, daß ein Kernschmelzen verhindert werden kann, weil der Bruch einer nur kleinen Rohrleitung (d.h. geringere Ausströmgeschwindigkeit) angenommen wird.

Der in dieser Form anzunehmende Unfall zeigt, daß das MCA-Konzept nicht den maximalen Unfall beinhaltet, sondern daß jenseits des größten a n z u n e h m e n d e n Unfalls noch ein größter

denkbare r Unfall geschehen kann, z.B. bei dem gasgekühlten Reaktor in der folgenden Kausalreihe:

durch den Bruch einer Rohrleitung entsteht ein relativ großer Freisetzungsquerschnitt (z.B. von  $0,5 \text{ m}^2$ )

die Ausströmungsgeschwindigkeit des Kühlgases ist so hoch, daß der Druckabfall bzw. ein Druckausgleich mit der Umgebung in wenigen Sekunden erfolgt

es bleibt nicht genügend Zeit, die Nachzerfallswärme abzuleiten

daher kann ein Kernschmelzen und die Freisetzung von Spaltprodukten nicht verhindert werden.

(Institut für Reaktorsicherheit, J. Essmann: "Gasgekühlte Reaktoren")

Es wird jedoch nicht nur bei gasgekühlten, sondern auch bei anderen Reaktoren versucht, den voraussichtlichen Ablauf unter ungünstigen Annahmen so realistisch wie möglich zu erfassen.

Generell sind Unfallauswirkungen jenseits des MCA höchstens bis zum Gefährdungspotential eines Kernreaktors denkbar. Zusätzlich aufgebraachte Energien, z.B. durch Explosion einer Atombombe, müssen dabei unberücksichtigt bleiben. Die Wahrscheinlichkeit für solche Unfallauswirkungen wird gegenwärtig auf Grund der Sachkenntnis, d.h. subjektiv gleich Null gesetzt, da objektive Zahlenwerte nicht vorliegen.

### 2.2.3 Anzunehmende Risiken

Das Institut für Reaktorsicherheit der TÜV e.V. gibt für das Risiko des MCA die folgenden Werte an:

Eintrittswahrscheinlichkeit des größten  
anzunehmenden Unfalls

$10^{-5} - 10^{-9}$

daraus wird - unter pessimistischen  
Annahmen das Risiko der Unfallaus-  
wirkung von  
abgeleitet.

$2 \times 10^{-8}$  Tote/MW Jahr

Zum Vergleich wird

die annähernd gleiche Häufigkeit von  
"Flugzeugabstürzen in vollbesetzte  
Sportstadien" von

$3 \times 10^{-8}$

und

Risiko der Nachbarschaftsgefährdung  
durch gasförmige Abfälle von konven-  
tionellen Kraftwerken!

$3 \times 10^{-3}$  Tote/MW Jahr

genannt.

Die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt des MCA entstammt  
den Arbeiten "Theoretical Possibilities and Consequences of  
Major Accidents in Large Nuclear Power Plants", WASH - 740  
(1957) und Ch. Starr "Radiation in Perspective", Nucl.  
Safety 5 (1964) 4, 325/332.

Die dortigen Angaben werden von dem Institut für Reaktorsicherheit  
mit der Einschränkung versehen, daß ihnen stark vereinfachte  
Annahmen zugrundeliegen. Damit wird implizit auf das Problem ver-  
wiesen, die postulierten Annahmen des größten Unfalls zu quantifi-  
zieren. (Vgl. auch E. Siddal; Reactor Safety Standards and their  
Attainment, CRNE-726 A.E. of Canada Ltd, Chalk River Project,  
und die daran anschließende Diskussion)

### 3. U R S P R U N G

#### 3.1 ALLGEMEINES

Das Prinzip des größten anzunehmenden Unfalls wurde bisher ausschließlich als Kriterium der Sicherheit von K e r n a n l a g e n angewendet. Daher ist der Ursprung des MCA-Prinzips in einer für Kernanlagen spezifischen technischen Datenkonstellation und einer kollektiv-psychologischen Einstellung zu den Kernanlagen und ihren Risiken zu suchen. Zu der Entstehung der Denkrichtung trug offenbar eine Kombination von technischen und psychologischen Faktoren bei; jedenfalls konnte kein überwiegender Einfluß einer der im folgenden aufgezählten Faktoren festgestellt werden.

#### 3.2 TECHNISCHE ASPEKTE

Im Unterschied von Unfällen an konventionellen Anlagen können die bei einem Unfall an Kernanlagen freigesetzten Spaltprodukte neben direkten Schäden der exponierten Personen genetische Schäden verursachen, d.h. Mutationen mit negativen Auswirkungen hervorrufen.

Die Strahlungsgefährdung kann einen regional größeren Nachbarschaftsbereich treffen als in der Regel die Auswirkungen von Unfällen an konventionellen Anlagen.

Ein spezifisches Sicherheitsbedürfnis entsteht zudem aus der Unmöglichkeit oder beschränkten Möglichkeit der direkten Prüfungen von Reaktorteilen, nach Inbetriebnahme des Reaktors, die einer besonderen Belastung (durch Druck und/oder Strahlung) ausgesetzt sind.



Daher stellt die Kerntechnik besondere technische Probleme, wie z.B. Verwendung von Sonderwerkstoffen, ungewöhnliche Dimensionen, Strahlenexposition, erschwerte Prüfbedingungen aller Teile vor Inbetriebnahme etc. Wegen des großen Gefährdungspotentials ist das sonst übliche Wechselspiel Schaden - Schutzvorkehrung nicht möglich.

Wenn aus dem Sicherheitsbedürfnis, das u.a. aus den genannten technischen Eigenschaften der Kernanlage entstanden ist, das Denkmodell eines postulierten größten Unfalls als Sicherheitskriterium hervorgegangen ist, so hat wahrscheinlich der Mangel an empirischen Kenntnissen dazu beigetragen: es fehlte die langjährige Erfahrung (Ausfallstatistik) in der Präzisionsfertigung und in dem Einsatz von groß-dimensionierten Teilen der Reaktoranlagen; ein MCA oder ein der Größenordnung eines MCA gleicher Unfall hat sich nicht ereignet.

### 3.3 KOLLEKTIV-PSYCHOLOGISCHE ASPEKTE

Die Nutzung der Kernenergie erreichte in der Öffentlichkeit einen größeren Bekanntheitsgrad als andere technische Neuerungen in den ersten Jahren ihrer großtechnischen Anwendung. Das öffentliche Interesse wurde geweckt und die öffentliche Meinung zugleich negativ beeinflusst durch den Abwurf von Atombomben im Jahr 1945 und die Atombombenversuche, die weitreichende Schadensauswirkungen auslösten.

Die kollektiv-psychologische Einstellung zu dem atomaren Risiko befürchtet eine Gefährdung nicht nur der individuellen, sondern auch der kollektiven Existenz durch direkte und durch - in ihrem möglichen Ausmaß auch der Wissenschaft noch weitgehend unbekanntem - genetische Folgeschäden. Da die Furcht vor "unbekanntem atomarem Risiken" ein logisch nicht begrenzbares Phänomen ist, läßt sie

extrem hohe Sicherheitsbedürfnisse entstehen, deren Befriedigung die Voraussetzung für das kollektive Einverständnis mit der Nutzung der Kernenergie ist.

Es kann angenommen werden, daß die Notwendigkeit, einerseits das Sicherheitsbedürfnis zu befriedigen, andererseits die Entwicklung der Kerntechnik nicht gefährlich einzuengen (B. Lutz: der technische Fortschritt als kalkuliertes Risiko) dazu führte, Sicherheitskriterien zu definieren und die Begriffselemente eines solchen Kriteriums eindeutig zu postulieren, solange die empirische Kenntnis zur Bestimmung von Sicherheitskriterien nicht ausreichte.

Diese kollektiv-psychologischen Aspekte deuten auf den Ursprung einer methodischen Beschäftigung mit Unfall-Analysen im allgemeinen hin, die nicht nur auf die Kerntechnik beschränkt sind, sondern auch in andere moderne Techniken, z.B. Luft- und Raumfahrt, Eingang gefunden haben. Das Denkmodell des MCA ist nur ein Aspekt davon, der besonders diskutiert wird, jedoch nicht der wichtigste ist. Daher darf man sich auch nicht ausschließlich auf MCA beschränken.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

##### 4.1 HEUTIGER STAND

Das Denkmodell des größten anzunehmenden Unfalls ist Bestandteil der Sicherheitspolitik für Kernanlagen in Deutschland. Bei Gutächtern und Genehmigungsbehörden besteht Übereinstimmung hinsichtlich der Art des größten anzunehmenden Unfalls bei bestimmten Reaktortypen (siehe Punkt 2.2.2).

Nach dem heutigen Stand werden im MCA-Konzept

Schadenseinwirkungen von außen (Modellfall: "Ein Flugzeug stürzt auf den Reaktor")

ein Reißen des Reaktordruckbehälters

nicht berücksichtigt. Letzteres könnte jedoch zukünftig durchaus der Fall sein, zumindest steht es nicht im Widerspruch zur bisherigen Praxis.

##### 4.2 WEITERE ENTWICKLUNG

Eine Weiterentwicklung des MCA-Modells wird vor allem wegen der Subjektivität der zugrundegelegten Annahmen für notwendig gehalten.

Für 1968 ist in den USA eine experimentelle Auslösung eines MCA-Ereignisses vorgesehen; es handelt sich um das sogenannte LOFT-Project, das an einem Druckwasser-Reaktor durchgeführt werden soll (NRTS, IDAHO Falls: 50 MW<sub>th</sub>, Leichtwasserkühlung und -moderierung, trockenes Containment). LOFT ist ein Versuchsprogramm in großtechnischem Maßstab, das die seit vielen Jahren in den USA laufenden Arbeiten im labor- und halbtechnischem Maßstab ergänzen und abschließen soll. In seiner letzten Phase wird mit

einem bestrahlten Core gearbeitet, wodurch dann Vergleiche mit einem MCA möglich sind. Dieses Experiment dient vor allem dazu, die bisher nicht vollständig bekannte Unfalldynamik zu klären und die empirischen Daten des simulierten Unfallablaufs an die Stelle der bisher postulierten Daten des MCA zu stellen.

Es besteht Übereinstimmung, daß die Weiterentwicklung des MCA-Modells mit dem LOFT-Projekt und anderen Untersuchungen darauf zu richten ist, dem Modell des größten Unfalls realistischere Annahmen zugrunde-zulegen, z.B. selbst bei Einbeziehung der Annahme, daß das Reaktor-Druckgefäß reißt, nicht den Ausfall der Kühlanlage schlechthin zu postulieren, sondern an die Stelle des Postulats die Ergebnisse, z.B. von Zuverlässigkeitsprüfungen der Kernnotkühlanlage zu setzen.

Ein weiterer Schritt zur Verbesserung des MCA-Konzepts wird in der Einbeziehung von Unfällen mit (radiologisch) geringerer Auswirkung, aber mit höherer Eintrittswahrscheinlichkeit gesehen; denn auch geringere, aber wiederkehrende Freisetzung von Spaltprodukten mit ihren additiven Schäden kann eine starke, die postulierten Schadenswirkungen des bisherigen MCA-Konzepts übersteigende Nachbarschafts-gefährdung darstellen.

Kleinere, häufigere Unfälle wurden auch bisher in Sicherheitsanalysen schon berücksichtigt, doch konnten auf Grund subjektiver Urteile ihre Auswirkungen auf die Umgebung neben dem MCA vernachlässigt werden. Eine objektive Gesamtschau aller Risiken ist das erklärte Ziel aller weiteren Analysen.

Außerdem können Modifikationen des MCA-Modells ausgelöst werden durch die Entwicklung und den Bau größerer Anlagen und neuer Reaktortypen (z.B. schnelle Brüter) und durch die abnehmende Distanz der künftigen Reaktoren zu dichtbesiedelten Gebieten, wobei die Entfernung als Sicherheitsfaktor an Bedeutung verliert.

Hierbei besteht jedoch ein grundsätzlicher Unterschied zwischen den Verhältnissen in den USA und denen in europäischen Ländern, da letztere allgemein eine größere Bevölkerungsdichte aufweisen.

Der Weiterentwicklung des MCA-Konzepts dienen neben den theoretischen vornehmlich system-analytische Untersuchungen und Vergleiche zwischen den Risiken einer Kernanlage mit den Risiken von konventionellen Anlagen.

## 5. ANWENDUNG

### 5.1 ANWENDUNG IN DER KERNTÉCHNIK

Der größte anzunehmende Unfall dient als Kriterium für die Sicherheit von Reaktoranlagen, die Gegenstand des Genehmigungs- und Aufsichtsverfahrens ist. Die zuständigen Landesbehörden ziehen in der Regel Sachverständige der Technischen Überwachungsvereine hinzu. Bei den TÜV, in deren Bereich größere Reaktoranlagen erstellt wurden, bildete man Arbeitsgruppen für Strahlenschutz und Kerntechnik, und zur Koordinierung der Gutachtertätigkeit und der Sicherheitspolitik wurde das Institut für Reaktorsicherheit der TÜV e.V. gegründet.

In diesen Institutionen ergänzt das MCA-Modell die konventionellen Prüftätigkeiten in der Kerntechnik, d.h. Vor-, Bau-, Abnahme- und Funktionsprüfungen, wie sie unter Berücksichtigung und Weiterentwicklung der üblichen TÜV-Tätigkeiten entstanden sind.

### 5.2 NICHTKERNTÉCHNISCHE ANWENDUNG

Es konnte kein Fall festgestellt werden, in dem das MCA-Konzept für die Sicherheit von nichtkerntechnischen Anlagen Anwendung findet.

In den konventionellen Bereichen werden über die bekannten und empirisch erfaßbaren Unfallrisiken hinaus keine weiteren, noch denkbaren Risiken postuliert, gegen die der Betreiber Sicherheitsvorkehrungen zu treffen hat. Für mögliche, aber nicht bekannte Risiken wird höhere Gewalt angenommen, die nicht mehr durch Sicherheitsmaßnahmen des Betreibers vermieden werden, sondern deren Folgen durch öffentliche Katastrophenpläne gemindert werden sollen.

### 5.3 NICHTKERNTÉCHNISCHE ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN

Eine sinnvolle Übertragung des MCA-Modells wäre überall dort denkbar, wo durch Errichtung oder Betrieb einer Anlage eine größere Anzahl von Personen gefährdet wird. Das Kriterium der Gefährdung von "unbeteiligten Dritten" sollte dabei im weitesten Sinn verstanden werden (z.B. Einbeziehung von Verkehrsteilnehmern).

Angestrebt wird eine alle Bereiche der Technik objektiv beurteilende Sicherheitsphilosophie, die sowohl Arbeits- als auch Umgebungs-schutz beinhaltet; Ansätze außerhalb der Kerntechnik sind bereits vorhanden (England: ICI). Die stärksten Impulse gehen jedoch nach wie vor von der Kerntechnik aus, und ein dort erarbeitetes System kann durchaus für die konventionelle Industrie interessant werden.

So wird z.B. die Anwendung des MCA-Modells in modifizierter Form im Zusammenhang mit der Sicherheitspolitik für Wiederaufbereitungsanlagen diskutiert (Institut für Reaktorsicherheit, A. Patzelt: Größte anzunehmende Unfälle - Wiederaufbereitungsanlagen), die als ein Beispiel für die Art und Weise dienen kann, in der das MCA-Modell künftig für nichtkerntechnische Anlagen Anwendung finden könnte: in der modifizierten Form wird der größte anzunehmende Unfall einer Wiederaufbereitungsanlage, der Kritikalitätsanfall, nicht mehr isoliert betrachtet; vielmehr soll durch eine systematische Kontrolle von Anlagenteilen und durch die Beobachtung von Schlüsselpunkten der gesamten Installation eine empirische Bezugsbasis für Sicherheitsmaßnahmen geschaffen werden (Schüller, Zünd: A new approach to the multiple contingency principle employed in a criticality control; zitiert bei A. Patzelt, Wiederaufbereitungsanlagen). Nach dieser Methode, die bereits bei der Sicherheitsanalyse der Eurochemic-Wiederaufbereitungsanlage, Mol, angewendet wurde, kann ein Netzwerkdiagramm der Anlage erstellt werden. Es zeigt neben den Leitungen des Normal-

betriebs sämtliche möglichen Wege, die das spaltbare Material einschlagen kann. Dabei wird das Spaltproduktinventar in einen sicheren und einen unsicheren Anteil geteilt und diese Anteile in je einem Behälter gesammelt, wobei der sichere Anteil unter bestimmten physikalischen oder chemischen Eigenschaften zu einem unsicheren Anteil werden kann. Der Eintritt eines Kritikalitäts-Störfalls wird durch einen relativen Wahrscheinlichkeitsfaktor angegeben.



## 6. AUSWIRKUNGEN

### 6.1 SUBSTITUTION

Im kerntechnischen und nichtkerntechnischen Bereich konnte kein Fall festgestellt werden, in dem das GAU- bzw. MCA-Modell eine systematische Sicherheitsanalyse mit definierten Kriterien ersetzt hat; in der Kerntechnik ist der MCA an die Stelle der Faustregeln über sogenannte Abstandsformeln getreten.

Anzeichen für eine Ablösung von bisherigen Unfallanalysen durch das MCA-Konzept lassen sich im kerntechnischen und nichtkerntechnischen Bereich nicht erkennen.

### 6.2 GRENZEN DER SUBSTITUTION

Eine Übertragung des MCA-Konzepts in andere Anwendungen erscheint unwahrscheinlich, weil dieses Denkmodell sich in einer Phase der Modifizierung und Weiterentwicklung befindet.

Unternehmer des nichtkerntechnischen Bereichs - soweit die Art ihres Unternehmens überhaupt eine Auseinandersetzung mit Sicherheitsanalysen erfordert - sehen gegenwärtig noch in der Postulierung des "größten" Unfalls und in den entsprechenden Sicherheitsvorkehrungen eine unangemessene Kostenbelastung.

Für konventionelle Anlagen mit empirisch erfaßten Risiken ist das MCA-Konzept nicht für erforderlich erachtet, während bei der Planung und Errichtung neuartiger Anlagen die Anwendung des MCA-Modells in abgewandelter Form sachlich möglich erscheint und erste Ansätze außerhalb der Kerntechnik bereits vorhanden sind.

Möglichkeiten und Grenzen einer Substitution bestehender Sicherheitssysteme werden aber auch von der kollektiv psychologischen Einstellung bestimmt, die zur Zeit eine stark unterschiedliche Risikobewertung vornimmt. (z.B. Chlorgasbehälter in dichtbesiedelten Gebieten, Verwendung von nicht-entgiftetem Stadtgas, Vertrieb von Pharmazeutika mit Wirkungen, die möglicherweise somatische und noch unbekannt genetische Veränderungen für bestimmte Personengruppen hervorrufen, im Vergleich zu den Risiken einer Kernenergieanlage)

### 6.3 WIRTSCHAFTLICHE BEDEUTUNG

Die eindeutige Erfassung der wirtschaftlichen Bedeutung des MCA-Konzepts anhand der Kosten für die entsprechenden Sicherheits-Vorkehrungen wird durch begriffliche Abgrenzungs- und sachliche Zuordnungsprobleme erschwert: Der Betreiber einer nach dem MCA-Konzept analysierten Anlage trennt in der Regel nicht die Kosten für Einrichtungen, die der Betriebssicherheit dienen, von den Kosten für Maßnahmen zur Unfallverhütung, und es fehlt ein quantitativer Maßstab für einen Kostenvergleich von Sicherheitsmaßnahmen im nichtkerntechnischen Bereich mit Vorkehrungen, die in Anwendung des MCA-Konzepts entstanden sind.

Zur ersten Annäherung werden die folgenden Angaben gemacht:

Kosten der Sicherheitsanalyse, Prüfverfahren und Gutachten für AVR Jülich (15 MWel) betragen rd. 2 Mio DM, wobei der überwiegende Anteil auf die genannten Prüfungen entfällt.

Kosten des Reaktordruckbehälters des KRB Grundremmingen (250 MWel) beliefen sich auf rd. 4 Mio DM.

Es wird erwartet, daß die Kostenstruktur von Reaktoren, die in Zukunft näher als bisher an dichtbesiedelten Gebieten errichtet werden, sich im Vergleich zu den bisher errichteten Reaktoren ver-

ändern wird, indem der Kostenanteil für zu erstellende Versorgungsleitungen sinkt, während der Kostenanteil für Sicherheitseinrichtungen steigt.

Die Kosten der Sicherheitsvorkehrungen führten zu der Frage, ob die behördlichen Auflagen und die Anwendung des MCA-Sicherheitskriteriums einen marktfremden, u.U. auch wettbewerbsverzerrenden Eingriff darstellen (Institut für Reaktorsicherheit, L.F. Franzen: Größte anzunehmende Unfälle).

Eine Wettbewerbsverzerrung kann in der einseitigen Anwendung der MCA-Sicherheitsauflage für Leistungsreaktoren gesehen werden, da konventionelle Stromerzeugungsanlagen keine vergleichbaren Auflagen zu erfüllen haben. Ein weiteres Beispiel könnte sich in der Zukunft zeigen, wenn nur ein neueinzuführendes Verkehrsmittel (z.B. Einschienenbahn) im Gegensatz zu anderen mit einer MCA-Sicherheitsauflage belegt würde.

Zu dieser Frage äußert ein Betreiber, daß Sicherheitsauflagen der Behörden zu dem "good will" von Kernenergieanlagen beitragen und den Zugang zu dem Markt der Energieerzeuger überhaupt ermöglichen.

#### 6.4 SOZIALE BEDEUTUNG

Das Qualifikationsbild der mit dem MCA-Modell Beschäftigten zeigt einen relativ hohen Anteil von Mathematikern und Physikern, zum Beispiel: (Stand Juli 1966)

Die Abteilung Kerntechnik und Strahlenschutz des TÜV Rheinland beschäftigt 9 Ingenieure der Fachrichtungen

Elektrotechnik und Maschinenbau, 2 Mathematiker und  
4 Physiker.

Das Institut für Reaktorsicherheit der Technischen Überwa-  
chungsvereine e.V. beschäftigt 4 Ingenieure und 6 Physiker.

Allgemein kann man sagen, daß die mit der Sicherheitsanalyse von  
Kernenergieanlagen beschäftigten Personengruppen den gleichen  
Fachrichtungen angehören, wie diejenigen, die mit der Projek-  
tierung, dem Bau und dem Betrieb solcher Anlagen befaßt sind,  
d.h. Ingenieure der verschiedensten Fachrichtungen, Physiker,  
Chemiker, Meteorologen etc.

## 7. WERTUNG DER BEDEUTUNG

### 7.1 GEGENWÄRTIGE BEDEUTUNG DES FALLES FÜR DEN NICHTKERNTÉCHNISCHEN BEREICH

Das Denkmodell des größten anzunehmenden Unfalls ist verbunden mit der Unfallanalyse für wassergekühlte Reaktoren; ist jedoch nicht auf diese allein beschränkt, das MCA-Konzept blieb bisher dem kerntechnischen Bereich vorbehalten, obgleich bereits Ansätze auch außerhalb der Kerntechnik zu verzeichnen sind.

### 7.2 ZUKÜNFTIGE BEDEUTUNG

Es ist nicht anzunehmen, daß mit dem MCA-Modell und der auf diesem Konzept basierenden Sicherheitspolitik "eine neue Technologie der Beherrschung von Unfällen" (O.H. Groos, Umfang und Grenzen der behördlichen Vorsorge gegen die Gefahren von Atomanlagen) entsteht. Allerdings, je mehr Reaktoren errichtet werden, umso häufiger wird man sich mit dem MCA-Denkmodell auseinandersetzen und es in der ursprünglichen Form, wahrscheinlicher aber in einer der Wirklichkeit stärker angenäherten Form, anwenden.

Der nichtkerntechnischen Anwendung des MCA-Konzepts steht vor allem entgegen, daß die Öffentlichkeit dazu tendiert, eher konventionelle als atomare Risiken zu akzeptieren, und daß die "level of acceptance" (Siddal) bei konventionellen Anlagen mit weniger systematischen und weniger hohen Sicherheitsanforderungen im Vergleich zu Kernanlagen erreicht wird. Eine Änderung dieser Einstellung ist jedoch durchaus denkbar.

FAHRTZEUGE - ANSCHLÜSSE

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Zirkonium, Zirkoniumlegierungen,  
metallartige Verbindungen

1.2 BEZEICHNUNG: Zirkonium und Zirkoniumlegierungen

## 2. B E S C H R E I B U N G

### 2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Zirkonium - und übrigens auch Uran - wurde 1789 von M.H. KLAPROTH in Berlin entdeckt. So eng verflochten und bedeutend ihre Anwendungsgebiete heute sind, beide spielten noch vor 25 Jahren eine untergeordnete Rolle. Zirkonium wurde vor den Zeiten der Kerntechnik in geringen Mengen als Blitzlichtpulver und -draht sowie Gettermaterial in Elektronenröhren verwendet. Die Zunahme der Bedeutung des Zirkoniums läßt sich am besten durch den raschen Anstieg der Produktion veranschaulichen (siehe Zahlenangaben Punkt 8.6). Grund für diesen Bedeutungszuwachs ist die Entwicklung eines relativ einfachen Herstellungsverfahrens (Kroll-Prozeß) und die Entdeckung, daß reines Zirkonium einen äußerst niedrigen Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen hat.

### 2.2 DARLEGUNG DES FALLES

#### 2.2.1 Allgemeines

Zirkonium steht in der Häufigkeitsliste der Elemente an 20. Stelle, ist also häufiger als Kupfer, Nickel, Blei. Es hat bis zum Beginn der Anwendung in der Kerntechnik nur wenig Verwendung gefunden, da stärkere Anreicherungen von Erzen nicht sehr häufig sind, vor allem aber, weil die Aufbereitung zu reinem Metall sehr schwierig und kostspielig ist.

Zirkonium ist ein silbrigglänzendes Metall, das sich jedoch im Laufe der Zeit durch Bildung einer Oxydschicht an der Oberfläche schwarzgrau färbt.

### 2.2.2 Darstellung des Metalls

Die Entwicklung des Zirkoniums zu einem Reaktorwerkstoff ersten Ranges wurde u.a. durch ein Forschungsergebnis stark vorangetrieben: 1945 entwickelte Kroll ein großtechnisches Verfahren der Reindarstellung von Metallen durch Reduktion ihrer Chloride mit Hilfe von Magnesium. Dieser zunächst zur Titanherstellung entwickelte Prozeß wurde 1948 erstmals auch für Zirkonium mit Erfolg angewendet und verdrängte in der westlichen Welt sehr rasch das bis dahin praktizierte Aufwachsverfahren von van ARKEL und de BOER, nach dem das Metall auf Grund einer thermischen Zersetzung von Zirkoniumtetrajodid aus der Gasphase an einem Draht abgeschieden wurde. Durch den Übergang von diesem sehr teuren Jodid-Zirkonium zum Kroll- oder Schwammzirkonium öffnete sich ein Weg zur Herstellung des Metalls in größerem Maßstab. So wurde z.B. im gleichen Jahr noch nachgewiesen, daß Zirkonium ohne das in der Natur mit ihm immer in Größenordnungen von 1 - 3 % beigemischte Hafnium wegen seines geringen Absorptionsquerschnitts für langsame Neutronen ein ausgezeichnetes Reaktorstrukturmaterial ist. Ein Darstellungsverfahren über die elektrolytische Reduktion von  $ZrF_4$ ,  $ZrCl_4$  oder  $K_2ZrF_6$  in Salzschmelzen konnte sich - soweit bekannt wurde - nicht durchsetzen.

Die Verfahren zur Herstellung von Reinzirkonium (mit Hafniumgehalten unter 0,01 %) unterlagen lange einer strikten Geheimhaltung, was sich darin widerspiegelte, daß die russischen Reaktoren bis 1964 noch mit Jodid-Zirkonium gebaut wurden.

Als in der Praxis verwendetes Verfahren zur Dehafnierung des Zirkoniums scheint heute allgemein eine dem Krollprozeß vorgeschaltete Flüssig-flüssig-Extraktion aus der Chloridphase angewendet zu werden. Das auf dem Markt angebotene Zirkonium ist allgemein von Hafnium befreit, da letzteres seinerseits zu einem wertvollen Material für die Reaktortechnik und als Legierungselement in höchsttemperaturfesten Superlegierungen auf Wolfram-Niob-Basis für die Raketentechnik geworden ist. Das Schwammzirkonium wird anschließend in Vakuumlichtbogen- oder anderen Vakuumschmelzöfen (z.B. Elektronenstrahlöfen) geschmolzen.



### 2.2.3 Eigenschaften

Neben einem niedrigen Absorptionsquerschnitt für thermische Neutronen (0,18 barn) und relativ guter Korrosionsbeständigkeit in Wasser (vergl. 2.4) bis zu 300° C hat Zirkonium hinreichende Festigkeit und Duktilität, verträgt sich gut mit  $\text{UO}_2$  (Kernbrennstoff) und ist beständig gegen Neutronenbestrahlung. Allerdings beeinträchtigen bereits geringe Verunreinigungen von Stickstoff die Korrosionsbeständigkeit erheblich, worauf noch hingewiesen wird (2.4.1). Außerdem zeigt Zirkonium große absorptionsfreudigkeit gegenüber Gasen, insbesondere Sauerstoff, Stickstoff und Wasserstoff.

Zirkonium ist allotrop. Die Alpha-Phase (bis zirka 860° C) ist hexagonal, die Beta-Phase kubisch-raumzentriert.

## 2.3 ZIRKONIUMLEGIERUNGEN

### 2.3.1 Zircaloy-2

Mangelhafte Korrosionsbeständigkeit des Zirkoniums bei geringen Verunreinigungen gefährdete die Wirtschaftlichkeit des Kroll-Prozesses. Wollte man kostspielige Reinigungsverfahren vermeiden, so mußte man versuchen, die ungünstigen Einflüsse der Verunreinigungen auf andere Art und Weise auszuschalten. Zu diesem Zwecke wurde (in den USA) eine systematische Legierungsentwicklung betrieben. Eine große Zahl binärer Zirkonsysteme wurde erforscht. Dabei fand man, daß Zinnzusätze wesentlich zur Verbesserung der Korrosionsbeständigkeit beitragen. Weitere Verbesserungen konnten durch geringfügige Zusätze von Eisen, Chrom und Nickel erreicht werden, die verhindern, daß die sich bildende Oxydschicht abblättert.

So entstand 1954 bei Westinghouse das heute als Standardlegierung für wassergekühlte Reaktoren verwendete Zircaloy-2 (Zusammensetzung siehe Punkt 8.2), das in Druckwasser bis zu  $300^{\circ}\text{C}$  korrosionsbeständig ist, und die neuere Variante Zircaloy-4 (Ni durch höheren Fe-Gehalt ersetzt), die allen Anforderungen an Korrosionsfestigkeit bei Temperaturen in Siede- und Druckwasserreaktoren (bis ca.  $320^{\circ}\text{C}$ ) gerecht wird.

### 2.3.2 Neuere Zirkoniumlegierungen für höhere Einsatztemperaturen

Der wirtschaftliche Zwang zu besseren Wirkungsgraden führte auch in der Reaktortechnik zu einem Trend zu höheren Betriebstemperaturen und zur Erzeugung überhitzten Wasserdampfes. Will man dieses Ziel mit Natururanreaktoren erreichen, so ist die Entwicklung von Zr-Legierungen mit erhöhter Korrosionsbeständigkeit und verminderter Versprödungsneigung eine Grundvoraussetzung. Ferner erscheint es wünschenswert, Legierungen höherer Festigkeit zur Verfügung zu haben. Ein erster Schritt auf dem Weg zu diesem Ziel ist der Übergang von Zircaloy zu Zirkoniumlegierungen auf Zirkon-Niob-Basis.

Diese Legierungen korrodieren zwar bei Temperaturen um  $300^{\circ}\text{C}$  stärker als Zircaloy, bei höheren Temperaturen aber nimmt die Korrosionsgeschwindigkeit der Zr-Nb-Legierungen nur noch in geringem Maße zu, so daß sie oberhalb  $400^{\circ}\text{C}$  dem Zircaloy bei weitem überlegen sind.

Dies gilt auch für die mechanischen Eigenschaften und die Wasserstoffversprödung. Besondere Bedeutung kommt dabei den binären Legierungen ZrNb1 und ZrNb 2,5 zu.

## 2.4 TECHNISCHE PROBLEME IM BEREICH DER ZIRKONIUMLEGIERUNGEN

### 2.4.1 Korrosionsverhalten

Die Schwierigkeiten beim Einsatz von Zirkoniumlegierungen kreisen immer wieder um das Problem der Korrosion.

Wie alle unedlen Metalle bildet Zirkonium an seiner Oberfläche mit dem Sauerstoff der Umgebung eine Oxydschicht, die so dicht ist, daß sie bei niedrigen Temperaturen als Schutzschicht wirkt und einer weiteren Oxydation des darunterliegenden Metalls rasch ein Ende bereitet. Das Oxyd, aus dem sich diese Schicht bildet, ist wegen seiner großen Reaktionswärme gegen die meisten chemischen Stoffe, zum Beispiel Säuren und Basen - bis auf die wässrige Lösung des Fluor-Wasserstoffs - beständig. Ungünstiger ist das Verhalten in Wasser von mehreren hundert Grad. Bei Korrosionsangriff des Wassers auf Zirkonium und seine Legierungen treten zwei Vorgänge ein, die zwar en miteinander gekoppelt, aber in ihren Auswirkungen verschieden sind:

- die Oberflächenoxydation, d. h. die Aufnahme von Sauerstoff an der Oberfläche
- die Wasserstoffabsorption, d. h. die Aufnahme von Wasserstoff ins Innere des Metalls

Charakteristisch für Zirkonium und seine Legierungen ist, daß die Oxydation in zwei Stufen abläuft:

- Die Bildung einer zunächst festhaftenden, schützenden Oxydschicht. Das Wachsen der Oxydschichtdicke folgt einer logarithmischen Funktion, d. h. die Oxydationsgeschwindigkeit nimmt mit der Zeit ab.
- Nach einer bestimmten Zeit, die sich von Legierung zu Legierung sehr stark unterscheiden kann und von der Temperatur abhängig ist, bedingen innere Veränderungen der Oxydschicht einen Umschlag in eine Oxydation nach einem linearen Zeitgesetz mit vergrößerter Oxydationsgeschwindigkeit. Das Oxyd wird in dieser Stufe rissig und blättert ab. Das Abblättern von Oxydschichten ist aber beim technischen Einsatz in jedem Falle unzulässig und begrenzt somit die Lebensdauer von Zirkoniumbauteilen.

Bei der Oxydation des Zirkoniums in Wasser wird Wasserstoff freigesetzt. Bei der ausgeprägten Neigung des Zirkoniums zur Gasaufnahme wird ein Teil des Wasserstoffs vom Metall absorbiert. Dieser geht zunächst im Metallgitter in Lösung, nach Überschreiten der Löslichkeitslinie scheidet sich jedoch im Metall Zirkonhydrid aus, was einen negativen Einfluß auf die mechanischen Eigenschaften des Materials hat. Insbesondere bei höheren Temperaturen tritt starke Versprödung auf.

Über beide Probleme laufen gegenwärtig im Zusammenhang mit der Entwicklung neuer Legierungen umfangreiche Untersuchungen.

#### 2.4.2 Verarbeitungsschwierigkeiten und Einwirkung höherer Temperaturen

Die ausgeprägte Gasaffinität des Zirkoniums zwingt dazu, Verarbeitungsoperationen, die bei hohen Temperaturen vor sich gehen, in reinstem Schutzgas oder im Hochvakuum vorzunehmen. Besonders wichtig ist dieser Gesichtspunkt beim Schweißen, denn eine erhöhte Stickstoffaufnahme während eines herkömmlichen Schweißvorgangs würde zu Versprödung und verstärkter Korrosion der Schweißzonen bei Feuchtigkeitseinwirkung führen. Geeignet ist insbesondere das Elektronenstrahlschweißen (vergl. auch dort).

Die Allotropie des Zirkoniums bedingt einen starken Einfluß der Wärmebehandlungen sowohl auf die mechanischen Eigenschaften als auch auf das Korrosionsverhalten. Durch sinnvolle Wahl der Wärmebehandlungen und Verformung lassen sich die Eigenschaften der Zr-Legierungen in bestimmten Grenzen beeinflussen. Das Verhalten des in der Beta-Phase geglühten Materials ist zum Beispiel nicht nur bezüglich der Korrosionsbeständigkeit, sondern auch hinsichtlich seiner Neigung zur Wasserstoffversprödung wesentlich ungünstiger als die kaltgewalzte und in der Alpha-Phase geglühte Zr-Legierung.

Zirkoniumpulver ist explosiv und entzündet sich bereits bei einer Temperatur von  $150^{\circ}$  C. Die Reaktion mit Sauerstoff ist stark exotherm (2,8 kcal/g). Entsprechend sind gewisse Vorsichtsmaßnahmen bei der Verarbeitung, besonders bei der spanabhebenden Formgebung, zu treffen.

### 3. URHEBER , HERSTELLER

#### 3.1 URHEBER

Entdeckung des Metalls durch M.H. KLAPROTH 1789 in Berlin. Seit 1948 großtechnische Darstellung nach dem von Kroll 1945 entwickelten Verfahren.

Entwicklung der Zircaloy-Legierungen in den USA durch die Firma WESTINGHOUSE etwa 1954.

Entwicklung der Zr-Cu-Mo-Legierungen: VICKERS-ARMSTRONG (USA)  
Entwicklung bestimmter Zr-Nb-Legierungen bei SSW und Metallgesellschaft.

#### 3.2 HERSTELLER

Maßgebliche deutsche Hersteller von Zirkoniamschwamm als Rohmaterial gibt es nicht (die Firma DEGUSSA befaßt sich mit der Zirkoniumherstellung, hat aber noch keine eigene Produktion auf dem Markt angeboten).

Zirkonium und Zirkoniumlegierungen stellen u.a. folgende Firmen her:

##### In der BRD

- W.C. HERAEUS GmbH

##### Frankreich

- COMPANIE DES PRODUITS CHIMIQUES ET ELECTROMETALLURGIQUES
- UGINE (zweitgrößter Hersteller in der Welt, siehe Punkt 8.7)
- PECHINEY (stellt augenblicklich keinen Zirkoniamschwamm her)

##### Großbritannien

- BLACKWELL'S METALLURGICAL WORKS Ltd

##### U S A

- THE CARBORUNDUM METALS CO.
- WAH CHANG CORP., ALBANY, OREGON (größter Zirkoniumproduzent in der Welt, siehe Punkt 8.7)
- UNION CARBIDE
- HARVEY ALUMINIUM INC. u.a.

Weitere Hersteller von Rohzirkonium sind:

- Kanada
- Japan
- Schweden

### 3.3 VERARBEITER

Die Firma W.C. HERAEUS schmilzt das bezogene, bereits dehafnierte Zirkonium in Blöcke um, die durch Walzen zu Rundmaterial, Stangen und Draht oder zu Strangpreßbolzen weiterverarbeitet werden.

Die Firma VEREINIGTE DEUTSCHE METALLWERKE bezieht Zirkonium und Zircaloy in Form von Strangpreßbolzen und fertigt nahtlose Rohre.

Weitere Firmen, die sich mit der Herstellung von Zirkonium- und Zircaloy-Halbzeug befassen, sind:

- DEW (Deutsche Edelstahlwerke AG), Krefeld
- FRANK & SCHULTE
- FRIEDR. KRUPP, Schmiede und Gießerei, Essen
- CSF (Companie de Téléphonie sans Fil), Frankreich
- SANDVIKSTAHL, Schweden
- CEFILAC
- VALLOUREC

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

##### 4.1 HEUTIGER STAND

Die bisherigen Forschungsarbeiten brachten zusätzlich zu den Erkenntnissen hinsichtlich des Reinzirkoniums und der Zirkonium-Zinn-Legierungen in Form des Zircaloy-2 und -4 Ergebnisse über binäre Zr-Niob-Legierungen und feste Lösungen von Zr-Cu-Mo. Die letztgenannten Legierungssysteme stehen gerade an der Grenze des Übergangs zur großtechnischen Anwendung; sie wurden in erster Linie für Heißdampf- und CO<sub>2</sub>-gekühlte Reaktoren entwickelt.

##### 4.2 AUSBLICK AUF WEITERE ENTWICKLUNGEN

Es zeichnet sich die Möglichkeit ab, die binären Zr-Nb-Legierungen durch ternäre Zusätze noch wesentlich in bezug auf Korrosionsbeständigkeit und Wasserstoffversprödung zu verbessern. Auch Legierungen auf Zr-Cu-Basis werden weiter untersucht. Nach den bisherigen Teilergebnissen läßt sich mit Zuversicht voraussagen, daß es in einigen Jahren möglich sein wird, Zr-Legierungen für Dampf-Temperaturen von 450° - 500° C herzustellen. Die Temperaturen, denen das Material dabei ausgesetzt wird, sind bei Verwendung von Zr-Legierungen als Hüllenmaterial im Reaktor unter Berücksichtigung des Temperaturabfalls von der Oberfläche des Kernbrennstoffs bis zur Temperatur des Kühlmittels (Dampf) noch um einiges höher.

Das CEA betreibt die Entwicklung von Zr-Cu-Legierungen (z.B. ZrCu 1,6% und ZrCu 2,5%) als Hüllenmaterial für Kühlgas (CO<sub>2</sub>)-Temperaturen oberhalb 500° C.



Entwicklungen von Zr-Legierung für flüssiges Natrium als Kühlmittel be-  
fassen sich mit quaternären Legierungen z.B. Zr-Mo-Al-Sn und mit Pseudo-  
legierungen mit einer Dispersion in Zr-Metallmatrix.

Der Aufwand für Entwicklung konnte bei einem Zirkonium-Verarbeiter, der als  
repräsentativ anzusehen ist, mit etwa 5 % des Umsatzes ermittelt werden.  
Die Tendenz des Aufwandes für Forschung und Entwicklung ist insofern  
steigend, als die tatsächlichen Kosten den geplanten Aufwand regelmäßig  
übersteigen. Gelegentlich wurden auch Entwicklungsarbeiten gegen anfallen-  
de Kosten für fremde Auftraggeber durchgeführt (z.B. Euratom-Auftrag  
über Zirkon-Niob-Legierungen).

## 5. ANWENDUNG

### 5.1 ALLGEMEINES

Die Verwendung des Zirkoniums und in größerem Ausmaß noch seiner korrosionsbeständigen Legierungen wurde für den Reaktorbau interessant mit der Entdeckung seines extrem niedrigen Einfangquerschnitts (0,18 barn) für thermische Neutronen. Gegenüber den drei anderen Metallen ähnlicher Neutronen-Transparenz - Aluminium (0,24 barn), Magnesium (0,063 barn) und Beryllium (0,01 barn) - zeichnet es sich darüber hinaus durch verhältnismäßig gute Korrosionsbeständigkeit aus, die es auch für Verwendungen außerhalb des Reaktorkerns und für nicht kerntechnische Anwendungszwecke geeignet erscheinen läßt.

Zircaloy-2 und -4 finden für Reaktorzwecke und chemische Apparate Verwendung, Reinzirkonium nur noch in geringen Mengen für chemische Apparate.

### 5.2 ANWENDUNGSBEISPIELE AUS DER KERntechnik

Den ersten größeren Einsatz fand Zirkonium 1953 als Hüllen- und Strukturmaterial im Land-Prototyp STR Mark I des ersten atomkraftgetriebenen U-Bootes Nautilus. Das Zirkonium für diesen Reaktor war noch auf dem Weg über das Jodidverfahren hergestellt worden. Der wirtschaftliche Aufwand dafür hätte sich für nicht-militärische Zwecke niemals rechtfertigen lassen.

Bei Siede- und Druckwasserreaktoren werden Strukturteile der verschiedensten Art aus Zirkonium und Zircaloy-2 und -4 gefertigt, z.B.

- Brennstoffhüllrohre
- Brennelementkästen
- Abstandhalter und andere Brennelementteile, wie z.B. Düsen und Führungsstücke für die Strömungsverteilung im Element

Für gasgekühlte Reaktoren werden darüber hinaus auch

- Druckröhren
  - Strömungskanäle aus Zircaloy
- gefertigt.

### 5.3 NICHTKERNTÉCHNISCHE ANWENDUNGEN

#### 5.3.1 Metallerzeugende Industrie

Keine Anwendungsbeispiele bekannt.

#### 5.3.2 Chemische Industrie

Darstellung technischer Gase:

Zirkoniumschwamm statt Barium zum Entfernen von  $N_2$  u.  $O_2$  aus Inertgasen.

Chemikalien- und Farbstoffherstellung:

Auskleidung für chemische ReaktionsgefäÙe, in denen aggressive Medien umgesetzt werden (z.B. Zwischenprodukte bei der Kresolsynthese aus Phenol und Methanol).

Wärmetauscher

Rohrleitungen

Auskleidung von Autoklaven (vergl. Punkt 5.3.5)

#### 5.3.3 Elektroindustrie

Zirkonium-Niob-Verbindungen finden Anwendung als Material für harte Supraleiter.

Ältere Anwendungen, z.B. für Blitzlichtlampen und Elektronenröhren, lassen sich in keiner Weise in Zusammenhang mit der Entwicklung für die Kerntechnik bringen. Hingegen wurden neuerdings Versuche unternommen, Wendeln für sehr helle Glühlampen aus Zirkonium herzustellen.

#### 5.3.4 Feinmechanik, Optik, EBM-Waren

Medizinische Geräte:

Zirkonium und Zircaloy werden diskutiert und vereinzelt bereits angewendet.

Material für chirurgische Instrumente

#### 5.3.5 Maschinen- und Gerätebau

Apparatebau:

Für die Auskleidung von Autoklaven für korrosive Medien wird neuerdings Zirkonium verwendet statt Tantal, für Drücke bis zu 350 at und Temperaturen bis zu 450° C (Beginn einer industriellen Anwendung)

#### 5.3.6 Kraftfahrzeug-, Flugzeug- und Raumfahrtindustrie

Raumfahrzeugindustrie: hitzebeständiges Material für Verbrennungsräume von Super-Raketen und Düsen-Triebwerken

#### 5.3.7 Dienstleistungen, Forschung

Medizin:

in einigen Fällen bisher Verwendung von Zirkonium für Implantate, z.B. Schädelplatten

## 6. AUSWIRKUNGEN

### 6.1 ALLGEMEINES

Es hat sich gezeigt, daß der Verwendung des Zirkoniums und seiner Legierungen von vielen Seiten Interesse beigemessen wird, wobei man sich von dem Einsatz des Materials in erster Linie wirtschaftliche Vorteile verspricht: Bei guter Korrosionsfestigkeit in Temperaturbereichen bis zu 300° C liegt es im Materialpreis heute relativ niedrig und ist damit gegenüber Titan, das ähnliche Eigenschaften besitzt, nahezu konkurrenzfähig. Die Ähnlichkeit der beiden Metalle - sie stehen in derselben Gruppe des periodischen Systems der Elemente unmittelbar untereinander - bewirkte übrigens auch eine starke gegenseitige Befruchtung der Titan- und Zirkoniumtechnologie.

### 6.2 SUBSTITUTION

Als korrosionsfestes Material kann Zirkonium grundsätzlich in Frage kommen für eine Substitution der Edelmehle und der ihm ähnlichen Materialien, wie z.B. Titan, Tantal, Niob, Nickel und Nickellegierungen, aber auch Al, Mg, SAP. Dabei wird es aus wirtschaftlichen Gründen sicher nicht zu einer generellen Substitution der Edelmehle kommen, da diese nicht nur wesentlich billiger sind, sondern sich auch leichter verarbeiten lassen.

Hingegen würde auch eine teilweise Substitution des Tantals z.B. dort, wo eine Zirkoniumlegierung den Anforderungen an chemische Widerstandsfähigkeit gerecht werden könnte, große wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen, wie sich aus einem Vergleich der Preise für die beiden Materialien ergibt (vergl. 8.6). Inwieweit diese Substitution bereits fortgeschritten ist, ließ sich zahlenmäßig nicht ermitteln.

Gold-Zirkoniumlegierungen können aufgrund ihrer großen Härte Platin und Iridium ersetzen.

Zirkonium stellt hinsichtlich der Korrosion eine höherwertige Substitution des Titan dar, das ihm jedoch durch niedrigere Kosten überlegen ist. Grenzen der Substitution zeigen sich überall dort, wo es gelingt, mit herkömmlichen Materialien denselben Erfolg zu erringen.

### 6.3 WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

Die technischen Möglichkeiten einer Ausbreitung der Anwendungsbereiche ergeben sich aus den Eigenschaften des Materials:

Sie sind in Punkt 5.1 zusammengefaßt.

Zirkonium wird in Westdeutschland nur verarbeitet.

Die Schwerpunkte der Beschaffungsmärkte liegen in USA und Frankreich.

Die Einfuhren betragen rund 20 t/a für das Jahr 1966.

Entsprechend beläuft sich die Menge des in der Bundesrepublik verarbeiteten Zirkoniums ebenfalls auf 20 t/a. Der Hauptanteil davon geht in die Reaktorbauindustrie. Für die Europäische Atomgemeinschaft dürfte der Zirkoniumbedarf für Kernenergieanlagen bis 1980 im Durchschnitt bei 100 bis 150 t/a liegen. Über den Anteil der Erzeugung für den nicht kerntechnischen Bedarf lassen sich keine genauen Angaben machen.

Für den Verarbeiter M machte eine Lieferung an den chemischen Apparatebau in einem Jahr (1965) über 10 % des Gesamtumsatzes im Zirkoniumgeschäft aus. Aber sowohl dieser Prozentsatz als auch die Gesamtproduktionsmenge im Jahre 1966 läßt noch keine repräsentativen Schlüsse zu, da bei den geringen Mengen ein einzelner Auftrag den Umsatz um Größenordnungen von 100 % steigern kann, z.B. durch eine Lieferung für einen Leistungsreaktor. Dasselbe gilt für den Exportanteil, der in den letzten Jahren meist kleiner als 10 % war, aber durch einen Auslandsauftrag bei einer

deutschen Reaktorfirma sich von heute auf morgen ändern könnte. Wenn die Bedeutung der Supraleiter-Technik zunimmt, ist in weiterer Zukunft mit einem verstärkten Bedarf von Zirkonium auf diesem Gebiet zu rechnen.

Für den Verarbeiter M macht das Zirkoniumgeschäft nur etwa 1 % des Gesamtumsatzes aus und dürfte damit - auf das Unternehmen bezogen - zunächst keine größeren Auswirkungen zeigen. Es sind jedoch für die nächste Zeit größere Investitionen geplant, in deren Rahmen neue Maschinen für die Zirkoniumverarbeitung zur Aufstellung kommen sollen. Der Hersteller N hat die Produktion von Zirkoniumhalbzeug 1956 aufgenommen, da sie in das Produktionsprogramm paßte; die Schmelzöfen (für die Herstellung reinen Titans) waren vorhanden.

Von 1958 an ging man zum Schmelzen in Elektronenstrahlöfen über. Der vom Zirkonium bedingte Umsatz war nicht zu ermitteln.

#### 6.4 SOZIALER SEKTOR

Änderungen auf dem sozialen Sektor für die sich mit Zirkoniumverarbeitung befassenden Firmen und deren Belegschaft sind nur in beschränktem Umfange zu erwarten, da zwar die Produktion des Metalls über völlig neue Prozesse vor sich geht, nicht aber die Weiterverarbeitung. Für die Umschmelzung des Zirkoniumschwamms werden Verfahren angewendet (z.B. Elektronenstrahlschmelzen), die ein Maß an Sauberkeit ermöglichen, das einer labormäßigen Darstellung nahekommt, und die in keiner Weise mit den üblichen Verhüttungsprozessen zu vergleichen sind.

Die Herstellung des Zirkonium- und Zircaloy-Halbzeugs geht über konventionelle Methoden der Kalt- und Warmverformung vor sich.

Sonderbehandlungen werden durchgeführt bei der Wärmebehandlung und bei der abschließenden Oberflächenbearbeitung und bei allem, was die Sauberkeit und den Prüfaufwand betrifft. Das zu Halbzeug verarbeitete Material wird häufig mit mehreren Verfahren der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung (z.B. Ultraschall- und Wirbelstromverfahren) getestet. Anschließend wird es in Plastikschtzhüllen verpackt. Die geforderte vorsichtige und sorgfältige Handhabung stellt Anforderungen an die Gewissenhaftigkeit des Personals, die über das übliche Maß weit hinausgehen.

Der Anteil der Arbeiten, die von Gehaltsempfängern durchgeführt werden, z.B. Laborarbeiten, ist erheblich höher als bei anderen verarbeiteten Materialien, z.B. Tombak; er ist aber durch den höheren Wert des Materials zu vertreten.

#### 6.5 FIRMENVERFLECHTUNGEN UND FIRMENZUSAMMENARBEIT

Firmenverflechtungen auf gesellschaftlicher Grundlage, die aus der Herstellung oder Verwendung des Zirkoniums und seiner Legierungen resultieren, wurden nicht ermittelt, ebensowenig Anzeichen für künftige Zusammenschlüsse.

In einem Herstellerwerk N hat es eine Umstrukturierung gegeben, die auf eine klarere Abgrenzung der Tätigkeitsgebiete abzielt, jedoch nicht allein auf die Aufnahme der Zirkoniumverarbeitung zurückzuführen ist, sondern einer Entwicklung entspricht, die die breitere Verwendung von im Hochvakuum erschmolzenen Materialien im allgemeinen widerspiegelt. Auf die gegenseitige Befruchtung der Technologie von Titan-Zirkonium wurde bereits hingewiesen (Punkt 6.1).

Firmenverflechtungen auf dem Gebiet der Metallerzeugung und -verarbeitung sind seit langem üblich; eine Spezifizierung der Einflüsse,



die zu neuen Verflechtungen führen, dürfte außerordentlich schwierig sein.

Auffallend ist die Zusammenarbeit zwischen Erzeuger und Weiterverarbeiter, die oft so weit geht, daß beide Halbzeug fertigen, aber die Sortimente streng trennen. So wurde z.B. beobachtet, daß ein Erzeuger zwar u.a. Platinen herstellt und Bleche walzt, die Fertigung von Rohren aber zugunsten eines Kunden aufgegeben hat (die Gründe hierfür sind unbekannt); dieser Kunde sich seinerseits auf die Erzeugung von Zr-Halbzeug beschränkt, um seinen Abnehmern - meist aus dem Bereich des Apparatebaus - keine Konkurrenz zu machen. Ob dieses Verhalten auf die Tatsache zurückzuführen ist, daß die Nachfrager wegen der Neuigkeit des Materials noch nicht auf echte Marktprinzipien eingestellt sind, ist zu prüfen.

Zwischen einem Erzeuger und Verarbeiter besteht eine enge Zusammenarbeit (ohne gesellschaftsrechtliche Grundlage) auf dem Gebiet der Forschung und Entwicklung.

#### 6.6. GESAMTWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

Der Einsatz des Zirkoniums außerhalb der Reaktortechnik ist noch nicht so weit verbreitet, daß er als großtechnische Anwendung angesehen werden kann. Aussagen über Auswirkungen, die über die Hersteller bzw. Verarbeiter und die unmittelbaren Verwender hinausgehen, können noch nicht gemacht werden.

## 7. BEDEUTUNG

### 7.1 GEGENWÄRTIGE BEDEUTUNG FÜR DIE NICHT-KERNTECHNISCHE INDUSTRIE

Aus der geringen Zahl von Anwendungsfällen und den verhältnismäßig unbedeutenden Mengen von Zirkonium für den Einsatz außerhalb des Reaktorbaus ergibt sich, daß die wahre technische und wirtschaftliche Bedeutung des Materials noch nicht erkannt wird. Dafür ist nicht so sehr sein im Vergleich zu erkömmlichen Werkstoffen hoher Preis, sondern vielmehr die Tatsache verantwortlich, daß Zirkonium in Kreisen außerhalb der Kerntechnik praktisch unbekannt ist. Während sich für Titan bereits allgemein eine gedankliche Verbindung zu einem Werkstoff geringen spezifischen Gewichtes mit hinlänglichen mechanischen und sehr guten chemischen Eigenschaften ergibt, verbinden sich selbst für viele Ingenieure mit Zirkonium nur sehr vage Vorstellungen.

### 7.2 ZUKÜNFTIGE BEDEUTUNG

Es sind jedoch sehr günstige Entwicklungsmöglichkeiten zu erwarten. Die Ausweitung der Anwendung von Zirkoniumlegierungen und die zukünftige Bedeutung wird wesentlich von der Preisentwicklung abhängen. Aber ein noch stärker ins Gewicht fallender Faktor dürfte die Frage sein, inwieweit sich die Zirkoniumverarbeitung technologisch in den Griff bekommen lassen wird, und wie wirksam die Hersteller die bisher festgestellte Reserviertheit in potentiellen Abnehmerkreisen überwinden können, zum Beispiel durch geeignete Beratung oder in Form von Fertigung von Nullserien.

8. ZAHLENMÄSSIGE ANGABEN ZU DEN  
PUNKTEN 2 - 7

8.1 DATEN ZUR GESCHICHTLICHEN ENTWICKLUNG

Entdeckt:	im Jahre 1789
Großtechnische Darstellung:	seit 1948
Erste Anwendung im Reaktor:	1953
Produktion von Zr-Halbzeug in Deutschland	seit 1956

8.2 TECHNISCHE DATEN

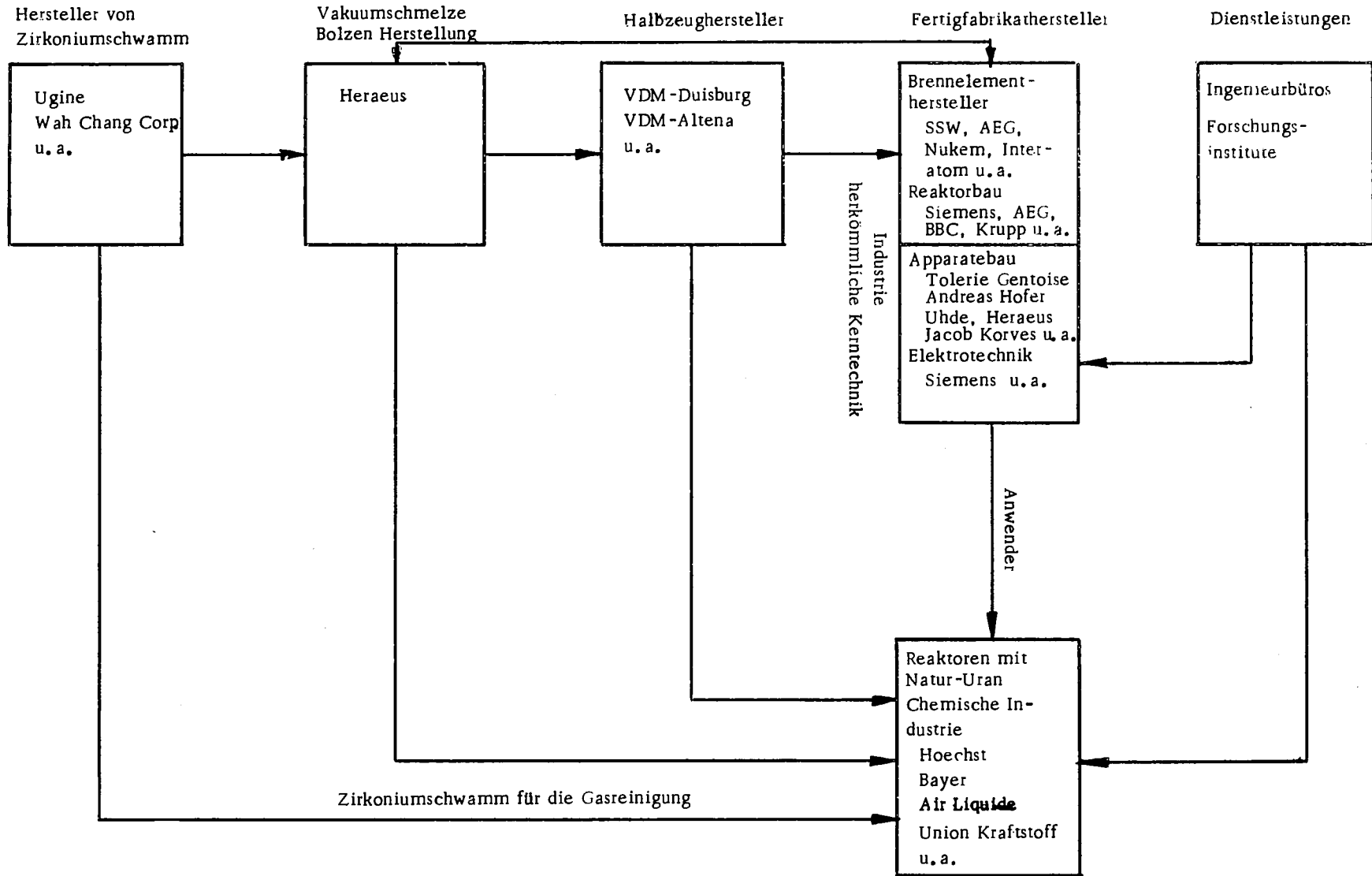
8.2.1 Physikalische Eigenschaften des Zirkoniums

Ordnungszahl im periodischen System:	40	
Atomgewicht:	91,22	
Spezifisches Gewicht:	6,5 g/cm <sup>3</sup>	
Schmelzpunkt:	1845 - 1860° C	
Verbrennungswärme bei Oxydation mit O <sub>2</sub> :	2,8 kcal/g	
Einfangquerschnitt für thermische Neutronen:	0,18 barn	
Gitteraufbau: Alpha-Phase	Hexagonal	bis 860° C
	Beta-Phase	kubisch-raumzentriert bis zum Schmelzpunkt
Mittlerer Ausdehnungskoeffizient in Richtung der Achse a:	zwischen 25° und 863° C: 5,5 x 10 <sup>-6</sup> /° C	

### 8.2.2 Mechanische Eigenschaften und Verhalten in korrosiver Atmosphäre

LEGIERUNG	Zirkonium	Zircaloy-2	Zr Nb 1	Zr Nb 2,5	ATR-Legierung Zr Cu 0,5 Mo 0,5	ZrCr 15 Fe 0,1
korrosionsbeständig in Druck- und Siedewasser bis	250°-(308°)	300°-(330°)	400°-(450°)	400°-(450°)		
korrosionsbeständig in Heißdampf bis	-	-	-	-		500°
korrosionsbeständig in CO <sub>2</sub> bis	-	450°-(500°)	-	-	450°-500°(550°)	
Zugfestigkeit (bei H <sub>2</sub> -Gehalt von <sup>2</sup>200 ppm) in kg/mm <sup>2</sup>	ca. 25	ca. 40	ca. 40	55		
Bruchdehnung in % (bei geringem H <sub>2</sub> -Gehalt) kaltgewalzt, Alpha-geglüht		30	33	26		

# HERSTELLERVERFLECHTUNG



#### 8.4 ENTWICKLUNG

Die von der Weiterentwicklung angestrebten Daten erscheinen unter Punkt 8.2.2 in Klammern.

#### 8.5 ZAHLENGABEN ZUR ANWENDUNG

Können zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht gemacht werden.

Es ließ sich nicht ermitteln, wieviel Zirkonium insgesamt verbraucht wird, eine Aufgliederung auf Branchen hingegen ist vollends unmöglich.

Für einen Halbzeughersteller betrug der Absatz von Zirkonium für chemische Apparate 1964 geringfügig über 10 %.

#### 8.6 ZAHLENMÄSSIG ZU ERFASSENDE AUSWIRKUNGEN

##### Vergleichende Materialkosten (in DM/kg)

	<u>1966</u>	<u>1965</u>	<u>1960</u>	<u>1948</u>
Zirkoniamschwamm	40 - 60	40 - 60	60	6.000
Zirkoniumbarren und Bolzen	60 - 80			
Zirkoniumblech	130 - 150			
Zirkoniumrohre (verschieden nach Abmessung und Oberflächen- güte)	200 - 300			
Titanblech	70			
Tantalblech	800			
Platin	21.100			
Gold	4.600			
Edelstahlblech	5			

Welt-Jahresproduktion an Zirkonium siehe Punkt 8.7

Einfuhren von Rohzirkonium in die BRD (t/a)

1966 ca. 20

Ausfuhren von Halbzeug an Zirkonium und Zirkoniumlegierungen  
(in % der verarbeiteten Zirkoniummengen)

1966 ca. 10 <sup>1)</sup>

### 8.7 BEDEUTUNGSZUWACHS

Der Bedeutungszuwachs läßt sich durch eine Gegenüberstellung der Jahresproduktionsziffern und des Zirkoniumpreises deutlich machen.

	<u>1948</u>	<u>1960</u>	<u>1964</u>	<u>1965</u>	<u>1966</u>	<u>1967</u>
WELT-JAHRES- PRODUKTION (t/a)	ca. 1			10.000 <sup>2)</sup>		
<hr/>						
PRODUKTION EINZELNER UNTER- NEHMEN (t/a)						
Wah Chang, Albany - USA				500	1.000	
Ugine, Frankreich			50	100	225	360
<hr/>						
Preise (DM/kg Roh- zirkonium)	ca. 6.000	60		ca. 40	40(-60)	

1) nicht charakteristisch, vergl. hierzu Bemerkung unter 6.3

2) Diese Produktionsziffer, die in einer Arbeit von U. RÖSLER in der Siemenszeitschrift 39 (1965) Heft 5 genannt wird, wird von einem deutschen Hersteller bezweifelt

FALL-NR.: 2261.090

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Polymerisationskunststoffe

1.2 BEZEICHNUNG: Kunststoffe auf Fluorkohlenstoff-Basis  
(TEFLON, HOSTAFILON u.a.)



## 2. B E S C H R E I B U N G

### 2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Die Tatsache, daß Tetrafluoräthylen (TFE) polymerisierbar ist, wurde 1938 im Jackson-Laboratorium der Chambers Works von Du Pont de Nemours von Roy J. Plunkett durch Zufall entdeckt, als er mehrere Wochen lang gelagertes TFE wiederverwenden wollte und dabei herausfand, daß sich der sonst gasförmige Stoff in ein weißes Pulver verwandelt hatte.

Am 4. Februar 1941 wurde Plunkett das amerikanische Patent erteilt.

Die erste Anwendung fanden die TFE-Harze als Dichtungen für Fluorzellen in den Dampf-Diffusionsanlagen der US AEC in Oak Ridge, wo über Uranhexafluorid Uran 235 für die Herstellung der ersten Atom-bombe angereichert wurde.

Aufgrund der chemischen Unempfindlichkeit von PTFE-Kunststoffen führten die Entwicklungsarbeiten rasch zu neuen Anwendungen, wo für neben ihrer chemischen Beständigkeit die ausgezeichneten dielektrischen Eigenschaften und die Durchlässigkeit für Funkwellen maßgebend waren.

Bereits Ende 1946 fanden die PTFE-Kunststoffe weltweite militärische Anwendung. In dieser Zeit wurde auch der Name TEFLON, das eingetragene Warenzeichen der Firma Du Pont, geprägt.

Die erste friedliche Anwendung fand PTFE etwa 1946/47 als (durch Extrusion verarbeitetes) Material für Drahtisolierungen und Rohre.

Im Jahre 1952 erreichte das erste Foliengießverfahren Produktionsreife.

1956 gelang die Darstellung eines kombinierten Polymerisats von Tetrafluoräthylen und Hexafluorpropylen, das heute unter dem Namen FEP gekennzeichnete Äthylenpropylenmischpolymerisat.

in Deutschland hatte man bereits 1934 die Polymerisationsfähigkeit von Trifluorchloräthylen entdeckt und auch ein entsprechendes Patent angemeldet - das erste auf dem Gebiet der vollständig halogenierten Polymere überhaupt.

Man verstand jedoch zunächst mit diesem Polymerisat nichts anzufangen. Erst aufgrund der Anregungen, die nach dem Krieg aus Amerika kamen, begann man 1949 mit der Entwicklung des HOSTAFILON C (eingetragenes Warenzeichen der Farbwerke Hoechst AG), eines Kunststoffes auf Trifluorchloräthylenbasis, das von 1953 bis 1965 im technischen Maßstab (5 - 40 t/Monat) hergestellt wurde. Seither wird in Deutschland ausschließlich Polytetrafluoräthylen produziert, das unter dem Namen HOSTAFILON TF (eingetragenes Warenzeichen der Farbwerke Hoechst AG) vertrieben wird.

## 2.2 EIGENSCHAFTEN

### 2.2.1 Chemischer Aufbau und Darstellung

#### Aufbau

Die meisten der außergewöhnlichen Eigenschaften der Fluorkohlenstoff-Kunststoffe sind ein logisches Ergebnis ihres chemischen Aufbaus aus Kohlenstoff und Fluor.

Das Fluoratom ist eines der am heftigsten reagierenden Atome, dessen chemische Verbindungen von ungewöhnlicher Stabilität sind. Die Kohlenstoff-Fluor-Bindung ist eine der stärksten Bindungen, die man überhaupt kennt. Die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung, das Rückgrat der Polymerisationskette, gilt als eine der stärksten Einzelbindungen, die in der Lage ist, hochpolymere Moleküle zu bilden.

Die Fluoratome besitzen eine günstige Größenrelation im Verhältnis zu den von ihnen umgebenen Kohlenstoffatomen: Die Fluoratome bilden eine dichte, spiralförmige Bewehrung, um die Kohlenstoffkette vor der Beeinträchtigung durch andere chemische Reagenzien zu schützen. Wären die Fluoratome kleiner, so würden sich in diesem Schutzschild Lücken ergeben, und wären sie größer, so würden sie sich aufeinander drängen und wären nicht in der Lage, einen glatten, symmetrischen Schutzmantel zu bilden.



Fluorkohlenstoff-Kunststoffe besitzen ein ungewöhnlich hohes Molekulargewicht, das heißt die Zahl der Grundbausteine wiederholt sich sehr oft (10.000 bis 100.000 mal) innerhalb einer Polymerkette; demgegenüber beträgt bei anderen Polymerisaten die Kettenlänge oft weniger als 5.000 Einheiten.

Ein weiterer Faktor von Bedeutung für die Stabilität der Fluorkohlenstoffharze sind die sekundärwertigen Kräfte, die die Polymerisationsketten miteinander verbinden. Diese Kräfte, die beim PTFE etwa nur ein Zehntel so stark sind wie die primärwertigen Kräfte, bestimmen weitgehend die physikalischen Eigenschaften des Polymerisats.

#### Darstellung

Die Darstellung erfolgt ausgehend vom Tetrafluoräthylen ( $\text{CF}_2 = \text{CF}_2$ ) durch Polymerisation unter Ausschluß von Sauerstoff.

In der Praxis haben sich zwei Polymerisationsverfahren durchgesetzt:

- Polymerisation in wässriger Suspension bei ca.  $60^\circ \text{C}$  über Borax, Ammoniak o.a.
- Polymerisation in wässriger Emulsion mit Peroxysulfaten bei Temperaturen von  $70 - 80^\circ \text{C}$ .

Die Emulsionspolymerisation ist vor allem dann vorteilhaft, wenn irgendwelche Füllstoffe in das Polymerisat eingearbeitet werden sollen.

Die Verarbeitung des polymerisierten Vorprodukts, das in Form eines weißen Pulvers mit Körnungen von 40 und  $350 \mu$  geliefert wird, erfolgt auf verschiedenen Wegen.

Die Formgebung der PTFE-Harze geschieht in drei Stufen:

- Verdichtung des Formpreßpulvers durch Pressen, seltener auch durch Pastenextrusion (mit Schmiermitteln als Extrudierhilfe) für Vollzug und dünnwandige Profile (bei Drücken bis zu  $700 \text{ kg/cm}^2$ )
- Verbindung nebeneinanderliegender Oberflächen der Teilchen durch Sintern, d.h. Erhitzen bis auf  $380^\circ \text{ C}$ , entweder in der Preßform oder frei in entsprechenden Öfen
- Abkühlen bzw. Abschrecken zur Steuerung des kristallinen Gehalts (Prozentsatz des Gewichts, der auf diejenigen Teile von Molekülen entfällt, die in einer regelmäßigen oder kristallinen Weise angeordnet sind).

Neuerdings sind auch wässrige Polytetrafluoräthylen-Dispersionen erhältlich. Sie werden wie andere Kunststoffdispersionen aufgebracht. Nach dem Auftrocknen wird das Polymere einer Sinterbehandlung bei ca.  $350^\circ \text{ C}$  unterworfen.

Das Mischpolymerisat FEP und Polytrifluorchloräthylen besitzen gegenüber Polytetrafluoräthylen den Vorzug, daß sie sich mit den für Thermoplaste geeigneten Maschinen in üblicher Weise (z.B. durch Spritzguß, Schmelzextrusion, Formpressen, Blasverfahren) verarbeiten lassen. Die Verformung des Materials wird bei  $240 - 280^\circ \text{ C}$  unter Druck bis zu  $150 \text{ kg/cm}^2$  vorgenommen.

## 2.2.2 Charakteristische Eigenschaften

### Temperaturbeständigkeit

Fluorkohlenstoff-Kunststoffe besitzen eine außerordentliche Temperaturbeständigkeit. Sie beträgt für PTFE dauernd bis etwa  $260^\circ \text{ C}$ , kurzzeitig bis mehr als  $300^\circ \text{ C}$  (allerdings gehen die guten mechanischen Eigenschaften bei diesen Temperaturen weitgehend verloren). Die Temperaturbeständigkeit, vereint mit

anderen Eigenschaften, macht es für Wärmeisolierungen, aber auch für haftungsabweisende Überzüge von Haushaltspfannen und Waffeleisen interessant.

Ein anderes, für viele Anwendungen bedeutendes Charakteristikum von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen, insbesondere von PTFE, für viele Anwendungen (z.B. Dichtungen in Tieftemperaturtechnik bis zu  $-250^{\circ}\text{C}$ , Ventilsitze für heiße Gase bis zu  $\geq 200^{\circ}\text{C}$ , Packungen  $\geq 200^{\circ}\text{C}$ ) ist die Eigenschaft dieses Materials, sein mechanisches, elektrisches und chemisches Verhalten über einen großen Temperaturbereich mit erstaunlicher Gleichförmigkeit beizubehalten.

#### Chemikalienbeständigkeit

Sowohl TFE als auch FEP-Harze sind chemisch unempfindlich gegenüber praktisch sämtlichen industriellen Chemikalien und Lösungsmitteln, und das sogar bei hohen Temperaturen und Drücken. Wie bereits erwähnt, steht diese Eigenschaft in Zusammenhang mit der sehr starken atomaren Bindung zwischen Kohlenstoff-Kohlenstoff und Kohlenstoff-Fluor, der vollkommenen Abschirmung der Kohlenstoff-Kernstruktur des Polymers durch Fluoratome und dem hohen Molekulargewicht, das heißt der Länge der Polymerketten.

Aufgrund seiner hervorragenden Beständigkeit gegen Chemikalien und Lösungsmittel wird es zum Beispiel für Isolieren elektrischer Leitungen benutzt, die aggressiven Medien ausgesetzt sind.

Eine Ausnahme bilden lediglich gewisse Fluorverbindungen (zum Beispiel Chlortrifluor und gasförmiges Fluor, hochfluorierte Schmieröle über  $300^{\circ}\text{C}$ ), die bei höheren Temperaturen die Fluor-Kohlenstoff-Harze angreifen; auch gegen Alkalimetalle (zum Beispiel flüssiges Natrium) sind sie nicht ganz beständig.

### Beständigkeit gegen Absorption

Fast alle Kunststoffe absorbieren kleine Mengen bestimmter Stoffe, mit denen sie in Berührung kommen, u.a. weil mikroskopisch kleine Hohlräume zwischen den Polymermolekülen ein Eindringen und "Ein-nisten" von Fremdstoffen ermöglichen, was sich durch leichte Gewichtszunahme und Verfärbung bemerkbar macht. Dieser Vorgang ist auch bei Fluorkohlenstoff-Kunststoffen - wenngleich in weniger ausgeprägter Form - zu beobachten. Fluorkohlenstoff-Harze absorbieren praktisch keine der gewöhnlichen Säuren und Basen bei Temperaturen bis zu 200° C und Exponierungsdauer bis zu einem Jahr.

Dasselbe gilt für organische und anorganische Lösungsmittel. Keines der bekannten Lösungsmittel bringt PTFE unter 300° C zum Quellen oder zur Lösung. Die Gewichtszunahme liegt auch bei höheren Temperaturen (bis zu 100° C) und langen Exponierungszeiten im allgemeinen unter 1 %. Diese Eigenschaft ist auf die geringe Benetzungsfähigkeit der Fluorkohlenstoff-Harze zurückzuführen.

Darüber hinaus hat eine Aufnahme von Chemikalien oder Lösungsmitteln keinen wesentlichen Einfluß auf die chemische Bindung innerhalb des Fluorkohlenstoffmoleküls; es wird dadurch keine Zersetzung bewirkt, sondern es handelt sich vielmehr um einen umkehrbaren physikalischen Vorgang, da unter geeigneten Bedingungen die absorbierten Stoffe aus dem Fluorkohlenstoffharz wieder hindurchdiffundieren. Die Absorption von Fremdstoffen fügt dem Harz solange keinen physikalischen Schaden zu, wie nicht zwei absorbierte Chemikalien eine stark exotherme Reaktion eingehen oder ein Endprodukt ergeben, dessen Volumen größer ist als das der reagierenden Chemikalien selbst.

### Permeabilität

Moleküle beziehungsweise Atome gasförmiger Stoffe können durch Polymerisate diffundieren. Dies geschieht auf zweierlei Weise:



Einmal dadurch, daß die Moleküle durch mikroskopische Hohlräume (Mikrolunker) hindurchwandern, sofern das Polymerisat eine poröse Struktur besitzt; zum anderen können die Moleküle des Gases zwischen den Molekülen des Polymerisats (besonders bei höheren Temperaturen) hindurch diffundieren.

Dieser Vorgang spielt eine Rolle bei der Frage, bis zu welchem Grade der Werkstoff in stark korrosiver Atmosphäre und unter extremen Temperaturen Verwendung finden kann, insbesondere auch inwieweit Überzüge aus dem Werkstoff andere Materialien vor Korrosionsangriff schützen können. Bei einem PTFE-Teil mit einer Dichte nahe der theoretischen Dichte ist die Molekülwanderung so gering, daß sie bei Zimmertemperatur vernachlässigt werden kann.

Die Eigenschaften der Fluorkohlenstoff-Kunststoffe, insbesondere PTFE, in bezug auf Wetterfestigkeit, Ozonbeständigkeit oder Feuchtigkeitenaufnahme sind außergewöhnlich gut. Bewitterungsversuche lassen darauf schließen, daß die Haltbarkeit im Freien über 20 Jahre beträgt. Weder ultraviolettes Licht und Ozon noch extreme Temperaturveränderungen bewirken eine meßbare Verschlechterung der charakteristischen Eigenschaften dieser Kunststoffe.

#### Porosität

Gewisse Schwierigkeiten bestehen in der porenfreien Verarbeitung der Fluorkohlenstoff-Kunststoffe; besonders die Herstellung dichter Folien ist bisher nicht gelungen, obwohl sie anwendungstechnisch im Zusammenhang mit Problemen des Korrosionsschutzes sehr interessant wären.

Porosität und Lunkerhaltigkeit sind, wie auch die meisten mechanischen Eigenschaften (zum Beispiel Zugfestigkeit, Dehnung) von den

Verarbeitungsbedingungen abhängig. Dies gilt für alle Kunststoffarten, besonders aber für PTFE, bei deren Verarbeitung Preß-, Sinter- und Abschreckverfahren zur Anwendung gelangen, die den in der Pulvermetallurgie üblichen ähnlich sind. Die FEP-Mischpolymerisate, die ohne Einschränkung in Schmelzverfahren verarbeitet werden können, werden in einem geringeren Ausmaße von den Verarbeitungsbedingungen beeinflusst.

#### Zähigkeit

Die große Länge der Polymerisationskette gewährleistet, daß die Moleküle physikalisch zäh sind und auch nach langer Wärmealterung nicht brüchig werden. Es zeigte sich, daß die physikalischen Eigenschaften nach 100 Stunden bei 205° C für FEP und 260° C für TFE in keiner bemerkenswerten Weise nachließen.

Dank der ungewöhnlichen Biegsamkeit hat sich die Anwendung von TFE als Material für kleinere Faltenbälge, für Polsterung bei der Handhabung empfindlicher Güter - zum Beispiel durch Verpackungsmaschinen - in weiten Bereichen durchsetzen können.

#### Antihafteigenschaft, Reibungskoeffizient

Auf der "schlüpfrigen" Oberfläche von TFE bzw. FEP haftet praktisch kein Stoff. Auch der Reibungskoeffizient TFE - TFE bzw. TFE - Metall ist außerordentlich gering. Die Antiadhäsionseigenschaften spielen zum Beispiel eine Rolle bei der Verhinderung von Eisbildung und bei der Lösung von Klebrigkeitsproblemen bei der Kautschukherstellung.

Der niedrige Reibungskoeffizient ermöglicht die Anwendung von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen für einfache Lösungen der verschiedensten Lagerprobleme, unter anderem für Brückenaufleger, Rohraufleger, schmierungsfreie Lager in einfachen Vorrichtungen und Maschinen.

Da die statischen Koeffizienten niedriger liegen als die dynamischen, besteht bei TFE als Lagermaterial nicht die Gefahr eines Blockierens und Ausgleitens reibender Flächen. Viele weitere Anwendungsmöglichkeiten beruhen auf diesen Eigenschaften, zum Beispiel für Ventilsitze mit großen Dichtigkeitsanforderungen, für Hochdruck-Dichtungspackungen an Wellen und Spindeln.

Probleme bereitet die außergewöhnliche Haftungsabweisung bei der Verbindung von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen mit anderen Materialien, zum Beispiel zum Zwecke der Beschichtung gegen Korrosionsangriff. Grundsätzlich ergeben sich folgende Möglichkeiten:

Mechanische Befestigungsmethoden (Schrauben, Nieten etc.)

Thermische Befestigungsmethoden (Aufwalzen, Verschweißen, Wirbelsintern, Aufschmelzen)

Chemische Befestigungsmethoden (Ätzen mit Hilfe von Alkalimetallen, Kleben mit Sonderklebstoffen)

Emaillierbeschichtung (durch Besprühen, Eintauchen oder Überströmverfahren mit nachfolgendem Sintervorgang)

Dispersionen zur Herstellung von Schutzschichten (Ätzen der Trägerschicht, Aufbringen der Dispersion, Sintern, langsames Abkühlen)

### Elektrische Eigenschaften

Fluorkohlenstoff-Kunststoffe haben sehr gute elektrische Eigenschaften.

Ihre Dielektrizitätskonstante und der Verlustfaktor machen sie zu idealen Isolierstoffen, auch für hochfrequente Wechselströme.

Die Durchschlagsfestigkeit sinkt bei steigender Frequenz langsamer als bei allen anderen Isoliermaterialien.

Viele elektronische Geräte können bei der Verwendung von TFE bzw. FEP als Isoliermaterial kleiner gebaut werden, einmal, da aufgrund der geringeren Wechselstromverluste sich das Material nicht so stark erwärmt, zum anderen, weil es gegen Wärmeeinfluß selbst unempfindlicher ist.

### 2.2.3 Verbesserung der Eigenschaften durch Füllstoffe

Gewisse Schranken, die der Verwendung von Erzeugnissen auf Fluorkohlenstoff-Basis ursprünglich für chemische, elektrische und mechanische Anwendungen gesetzt waren, konnten durch geeignete Füllstoffe überwunden werden. Praktisch kann jeder Werkstoff als Füllstoff dienen, der der Sintertemperatur von etwa 370 - 395° C standhält. Die Natur des Füllstoffs, die ihm eigenen Eigenschaften sowie Form und Größe bestimmen das Verhalten des daraus hergestellten Mischerzeugnisses.

Gegenwärtig finden eine große Zahl von Füllstoffen weithin Verwendung: Glasfasern, Graphit, Molybdändisulfid, Koksmehl, Bronze, Kupfer, Keramikmaterialien in verschiedenen Konzentrationen, deren Gegenwart sich besonders auf folgende Eigenschaften sehr günstig auswirken.

#### Mechanische Eigenschaften

- Abnutzung (mehr als 1000 mal geringer)
- Kriechteständigkeit (zwei- bis dreimal höher)
- Anfangsverformungswiderstand unter Belastung (30 bis 60 % größer)
- Steifheit (zwei- bis dreimal größer)
- Härte (Zunahme um 10 - 15 %)

Thermische Eigenschaften

- Temperaturbeständigkeit (diese konnte so weitgehend verbessert werden, daß z.B. TFE für Abdichtungen und Ventilsitze im Bereich von  $- 250^{\circ} \text{C}$  und  $+ 260^{\circ} \text{C}$  verwendet werden kann)
- Thermische Maßhaltigkeit (zwei- bis dreimal besser)
- Wärmeleitfähigkeit (um ca. 300 % höher)

2.2.4 Nachteilige Eigenschaften der Fluorkohlenstoff-Kunststoffe

- Irreversible Deformation unter Last (kalter Fluß, Kriechen)
- Geförmtes Material mit Fehlern kann nicht mehr umgeschmolzen werden
- Relativ hoher Wärmeausdehnungskoeffizient
- Verarbeitung des PTFE erfordert Sonderverfahren und Spezialmaschinen.

### 3. URHEBER, HERSTELLER

#### 3.1 URHEBER

Entdecker der Polymerisationsfähigkeit des Tetrafluoräthylens:

DR. ROY J. PLUNKETT

Entwicklung des TEFLONS zur technischen Anwendungsreife:

DU PONT DE NEMOURS, USA

#### 3.2 HERSTELLER

In der Bundesrepublik Deutschland:

Farbwerke HOECHST AG:

HOSTAFLON C  
(Produktion 1965  
eingestellt)

HOSTAFLON TF

In der Deutschen Demokratischen Republik:

Chem. Fabrik VON HEYDEN,  
Dresden:

HEYDEFLON (nur labor-  
mäßig)

In den USA:

DU PONT DE NEMOURS:

TEFLON PTFE, FEP u.a.

ALLIED CHEMICAL CORP.:

HALON

PENNSALT

THIOKOL

M.W. KELLOGG COMP.:

KEL'F (PTFCE)  
(Produktion aufgegeben)

UNION CARBIDE AND CARBON CORP.

In England:

ICI: (FLORUBE) FLUON

In Frankreich:

SCE. DES RESINES FLUOREES, VOLTALEF; SOREFLON  
RHÔNE - POULENC

In Italien:

MONTECATINI: ALGOFLON

In Japan:

DAIKIN LTD. u.a. ) DAIFLON (PCTFE)  
OSAKA KINZOKU KOGYO CO.) POLYFLON (PTFE)

Weiterverarbeiter

Die Zahl der Fluorkohlenstoff-Kunststoffe verarbeitenden Betriebe in der BRD beträgt etwa 40, davon sind etwa 5 (- 10) größere Unternehmen, deren Tätigkeitsgebiet sich nicht nur auf Einzelerzeugnisse beschränkt.

### 3.3 PRODUKTION

Die Weltjahresproduktion von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen betrug:

1966 ca. 10.000 bis 11.000 t

Die Jahreskapazität in Deutschland beläuft sich auf 600 t, sie wurde jedoch bisher nicht ausgelastet.

Der geschätzte Verbrauch in der BRD beträgt für 1966 350 - 400 t; die entsprechenden Lieferungen wurden nur zum Teil von dem deutschen Hersteller durchgeführt. In der genannten Menge sind auch die in der BRD verarbeiteten Exportlieferungen enthalten.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

##### 4.1 HEUTIGER STAND

Der Bedarf an Fluorkohlenstoffen stieg in den letzten Jahren stark an. Zwar nahm der Wettbewerb auf dem Gebiet der Enderzeugnisse durch die erfolgreichen Anstrengungen der Erzeuger der von der Substitution betroffenen Produkte ständig zu, doch ließ sich dasselbe auch für die Zahl der möglichen Endverwendungen von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen feststellen.

Die Entwicklung zum Zwecke der Kommerzialisierung der bis Ende der vierziger Jahre fast ausschließlich für die Kriegsproduktion verwendeten Fluorkohlenstoff-Kunststoffe befaßte sich zunächst mit der Ausarbeitung grundlegender Verarbeitungsverfahren. Der weit- aus größte Anteil dieser Arbeit wurde von den Herstellern übernommen, die Verfahren der Pulvermetallurgie auf die Anwendung in der Teflon- verarbeitung zuschnitten und grundlegend neue entwickelten, um sie dann an die interessierten Verarbeitungsbetriebe weiterzugeben. Das Wachstum des Marktes war dann zu einem guten Teil dem Einfallsreich- tum vieler Verarbeitungsbetriebe zuzuschreiben, die die Verarbei- tungsverfahren in vieler Hinsicht verbesserten und sich damit auf neue Anwendungsgebiete einstellten.

So konnte die mechanische Festigkeit des TFE und FEP durch anor- ganische Füllstoffe, die vor der Verarbeitung dem Material bei- gemischt werden, erheblich gesteigert werden. Das trifft be- sonders für die mechanischen Eigenschaften zu, wie in Punkt 2.2.3 dargestellt wurde.

Die Kombinationsmöglichkeiten von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen mit an- deren Stoffen wurden systematisch untersucht, da seine hervorragenden Eigenschaften es als Oberflächenbeschichtungsmaterial für viele Anwen-



dungen (zum Beispiel bei der Beförderung korrosiver bzw. aggressiver Medien oder dort, wo klebrige Stoffe transportiert werden) außerordentlich interessant erscheinen läßt.

Schwierigkeiten bereiten dabei wiederum der geringe Reibungskoeffizient und ein bis dahin unbekanntes Maß an antiadhäsivem Verhalten. Sie führen dazu, daß sich die Fluorkohlenstoff-Kunststoffe nur schwer mit Trägerschichten verbinden lassen. Verschiedene Methoden zur Überwindung dieses Problems sind entwickelt worden.

Weiterhin wurden Gewebe aus imprägnierter und mit TFE-Dispersion beschichteter Glasfaser entwickelt, die sich durch Maßhaltigkeit und geringes Fließen unter Druckbeanspruchung auszeichnen.

#### 4.2 AUSBLICK AUF WEITERE ENTWICKLUNGEN

Die Hauptprobleme in der Anwendung von Fluorkohlenstoff-Polymerisaten liegen in der Verarbeitung dieser Kunststoffe. Dementsprechend wird sich ein Großteil der Entwicklungsarbeit der Zukunft auf die Vervollkommnung der Verarbeitungsmethoden und auf die Verbesserung deren Wirtschaftlichkeit konzentrieren.

Auch die Entwicklungsarbeiten der Hersteller des Polymerisats sind auf die Lösung dieser Schwierigkeiten gerichtet.

Ein erster Schritt war die Entwicklung der FEP-Mischpolymerisate, die sich wie Thermoplaste mit konventionellen Kunststoffverarbeitungs-  
maschinen formen lassen; jedoch ist deren Anwendungsgebiet be-  
schränkt, ihr Preis liegt erheblich über dem des PTFE.

Die von der Entwicklung angestrebten Ziele sind in erster Linie die Herstellung porenfreier Fluorkohlenstoff-Kunststoff-Folien,

die für die Auskleidung von Behältern für aggressive Chemikalien (z.B. Königswasser) von außerordentlich großem Interesse wären. Erste Erfolge wurden mit FEP-Folien, die mit Spezialverfahren verklebt werden, bereits erzielt, wobei jedoch die Dichtung der Fugen und Stöße ein noch kaum gelöstes Problem darstellt

Darüber hinaus ist mit der Erweiterung des gesamten Gebietes der fluorierten Kunststoffe zu rechnen. Anfänge sind gemacht mit der Entwicklung

- eines fluorhaltigen Elastomers (Viton)
  - eines Polyvinylidenfluorids (Kynar, Dulite) für Fassadenverkleidungen und anderes
  - einer durchsichtigen Polyvinylfluorid-Folie (Tedlar)
- u.a.

Man hofft, mit diesen Spezialentwicklungen auf dem Gebiet der fluorhaltigen Kunststoffsorten durch bessere Anpassung weitere Anwendungsgebiete zu erschließen.

## 5. ANWENDUNG

### 5.1 ALLGEMEINES

Fluorkohlenstoff-Kunststoffe haben sich seit der Einführung des TFE (1945) in herkömmlichen Anwendungsgebieten, erst recht aber seit etwa 1960, als die ersten FEP-Kunststoffe auf den Markt kamen, weite Anwendungsbereiche erobert. Während TFE-Harze praktisch nur über einen Sinterprozeß geformt werden können, lassen sich FEP-Harze im Schmelzfluß verarbeiten, das heißt, sie können wie Thermoplaste, also Nylon, Polyäthylen und andere in der Industrie bekannte Kunststoffe im Spritzguß- und Extrusionsverfahren geformt werden. Sie haben aus diesem Grunde zur rascheren Ausweitung der Anwendungsmöglichkeiten dieser Kunststoffe in starkem Maße beigetragen.

Fluorkohlenstoff-Kunststoffe dienen ausschließlich als technische Kunststoffe. Ihre Anwendungsbereiche sind außerordentlich vielseitig. Doch lassen sie sich immer wieder auf die besonderen Eigenschaften zurückführen, die unter Punkt 2.2.2 - Charakteristische Eigenschaften - bereits im einzelnen aufgeführt wurden.

Insbesondere sind entscheidende Eigenschaften:

Temperatur-, Korrosions- und Chemikalienbeständigkeit für vielseitige Anwendungen in der chemischen Industrie

Günstige Dielektrizitätskonstante und der niedrige elektrische Verlustfaktor für Anwendungen als Isoliermaterial in der Elektrotechnik, besonders in der Hochfrequenztechnik

Der niedrige Reibungskoeffizient und die Korrosionsbeständigkeit für Anwendungen im Maschinen- bzw. Fahrzeugbau.

## 5.2 ANWENDUNGSBEISPIELE AUS DER KERntechnik

Die erste bedeutende Anwendung von TFE-Harzen waren Dichtungen, später auch Auskleidungen, Rohrleitungen und andere Teile in den Zellen der Dampf<sup>2</sup>diffusionsanlage für die Separation von Uran 235 - Uran 238 über gasförmiges Uranhexafluorid, das ein stark reaktiver Stoff ist.

Die nächsten Anwendungen waren rein militärischer Art und standen zum Teil im Zusammenhang mit der Entwicklung der ersten Atombomben und A-Bombenflugzeuge.

Die heutigen Anwendungen von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen in der Kerntechnik sind außerordentlich vielseitig. Sie finden in vielen Sondermaschinen und -apparaten Verwendung, die sowohl im konventionellen Bereich als auch in der Kerntechnik zum Einsatz gelangen.

Ventilsitzdichtungen

Stopfbuchsichtungen

Kolben von Regel- bzw. Dosierventilen für Wasserenthärtungsanlagen

bis zu

Kabeldurchführungen bzw.

Kabelisolierungen für Hoch- und Niederspannung.

Alle diese Anwendungen unterscheiden sich jedoch nicht grundsätzlich von denen in nicht kerntechnischen Bereichen, höchstens vielleicht dadurch, daß man in der Kerntechnik aus Gründen der Zuverlässigkeit auch dort Fluorkohlenstoff-Kunststoffe verwendet, wo man sich in der herkömmlichen Technik mit weniger wertvollen Kunststoffen zufriedergibt.

### 5.3 BEISPIELE FÜR DIE (END)ANWENDUNG IM NICHT KERNTECHNISCHEN BEREICH

(In Anbetracht der bereits unübersehbaren Zahl von Anwendungen der Fluorkohlenstoff-Kunststoffe sind hier nur einige typische Beispiele genannt)

#### 5.3.1 Metallerzeugende Industrie

Isolierungen von Stromzuführungskabeln und Meßinstrumentleitungen bei höheren Temperaturen, in korrosiver Atmosphäre.

#### 5.3.2 Chemische Industrie

Chemische Apparate:

Kolbenringe, Ventilsitze, Dichtungspackungen an Spindeln und Wellen

Faltenbälge für Rohrleitungen, in denen konzentrierte Säuren bei erhöhten Temperaturen befördert werden.

Laboreinrichtungen:

Kegelmuffen für Laborgefäße statt bisher gefettete Glaskegel

Dichtungsringe, Dichtungen

Becher und engspundige Flaschen

#### 5.3.3 Elektroindustrie

Heizkabelisolierungen und Isolierung wärmebeanspruchter bzw.

Chemikalien und Witterung ausgesetzter Stromleitungen.

Kabelisolierungen für Steueranlagen und Prozeßrechner, um deren Zuverlässigkeit zu erhöhen und um sie kompakter bauen zu können.

#### Kcaxialkabel

Isoliermaterial für gedruckte Schaltungen, die durch Eintauchen in ein Zinnbad gelötet werden können.

TFE-Kabel lassen sich leicht durch Führungs- und Verteilungskanäle und Kabelbündel ziehen.

Elektrische Isolatoren in der Hochfrequenztechnik.

Dielektrikum für Kondensatoren, Transistoren und Röhrensockel sowie Kontaktstecker

#### 5.3.4 Feinmechanik, Optik

Einfache Lager für geringe Belastung bzw. geringe Umlaufgeschwindigkeiten.

#### 5.3.5 Maschinen-, Stahl- und Fahrzeugbau

##### Maschinenbau/Armaturen:

Dichtungen an Ventilen und Flanschen

Wellendichtungen

Stopfbuchsen

Material für Dichtungsringe an Meßinstrumenten, Regelventile etc.

Ventilsitze für Vakuumanlagen

##### Maschinenelemente:

Lagermaterial für Gleitlagerschalen

Kugelgelenklager, ausgekleidet mit TFE auf Gewebebasis

Drehkreuze für elastische Kupplungen aus glasgefülltem TFE

**Rohrleitungsbau:**

Material für Auflager mit Dehnungsverschiebungen

**Verdichterbau:**

Stangenpackungen und Kolbenringe für hohe Dichtungsanforderungen und aggressive Medien

**Schiffbau:**

Leitungsisolierungen für elektrische Übertragungen außerhalb des Bootskörpers von Unterseebooten

**Kraftfahrzeugbau:**

Biegsame, umflochtene Schläuche mit guter Hitzebeständigkeit und Korrosionsfestigkeit

Ventilführungen mit Dichtungen aus TFE

Kolbendichtungen bzw. -führungen an Thermostaten etc.

**Flugzeugbau:**

Faltenbälge für Druckausgleichkolben im hydraulischen Reservoir für Temperaturen zwischen  $-53$  und  $+135^{\circ}\text{C}$

Kabelisolierungen geeignet für sämtliche elektrische Leitungen

Umsponnene Schläuche für Brennstoff- und Ölleitungsnetz

**Raketen:**

Ventilsitze und Dichtungsringe an Drosselventilen, da wegen des niedrigen Reibungskoeffizienten zur Betätigung der Ventile nur sehr geringe Kräfte erforderlich sind

**5.3.6 Bauindustrie und -gewerbe**

**Brückenbau:**

Dehnungsaufleger, die völlig schmierungs- und wartungsfrei sind.

## 6. AUSWIRKUNGEN

### 6.1 ALLGEMEINES

Fluorkohlenstoff-Kunststoffe haben sich wie kein anderes der näher untersuchten Materialien, Verfahren oder Geräte seit ihrer Einführung in vielen Bereichen der Technik durchsetzen können.

Die Verwendung von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen für herkömmliche Anwendungen überragt heute bei weitem den Verbrauch für die Kerntechnik und zumindest in Europa sogar auch den Verbrauch für militärische Anwendungen, wo sie in Form von Kabelisolierungen für Flugzeuge zum Beispiel ein großes Anwendungsgebiet gefunden haben.

Der verhältnismäßig hohe Preis des Materials dürfte dazu angetan sein, daß die Produktion von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen für die Hersteller und Verarbeiter ein interessantes Geschäft ist.

Vor allem in der Erzeugung der FEP-Kunststoffe ist in letzter Zeit ein starker Aufschwung eingetreten. In den schmelzbaren Fluorkohlenstoff-Kunststoffen dürfte auch künftig der größte Absatz zu sehen sein, wengleich der höhere Preis des FEP-Polymerisats sowie seine geringere Temperaturbeständigkeit sich dieser Entwicklung bis zu einem gewissen Grad entgegenstellen.

### 6.2 SUBSTITUTION

Fluorkohlenstoff-Kunststoffe konnten auf vielen Gebieten hergebrachte Werkstoffe substituieren. Eine größere Rolle jedoch spielt die Verdrängung ganzer Konstruktionseinheiten aufgrund der Verwendung dieses neuen Materials oder gar die Schaffung ganz neuer Anwendungsbereiche.



Von einer einfachen Substitution kann in den folgenden Beispielen gesprochen werden:

In der Elektrotechnik

als Isoliermaterial, z.B. statt Vulkanfiber für gedruckte Schaltungen, statt Asbest für Heizleitungen, statt herkömmlicher Isolierkunststoffe für elektrische Leitungen in der Regel-, Meß- und Hochfrequenztechnik.

Im Maschinenbausektor

als Dichtungsmaterial, z.B. bei Gleitringen statt Perbunan o.a., bei Wellendichtungen statt gefetteter Faserpackungen; statt Gummi oder Stahl bei Manschetten oder Faltenbälgen für hohe oder tiefe Temperaturen und aggressive Medien. Überzüge oder Dichtungsteile von Kolben oder Ausgleichgestängen statt metallischer Kolbenringe, Ersatz herkömmlicher Lagermetalle für einfache Lager mit langsamen Bewegungen oder niedrigen Lagerdrücken, die dann schmierungs- und absolut wartungsfrei sind.

In der Chemie

für Plattierungen und Auskleidungen an Behältern und andere Anwendungen statt metallischer Werkstoffe.

Als Beispiel eines Ersatzes ganzer Konstruktionen sind Rohr- und Brückenaufleger mit TFE-beschichteten Gleitflächen, statt der herkömmlichen Rollen- oder fettgeschmierten metallischen Gleitlager zu nennen.

Als neue Anwendung schließlich ist die Beschichtung von Haushaltpfannen mit Fluorkohlenstoff-Kunststoffen anzusehen sowie andere

Anwendungen, die auf die Antihafteigenschaften dieses Materials zurückzuführen sind.

Fluorkohlenstoff-Kunststoffe sind durchwegs ein höherwertiger, wenngleich auch von den reinen Investitionskosten her gesehen, oft aufwendigerer Ersatz der hergebrachten Werkstoffe.

Ein wesentlicher Gesichtspunkt für die Wirtschaftlichkeit einer Anwendung von TFE oder FEP ist häufig die größere Betriebssicherheit, die absolute Wartungsfreiheit von TFE oder FEP-Lagern, -Schutzüberzügen etc. oder die Möglichkeit wegen der geringeren Wärmeempfindlichkeit und anderer Eigenschaften kompaktere Bauweisen zulassen zu können.

#### Grenzen der Substitution

Abgesehen von dem relativ hohen Preis der Fluorkohlenstoff-Kunststoffe und den verschiedentlich erwähnten Verarbeitungsschwierigkeiten gibt es spezielle Probleme, die an sich interessante Anwendungsgebiete verschließen. Als Beispiel seien die bisher vergeblichen Bemühungen erwähnt, porenfreie Fluorkohlenstoff-Folien für die Auskleidung von Behältern für hochaggressive Chemikalien herzustellen.

### 6.3 AUSWIRKUNGEN IM EINZELWIRTSCHAFTLICHEN BEREICH

#### Auswirkungen für den Hersteller

Die Anregung zur Aufnahme der Produktion der fluorierteren Kunststoffe empfing der deutsche Hersteller nach dem Kriege aus Amerika.

Bei der Erschließung eines eigenen Marktes stützten sich die Hersteller auf die Möglichkeiten einer Ausbreitung der Anwendungsbe-

reiche aufgrund der charakteristischen Eigenschaften der Fluorkohlenstoff-Kunststoffe.

Der Nachfrageanstieg wird sehr optimistisch beurteilt. Nachdem die Zuwachsrate bisher bei 30 % lag (für 1962 - 1965 betrug die jährliche Zuwachsrate in der gesamten Kunststoffherzeugenden Industrie 15 %), rechnet man auch in Zukunft mit einer Verdoppelung des Bedarfs etwa alle vier Jahre (gegenüber einer erwarteten zukünftigen Gesamtzuwachsrate von jährlich 11 %).

Der Anteil des Umsatz-Wertes der Fluorkohlenstoffproduktion an dem Gesamtumsatz des damit befaßten Herstellers in der Größenordnung von einigen Promille ist gering. Im Rahmen der hergestellten Kunststoff-Rohstoffe, und hierbei hauptsächlich der Polymerisationsprodukte, dürfte sich der Umsatz an Fluorkohlenstoff-Kunststoffen jedoch bereits bemerkbar machen. Genaue Vergleichszahlen waren nicht erhältlich. Trotz der starken Konkurrenz ausländischer Hersteller und Halbzuglieferanten auf dem deutschen Markt dürfte die Herstellung dieses Kunststoffs - vom Gewinn her gesehen - recht positiv zu beurteilen sein.

Der Anteil der Fremdbezüge (wasserfreier Fluorwasserstoff) ist gering; er beträgt für den deutschen Hersteller kaum mehr als 10 - 15 % des Umsatzwertes.

Der größere Teil der Aufwendungen sind Wertschöpfungen, die im eigenen Unternehmen geleistet werden. Der Aufwand hierfür ist in der Hauptsache durch sehr teure Apparaturen sowie durch Lohnkosten bedingt.

Der Exportanteil des deutschen Herstellers im Fallsektor ist mit ca. 40 % verhältnismäßig hoch.

Hingegen ist seine Position für Lieferungen für den Verbrauch auf dem deutschen Markt durch einen 18 %igen Zoll gegen Einfuhren aus Ländern außerhalb der EWG relativ stark geschützt.

Dennoch bewirkte der erwähnte Konkurrenzdruck eine Preisdegression für das polymerisierte Pulvergranulat von 5 bis 10 DM/kg seit 1965.

Die Produktion ist organisationsmäßig von der Forschung getrennt. Die Leitung der "Sparte" Fluorkohlenstoff-Kunststoffe liegt in den Händen eines Angestellten der 4. Linie und ist damit auf eine Ebene mit anderen kunststofferzeugenden Bereichen gestellt.

#### Forschung beim Hersteller

Die Anregungen zur Aufnahme der Forschung auf dem Gebiet der fluorierten Kunststoffe nahm der deutsche Hersteller aus gewissen Ähnlichkeiten des Fluoratoms mit dem Wasserstoffatom. Die Entdeckung der Polymerisationsfähigkeit von Trichlor-Fluor-Äthylen war demnach eine gezielte Entdeckung.

Die Aufwendungen des deutschen Herstellers für Forschung und anwendungstechnisches Erschließen betragen auf dem Fluorkohlenstoff-Kunststoffsektor mehr, als dem Durchschnitt des Unternehmens von 5 % des Umsatzes entspricht (genaue Angaben für den Fallsektor wurden nicht gemacht).

Dabei dürften zum gegenwärtigen Zeitpunkt die Hauptkosten auf die Einführung des Produkts in neue Anwendungsfelder und Überwindung von Verarbeitungsschwierigkeiten entfallen.

Die Entwicklungskosten werden vom Hersteller im wesentlichen allein getragen.

Die Tatsache, daß die Informationsvermittlung durch den Hersteller über das in der Branche übliche Maß hinausgeht, ist auf die Komplexität der Verarbeitungsprobleme zurückzuführen.

Forschungsaufträge sind bisher nicht vergeben worden. Man glaubt jedoch, daß der immer größer werdende Entwicklungsaufwand in Zukunft auch im Chemiesektor von öffentlichen Stellen mitgetragen werden wird und damit die Gepflogenheiten auf diesem Sektor sich ändern werden.

Bei der Entwicklung des eigenen Produkts zur technischen Anwendungsreife konnte der deutsche Hersteller sich zum Teil auf Informationen stützen, die von amerikanischen Firmen bekanntgegeben wurden.

#### Auswirkungen für die Verarbeiter

Die Wertschöpfung auf der Verarbeiterseite ist wiederum erheblich: Während das Rohmaterial zur Zeit etwa 35 - 40 DM/kg kostet, können für das fertige Halbzeug ein Durchschnittspreis von mehr als 200 DM/kg und Spitzenpreise von 1.200 DM/kg angesetzt werden; allerdings sind die Preise für Halbzeug aufgrund der Auslandskonkurrenz stark rückläufig.

Gewisse Schwierigkeiten entstehen dem Verarbeiter bei der Beschaffung der Verarbeitungsmaschinen, da sich die deutsche Industrie auf diesen Wirtschaftszweig noch nicht eingestellt hat.

Herkömmliche Kunststoffverarbeitungsmaschinen werden den Anforderungen bei der Verarbeitung von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen in mancherlei Hinsicht nicht gerecht. Erhöhte Anforderungen werden unter anderem dadurch gestellt, daß einerseits für die Verarbeitung des PTFE viel höhere Drücke notwendig sind, da das Material nicht im eigentlichen Sinne thermoplastisch ist und seine Viskosität

auch bei Temperaturen um  $400^{\circ}$  C noch der eines Festkörpers gleicht (etwa  $10^{10}$  Poise, Verarbeitungsdrücke  $\geq 700$  kg/cm<sup>2</sup> für Strangpreßmaschinen) und daß andererseits das Rohmaterial chemisch aggressiv ist und die damit in Kontakt kommenden Maschinenteile aus rostfreien Stählen hergestellt sein müssen.

Die Extrusionsmaschinen werden fast ausnahmslos aus den USA oder England bezogen. Hingegen lassen sich bei anderen Verfahren Maschinen für konventionelle Kunststoffe mit verhältnismäßig einfachen Mitteln umbauen. Vielfach nehmen die Verarbeiter diese Änderungen selbst vor, da mit dem Umbau in der Regel ein erhebliches Maß an "know how" verbunden ist, das die einzelnen Verarbeiter sorgsam zu schützen suchen.

So versieht ein Verarbeiter zum Beispiel marktübliche Kunststoff-spritzmaschinen mit Spezialschnecken. Um die Spezifikationen des Werkstoffs nicht bekanntgeben zu müssen, fertigt er die Schnecken im eigenen Unternehmen. Ähnliches Vorgehen wurde von anderer Seite bekannt. Es läuft letztlich immer wieder darauf hinaus, daß vorhandene Maschinen in geeigneter Weise abgewandelt und den veränderten Anforderungen angepaßt werden, wobei das "know how" um die Verarbeitung eines bereits allgemein eingeführten Kunststoffes noch weitgehend in den Händen der einzelnen Unternehmen liegt und keineswegs Allgemeingut ist.

#### Auswirkungen für den Anwender

Die sich für den Endanwender ergebenden Auswirkungen sind weithin noch unüberschaubar.

In der Regel sind Teile aus Fluorkohlenstoff-Kunststoffen teurer als aus anderen Kunststoffen und kaum billiger als aus Metall, da sie zum Teil ebenfalls spanabhebend geformt werden; doch macht

sich dieser Aufwand durch Wartungsfreiheit, längere Lebensdauer und höhere Zuverlässigkeit so bezahlt, daß der Anwender dennoch erhebliche Vorteile aus ihrem Einsatz ziehen kann.

#### 6.4 SOZIALER UND PERSONELLER BEREICH

##### Auswirkungen im Herstellerunternehmen

Hier gelten im wesentlichen dieselben Gesichtspunkte, wie sie in allen vergleichbaren Sparten, die sich mit der Erzeugung neuer und verhältnismäßig wertvoller Produkte, zum Beispiel Pharmazeutika, befassen, beobachtet werden können.

Eine gewisse Beachtung hingegen verdienen die Vorsichtsmaßnahmen bei der Produktion der Fluorkohlenstoffe; um Unfälle durch spontanen Zerfall bzw. Polymerisation des Tetra-Fluoräthylen, bei der Temperaturen von über  $2000^{\circ}\text{C}$  auftreten, zu vermeiden, wird dieses ständig unter Druck flüssig gehalten und gekühlt ( $-20^{\circ}\text{C}$ ). Bei Zimmertemperatur ist dieses Vorprodukt ein Stoff von der Gefahrenklasse des Schwarzpulvers. Die Polymerisation erfolgt mit Emulgator in kleinen Chargen oberhalb von  $0^{\circ}\text{C}$  hinter Bunkerwänden.

Beim Umgang mit den Vorprodukten (sehr reiner wasserfreier Fluorwasserstoff) sind die Arbeiter mit Gummianzügen und -handschuhen sowie Schutzschilden ausgerüstet. Zwar wird Gummi von Fluorwasserstoff angegriffen und in ein sprödes Material umgewandelt, doch bietet es zumindest momentan Schutz gegen Kontakt des Körpers mit diesem aggressiven Medium.

##### Auswirkungen in den verarbeitenden Betrieben

Für die verarbeitenden Unternehmen ergeben sich erhebliche Schwierigkeiten bei diesem neuen Material, das sich (zumindest in der

Form des TFE) nicht mit herkömmlichen Kunststoffmaschinen verarbeiten läßt und schwierige Nachbehandlungen erfordert. Zur Heranbildung eines diesen Schwierigkeiten gewachsenen Mitarbeiterstabes schicken die Verarbeiter geeignete Mitarbeiter zu Schulungskursen, die von den Herstellern zur Vermittlung des "know how" der Verarbeitung durchgeführt werden.

Zum großen Teil werden aber auch von den Verarbeitungsunternehmen im eigenen Betrieb ungelernte oder gelernte Kräfte zu "Kunststoff-Facharbeitern" herangebildet. Die Vermittlung eines speziellen "know how" der einzelnen Firmen über die Teflonverarbeitung ist unter Umständen höher einzustufen als die Übermittlung allgemeiner Grundsätze, da Einzelheiten der Verarbeitung wichtige Einflußgrößen auf die Qualität des Endproduktes darstellen. Der daraus resultierende Vorsprung der Verarbeiter, die sich seit Beginn der Entwicklung (etwa 1955) mit der Verarbeitung von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen befassen, ist auch von den Neulingen auf diesem Sektor nicht so schnell aufzuholen, soweit nicht das "know how" durch Stellungswechsel des in diese Geheimnisse eingeweihten Personals übertragen wird. Die Probleme, die sich aus einer solchen Fluktuation ergeben, sind den Verarbeitern durchaus bekannt. Die Gegenmaßnahmen spiegeln sich dennoch nicht in besonderen Arbeitsverträgen oder Konkurrenzklauseln wider, sondern man versucht auf andere Weise die Leute zu halten. Da es sich in diesen Fällen in der Regel um Angestellte handelt (vom Meister aufwärts), baut man neben guter Bezahlung sehr stark auf das Berufsethos und eine Hervorhebung des Zugehörigkeitsbewußtseins zu einem bedeutenden Unternehmen auf.

Diese Gesichtspunkte spielen für die Beurteilung der gewerblichen Arbeitnehmer eine geringere Rolle. Entscheidend ist hier vielmehr, daß sie sich an die Erfordernisse der Exaktheit und Sauberkeit in



der Verarbeitung anpassen. Die Sauberkeit des Materials hat einen sehr starken Einfluß auf die Lunkerfreiheit des Endprodukts und damit auf seine elektrischen Eigenschaften.

Aus Gründen des Gesundheitsschutzes ist die Verarbeitung mit einer Reihe von Vorsichtsmaßnahmen verbunden, die sich von der Verarbeitung anderer Kunststoffarten erheblich unterscheiden.

Beim Sintern des geformten Kunststoffes (bei Temperaturen von 380° C) entstehen giftige Krackgase. Man ist bemüht, mittels entsprechender Absaugvorrichtungen vor den Ofentüren eine Beeinträchtigung der Gesundheit der dort beschäftigten Arbeiter auszuschalten.

Aus demselben Grund herrscht in den Verarbeitungsbetrieben Rauchverbot: Teilchen des feinen, pulverförmigen Rohpolymerisats können sich auf die Zigaretten setzen; bei Temperaturen von 800° bis 1000° C zersetzen sie sich dort, wobei giftige, fluorhaltige Gase entstehen, die zu Übelkeit und Schwindel führen, jedoch nach bisherigen Beobachtungen keine dauernden Gesundheitsschädigungen zur Folge haben.

Bei der Beschichtung aus wässrigen Dispersionen von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen tragen die Arbeiter Masken mit Spezialfiltern. Der ganze Vorgang geht in Feuchtkabinen vor sich, wo die Schwebstoffe sofort niedergeschlagen werden. Die Kleidung besteht aus gewöhnlichen Arbeitsanzügen, die allerdings häufig gewechselt werden.

#### 6.5 FIRMENZUSAMMENARBEIT

Die Zusammenarbeit auf dem Sektor der Fluorverbindungen zwischen dem deutschen Hersteller und einem anderen Chemieunternehmen, das die Rohprodukte liefert, datiert noch aus der Zeit eines ehemaligen Konzernzusammenschlusses.

Es existiert eine enge Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Weiterverarbeitern; doch ist diese branchenüblich und entspricht den Gepflogenheiten, dem Anwender bzw. Weiterverarbeiter bei der Einführung neuer Produkte behilflich zu sein, um damit den eigenen Markt auszubauen.

#### 6.6. GESAMTWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

Der Wert der in der BRD verarbeiteten Fluorkohlenstoff-Polymerisate (Pulver) betrug im Jahre 1966 höchstens etwa 16 Mio DM. Der Umsatzwert der erzeugten Halb- und Fertigprodukte dürfte etwa 80 Mio DM erreichen, so daß sich gesamtwirtschaftliche Auswirkungen daraus nicht ergeben.

#### 6.7 AUSWIRKUNGEN AUF BRANCHEN

Hingegen macht sich der Umsatz mit Fluorkohlenstoff-Kunststoffen für die mit der Weiterverarbeitung befaßten Branchen bereits bemerkbar. Im Bereich der kunststoffverarbeitenden Industrie liegt der Fluorkohlenstoff-Kunststoffanteil in der Größenordnung von 1 % des Gesamtumsatzes in 1966.

## 7. B E D E U T U N G

Die Vielzahl der Verwendungsfälle von Fluorkohlenstoff-Kunststoffen in fast allen Bereichen der Technik spricht dafür, daß seine Bedeutung bereits allgemein erkannt wurde.

Zur Information der Öffentlichkeit über dieses Material hat anscheinend die sehr starke Tätigkeit eines amerikanischen Herstellers auf dem Gebiete der Public Relations beigetragen. Durch Firmenschriften, Annoncen in Fachzeitschriften und Tageszeitungen hat er verstanden, das Vorhandensein dieses Erzeugnisses in das Bewußtsein weiter Kreise einzuführen.

Ein entsprechender Nachfrageanstieg dürfte daher für die nächsten Jahre sichergestellt sein, wenn auch niemals solch riesige Mengen produziert werden wie von Kunststoffen für Gegenstände des täglichen Lebens (z.B. Polyäthylen). Die Fluorkohlenstoff-Kunststoffe werden wegen ihres hohen Preises auf lange Sicht technischen Anwendungsgebieten vorbehalten bleiben. Eine Ausnahme könnten unter der Voraussetzung einer stärkeren Preisdegression vielleicht die thermoplastischen FEP-Mischpolymerisate machen, um so mehr, als sie in ihren Eigenschaften zwischen den herkömmlichen Kunststoffsorten und denen der PTFE-Kunststoffe liegen.

Diese schmelzbaren, mit konventionellen Verfahren der Kunststoffverarbeitung formbaren Mischpolymerisate, die erst seit wenigen Jahren auf dem Markt sind, haben bereits wegen der vereinfachten Verarbeitungsbedingungen durch eine starke Ausweitung der Anwendungen zu einem erheblichen Bedeutungszuwachs geführt.

Die Entwicklung auf der Anwendungsseite steckt noch "in den Kinderschuhen". Die zukünftige Ausbreitung der Fluorkohlenstoff-Kunststoffe wird weitgehend davon abhängig sein, inwieweit man

durch bessere Verarbeitungsverfahren sich den Anforderungen bestimmter Bereiche der Technik anpassen kann.

Wenngleich die fluorhaltigen Polymerisate auf bestimmten Gebieten bereits heute unentbehrlich geworden sind, werden sie - bedingt durch ihren hohen Preis und die Schwierigkeiten in der Verarbeitung - wohl immer Spezialprodukte bleiben.

8. ZAHLENMÄSSIGE ANGABEN ZU DEN  
PUNKTEN 2 BIS 7

8.1 DATEN ZUR GESCHICHTLICHEN ENTWICKLUNG

Entdeckung der Polymerisationsfähigkeit von Trichlor-Fluoräthylen  
bei den IG-Farben (Farbwerken Hoechst): 1933/34

Entdeckung des Polytetrafluoräthylens bei Du Pont de Nemours,  
Chambers Works, USA: 1938

Verwendung der ersten TFE-Kunststoffe in Oak Ridge für Dichtungen  
an den Uranhexafluoriddestillationsanlagen: 1942

Beginn der großtechnischen Produktion von TEFLON in den USA und  
damit Übergang auf den herkömmlichen Sektor: 1950

Aufnahme der Produktion von Polytrichlorfluoräthylen in der  
BRD: 1953

Erste technische Darstellung der schmelzbaren FEP-Mischpolymeri-  
sate in den USA: 1958

8.2 TECHNISCHE DATEN, PREISE

8.2.1 Chemische und physikalische Eigenschaften der Fluorkohlenstoff-Kunststoffe (Angaben von DU PONT)

Eigenschaft	Maßeinheiten	TFE-Kunststoff	FEP-Kunststoff
Zugfestigkeit bei 23° C	kg/cm <sup>2</sup>	175-270	190-220
Dehnung bei 23° C	%	200-300	250-330
Biegefestigkeit bei 23° C	kg/cm <sup>2</sup>	kein Bruch	kein Bruch
Elastizitätsmodul bei 23° C	kg/cm <sup>2</sup>	3500-6300	3700
Schlagzähigkeit bei -57° C	cm-kg/cm	10,9	15,8
23° C	cm-kg/cm	16,4	kein Bruch
77° C	cm-kg/cm	> 33,0	
Härte, Durometer		D50-D65	D57-D60
Druckspannung bei 1 % Verformung bei 23° C	kg/cm <sup>2</sup>	42	42
Druckspannung bei 1 % bleibender Verformung bei 23° C	kg/cm <sup>2</sup>	70	
Linearer thermischer Ausdehnungskoeffizient (pro °C) (23° C - 60° C)		9,9 x 10 <sup>-5</sup>	8,3 - 10,5 x 10 <sup>-5</sup>
Wärmeleitfähigkeit	cal/sec/cm <sup>2</sup> / °C-cm	6 x 10 <sup>-4</sup>	5 x 10 <sup>-4</sup>
Spezifische Wärme	kcal/kg/°C	0,25	0,28
Verformung unter Belastung bei 50° C, 85 kg/cm <sup>2</sup> 24 Std	%	4-8	
bei 50° C, 140 kg/cm <sup>2</sup> , 24 Std	%	25	
Wärmebeständigkeit bei 4,6 kg/cm <sup>2</sup>	°C	121	70
Durchschlagsfestigkeit, kurzzeitig, 2 mm	kV/mm	16-20	20-24
bei 0,1 mm - 0,3 mm	kV/mm	40-80	70-105
Spezifischer Widerstand	Ohm -cm	> 10 <sup>17</sup>	> 2 x 10 <sup>18</sup>
Oberflächenwiderstand 100 % rel. Feucht.	Ohm	> 10 <sup>15</sup>	> 2 x 10 <sup>13</sup>
Dielektrizitätskonstante bei 60-10 <sup>6</sup> Hertz		2,1	2,1
10 <sup>9</sup> Hertz		2,1	
Verlustfaktor bei 60-10 <sup>6</sup> Hertz		< 0,0003	0,0003-0,0005
bei 10 <sup>9</sup> Hertz		< 0,0004	0,001
Wasseraufnahme	%	keine	keine
Brennbarkeit	cm/min	brennt nicht	brennt nicht
Spezifisches Gewicht		2,14 - 2,19	2,14 - 2,17
Witterungsbeständigkeit		ausgezeichnet	ausgezeichnet
Statischer Reibungskoeffizient auf poliertem Stahl		0,04	0,08

### 8.2.2 Preise

Preis des pulverförmigen, polymerisierten Materials

<u>1956</u>	<u>1965</u>	<u>1966</u>
ca. 100	ca. 45	35 - 40 DM/kg

Durchschnittspreis für Halbzeuge und Fertigeinzelteile:

200 - 250 DM/kg

Halbzeug in Form einfacher Profile (Rohre etc.):

60 - 90 DM/kg

Halbzeug für gedruckte Schaltungen (Spitzenenerzeugnis):

ca. 1.200 DM/kg

### 8.3 PRODUKTION

Die Menge der Produktion von Roh- Fluorkohlenstoffharzen in der BRD ist nicht bekannt; sie dürfte jedoch 1966 um 200 t gelegen haben. Der Bedarf einschließlich Ausfuhren wird auf 350 - 400 t/a geschätzt.

(Die Differenz zwischen Produktion und Verbrauch wird durch Einfuhren von Rohmaterial und Halbzeug gedeckt.)

Die Weltproduktion betrug nach überschlägigen Schätzungen:

<u>1950</u>	<u>1960</u>	<u>1966</u>
2.500 - 3.000	5.500 - 6.500	10.000 - 11.000 t

#### 8.4 ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNG

Daten, die die zukünftige Entwicklung quantitativ abschätzen lassen, liegen nicht vor.

#### 8.5 ZAHLEN ZUR ANWENDUNG

Die Lieferungen für die Kerntechnik sind schwer überschaubar, da Fluorkohlenstoff-Kunststoffe in vielen herkömmlichen Geräten verwendet werden, die gleichermaßen in kerntechnischen wie in konventionellen Anlagen eingebaut werden.

Die Lieferungen verteilen sich auf die einzelnen Anwendungsgebiete etwa wie folgt:

	<u>BRD</u>	<u>US</u>
Chemische Industrie	50 %	30 %
Elektroindustrie	25 %	40 % (größter Anteil aufgrund der Anwendungen für militärische Zwecke)
Maschinen- und Fahrzeugbau (u.a. Anwendungen aufgrund der mechanischen und Anti- hafteigenschaften)	25 %	30 %



FALL-NR.: 2268.200 .

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Silicone

1.2 BEZEICHNUNG: Siliconkautschuk

## 2. B E S C H R E I B U N G

### 2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Die ersten Silicone wurden 1931 in den USA hergestellt.

Ihre Entwicklung wurde dem Bedarf nach einem hitzebeständigen Imprägnierungs- und Verklebemittel für die damals auf den Markt kommenden Glasgewebe gerecht. In möglichst weitgehender Annäherung an den chemischen Aufbau des Glases hat man in das Si-O-Si-Grundgerüst, das allen Siliconen gemeinsam ist und ihren Charakter bestimmt, organische Gruppen eingebaut. Es entstanden zunächst lösliche, harzähnliche bzw. lackartige Substanzen.

Der nächste Schritt bestand in der Entwicklung hitzebeständiger Öle auf Siliconbasis als Kühlmittel für Transformatoren und für Kondensatoren.

Etwa 1936 entdeckte man bei der Beschäftigung mit den Siliconverbindungen, daß bei gewissen chemischen Strukturen und nicht allzu großer Vernetzung des Silicongerüsts elastische Körper zustandekommen. Zunächst hatte man nur elastische Gele zur Verfügung, denen weiter keine große Bedeutung beigemessen wurde, weil sie sich kaum in bestimmte Formen bringen ließen und weil ihre Festigkeit zu gering war.

Im Krieg gewannen diese Substanzen an Interesse, und zwar etwa gleichzeitig für die elektrische Isolierung von Zündkabeln für Flugzeuge, die in immer größeren Höhen (ca. 6.000 - 7.000 m) fliegen mußten, bei denen die herkömmlichen Gummisorten durch Corona-Effekte in der stark verdünnten Atmosphäre sehr schnell zerstört wurden, für Dichtungen von Scheinwerfern der Kriegsmarine gegen Einflüsse des Seewassers, unter denen gewöhnlicher Gummi sehr schnell brüchig wurde, und für temperaturbeanspruchte Dichtungen auf dem damals neuen Gebiet der Kerntechnik.

Für die Verwendung in der Kerntechnik war von Bedeutung, daß die Hersteller sehr bald nachweisen konnten, daß Silicongummi ab einer gewissen Temperaturgrenze (etwa  $100^{\circ}\text{C}$ ) auch in Hinsicht auf seine Strahlenbeständigkeit den anderen Kautschuksorten überlegen ist.

Die Entwicklung wurde begünstigt durch die Tatsache, daß man inzwischen gelernt hatte, den elastischen Zustand erst nach der Formgebung zu erzeugen durch einen Vorgang, der in seiner Wirkung mit dem Vulkanisieren des Kautschuks mit Schwefel vergleichbar ist.

In Deutschland beschäftigt man sich (Bayer und Wacker) seit Anfang der fünfziger Jahre (1949 bei Wacker) mit der Produktion der einfachsten Siliconprodukte. Die Siliconkautschukforschung wurde 1951, die Siliconkautschukproduktion 1953 aufgenommen.

## 2.2 EIGENSCHAFTEN

### 2.2.1 Chemischer Aufbau und Darstellung

Die Silicone sind Siliziumverbindungen, bei denen das Chlor des Siliziumtetrachlorids teilweise durch organische Reste ersetzt ist, im Falle des Siliconkautschuks im wesentlichen durch Methylgruppen, während die Leiterstruktur, die den Charakter des Elastomers bestimmt, durch eine Si-O-Si-Bindung bewirkt wird. Eine polymerisationsfähige Doppelbindung existiert in der Silizium-Chemie im Gegensatz zur Kohlenstoffchemie nicht.

Der dem Vulkanisieren des Kautschuks mit Schwefel analoge Vorgang bei der Herstellung des Silicongummis ist die Vernetzung mit Hilfe von Peroxyden unter Wärmeeinfluß (Herstellung der Leiterstruktur). Dem noch plastischen Material wird in der Regel ein Füllstoff aus synthetischer Kieselsäure beigemischt.

Der Füllstoffgehalt beträgt durchschnittlich etwa 33 %.

Das gefüllte Material wird geformt (in hydraulischen Pressen, Spritzgußmaschinen oder in Extrudern) und während oder nach dem Formen vulkanisiert.

### 2.2.2 Charakteristische Eigenschaften

Silicongummi hat gegenüber den herkömmlichen Gummisorten Vor- und Nachteile. Die positiven Eigenschaften beider Materialien lassen sich nicht vereinen, was auf gewisse Schwächen in ihrem jeweiligen chemischen Aufbau zurückzuführen ist.

#### Vorteile:

- Siliconkautschuk zeichnet sich durch gute Oxydationsbeständigkeit aus; er ist beständig gegen Sauerstoff, auch bei höheren Temperaturen. Er besitzt sehr gute Wetter- und Ozonbeständigkeit. Diese wird unterstützt durch die absolute Unempfindlichkeit gegen Bakterien und Pilzbefall, was auf den Anteil an anorganischen Bausteinen im Silicongummi zurückzuführen und beim Einsatz unter tropischen Bedingungen von hervorragender Bedeutung ist;
- Silicongummi ist völlig inert gegen CO<sub>2</sub>-Gas, allerdings ist seine Durchlässigkeit für CO<sub>2</sub> etwa zehnmal größer als für Luft, wodurch seine Verwendung als Dichtungsmaterial unter Umständen problematisch wird, es aber als Material u.a. für die Reindarstellung des CO<sub>2</sub> durch Gasdiffusion interessant erscheinen läßt;
- Silicongummi ist temperaturbeständig und besitzt eine bemerkenswerte Konstanz seiner Eigenschaften über weite Temperaturbereiche. Die Abweichungen sind oft kaum meßbar, u.a. bei den mechanischen Eigenschaften:

Festigkeit, Compression-set, Sondereinstellungen haben vibrationsdämpfende Wirkung, die fast diejenige plastischer Stoffe erreichen kann, Flexibilität auch bei tiefen Temperaturen (bis zu - 100° C)

und elektrischen Eigenschaften:

Elektrische Durchschlagsfestigkeit, elektrischer Verlustfaktor, der auch von der Frequenz weitgehend unabhängig ist

Silicongummi läßt sich seiner Temperaturbeständigkeit wegen sehr gut mit Dampf oder Heißluft sterilisieren;

- Hinzu kommen die guten physiologischen Eigenschaften, die auf seinen einfachen Mischungsaufbau (ohne Alterungsschutzmittel, Vulkanisationsbeschleuniger und dergleichen, die in physiologischer Hinsicht alles andere als unbedenklich sind) zurückzuführen sind;

- Silicongummi ist - wie alle Silicone - wasserabstoßend und hat gute formtrennende Eigenschaften, d.h. es löst sich gut von Unterlagen, was für seine Verwendung als Abdruckmasse entscheidend ist;

Kaltvulkanisierender Silicongummi haftet andererseits sehr fest auf allen siliziumhaltigen Verbindungen (Glas, Glasuren, Quarz, Beton), auf die es auch unter Wasser aufgebracht werden kann; seine Verwendung als Dichtungsmasse, die in letzter Zeit enormen Auftrieb erfahren hat, ist außer auf seine Wetterbeständigkeit und wasserabstoßende Wirkung auf diese Eigenschaft zurückzuführen.

Nachteilige Eigenschaften des Silicongummis sind:

- Seine geringe Weiterreißfestigkeit; je elastischer das Material gemacht wird, je mehr Wert auf eine hohe Kerbzähigkeit gelegt wird, umso geringer wird die Festigkeit, umso größere Einbußen an Elastizität muß man in Kauf nehmen (vergleiche 8.2, zahlenmäßige Angaben);
- Seine geringe Chemikalienbeständigkeit; bereits unter Einfluß von schwachen Säuren und Basen bei relativ niedrigen Temperaturen wird die Si-O-Si-Bindung gespalten;
- Unbeständigkeit gegen gespannten Wasserdampf über ca. 120° C, der ebenfalls die Si-O-Si-Bindung angreift;
- Geringe Beständigkeit gegen ionisierende Strahlung und Neutronen; die Strahlung zerstört die **Si-Kohlenstoffbindung**.

### 2.2.3 Strahlenbeständigkeit

Siliconkautschuk ist bei Zimmertemperatur weniger strahlenbeständig als zum Beispiel Butadien-Styrol-Kautschuk, der bei Zimmertemperatur erst bei integrierten Strahlendosen von ca. 120 Mrad durch weitgehende Versprödung unbrauchbar wird, wogegen man bei Bestrahlung von Siliconkautschuk schon bei 40 Mrad feststellen kann, daß die elastischen Eigenschaften weitgehend verschwinden und harzähnliche Körper entstehen.

Bei Temperaturen von 120° C hingegen erfährt Siliconkautschuk durch die kombinierte Hitze- und Strahlenbeanspruchung noch keine stärkere Veränderung als bei Raumtemperatur, während bei Butadien-Styrol-Kautschuk die

Versprödung schon bei Strahlendosen von 10 Mrad eingetreten ist.

Der größte Teil des Schadens (Degradation) wird durch eine Dehydrierung bewirkt und führt zu einer zunehmenden Vernetzung auf Grund von Radikalbildung und damit zur Versprödung des Materials.

Will man demnach größere Strahlenbelastungen zulassen oder gelingt es nicht, den Siliconkautschuk vor direkter Bestrahlung durch Abschirmungen zu schützen, muß man durch konstruktive Maßnahmen dafür sorgen, daß die entsprechenden Teile leicht zugänglich und auswechselbar sind.

Ersetzt man einen Teil der Methylgruppen durch einen Anteil von etwa 20 Gew.-% Phenylgruppen (Benzolringe), so läßt sich die Strahlenbeständigkeit des Siliconkautschuks bedeutend verbessern, wie ausgedehnte Versuche bewiesen haben.

Es hatte sich bereits früher gezeigt, daß bei geringerer Substitution der Methyl- durch Phenylgruppen (etwa 6 - 7 Gew.-%) das Elastizitätsverhalten bei tiefen Temperaturen (bis herab zu  $-100^{\circ}\text{C}$ ) verbessert werden kann.

### 3. URHEBER, HERSTELLER

#### 3.1 URHEBER

Die ersten Silicone wurden in den USA bei CORNING Glassworks hergestellt.

#### 3.2 HERSTELLER

In der Bundesrepublik Deutschland befassen sich mit der Herstellung von Siliconen:

- FARBENFABRIKEN BAYER & CO. AG
- TH. GOLDSCHMIDT AG, CHEMISCHE FABRIKEN (erzeugt zur Zeit keinen Siliconkautschuk)
- WACKER-CHEMIE (größter deutscher Hersteller)

In Frankreich:

- RHONE-POULENC
- SISS

In den USA:

- DOW-CORNING-CORP. (größter Silicon-Hersteller der Welt)
- GENERAL ELECTRIC
- UNION CARBIDE
- STAUFFER CHEMICAL CORP.

### 3.3 PRODUKTION

Die Produktion von Siliconkautschuk in der BRD betrug 1966 rund 1.100 t (1965 ca. 900 t); davon waren etwa 40 % kalt zu vulkanisierender Siliconkautschuk. (Die Aufgliederung nach Verwendungszwecken ist unter Punkt 5., Anwendung, dargestellt; die Zuwachsrates der Produktion wird in Punkt 6.3 erwähnt).

Die Rohstoffe werden nur in Ausnahmefällen fremdbezogen. (Diese Ausnahmen sind in der Regel auf firmenpolitische Erwägungen zurückzuführen; zum Beispiel möchte man nicht nur auf die eigene Produktion angewiesen sein und pflegt daher Beziehungen zu anderen Unternehmen der Branche, um bei Störfällen in der eigenen Produktion auf deren Lieferungen zurückgreifen zu können.)

### 3.4 EINFUHREN

Die eingeführten Silicone stammen ausnahmslos aus den USA und England. Der Wert der Einfuhren an Siliconen betrug

1966 = 2,0 Mio DM

1965 = 2,2 Mio DM

### 3.5 AUSFUHREN

Der Anteil der Ausfuhren an Siliconen belief sich auf ca. 30 % der Produktion. Die Bestimmungsländer waren Länder des Europäischen Kontinents und des Ostblocks. Ein Embargo für den Ostblock besteht nur für einzelne Produkte, zum Beispiel Silicon - Hoch vakuum - Fette, fluorierter Siliconkautschuk.



#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

##### 4.1 HEUTIGER STAND

Die Eigenschaften des Siliconkautschuks, insbesondere die mechanischen und elektrischen, konnten seit den Anfängen der Siliconforschung erheblich verbessert werden, zum Beispiel

- die Zugfestigkeit von ca. 20 auf 110 kg/cm<sup>2</sup>
- die maximale Bruchdehnung von 100 % auf über 1.000 %
- der Compression-set (Widerstand gegen bleibende Verformung bei Druckbeanspruchung, wichtig für die Verwendung als Dichtungsmaterial), von fast 100 % auf ca. 7 %
- Abriebfestigkeit des heißvulkanisierenden Siliconkautschuks von 1000 mm<sup>3</sup> Abrieb/40 m Reibweg auf 40 mm<sup>3</sup>
- die elektrische Durchschlagfestigkeit von 10 kV/mm auf 35 kV/mm Schichtdicke

Der kaltvulkanisierende Zwei-Komponenten-Kautschuk war bei Aufnahme der Produktion von Siliconkautschuk durch die deutsche Industrie noch nicht bekannt. Seine Entwicklung wurde in den USA und in der BRD gleichzeitig und unabhängig voneinander betrieben. Die Prioritäten lassen sich nicht abschätzen. Der deutsche Hersteller hat jedoch sein Patent auch für die USA erhalten.

Eine vollkommen eigene Entwicklung in Europa stellen die unter dem Einfluß der Luftfeuchtigkeit vulkanisierenden Fugendichtungsmassen dar, für die bei WACKER ein System mit Aminen, bei RHONE-POULENC ein System mit Essigsäure als Vernetzer gefunden wurde. Während sich ersteres als Dichtungsmasse im Bauwesen durchzusetzen beginnt, scheint sich die französische Entwicklung in der Elektroindustrie einzuführen. Die Entwicklung des strahlenbeständigeren Siliconkautschuks (beständig bis zu 120 Mrad) hat bisher nur theoretische Bedeutung erlangt.

#### 4.2 AUSBLICK AUF WEITERE ENTWICKLUNGEN

Die weitere Entwicklung wird auf eine Verbesserung der mechanischen Eigenschaften und der Verarbeitungsmethoden hinzielen. Wünschenswert wäre eine Verbesserung der Chemikalienbeständigkeit, doch ist auf Grund der Konstitution der Silicone eine solche Entwicklung nicht zu erwarten, da dieses Verhalten auf die Schwäche der Si-O-Si-Bindung zurückzuführen ist.

## 5. ANWENDUNG

### 5.1 ALLGEMEINES

Die Anwendungsbereiche stehen ziemlich fest, besonders die Amerikaner (DOW-CORNING CORP.) waren in der Ermittlung neuer Anwendungsmöglichkeiten in den letzten Jahren sehr geschickt. Es ist im gegenwärtigen Zeitpunkt nicht mit entscheidend neuen Anwendungsmöglichkeiten zu rechnen. Die Hauptanwendungsgebiete des Siliconkautschuks liegen auf dem Gebiet der elektrischen Isolierung, hitze- und wetterbeständigen Dichtungen und formtrennenden Substanzen.

Der befragte Hersteller von Silicongummi bedauert, daß von den deutschen Kunden sehr wenig über die Weiterverwendung des Rohmaterials zu erfahren ist.

Während das Informationsmaterial, das dem deutschen Hersteller zugeht, meist nur auf Grund gewisser Spezifikationen Rückschlüsse auf die Anwendung des gelieferten Halbfabrikates zuläßt, ist man offenbar mit ins Detail gehenden Informationen über Verwendungszweck und -probleme in den USA weniger zurückhaltend; was wiederum dazu beiträgt, daß sich über gewisse Analogien auch Aussagen in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht über den deutschen Markt machen lassen.

## 5.2 ANWENDUNGSBEISPIELE AUS DER KERNTECHNIK

	Jahresbedarf
Hitzebeständiges Bindemittel für neutronenbremsende Stoffe (Borkarbid, Bornitrid), zu Platten verpreßt als Abschirmmaterial, hierbei spielt die Erhaltung der Gummielastizität keine übergeordnete Rolle	200 - 300 kg
Zuführungskabel für Steuermotoren, Thermoelemente, Flußmesser u.a.	
Dichtungen für Lademaschinen, Stopfen von Brennelementkanälen u.a.	nicht bekannt
	<hr/>
zusammen ca.	1 t (1965)

## 5.3 ANWENDUNGEN AUSSERHALB DER KERNTECHNIK

### 5.3.1 Metallerzeugende Industrie

Stahl- und aluminiumerzeugende Industrie:

Ummantelungen und Abdichtungen von Leitungen für Antriebsmotoren, Meßinstrumente etc.

### 5.3.2 Chemische Industrie

Pharmazeutische Industrie:

Stopfen für Arzneimittelflaschen für Pharmazeutika wie Penicillin, Streptomycin etc.

### 5.3.3 Elektroindustrie

Hitzebeständiges Klebe- bzw. Bindemittel für Spulen;

Isolierungen, die starkem Wärmeeinfluß ausgesetzt sind, z.B. in hochbelasteten Motoren und Transformatoren;

(Hochspannungs-) Isolierung für flexible Leitungen für extreme Bedingungen in bezug auf Temperatur und Umgebungseinflüsse, z.B. Zündkabel an Flugmotoren, Kabel an Hochspannungsgeräten, unter anderem für Linearbeschleuniger, wie sie in Elektronenstrahlgeräten verwendet werden;

Kabel für Tieftemperaturanlagen;

Kabel für Witterungseinflüssen ausgesetzte Reklamebeleuchtung;

Ummantelung von Thermoelementen

### 5.3.4 Feinmechanik, Optik, Eisen-, Blech-Metallwarenindustrie:

Wetterfeste bzw. hitzebeständige Dichtungen an Scheinwerfern, Periskopen und dergleichen

### 5.3.5 Maschinen-, Apparate- und Gerätebau

Maschinenbau:

Dichtungen, Simmerringe für Temperaturen oberhalb 120°C (bis ca. 200°C)

allgemein:

Schläuche für Heißluft und heißes Öl; Manschetten

### 5.3.6 Kraftfahrzeug-, Flugzeugbau und Raumfahrt

#### KFZ-Bau:

Schläuche für Heißluft und heißes Öl;

Abdichtungen für Ventilstößelstangen gegen Ölausfluß;

Simmerringdichtungen für Sonderkonstruktionen;

#### Flugzeugbau:

Schläuche, Manschetten, Faltenbälge;

Dichtungen und so weiter für hohe und tiefe Temperaturen und atmosphärische Einflüsse; Simmerringe für Dichtungen gegen heißes Öl

#### Raumfahrt:

Bindemittel für den Treibstoff von Feststoffraketen

### 5.3.7 Holz-, Papier- und Druckgewerbe

#### Papierverarbeitung:

Papierimprägnierungen (Die Herstellung von selbstklebenden Dekorationsfolien wurde erst möglich durch die Beschichtung der Abziehfolien mit einem dünnen Film von 0,2 - 0,5 g/m<sup>2</sup> kaltvulkanisierendem Siliconkautschuk.)

### 5.3.8 Bauindustrie und -gewerbe

#### Hoch- und Tiefbau:

Alterungsbeständige Dehnungsfugendichtungsmassen

Bauinstallation:

unter dem Einfluß der Luftfeuchtigkeit härtende Abdichtungen für Sanitäranlagen;

Kitte und Verfugungsmaterial für Glas, auch unter Wasser aufzubringen

### 5.3.9 Dienstleistungen, Forschung

Reproduzierendes Gewerbe:

Formen und Formtrennmittel, z.B. für Reproduktion von Plastiken etc.

Zahnmedizin:

kaltvulkanisierende Zahnabdruckmassen

Medizin:

Schläuche für die Einführung in den Körper, z.B. für Drainageschläuche, Bluttransfusionschläuche und dergleichen;

Implantate, z.B. Herzklappenventile, Lungenplomben

In Entwicklung:

Ätherdiffusionsschläuche für die direkte Diffusion von Anästhetika in das Blut

Biologische Forschung:

für Diffusions-Diaphragmen, z.B. als künstliche Kiemen.

## 6. AUSWIRKUNGEN

### 6.1 ALLGEMEINES

Siliconkautschuk hat sich in vielen Bereichen der Technik durchsetzen können.

Silicongummi ist heute nicht nur als Dichtungs-, Isolier- und Bindematerial in der Kerntechnik von hervorragender Bedeutung, sondern findet allgemein Anwendung.

Während aber die wirtschaftliche Bedeutung der Verwendung von Siliconkautschuk in der Kerntechnik für die Siliconindustrie nicht sehr groß ist - der Absatz für kerntechnische Zwecke beträgt nicht mehr als 1/4 % der Erzeugung an Siliconkautschuk - ist die Produktion für nicht-kerntechnische Zwecke mit einem Umsatzwert von ca. 20 Mill.DM (1965) für die Siliconhersteller ein durchaus interessantes Geschäft.

Vor allem in der Erzeugung und Verwendung der kaltvulkanisierbaren Siliconkautschukarten ist zudem in letzter Zeit eine außerordentlich starke Bewegung über die Anwendung als Dichtungsmasse auf dem Bausektor eingetreten. Hier dürfte künftig das größte Absatzgebiet des unter dem Einfluß der Luftfeuchtigkeit härtenden Siliconkautschuks liegen. Ein geringer Ausbau des Marktanteils des Silicongummis auf diesem Sektor - in der BRD werden jährlich etwa 250.000 t Dichtungsmassen und Kitte verbraucht - dürfte für die Siliconhersteller von erheblicher Bedeutung sein.

In technischer Hinsicht hat es ein verstärktes Bemühen in der Verbesserung des bereits eingeführten heißvulkanisierenden Siliconkautschuks gegeben. Diese Verbesserungen, die unter den technischen Aspekten (Punkt 2 und 4) im einzelnen dargelegt sind, resultierten in Neuschöpfungen von strahlenbeständigem und kälteelastischem Siliconkautschuk, in Verfahren zum Einarbei-



ten gewisser verstärkender Füllstoffe (synthetische Kieselsäure z.B. verbessert die Abriebfestigkeit des Silicongummis) und in der Anpassung des Siliconkautschuks an neue Anwendungsgebiete.

Es ist allerdings nicht immer gelungen, für diese Spezialsiliconkautschukarten entsprechende Kundenkreise zu finden, weil bestimmte Stoffe trotz der inzwischen ausgereiften deutschen Entwicklung aus Amerika bezogen werden, wobei unter Umständen langjährige Verträge oder Garantiebestimmungen, die die Verwendung von Silicongummi nach bestimmten, aber geheimgehaltenen amerikanischen Spezifikationen vorschreiben (so beim Starfighter), eine Rolle spielen.

Dies hemmt einerseits die Entwicklung von Anwendungen auf Spezialgebieten, führt aber dazu, daß sich die deutschen Hersteller um so stärker bemühen, einen Markt für ihre Produkte auf dem konventionellen Sektor zu finden. Sie haben in diesem Bestreben bislang sehr guten Erfolg gehabt.

## 6.2 SUBSTITUTION

Der Anteil der direkten Substitution von hergebrachten Werkstoffen (z.B. Perbunan, Neopren, Thiokol) durch Siliconkautschuk ist gering (0,01 %) Als Beispiele einer möglichen Substitution können angeführt werden:

- Bestimmte Isolierprobleme unter besonderen Bedingungen, z.B. unter Einwirkung von Temperatur (heißes Öl, heißes CO<sub>2</sub>-Gas, flüssige Kohlen-säure), außergewöhnlichen Druckverhältnissen<sup>2</sup> (z.B. für Isolierungen im Vakuum) und Witterungseinflüssen
- Siliconkautschuk als Dichtungsmaterial in Simmerringen für hohe Öltemperaturen statt des herkömmlichen Perbunan
- Fugendichtungen auf Grund der hohen Alterungsbeständigkeit und Wetterfestigkeit des Siliconkautschuks (Substitutionsanteil betrug 1966 ca. 5 %)
- Wegen seiner physiologischen Unbedenklichkeit hat Silicongummi als Stopfen für Arzneimittelflaschen für bestimmte Pharmazeutika ein erheb-

liches Anwendungsgebiet erobert. Die diesbezügliche Substitution weitet sich noch aus und wird vom Gesamtbedarf von etwa 800 t/a an Stopfen für Arzneimittelflaschen einen wesentlichen Teil decken können, wenn es außer durch seine qualitativen Vorteile auch preislich konkurrieren kann, was wiederum bei teuren Medikamenten von weniger einschneidender Bedeutung ist.

#### Grenzen der Substitution

Die Durchlässigkeit des Silicongummi für bestimmte gasförmige Stoffe stellt eine Beschränkung seiner Anwendung dar. So kann er beispielsweise für feuchtigkeitsempfindliche Arzneimittel nicht oder nicht unmittelbar verwendet werden.

Bei der Anwendung in Simmerringen stellt die geringe Abriebsfestigkeit des Silicongummi eine Begrenzung der Substitution des Perbunan dar.

#### Auswirkung in neuen Konstruktionen

Wesentlich bedeutsamer sind aber die Substitutionen ganzer Vorgänge, die zum Teil erst durch die Einführung des Siliconkautschuks möglich wurden. Als charakteristische Beispiele seien genannt:

- Die Herstellung von selbstklebenden Dekorationsabziehfolien, deren klebende Seite vor Gebrauch mit Papier bedeckt ist, das mit einer hauchdünnen Schicht Siliconkautschuk imprägniert ist, damit es sich von der Folie trennen läßt.
- Die mögliche Anwendung von Siliconkautschuk zur direkten Diffusion von Äther über die Venen in das Blut, was unter Umständen einmal eine vollkommene Änderung der herkömmlichen Anästhesiemethoden bewirken könnte.

### 6.3 AUSWIRKUNGEN IM EINZELWIRTSCHAFTLICHEN BEREICH

Möglichkeiten einer Ausbreitung der Anwendungsgebiete aus technischer Sicht sind unter 6.1 angeführt worden.

Über das Ausmaß des Nachfrageanstiegs hat der befragte Hersteller keine präzisen Vorstellungen, beurteilt die Entwicklungsmöglichkeiten jedoch mit "vorsichtigem Optimismus": auch wenn für die nächste Zeit mit einer Konjunkturdämpfung zu rechnen ist, kann man für die heißvulkanisierenden Siliconkautschukarten eine jährliche Wachstumsrate von etwa 10 % zugrundelegen. Für die Produktion von kaltvulkanisierendem Siliconkautschuk wird die Wachstumsrate - getragen durch den Anstieg der Nachfrage für Fugendichtungsmassen - in den nächsten Jahren mindestens 20 % betragen. Für das Jahr 1966 lag sie wesentlich höher; doch sind Rückschläge nicht ganz auszuschließen, wenn es zu irgendwie gearteten Reklamationen kommen sollte.

Der Anteil des Siliconkautschuks an der Gesamterzeugung der damit befaßten Industrie ist tonnagemäßig mit rund 1.000 t/a ziemlich gering, beträgt aber wertmäßig für einen Hersteller etwa 10 % des Umsatzes, wobei der Gewinnanteil höher als der der herkömmlichen Massenprodukte liegt, z.B. der PVC-Kunststoffe.

Für die Produktion sind die Silicone insgesamt insofern von geringerer Bedeutung, als sie nicht in die Verbundwirtschaft der Chemieunternehmen eingreifen, das heißt bei einem zeitweiligen Ausfall der Produktion oder eines Teiles davon werden andere Produktionsbereiche des Unternehmens nicht betroffen, wie das z.B. beim Chlor der Fall ist.

Die Anregungen zur Aufnahme der Produktion der Silicone sind im Falle des befragten Herstellers einerseits aus der Tradition des Unternehmens gekommen, das sich als eines der ersten großtechnisch mit der Chemie des Siliziums befaßte, andererseits durch Hinweise, die die Entwicklungsleitung der Firma aus der Literatur und durch Vorträge über Silicone erhielt.

Erhebliche Vorarbeit wird von seiten der Siliconhersteller bei der Einführung neuer Produkte geleistet, um den Firmen, die den Vertrieb besorgen, den Start zu erleichtern. Im Falle der kaltvulkanisierenden Dichtungsmasse wurde das Produkt bis zur Anwendungsreife vorbereitet, das heißt über die Lieferung des Materials hinaus wurde der Härter eingearbeitet, das Material in Kartuschen abgefüllt und eine geeignete Presse entwickelt.

Wenn das Material einmal so eingeführt ist, daß keine Reklamationen mehr zu befürchten sind, wird das komplette Verfahren an die Kunden abgegeben werden (vergleiche hierzu 6.5).

Dieser Aufwand für Förschung und Markterweiterung wurde aus Gründen, auf die unter Punkt 6.5 noch eingegangen wird, in der BRD allein von den Herstellern getragen, wobei diese sich allerdings teilweise an den Marktgegebenheiten in den USA orientieren konnten.

Die Aufwendungen der befragten Firma für die Einführung neuer Produkte und Forschung auf dem Silicongebiet sind sehr hoch (mit Sicherheit wesentlich mehr als 1 % des Umsatzes mit Siliconkautschuk). Genaue Angaben über den Aufwand für Forschung und Entwicklung konnten von der befragten Firma nicht erlangt werden, unter anderem auch deshalb, weil es keine strenge Trennung der Bereiche nach Forschung und Produktion gibt, was auch in einer Zusammenfassung der Zuständigkeiten nach Erzeugnissen zum Ausdruck kommt.

Der Leiter der Abteilung Silicone ist ein Angestellter der dritten Linie. Er ist der Werksleitung, diese der Geschäftsführung unterstellt.

#### 6.4 SOZIALER BEREICH

Die Zahl der Siliconprodukte, das heißt der verschiedenen Siliconarten liegt gegenwärtig bei 370; die jeweiligen Mengen sind der Erzeugung an pharmazeutischen Produkten vergleichbar, ebenso die Fertigungsmethoden, die nur zum kleinen Teil automatisierte Verfahren benutzen und in kleinen Chargen vor sich gehen. Besondere Sicherheitsbestimmungen, die über den Rahmen derjenigen der Berufsgenossenschaft und des Technischen Überwachungsvereins (TÜV) hinausgehen, sind nicht üblich.

Vom einzelnen Arbeiter wird ein größeres Können verlangt als bei den eingefahrenen großtechnischen Fertigungsprozessen der übrigen chemischen Produktion. Diese Tatsache wirkt sich unter anderem darin aus, daß die gewerblichen Arbeitskräfte in der Siliconerzeugung bei speziellen diffizilen Produktionsstufen um eine Lohnstufe höher stehen als in den herkömmlichen Produktionsbereichen (z.B. Lösungsmittelproduktion). In der Regel wird bereits vom Unternehmer eine entsprechende Auswahl der Arbeitskräfte dadurch getroffen, daß der Siliconabteilung ein gewisses Vorrecht auf die besseren Arbeitskräfte eingeräumt wird. Bei diesen handelt es sich hauptsächlich um angelernte gewerbliche Arbeitskräfte, die für einfache Vorarbeiten in einigen Wochen, für Sondertätigkeiten bis zu einem Jahr, angelernt werden. Ihre spätere Entlohnung hängt nur von der Tätigkeit und der gezeigten Leistung ab; der Maßstab hierfür sind die Bestimmungen des Tarifvertrages.

Die (leitenden) Angestellten werden nach ihrer erfinderischen Leistung oder auf Grund spezieller Kenntnisse (z.B. Sprachkenntnisse) besonders honoriert, wobei ihnen bei einer Beschäftigung mit neuen Produkten wie dem Silicongummi sicher mehr Anregungen gegeben werden als in den eingefahrenen Produktionsbereichen.

Dagegen ist das Niveau der Grundgehälter der Angestellten in vergleichbaren Positionen bemerkenswert gleichförmig. Es ist allerdings unwahr-

scheinlich, daß ein direkter Einfluß des Siliconkautschuks hier irgendeine Rolle spielt; die beobachteten Besonderheiten sind branchenüblich und können bei vielen Sonderprodukten in ähnlicher Weise beobachtet werden (vergleiche auch Vorbemerkung zu Punkt 6).

Die Gesamtzahl der in der Siliconkautschukerzeugung Beschäftigten beträgt in der BRD rd. 200.

#### Fluktuation

Im Vergleich zu branchenüblichen Fluktuationsquoten ist die Anzahl der Stellungswechselnden außerordentlich gering. In der Siliconabteilung kann von echter Fluktuation nicht geredet werden. Die Gründe für das Ausscheiden von Arbeitnehmern sind durchwegs andere als Unzufriedenheit mit dem Arbeitsplatz (z.B. familiärer oder gesundheitlicher Art). Es hat sich in den Siliconabteilungen ein besonderes Betriebsklima eingestellt, die Atmosphäre der "Siliconer". Es ist eine besondere Auszeichnung, zu diesem Kreise zu gehören.

Die Konkurrenzklausel in den Verträgen der höheren Angestellten entspricht denen anderer Bereiche des Unternehmens beziehungsweise sogar der Branche (enthalten im Manteltarifvertrag der chemischen Industrie).

### 6.5 FIRMENVERFLECHTUNGEN, ZUSAMMENARBEIT VON FIRMEN UND INSTITUTIONEN

#### Firmenverflechtungen

Verflechtungen auf gesellschaftsrechtlicher Grundlage, die auf die Herstellung oder Verwendung von Siliconkautschuk zurückzuführen sind, konnten in der BRD nicht festgestellt werden. Hingegen wurde zum Zwecke der Forschung und Produktion von Siliconen allgemein von zwei amerikanischen Chemieunternehmen (Corning Glassworks, Midland, Michigan und Dow Chemical Corp.) ein gemeinsames Tochterunternehmen, die Dow-Corning Corp., gegründet.

#### Zusammenarbeit zwischen Firmen

Eine weitgehende Zusammenarbeit von Herstellerindustrie und Weiterverarbeitern als direkten Kunden beschränkt sich auf Bereiche und Produkte, die im Stadium der Entwicklung sind oder wo z.B. schwierige Messungen vorzunehmen sind, die über die technischen oder wirtschaftlichen Möglichkeiten des Kunden hinausgehen.

Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Verwender (auch aus der Kerntechnik) oder die Erzeugung von Fertigprodukten für den Markt unter Umgehung des Kunden aus der gummi- oder kunststoffverarbeitenden Industrie konnte nicht beobachtet werden. In einem Ausnahmefall handelte es sich um ein neu einzuführendes Produkt (vergleiche 6.3); auch blieb der Vertrieb beim Kunden.

Es ist ein Grundprinzip der chemischen Industrie, keine Fertigerzeugnisse auf den Markt zu bringen, um dem bereits vorhandenen beziehungsweise dem potentiellen Kundenkreis keine Konkurrenz zu machen.

#### Zusammenarbeit zwischen Hersteller und Institutionen

Forschungsaufträge von privaten oder öffentlichen Institutionen oder ähnliches wurden nicht vergeben, das heißt man hat sich von seiten der Siliconhersteller nie um dergleichen Aufträge (z.B. vom Verteidigungs- oder Wissenschaftsministerium) bemüht, weil man in den Herstellerkreisen bestrebt ist, die eigene Unabhängigkeit aufrechtzuerhalten und das "know how", das mit solchen Entwicklungen verbunden ist, nicht ohne weiteres preiszugeben, was in den entsprechenden Verträgen meist zur Auflage gemacht wird. Im übrigen lohnt sich oft der Aufwand für Entwicklungen für die exponierten Gebiete der Technik (Kerntechnik, Raumfahrt, militärischer Sektor) am wenigsten, wie anhand der Entwicklung eines besser strahlungsbeständigen Siliconkautschuks in 4.1 dargestellt ist.

## 6.6 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

Der Umsatzwert von Silicongummi erreicht mit rund 20 Mill. DM/a noch kein Niveau, auf dem ein Einfluß auf die Gesamtwirtschaft zu registrieren wäre (als Vergleichszahl hierzu: Naturkautschuk + Synthesekautschuk > 250 Mill. DM/a). Dementsprechend können Aussagen, die über wirtschaftliche Auswirkungen für die Hersteller, Verarbeiter und Anwender und Auswirkungen auf Grund des technischen Fortschrittes hinausgehen, nicht gemacht werden.



## 7. B E D E U T U N G

Die Vielzahl der Verwendungsfälle von Silicongummi in den verschiedensten Gebieten von Technik und Wissenschaft spricht dafür, daß die Bedeutung dieses Materials weiten Kreisen bekannt ist.

Für gewisse Anwendungsgebiete in der Elektrotechnik, im Maschinenbau, auf dem Bausektor und in der Medizin gilt Silicongummi als das Material der Zukunft als Dichtungs-, Isolierungs- und Strukturwerkstoff. Ein Grund für den verzögerten Nachfragezuwachs dürfte in dem derzeit noch relativ hohen Preis des Silicongummis (siehe Punkt 8.2.3) zu sehen sein. Auch die für spezielle Gebiete häufig sehr viel besseren Eigenschaften konnten diesen Nachteil häufig nicht kompensieren.

Die Entwicklungsmöglichkeiten sind dennoch günstig, was unter anderem in der Erwartung der Hersteller bezüglich des Nachfrageanstiegs (10 % bis 20 % jährlich) zum Ausdruck kommt.

Mit wesentlich neuen Anwendungsgebieten ist derzeit nicht zu rechnen.

8. ZAHLENMÄSSIGE ANGABEN ZU DEN  
PUNKTEN 2. BIS 7.

8.1 DATEN ZUR GESCHICHTLICHEN ENTWICKLUNG

Entdeckung elastischer Silicone:	1936
Erste technische Anwendung:	vor 1945
Aufnahme der Produktionsforschung in der Bundesrepublik:	etwa 1950
Aufnahme der Produktion:	1953

8.2 TECHNISCHE DATEN UND PREISE

Aufbau des Moleküls:	- (R <sub>2</sub> )Si - O - Si (R <sub>2</sub> ) - wobei (R = CH <sub>3</sub> ; C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> )
Durchschnittlicher Füllstoff- anteil:	ca. 33 %
Phenyl-Anteil:	bis zu 6 (-20) Gew. -%

Chemische und physikalische Eigenschaften

Höchste Dauertemperatur (Temperatur, bei der sich noch keine Veränderungen der chemischen und physikalischen Eigenschaften ergeben):

175° C (... 200° C), bei 250° C kann man mit einer Lebensdauer (Erhaltung des gummielastischen Zustandes) von 20.000 h rechnen.

Tiefste Temperatur, bei der noch Flexibilität gegeben ist:

- 60° C (... 100° C für Sondertypen mit 6 - 7 Gew. -% Phenylgruppen)

Maximale Zugfestigkeit  $\approx$  110 kg/cm<sup>2</sup> (Die Zugfestigkeit nimmt mit zunehmender Elastizität ab)

Maximale Zugfestigkeit der kaltvulkanisierenden Sorten

$\leq 20 \text{ kg/cm}^2$

Kompression-Set  $\geq 7 \%$

(Widerstand gegen bleibende Verformung bei Druckbeanspruchung)

Elektrische Durchschlagfestigkeit: 35 kV/mm Schichtdicke

Strahlenbeständigkeit bis zu integrierten Strahlendosen  
von: 40 Mrad (... 120 Mrad) bei 120° C

#### Preise

Erzeugerpreis für das gefüllte plastische Material: ca. DM 22,--/kg

Erzeugerpreis für das kaltvulkanisierende Material: ca. DM 25,--/kg

Verkaufspreis der Fertigerzeugnisse:

Rundschnur als vibrationsdämpfendes Dichtungsmaterial: ca. DM 80,--/kg

Kaltvulkanisierende Dichtungsmasse: ca. DM 50,--/kg

Als Vergleichswerte:

Rohkautschuk: ca. DM 2,50/kg

Perbunan: ca. DM 4,70/kg

Neopren: ca. DM 5,--/kg

SBR: ca. DM 1,90/kg

### 8.3 PRODUKTION

Gesamtproduktion an Siliconkautschuk in der BRD: 1965      1966  
 900 t  $\approx$  1.000 t

### 8.4 ENTWICKLUNGSSTAND

Die Daten der Ergebnisse der Weiterentwicklung der letzten Jahre sind in Punkt 8.2 in Klammern angegeben.

### 8.5 ANWENDUNG

Lieferungen für die Kerntechnik: einige 100 kg bis 1 t/a

Der größere Teil der Lieferungen verteilt sich etwa folgendermaßen:

Elektroindustrie bzw. elektrische Installation für die verschiedenen Anwendungen	1/3	}	heißvulkanisierender Siliconkautschuk
Medizin und pharmazeutische Industrie	1/3		
Der Rest des heißvulkanisierenden Siliconkautschuks verteilt sich auf Maschinenbau, Fahrzeugbau u.a.	1/3		
Formmassen, Zahnabdruckmassen	1/3	}	kaltvulkanisierender Siliconkautschuk
Fugendichtungsmassen	1/3		
Verschiedene Anwendungen	1/3		1/3 der gesamten Lieferungen

## 8.6 AUSWIRKUNGEN

Für eine zahlenmäßige Bewertung der Auswirkungen fehlt entsprechendes Zahlenmaterial.

## 8.7 BEDEUTUNG

Der Bedeutungszuwachs läßt sich am Nachfrageanstieg ermessen, der

für heißvulkanisierenden Silicongummi  $\Rightarrow$  10 %

für kaltvulkanisierenden Silicongummi  $\Rightarrow$  20 %

pro Jahr beträgt.

FALL-NR.: 3613.710

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Spanlose Formgebung

1.2 BEZEICHNUNG: Elektrische Hochleistungs-Umformung

## 2. B E S C H R E I B U N G

### 2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Die ersten Patente bezüglich der Explosiv-Umformung mit Sprengstoffen wurden um die Jahrhundertwende erteilt. Untersuchungen der Kraftauswirkungen des Unterwasserblitzes reichen bis in die dreißiger Jahre zurück. Aber erst die Entwicklung der Werkstoffe, d.h. Übergang zu immer spröderen und hochwärmfesteren Materialien, die mit herkömmlichen spanlosen Verformungsverfahren teils überhaupt nicht mehr oder nur schlecht umgeformt werden konnten, führte zur systematischen Erforschung der Bearbeitung von Werkstoffen mit Schockwellen. Dabei boten die für die Plasma-Physik entwickelten Geräte zur Erzeugung starker Magnetfelder der elektrischen Hochenergieverformung die apparative Grundlage in Form der Stoßstromanlagen. Der Einsatz erfolgte ebenfalls zunächst in der Raketen- und Reaktortechnik (vgl. 3.1 - Urheber).

### 2.2 DARSTELLUNG DES VERFAHRENS

#### 2.2.1 Allgemeines

Die elektrische Energie eines Kondensators kann u.a. zur Erzeugung von Druckwellen mit sehr steiler Amplitude (Schockwellen) verwendet werden. Für die Erzeugung elektrischer Schockwellen werden in der Praxis zwei Wege begangen:

- a) Die aus der Plasma-Physik bekannte Anwendung der Entladung einer Kondensatorbatterie (Stoßstromanlage) in eine Magnetspule zum Aufbau eines kurzzeitigen, aber sehr starken Magnetfeldes, wird zur Erzeugung hoher

Drücke auf begrenztem Raum genutzt: Der starke Flußanstieg kann in einem in das Magnetfeld gebrachten elektrischen Leiter Kräfte induzieren, die groß genug sind, ihn plastisch zu verformen (Elektromagnetische Umformung).

- b) Eine andere Möglichkeit zur Erzeugung einer Schockwelle besteht in der Entladung des elektrischen Energiespeichers über eine Unterwasserfunkenstrecke oder über einen (durch die Erhitzung beim Stromdurchgang explosionsartig verdampfenden) Draht (Hydroelektrische Umformung, Hydrospark).

### 2.2.2 Wirkungsweise

#### Elektromagnetische Umformung

Die Verformungsenergie wird von einer Magnetfeldspule erzeugt. In dieser wird beim Durchfluß des Entladestroms aus der Kondensatorbatterie momentan ein sehr starkes Magnetfeld aufgebaut (bis zu einigen  $10^5$  G). Der Druck, den dieses Magnetfeld auf einen in ihm befindlichen elektrischen Leiter (in diesem Falle das Werkstück) ausüben kann, liegt in der Größenordnung der großen Pressen in der herkömmlichen spanlosen Verformung (bis zu  $3,5 \text{ t/cm}^2$ ). Eine Grenze der Vergrößerung der Drücke ist durch die Standfestigkeit der Spule gegeben, denn diese muß die Reaktionskräfte aufnehmen.

Die Kräfte wirken normalerweise - im Fall, daß ein Werkstück ins Innere der Spule gebracht wird - so, daß das Werkstück von außen wirkenden Radialspannungen unterworfen wird, die eine Einschnürung hervorrufen.



### Hydroelektrische Umformung

Die Verformungsenergie wird von einer Unterwasserexplosion geliefert, deren Zustandekommen praktisch auf zwei Wegen erreicht wird:

#### Unterwasserfunkenentladung

Ein beim Entladen der Kondensatorbatterie zwischen zwei Elektroden überspringender Funke verdampft in einem feinen Kanal längs der Überschlagsstrecke das Wasser. Durch den aus der Verdampfung resultierenden Volumenanstieg wird, da das umgebende Wasser wegen seiner größeren Beschleunigungsmasse zunächst als starre Wand wirkt, ein hoher Druck aufgebaut (bis zu einigen  $10^3$  atü). Dieser Druck pflanzt sich mit Überschallgeschwindigkeit in dem inkompressiblen Medium Wasser fort und stößt auf das Werkstück. Bei hinreichender Intensität wird das Werkstück durch die Druckwelle verformt und in ein dahinterliegendes Gesenk gepreßt. Der Raum zwischen Werkstück und Gesenk wird evakuiert, damit nicht ein Luftpolster das saubere Ausprägen von Kanten und Ecken verhindert. Die Höhe des benötigten Vakuums ( $> 1$  Torr) hängt vom Umformvolumen ab.

#### Drahtexplosion

Spannt man zwischen den beiden Elektroden einen Draht, so wird der Verlauf des Funkens vorherbestimmt. Dies ist vor allem bei komplizierten, unregelmäßigen Formen insofern von Bedeutung, als man durch geeignete Gestaltung des Zünddrahtes, z.B. durch Aufwickeln zu einer Schleife oder Spirale der Schockwellenfront eine bestimmte Form geben und die Explosionsenergie so dosieren kann, daß an

Stellen größerer Ausweitungen des Werkstückes größere Verformungsarbeit zur Verfügung steht.

Die bei der Unterwasserexplosion freiwerdenden Kräfte sind geeignet, Aufweitungen und Ausbeulungen vorzunehmen.

### 2.2.3 Energiespeicher (Beschreibung des Geräts)

Für die Bereitstellung der momentan extrem hohen Leistung (Größenordnung  $10^3$  MW) zur Erzeugung einer Druckwelle mit ausreichend großer Energie zur Verformung des Materials wird ein aus einer Vielzahl von Impulskondensatoren bestehender elektrischer Energiespeicher verwandt. Dieser wird über eine Hochspannungs-Gleichrichter-Anordnung während einer Zeitdauer von (1)-5-10 sec aufgeladen und zur Erzeugung der Schockwelle über einer speziellen Hochstromschalter (Funkenstrecken) innerhalb von Mikrosekunden in die Unterwasserfunkenstrecke bzw. Magnetspule entladen. Dabei gewährleistet ein sogenannter Triggerkreis die gleichzeitige Zündung aller im Hauptkreis parallel geschalteten Speicherelemente und somit den notwendigen steilen Anstieg der Druckwelle durch Überlagerung der durch die einzelnen Hochstromschalter fließenden Ströme. Durch geeignete Abstimmung von Spannung, Kapazität und Induktivität bzw. Form und Länge der Funkenstrecke kann die Amplitude der Stoßwelle beeinflusst werden.

(Technische Daten siehe unter Punkt 8.1)

### 2.2.4 Charakteristische Eigenschaften der Hochspannungs-Explosionsverformung

#### Allgemeingültige Kriterien der Explosionsverformung

Durch Fehlen eines Druckstempels - im Falle der Verformung im Magnetfeld auch eines Gesenks - läßt sich jede Beschädigung

der Werkstückoberfläche vermeiden, wodurch aufwendige Oberflächenbehandlungen wegfallen können.

Das Material wird gleichmäßiger beansprucht als bei anderen Verformungsverfahren.

Infolge der großen Auftreffgeschwindigkeit der Schockwelle (bis zu  $6 \times 10^3$  m/sec) auf das Material verläuft die Umformung des Metallgitters nicht nur längs bevorzugter Ebenen, sondern - nach dem heutigen Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis der Festkörper-Physik - wahrscheinlich über einen zwischenzeitlich strukturlosen (oder gelockerten) Zustand des Materials während der Dauer der größten Druckeinwirkung (einige  $10^{-6}$  sec) in allen Richtungen relativ gleichförmig. Es lassen sich Teile in einem Arbeitsgang herstellen, für die über die üblichen Verfahren zur spanlosen Formgebung mehrere Zwischenstadien oder Wärmebehandlungen erforderlich sind.

Die Verformung ist nahezu plastisch, d.h. die Rückfederung des Materials nach Abklingen der Druckwelle ist erheblich geringer als bei konventionellen Methoden.

Die elektrische Steuerung der Explosionsenergie läßt den Übergang zur Automation einfach erscheinen und gewährleistet genaue Reproduzierbarkeit der Ausbreitung und Stärke der Schockwelle und, daraus resultierend, hohe Formgenauigkeit.

#### Elektromagnetische Umformung

Der große Vorteil der elektromagnetischen Verformung besteht darin, daß kein Übertragungsmedium erforderlich ist, daß das Verfahren im luftleeren Raum genau so gut arbeitet wie in Luft (fertigungstechnische Probleme können jedoch eine Evakuierung

der unmittelbaren Umgebung des zu verformenden Werkstückes ange-  
raten sein lassen).

Dem steht aber ein beachtlicher Nachteil gegenüber. Das Material  
muß leitfähig sein. Bei schlechten Leitern (z.B. V2A-Stahl) oder  
nicht leitenden Materialien kann man dennoch mitunter einen  
brauchbaren Effekt erzielen, indem man das Werkstück mit einem  
guten Leiter beschichtet oder mit entsprechenden Blechen belegt.  
Die Verwendung des Hilfsmaterials läßt jedoch die Anwendung des  
Verfahrens für schlecht leitende Materialien unter manchen Voraus-  
setzungen wirtschaftlich uninteressant erscheinen, u.a. weil bei  
der Beseitigung des Treibmaterials Oberflächenbeschädigungen  
möglich sind. Es kommt jedoch im einzelnen auf den herzustellen-  
den Artikel an; die Verwendung eines Hilfsmaterials ist z.B.  
bei der Membranfertigung sehr wirtschaftlich (sic Hersteller  
des Gerätes).

#### Hydroelektrische Umformung

Das in der Praxis meist verwendete Verfahren der Unterwasserdraht-  
explosion ist etwa um eine Zehnerpotenz wirksamer als die direkte  
Funkenentladung. Man kommt mit kleineren Energiespeichern aus.  
Da die Drücke mit der Entfernung rasch abnehmen, sind für die  
Verformung großer Körper dennoch sehr große Energiespeicher  
notwendig (vgl. Punkt 6.2 - Substitution).

### 3. URHEBER, HERSTELLER

#### 3.1 URHEBER

Die erste Anwendung des Verfahrens liegt vor den Anfängen der Kerntechnik. Es ist z.B. bekannt, daß sich LEV YUTKIN schon 1938 im Polytechnikum Leningrad der enormen Kraft bewußt wurde, die im Unterwasserblitz steckt. Infolge einer Unachtsamkeit waren ihm die Enden von zwei Hochspannungsdrähten in eine mit Wasser gefüllte Schüssel gefallen. Das in die Luft spritzende Wasser und die zerborstene Schüssel gaben den Anstoß zu einer intensiven Forschungsarbeit.

Die für die Erzeugung von Hochtemperaturplasma entwickelten Stoßstromanlagen (mit Energieinhalten von mehreren  $10^6$  Wattsekunden) lassen sich durch Auswechseln der Lasteinheit (Magnetspule) in der beschriebenen Weise als "Werkzeugmaschinen" verwenden. So ist es verständlich, daß die ersten Metallumformversuche im technischen Maßstab in den Laboratorien der Plasma-Physik auf der Grundlage der verbesserten Hochstromspeicher gemacht wurden:

- In Instituten für Plasma-Physik (in München und in anderen mit der Plasma-Physik befaßten Instituten)
- Bei der Firma GENERAL ATOMIC, USA
- Bei der Entwicklung einer Stoßstromanlage für die Kernforschungsanlage Jülich sind in enger Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Industrie (EURATOM, KFA Jülich - BBC) ebenfalls Untersuchungen auf dem Gebiet der elektrischen Materialumformung gemacht worden, die zur Konstruktion

von Umformanlagen führten, die von den in den USA und anderen Ländern konzipierten erheblich abweichen (siehe Entwicklungsstand - Punkt 4).

### 3.2 HERSTELLER

In Deutschland sind bekannt:

- Firma BROWN BOVERI & CIE. AG., Mannheim, die zur Zeit allerdings nur Maschinen für das hydroelektrische Verfahren baut, da die elektromagnetische Umformung augenblicklich durch ein amerikanisches Patent verstellt ist.

In den USA:

- Firma GENERAL ATOMIC, Division of General Dynamics, die auch das oben erwähnte Patent innehat
- WESTINGHOUSE ELECTRIC CO., New York, N.Y.
- REPUBLIC AVIATION
- CONVAIR
- GENERAL ELECTRIC
- ELECTROSHAPE CINCINNATI SHAPER CO., Cincinnati 11, Ohio
- ROHR AIRCRAFT CO., Chula Vista, California
- DIVERSEY ENGINEERING CO., Chicago, Illinois

Für den deutschen Hersteller ergeben sich folgende Probleme:

Die Firma hat als Unternehmen der Elektroindustrie bis dahin keine direkten Beziehungen zum Absatzmarkt:

Potentielle Interessenten sind in erster Linie Unternehmen der Eisen-Blech-Metallwaren-Industrie.

Der Energiespeicher mit seinen Zusatzeinrichtungen ist ein sehr kostspieliges Gerät. Wo nicht ausgesprochene Großserienfertigung gegeben ist, scheint der Aufwand für die Kondensatoranlage erst gerechtfertigt zu sein, wenn man sie für beide Verfahren, die sich in gewisser Weise ergänzen, verwenden kann. Der Verkauf einer entsprechenden kombinierten Anlage setzt jedoch den Besitz der erwähnten Lizenz voraus.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

##### 4.1 HEUTIGER STAND

Die in Westdeutschland von der Firma BROWN BOVERI entwickelten Geräte sind bis zum Prototypstadium gediehen, d.h. sie sind so weit vervollkommen, daß sie nach Durchführung von Dauererprobungen in einen Fertigungsprozeß eingegliedert werden können.

Bei Versuchen in der Klein- und Großserienfertigung in der Eisenblech-Metallwaren-Industrie wurden bei einer Firma dieser Branche bei der Fertigung einiger Produkte gute Ergebnisse erzielt.

Trotz der Schwierigkeiten, die sich bei der Verformung schlecht leitender Materialien ergeben, ist die Magnetumformung für eine Serienfertigung interessanter als die hydroelektrische Umformung. Dies liegt nicht nur an rein fertigungstechnischen Vorteilen, sondern auch daran, daß es für die Aufschumpfvorgänge, die mit dem magnetischen Verfahren durchgeführt werden können, bisher kein in jeder Beziehung geeignetes Verfahren gibt.

Bei schlecht leitenden Stoffen kann die Notwendigkeit der Verwendung eines gutleitenden Treibmaterials möglicherweise dadurch umgangen werden, daß man die Gesamtinduktivität der Anlage und Spule sehr niedrig macht, wodurch nicht nur ein größerer Stoßstrom erreicht wird, sondern auch ein stärkerer Stromanstieg im Lichtbogen, was sich hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit günstig auswirkt. Die unter 3.1 erwähnte Entwicklung des deutschen Herstellers hat sich vor allem auf die Konstruktion solcher Anlagen konzentriert.



Weitere Entwicklungen werden sich befassen mit der:

- Herabsetzung der Taktzeiten und ggf. der Ladezeiten der Kondensatorbatterie
- Automatisierung des Verfahrens
- Dem Ausbau des Verfahrens durch Übernahme der Lizenz für die magnetische Umformung
- Der gründlichen Erforschung des Verhaltens der Materialien bei der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung sowie der Änderung deren physikalischer und metallurgischer Eigenschaften
- Der Aufstellung allgemein gültiger Faustformeln, die z. B. Aufschluß geben über das Verhältnis Umformgrad zur Werkstückdemension. (In den meisten Fällen muß heute noch empirisch festgestellt werden, ob die gewünschte Umformung bei dem gegebenen Werkstoff möglich ist und auf welche Art und Weise bei der Verformung vorgegangen werden muß.)

## 5. ANWENDUNG

### 5.1 ALLGEMEINES

Der Anwendungsbereich des Verfahrens ist vielseitig und nicht nur auf die Umformtechnik allein beschränkt.

Anwendungsmöglichkeiten sind gegeben bei:

- Umformvorgängen:  
Tiefziehen, Ausbauchen, Ausweiten, Stauchen, Biegen, Umbörderln, Prägen, Stanzen
- Fügevorgängen:  
Aufschrumpfen, Plattieren, Verschweißen, Einpressen, Verbinden
- Materialbehandlungen:  
Verdichten, Verfestigen, Härten, Sintern

Eine genaue Abgrenzung der einzelnen möglichen Anwendungsgebiete ist zur Zeit noch nicht möglich. Bisher wird die Anwendung für solche Fälle erörtert, wo die Fertigung von entsprechenden Teilen entweder Schwierigkeiten bereitet oder wegen zu vieler Arbeitsgänge nach herkömmlichen Verfahren zu kostspielig ist. Es lassen sich beispielsweise Ausbauchen, Prägen, Stanzen, Schneiden ohne Zwischenglühen in einem Arbeitsgang ausführen. Die erfolgversprechendsten Anwendungen - vor allem für das Unterwasserfunkenverfahren - sind dort zu sehen, wo es sich um Prototyp- oder Kleinserienfertigung handelt. Dabei kommt der Wirtschaftlichkeit zugute, daß keine teureren Werkzeuge benötigt werden und - soweit mit Matrize gearbeitet wird -

diese ebenfalls ohne übermäßigen Aufwand, eventuell aus Kunststoff oder Beton, hergestellt werden kann. Die Magnetumformung ist besonders durch die breiten Anwendungsmöglichkeiten des Aufschumpfens dem Explosionsverfahren überlegen.

## 5.2 ANWENDUNGSBEISPIELE AUS DER KERntechnik

### Elektromagnetische Umformung

Aufschumpfen für gasdichte Verbindungen an Brennelementver-  
schlüssen.

### Hydroelektrische Umformung

Formgebung von Teilen aus Zirkonium, in den USA angeblich auch Beryllium, die sich kalt und halbwarm nur unter allseitigem Druck verformen lassen.

## 5.3 NICHTKERntechnISCHE ANWENDUNGSBEISPIELE UND -MÖGLICH- KEITEN

### 5.3.1 Metallerzeugende Industrie

Keine Anwendungsbeispiele bekannt.

### 5.3.2 Chemische Industrie

Keine Anwendungsmöglichkeiten bekannt.

### 5.3.3 Elektroindustrie

### Elektromagnetische Umformung

Zusammenpressen einer Statoreinheit einer elektrischen Maschine

durch Aufschrumpfen eines Bandes; Zusammenfügen von Materialien, z.B. Kupferring auf Gummi, Stahl auf Graphit.

#### Hydroelektrische Umformung

Gehäuse für Röntgenröhren.

### 5.3.4 Feinmechanik, Optik, Eisen-Blech-Metallwaren

#### Elektromagnetische Umformung

Herstellung von Eisen-, Blech-, Metallwaren.

#### Hydroelektrische Umformung

Umbördeln von Rohren.

Formen von unregelmäßigen Körpern (z.B. Siebenkant, geteilter Sechskant), von Gebrauchsgegenständen (z.B. Teeglashalter, Blumenvasen, Sahnegießler etc.)

Formgebung von Luftverteilerrohren und Krümmern aus Aluminium (mit Hilfe von Schockwellen-Reflektoren ohne Matrize umgeformt), Gewindehülsen mit ausgestanztem Fenster.

### 5.3.5 Maschinen- und Gerätebau

#### Elektromagnetische Umformung

Alle Arten von Aufschrumpfvorgängen; "Sinterung" von Formteilen aus Wolfram- bzw. Molybdän-Pulver.

#### Hydroelektrische Umformung

Einzelteile, z.B. Stauchen von Kunststoffrohren, Verformung von Platinen (auch magnetisch möglich).

Verbindung (durch Plattieren) von Werkstoffen mit bis zu 2000° auseinanderliegenden Schmelzpunkten, z.B. Aluminium-Tantal.

Härtung aufgrund von Gefügeumwandlungen bei Werkstoffen, die sich durch Wärmebehandlungen nicht härten lassen, aber auch Stahl bis zu größeren Tiefen (einige Zentimeter).

### 5.3.6 Kraftfahrzeug-, Flugzeug- und Raumfahrtindustrie

Kraftfahrzeugindustrie:

#### Hydroelektrische Umformung

Kugel- oder Sechskantausbuchtungen an zylindrischen Rohren

Flugzeugindustrie:

#### Elektromagnetische Umformung

Schrumpfverbindung zweier Rohre, die der Verstellung der Propellerblätter eines Hubschraubers dienen.

Raumfahrtindustrie:

#### Elektromagnetische Umformung

Formgebungsverfahren für kalibrierte Raketenspitzen

#### Hydroelektrische Umformung

Formgebung von Teilen, bei denen Oberflächen mit geringer Rauigkeit erzielt werden sollen; Verdichten und Härten des Materials bis in Tiefen zu 30 mm; Brinellhärtensteigerung um 60 %.

### 5.4 FIRMEN UND INSTITUTE, DIE DIE ELEKTRISCHE HOCHENERGIEVERFORMUNG ANWENDEN

Industrielle Anwender:

- Eisen-Blech-Metallwaren-Industrie

Die Anwendung für die Fertigung von Einzelteilen und Kleinserien von Teilen aller Art wurde in der Zeit von Oktober 1962 bis Oktober 1964 von einem Industrieunternehmen erprobt.

- Weitere industrielle Anwender sind in der RBD nicht bekannt geworden; in den USA ist das Verfahren aber seit 1960 in die Fertigung eingeführt.  
Verwendung außerhalb der Industrie, d.h. in Institutionen, die mit öffentlichen, bzw. fremden Mitteln finanziert werden:
- Institut für Umformtechnik, TH Stuttgart
- KFA Jülich
- Hd Hannover
- TU Berlin
- Universität Bonn
- Zentral-Institut für Fertigungstechnik des Maschinenbaus, Karl Marx-Stadt
- Laboratorio-Gas-Ionizzati C.N.E.N - Euratom, Frascati-Rom.

## 6. AUSWIRKUNGEN

### 6.1 ALLGEMEINES

Es zeigt sich, daß aufgrund der derzeitigen Kenntnisse die elektrische Hohernergieumformung bei speziellen Werkstücken vorteilhaft angewendet werden kann, daß jedoch durch weitere Forschungen die Wirkungsweise aufgehellert und die Anwendungsbereiche erweitert werden müssen, wenn das Verfahren sich in der Produktion ausbreiten soll. Die Wirtschaftlichkeit wird sich durch die Konstruktion der Hohernergieumformung angepaßter Werkstücke steigern lassen.

Darüber hinaus wird sich diese neue Technik nicht nur im Bereich der Umformung einen Platz erobern, sondern in Zukunft auch auf anderen Gebieten Anwendungen finden:

In Physik, Chemie, Mineralogie und Biologie, wobei im einzelnen an Blitzlichttechnik, Zerstäuberanlagen, Zerkleinerungsvorgänge, plastische Verformung von Gesteinkristallen, Verwendung als Bohrwerkzeug, Entkeimen von Flüssigkeiten usw. gedacht wird.

### 6.2 SUBSTITUTION

Substitutionsmöglichkeiten sind für die elektromagnetische Verformung bei allen Aufschumpfvorgängen zu sehen, da diese unter Umständen durch thermische Einwirkungen eine negative Beeinflussung des Materials mit sich bringen und für die Serienfertigung ungeeignet sind. Preßvorgänge mit herkömmlichen Methoden führen oft zu ungleich verteilten Spannungen während des Bearbeitungsvorgangs, so daß sich z.B. Graphit oder keramische Körper gar nicht auf diese Weise mit anderen Materialien zu Einheiten assemblieren lassen.

Substitutionen sind außerdem dort zu erwarten, wo die Fertigung von Teilen, die in geringen Stückzahlen aufgelegt werden sollen, mit konventionellen Methoden zu untragbaren Werkzeugkosten führen.

Die hier beschriebenen Umformvorgänge lassen sich eventuell sogar mit Matrizen aus armierten Kunststoffen oder Beton durchführen. Sie bedürfen keines Stempels oder dergleichen. Durch Wegfall von Werkzeugen können Einsparungen von mindestens 20 % der Gesamtkosten erzielt werden.

Möglichkeiten einer Substitution des Walzplattierens sind für Materialien mit weit auseinanderliegendem Schmelzpunkt gegeben.

Bei der Berechnung der Kosten bei Großserienfertigung von Gewindehülsen ergab sich allerdings folgendes Bild:

Es betragen die Gesamtkosten einer EDISON-Gewindehülse 6,5 Pfg bei Hochernergieumformung und 6,0 Pfg bei herkömmlichen Rollverfahren.

Grenzen der Substitution sind bei der Serienfertigung vorläufig gesetzt durch die

- langen Taktzeiten
  - hohen Anlagekosten und
  - Beschränkung der Leistungsfähigkeit auf die Nennleistung
- Die Maschine läßt sich nicht überlasten, d.h. sie besitzt keine Elastizität in Richtung auf höhere Leistungen:

Mit einem gegebenen Speicher läßt sich nur eine bestimmte Verformungsenergie erzeugen, nur geringfügige oder ausnahmsweise höhere Leistungen lassen sich nicht, wie bei herkömmlichen Pressen, durch kurzzeitige Überlastung erreichen, sondern erfordern eine stärkere Kondensatorbatterie. Dem wird entgegengestellt, daß bei Serienfertigung nur eine Einzweck-



maschine sinnvoll ist und daher die Forderung nach Überlastbarkeit entfällt. Zudem lassen sich Ausbaustufen vorsehen.

Für die Einzel- und Kleinserienfertigung wird sich neben der Unterwasserdrahtexplosion die Hochenergieverformung großer Teile mit konventionellen Sprengmitteln trotz aller Schwierigkeiten und der gebotenen Sicherheitsvorschriften behaupten.

### 6.3 AUSWIRKUNGEN IM EINZELWIRTSCHAFTLICHEN BEREICH

Möglichkeiten einer Ausbreitung der Anwendungsbereiche in technischer Sicht sind unter Punkt 6.1 angeführt. Über das Ausmaß des Nachfrageanstiegs von seiten der konventionellen Industrie von dem Augenblick an, wo die Lizenzverhandlungen hinsichtlich des Magnetformverfahrens abgeschlossen sind, hat der erwähnte deutsche Hersteller aufgrund umfangreicher Marktuntersuchungen sehr optimistische Vorstellungen. (Siehe Graphische Darstellung unter Punkt 8.5)

Jedoch dürften für das Herstellerunternehmen im ganzen zunächst keine großen Auswirkungen zu erwarten sein, denn die Fertigung der Stoßstromanlagen für die Anwendung als Werkzeugmaschinen stellt nur einen kleinen Ausschnitt aus der Fertigung dar.

### 6.4 SOZIALER SEKTOR

(Siehe Bemerkungen unter Punkt 43 des Berichtes)

Wesentliche Änderungen für die Herstellerfirmen (bzw. Firma) und deren Belegschaft sind nicht zu erwarten, da sich die Produktion zwar in ihrem augenblicklichen Entwicklungsstand, nicht

aber in ihrer Art von vergleichbaren Industriezweigen der Elektrobranche unterscheidet. Sie verlangt hohe Präzision und Sorgfalt und wird darin auf diesem Industriesektor höchstens von der Fertigung der Stoßstromanlagen, die für Forschungsanlagen der Plasma-physik (in geringen Stückzahlen) gebaut werden, übertroffen.

Die Zahl der in der Herstellung Beschäftigten dürfte beim gegenwärtigen Stand der Entwicklung direkt zu der Zahl der gefertigten Geräte in Beziehung stehen, da man zwar bestrebt ist, die Hochspannungsanlagen zu typisieren, aber von einer echten Serienfertigung noch nicht die Rede sein kann.

Bei dem Anwender des Verfahrens sind die Personalanforderungen minimal: das Gerät kann von einer angelernten Kraft bedient werden.

Ein indirekter Bedarf an Konstrukteuren und Facharbeitern ergibt sich aus der Tatsache, daß für die wirtschaftliche Einordnung des Gerätes in den Fertigungsprozeß der Betrieb über leistungsfähige Konstruktions-, Werkzeug- und Vorrichtungsbauabteilungen verfügen muß, um die Produktgestaltung der neuen Fertigungsmethode anzupassen.

#### 6.5 FIRMENVERFLECHTUNGEN

Firmenverflechtungen auf gesellschaftsrechtlicher Grundlage, die aus der Herstellung oder der Verwendung der behandelten Geräte resultieren, wurden nicht festgestellt, ebensowenig Anzeichen für künftige Zusammenschlüsse.

#### Firmenzusammenarbeit

Mit einem amerikanischen Unternehmen (GENERAL ATOMIC) sind Verhandlungen über eine Lizenznahme im Gange. Bei der Entwicklung der Geräte und deren verfahrensmäßigen Erprobung arbeitete der Hersteller (BBC) eng mit dem ersten industriellen Anwender in der BRD (WMF) zusammen.

Die Zusammenarbeit KFA Jülich - BBC wurde bereits erwähnt (3.1).

#### 6.6 AUSWIRKUNGEN AUF BRANCHEN

Beim Anwender hat das Bestreben, durch den Einsatz des Gerätes stärker auf dem Apparatebausektor tätig werden zu können, zum Interesse an dem neuen Verfahren beigetragen.

#### 6.7 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

Das Verfahren ist bei uns noch nicht im Stadium der großtechnischen Anwendung. Aussagen über Auswirkungen, die über den Hersteller der Geräte und die unmittelbare Anwendung hinausgehen, können noch nicht gemacht werden.

## 7. B E D E U T U N G

### 7.1 GEGENWÄRTIGE BEDEUTUNG

Die gegenwärtige Bedeutung in Westdeutschland geht bei den potentiellen Anwendern nicht über eine rege Diskussion der Verwendungsmöglichkeiten hinaus. In Labors und Instituten wird die Anwendung erprobt.

### 7.2 ZUKÜNFTIGE BEDEUTUNG

Es sind aber sehr günstige Entwicklungsmöglichkeiten zu erkennen. Die bereits bestehenden Hersteller bereiten sich auf steigende Absätze an elektrischen Hochleistungsspeichern vor. Es gibt Anzeichen, die dafür sprechen, daß auch andere Unternehmen der Elektrobranche die Produktion derartiger Geräte aufnehmen wollen. Das Entwicklungstempo und die zukünftige Bedeutung des elektrischen Hochenergieverformungsverfahrens wird wesentlich davon abhängen, wie wirksam die Hersteller die bisher festgestellte Reserviertheit in potentiellen Abnehmerkreisen durch geeignete Beratung überwinden können.

8. ZAHLENMÄSSIGE ANGABEN ZU DEN  
PUNKTEN 2 - 6

8.1 TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE DATEN

8.1.1 Angaben zum Verfahren

Elektromagnetische Umformung

Druckübertragungsmedium:	entfällt
Erreichbare Umformungsdrücke:	ca. 3,5 t/cm <sup>2</sup>
Ausbreitungsgeschwindigkeit der Stoßwellenfront = Auftreffgeschwindigkeit:	u.U. annähernd mit Lichtgeschwindigkeit; hängt ab vom Anstieg des Stroms aus der Stoßstromanlage
Kosten der elektrischen Umformung:	es sind keine Unterlagen verfügbar

Hydroelektrische Umformung

Druckübertragungsmedium:	Leitungswasser oder andere inkompressible Flüssigkeiten
Erreichbare Umformungsdrücke:	einige t/cm <sup>2</sup>
Ausbreitungsgeschwindigkeit der Stoßwellenfront = Auftreffgeschwindigkeit:	bis zu 6 x 10 <sup>3</sup> m/s
Kosten der elektrischen Umformung:	ca. 30 DM/Betriebsstunde der Anlage
Kostenvergleiche siehe Punkt 8.5	

8.1.2 Daten der marktüblichen Maschinen

Preise

Sie sind abhängig von der verlangten Speicherenergie:

Preis der Anlage der GENERAL ATOMIC mit 60 kWs .... ca. 80.000 Dollar

Preis der BBC-Anlage mit 1,5 bis 9 kWs .... DM 11.000 - 130.000,--  
je nach Ausstattung der  
Maschine

Preis der automatisierten BBC-Anlage .... ca. DM 200.000,--

### Technische Daten

#### E N E R G I E S P E I C H E R

#### Hydroelektrische und elektromagnetische Umformung

Arbeitsspannung	8,3 (GENERAL ATOMIC-Anlage) - 10 - 20 kV
Energieinhalt	6 - 9 - 12 - 18 (GENERAL ATOMIC-Anlage) - 24 .. (84) kWs
Kapazität	aus Grundeinheiten zusammengesetzt 12 x 7,7 = 92 $\mu$ F (BBC-Anlage) bzw. 60 $\mu$ F (GENERAL ATOMIC-Anlage)
Momentane Leistung	ca. $10^3$ MW
Stoßstrom	ca. $0,5 \times 10^6$ A
Aufladestrom	ca. 150 mA
Stromanstieg (dI/dt)	$10^{11}$ - $10^{12}$ A/s
Anlagen-Induktivität	ca. 180 nH
Innerer Widerstand	< 5 mOhm
Zündstreuzeit der Hoch- stromschalter	< 10 $\mu$ s
Entladedauer	10 - 50 $\mu$ s
Aufladedauer	(1) - 6 - 10 s

#### W E R K Z E U G

#### Elektromagnetische Umformung

Spule mit einer bzw. bei der BBC-Anlage mehreren Windungen  
Induzierte Feldstärke einige 100 kG

#### Hydroelektrische Umformung

Funkenstrecke zwischen 2 Elektroden bzw. Draht mit einem  
Durchmesser  $\ll$  1 mm.

### 8.1.3 Daten zur Serienfertigung in der EBM-Industrie

#### Elektromagnetische Verformung

Taktzeit (→ Aufladedauer)	(1)-5 - <u>6</u> - 10 s
Blehdicken	bis zu 5 . . . (10 mm)
Betriebsvakuum	-
Verformungsgrad	5 - 10 %

#### Hydroelektrische Verformung

Taktzeit	ca. 1 - 2 min (30 s)
Blehdicken	1 ... 3 mm
Betriebsvakuum	ca. 1 Torr zwischen Werkstück und Matrize
Verformungsgrad	50 % (bis zu einigen 100 %)

### 8.2 DATEN ZUR GESCHICHTLICHEN ENTWICKLUNG

Ursprung	1938 durch eine zufällige Ent- deckung im Polytechnikum Leningrad
Erste praktische Anwendung in der Kerntechnik	Ende der 50er Jahre
Übergang zur großtechnischen Anwendung	ca. 1962 (in USA)
Erste industrielle Anwendung in Westdeutschland	1962 für Prototyp- und Klein- serienfertigung 1964 vorläufig wieder eingestellt

### 8.3 DATEN ZUR WEITERENTWICKLUNG

Die Daten der durch Weiterentwicklungen angestrebten Größen er-  
scheinen unter Punkt 8.1 in Klammern.

#### 8.4 ZAHLENANGABEN ZUR ANWENDUNG

##### VERTEILUNG DER GERÄTE AUF BRANCHEN

Da hierfür keine Angaben für Westdeutschland zu erhalten waren und andererseits derartige Zahlen noch gar nicht repräsentativ sein könnten, seien Angaben des deutschen Herstellers für die USA angeführt:

Kerntechnik	ca. 20 % der vorhandenen Geräte
Raumfahrttechnik	ca. 20 % der vorhandenen Geräte
Elektroindustrie	ca. 30 % der vorhandenen Geräte
Übrige Industrie	ca. 30 % der vorhandenen Geräte

##### BISHER (1966) IN WESTDEUTSCHLAND VORHANDENE GERÄTE FÜR

###### Elektromagnetische Umformung

in der BRD hergestellt	-
eingeführt	3

###### Hydroelektrische Verformung

in der BRD hergestellt	3
eingeführt	1

#### 8.5 ZAHLENMÄSSIG ZU ERFASSENDE AUSWIRKUNGEN

##### KOSTENVERGLEICH

Hergestellt nach dem Verfahren:

Gesamtkosten für die Herstellung eines EDISON-Schraubgewindes für Glühlampen	elektromagnetisch	6,5 Dpf/Stück
	konventionell	6,0 Dpf/Stück
Herstellungskosten eines Sahngießers	elektromagnetisch	5,-- DM
	konventionell	6,50 DM

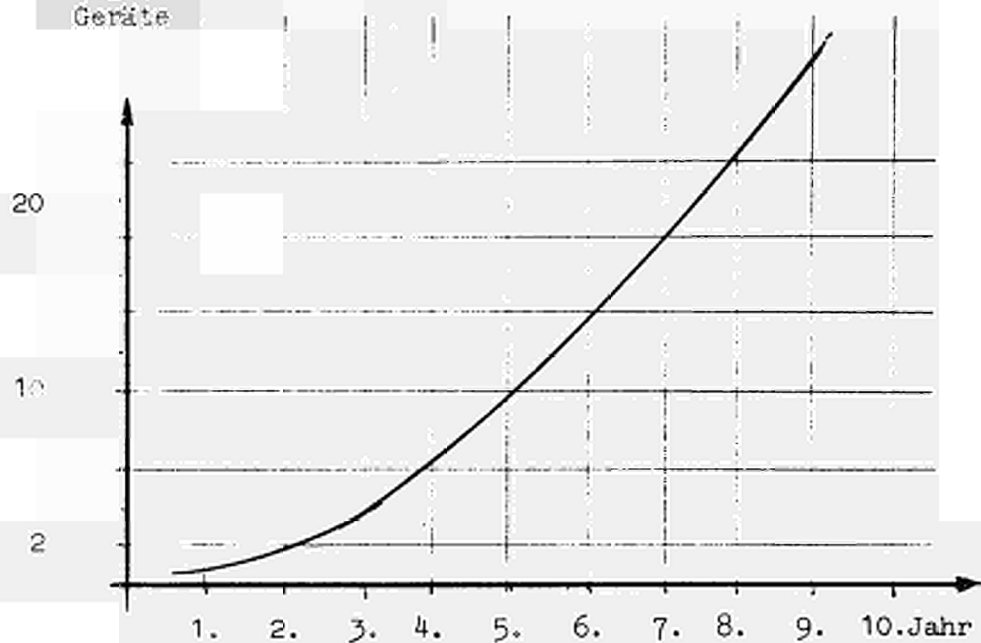
Generell:

Einsparungen gegenüber der Verformung durch übliche Preßverfahren von 20 % (durch niedrigere Werkzeugkosten und geringeren Aufwand für Nachbearbeitung) sind möglich.



Erwartete Absatzentwicklung für elektrische Hochenergiewerkzeug-  
maschinen unter den in Punkt 6.3 erwähnten Voraussetzungen.

Zahl der  
jährlich  
abgesetzten  
Geräte



FALL-NR.: 3617.201

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Schweißen

1.2 BEZEICHNUNG: Elektronenstrahl als Werkzeug  
Anwendungsbeispiel:  
Elektronenstrahlschweißen

## 2. BESCHREIBUNG

### 2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Die Tatsache, daß ein Großteil der Energie von Elektronenstrahlen, die auf ein Target auftreffen, in Wärme umgewandelt wird ( $> 99,9\%$ ), wurde bereits 1904 entdeckt. Wenig später (1906) meldete PIRANI das erste Patent über Nutzung der Elektronenstrahlen als Wärmequelle an. VON ARDENNE's Pionierarbeit auf dem Gebiet der Elektronenstrahlmikroskopie führte zu der ersten labormäßigen Anwendung des Elektronenstrahls als Werkzeug (1938), die später von STEIGERWALD und STOHR unabhängig und auf verschiedenen Wegen technisch realisiert wurde (Anfang der 50er Jahre). Die von STOHR 1954 gebaute Apparatur stellte elektronen-optisch gegenüber der 1904 von PIRANI verwendeten Anlage keinen Fortschritt dar; aber sie löste gewisse von der Kerntechnik gestellte Schweißprobleme und gab damit den Anstoß für weitere Arbeiten in den Forschungs- und Entwicklungsstätten der Kerntechnik im Ausland, die dann unter Verwendung der bereits 1951 von STEIGERWALD in Deutschland gebauten Maschinen und auf der Grundlage einer in Deutschland seit Jahrzehnten gepflegten hochentwickelten Elektronenoptik neuartige Schweißergebnisse von allgemeiner technischer Bedeutung brachten.

### 2.2 DARSTELLUNG DES VERFAHRENS

#### 2.2.1 Allgemeines

Die große kinetische Energie eines in einem einstufigen Linearbeschleuniger auf zirka zwei Drittel Lichtgeschwindigkeit gebrachten Elektronenstrahls wird beim Aufprall auf ein Target in Wärme umge-

wandelt. Diese Wärme kann ein Werkstück lokal bis zum Schmelzen bzw. beim Elektronenstrahlbohren und -schneiden bis zum Verdampfen erhitzen.

#### 2.2.2 Beschreibung des Verfahrens durch seine charakteristischen Eigenschaften

Elektronenstrahlen lassen sich scharf bündeln (bis zu Strahldurchmessern von 0,01 mm bei 1 kW Strahlleistung). Infolge der dadurch erreichbaren hohen Leistungsdichten ( $10^7 \text{ W/mm}^2$ ) werden sehr schmale tiefe Schmelzzonen erzeugt.

Diese Tatsache macht es möglich, die eingestrahltten Wärmemengen äußerst gering zu halten und die Wärme auf die Bearbeitungsstelle zu lokalisieren. Verformung der Werkstücke und Beeinträchtigung der Materialeigenschaften treten praktisch nicht auf.

Sämtliche Einflußgrößen (Schweißparameter) unterliegen der Kontrolle der Maschine. Daraus ergibt sich die Möglichkeit einer exakten Steuerung des Prozesses.

Ein Betriebsvakuum von üblicherweise ca.  $10^{-4}$  torr gestattet es, auch reaktive und stark gasende Materialien zu bearbeiten und gewährleistet saubere lunkerfreie Schweißungen.

Ein weiterer spezifischer Vorzug liegt darin, daß selbst tiefe Schweißnähte (bis zu ca. 100 mm) in e i n e r Lage geschweißt werden können bei verhältnismäßig hohen Schweißgeschwindigkeiten ( $\geq 20 \text{ cm/min}$ ).

### 2.2.3 Funktionsweise des verwendeten Gerätes

In vieler Hinsicht gleicht der Aufbau der Elektronenstrahlwerkzeugmaschinen im System anderen elektronischen Geräten (Elektronenmikroskop, Fernschröhre), die alle auf dem Effekt beruhen, daß man Elektronen im elektrischen Feld beschleunigen kann und der so erzeugte Strahl im elektrostatischen und magnetischen Feld fokussiert und abgelenkt werden kann.

Kernstück der Maschine ist die Elektronenstrahl-"Kanone", die im wesentlichen aus einem Hochspannungs-Linear-Beschleuniger in Form einer Triode und Magnetspulen besteht: Aus einer Wolfram-Glühkathode stark negativen Potentials werden Elektronen emittiert und in Richtung auf eine Anode beschleunigt; zwischen beiden befindet sich nahe der Kathode eine Steuerelektrode.

Solange bei eingeschaltetem Gerät nicht geschweißt wird, wird an die Steuerelektrode eine so starke negative Spannung angelegt, daß keine Elektronen durch die Bohrung der Elektrode austreten können. Beim Schweißen wird die negative Spannung in geeignetem Maße verringert, um die Energie (Stromstärke) des Elektronenstrahls je nach Art der Schweißung zu steuern. Die auf die ringförmige Anode durch ein Potential bis zu 150 kV beschleunigten Elektronen treten durch diese mit extrem hoher Geschwindigkeit durch und in ein Magnetlinsensystem ein, das den Strahl bündelt. Durch Verändern der magnetischen Feldstärke läßt sich der Elektronenstrahl mehr oder weniger scharf bündeln (bis zu ca. 0,01 mm  $\varnothing$ ) und für Entfernungen von 20 mm bis 1000 mm auf einen Punkt des Werkstücks fokussieren.

Außerdem läßt sich der Strahl mit Hilfe einer weiteren Magnetspule ablenken und auf diese Weise über die Werkstückoberfläche an jeden Punkt dirigieren. Durch Steuerung der Stromstärke in der Ablenk-

spule nach einem vorgegebenen Programm läßt sich der Strahl entlang bestimmter Bahnen lenken, zum Beispiel um ihn nicht geradlinigen Schweißnähten folgen zu lassen. Durch Oszillation des Strahls mittels Eingabe eines Wechselstroms in die Ablenkspule und Defokussierung ergibt sich die Möglichkeit, die bestrahlte Zone des Werkstückes bei gleichzeitiger Kontrolle der Temperaturverteilung im Werkstück über den normalen Schweißstrahldurchmesser hinaus zu erweitern.

Bei der Abbremsung schneller Elektronen (oberhalb 10.000 eV) wird außerdem Röntgenstrahlung erzeugt, die nach außen hin abgeschirmt werden muß, was in der Regel durch eine 2 mm bis 5 mm starke Bleischicht (zum Beispiel als Innenauskleidung der Vakuumkammer) erreicht wird.

Eine Beobachtungsvorrichtung erlaubt es, den Punkt, wo der Strahl auf das Werkstück trifft, und den Schweißvorgang zu beobachten.

Um eine Streuung der Elektronen an den Gasmolekülen zu verhindern, wird der Vorgang im Vakuum (ca.  $10^{-4}$  torr) durchgeführt, das heißt das oder die Werkstücke befinden sich während des Schweißens auf einem Aufspanntisch in einer Vakuumkammer entsprechender Größe. Die Elektronenstrahlkanone ist auf die Kammer aufgeflanscht. Kanone und Kammer werden vor dem Schweißen evakuiert; die Kammer wird zur Neubeladung jeweils geflutet.

Die Abmessungen der Kammer richten sich nach der Größe der zu bearbeitenden Werkstücke. Es wurden bereits Vakuumbehälter für Elektronenstrahlmaschinen mit Durchmessern bis zu 2,7 m und Längen bis zu 6,0 m gebaut.

Die Kammer enthält bei den Standard-Maschinen einen Aufspanntisch, der - wie bei vergleichbaren konventionellen Werkzeugmaschinen - x,y-Verschiebungen und Rotationsbewegungen um eine senkrechte und eine horizontale Achse ausführen kann.

Zusätzliche Bewegungen - auch solche, die mathematisch komplizierte Kurven beschreiben - können durch Ablenkungen des Elektronenstrahls über eine elektrische Steuerung der Stromstärke in den Ablenkmagnetspulen nachgefahren werden, wie oben bereits erwähnt wurde.

Vorrichtungen, in die die Werkstücke - bei Serienfertigung von Kleinteilen mehrere gleichzeitig - bereits außerhalb der Vakuumkammer eingespannt werden, werden mit wenigen Handgriffen auf den Aufspanntisch aufgesetzt bzw. ausgetauscht, so daß die Totzeiten - resultierend aus der Notwendigkeit des diskontinuierlichen Arbeitens im Vakuum - vor allem von der Zeit der Evakuierung abhängen und auf ein wirtschaftlich vertretbares Maß zusammengedrängt werden. Die Dauer des Evakuierens beträgt für mittlere Kammergrößen 3 bis 5 Minuten, die Zeit für das Fluten ca. 0,5 Minuten (vergleiche Punkt 8.2 = Zahlenmäßige Angaben).

### 3. URHEBER , HERSTELLER

#### 3.1 URHEBER

##### 3.1.1 Urheber des Elektronenstrahlschweißens als technologisches Verfahren

J.A. STOHR; im französischen Kernforschungszentrum Saclay für das Dichtschweißen von Brennelementen etwa im Jahre 1954 (erste Veröffentlichungen 1957, AEC Fuel Conference).

##### 3.1.2 Urheber des beschriebenen, heute durchweg angewandten Verfahrens

STEIGERWALD und Mitarbeiter in dem eigenen Unternehmen (1948) und später bei Firma CARL ZEISS (Bau des ersten Gerätes etwa 1951/1954); erste Schweißungen im technischen Maßstab (für Plattenbrennelemente der amerikanischen U-Boot-Reaktoren 1958).

#### 3.2 HERSTELLER

Elektronenstrahl-"Werkzeugmaschinen" sind von folgenden Firmen konstruiert worden:

K.H. STEIGERWALD (1951 - 1953)

CARL ZEISS, Oberkochen (Fertigung 1954 - 1962, 1962 Patente an HAMILTON STANDARD, USA, verkauft)

STEIGERWALD STRAHLTECHNIK GMBH, München, seit 1963

HERAEUS HOCHVAKUUM GMBH, Hanau (seit 1955) (in Lizenz der HAMILTON STANDARD)



BALZERS, Vaduz, Liechtenstein (Fertigung in Vorbereitung)

SCIAKY, S.A., Frankreich, seit 1959 (Geräte nach dem Prinzip  
"STOHR" mit beschränktem Anwendungsbereich)

HAMILTON STANDARD, Division of United Aircraft Corporation,  
Windsor Locks, Connecticut, USA, seit 1960

und andere in USA und UdSSR

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

##### 4.1 HEUTIGER ENTWICKLUNGSSTAND

Als Verfahren für Produktionsprozesse tritt das Elektronenstrahlschweißen gerade erst in Erscheinung. Technisch ist es nahezu ausgereift.

##### 4.2 AUSBLICK AUF WEITERE ENTWICKLUNGEN

Weitere Entwicklungen werden sich mit

1. einer 25 kW-Kanone,
2. Geräten, die im Zwischenvakuum schweißen ( $10^{-1}$  torr), um die Pumpzeiten zu verkürzen und
3. Geräten, die in freier Atmosphäre schweißen,
4. der automatischen Scharfeinstellung (Bündelung des Strahls),
5. Schweißen rohbearbeiteter dicker Teile

befassen.

## 5. ANWENDUNG

### 5.1 ALLGEMEINES

Die Einsatzmöglichkeiten des Elektronenstrahlschweißens sind vielseitig, sie reichen von Mikroschweißen an elektronischen Bauteilen bis zu Schweißverbindungen im Schwermaschinenbau.

Es können komplizierte Formen geschweißt werden und eine Vielzahl von Materialien und Materialkombinationen - metallische und nicht-metallische - , die sich mit herkömmlichen Schweißverfahren nicht miteinander verbinden lassen, zum Beispiel Aluminium - Aluminium, Aluminium - Stahl, Kupfer - Aluminium, Zirkonium - Zirkonium.

Da das Material nur in unmittelbarer Umgebung der Schweißzonen erhitzt wird und praktisch kein Verziehen der Werkstücke auftritt, können präzisionsbearbeitete Werkstücke ohne Nachbearbeitung oder Wärmebehandlung geschweißt werden.

Ein weiteres Anwendungsgebiet nicht nur im kerntechnischen Bereich sind Dichtschweißungen an dünnwandigen Schutzumhüllungen.

### 5.2 ANWENDUNGSBEISPIELE AUS DER KERntechnik

#### 5.2.1 Schweißungen an Brennelementen

- Verschweißen von Plattenbrennelementen mit Uran in Fe- oder Al-Matrix
- Dichtschweißen von Brennelementen
- Schweißen von Schalen-Brennelementen

- Endstopfenverschweißung auf Zircaloy-Brennelemente
- Schweißungen an SAP-Brennelementen

#### 5.2.2 Reaktorkonstruktionsteile

#### 5.2.3 Mögliche weitere Anwendungen

Teile von Reaktordruckgefäßen und ganze Gefäße, soweit die Abmessungen für die Größe der Vakuumkammer keine wirtschaftlichen Grenzen darstellen.

### 5.3 NICHT-KERNTECHNISCHE ANWENDUNGEN

- |       |  |   |  |
|-------|--|---|--|
| 5.3.1 | Metallerzeugende Industrie                                       | ) | Keine Anwendungs-<br>beispiele bekannt |
| 5.3.2 | Chemische Industrie,<br>vergleiche Punkt <del>4.3.6</del> 5.3.5) | ) |  |

#### 5.3.3 Elektroindustrie

Schweißen von elektronischen Kleinbauteilen, zum Beispiel Gitter von Elektronenröhren; Dichtschweißungen für den hermetischen Abschluß von Mikrorelais.

#### 5.3.4 Feinmechanik, Optik

##### Feinmechanik:

Verbindung von fertigbearbeiteten (zum Beispiel geschliffenen, vergüteten oder gehärteten) Präzisionsteilen zu komplizierten Einheiten (zum Beispiel Hämmer für IBM-Schnelldrucker)

#### 5.3.5 Maschinen- und Gerätebau

##### Anlageteile für chemische Einrichtung:

Lunkerfreie Tiefschweißungen (bis zu 100 mm), zum Beispiel Schweißen dickwandiger Reaktionsgefäße in einem Schweißgang und ohne lokale Überhitzung des Materials der Schweißrandzonen; Schweißen von Reaktionsgefäßen aus anderweitig nur schwer zu schweißenden Materialien, zum Beispiel Titan und Tantal

##### Armaturen:

Verschweißen von Stellite-Sitzen und -Kegeln bzw. -Kugeln mit dem Ventilgehäuse

#### 5.3.6 Kraftfahrzeug-, Flugzeug- und Raumfahrtindustrie

##### Kfz-Industrie:

Zum Beispiel Verschweißen von fertigbearbeiteten Schraubenrädern, das sind Zahnräder mit unterschiedlicher (schräger und gerader) Verzahnung, zwischen denen kein Platz für Werkzeugauslauf ist

##### Raumfahrt:

Schweißungen beim Zusammenbau von Raumstationen im Vakuum des Weltraums; hier wird einer der Hauptnachteile - Zwang des Arbeitens im Vakuum - zum großen Vorteil

### 5.3.7 Bau- und Baustoffindustrie

Anwendungsmöglichkeiten sind nicht zu erkennen.

### 5.3.8 Dienstleistungsbereiche

#### Forschung:

An zahlreichen Stellen wird das Elektronenstrahlschweißen und seine verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten labormäßig erprobt.

## 6. AUSWIRKUNGEN

### 6.1 ALLGEMEINES

Das Elektronenstrahlschweißen zeigt sich als flexibles vielseitiges Verfahren. Seine besonderen Eigenschaften machen Konstruktionen möglich, die mit herkömmlichen Schweißverfahren nur schwer verwirklicht werden konnten. Zudem sind in vielen Fällen im Vergleich zu den herkömmlichen Schweißverfahren höhere Fertigungsqualitäten erreichbar und damit Kostenersparnisse zu erzielen. Von einem Hersteller wurden die Kosten als 20 bis 25 mal geringer bezeichnet als herkömmliche Verfahren. Dies dürfte vor allem für das Schweißen dicker Teile zutreffen, die normalerweise in einer Vielzahl von Lagen geschweißt werden oder für automatisierte Prozesse.

### 6.2 SUBSTITUTION

Substitution ist auf vielen Gebieten zu erwarten auf Grund der erwähnten Eigenschaften des Verfahrens. Typische Substitutionsbeispiele sind:

- Vakuum-Dichtschweißungen von Hülsen und Gehäusen statt des herkömmlichen Lichtbogenschweißens in Edelgasatmosphäre mit permanenter Wolframelektrode (TIG-Verfahren);
- Schweißen statt Hartlöten von Materialien, die einen so hohen Schmelzpunkt haben, daß sie mit herkömmlichen Methoden nicht geschweißt werden können.

Beispiel einer Substitution einer herkömmlichen Konstruktion:

Verschweißen von fertigbearbeiteten Komponenten, zum Aufbau komplizierter Werkstücke statt Fräsen usw. dieser Werkstücke aus dem vollen Material.

Die Fälle, in denen Substitutionen herkömmlicher Verfahren stattfinden oder denkbar sind, erlauben alleine keine bezeichnende Wertung der Bedeutung des behandelten Verfahrens, denn diese liegt zum großen Teil auch darin, daß vielfach durch den Einsatz des Elektronenstrahlschweißens sich bestimmte Konstruktionen überhaupt erst verwirklichen ließen, unter anderem die unter Punkt 5.3.5<sup>4</sup> erwähnten Hämmer für einen Schnelldrucker und die unter Punkt 5.3.6 genannten Schraubenräder. In beiden Fällen mußte jede Wärmebeeinflussung des der Schweißzone benachbarten Materials vermieden werden. Die gegenwärtigen Grenzen der Substitution liegen in

- der Tatsache, daß die mit diesem Verfahren erreichbaren hohen Fertigungsqualitäten nur auf speziellen Anwendungsgebieten erforderlich sind;
- der Notwendigkeit der präzisen Vorbearbeitung, die bei schweren Werkstücken Schwierigkeiten bereitet;
- den im Vergleich zu herkömmlichen Schweißverfahren hohen Investitionskosten im allgemeinen (siehe zahlenmäßige Angaben unter Punkt 8.2); 3.7 2);
- den hohen Kosten (zum Beispiel von großen Vakuumkammern), die speziell zur Bearbeitung großer Werkstücke erforderlich sind;
- den Totzeiten, bedingt durch die diskontinuierliche Fertigung im Vakuum (Evakuieren, Fluten). Diesen Schwierigkeiten können durch Zwischenschaltung von Schleusen bzw. entsprechend großen Magazinen und automatisierten Beschickungseinrichtungen in der Vakuumkammer umgangen werden.

### 6.3 Auswirkungen im einzelwirtschaftlichen Bereich

Eine Ausbreitung der bestehenden Anwendungsbereiche und ein Übergreifen auf neue Gebiete stehen ohne Zweifel für die nächste Zeit bevor. Über das Ausmaß dieses Anstiegs sind keine genauen Angaben gemacht worden. Es kann hier die Entwicklung erwartet werden, die ein Hersteller von Hochspannungs-



explosionsverformungsgeräten (siehe dort) als Ergebnis einer umfangreichen Marktuntersuchung nannte.

Es ist also für die Herstellerindustrie bzw. für ihre Produktions- und Dienstleistungsbereiche durch die zu erwartende Marktausweitung der Geräte ein bedeutsamer Aufschwung zu erwarten.

Die Neugründung einer Firma (1963), die sich ausschließlich mit der Herstellung und Erprobung von (Elektronen)-Strahlgeräten befaßt, wurde festgestellt.

Bei dem befragten Verwender ist das Gerät weitgehend in die übliche Fertigung eingegliedert. Die Abteilung Druckhammerfertigung mit der Elektronenstrahlschweißmaschine ist einem Abteilungsleiter der untersten Ebene im Bereich der Teilefertigung des Werkes unterstellt. Sie ist eine Einzwecklinie mechanischer Fertigung mit Bohr-, Fräs- und Schleifmaschinen. In ihr sind rund 50 Mitarbeiter beschäftigt.

#### 6.4 SOZIALER SEKTOR

Wesentliche Änderungen für die Herstellerfirmen und deren Belegschaft sind wahrscheinlich nicht zu erwarten, da sich die Produktion zwar in ihrem Entwicklungsstand, nicht aber in ihrer Art von vergleichbaren Industriezweigen (Feingerätebau) unterscheidet.

Allerdings gibt es Firmen, die bezüglich ihrer Anforderungen an die Mitarbeiter offenbar erheblich von der Norm abweichen. Dies wirkt sich einerseits in ihrer Lohnpolitik (bei Einstellung geringere, später höhere Bezahlung als in vergleichbaren Positionen anderer Unternehmen) und den Bestrebungen, dadurch

besonders an der Arbeit der Firma interessierte Bewerber zu finden, andererseits in erhöhten Anforderungen an den persönlichen Einsatz der Mitarbeiter aus.

Die Zahl der Beschäftigten dürfte im derzeitigen Stand der Entwicklung noch direkt im Verhältnis zur Zahl der gefertigten Geräte stehen, da diese zwar typisiert werden, aber noch ausschließlich in Einzelfertigung (beim größten deutschen Hersteller ca. 4 bis 5 Stück/a) hergestellt werden. Die Qualität der Mitarbeiter dürfte nach dem Einspielen der Produktion auf die Anforderungen der Verwender der Geräte bzw. Anwender des Verfahrens für den Entwicklungs- und Überwachungsstab noch anwachsen (wegen der zunehmenden Automation). Die reine Fertigung wird aber voraussichtlich keine außergewöhnlichen Anforderungen an den Mitarbeiterstab stellen.

Auf der Anwenderseite konnten keine entscheidenden Auswirkungen auf dem sozialen Sektor beobachtet werden. Zwar ist der Facharbeiterecklohn wegen der besonderen Anforderungen etwas höher als in vergleichbaren Betrieben, doch trifft das für die Abteilung im ganzen zu, nicht nur für die Arbeit an der Elektronenstrahlmaschine. Der Durchschnittslohn in der Abteilung ist annähernd so wie in anderen Bereichen der Teilefertigung.

Von dieser Nivellierung ausgenommen sind die Löhne der Schweißer, die in zweiwöchigen Ausbildungskursen beim Hersteller in die Bedienung und Wartung der Maschine eingewiesen wurden. Sie erhalten einen besonderen Facharbeiterlohn.

## 6.5 FIRMENVERFLICHTUNGEN

Firmenverflechtungen auf gesellschaftsrechtlicher Grundlage (Beteiligung, Fusion), die durch Auswirkungen der Herstellung oder der Verwendung des Elektronenstrahlschweiß-Gerätes begründet sein können, wurden nicht festgestellt; Anzeichen für zukünftige Zusammenschlüsse ließen sich nicht erkennen.

Firmenzusammenarbeit, ausgelöst durch den Fall Elektronenstrahl als Werkzeug, zeigten sich in der Form

- der Lizenznahme eines deutschen Herstellers von HAMILTON STANDARD, gekoppelt mit Zulieferungsvereinbarungen für die Zeit, bis deutsche Teilelieferanten mit entsprechendem Qualitätsstandard gefunden sind;
- eines möglichen Lizenzvertrages zwischen einem deutschen und einem französischen Hersteller;
- der Vergabe von Lizenzen durch einen deutschen Hersteller (A), um seine Forschungsergebnisse aus dem Gebiete der Elektronenstrahltechnologie umsatzwirksam zu verwerten, auch wenn sie für das eigene Produktionsprogramm nicht geeignet sind.

## 6.6 AUSWIRKUNGEN AUF BRANCHEN

Das Verfahren erscheint besonders aussichtsreich für Anwendungen in der Kraftfahrzeug-, Flugzeug- und Raumfahrtindustrie.

Zur Quantifizierung möglicher Beschäftigungs- bzw. Freisetzungseffekte fehlt bisher ein Maßstab, weil es wahrscheinlicher erscheint, daß neue Fertigungsmethoden eingeführt werden, als daß bewährte Produktionsprozesse in absehbarer Zukunft abgelöst werden.

## 6.7 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNG

Das Verfahren befindet sich im Stadium der beginnenden industriellen Anwendungen.

Auswirkungen auf

Umsatz  
Beschäftigung  
Investition  
Export  
Import

haben bisher keine solche Größenordnung erreicht, daß sie gesamtwirtschaftlich zu erkennen sind.

Die Gründe für die Verzögerung, mit der die Elektronenstrahlverfahren, die als primär deutsche Entwicklung angesehen werden können, vor allem in der BRD zum großtechnischen Einsatz gelangen, sind sehr schwer zu erfassen.

Sie mögen zum Teil damit zu erklären sein, daß die Bundesrepublik Deutschland nach dem Krieg von den Gebieten der modernen Technik, wie der Kernphysik und der Raumfahrt, praktisch isoliert war. Diese Isolierung ist auf einigen Gebieten nach Ansicht maßgeblich an der Entwicklung beteiligter Leute heute noch vorhanden; sie hat sich nur verlagert und eher noch verstärkt.

## 7. B E D E U T U N G

### 7.1 GEGENWÄRTIGE BEDEUTUNG

Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Elektronenstrahltechnik aus fünf Jahrzehnten wurden zur Fertigungsreife des Elektronenstrahlschweiß-Gerätes geführt. Die Verwendung eines quasi optisch geformten und kontrollierten Elektronenstrahls bringt für die Werkstoffbearbeitung eine grundsätzliche Neuerung. Sie bedeutet den Übergang zu (nahezu) masselosen Bearbeitungsmitteln, die trägheitslos zu steuern sind. Der Wirkungsbereich des Verfahrens beschränkt sich in der BRD zur Zeit auf zwei Herstellerfirmen und einige großtechnische Anwender. Im Ausland ist die Zahl der großtechnischen Anwender mit etwa 200 zu beziffern.

### 7.2 ZUKÜNFTIGE BEDEUTUNG

Für das Verfahren sind sehr positive Entwicklungsmöglichkeiten zu erkennen. Die Hersteller bereiten sich auf einen steigenden Absatz vor.

Die Ausbreitung wird durch die Hersteller bestimmt sein und ihre Fähigkeit, Problemlösungen potentiellen Anwendern anzubieten. Die Grenzen der konventionellen Anwendung werden auch in der Zukunft darin liegen, daß die hohe Fertigungsqualität, die mit diesem Verfahren erreicht werden kann, nur in speziell gelagerten Fertigungen gefordert wird. Das Spezialproblem der Fertigungsgenauigkeit und andere Gegebenheiten im Zusammenhang mit der Verwendung des Elektronenstrahlschweißens anstelle konventioneller Schweißmethoden berührt jedoch nur ein Teilgebiet der möglichen Verwendung von Elektronenstrahlverfahren. Für eine Beurteilung der zukünftigen Bedeutung der Strahlungsverfahren

muß man sich vergegenwärtigen, daß es sich hier um die Einführung einer neuen Energieform für Prozesse der Werkstoffbearbeitung handelt. Dies wird zu einer strukturellen Änderung von großen Bereichen der Fertigungstechnik führen und neue, in die konventionellen Normen nicht einfügbare Gebiete erschließen.

8. ZAHLENMÄSSIGE ANGABEN ZU DEN  
PUNKTEN 2 - 6

8.1 TECHNISCHE UND WIRTSCHAFTLICHE DATEN

8.1.1 Angaben zum Verfahren

Schweißtiefen:

Von Bruchteilen eines Millimeters bis zu ca. 100 mm bei  
rostfreiem Stahl, ca. 125 mm bei Aluminium in einer Lage

Schweißgeschwindigkeiten:

Bis zu ca. 15 bis 30 m/min; für große Dicken ca. 0,25 m/min

Größte erreichbare Festigkeit der Schweißstellen:

ca. 140 kg/mm<sup>2</sup> bei Stahl

Leistungsdichte im E-Strahl:

ca. 10<sup>7</sup> W/mm<sup>2</sup>

Auftreffgeschwindigkeit der Elektronen:

ca. 0,7 c (c = Lichtgeschwindigkeit)

Durchmesser des Elektronenstrahls:

0,01 bis zu mehreren Millimetern

Kosten des Elektronenstrahlschweißens beim Schweißen an  
Brennelementen:

ca. (50 -) 60 ..... 90 DM/h (nur bedingt repräsentativ)

8.1.2 Daten der marktüblichen Maschinen

Preise der Maschinen (300 -) 346 ..... 500 x 10<sup>3</sup> DM

Beschleuniger (Elektronenstrahlkanone)

Beschleunigungsspannung	70	-	150		kV
Leistung	2,5		5	7,5 (25)	kW
Stromstärke	20		40	55 (165)	mA
Brennweite des Schweißstrahls	variabel zwischen 20 und 500 (1000) mm				

Ungefähre Preise des Beschleunigers

	135		150	175 x 10 <sup>3</sup>	DM
--	-----	--	-----	-----------------------	----

Vakuunkammer

Abmessungen	ca. 600 x 900 x 500 mm (Normalkammer) bis zu Durchmessern von 2,7 m und Längen von 6,0 m (größte bisher gebaute Anlage)
Betriebsvakuum	ca. 10 <sup>-4</sup> torr
Evakuierzeit der Normalkammer	3 - 5 min
Dauer des Flutens	< 0,5 min

Schweißen von Kleinteilen in Serienfertigung

Taktzeit	ca. 3 sec
Schweißzeit	ca. 0,8 sec
Totzeiten, bedingt durch Fluten, Spann- und Pumpzeiten	ca. 8 min/Anzahl der in die Kammer gebrachten Teile (hier 40)

8.2 Daten zur geschichtlichen Entwicklung

- Erste praktische Anwendung in der Kerntechnik: Wahrscheinlich 1954 (erste Veröffentlichung 1957)
- Übergang zur großtechnischen und allgemeinen Anwendung: Zirka 1958
- Erste industrielle Anwendung in Westdeutschland: Anfang 1966



### 8.3 Weiterentwicklung

Die der Weiterentwicklung angestrebten Größen erscheinen unter Punkt 8.1 in Klammern.

### 8.4 Zahlen zur Anwendung

Verteilung der Geräte auf Branchen :

Kerntechnik	ca. 10
Feinmechanik	1
Raumfahrt	1
Nicht-kerntechnische Forschungsinstitute	ca. 8
Zusammen bisher in der BRD	<u>ca. 20</u>

FALL-NR.: 3931.110

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Handhabung reaktionsfreudiger Stoffe

1.2 BEZEICHNUNG: Flüssige Alkalimetalle als Wärmeübertragungsmittel,  
Beispiel Natrium

## 2. KURZBESCHREIBUNG

### 2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Natrium, 1807 von DAVY entdeckt und erstmals durch elektrolytische Zersetzung von Ätznatron als metallisches Element dargestellt, fand seine erste technische Anwendung 1854 für die Reduktion von Aluminiumoxyd zu metallischem Aluminium. Vorschläge für eine Anwendung als Wärmetransportmittel gehen bis in die zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts zurück. Die Einführung in die Kerntechnik erfolgte 1950 als Kühlmittel (in Form des Eutektikum Kalium-Natrium) für den schnellen Brüter EBR I.

### 2.2 EIGENSCHAFTEN DES FLÜSSIGMETALLS

#### 2.2.1 Physikalische Eigenschaften (vgl. auch Punkt 8.2)

Natrium ist mit 2,63 % am Aufbau der obersten Erdschale beteiligt, seine metallische Darstellung erfolgt über die Schmelzflußelektrolyse von Natriumchlorid oder Ätznatron. Der Schmelzpunkt des reinen Natriums liegt nahe bei  $100^{\circ}\text{C}$ , weswegen man anfangs eher geneigt war, für Flüssigmetallkreisläufe eine Natrium-Kalium-Legierung zu verwenden, die bei Zimmertemperatur flüssig ist. Das Eutektikum (78 Gew % Kalium) hat seinen Schmelzpunkt bei  $-12,5^{\circ}\text{C}$ .

Der Dampfdruck des Natrium ist extrem niedrig. Bis zu etwa  $750^{\circ}\text{C}$  ist er bei Festigkeitsbetrachtungen praktisch vernachlässigbar.

Die spezifische Wärme ist niedriger als die des Wassers, aber auf Grund seiner geringen Viskosität und der guten Wärmeleitfähigkeit ist die Pumpenergie für den Transport einer Wärmemenge durch ein gegebenes Rohrleitungssystem erheblich niedriger als für Wasser oder andere Kühlmedien.

### 2.2.2 Chemische Eigenschaften

Das chemische Verhalten des Natrium ist durch seine große Reaktionsfreudigkeit gekennzeichnet. In Luft überzieht sich Natrium in wenigen Sekunden zunächst mit einer Oxydschicht, die unter Aufnahme von Kohlensäure rasch in Carbonat übergeht und dann durch Anziehung von Feuchtigkeit zerfließt.

Geschmolzenes Natrium kann sich schon bei Temperaturen etwas über 100° C an der Luft entzünden. Die Verbrennung verläuft stark exotherm ohne Flamme, jedoch unter erheblicher Rauchentwicklung und Ausstrahlung eines intensiv weißgelben Lichtes.

Bei Berührung mit Wasser entwickelt Natrium stürmisch Wasserstoff, der zusammen mit Luft heftige Explosionen veranlassen kann. Unter Wasser läßt sich diese Reaktion beherrschen. Wasserdampf oxydiert Natrium unter Erglühen zu Hydroxyd.

Flüssiges Natrium wird unter Inertgasatmosphäre gehandhabt. Als Schutzgas ist Argon oder Helium einem Stickstoffschutzgaspolster vorzuziehen, um die durch Stickstoff begünstigte Korngrenzenkorrosion austenitischer Stähle zu verringern.

Mit Sauerstoff bildet Natrium Oxyde, die einen Hauptfaktor bei der Korrosion in Natrium-Kreisläufen darstellen. Es wird daher sorgfältig darauf geachtet, daß die Verunreinigung der Kreisläufe mit Sauerstoff einen gewissen Grad ( $\leq 50$  ppm) nicht überschreitet.

Natrium und NaK sind als chemische Elemente in reinem Zustand außerordentlich beständig. Sie zersetzen sich nicht (wie z.B. Salzschnmelzen oder Wasser durch Radiolyse) und polymerisieren und verkohlen nicht (wie z.B. organische Kühlmittel).

### 2.3 WERKSTOFFPROBLEME

Anderen Metallen gegenüber verhält sich Natrium neutral im Gegensatz zu Metallen wie z.B. Aluminium, Zink, Kupfer, die im geschmolzenen Zustand Eisen und andere metallische Werkstoffe auflösen. Während als Strukturmaterialien für diese Flüssigmetalle (bei längeren Betriebszeiten) nur keramische Materialien oder Kohlenstoff bzw. Graphit infrage kommen, sind für Natrium auch bei höheren Temperaturen kohlenstoffarme austenitische Edelstähle als Material für Rohrleitungen, Armaturen und Pumpen geeignet. Auch stabilisierte ferritische Eisenlegierungen genügen den Anforderungen an Korrosions- und Auskohlungsbeständigkeit, wie neuere Versuche erwiesen haben.

Die heute üblicherweise in Na- und NaK-Hochtemperaturkreisläufen verwendeten Materialien sind unter anderem folgende:

Stähle: DIN 8 Cr Ni Mo Nb 1616; X 8 Cr Ni Mo V Nb 1613  
ASTM 304, 316, 316 L, 321, 347, 440 und andere  
stabilisierte Ferrite, z.B.: 7 Cr 0,5 Si 0,5 Mo  
5 Cr 1,5 Si 0,5 Mo

Nickellegierungen: z.B.: Nimonic, Inconel, Hastelloy in verschiedenen Versionen

Keramische Werkstoffe: z.B.: Wolframkarbid

## 2.4 SPEZIELLE ENTWICKLUNGEN IN ZUSAMMENHANG MIT DER NATRIUMTECHNOLOGIE

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der natrium- bzw. NaK-gekühlten Reaktoren ging auch die Entwicklung bestimmter Kreislaufkomponenten ihre eigenen Wege.

### 2.4.1 Elektromagnetische Pumpen

Die Dichtungsprobleme der Pumpen gegen das Fördermedium und gegen die Schmiermittel der Pumpenlager führten sehr bald zur Konstruktion von Pumpen ohne bewegte Teile auf dem Prinzip der Induktion.

Grundsätzlich gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Die einfachsten dieser Pumpen arbeiten nach dem Prinzip der Induktion. In einer stromdurchflossenen Spule wird ein Magnetfeld aufgebaut, das auf einen in ihm befindlichen stromdurchflossenen elektrischen Leiter (hier das Flüssigmetall) eine Kraft senkrecht zur Spulenebene ausübt. Es müssen bei diesem System laufend Elektronen über Elektroden, die auf dem von Natrium durchflossenen (abgeplatteten) Rohr sitzen, zugeführt bzw. abgeführt werden. Der Wirkungsgrad dieser einfachen Pumpen ist jedoch schlecht (ca. 6 %). Die Pumpleistungen sind auf einige zehn  $\text{m}^3/\text{h}$  begrenzt, die erreichbare Druckerhöhung auf ca.  $2 \text{ kg/cm}^2$ .
- Auf der Suche nach besseren Lösungen hat man einen Pumpentyp entwickelt, der nach dem Prinzip des kollektorfreien Asynchromotors arbeitet. Dabei strömt das Natrium um einen Magnetkern im Innern der Induktionsspulen in einer ringförmigen Rohrleitung analog der Bewegung des Rotors eines Drehstrommotors. Mit diesem Pumpentyp kann man Durchflussmengen von mehreren tausend  $\text{m}^3/\text{h}$  und Wirkungsgrade bis zu 40 % bei Förderdrücken von  $4 \text{ kg/cm}^2$  erreichen.

Die bisher in Betrieb gegangenen natrium- bzw. NaK-gekühlten Reaktoren sind mit solchen Pumpen ausgerüstet.

- Bei einem weiteren Typ von Induktionspumpen wird ein beweglicher Induktor verwendet; die Pumpen werden mit Gleichstrom betrieben.

#### 2.4.2 Mechanische Pumpen

Die Technik der elektromagnetischen Pumpen ist indessen noch nicht voll ausgereift. Parallel mit ihrer Entwicklung sind große Anstrengungen gemacht worden, die herkömmlichen mechanischen Pumpen soweit zu vervollkommen, daß sie heute eine starke Konkurrenz der Induktionspumpen darstellen. Vor allem für größere Durchflußmengen und Förderhöhen sind Zentrifugalpumpen offenbar besser geeignet als die Induktionspumpen in ihrem derzeitigen Entwicklungsstand.

So geht man bei der Planung von Prototypleistungsreaktoren mit Flüssigmetallkreisläufen immer mehr dazu über, Zentrifugalpumpen vorzusehen, die bei senkrechter Achse entweder mit einem Pumpenrad in fliegender Anordnung und besonderen Stopfbuchsenkonstruktionen versehen sind oder aber natriumgeschmierte Lager besitzen. Während die Prototypreaktoren noch mit Pumpeneinheiten für Durchsätze in der Größenordnung von 4.000 - 5.000 m<sup>3</sup>/h bei Förderdrücken von ca. 7 kg/cm<sup>2</sup> gebaut werden, wird man beim Übergang zu 1.000 MWe Reaktoren Pumpen für Förderleistungen von 10 - 15.000 m<sup>3</sup>/h brauchen, die aus heutiger Sicht aller Wahrscheinlichkeit nach keine elektromagnetischen Pumpen sein werden.

#### 2.4.3 Andere Komponenten für Flüssigmetallkreisläufe

Im Zusammenhang mit der Entwicklung der flüssigmetallgekühlten schnellen Brüter wurden weitere Komponenten den speziellen Belangen angepaßt bzw. verbessert.

Dazu gehören unter anderem:

- Rohrleitungen großer Durchmesser (bis zu 800 mm) aus legierten Stählen für Temperaturen bis 650° C einschließlich Krümmern und Faltenbalgkompensatoren der gleichen Dimensionen
- Wärmetauscher und Dampferzeuger in Rohrbündelbauart oder als Doppelrohrsysteme für Siedewasser und überhitzten oder sogar überkritischen Dampf mit Heizflächenbelastungen, die um mehrere Zehnerpotenzen über den in herkömmlichen Dampfkesseln üblichen Größenordnungen liegen.
- Reinigungskolonnen, z.B. Kaltfallen
- Ventile und andere Armaturen

Über die maschinellen Einrichtungen hinaus war eine ausgedehnte konstruktive Entwicklungsarbeit notwendig, um im Umgang mit Natrium im Zwischenkreislauf, der den Wärmetransport Reaktor - Dampfkreislauf der Turbine übernimmt, absolute Sicherheit und Funktionstüchtigkeit zu gewährleisten.

## 2.5 SICHERHEITSVORKEHRUNGEN

In Anbetracht der Gefahren, die mit Systemen verbunden sind, in denen große Mengen hochoberhitzten Natriums gehandhabt werden und in Wärmetauschern und Verdampfern in unmittelbarer Nähe von Wasser und Wasserdampf gelangen, hat man vielfältige Überlegungen angestellt, wie man die Sicherheit solcher Anlagen erhöhen kann. Die wichtigsten Gesichtspunkte sind im folgenden aufgeführt:

- Das Entstehen von Lecks muß durch sorgfältige Kontrollen in der Konstruktion, Fertigung und Montage der Anlagenkomponenten, Rohrleitungen und Armaturen in den Bereich der minimalsten Wahrscheinlichkeit gerückt werden.



- Zudem muß durch geeignete Schutz- und Warnsysteme (Schotten, Bypassleitungen, Leckfühler) verhindert werden, daß im Falle eines Lecks weitreichende Folgeschäden entstehen.
- Um die Mengen etwa auslaufenden Natriums unter Kontrolle halten zu können, sollte der Boden aus Rosten mit darunter befindlichen unterteilten Sammelbecken bestehen.
- Die einzelnen Komponenten sollten gut zugänglich sein, damit im Falle eines Flüssigmetallfeuers die Bekämpfung mit pulverförmigen Feuerlöschmitteln unmittelbar und aus nächster Nähe erfolgen kann, ohne daß durch große Verzögerung der Löscharbeiten der Brand sich zu sehr ausweitet.
- Kontrollierte Belüftungssysteme für die Absaugung des Rauchs, der bei der Verbrennung entsteht, mit Möglichkeiten der getrennten Absperrung der Frischluftzufuhr zu einzelnen Bereichen sind ein wichtiges Glied in der Kette der Schutzvorrichtungen für solche Anlagen. Für Belüftungs- und elektrische Installationen sollten ausschließlich feuergesicherte Einrichtungen verwendet werden.
- Bei Außerbetriebnahme von Aggregaten, die mit Natrium in Kontakt kommen, ist darauf zu achten, daß diese umgehend von Natriumresten gereinigt werden, da bei Zutritt feuchter Luft explosive Gasgemische entstehen, die sich selbst entzünden können: Nach vollständigem Leeren der Aggregate und Rohrleitungen können sie unter Inertgasatmosphäre mit trockenem Dampf von den letzten Natriumresten gesäubert werden.

### 3. URHEBER, HERSTELLER

#### 3.1 URHEBER

Berthelot schlägt als erster die Verwendung von Flüssigmetallen (Quecksilber) als Wärmetransportmittel vor.

Day und Sosmann und andere entwickelten bis 1922 den ersten Quecksilberkreislauf (mit Verdampfer) für die kommerzielle Energieerzeugung.

Colwell in USA und andere in Deutschland verwendeten Ende der zwanziger Jahre erstmals Natrium als Kühlmittel für hochbelastete Ventile von Flugzeugmotoren.

Die erste Anwendung in der Kerntechnik erfolgte als Kühlmittel für den schnellen Brüter EBR 1, ARCO, USA.

#### 3.2 HERSTELLER

In der Bundesrepublik gibt es gegenwärtig nur einen Erzeuger von Natrium:

DEGUSSA, Knapsack; Produktion ca. 20.000 t/a.

(Farbwerke Hoechst, Gersthofen; Produktion seit 1957 eingestellt)

Außerhalb der Bundesrepublik Deutschland befassen sich mit der Produktion metallischen Natriums:

in den USA:

Du Pont, Niagara Falls	)	
Memphis, Tenn.	)	
Louisville, Ky.	)	Gesamtproduktion
Ethyl Corp.	)	1960 = ca. 100.000 t/a.
National Distillers Chem. Corp.	)	

in Großbritannien:

ICI, Billingham (bis 1952) und Weston Point

in Frankreich:

Soc. d'Electrochimie, Plombière

Die Produktion der UDSSR ist nicht bekannt.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Flüssigmetalle als Kühlmittel haben in Europa noch keine bedeutende Anwendung erfahren. Die Entwicklung der natrium-gekühlten schnellen Brüter ist allerdings auch in der Europäischen Gemeinschaft weit vorangeschritten.

Für die Entwicklungen in der Zukunft lassen sich keine Aussagen machen. Es ist jedoch sicher, daß im Fall eines Durchbruchs der flüssigmetall-gekühlten schnellen Brüter Zentrifugalpumpen und Wärmetauscher großer Leistungseinheiten entwickelt werden müssen. Man kann vermuten, daß sich auch die herkömmliche Industrie die Entwicklungen auf dem Gebiet der Natriumkühlung für die Kerntechnik später zunutze machen, und daß sich die Anwendungen ausweiten werden. Es kann indessen keine Aussage über die Richtung gemacht werden, die die vermutliche Entwicklung im herkömmlichen Bereich nehmen könnte. Vorläufig ist festzustellen, daß eine psychologische Hürde existiert, die die Verwendung flüssiger Alkalimetalle entscheidend behindert.

## 5. ANWENDUNGEN

### 5.1 ALLGEMEINES

Anwendungen von Natrium bzw. von NaK-Legierungen sind auf eine Reihe vorteilhafter Eigenschaften dieser Flüssigmetalle zurückzuführen. Als solche sind zu nennen:

- thermische Stabilität bis zu höchsten Temperaturen
- niedriger Dampfdruck
- geringe Viskosität
- sehr gute Wärmeübertragungseigenschaften
- gute elektrische Leitfähigkeit
- niedriger Preis

Nachteilige Eigenschaften, aus denen die besonderen Probleme des Umgangs mit Natrium und Kalium entstehen, sind:

- Änderung des Aggregatzustandes für Natrium und die Legierungen, deren Schmelzpunkt oberhalb der Raumtemperaturen liegt (Notwendigkeit einer Fremdbeheizung bei Stillstand der Anlage)
- Notwendigkeit der Verwendung hochwertiger Werkstoffe
- Notwendigkeit höchster Reinheitsgrade. Insbesondere der Sauerstoffgehalt des Na muß unter 50 ppm liegen, damit nicht aus den Konstruktionswerkstoffen der Kohlenstoff gelöst wird oder Ablagerungen von Oxyden an Kaltstellen Verstopfungen verursachen.
- Sauerstoffaffinität des Natriums und ~~den~~ daraus resultierenden Dichtigkeitsproblemen und Gefahrenmomenten.

- Reaktionsfreudigkeit mit Wasser.
- Die bei einem Zusammentreffen mit Wasser entstehenden exothermen Reaktionen sind einer der Hauptgefahrenmomente im Betrieb von Natrium-Wasser-Wärmetauschern
- Möglichkeit von Thermoschocks
- Schmierungsprobleme bei Natrium umspülten Lagern bzw. Dichtungsprobleme an fremdstoffgeschmierten Lagern
- Aktivierung des Natriums unter Neutronenbestrahlung.

## 5.2 ANWENDUNGEN IN DER KERntechnik

Na- und NaK-Legierungen (von den übrigen Alkalimetallen ist auch Lithium 7 in Erwägung gezogen worden) finden als Kühlmittel für schnelle Brüter und Hochflußreaktoren Anwendung, außerdem als Kühlmittel in Sekundärkreisläufen von Na- bzw. NaK-gekühlten Reaktoren.

Weitere Anwendungen sind aus dem militärischen Sektor bekannt: Na bzw. NaK wird in den SNAP-Generatoren als Wärmetransportmittel verwendet, so z.B. im SNAP-50 Projekt zur Kühlung eines epithermischen 50-KW-Reaktors mit einem homogenen Brennstoffgemisch aus Zirkonium, Wasserstoff und Uran 235.

Denkbar sind Anwendungen für die Beheizung bzw. Kühlung von einzelnen Kanälen in Versuchsreaktoren, z.B. für Materialuntersuchungen bei bestimmten Temperaturen.

## 5.3 ANWENDUNGEN AUSSERHALB DER KERntechnik

Beispiele von Verwendungen flüssigen Natriums in herkömmlichen Geräten und Anlagen sind vor allem aus den USA bekannt. In Deutschland konnten

keine Beispiele tatsächlich durchgeführter Anwendungen festgestellt werden. Es werden jedoch auch bei uns viele der aus Amerika bekannten Anwendungsmöglichkeiten verfolgt. Im einzelnen sind zu nennen:

#### 5.3.1 Metallerzeugende Industrie

Natrium (statt Wasser) als Kühlmittel für die Kerne von Magnesium-Gießmaschinen, um die Gefahr einer Reaktion von Kühlwasser und Magnesium zu vermeiden.

NaK als Wärmeübertragungsmittel zum Vorwärmen von Hochofenwind, um höhere Temperaturen zu erreichen als im Wärmeaustausch mit Gichtgasbefeuerung.

#### 5.3.2 Chemische Industrie

Erdölverarbeitung: Wärmetransportmittel von zentraler Wärmeversorgung zu Hochtemperaturreaktionsapparaten und für indirekte Wärmeübertragung an empfindliche Stoffe, die bei direkter Beheizung über Ofenbetrieb zerstört werden können (z.B. hochsiedende aromatische Verbindungen).

Nahrungsmittelindustrie: als Wärmeübertragungsmittel für das Pasteurisieren (schnelles, kurzzeitiges Erhitzen unter Druck) von Milch.

#### 5.3.3 Keramische und Glasindustrie

Natrium als Kühlmittel für Flaschengieß- bzw.-preßmaschinen.

#### 5.3.4 Maschinen- und Apparatebau

Werkstoffbehandlungen: NaK-Bad für (Versuchs-)Öfen zur Wärmebehandlung von Rohren und Profilen. Das NaK, das sich in einem Mantel um das Rohr befindet, sorgt durch Wärmekonvektion für sehr gleichmäßige Temperaturverteilungen ( $\Delta t \leq 1^\circ \text{C}$ ) und für rasche Temperaturwechsel im Ofen, wenn das Kühlmittel abgekühlt bzw. erwärmt wird.

Kleinkühlkreisläufe:

- Kühlung von Turbinenschaufeln durch Zirkulation eines Flüssigmetallstroms
- Kühlung von hochbelasteten Auslaßventilen von Kolbenflugmotoren durch einige Kubikzentimeter Natrium, das sich im Innern der hohlen Ventile und Stößel befindet, und durch deren Bewegung umgeschüttelt wird, wobei es die Wärme vom heißen Ventilsitz in die kälteren Teile des Ventilschafts transportiert.
- Andere Anwendungen für die Kühlung hochbelasteter Maschinenteile.

#### 5.3.5 Energieerzeugung

Zwischenüberhitzerkreisläufe in Hochdruckkraftwerken: Na bzw. NaK als Wärmeübertragungsmittel zwischen Kessel und Turbine zur Zwischenüberhitzung des Dampfes nach den ersten Turbinenstufen (mit diesen Möglichkeiten befassen sich auch deutsche Kesselbauunternehmen).

#### 5.4 MÖGLICHE WEITERE ANWENDUNGSBEREICHE

- Natriumbeaufschlagte Temperaturregelkreisläufe für Glas-Schmelzen oder andere Produkte, die auf hohen Temperaturen ( $> 400^\circ \text{C}$ ) zu halten sind.



- Natriumbeaufschlagte Wärmetauscher für die fraktionierte Kondensation von Metalldämpfen (z.B. Magnesium) für die Reindarstellung der Metalle.
  
- Flüssigmetallbad für elektrische Widerstandsheizungen. Es wird vorgeschlagen, um den isolierten Heizdraht einen flüssigmetallgefüllten Doppelmantel zu legen, der diesen vor "burn outs" (lokalen Überhitzungen mit Schmelzen des Drahtes) schützt, wenn aus irgendwelchen Gründen die zu erhitzende Flüssigkeit zeit- oder stellenweise die Heizschlange nicht benetzt.

## 6. A U S W I R K U N G E N

### 6.1 ALLGEMEINES

Die Auswirkungen im wirtschaftlichen und personellen Sektor lassen sich nur anhand der Anwendung von Flüssigmetallen als Kühlmittel für Brutreaktoren beobachten, bzw. auf Grund der bisher vorhandenen Konzeptionen lassen sich gewisse Auswirkungen voraussagen. Anwendungen im nicht-kern-technischen Sektor gibt es - wie bereits erwähnt - in der Bundesrepublik nicht, so daß die folgenden Ausführungen als Extrapolation der auf den konventionellen Sektor übertragenen Auswirkungen der Na-Kühlung in der Nukleartechnik zu sehen sind.

Es sind allerdings Rückwirkungen auf dem herkömmlichen Bereich auf Grund der Tatsache zu verzeichnen, daß im Zusammenhang mit der technischen Verwirklichung der Na-Kühlung ausgedehnte Forschungen durchgeführt wurden, die Probleme von grundsätzlichem Interesse klären halfen und für weite Gebiete der Technik wertvoll sind. Im einzelnen sind diese Rückwirkungen, die zumindest im gegenwärtigen Zeitpunkt von größerer Bedeutung sind, als die direkten Einflüsse der Anwendung von Natrium in folgenden "Nebenprodukten" der Flüssigmetalltechnologie zu sehen:

- Vermehrung des Wissens über den Stoff "Natrium", seine physikalischen Eigenschaften betreffend Dampfdruck, Viskosität, spez. Wärme, Leitfähigkeit, Oberflächenspannung über weite Temperaturbereiche und seine chemischen Eigenschaften, insbesondere Reaktionen mit Wasser und Sauerstoff
- Erweiterung des Wissens über Wärmeübergang und Wärmeleitung allgemein und speziell an überkritischen Wasserdampf
- neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Korrosion und Dekarbonisierung der Werkstoffe

- neue kernphysikalische Erkenntnisse im Zusammenhang mit dem Bau von schnellen Brütern.

Die Entwicklung von Sondermaschinen oder -anlagen wurde in Punkt 2.4 bereits aufgeführt.

## 6.2 SUBSTITUTION

Na-Kreisläufe bzw. andere Systeme, in denen Natrium oder andere Flüssigmetalle als Wärmetransportmittel verwendet werden, stellen weder in der Reaktortechnik noch in den bekanntgewordenen Anwendungen oder Anwendungsmöglichkeiten eine Substitution vorhandener Systeme dar. Sie sind vielmehr als zusätzliche oder Hilfseinrichtung anzusehen, mit denen es möglich ist, spezielle Wärmetransportprobleme (in der Regel handelt es sich darum, große Wärmemengen aus einem kleinen Raum weg- oder dorthin zu bringen) zu lösen. Sie ersetzen nicht die direkte Beheizung oder Kühlung, sondern verlagern sie an einen anderen Ort.

Hingegen kann der Stoff "Natrium" andere Wärmeübertragungsmittel ersetzen. Hier ist von den metallischen Medien in erster Linie Quecksilber zu nennen, dem Natrium als Wärmetransportmittel in mancher Hinsicht trotz der besonderen Gefahren, die mit Natrium verbunden sind, überlegen ist. In letzter Zeit hat reines Natrium auch die NaK-Legierungen praktisch vollkommen verdrängt.

## 6.3 AUSWIRKUNGEN IM EINZELWIRTSCHAFTLICHEN BEREICH

Sowohl für den deutschen wie auch für die ausländischen Hersteller von Natrium werden sich durch die Verwendung von Natrium als Wärmeübertragungsmittel in absehbarer Zeit keine merklichen Umsatzsteigerungen ergeben. Legt man für die BRD in den nächsten Jahren (bis etwa 1970) einen jähr-

lichen Bedarf von 20 - 30 t und für die Jahre von 1970 - 1980 einen Jahresbedarf von etwa 100 t Natrium für Zwecke des Wärmetransportes zugrunde, so wird damit in keinem Falle ein bedeutender Prozentsatz der Gesamtproduktion metallischen Natriums, die für 1966 etwa 20.000 t betrug, erreicht werden. Da der Preis des Natriums (dieses gehört - auf die Volumeneinheit bezogen - mit zu den billigsten Metallen) niedrig ist (rd. 2,- DM/kg), sind die in diesem Zusammenhang getätigten Umsätze auch absolut gesehen für die Hersteller von geringem wirtschaftlichen Interesse.

Über die wirtschaftlichen Auswirkungen für die Unternehmen, die sich mit Lieferungen von Aggregaten für Natrium-Kreisläufe befassen, können noch keine Aussagen gemacht werden, da die bisher durch Lieferungen für kern-technische (Versuchs-)Anlagen bedingten Umsätze in der BRD sehr gering sind. Mit den Möglichkeiten von Verwendungen von Na-Kreisläufen in der herkömmlichen Industrie hat sich der befragte Zubehör-Hersteller bisher nicht befaßt.

#### 6.4 AUSWIRKUNGEN DER VERWENDUNG VON NATRIUM ALS WÄRMETRANSPORTMITTEL AUF DEM PERSONELLEN BEREICH

Wegen seiner Brennbarkeit und der Heftigkeit der Reaktion mit Wasser zählt Natrium und Kalium zu den "gefährlichen Stoffen" der Gefahrenklasse I, die die Einhaltung bestimmter Schutzvorschriften erfordern. (Diese sind im wesentlichen im "Merkblatt über den Umgang mit Natriummetall" der Berufsgenossenschaften dargelegt)

Bei sorgfältiger Einhaltung der Schutzvorschriften und Vorkehrungen in Form höchster Fertigungsqualitäten und besonderer konstruktiver Maßnahmen ist die Unfallgefahr beim Umgang mit Natriumkreisläufen nicht größer als mit größeren Mengen bestimmter Chemikalien (z.B. gekühlte Flüssiggase

in Großbehältern). Natrium wird seit vielen Jahren in Großspeichern und Kesselwagen gehandhabt (allerdings bei Temperaturen von  $< 150^{\circ}$  C).

Um die Gefahr von Natriumbränden mit weitreichenden Auswirkungen möglichst weitgehend einzuzengen, sind die Anlagen mit entsprechenden Löscheinrichtungen zu versehen und Löschfahrzeuge bereitzuhalten.

Über das Vorhandensein einer ständig alarmbereiten Werksfeuerwehr wird in Anlagen mit Natriumkreisläufen und Natrium-Wasser-Wärmetauschern zum Teil das technische Schichtpersonal und gegebenenfalls auch das Betriebspersonal in Kurzausbildungen (Dauer etwa 2 Wochen) in die Handhabung der Löscheinrichtungen und in Katastrophenpläne eingeführt.

Natriumbrände, die bereits bei der Berührung des Natriums mit Luft entstehen können, lassen sich mit trockenem Salz, Soda, Sand, Graphit, Staub oder grobem Eisenpulver sowie mit Spezial-Löschmitteln ersticken.

Brennendes Natrium entwickelt einen dichten Rauch, der die Schleimhäute ätzt. Dementsprechend müssen Personen, die in Berührung mit dem Rauch kommen, mit geeigneten Schutzvorrichtungen (Vollmasken und (Silicon-) gummierter Schutzkleidung) ausgerüstet sein.

Da in Anlagen mit Natrium-beaufschlagten Rohrleitungen und Apparaten die Möglichkeit des Auftretens eines Lecks und das Versprühen von flüssigem Natrium nicht vollkommen ausgeschlossen werden kann, empfiehlt es sich, daß die dort Beschäftigten grundsätzlich eine Kopfbedeckung und Gesichtsschilde bzw. -masken sowie am ganzen Körper entsprechende Schutzkleidung tragen, und daß Atemmasken jederzeit griffbereit sind.

Hautverbrennungen, die durch flüssiges Natrium hervorgerufen werden, sind einer starken Infektionsgefahr ausgesetzt. Sie sollten mit reichlich Wasser ausgewaschen und das verbleibende Alkali (mit Borsäure oder verdünnter Essigsäure) neutralisiert werden. Die Wunden sind mit Sulfonamiden zu behandeln.

## 6.5 FIRMENVERFLECHTUNGEN UND -ZUSAMMENARBEIT

Es konnte eine Verflechtung festgestellt werden, die sich in Form einer Übernahme eines deutschen Unternehmens durch ein amerikanisches wider- spiegelt. Die amerikanische Firma befaßt sich mit der Herstellung von Einrichtungen für Natriumsysteme wie z.B. Pumpen, Armaturen, Meßgeräte, Alarmgeräte, Schutzgeräte und dergleichen und wurde beim Kauf des deutschen Unternehmens offensichtlich vom Wunsch geleitet, in den zu erwartenden Markt der BRD mit eigenen Erzeugnissen einzusteigen.

Eine weitere Verflechtung von deutschen und amerikanischen Gesell- schaften - allerdings auf dem Kernsektor - zeigt sich in der Gründung einer deutschen Firma, die sich mit der Entwicklung von natriumgekühlten Reaktoren befaßt.

Im Rahmen der Entwicklung von natriumgekühlten schnellen Brütern er- gibt sich darüber hinaus eine weitgehende Zusammenarbeit der damit befaßten Firmen und Institutionen.

## 6.6 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

Die Welterzeugung von metallischem Natrium lag 1966 über 150.000 t/a. von der Produktion wird allerdings nur ein kleiner Teil (einige hundert Tonnen jährlich) für Wärmeübertragungszwecke verwendet, wobei der Hauptanteil der Lieferungen an Kernreaktoren gehen dürfte. In der Euro- päischen Gemeinschaft dürfte bis 1970 der Bedarf für Versuchskreisläufe und natriumgekühlte schnelle Brüter kaum 50 t/a. überschreiten. In den Jahren 1970 - 1980 ist mit dem Bau von drei "schnellen Brütern" zu rechnen, die jeweils einen Bedarf von einigen hundert Tonnen haben wer- den (Rapsodie ca. 30 t). Für den Gesamtbedarf an Natrium im Zeitraum 1970 - 1980 ergibt sich je nach Bauart dieser Brutreaktoren (integrierte

oder getrennte Anordnung der einzelnen Komponenten) ein Bedarf von etwa 3.000 bzw. 2.000 t. Daraus ergibt sich unter der Annahme, daß keine weitere Preisdegression erfolgen wird, ein Umsatzwert mit Natrium von etwa 5 <sup>Mrd.</sup> ~~Mrd.~~ DM innerhalb von 10 Jahren.

Es ist leicht zu ersehen, daß diese Mengen auf die Volkswirtschaft keinen merklichen Einfluß haben können. Auch die eventuellen Anwendungen im nicht-kerntechnischen Sektor werden diese Umsätze nicht wesentlich steigern, da die dort gebrauchten Mengen gering sein werden.

Ein ganz anderes Verhältnis ergibt sich, wenn man die Entwicklungs- und Baukosten der für die Flüssigmetallkühlung benötigten Anlagen (Wärmetauscher, Durchflußmesser, Pumpen, Reinigungskolonnen, Leitungssysteme) mit in eine Betrachtung der wirtschaftlichen Auswirkungen der Flüssigmetalltechnologie einbezieht. Allein der Entwicklungsaufwand für einen Prototyp eines natriumgekühlten schnellen Brütters wird die Größenordnung von zwei Milliarden DM erreichen (von 1968 an etwa 7 - 8 Jahre lang jährlich 300 Mrd. DM), wovon ein Großteil für die Lösung technologischer Probleme außerhalb des eigentlich nuklearen Teils aufzuwenden sein wird.

## 7. B E D E U T U N G

### 7.1 GEGENWÄRTIGE BEDEUTUNG

Die Bedeutung des Wärmetransports mittels flüssigmetallbeaufschlagter Zwischenkreisläufe ist bei uns noch sehr gering. Die wenigen Anwendungen im herkömmlichen Bereich bedienen sich in keinem der bekanntgewordenen Fälle flüssiger Alkalimetalle. Anwendungen in der Reaktortechnik sind zwar für die Zukunft insbesondere im Zusammenhang mit der Entwicklung der schnellen Brüter mit Sicherheit in größerem Maße zu erwarten, beschränken sich aber gegenwärtig auf Versuchsanlagen.

Im augenblicklichen Zeitpunkt steht man der Verwendung dieser Metalle als Wärmeübertragungsmittel außerhalb der Kerntechnik abwartend oder sogar ablehnend gegenüber, vor allem dann, wenn es sich darum handelt, Natrium in die Nähe von Wasser zu bringen wie z.B. in Wärmetauscheranlagen.

### 7.2 ZUKÜNFTIGE BEDEUTUNG

Es sind jedoch eine Reihe von Anwendungen und Anwendungsmöglichkeiten aus den USA und anderen Ländern außerhalb der Europäischen Gemeinschaft bekannt, die mit großer Wahrscheinlichkeit auch bei uns Aufnahme finden werden, wenn es durch die intensive Beschäftigung der Kerntechnik mit der Natriumtechnologie und die dadurch erfolgten Entwicklungen hinsichtlich Sicherheit und Wirtschaftlichkeit gelungen sein wird, "psychologische" Hürden auf dem Weg zum großtechnischen Einsatz von Natriumkühl- bzw. Heizkreisläufen abzubauen und die Kosten solcher Anlagen zu senken.



8. ZAHLENMÄSSIGE ANGABEN ZU DEN  
 PUNKTEN 2 - 6

8.1 DATEN ZUR GESCHICHTLICHEN ENTWICKLUNG

Entdeckung des metallischen Elements Natrium:	1807
Erste Anwendung als Kühlmittel:	1928
Erste Anwendung als Kühlmittel für einen schnellen Brüter:	1950

8.2 TECHNISCHE DATEN, PREISE

8.2.1 Technische Daten

Schmelzpunkt:	98° C
Siedepunkt:	883° C
Dichte im festen Aggregatzustand bei 98° C:	0,95 g/cm <sup>3</sup>
Dichte im flüssigen Aggregatzustand bei 98° C:	0,927 g/cm <sup>3</sup>
Dichte im flüssigen Aggregatzustand bei 500° C:	0,833 g/cm <sup>3</sup>
Viskosität	bei 500° C: 0,239 c P
	(Wasser bei 120° C: 0,235 c P)
	bei 98° C: 0,69 c P
	(Wasser bei 40° C: 0,65 c P)
Dampfdruck	bei 500° C: 3,59 mm Hg
Wärmeleitfähigkeit im flüssigen Zustand	bei 500° C: 0,159 cal/cms <sup>°C</sup>
Wärmeleitfähigkeit im flüssigen Zustand	bei 100° C: 0,205 cal/cms <sup>°C</sup>
Wärmeleitfähigkeit im festen Zustand	bei 98° C: 0,285 cal/cms <sup>°C</sup>

Elektrischer Widerstand im flüssigen Zustand	bei 400°C:	20 Mikroohm/cm
(Kupfer	bei 20°C:	1,7 Mikroohm/cm )
Schmelzwärme:		27 cal/g
Mittlere spezifische Wärme 98/500° C		0,325 cal/g°C
Wärmeaustauschkoeffizient für eine Strömungsgeschwindigkeit von 2 m/s:		4.9 W/(cm <sup>2</sup> · ° C)

### 8.2.2 Preise (1967 Februar)

Natrium 1,60 bis 2,00 DM/kg

Zum Vergleich:

Aluminium mit 99,5 % 2,30 DM/kg  
 Elektrolytisches Kupfer 4,70 DM/kg

### 8.3 PRODUKTION VON NATRIUM

	<u>1950</u>	<u>1960</u>	<u>1966</u>
Weltjahresproduktion (t)	150.000	140.000 <sup>+) </sup>	-
Erzeugung in der BRD (t)	-	-	20.000
Erzeugung in den USA (t)	-	ca.100.000	-

+ ) ohne Ostblockproduktion

### 8.4 ENTWICKLUNGSSTAND

Keine Angaben

## 8.5 ANWENDUNG

Anwendungen sind in der BRD auf die Kerntechnik beschränkt.

## 8.6 WIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

### Bedarfsentwicklung

Es lassen sich für die Anwendung von Natrium als Wärmetransportmittel nur auf dem Gebiet der Kerntechnik ungefähre Angaben machen:

<u>Na-Einsatz in schnellen Brütern (t)</u>		<u>Anzahl bis 1980 innerhalb d. Europäischen Gemeinschaft</u>
für einen Versuchsreaktor (10 MW <sub>th</sub> )	rd. 30 t	3 (-5) einschließlich Versuchskreisläufe
für einen Prototypreaktor (100 MW <sub>e</sub> )	rd. 300-500 t	2 (-3)
für einen Leistungsfaktor (1000 MW <sub>e</sub> )	rd. 2.000-3.000 t	1 (-2)

FALL-NR.: 4567.100

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Druckbehälter

1.2 BEZEICHNUNG: Stahldruckbehälter

## 2. B E S C H R E I B U N G

### 2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Die Entwicklung der Hochdruckbehälter nahm ihren Anfang im wesentlichen 1909, als das von Haber entwickelte und von Bosch verbesserte Verfahren zur Synthese von Ammoniak aus  $N_2$  und  $H_2$  erstmals großtechnisch durchgeführt wurde. Die Synthese wurde anfangs bei Drücken von etwa 200 atm, später zur Steigerung der Ausbeute bei etwa 400 atm in verhältnismäßig schlanken Behältern ( $\emptyset$  max. 1500 mm, Länge max. 15 m) durchgeführt.

Die nach 1945 beginnende Erzeugung elektrischer Energie aus Kernenergie schaffte in Form der wassergekühlten Reaktoren einen Bedarf an Druckbehältern größerer Durchmesser, die sich im Laufe der Zeit mit steigenden Leistungseinheiten der Kernkraftwerke in immer größeren Dimensionen bewegten.

Die größten zur Zeit in Europa in Konstruktion befindlichen Stahl-druckbehälter haben Innendurchmesser von mehr als 5 m und Höhen von mehr als 20 m und werden für Betriebsdrücke von ca. 100 atm und Betriebstemperaturen von  $\geq 300^\circ C$  ausgelegt.

Neuere Entwicklungen auf dem Chemiesektor, die zum Teil auf den Übergang von Kolben- auf Turbokompressoren zurückzuführen sind, eröffnen diesen Großdruckbehältern weitere Verwendungsbereiche, wobei sich wiederum die Ammoniak-Synthese als aussichtsreichstes Gebiet für eine Sekundäranwendung der für die Kerntechnik entwickelten großen Druckgefäße darstellt.

## 2.2 TECHNISCHE PROBLEME

### 2.2.1 Allgemeines

Der Bau großer Druckbehälter für Kernreaktoren ist in den letzten Jahren zu einem wichtigen Sondergebiet des Schwerapparatebaues geworden. Gegenüber den herkömmlichen Druckbehältern ergaben sich hierbei eine Reihe von Besonderheiten sowohl konstruktiver und fertigungstechnischer Art als auch hinsichtlich umfangreicher Entwicklungsarbeiten auf dem Werkstoffsektor, die sich nun auf die Druckbehälter für konventionelle Verwendungszwecke positiv auswirken. Eine Übertragung von kerntechnischen Entwicklungen dürfte sich über die Gefäße als solche hinaus auch ergeben auf dem Gebiet der neuen Technik des Schweiß-Plattierens niedrig legierter, ferritischer Stähle mit nichtrostenden Austeniten und durch die Ausbreitung der für Kernreaktordruckgefäße entwickelten automatischen Verschraubung der Deckel mittels hydraulischer Verspannung aller Schraubenbolzen gleichzeitig.

Die Erfahrungen, die man bei der Herstellung großer Druckgefäße für Kernreaktoren machte, zeigen, daß die Konstruktion aus aneinandergeschweißten, nahtlosgeschmiedeten Schüssen für den Bau von Großdruckbehältern besonders geeignet ist. Geschweißte Konstruktionen aus Blechen entsprechender Wandstärken konnten sich im Reaktorbau zumindest in der BRD nicht durchsetzen.

Diese Erscheinung ist zumindest teilweise auf die besonderen Sicherheitsanforderungen zurückzuführen, die in einem dichtbesiedelten Land wie Deutschland höher sind als in Ländern, wo es möglich ist, Kernreaktoren weitab jeder menschlichen Siedlung zu errichten.

Um die Sicherheit der Reaktordruckbehälter zu erhöhen, hat man den Typ der Druckgefäße aus zusammengeschweißten Ringen gewählt, bei dem Längsschweißnähte, deren Belastung im zylindrischen Teil doppelt so groß sind wie die Schweißnähte zwischen den einzelnen Schüssen, nicht vorkommen. Außerdem sind die erreichten Werkstoffqualitäten bei den geschmiedeten Ringen durch das Auslöchen der Blockseigerung gegenüber dem gewalzten Blech besser. Durch Zusammenschweißen von Drehteilen gelingt es zudem, sehr enge Toleranzen in bezug auf Unrundheit einzuhalten.

### 2.2.2 Berechnung

Für die Konstruktion, Berechnung und Herstellung von Druckgefäßen üblicher Bauart sind die Richtlinien der technischen Überwachungsorgane (TÜV und Gewerbeaufsichtsbehörden) und bestimmte Normen maßgeblich, unter anderem Dampfkesselverordnung, Unfallverhütungsvorschriften für Druckbehälter.

Die großen Druckgefäße für Kernreaktoren bedürfen besonders genauer technischer Analysen. Auf Grund ihrer ungewöhnlichen Ausmaße und Betriebsbedingungen erfordern sie auch ungewöhnliche Lösungen in der Konzipierung, Konstruktion, Herstellung und in der betrieblichen Überwachung.

So werden zur Bestimmung der optimalen Behälterformen unter anderem Untersuchungen an Modellen (zum Beispiel im Maßstab 1 : 5) durchgeführt. Die Auslegung der Behälter erfolgt in der Regel nach dem ASME-Boiler-Code. Die daraus festgelegten Abmessungen werden nach Methoden der Theorie der Platten und Schalen auf Zulässigkeit der auftretenden Spannungen rechnerisch überprüft.

Zumindest die hochbeanspruchten Teile (Flansche, Umgebung von Bohrungen und Stützen) werden darüber hinaus auch anhand spannungsanalytischer

Methoden (zum Beispiel an Modellen oder am Werkstück selbst) im einzelnen untersucht. In jedem Falle werden diese Zonen, aber auch die zylindrischen und vor allem die Übergangsbereiche und sphärischen Teile im Rahmen der Druckprobe Spannungsmessungen an den inneren und äußeren Oberflächen der Behälter unterzogen. Die dabei ermittelten Ergebnisse werden mit denen der vorangegangenen Modellversuche und den theoretischen Berechnungen verglichen.

### 2.2.3 Prüfung

Die Prüfungen bei der Fertigung von Druckbehältern werden zur Steigerung der Sicherheit (Unfall- und Betriebssicherheit) mit besonderer Sorgfalt durchgeführt. Vom Rohstoff bis zum fertigen Erzeugnis wird die Herstellung der Druckbehälter mit allen Mitteln der modernen Werkstoffprüfung überwacht.

Die Zusammensetzung der Stähle, die ein Hauptmerkmal für deren Güte ist, wird bereits während des Erschmelzens überwacht (zum Beispiel mittels eines Polychromators), so daß noch im Ofen die Chargen verändert werden können.

Umfangreiche Maßnahmen zur Steigerung der Qualität (zum Beispiel Ausscheidung von Blockseigerungszone), die sich vom Vormaterial bis zum Walzprodukt erstrecken, gewährleisten, daß Fehlermöglichkeiten weitgehend ausgeschaltet werden. Besondere Aufmerksamkeit wird unter anderem der Überwachung der Verarbeitungstemperaturen, der Wärmebehandlungen und den Materialvergütungsmaßnahmen gewidmet, um einwandfreie und gleichmäßige Materialgefüge zu erreichen.

Als Folge der besonders harten Betriebsanforderungen, die an Behälter für Kernreaktoren, aber auch an moderne Apparate für die chemische Verfahrenstechnik, gestellt werden, ist es im Interesse



einer optimalen Betriebssicherheit erforderlich, die fertiggestellten Teile zusätzlich mit Hilfe zerstörungsfreier Prüfverfahren auf Fehler zu prüfen. Inhomogenitäten, Mikrorisse und ähnliche Fehler, die äußerlich nicht sichtbar sind, müssen aufgedeckt werden.

Zur Kontrolle der Schweißnähte werden vorwiegend Röntgenanlagen (mit Leistungen bis zu 500 kV - ca. 100 mm Wandstärke), darüber hinaus für größere Wandstärken Betatrone bzw. Linearbeschleuniger bis zu 35 MeV eingesetzt.

Magnetinduktive Verfahren und besonders die Ultraschallprüfung, die für diese Zwecke in den letzten Jahren weitgehend bezüglich ihrer Aussagefähigkeit untersucht wurden, werden benutzt, um die Druckbehälter in ihrer Gesamtheit Zentimeter für Zentimeter auf etwaige Materialfehler zu prüfen.

Vor der Abnahme werden die Druckbehälter einer Druckprobe unterzogen, die in der Regel von sehr weitgehenden Spannungs-Dehnungsmessungen begleitet ist; dabei werden die bei den einzelnen Druckstufen der Probe auftretenden Spannungen an vielen hundert Meßpunkten über Dehnungsmeßstreifen und über elektronische Meßbrücken gemessen und registriert. So können am fertigen Stück die wirklichen Spannungen mit den errechneten verglichen werden.

#### 2.2.4 Schweißplattierung

Durch die Forderung der Kerntechnik, daß sämtliche von Wasser bespülten Oberflächen der Druckgefäße völlig rostfrei sein müssen, hat der Kernreaktorbau eine Entwicklung auf dem Plattierungssektor hervorgerufen, die für viele Gebiete der Verfahrenstechnik von Bedeutung sein dürfte.

Da eine Walzplattierung der Reaktordruckgefäße aus geschmiedeten Ringen nicht möglich ist, hat man Verfahren der Schweißplattierung angewandt, die es ermöglichen, hochwertige Werkstoffe auf großen Flächen mit höchster Gleichförmigkeit und Haftung aufzubringen. Die hierbei verwendeten Schweißverfahren sind im wesentlichen das Unterpulverschweißverfahren nach dem Ellira- und dem Series-ARC-Verfahren mit Draht- und Bandelektroden sowie das MIG-(Metal-Inert-Gas-)Verfahren; letzteres gibt besonders gleichmäßigen und nicht zu tiefen Einbrand, wodurch einmal eine sehr gute Haftung der Plattierung und eine nur geringe Entmischung der Plattierungsschicht erzielt wird.

(Von den anfänglich manuellen und einfachen maschinellen Verfahren, bei denen Schweißraupe neben Schweißraupe gelegt wurde, ist man zu vollkommen automatisierten Verfahren übergegangen, bei denen das Abschmelzen der Schweißelektroden unter dauerndem Hin- und Herpendeln des Lichtbogens mit variierbarer Pendelbreite (zwischen 30 mm und 40 mm) erfolgt. Das Pendeln des Lichtbogens wird mittels einer Herz-Kurve so gesteuert, daß an der Wendestelle der Kurve ein tieferes Einbrennen durch schnellen Wechsel vermieden wird, während die Einbuchtung der Kurve an der Wendestelle auf der "Nebenlage" den Lichtbogen etwas länger verweilen läßt und somit eine gute und sichere Verbindung der nebeneinanderliegenden Lagen erreicht wird. Die Plattierung wird in der Regel in zwei übereinanderliegenden Lagen von jeweils 3 mm bis 4 mm Dicke ausgeführt.)

Die plattierten Oberflächen werden gesandstrahlt, gebeizt und passiviert, jedoch normalerweise keiner mechanischen Bearbeitung unterzogen, das heißt, die aus der Auftragsschweißung resultierende Makrorauigkeit bleibt erhalten. Die Makrorauigkeit ist nach der erwähnten Behandlung nur sehr gering (10 - 15  $\mu$ ).

### 2.2.5 Werkstoffe

Als Werkstoff für die drucktragenden Teile muß ein gut schweißbarer und auf hohe Streckgrenzen vergütbarer Feinkornbaustahl verwendet werden, der gutes Zähigkeitsverhalten mit möglichst niedriger Sprödbbruchübergangstemperatur vereinigen sollte. Eine wesentliche Voraussetzung für Werkstoffe für Reaktordruckbehälter ist darüber hinaus ein günstiges Verhalten unter Strahlung.

Für geschmiedete Teile werden in der Regel vakuumentgaste Elektrostähle verwendet. Im Reaktordruckgefäßbau haben sich die Stähle der amerikanischen ASTM-Spezifikation A 302 Grade B (21 MnMo 55) und A 336 (22 NiMoCr 37) als Standardqualitäten auf Grund ihres bekanntermaßen guten Verhaltens unter Neutronenbestrahlung durchgesetzt.

In dem Bestreben, die Warmstreckgrenzen weiter zu steigern und die Sprödbbruchübergangstemperatur unter  $-20^{\circ}\text{C}$  herabzudrücken, war man zunächst auf den Stahl A 336 übergegangen. Neuerdings kommt eine deutsche Entwicklung mit der Bezeichnung 15 MnMo NiV 53 zum Einsatz, von der man sich bei einer Mindeststreckgrenze von  $36\text{ kg/mm}^2$  bei  $300^{\circ}\text{C}$  verspricht, Druckgefäße mit Innendurchmessern von  $> 4\text{ m}$  mit Wanddicken herstellen zu können, die noch eine Übersicht über die Spannungsverhältnisse erlauben und aus deren Anwendung sich nicht allzu große fertigungstechnische Schwierigkeiten (zum Beispiel bei der Vergütung) ergeben. In den USA wird derzeit eine Gruppe von Werkstoffen erprobt, die unter der Bezeichnung HY-Stähle zusammengefaßt werden und die Streckgrenzen bis zu  $60\text{ kg/mm}^2$  besitzen. Ihre Hauptlegierungsbestandteile sind Ni, Cr, Mo.

Ähnliche niedriglegierte ferritische Feinkornstähle werden im Druckbehälterbau für nicht-nukleare Anlagen verwendet. Dabei gelangt man in der Regel zu höheren Festigkeitswerten, da man bei

der Wahl des Werkstoffes auf die Versprödungsgefahr durch Neutronenbestrahlung keine Rücksicht zu nehmen braucht.

Als Plattierungswerkstoff werden kohlenstoffarme stabilisierte austenitische Chrom-Nickelstähle (zum Beispiel 19 % Cr, 9 % Ni oder 10 CrNiNb 18.9) verwendet, wobei beim Einsatz als Reaktorwerkstoff wegen der Aktivierung darauf geachtet wird, daß der Kobalt-Gehalt unter 100 ppm liegt.

Für mechanisch besonders beanspruchte Teile (Flansche, Dichtflächen, Auflageflächen) werden Hartplattierungen, zum Beispiel aus Hastelloy C, Inconel 92, verwendet.

### 3. URHEBER , HERSTELLER

#### 3.1 URHEBER

Einzelnen Urheber der Stahldruckbehälter gibt es nicht. Die Druckbehälter in ihren heutigen Dimensionen und Konstruktionsformen sind vielmehr das Ergebnis einer jahrzehntelangen Entwicklung.

Der erste aus nahtlos geschmiedeten Schüssen bestehende Reaktor-druckbehälter wurde für den MZFR Karlsruhe gebaut.

#### 3.2 DERZEITIGE HERSTELLER VON KERNREAKTORDRUCKGEFÄßEN

##### B R D

- Gutehoffnungshütte, Oberhausen  
(Behälter aus gebogenen längsnahtgeschweißten Blechen)
- Klöckner-Werke AG, Georgsmarienwerke, Osnabrück  
(Behälter aus nahtlos geschmiedeten Ringen)
- MAN (augenblicklich nicht auf dem Sektor tätig)
- Mannesmann, Düsseldorf  
(Behälter aus gebogenen längsnahtgeschweißten Blechen)
- Phoenix-Rheinrohr AG, Düsseldorf (Wickelbehälter)
- Rhestahl, Ruhrstahl, Henrichshütte, Hattingen  
(Behälter aus nahtlos geschmiedeten Ringen)
- Stahlwerke Reisholz, Düsseldorf  
(Behälter kleinerer Abmessungen)

A u ß e r h a l b d e r B R D

Frankreich

- Schneider, Creusot

Belgien

- Cockerill, Ougré

Niederlande

- Rotterdamsche Droogdock Mij.

Italien

- Terni, Rom

Tschechoslowakei

- Skoda, Pilsen

USA

- Babcock & Wilcox
- Chicago Bridge & Iron Compl., Oak Brook, Illinois
- Combustion Engineering, Chatanooga

u.a.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

##### 4.1 BISHERIGE ENTWICKLUNG

Die Entwicklung von Großbehältern hat seit Beginn der Energieerzeugung aus Kernspaltung starken Aufschwung genommen. Mit wachsenden Leistungen der Kernkraftwerke hat man die Durchmesser der Behälter bis zu 5 m (Innendurchmesser), die Drücke bis zu 230 atm (Probendruck) und die Gewichte bis zu 250 t (Gefäß ohne Deckel und Einbauten) gesteigert und ist damit an die Grenzen der technischen Möglichkeiten herangekommen.

Diese sind nicht so sehr aus fertigungstechnischer Sicht gegeben - die Grenze, Druckbehälter als Schmiede-Schweiß-Konstruktion ohne Längsnähte herzustellen, liegt bei Durchmessern von etwa 6 m - , sondern vielmehr in den Schwierigkeiten zu sehen, die der Transport eines werkstattgeschweißten Großbehälters bereitet.

Die Transportmöglichkeiten sind je nach Lage der Werkstätten und Reaktorstandorte zu Wasserstraßen verschieden. Als oberste Grenze für den Straßen- bzw. Eisenbahntransport wird ein Innendurchmesser von etwa 5 m und ein Gewicht von 260 t angesehen.

Auch Baustellenschweißungen sind technisch einwandfrei durchführbar. Besondere Probleme ergeben sich hierbei aber für die Verwirklichung einer gleichmäßigen Entspannung der teilweise bis zu 200 mm dicken, auf der Baustelle herzustellenden Schweißnähte.

Die Schmiedering-Schweiß-Konstruktion hat bei etwa 600 MWe für Siedewasserreaktoren und bei etwa 1000 MWe für Druckwasserreaktoren zur Zeit ihre Grenze.

Um noch größere Einheiten herstellen zu können, suchte man daher nach konstruktiven Möglichkeiten, die eine Baustellenerfertigung ohne allzu große Schwierigkeiten erlauben.

Als erfolgversprechend werden die beiden folgenden Konzepte angesehen:

- Mehrlagenbehälter mit zwei oder mehr Lagen, wobei sich die innere Schicht durch eine plastische Verformung bei der ersten Druckbelastung an die äußere anlegt. Diese, aus verhältnismäßig dünnwandigen Blechen bestehende Konstruktion bereitet weniger große Probleme im Hinblick auf Wärmebehandlungen auf der Baustelle;
- Spannbetondruckbehälter in Ein- und Mehrlagenbauweise.

Vor allem die Mehrlagenbehälter sind außer als Reaktor-druckbehälter auch auf herkömmlichen Gebieten interessant. Die viel besser überschaubaren Spannungsverhältnisse bei Druckbeanspruchung eines im Verhältnis zum Durchmesser dünnwandigen Behälters lassen ihn zum Beispiel als Reaktionsgefäß für Ammoniak-Syntheseanlagen, besonders in Entwicklungsländern mit unzulänglichen Transport- und fertigungstechnischen Möglichkeiten, gut geeignet erscheinen.

Hingegen liegt die Bedeutung der Spannbetondruckbehälter für den Reaktorbau in der Tatsache, daß die dicken Wände auch als Abschirmung gegen Strahlung dienen, was für den herkömmlichen Bereich vollkommen ohne Belang ist, wenn



man von den Möglichkeiten, chemische Synthesen im Strahlenfeld durchzuführen, absieht. Damit dürfte die Bedeutung der Spannbetonbehälter im nicht-kerntechnischen Bereich aller Wahrscheinlichkeit nach gering sein. Neben der Möglichkeit, mit verhältnismäßig einfachen Fertigungsmethoden großvolumige Druckbehälter herzustellen, könnten unter Umständen die wärmeisolierenden Eigenschaften einer dicken Betonschicht bei der Verwendung für die Speicherung von gekühlten Flüssiggasen eine Rolle spielen.

#### 4.2 AUSBLICK AUF WEITERE ENTWICKLUNGEN

Die Entwicklungsarbeiten der nächsten Zeit werden sich vor allem auf folgende Gebiete konzentrieren:

- Metallurgie:  
Entwicklung von Stählen mit noch höheren Warmstreckgrenzen (bis zu  $80 \text{ kg/mm}^2$  bei  $20^\circ \text{ C}$ ) und höheren Kerbschlagzähigkeiten sowie niedrigeren Sprödbrechübergangstemperaturen (bis zu  $-40^\circ \text{ C}$  und darunter), das heißt günstigerem Zähigkeitsverhalten, um bei gleichen Drücken auf geringere Wandstärken übergehen zu können bzw. um bei höheren Drücken auf nicht zu große Wandstärken zu kommen;
- Schweißtechnik:  
Verbesserung der bestehenden Verfahren, vor allem für das Schweißen sehr starker Bleche; Weiterentwicklung neuerer Verfahren (zum Beispiel Elektroschlackeschweißen), die billigeres und schnelleres Schweißen und eine Baustellenmontage sowie wirtschaftlichere Fertigungsmethoden ermöglichen sollen;
- Werkstoffprüfung:  
Vervollkommnung vor allem der Methoden der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung.

Darüber hinaus geht das Bemühen der mit dem Druckbehälterbau befaßten Stahlwerke dahin, größere Behälter für Kern-

kraftwerksleistungen bis zu 1000 MWe mit vertretbaren Wandstärken zu bauen, die noch in der Werkstatt zu einer Einheit assembliert und mit konventionellen Mitteln zur Baustelle transportiert werden können. Man versucht, die sich anbahnende Konkurrenz der baustellengefertigten Spannbetondruckbehälter aus dem Feld zu schlagen.

## 5. ANWENDUNG

Großdruckbehälter finden Anwendung für bestimmte großtechnische chemische oder physikalische Reaktionen und die Speicherung von gasförmigen und flüssigen Stoffen unter Druck. Die Anwendungsbereiche sind also verhältnismäßig begrenzt. Die einzelnen bisher realisierten bzw. möglichen technischen Einsätze sind im folgenden aufgeführt:

### 5.1 ANWENDUNGEN IN DER KERNTECHNIK

Druckbehälter für Siede- und Druckwasserreaktoren; möglicherweise als Reaktionsgefäße für bestimmte Versuchsanordnungen (überkritische Exkursionen, nukleare Explosionen).

### 5.2 ANWENDUNGEN UND ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN AUSSERHALB DER KERNTECHNIK

Die Anwendungsmöglichkeiten dürften auf die Chemische Industrie und deren Randgebiete beschränkt sein.

Kunstdüngererzeugung: Reaktionsgefäße für Großanlagen in der Ammoniak- und Harnstoffsynthese. Behälter für die Speicherung der Synthesegase und der Fertigprodukte.

Kunststofferzeugung: Reaktionsgefäße für die Synthese von Vorprodukten, zum Beispiel Methanolsynthese, und Zwischen-Speicherbehälter.

Mineralöl-(und Kohle-)Verarbeitung: Reaktionsgefäße für die Hydrierung von Kohle und Erdöldestillaten.

Speicherung technischer Gase: Speicherbehälter für technische Gase, die unter hohem Druck flüssig gehalten werden.

## 6. AUSWIRKUNGEN AUF NICHT - KERN - TECHNISCHE BEREICHE

### 6.1 ALLGEMEINES

Druckbehälter mit den spezifischen Eigenschaften und Dimensionen der Reaktordruckbehälter finden gerade erst Eingang in nicht-nukleare Bereiche der Technik. Es konnten über die Auswirkungen nur auf der Fertigungsseite Beobachtungen angestellt werden, da zumindest in der BRD bisher keine vergleichbaren Großdruckbehälter an andere Industriebereiche geliefert wurden. Wohl aber stehen mehrere Hersteller in Verhandlungen mit der Chemischen Industrie; einzelne Lieferungen an das Ausland konnten bereits getätigt werden.

Das mit Sicherheit anzunehmende Anwachsen der Erzeugung elektrischen Stromes aus Kernenergie wird mindestens für die nächsten 10 Jahre eine Belebung des Geschäftes im Bau von Reaktordruckgefäßen nach sich ziehen.

Sollte später durch eine etwaige Substitution die Nachfrage von seiten der Kernkraftwerksbetreiber nachlassen, so dürften die sich heute abzeichnenden Anwendungsmöglichkeiten auf dem Chemiesektor bis dahin so weit durchgesetzt haben, daß sie die aufgebauten Fertigungskapazitäten ausfüllen werden.

### 6.2 SUBSTITUTION

Von einer Substitution der bislang angewandten Druckgefäße im eigentlichen Sinne kann nicht gesprochen werden, denn die Reaktordruckbehälter stellen eine Weiterentwicklung von Behältern

der Hochdruckchemie dar. Die Tatsache, daß diese nun auch in der Chemischen Industrie zur Anwendung gelangen, entspricht einer Entwicklung, die durch die Substitution der Kolbenkompressoren durch Turbokompressoren bedingt ist (wodurch bei niedrigeren Reaktionsdrücken - um oder sogar  $< 150$  atü - größere Reaktionsvolumina erforderlich sind), an sich aber lediglich eine graduelle Verschiebung, das heißt Anpassung und Verbesserung der herkömmlichen Apparate darstellt.

Die aus geschmiedeten Ringen bestehenden Druckbehälter sind erheblich verbesserte Ausführungen herkömmlicher Druckgefäße. Ihre Abmessungen haben - bedingt durch den technischen Fortschritt auf dem Gebiete der Energieerzeugung - Größenordnungen erreicht, die man früher nicht für möglich gehalten hatte. Im Gegensatz zu diesen geschweißten Konstruktionen bzw. kombinierten Schmiede-Schweiß-Konstruktionen muß man die augenblicklich auf dem kerntechnischen Sektor als Alternativlösung in Erprobung befindlichen Mehrlagen- und Spannbetondruckbehälter als Substitutionsmöglichkeit für die Stahldruckbehälter in herkömmlicher Bauweise ansehen. Das Ausmaß der zu erwartenden Substitutionen ist aber gering. Für die nächsten 10 bis 15 Jahre dürfte nicht mit einer Verdrängung der Stahldruckgefäße zu rechnen sein.

### 6.3 AUSWIRKUNGEN IM EINZELWIRTSCHAFTLICHEN BEREICH

#### Auswirkungen für die Hersteller

Die Anregungen zur Aufnahme der Fertigung gingen in den meisten Fällen von der Tradition der Herstellerwerke aus, das heißt, in der Regel waren die Hersteller bereits früher im Druckbehälterbau tätig.

Bald nach Vergabe der ersten Reaktorbaufträge gehörte es zum "Image" eines Herstellers von Großbehältern, über Erfahrungen auf dem Gebiet des Reaktordruckbehälterbaues zu verfügen und auf abgeschlossene Projekte hinweisen zu können. Die maschinellen Voraussetzungen in Form großer Schmiedepressen oder Biegemaschinen, Öfen und Bearbeitungsmaschinen waren in den meisten Fällen vorhanden.

Man sah sogar im Bau von Reaktordruckbehältern, besonders dem hier behandelten Typ aus nahtlos geschmiedeten Schüssen ohne Längsschweißungen, eine Möglichkeit, diesen wertvollen Einrichtungen ein neues zusätzliches Fertigungsgebiet zu erschließen. Daß man trotz der vorhandenen Maschinen nicht immer zu einer wirtschaftlichen Fertigung kam, ist in erster Linie auf die sehr hohen Qualitätsanforderungen im Reaktorbau zurückzuführen.

Sorge der Hersteller ist, die für den Reaktorbau beschafften Anlagen, wie Hallen, Öfen, Schweißeinrichtungen, eventuell spezielle Großmaschinen, auch hinreichend auszunutzen, was bei dem augenblicklichen Stand der Planung von Kernkraftwerken zweifelhaft erscheint.

In der BRD wurden bisher 8 Druckbehälter für Leistungsreaktoren von 15 bis 300 MWe gefertigt, davon 3 bei einem Hersteller.

Aus heutiger Sicht kann damit gerechnet werden, daß für die Jahre bis 1970 jährlich etwa ein Druckbehälter für Reaktorleistungen zwischen 300 und 600 MWe bei jedem der potenten deutschen Hersteller in Auftrag gegeben bzw. gebaut wird. Für den Zeitraum 1970 bis 1980 kann für die Europäische Gemeinschaft mit dem Bau von etwa 20 Stahldruckbehältern für Kernkraftwerke mit Leistungen von 500 bis 1000 MWe gerechnet werden (Schätzungen von

EURATOM), von denen etwa die Hälfte in der Bundesrepublik errichtet werden dürften, so daß die entsprechenden Hersteller jeweils mindestens mit Aufträgen für 3 Druckbehälter rechnen können.

Für die Entwicklung des Bedarfes an Druckbehältern außerhalb des kerntechnischen Sektors sind ebenfalls ungefähre Vorstellungen vorhanden. Sie beruhen auf der Prognose, daß der Bedarf an Ammoniak und Harnstoff für Düngemittel bis 1970 auf etwa das Doppelte steigen wird. Aber auch die erdölverarbeitende Industrie benötigt schwerste Druckbehälter bis zu 6 m Durchmesser und Gewichten bis 1000 t und stellt damit einen aussichtsreichen Kundenkreis dar.

Im Gegensatz zu den günstigen Zukunftsaussichten und der damit steigenden Bedeutung betrug der durch Reaktordruckbehälter bedingte Umsatz, zum Beispiel bei einem Hersteller im Zeitraum 1960 bis 1966, nur etwa 14 Mio DM. Vom Umsatz und - wie bereits erwähnt - auch von den Verdienstmöglichkeiten her betrachtet spielen also die Stahldruckbehälter noch keine große Rolle. Sie gehören aber zum Lieferprogramm der Hochdruck-Behälterbauer und erweisen sich als werbewirksame Erzeugnisse. Originale oder Modelle solcher Behälter bzw. Behälterteile werden auf Messen und Ausstellungen gezeigt.

Die auf der Erfahrung in der Fertigung für den Nuklearsektor basierende Werbung ist als typischer Sekundäreinfluß der Kerntechnik anzusehen und konnte auch bei Firmen mit anderen Fertigungsprogrammen beobachtet werden.



Charakteristisch für den Druckbehälterbau für die Kerntechnik sind hohe Präzision und sorgfältigste Fertigungskontrollen. Der Lohnanteil an den Fertigungskosten ist dementsprechend hoch (40 % bis 50 %).

Der Prüfaufwand ist im Falle der Stahldruckbehälter in zweierlei Hinsicht stark erhöht: Einerseits wird die Fertigung - vor allem die Qualität der Schweißungen - im Rahmen des Fortgangs der Arbeiten mit allen Methoden der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung von eigens eingesetzten Prüfkolonnen überwacht, andererseits werden Materialproben entnommen, die die Probendreherei und das Metall-Labor im stärkeren Maße beanspruchen als andere Fertigungsvorgänge in der entsprechenden Abteilung.

Die Auftragsfinanzierung zeigt keine Besonderheiten. Die Bezahlung der Druckbehälter erfolgt im Maße der bei der Fertigung anfallenden Kosten. Es bestehen einzelne Forschungsaufträge (zum Beispiel über Erfassung der bei Druckbelastung tatsächlich auftretenden Spannungen).

Auswirkungen der Anwendung im nicht-nuklearen Bereich

Aussagen über die zu erwartenden Auswirkungen in der herkömmlichen Technik können noch nicht gemacht werden, da zumindest in der BRD bisher keine den Reaktordruckbehältern analogen Großbehälter an andere Industriebereiche geliefert wurden, sondern erst in Projektbearbeitung sind.

Es ist indessen abzusehen, daß beim Einsatz von großen Hochdruckbehältern in der Chemie unter anderem umfangreiche Vorsichtsmaßnahmen für den Fall eines Reißens dieser Behälter zu treffen sind. Wenn auch bei den in Frage kommenden Vorgängen keine ausgesprochen giftigen Stoffe zur Reaktion gelangen,

so ist die in einem unter Druck stehenden derartigen Gefäß gespeicherte Energie so groß, daß diese Apparate im Betrieb ein besonderes Gefahrenmoment darstellen. Daß man diesem Problem durch Umgeben mit einem Sicherheitsbehälter, wie er in der Kerntechnik üblich ist (hier wird allerdings ein Zerreißen des Druckgefäßes als MCA ausgeschlossen, sondern nur das Abreißen einer Rohrleitung angenommen und der damit verbundenen Freisetzung von Energie), begegnen wird, erscheint nach den Äußerungen eines potentiellen Anwenders unwahrscheinlich. Vielmehr ist zu erwarten, daß diese Apparate mit Bunkerwänden umbaut oder in einer (offenen) Grube zur Aufstellung gelangen werden, wie andere explosionsgefährdete konventionelle Anlagen der chemischen Industrie.

#### 6.4 PERSONALBEREICH (SIEHE EINSCHRÄNKENDE BEMERKUNGEN UNTER PUNKT 43 DES TEXTTEILES)

Wie bereits an anderer Stelle erwähnt, spielen Gewissenhaftigkeit und Sorgfalt im (Reaktor-)Druckbehälterbau eine hervorragende Rolle. Darüber hinaus werden auch in Hinsicht auf die fachliche Qualifikation der bei den Herstellern Beschäftigten besonders hohe Anforderungen gestellt. Zum Beispiel kommen im Druckbehälterbau nur Schweißer zum Einsatz, die besondere Prüfungen abgelegt haben. Während im Großbehälterbau im allgemeinen der Schweißfaktor 0,8 noch als ausreichend erachtet wird, wird hier mindestens ein Faktor 0,9, möglichst sogar 1,0, verlangt. Die Leute können die Fertigkeit in besonderen Kursen erlangen und müssen sich bestimmten Prüfungen unterziehen, bevor sie zugelassen werden. Aus der Erfahrung zeigt sich, daß sich im allgemeinen nur die besten und gesundheitlich stabilsten Leute für solche Kurse melden. Sie werden nach Absolvierung dieser Kurse nach Möglichkeit zu entsprechend qualifizierten Arbeiten herangezogen, bekommen aber auch dann den

ihrer Bewertungsziffer entsprechend höheren Lohn, wenn sie für Aufgaben eingesetzt werden, wo grundsätzlich ein niedrigerer Wert ausreichend wäre. Neben Ausbildung und besonderer Geschicklichkeit spielt auch für die gewerblichen Arbeitskräfte die gewonnene Erfahrung eine Rolle; das heißt für den Bau von Druckbehältern für Reaktoren werden in erster Linie diejenigen Mitarbeiter herangezogen, die schon einmal am Bau eines Reaktors beteiligt waren. Das übliche Lohnsystem im Fertigungsbereich, in dem sowohl Reaktordruckbehälter als auch andere Schwermaschinenteile gebaut werden, ist ein modifiziertes Akkordsystem mit Vorgabe und Leistungslohn.

Die Beschäftigtenstruktur unterscheidet sich stark von der branchenüblichen Verteilung, was insbesondere durch den Umfang der Berechnungsarbeiten und den Prüfumfang bedingt ist. Durch den vermehrten Einsatz von Mitarbeitern der mit diesen Aufgaben befaßten Abteilungen ist der Anteil der Angestellten mindestens doppelt so hoch wie bei jeder anderen Fertigung im Unternehmen.

#### Fluktuation

Zur Zeit der im Rahmen der Studie bei den Behälterbauern durchgeführten Erhebungen (Dezember 1966) konnte festgestellt werden, daß die Arbeitnehmer, insbesondere die gewerblichen Kräfte, grundsätzlich sehr fest mit ihrem Arbeitsplatz verbunden sind. Diese Tatsache wirkt sich unter Umständen dann negativ aus, wenn Betriebe oder Abteilungen einer Umstrukturierung unterzogen werden sollen. Das "Kleben" der Arbeiter am Arbeitsplatz ging sogar soweit, daß sie sich einer Veränderung selbst dann verschlossen, wenn der neue Platz mit einer höherwertigen Tätigkeit verbunden war. Dieses Verhalten wird vom Arbeitgeber zwar teils positiv bewertet, behindert aber ein bewegliches Verhalten, das bei der

Anpassung an die Auftragslage der einzelnen Abteilungen erforderlich ist.

Derartige Beobachtungen sind allerdings nicht "falltypisch" und können keineswegs nur aus der Mentalität der Arbeitnehmer erklärt werden. So hat sich gerade in den letzten Wochen unter dem Eindruck der gegenwärtigen Wirtschaftslage eine erhebliche Veränderung ergeben. Die Arbeitnehmer denken heute über die Frage des innerbetrieblichen Arbeitsplatzwechsels anders.

#### 6.5 FIRMENVERFLECHTUNGEN

Durch die Fertigung von Großdruckbehältern bedingte Firmenverflechtungen konnten nicht festgestellt werden. Hingegen besteht ausgedehnte Zusammenarbeit ohne gesellschaftsrechtliche Grundlage vor allem zwischen den Herstellern der Druckbehälter und der Reaktorbauenden und neuerdings der chemischen Industrie.

#### 6.6 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

Der Umsatz mit Großdruckbehältern von derzeit < 10 Mio DM/a. (für Kernreaktoren und konventionelle Industrieanlagen) erreicht kein Ausmaß, das sich in einer volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung bemerkbar machen würde. Die Ausfuhren sind - absolut gesehen - unbedeutend (nicht aber relativ zum Gesamtumsatz im Fallsektor). Bisher wurden Reaktordruckgefäße nach Schweden und mehrere Großdruckbehälter, zum Beispiel an ein englisch-amerikanisches Unternehmen des Chemieanlagenbaues geliefert bzw. Verträge über Lieferungen abgeschlossen.

## 7. B E D E U T U N G

### 7.1 GEGENWÄRTIGE BEDEUTUNG

Die gegenwärtige Bedeutung großer Druckbehälter ist zumindest in der BRD allein der Anwendung als Druckgefäße für Siede- und Druckwasserreaktoren zu sehen. Bisher sind von der deutschen Stahlindustrie acht Großbehälter für Kernenergieanlagen geliefert worden, davon einer an das Ausland. Drei weitere Reaktordruckgefäße sind im Bau, oder es wurden entsprechende Verträge über die Lieferungen abgeschlossen.

Für den herkömmlichen Bereich wurden Lieferungen von drei Großdruckbehältern in Schweißkonstruktionen von einem deutschen Hersteller an eine amerikanisch-englische Apparatebaufirma bekannt. Darüber hinaus sind wahrscheinlich bereits weitere Großdruckbehälter für Chemieanlagen gebaut worden.

### 7.2 ZUKÜNFTIGE BEDEUTUNG

Die Bedeutung der Druckbehälter für den kerntechnischen Sektor wird zunächst noch zunehmen. Die rationelle Herstellung absolut zuverlässiger Druckbehälter für Reaktoren mit Leistungen zwischen 600 und 1000 MWe wird ein wesentlicher Faktor für den Durchbruch der Stromerzeugung aus Kernenergie sein. Für den Zeitraum bis 1970 kann in der BRD mit der Fertigstellung von 4 (- 5) Reaktordruckbehältern gerechnet werden. Für den Zeitraum 1970 bis 1980 wird der Bedarf auf mindestens 20 Druckgefäße (4 rund 150 Mio DM Auftragswert) innerhalb der Europäischen Gemeinschaft geschätzt, wovon wahrscheinlich 10 in der BRD zur Aufstellung kommen werden. Diese Schätzungen sind sehr vorsich-

tig. Es wird dabei die Annahme zugrunde gelegt, daß bis 1980 bereits rund 50 % der Druckbehälter für Siede- bzw. Druckwasserreaktoren aus vorgespanntem Beton gebaut werden.

Wesentlich günstiger werden indessen die Absatzmöglichkeiten auf dem herkömmlichen Sektor beurteilt: Die Welterzeugung an synthetischen Stickstoffprodukten (Ammoniak, Harnstoff) wird sich bis 1970 verdoppeln (gegenüber 1966), was einem Mehrbedarf von  $\ll$  100 Einheiten für 1000 t Tagesleistung, deren "Reaktionsdrucköfen" in ihren Ausmaßen denen der Reaktordruckbehälter vergleichbar sind, entspricht.

8. ZAHLENMÄSSIGE ANGABEN  
 ZU DEN PUNKTEN 2 BIS 4

8.1 DATEN ZUR GESCHICHTLICHEN ENTWICKLUNG

Die Entwicklung der Hochdruckbehälter begann 1909  
 für die Hochdrucksynthese für Ammoniak.

Fertigstellung des ersten Reaktordruck-  
 behälters in der BRD: 1960

Fertigstellung der ersten Großdruckbehälter  
 (in Schweißkonstruktion) für Chemieanlagen: vor 1966

8.2 TECHNISCHE DATEN

8.2.1 Abmessungen einiger Reaktordruckbehälter

	Durch- messer (außen)	Höhe	Probe- druck	Betriebs- daten		Wandstärke		Gewicht ohne Deckel und Einbauten
				Druck	Tem- pe- ra- tur °C	Flansch- ring	Zylindr. Teil	
	m	m	atü	atü	°C	mm	mm	t
VAK (Kahl)	2,65	8,4	132	71,3	286	-	104,5	-
MZFR (50 MWe HWR)	4,40	7,6	130	90,0	280	290	136,0	104
Gundremmingen (237 MWe PWR)	4,00	16,7	132	70,3	285	360	124,0	240
SENA (266 MWe PWR)	3,56	11,2	258	13,8	300	-	175,0/ 200,0	170
( 1000 MWe (PWR)	4,80	13,0	-	-	-	400	220,0	310 )
( 1000 MWe (BWR)	6,70	20,0	-	-	-	350	160,0	450 )

### 8.2.2 Werkstoffe für Druckbehälter

Feinkornbaustähle für Behälter								
DIN- Bezeich- nung	ASTM- Spezifika- tion	Zusammensetzung (%)						Warmstreckgrenze
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	σ <sub>0,2</sub> bei 300° C V
21 MnMo 55	A 302 Grade B	0,20 bis 0,50	0,15  0,35	1,1  1,3		0,50  0,60		31 kg/mm <sup>2</sup>
22 NiMoCr 37	A 336 Case 1236	0,17 0,27	0,05 0,35	0,5 1,0	0,3 0,5	0,60 0,80	0,60 1,00	36 kg/mm <sup>2</sup>
15 MnMoNiV 53		0,17		ca. 1,3		ca. 0,35	ca. 0,80	ca. 0,15
(18 NiCrMo 1475	A 508 Class 4	0,25	0,30	0,2 0,4	1,5 2,0	0,40 0,60	2,75 3,90	0,03
Plattierungswerkstoffe								
10 CrNiNb 189								
Inconell 92								
Hastelloy C								

### 8.2.3 Preise

Die Preise für die Reaktordruckgefäße liegen zur Zeit bei etwa DM 13,-- bis DM 15,--/kg, wobei mit niedriger werdenden Leistungsgewichten die Preistendenz steigend ist.



8.3 GESCHÄTZTER ZUKÜNFTIGER BEDARF AN STAHLDRUCK-BEHÄLTERN

Zahl der fertiggestellten Druckbehälter:

	Bis 1966	Bis 1969	Bis 1979
Druckbehälter für Leistungsreaktoren in der Europäischen Gemeinschaft	?	ca. 23	ca. 75
Stahldruckbehälter in der BRD	8 (+ 3 <sup>x</sup> )	ca. 12	20 - 22
Stahldruckbehälter in der Europäischen Gemeinschaft	?	20 - 25	40 - 50

x) Vertraglich vereinbarte Lieferungen

Die von der zukünftigen Entwicklung angestrebten Größen (Abmessungen der Behälter für 1000 MWe-Reaktoren, Sonderstahl für Druckbehälter) sind unter Punkt 8.2 in Klammern angegeben.

FALL-NR.: 4716.220

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Kompensatoren

1.2 BEZEICHNUNG: Stahlbälge

## 2. B E S C H R E I B U N G

### 2.1 HISTORISCHE ENTWICKLUNG

Flexible, nahtlose Metallwellschläuche stellten einige der heutigen Erzeuger bereits vor der Jahrhundertwende her. Diese Metallwellschläuche waren wendelförmig gewellt. Etwa seit 1925 werden parallelgewellte Metallbälge hergestellt, aus denen in den dreißiger Jahren Kompensatoren (Dehnungsausgleicher) mit Nennweiten bis zu 100 mm und für Drücke bis zu 5 atü aus Ms 85 (85 % Cu, 15 % Zn) entwickelt wurden. Um 1930 wurden die ersten Stahlkompensatoren (aus gewellten Membran-Ringscheiben) für Dampfleitungen entwickelt, die in dieser Form bis 1945 für Nennweiten bis 650 mm gebaut wurden. Dieser Stahlbalgtyp war nur für Drücke bis ND 25 geeignet.

Die Forderung nach hoher Dichtigkeit und langjähriger Betriebssicherheit - ein Konstruktionsprinzip für alle nuklearen Anlagen - hat seit etwa 1950 die Entwicklung von Kompensatoren aus hochwertigen Materialien in zwei Richtungen sehr stark vorangetrieben:

- dünnwandige, leichte Kompensatoren aus Aluminium bzw. austenitischem Werkstoff
- dickwandige, schwere Kompensatoren aus ferritischem und austenitischem Werkstoff, in einem bekanntgewordenen Sonderfall auch aus Reinaluminium.

Die Entwicklung der dickwandigen, schweren Kompensatoren großer Abmessungen ist besonders von einem Unternehmen sehr stark vorangetrieben worden.

## 2.2 WIRKUNGSWEISE

### 2.2.1 Allgemeines

Stahlbälge sind federnde Rohrelemente, die bei geringen Eigenabmessungen in der Lage sind, elastische Verschiebungen in axialer und radialer Richtung aufzunehmen.

### 2.2.2 Herstellung und Eigenschaften

Aus längsnahtgeschweißten Rohren (Schutzgasschweißverfahren), bei kleinen Durchmessern und geringen Wanddicken auch nahtlos gezogen, werden durch Verformen mit und ohne Wärmezufuhr die Stahlbälge als rotationssymmetrische Körper hergestellt. Primäres, fertigungstechnisches Problem ist die Einhaltung möglichst gleichmäßiger Wanddicken während der Verformung, da nur unter dieser Voraussetzung gleichmäßige Beanspruchung im Betriebszustand gewährleistet sein kann und die auftretenden Spannungen erfaßt werden können.

Nach der Formgebung werden die Bälge aus ferritischem Stahl auf eine Festigkeit von z.B. 80 bis 90 kg/mm<sup>2</sup> vergütet. Damit lassen sich selbst bei Nennweiten von 1800 mm und Wanddicken von 3,5 mm noch Betriebsdrücke von 30 at erreichen. Die verhältnismäßig geringe Wanddicke gewährleistet außerordentlich hohe Elastizität.

Die für die Stahlbälge zulässigen Betriebsbedingungen hängen von den Eigenschaften der verwendeten Werkstoffe ab (siehe 2.2.3).

In der Regel werden die Stahlbälge von den Herstellerfirmen an dickwandige Rohre (Anschweißenden) geschweißt und je nach Ver-

wendungszweck mit Flanschen oder Gelenken versehen.

Vorteile:

Stahlkompensatoren nehmen gegenüber anderen Rohrdehnungselementen, z.B. U-Bogen-Kompensatoren, nur sehr wenig Platz ein.

Stahlbalgkompensatoren sind gegenüber Stopfbuchsenkonstruktionen praktisch absolut dicht und wartungsfrei.

Unter Berücksichtigung aller Kosten (Material-, Montage- und Platzkosten) sind Stahlbalgkompensatoren trotz des erheblichen Fertigungsaufwandes häufig preisweiser als U-Bogen-Kompensatoren.

Kompensatoren sind geeignet, sowohl axiale Verschiebungen als auch Winkeländerungen und u.U. seitliche Verschiebungen (siehe hierzu Anwendungen, Punkt 5) aufzunehmen.

Rohrleitungen mit großem Durchmesser lassen sich zum Ausgleich von Wärmedehnungen nicht mehr mit konventionellen Methoden bei vertretbarem Aufwand verlegen. Der Stahlbalgkompensator ist hier die einzig kostengerechte Lösung, um Dehnungsspannungen abzubauen.

Nachteile:

Durch Korrosion, Wasserschläge und Schwingungen können Schäden entstehen, die aber keine typischen Kompensatoren-Nachteile sind; sie gelten im gleichen Maße für alle Armaturen, Instrumente, Regler und unter Spannung stehende Schweißverbindungen - ,im Gegenteil, Gebläse, Steuer- und Regelarmaturen, große Krümmer mit Leitblechen werden unter Umständen früher zerstört als die elastischen Kompensatorbälge.

Die Kompensatoren mit hochelastischen Stahlbälge sind wie alle übrigen Armaturen bei der Montage mit großer Sorgfalt zu behandeln.

Kompensatoren für Atomkraftwerke sind stets "Maßarbeit auf Einzelbestellung". Sie haben wegen des konstruktiven Aufwandes und der umfangreichen Abnahmebedingungen (vgl. Punkt 6.3) erheblich längere Lieferzeiten als die Standardausführungen, was aber für alle Reaktor-Zulieferungen gilt und deshalb nicht als typischer Nachteil gewertet werden darf. Bei der Verwendung in konventionellen Anlagen entstehen aber daraus nach Erfahrung eines Verwenders mitunter Terminschwierigkeiten.

### 2.2.3 Werkstoff

Als Werkstoffe werden in der Regel warmfeste Cr-Mo-Stähle verwendet (z.B. 16 CrMo 4). Bei Betriebstemperaturen über 450° C werden hochwarmfeste Cr-Mo-V-Stähle oder bei aggressiven Durchflußmedien und hohen Temperaturen austenitische, säure-, korrosions- und zunderbeständige Cr-Ni-Stähle verwendet.

Flansche bzw. Anschweißenden werden je nach Temperaturverhältnissen aus normalem Flußstahl oder warmfesten, legierten Baustählen oder in Sonderfällen ebenfalls aus austenitischen Cr-Ni-Stählen gefertigt.

### 2.2.4 Fertigungskontrollen

Alle Kompensatoren werden einer sorgfältigen, visuellen Kontrolle und einer vorgeschriebenen Kaltwasser-Druckprobe unterzogen. Darüber hinaus werden bei allen in die "heißen" Leitungen von Atomreaktoren eingebauten Kompensatoren weitere Verfahren zur Bestimmung der Festigkeit, der Leckrate und zur Rißprüfung angewendet, z.B. Röntgenaufnahmen aller infrage kommenden Schweiß-

nähte, Druckprobe bei Betriebstemperatur, stichprobenweiser Lebensdauertest, Magnet-Pulver-Rißkontrolle, Amoniak- oder Heliumtest, Ultraschallprüfung, Straingages-Messungen usw. Die benutzten Verfahren richten sich nach den Spezifikationen und Abnahmevorschriften.

Vor der Aufnahme eines neuen Stahlkompensatorentyps in die Serienproduktion wird grundsätzlich ein Prototyp unter Normalbedingungen einer Lebensdauerprüfung ausgesetzt. Die hierzu benutzten Maschinen wurden von den Herstellern selbst entwickelt und gebaut. Sie sind eine wichtige Voraussetzung für die Fertigung hochwertiger, zuverlässiger Kompensatoren und haben hohe Investitionen gefordert.

### 3. URHEBER, HERSTELLER

#### 3.1 URHEBER

Die Idee des nahtlosen Metallwellschlauches mit schraubengangförmigen bzw. parallelen Wellen geht auf das Patent Frank Nr. 83341 "Biegsame Metallröhren mit wulstartigen Falten" zurück, das von der DWM, der späteren IWK (Industrie-Werke Karlsruhe AG.) erworben wurde.

Die Entwicklung des dickwandigen Stahlbalges aus ferritischem und austenitischem Stahl wurde in den Jahren 1948 bis 1950 bei einem der Hersteller entwickelt.

#### 3.2 HERSTELLER

Stahlkompensatoren werden in Europa von folgenden Firmen hergestellt:

##### Große Nennweiten

BOA, Schweiz

Industrie-Werke Karlsruhe

Metallschlauchfabrik Pforzheim

SEPPI, Frankreich (nach USA-Lizenz)

TEDDINGTON, England

VOX, England u.a.



Kleine Nennweiten und leichte Ausführung

BOA, Schweiz

Industrie-Werke Karlsruhe

Metallschlauchfabrik Pforzheim

Firma Hans Skodock

TEDDINGTON, England u.a.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

##### 4.1 GEGENWÄRTIGER STAND

Die Herstellung bei einem der befragten Erzeuger stützt sich auf eine mehr als 30-jährige Erfahrung im Bau kleiner und großer Stahlkompensatoren aus Ms 35, Bronze und legierten Stählen.

Die bisherigen Entwicklungen befaßten sich mit der optimalen Raumform der Bälge, der Schaffung wissenschaftlicher Berechnungsunterlagen und der Erforschung bestgeeigneter Stähle; denn die gestellten Forderungen stehen sich diametral gegenüber: Hoher Druck und hohe Temperatur erfordern im allgemeinen große Wanddicke und geringe Flankentiefe der Wellen; großer Federweg und kleiner Eigenwiderstand verlangen dünne Wandung und hohe Wellenflanken. Zusätzlich wurden entsprechend den hochgestellten Sicherheitsforderungen neue Schweißmethoden entwickelt. Die Schweißnaht am fertiggestellten Stahlbalg ist heute kaum mit bloßem Auge zu erkennen. Die Schweißnähte und schweißnahtnahen Zonen stellen keine Schwachstellen dar. Ein anderes fertigungstechnisches Problem, mit dem sich die Entwicklung von Anfang an eingehend beschäftigt hat, ist die Erzielung gleichmäßiger Wanddicken.

##### 4.2 AUSBLICK AUF WEITERE ENTWICKLUNGEN

Die Bemühungen um weitere Verbesserungen konzentrieren sich auf die Verminderung der Korrosionsgefahr des Balges und die Herstellung von Stahlbälgen für hohe Drücke und Temperaturen bei großer Elastizität.

Die mit den Neuentwicklungen verbundenen Forschungsarbeiten wurden bisher vom Hersteller auf eigene Kosten durchgeführt.

## 5. ANWENDUNGEN

### 5.1 ALLGEMEINES

Stahlbälge finden in der Technik vielseitige Anwendung.

Sie dienen als:

- Kompensatoren für Längen- und Winkeländerungen in Rohrleitungen
- Elemente zur Dämpfung von Schwingungen bei Rohrleitungs- und Behälteranschlüssen
- Dichtungselemente an Rohr-Durchführungen, Ventilen, Druckkolben und ähnlichen Stellen, wo eine Leckage unter allen Umständen zu vermeiden ist.

### 5.2 ANWENDUNGSBEISPIELE AUS DER KERntechnik

In der Kerntechnik ist in Kreisläufen, in denen mit aktiven Medien oder aber auch mit wertvollen Gasen oder Flüssigkeiten gearbeitet wird, Dichtigkeit und Betriebssicherheit oberstes Gebot.

So wurden entwickelt:

- Stopfbuchsenlose Ventile mit Stahlbalgabdichtungen
- Rohrdurchführungen, z.B. Hauptdampfleitungen durch Wandungen von Reaktorsicherheitsbehältern
- Drehdurchführungen, z.B. für Bedienung von Ventilen hinter einer Behälterwand und Strahlenabschirmungen
- Axialkompensatoren in Wärmetauschern

- Kompensatoren in Doppelwandbehältern und Doppelwandrohren
- Kompensatoren in Rohrleitungen für aktiven und nicht aktiven Dampf
- Kompensatoren in Rohrleitungen für gasgekühlte Reaktoren (z.B. Graphit - CO<sub>2</sub> Reaktor)
- Gasdichte Dehnungselemente für die Brennstabeinführungen.

### 5.3 NICHTKERNTÉCHNISCHE ANWENDUNGSBEISPIELE UND -MÖGLICHKEITEN

#### 5.3.1 Metallerzeugende Industrie

Hütten:

Kompensatoren für wärmeführende Rohrleitungen, z.B. Gichtgas, Fernwärme.

#### 5.3.2 Chemische Industrie

Kompensatoren in Rohrleitungen für heiÙe Medien (max. 500° C, 85 at) bisher bis zu Durchmessern von 500 mm und als Kompensatoren vor Maschinen (z.B. Turbiningen, Verdichter etc.).

Austenitische Stahlbalgkompensatoren werden in wirtschaftlicher Hinsicht besonders dann interessant, wenn hohe Anforderungen an die Reinheit des Fördermediums gestellt werden und die ganze Rohrleitung aus nichtrostendem Stahl gebaut werden muß.

#### 5.3.3 Maschinen- und Gerätebau, Stahlbau

##### Stahlbau und Leichtmetallbau:

Fernleitungsbau:

Kompensatoren für Fernheizleitungen und für freiverlegte Transportleitungen dort, wo nicht genügend Platz für Rohrbögen ist, z.B. vor Dükkern

**Kraftwerksbau:**

Kompensatoren in Dampfleitungen zwischen Hochdruckteil-  
Zwischenüberhitzung und Mitteldruckteil (bis zu 500 mm  $\emptyset$ ),  
Kühlwasserleitungen bis zu 2000 mm  $\emptyset$ )

**Maschinenbau:**

**Maschinenelemente:**

Vielfach verwendet als Dichtungselement, um die Möglichkeit  
einer Leckage zu verhindern

**Armaturen:**

Abdichtungen an stopfbuchsenlosen Ventilen für Vakuumtechnik,  
Helium-Kreisläufe usw.

## 6. AUSWIRKUNGEN

### 6.1 ALLGEMEINES

Stahlbälge konnten sich als neuartige Maschinenelemente durch die wachsenden Anforderungen an Betriebssicherheit in vielen Bereichen der Technik - seit 1956 besonders durch die Kerntechnik gefördert - in den letzten Jahren immer mehr durchsetzen.

Die Einflußnahme der Kerntechnik auf die Entwicklung ist dabei so zu sehen, daß im Nuklearbereich die Anforderungen an Präzision und Zuverlässigkeit besonders hoch sind und Undichtigkeiten, sowie das Entstehen von Leckstellen in jedem Falle zu vermeiden sind. Aus diesen Forderungen heraus wurde ein altes Maschinenelement in Form des Metallwellschlauches und des Metallbalges aus Tombak für niedrige Drücke bis zum heutigen Stand vervollkommenet, wobei zwischen Kerntechnik und anderen Bereichen der Technik eine gegenseitige Befruchtung stattfand (siehe Punkt 6.3), die sich auch bei Weiterentwicklungen noch fortsetzen wird.

### 6.2 SUBSTITUTION

(Der Stahlbalg als Ersatz für andersartige Bauelemente)

Aus den unter Punkt 6.1 erwähnten Gesichtspunkten ergibt sich, daß nicht von einem "Ersatz" gesprochen werden kann, sondern es sich oft um Verbesserungen der herkömmlichen Konstruktionen handelt, die von Fall zu Fall erheblich sein können. Dies trifft z.B. für Kompensatoren zur Aufnahme von Rohrdehnungen, zur Montageerleichterung und zur Dämpfung von Schwingungen (auch Schall-Dämpfung) in Rohrleitungen aller Art zu.

Neu sind z.B. Stahlbälge in Ventilen, Apparaturen und Kompensatoren in Fernleitungen, wo sie die Stopfbuchsen (oder Labyrinthdichtungen) ersetzen und bei Ventilen, Hähnen oder Schiebern für Drücke bis zu 200 atü und hohe Temperaturen (Temperaturen in der Nähe des Balges bis zu 450° C) praktisch absolute Dichtigkeit gewährleisten.

Eine weitere Auswirkung zeigt sich darin, daß der Einsatz von Stahlbälgen Konstruktionen ermöglicht, die ohne diese Elemente undenkbar wären; dies ist beispielsweise der Fall bei der Verlegung von Rohrleitungen mit großen Durchmessern (z.B. 1800 mm), bei denen sich ein Rohrbogen zum Ausgleich von Wärmedehnungen im Normalfall praktisch nicht mehr realisieren läßt.

Für Rohrleitungen geringeren Durchmessers (z.B. für eine Pipeline mit einem Durchmesser von 600 mm) stellt der Einbau eines Stahlbalgkompensators anstelle eines U-Bogens einen höherwertigen Ersatz dar: Es sind nicht nur u.U. die Anlagekosten einschließlich Nebenkosten (wie z.B. für die Baugrube) eines Stahlkompensators niedriger, sondern bei größeren Durchflusssmengen gehen die geringeren Strömungsverluste über Pumpenleistungen in die Betriebskosten als Einsparungen ein. (Eingehende Untersuchungen durch E.D.F., Frankreich)

Auch zur Übertragung und Verstärkung von hydraulischen und pneumatischen Kräften wird der Stahlbalg eingesetzt. Er wirkt dabei wie ein Relais oder ein Kolbensystem.

### 6.3 EINZELWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

Die technischen Gesichtspunkte, die für die Ausweitung der Anwendungsbereiche von Stahlbälgen von Bedeutung sind, wurden bereits erwähnt (Punkt 5.1 und 6.1).

Über das Ausmaß des Nachfrageanstiegs von seiten der herkömmlichen Industrie liegen keine Zahlen vor. Ein Hersteller äußerte sich lediglich dahingehend, daß der Anteil seiner Lieferungen für kerntechnische Verwendungen der Stahlbälge und Kompensatoren innerhalb der BRD und des europäischen Auslandes in den letzten Jahren etwa 30 % der Gesamtlieferungen betragen habe, sich aber in letzter Zeit mehr und mehr zugunsten der nicht kerntechnischen Anwendungsbereiche verschiebe.

Die Tendenz des Umsatzes mit Stahlkompensatoren war bis zum Zeitpunkt der Befragung (Oktober 1966) steigend. Es zeigte sich jedoch im letzten Monat eine leichte Abschwächung des Anstiegs. Die weitere Umsatzentwicklung wird stark von der allgemeinen Konjunkturlage abhängen.

In Sonderfällen der Kerntechnik kann der Aufwand für die eigentliche Fertigung, besonders bei kleinen Nennweiten, geringer sein als die Kosten für Abnahmeprüfungen und Sonderbehandlungen. Der Prüfaufwand ist also unter Umständen sehr hoch und steigt mit dem Nenndruck. Er kann je nach Prüf- und Abnahmebedingungen für konstruktiv einfache Typen und Ausführung bis zum doppelten oder 3-fachen Aufwand der Herstellkosten betragen.

Die Kosten für die Maschinen für die Lebensdauerprüfung großer Stahlbälge gehen in die Hunderttausende.

Im Rahmen des fertigungstechnischen Fortschrittes und der Entwicklungstendenz "Höchstdruck" sind weitere Investitionen laufend erforderlich.

Der Absatz für den kerntechnischen Bereich ist z.Zt. rückläufig, während der Absatz für nichtkerntechnische Anwendungen auch



absolut gesehen steigen wird wegen der günstigen Entwicklungsaussichten des Großrohrleitungsbaues.

Das befragte Herstellerunternehmen hat durch die Entwicklung und Fertigung hochwertiger Stahlkompensatoren einen günstigen Aufschwung erfahren. Diese Aussage läßt sich nicht mit Zahlen erhärten, da dieser Hersteller über ein sehr breites Produktionsprogramm verfügt, in dem die Einflüsse der Produktion an Stahlkompensatoren nicht im einzelnen erfaßt werden können.

Nach dem Kriege mußte der befragte Hersteller sein Produktionsprogramm weitgehend umstellen und infolge Kriegsauswirkungen völlig neu aufbauen. Die Entwicklung der gasgekühlten Reaktoren in Frankreich, Großbritannien und Japan mit ihren großen Kühlmitteldurchsätzen seit Anfang der fünfziger Jahre mag die erste Anregung zum Bau größerer druck- und temperaturbeständiger Stahlbälge aus austenitischen und ferritischen Stählen gegeben haben. Jedenfalls mußte der Hersteller, wenn er nicht nur Lücken auf dem Markt für große Stahlbälge ausfüllen wollte, ein großes Maß an Entwicklungsarbeit leisten und neue Anwendungsgebiete finden, die ihm auch heute den Umsatz gewährleisten, nachdem Kompensatorenbedarf für Kernkraftwerke rückläufig sind.

Die Auswirkungen für die Anwender sind vor allem in den Vorteilen zu sehen, die problemgerechtere Lösungen in technischer und wirtschaftlicher Sicht mit sich bringen. Eine allgemeine Darstellung der festgestellten Einzelheiten ist in die vorliegende Ausarbeitung mit einbezogen worden (siehe Punkt 2).

#### 6.4 SOZIALER SEKTOR

Das befragte Werk hat ein sehr umfangreiches Fertigungsprogramm, und es ist verständlich, daß die wirtschaftliche Entwicklung

unterschiedlich ist. In der Kompensatorenfabrik ist in der "langfristigen Planung" berücksichtigt worden, daß bei Fortfall des Bedarfs an Großkompensatoren für Kernkraftwerke (bis zu einem Einzelgewicht von 30 t) der Bedarf an Hilfskräften vermindert werden kann. Die Kompensatorenabteilung konnte ferner durch den weitgehenden Fortfall hochgestellter Abnahmebedingungen und durch kostensparende Rationalisierung ungelernete Arbeitskräfte freistellen. Gute Fachkräfte und Spezialisten sind nach wie vor gesucht und haben einen sicheren Arbeitsplatz. Die Arbeitsplätze in diesem Fertigungsbereich sind durchaus neuartig und vom Einsatz einer großen Zahl von Spezialmaschinen geprägt, die im befragten Herstellerunternehmen, das über eine große Maschinenbauabteilung verfügt, als Eigenleistung (Konstruktion und Fertigung) erbracht werden.

Die wichtigsten und teilweise noch manuell durchgeführten Arbeiten bei der Herstellung von Kompensatoren sind (abgesehen von den auf Sondermaschinen gefertigten Stahlbälgen) die Schweißarbeiten. Die im Fertigungsbereich Stahlkompensatoren beschäftigten Schweißer sind Spitzenkräfte. Die gesamte Fertigung ist unter dem Unternehmens-Vorstand einem Abteilungsdirektor unterstellt, diesem ein Betriebsleiter und geprüfte Schweißingenieure für den Fertigungsbereich Kompensatoren. Die Schweißer haben sich laufend einer amtlichen Prüfung zu unterziehen. Das Unternehmen verfügt über eine eigene, umfangreiche Materialprüfanstalt.

## 6.5 FIRMENVERFLECHTUNGEN

Firmenverflechtungen oder Anzeichen für künftige Zusammenschlüsse auf gesellschaftsrechtlicher Grundlage, die aus der Herstellung oder Verwendung von Stahlbälgen resultieren, konnten nicht fest-

gestellt werden. Das befragte Unternehmen ist auf anderen Fertigungsgebieten in dieser Richtung jedoch sehr aufgeschlossen. Auf der Herstellerseite wurde auch keine engere Zusammenarbeit zwischen den einzelnen Firmen, jedoch bei einem namhaften Kompensatorenlieferanten für Kernkraftwerke eine Zusammenarbeit mit wissenschaftlichen Instituten und Institutionen (u.a. Euratom) ermittelt. Das befragte Unternehmen hat verschiedentlich engen Kontakt zur wissenschaftlichen Abteilung von Lloyd's Register of Shipping, zum Commissariat à l'Energie Atomique, zur Technischen Hochschule Karlsruhe, zur Materialprüfanstalt Stuttgart usw. aufgenommen. Darüber hinaus wurde die Zusammenarbeit eines Stahlbalgherstellers mit einem Stahlproduzenten bei der Entwicklung eines hochwarmfesten Stahles für Kompensatoren für das neue Kernkraftwerk Ste. Etienne bekannt.

#### 6.6. AUSWIRKUNGEN AUF BRANCHEN

Auswirkungen der Kompensatorenhersteller auf branchenfremde Unternehmen konnten in Richtung der Entwicklung geeigneter Stähle, der Erforschung hoher Flächenpressung bei Gelenken und geeigneter Trockenschmiermittel sowie der Dichtigkeitskontrolle (Amoniaktest) festgestellt werden.

#### 6.7 GESAMTWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

Auswirkungen auf die Volkswirtschaft ließen sich nicht ermitteln, da der Umsatz mit Stahlbälgen anteilmäßig zu gering ist.

## 7. B E D E U T U N G

### 7.1 GEGENWÄRTIGE BEDEUTUNG

Der Stahlbalg ist ein bereits allgemein eingeführtes Maschinenelement, das sich als Dichtungs- und Dehnungsausgleichselement dort durchsetzen konnte, wo bestimmte Voraussetzungen den u.U. höheren Aufwand an Kosten und die Ersparnis durch Wartungsfreiheit (gegenüber Stopfbuchsenkonstruktionen) rechtfertigen.

### 7.2 ZUKÜNFTIGE BEDEUTUNG

Platzmangel und höhere Ansprüche an Dichtigkeit einerseits, weitere Verbesserungen in Bezug auf Zuverlässigkeit der Stahlbälge andererseits, ferner erhöhte Betriebssicherheit werden die Anwendungsgebiete stetig erweitern. Die Fernleitung als Transportmittel ohne leeren Rücklauf steht in Europa erst am Anfang seiner Grenzen überspringenden Bedeutung.

## 8. ZAHLENMÄSSIGE ANGABEN ZU DEN PUNKTEN 2 - 5

## 8.1 DATEN ZUR GESCHICHTLICHEN ENTWICKLUNG

Herstellung von parallelgewellten Metallbälgen etwa seit 1925.  
Herstellung großer, dickwandiger Bälge aus legiertem Stahl bis  
NW 650 etwa seit 1930, bis NW 2000 etwa seit 1950.

## 8.2 TECHNISCHE DATEN

## 8.2.1 Abmessungen

Stahlbälge werden in vielen Größen mit verschiedenen Durchmessern  
und Wellenzahlen für unterschiedliche Drücke und Temperaturen ge-  
baut. Die Daten der genormten Kompensatoren können den Liefer-  
katalogen der entsprechenden Firmen entnommen werden; es seien  
hier nur die Daten der kleinsten und größten Stahlbälge, die zur  
Zeit gefertigt werden, zusammengestellt:

Innen- durchmesser NW	10	100	600	1800	(2000) mm
Wanddicken mm:	0,08-0,15	1-2	2-3	2,5-3,5	3,5 - 4
Betriebs- druck at (höchster bisher)	20	64	85	25-(30)	20
Wellenzahl	2-25	2-20	2-10	2-9	2-9

### 8.2.2 Werkstoffe

	Gebrauchsfestigkeit (kg/mm <sup>2</sup> ) bei 20° C	Temperatur- grenze ° C
warmfeste, legierte, ferritische Stähle 16 CrMo 4	80-85	450
hochwarmfeste Cr-Mo-V-Stähle		500
austenitische Cr-Ni-Stähle (4541), (4571)	40	550

### 8.3 UMSATZZAHLEN

In Anbetracht der Tatsache, daß sich die Produktion auf mehrere Firmen verteilt und keine der in Frage kommenden Unternehmen ausschließlich Kompensatoren herstellt, können die zur Verfügung stehenden Angaben über die Produktionsziffern oder -werte von Stahlbälgen keinen repräsentativen Querschnitt darstellen.

### 8.4 VON DER ZUKÜNFTIGEN ENTWICKLUNG ANGESTREBTE GRÖSSEN

Stahlbälge für höhere Drücke: z.B. bei NW 2000 bis zu 60 atü und Temperaturen von 500° C.

Normung auch bei den großen Einheiten.

### 8.5 ZAHLENGABEN ZUR ANWENDUNG

Die Zahl der Verwender geht in die Tausende, ist also so groß, daß sich der Bedarf an Stahlbälgen ebensowenig übersehen läßt wie die Produktion.

Zu den Punkten 8.6 und 8.7 konnten ebenfalls keine Zahlen ermittelt werden.

A N L A G E 8

Darstellung  
der sechzehn näher betrachteten Fälle

FALL-NR.: 2252.002

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Kohlenstoff

1.2 BEZEICHNUNG: Graphit (unter besonderer Berücksichtigung  
hochdichter Graphitsorten und des Pyrographits)



## 2. B E S C H R E I B U N G

Die Darstellung künstlichen Graphits geht auf das Jahr 1893 zurück. Als Moderator material für einen thermischen Reaktor wurde Graphit erstmals 1942 verwendet (Chicago Pile 1, USA).

Das Graphitkristallgitter ist hexagonal mit ausgesprochenem Schichtcharakter (Atomabstände:  $a = 2,456 \text{ \AA}$ ,  $c = 6,680 \text{ \AA}$ , der kürzeste Atomabstand beträgt  $1,42 \text{ \AA}$ ). Die Dichte des Kristalls ist  $2,255 \text{ g/cm}^3$ . Diese theoretische Dichte wird jedoch in der Praxis nicht erreicht, da auch sogenannter hochdichter Graphit noch eine spezifische Porosität von  $\leq 15 \%$  besitzt.

Graphit ist außerordentlich beständig gegen die meisten Chemikalien (soweit diese nicht oxydierend sind), unter anderem auch gegen Salz-, Schwefel- und Phosphorsäure. Die höchstzulässigen Temperaturen für Graphit als Werkstoff in Inertgasen (oder bei Überzug mit einer Quarzschicht) liegt bei  $2.000^\circ \text{ C}$ , doch tritt in sauerstoffhaltiger Atmosphäre schon bei  $500^\circ \text{ C}$  ein deutlicher Abbrand ein. Kunststoff-imprägnierter Graphit ist bis höchstens  $200^\circ \text{ C}$  beständig.

In der Reaktortechnik wird in erster Linie künstlicher Graphit verwendet, zumindest dort, wo aus neutronenökonomischen Gründen nukleare Reinheit (frei von Bor) verlangt wird. Für Abschirmzwecke, das heißt als Neutronenbremse, kommt wegen seines höheren spezifischen Gewichtes auch Naturgraphit zum Einsatz.

Vorkommen natürlichen Graphits gibt es in der Nähe von Passau. Künstlicher Graphit wird (seit 1896) ausschließlich nach dem ACHESON-Verfahren hergestellt:

Zwischen Kohleelektroden, eingebettet in Petrolkoks-, Anthrazit- oder Siliziumcarbid-granulat, wird ein Rohling aus Petrolkoks, der mit Rückständen der Erdöldestillation verpreßt ist, 24 bis zu mehreren hundert Stunden lang im elektrischen Wannenofen bei Temperaturen von  $600^{\circ}$  bis  $1.000^{\circ}$  C im Stromdurchgang erhitzt.

Die so entstehenden Teile haben eine Dichte von 1,45 bis 1,75. Man kann sie direkt graphitieren, doch wird üblicherweise vorher eine Vakuum-Imprägnierung mit einer kohlenstoffhaltigen Masse (zum Beispiel Pech) vorgenommen, um durch Ausfüllen der Poren die Dichte zu erhöhen. Man erreicht durch diese Maßnahme Dichten bis zu 1,9. Die Graphitierung der gebrannten und imprägnierten Teile erfolgt bei Temperaturen von ca.  $2.300^{\circ}$  C (ebenfalls im elektrischen Stromdurchgang (0,5 bis 2 Amp./cm<sup>2</sup>)).

Die Temperatureinwirkung hat zweierlei Effekte. Einmal bewirkt sie die Kristallisation des Kohlenstoffes, zum anderen die Verflüchtigung der Fremdstoffanteile (Asche usw.). Die scheinbare Dichte kann für imprägnierten Graphit 1,8 bis 1,9 (je nach Ausgangsprodukten und Zwischenbehandlungen) erreichen, während die Dichte der einzelnen Kristalle an 2,2 bis 2,25 herankommt. Der Unterschied der wahren Dichte der Kristalle und der scheinbaren Dichte zeigt, daß im Graphit Hohlräume bestehen, die zum Teil durch Schrumpfung beim Graphitieren entstehen, zum größten Teil aber schon im nicht graphitierten Material vorhanden sind. Der Graphit weist darüber hinaus Inhomogenitäten in seiner Dichte auf.

Man hat daher versucht, für spezielle Belange in der Reaktortechnik - zum Beispiel als Material für Rohrleitungen für Gase oder als Hüllenmaterial für Brennelemente - hochdichten Graphit herzustellen, der von großer Gleichmäßigkeit ist und geringe Durchlässigkeit für Gase besitzt, sei es für CO<sub>2</sub>-Gas oder Spaltgase.

Die in der chemischen Industrie üblichen Methoden des Imprägnierens mit Kunststoffen sind wegen der erhöhten Temperaturen und der durch Radiolyse bewirkten Zerstörung der Kohlenwasserstoffverbindungen für Reaktor-Graphite nur bedingt anwendbar. Man ist daher bemüht, die Methoden des Einvibriertens des Materials vor dem Brennen und des Ausfüllens der Poren durch Ablagerung von Kohlenstoff zu vervollkommen.

#### Hochdichter Graphit

Um zu einer Dichtigkeit zu gelangen, die ausreichend ist für Gasleitungen oder Auskleidung von Gefäßen genügt es, übliche Graphite zu verbessern und mit Pech, Saccharose, Furfuralkohol oder anderem zu imprägnieren. Für die Abdichtung gegen gasförmige Spaltprodukte aber muß man von feinporigen ( $\leq 10 \mu$ ) Graphitarten ausgehen, deren Herstellung spezielle Maßnahmen (unter anderem Brennen des zu graphitierenden Teils unter allseitigem Druck) bedingt. Das so vorbereitete Material wird einer Imprägnierung unterzogen. Eine andere Methode der Dichterhöhung von Graphit beruht auf der Pyrolyse der Kohlenwasserstoffe: Benzol, Methan, Äthylen etc. oder auch Tetrachlorkohlenstoff zersetzen sich bei Temperaturen von  $750^\circ$  bis  $1.000^\circ$  C und Drücken von einigen cm Hg (bzw. entsprechenden Partialdrücken bei Verdünnung mit einem Inertgas). Der freiwerdende Kohlenstoff diffundiert in die Poren des Graphits und setzt sich unter bestimmten Voraussetzungen dort ab. Die Durchlässigkeit kann man auf diese Weise sehr weit herabsetzen (auf  $10^{-8}$  bis  $10^{-7}$   $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ; im Vergleich mit üblichen Mitteln imprägnierter Graphit:  $10^{-3}$  bis  $10^{-2}$   $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Noch größere Dichtigkeiten erreicht man, wenn man in das Graphitteil eine Dichtungsschicht aus Zirkon oder Silicium einbringt. Es wurden so bei der Diffusion von Xenon Werte von  $10^{-12}$  bis  $10^{-16}$   $\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$  bei  $1.200^\circ$  C erreicht, womit man in die Größenordnung der

Durchlässigkeit von Glas kommt.

#### Pyrographit

Die meisten metallischen und nicht-metallischen Oberflächen (unter anderem auch Graphit) überziehen sich mit einer Kohlenstoffschicht, wenn sie bei Temperaturen von  $1.000^{\circ}$  bis  $2.500^{\circ}$  C in eine Kohlenwasserstoffgas-Atmosphäre unter Drücken von einigen Torr (0,01 bis 10 cm Hg) gebracht werden.

Bei ausreichend hohen Temperaturen, die eine schnelle Orientierung der sich niederschlagenden Atome gewährleisten, oder bei entsprechend niedrigen Drücken, bei denen die Abscheidung so langsam vor sich geht, daß die Atome genügend Zeit haben, sich auszurichten, erhält man Ablagerungen von bemerkenswerter Kompaktheit mit Dichten, die bei höheren Abscheidetemperaturen 2,22 erreichen können.

Diese Dichte entspricht nahezu der aus den Abständen der Atome errechneten, das heißt eine Porosität dieser Abscheidungen von Kohlenstoff aus der Gasphase ist nahezu nicht gegeben. Pyrographit ist sehr anisotrop (fast wie ein Einkristall). Die Orientation der Graphit-Kristalle ist in der Form gegeben, daß 50 bis 100 Zellen in schichtförmigen Kristallen zusammenhängen. Die meisten dieser schichtförmigen Mikro-Kristalle sind parallel zur Abscheidefläche orientiert. Dadurch unterscheiden sich die physikalischen Eigenschaften des Pyrographit in der Richtung parallel und senkrecht zur Abscheideoberfläche außerordentlich stark:

Die Leitfähigkeit parallel zur freien Oberfläche ist größer als die des Kupfers (bei  $20^{\circ}$  C), senkrecht dazu ist sie nahezu 100-fach geringer und damit nur etwa dreimal so groß wie die des Glases.

Ähnliches trifft für das Verhalten gegen Schubkraftbeanspruchungen und das Korrosionsverhalten zu.

#### Verhalten unter Bestrahlung

Die Schichtstruktur des Graphits wird durch Strahlung, insbesondere durch schnelle Neutronen, beeinflusst. Der Abstand der Schichten wird gedehnt. Durch die von der Herstellung vorhandene Textur des Graphits äußert sich diese Dehnung als Strahlenschädigung in einem makroskopischen Wachstum (Wigner-Effekt). Außerdem versprödet der Graphit, das heißt, die Festigkeit und die Härte nehmen zu, die Duktilität, elektrische und thermische Leitfähigkeit, ab. Diese Schäden sind umso stärker, je niedriger die Bestrahlungstemperatur ist. Durch Erhitzen kann man diese Schäden zum größten Teil ausheilen. Dabei wird aber die durch Frenkel-Defekte gespeicherte Energie, die je nach Bestrahlungsdosis einige hundert cal/g betragen kann, frei und kann zu sprunghaften, unkontrollierbaren Temperaturanstiegen führen, wodurch bereits ein größerer Reaktorunfall verursacht wurde.

3. H E R S T E L L E R

GRAPHITWERK KROPFMÜHL AG

KROPFMÜHL-RINGSDORFF GMBH

FRIEDR. KRUPP

SIGRI-KOHLEFABRIKATE GMBH

(GUTEHOFFNUNGSHÜTTE AG - nur Formteile)

und andere, vor allem in Frankreich und Großbritannien

Weitere deutsche Firmen befassen sich u.W. nicht mit der Herstellung von Reaktorgraphit.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Die theoretischen Grundlagen der Graphittechnologie im Bereich der Festkörperphysik sind praktisch erst im Zusammenhang mit der Kerntechnik erarbeitet worden, so zum Beispiel die Erforschung des kristallinen Aufbaues des Graphits und das Problem der Strahlenschädigung.

Neuere Arbeiten richten sich auf die Erzeugung hochdichter und homogener Graphitsorten sowie auf die Entwicklung von Inhibitoren zur Herabsetzung der Graphitoxydation in sauerstoffhaltiger bzw.  $\text{CO}_2$ -Atmosphäre.

Zur Verbesserung der Oxydationsbeständigkeit bei hohen Temperaturen wurden Verbundkörper aus Graphit und Hartstoffen sowie Überzüge aus hochschmelzenden Karbiden, Siliciden (zum Beispiel Rokide C), Oxyden und Cermets entwickelt. Als Beschichtungsmaterial wird  $\text{TiC} - \text{TiSi}_2$  erprobt. Man hofft, den Abbrand bis zu  $1.600^\circ \text{C}$  verhindern zu können.

Die vielseitigen Einsatzmöglichkeiten des Pyrographits sind zum gegenwärtigen Zeitpunkt infolge hoher Preise noch stark eingeschränkt.

Tränkversuche zeigten, daß man mittels bestimmter Kunstgriffe Mo, W und Re (in Metallform) und Nb und Ta (in Form der Monocarbide) in Mengen bis zu 70 Gew.-% in poröse Graphitkörper einbringen und dadurch die Druckfestigkeit erhöhen kann. Man erhält auf diese Weise Werkstoffe mit ausgezeichneter Temperaturbeständigkeit.

## 5. A N W E N D U N G

Anwendungen mehr oder weniger reinen Graphits sind sehr zahlreich; sie gehen zum größten Teil auf die Zeiten vor den Anfängen der Kerntechnik zurück und interessieren daher in diesem Zusammenhang nicht. Auf der anderen Seite sind Fälle von Anwendungen der nuklearreinen hochdichten Graphitsorten im konventionellen Bereich kaum bekannt geworden. Für die technische Anwendung allgemein sind unter anderem folgende Eigenschaften des Graphits von Interesse:

- Hohe Temperaturbeständigkeit
- Gutes Leitvermögen
- Leichte Verformbarkeit

Anwendungen von Graphit in der Kerntechnik:

- Abschirmmaterial (Neutronenbremsung)
- Moderatormaterial
- Hochtemperaturwerkstoff für inerte bzw. nicht oxydierende Gase (zum Beispiel  $\text{CO}_2$ ) und Flüssigmetalle (zum Beispiel Graphitrohrsysteme für flüssiges Zinn bis zu  $1.500^\circ \text{C}$ )
- Gasdichtes Hüllmaterial für Brennelemente
- Andere mehr oder weniger herkömmliche Anwendungen (zum Beispiel als Schmiermittel)

Bekannte und mögliche Anwendungen von Reingraphit im nicht-kerntechnischen Bereich:

### Chemische Industrie

- Hochdichter Graphit als Werkstoff für Apparate (zum Beispiel Rohre, Plattenkühler, Röhrenwärmetauscher, Armaturen, Füllkörper), zum Teil mit Imprägnierungen mit Kunststoffen oder Überzügen mit einer Quarzschicht



- Behälterauskleidungen (zum Beispiel für Zellstoffkocher)
- Tiegelmateriale aus hochreinem Graphit für das Erschmelzen bestimmter von Verunreinigungen freizuhaltender Metalle hoher Schmelzpunkte
- Spektralkohlen für chemische Analyseapparate

#### Raumfahrt

- Verkleidungsmaterial für Raumkapseln aus Kunststoff mit eingelagerten Graphitfasern
- Werkstoff für Strahlruder, Raketendüsen (bereits in der V2)
- Pyrographit: Zusammengesetzte Formkörper mit Wärmeableitfähigkeit, zum Beispiel Spezialdüsen

## 6. AUSWIRKUNGEN IN WIRTSCHAFTLICHEN UND SOZIALER HINSICHT

In der BRD werden etwa 10.000 t Graphit pro Jahr erzeugt; davon ist nur ein geringer Anteil nuklearreiner Graphit. Der nuklearreine Graphit mit einer Dichte nahe der theoretischen (möglichst  $2 \text{ g/cm}^3$ ) wird fast ausschließlich für kerntechnische Zwecke verwendet. Dieser Bedarf der Kerntechnik aber ist gering (Umsatzwert etwa DM 300.000,--/a 1965) und liegt weit unter 1 % des Umsatzes der Graphitindustrie in der BRD. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, daß bislang nur ein graphitmoderierter Reaktor kleiner Leistung gebaut wurde.

Ein wesentlicher Bedarfsanstieg ist in den kommenden Jahren möglich, wenn zum Beispiel in der BRD Kernkraftwerke des englischen AGR-Typs gebaut würden oder der gasgekühlte Hochtemperaturreaktor zum Durchbruch käme.

Der Umsatzwert mit Reaktorgraphit für 1970 wird auf 1 Mio DM geschätzt.

Die Graphitpreise hängen sehr stark vom Bearbeitungsgrad ab. Die Bearbeitungskosten übersteigen auch bei nuklear reinem Graphit großer Dichte in der Regel die Materialkosten um ein vielfaches:

Naturgraphitpulver		1,-- bis 2,-- DM/kg
Naturgraphitpulver, gereinigt (Elektrodengraphit)		2,-- bis 4,-- DM/kg
Künstlicher Graphit, unbearbeitet		2,-- bis 3,-- DM/kg
Künstlicher Graphit in Blockform, unbearbeitet, nuklearrein	ca.	10,-- DM/kg
Präzisionsrohre aus nuklearreinem Elektrodengraphit		70,-- DM/kg
Spektralkohle	ca.	100,-- DM/kg
Pyrographit 1 Dollar pro $\text{cm}^2$ (1 - 2 mm dick)	≈	ca. 1.000,-- DM/kg

Die kleinen Reaktorgraphitmengen werden auf vorwiegend anderweitig genutzten Anlagen und von mit unterschiedlichen Aufgaben betrauten Fachkräften hergestellt und bearbeitet, so daß Fragen nach Leistungsdaten und Auswirkungen im wirtschaftlichen und personellen Bereich schwierig zu beantworten sind.

## 7. B E D E U T U N G

Die Anwendung von Graphit höchster Dichte und Reinheit in der herkömmlichen Industrie ist bislang gering. Ausweitungsmöglichkeiten sind durchaus gegeben, vor allem für den Pyrographit. Außerdem haben weite Bereiche der Technik aus der Graphitforschung erheblichen Nutzen gezogen, der quantitativ allerdings kaum erfaßbar ist.

FALL-NR.: 2287 .000

1. DEFINITION

1.1 KLASSE:

1.2 BEZEICHNUNG: Keramische Hochtemperaturwerkstoffe

## 2. B E S C H R E I B U N G

Die Entwicklung der keramischen Hochtemperaturwerkstoffe ist nicht allein auf Arbeiten für die Kerntechnik zurückzuführen. Vielmehr haben die keramischen Materialien ganz allgemein in den letzten 20 bis 30 Jahren eine starke Erweiterung ihrer Anwendungsgebiete erfahren. Auch der Begriff Keramik wird heute weitergefaßt. Während früher darunter gesinterte Silicat- und Tonerdeprodukte verstanden wurden, hat der technische Fortschritt eine Loslösung des Begriffs von den herkömmlichen Materialien und Verfahren bewirkt. Die Stoffe sind heute vielfach von größerer Reinheit und von anderer Zusammensetzung; sie erreichen größere Dichte; die Sintertemperaturen liegen oft weit über  $1.600^{\circ}\text{C}$ .

Mit dem Übergang zu höheren Temperaturen in Kernreaktoren hat jedoch die Entwicklung keramischer Materialien auch von der Kerntechnik neue Impulse erhalten. Zunächst ersetzte man die metallischen Kernbrenn- und Brutstoffe durch metallkeramische Brennstoffe (zum Beispiel Uran durch  $\text{UO}_2$ , da das Vorhandensein von Phasenumwandlungen die Verwendung des metallischen Uran-Brennstoffs auf den Bereich unter  $668^{\circ}\text{C}$  beschränkt). Im weiteren Verlauf entwickelte man auch keramische Absorbermaterialien (zum Beispiel  $\text{B}_4\text{C}$ ,  $\text{HfO}_2$ ,  $\text{Gd}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Sm}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Eu}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Dy}_2\text{O}_3$ ), keramische Baustoffe für den Strahlenschutz (zum Beispiel  $\text{PbO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{BaO}$ , Mischoxyde mit seltenen Erden), Moderatormaterialien und Reflektoren (zum Beispiel  $\text{Cd}_2\text{Ta}_2\text{O}_7$ ,  $\text{InTaO}_4$ ,  $\text{BeO}$ ,  $\text{Be}_2\text{C}$ ), Werkstoffe für Brennelementhüllen (in Entwicklung) und Strukturmaterialien für besonders stark belastete Teile von Hochtemperaturkreisläufen.

Metallische Werkstoffe, zum Beispiel Legierungen auf Eisenbasis, kommen für Temperaturen oberhalb 800° C, wie sie im Kern von Hochtemperaturreaktoren auftreten, kaum mehr in Frage. Abgesehen von den Festigkeitseigenschaften werden bei diesen Temperaturen die Zunderfestigkeit und die Beständigkeit gegen chemische Angriffe bereits empfindlich schlechter. Die Möglichkeit des Einsatzes anderer metallischer Werkstoffe scheitert meist an den viel zu hohen Preisen dieser Materialien.

Die für die Eignung eines Materials als Hochtemperaturwerkstoff maßgeblichen Eigenschaften sind im wesentlichen folgende:

- Hoher Schmelzpunkt

Der Schmelzpunkt ist ausschlaggebend für die mechanischen Eigenschaften bei höheren Temperaturen, insbesondere für die Festigkeit. Mit Ausnahme der Platinmetalle, die wegen des hohen Preises, wie erwähnt, für die meisten Anwendungsgebiete nicht in Frage kommen, haben alle hoch schmelzenden Metalle eine ungenügende Oxydationsbeständigkeit.

- Niedriger Dampfdruck

Viele hoch schmelzenden Metalle, zum Beispiel Titan und Chrom, haben einen relativ hohen Dampfdruck und können wegen ihrer Flüchtigkeit nicht dauernd bei hohen Temperaturen verwendet werden.

- Chemische Beständigkeit

In erster Linie ist bei höheren Temperaturen die Beständigkeit gegen Gase von Bedeutung, speziell das Verhalten in oxydierender beziehungsweise reduzierender Umgebung.

- Kleiner Wärmeausdehnungskoeffizient

Die Wärmeausdehnung ist zusammen mit dem Wärmeleitvermögen und dem Elastizitätsmodul ausschlaggebend für die Temperaturwechselbeständigkeit. Sie sollte zur Vermeidung von inneren Spannungen bei Heiz- beziehungsweise Kühlvorgängen möglichst klein sein oder zumindest im gesamten Betriebstemperaturbereich nicht zu unterschiedlich sein. Die Silikate des Zirkoniums, des Bariums und des Lithiums, Beryll und Zirkonphosphat zeichnen sich durch kleine Wärmeausdehnungen aus.

- Gute Wärmeleitfähigkeit

Die Wärmeleitfähigkeit der keramischen Materialien ist bei höheren Temperaturen im allgemeinen schlecht. Eine Ausnahme bildet dichtgesindertes Berylliumoxid, dessen Wärmeleitfähigkeit bei Zimmertemperatur nur von Silber, Gold und Kupfer übertroffen wird ( $> 250 \text{ kcal/mh}^\circ\text{C}$  bei  $25^\circ\text{C}$ ), aber bei höheren Temperaturen auch merklich absinkt ( $\approx 15$  bei  $1.000^\circ\text{C}$ )

- Kleiner Elastizitätsmodul

Dieser hat ebenfalls Einfluß auf die Temperaturwechselbeständigkeit, die um so größer ist, je niedriger der E-Modul liegt.

- Kleines spezifisches Gewicht

Dies ist wichtig, um zu geringen Leistungsgewichten zu kommen. Eine besondere Bedeutung kommt dem spezifischen Gewicht bei rotierenden Teilen im Hinblick auf die Zentrifugalkräfte zu. Das spezifische Gewicht der meisten keramischen Stoffe liegt zwischen  $2$  und  $4 \text{ g/cm}^3$ ; erheblich höher ist das spezifische Gewicht von  $\text{ZrO}_2$  ( $6 \text{ g/cm}^3$ ) und von  $\text{UO}_2$  ( $11 \text{ g/cm}^3$ ).

- Schlagbiegefestigkeit

Alle keramischen Werkstoffe sind kaltspröde. Neuere Untersuchungen an Einkristallen ergaben indessen, daß auch Reinoxide bis zu einem gewissen Grade duktil sein können. Die Duktilität hängt von der Kristallstruktur ab. Besonderes Interesse kommt in Hinsicht auf die Schlagbiegefestigkeit den keramischen Stoffen mit kubisch-flächenzentriertem Gitter zu.

- Kriechfestigkeit

Die meisten keramischen, insbesondere oxydischen Werkstoffe haben in bezug auf Kriechfestigkeit ein günstiges Verhalten.



### Bearbeitbarkeit

In der Regel gelingt es, mit den in neuerer Zeit entwickelten Formgebungsverfahren keramische Teile mit so guter Maßhaltigkeit herzustellen, daß sich eine Nachbearbeitung in den meisten Fällen erübrigt.

Wärmedehnung, Wärmeleitfähigkeit und Elastizitätsmodul können sich in dem Bereich von Raumtemperatur bis zu Betriebstemperaturen stark ändern. Außerdem sind die Wärmeleitfähigkeit und der E-Modul stark abhängig von der Dichte des Materials; sie nehmen schon bei schwach porösem Gefüge stark ab im Vergleich zum dichtgesinterten Material. Poröse keramische Materialien sind also elastischer als dichte, haben aber schlechtere Wärmeleiteigenschaften.

Es gibt keinen Stoff, der alle obenerwähnten Eigenschaften im positiven Sinne in sich vereint. Außer den hochschmelzenden Metallen, Kohlenstoff und Mischstoffen (zum Beispiel Cermets) haben keramische Stoffe, das heißt die hochschmelzenden

- Oxide
- Boride
- Karbide
- Nitride
- Silizide
- Sulfide

im allgemeinen gute Hochtemperatureigenschaften.

Die Entwicklungen, die im Zusammenhang mit der Kerntechnik betrieben wurden, konzentrieren sich auf die ersten drei Gruppen. Auch Nitride, Sulfide und Silizide wurden auf ihren Wert für die Kerntechnik hin untersucht (z.B. Thorium - und Uran-Sulfide), doch ist über Anwendungen im herkömmlichen Bereich noch wenig bekannt geworden.

#### Oxide

Die Oxide werden zwar in bezug auf Warmfestigkeit von anderen Hochtemperaturwerkstoffen übertroffen, sie zeichnen sich aber durch hervorragende Stabilität in oxydierender Atmosphäre bei höheren Temperaturen aus.

Berylliumoxid, das als Moderatiormaterial eine gewisse Bedeutung erlangt hat und als Werkstoff für  $\text{BeO} - \text{UO}_2$  -Brennelemente in Erprobung ist, vereint den Vorteil eines hohen Schmelzpunktes ( $2.530^\circ \text{C}$ ) mit guter Reduktionsbeständigkeit, Wärmeleitfähigkeit und Temperaturwechselbeständigkeit. Die elektrische Leitfähigkeit ist auch bei hohen Temperaturen gering. Bezüglich der Druckfestigkeit ist es bei hohen Temperaturen allen anderen Oxiden überlegen. Ein Nachteil des  $\text{BeO}$  ist seine Toxizität (s. hierzu 6. Auswirkungen) und sein hoher Preis (bis zu 300 DM/kg für gesinterte Formstücke).

Es wurden darüber hinaus viele Mehrstoffsysteme, die  $\text{BeO}$  enthalten, untersucht. Keramische Werkstoffe wie  $48 \text{ BeO} \cdot 2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{ZrO}_2 + 2 \% \text{ CaC}$  und  $3 \text{ MgO} \cdot 5 \text{ BeO} \cdot \text{ZrO}_2$  besitzen sehr günstige mechanische Eigenschaften, zum Beispiel eine Dauerzugfestigkeit von fast  $13 \text{ kg/mm}^2$  bei  $1.000^\circ \text{C}$ , allerdings wie alle oxidkeramischen Stoffe nur geringe Temperaturwechselbeständigkeit.

Thoriumoxid ist als Brutstoff (in der Regel als  $\text{ThO}_2 - \text{UO}_2$  -Gemisch) geeignet. Systematische Untersuchungen haben genaueren Aufschluß über dieses Material erbracht: Es hat einen sehr hohen Schmelzpunkt ( $3.200^\circ \text{C}$ ) und ist außerordentlich stabil. Es ist jedoch als Werkstoff nur beschränkt anwendbar wegen seiner schlechten Temperaturwechselbeständigkeit und des hohen Preises (ca. 75 DM/kg). Es ist schwer dicht zu sintern.

Die B o r i d e der hoch schmelzenden Metalle der 4., 5. und 6. Gruppe des periodischen Systems zeichnen sich durch hohe Schmelzpunkte, geringe Flüchtigkeit, große Härte, chemische Stabilität und gute Temperaturwechselbeständigkeit aus. Sie haben metallischen Charakter und gute Leitfähigkeit. Nachteilig ist ihre ungenügende Oxydationsbeständigkeit, so daß sie in erster Linie für die Verwendung in reduzierender Atmosphäre und im Vakuum infrage kommen. Die Boride vieler Metalle sind noch kaum im einzelnen untersucht, insbesondere auf ihre mechanischen Eigenschaften hin. Zirkonborid gehört wie die anderen Boride der 4. Gruppe zu den stabilsten Verbindungen überhaupt.

#### Karbide

Die K a r b i d e gehören zu den höchst schmelzenden Verbindungen. Viele haben Schmelzpunkte über  $3.000^{\circ}\text{C}$ . Die höchsten Schmelzpunkte finden sich bei HfC ( $3.890^{\circ}\text{C}$ ) und den komplexen Karbiden  $4\text{TaC} \cdot 1\text{ZrC}$  ( $3.932^{\circ}\text{C}$ ) und  $4\text{TaC} \cdot 1\text{HfC}$  ( $3.942^{\circ}\text{C}$ ), wobei die Kerntechnik einen gewissen Einfluß auf die Reindarstellung der Hafnium- und Zirkonium-Karbide genommen hat. Die Reinheit und stöchiometrische Zusammensetzung der Karbidkomponenten ist von Bedeutung, wenn man gleichförmige Materialqualitäten erreichen will.

Borakarbid ist infolge seines großen Wirkungsquerschnitts für Neutronen als Absorbermaterial geeignet. Es besitzt eine gute Hochtemperatur-Biegebruchfestigkeit ( $25\text{ kg/mm}^2$  bei  $1.100^{\circ}\text{C}$ ), gute Zugfestigkeit (ca.  $16\text{ kg/mm}^2$  bei  $1.000^{\circ}\text{C}$ ) und gute Kriechfestigkeit. Nachteilig ist seine geringe Oxydationsbeständigkeit, die jedoch durch Zusatz von metallischem Eisen verbessert werden kann. Keramische Stoffe, bei denen  $\text{B}_4\text{C}$  mit Nitrid (BN) gebunden ist, sind gegenwärtig in Erprobung.

Zirkonkarbid ist in der oben erwähnten Verbindung  $4\text{TaC} \cdot 1\text{ZrC}$  von Interesse.

3. URHEBER, HERSTELLER

An der Entwicklung und Herstellung von keramischen Materialien sind so viele Stellen beteiligt, daß nicht im einzelnen verfolgt werden konnte, inwieweit und welche Firmen und Institutionen sich mit Hochtemperaturwerkstoffen der hier behandelten Art befassen.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Das gesamte Gebiet der Hochtemperaturwerkstoffe ist verhältnismässig neu. Es begann während des Krieges mit der Entwicklung der Gasturbine als Flugmotor. Seither ist die Forderung nach Werkstoffen für Arbeitstemperaturen um und über  $1.000^{\circ}\text{C}$  immer dringender geworden. Für spezielle Zwecke werden Werkstoffe für Temperaturen über  $2.000^{\circ}\text{C}$  verlangt. Die Entwicklung ist noch im vollen Gange, so daß generell gültige Aussagen über den Entwicklungsstand nur für einzelne Stoffe gemacht werden können. Von den keramischen Stoffen scheint die Entwicklung der oxidkeramischen Materialien am weitesten fortgeschritten und in einigen Fällen ausgereift zu sein (z.B. für  $\text{UO}_2$ ).

## 5. A N W E N D U N G

Die Anwendungsbereiche keramischer Stoffe in der Kerntechnik wurden bereits eingangs erwähnt. Für Kernbrennstoffe werden heute überwiegend keramische Verbindungen verwendet. Dispersionsbrennelemente, Strukturwerkstoffe und Moderatormaterialien aus keramischen Stoffen werden vor allem für Hochtemperaturkernenergieanlagen benötigt und finden bereits Anwendung in Prototypreaktoren. Darüber hinaus besteht in der Plasmatechnik ein Bedarf an Hochtemperaturwerkstoffen.

Im herkömmlichen Bereich gelangen keramische Hochtemperaturwerkstoffe an vielen Stellen zur Anwendung. Die durch die Kerntechnik beeinflussten Entwicklungen haben auf folgenden Gebieten Eingang gefunden:

### Metallerzeugende Industrie

Hochtemperaturtiegel aus  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Be}_2\text{C}$  zum Schmelzen von Platin und Iridium

Tiegel zum Vakuumschmelzen von Aluminium aus  $\text{Be}_3\text{N}_2$

Pyrometerschutzrohre aus  $\text{BeO}$

### Chemische Industrie

Werkstoffe für Hochtemperaturreaktionsapparate (z.B.  $\text{ThO}_2$ ,  $\text{BeO}$  und  $\text{ZrO}_2$ )

Zuverlässige Werkstoffe für Hochtemperaturvorgänge im Vakuum ( $\text{ZrB}$ ,  $\text{ZrB}_2$  wegen des niedrigen Dampfdrucks bei hohen Temperaturen)

Strukturwerkstoffe (z.B.  $\text{Be}_2\text{C}$ ) für Apparate bei der Azetylenherzeugung u.a.

### Keramische Industrie

Brennunterlagen für Titanate aus  $\text{ZrO}_2$

Materialien für isolierende Tragkörper für Heizleiter für Laboratoriumswiderstandsöfen ( $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{ThO}_2$ )

Konstruktionsmaterial für Induktionsöfen ( $\text{ZrB}$ ,  $\text{ZrB}_2$ )

Feuerfeste Materialien für andere Probleme im Ofenbau

Gasturbinenbau

Rotorscheufeln aus BeO bzw.  $48 \text{ BeO} \cdot 2 \text{ Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{ZrO}_2 + 2 \% \text{ CaO}$   
wegen des günstigen Verhältnisses Zugfestigkeit zu Dichte  
und als Bestandteile von Cermets (ZrB,  $\text{ZrB}_2$ , ZrC u.a.).

## 6. AUSWIRKUNGEN

Keramische Werkstoffe können - nicht zuletzt wegen ihres relativ günstigen Preises - metallische Hochtemperaturwerkstoffe bis zu einem gewissen Grad ersetzen. Aus wirtschaftlicher Sicht wäre eine Substitution der Platinmetalle und bestimmter Legierungen, z.B. solcher auf Rheniumbasis, interessant, da diese trotz ihrer ausgezeichneten Hochtemperatureigenschaften wegen des hohen Preises nur in ganz seltenen Fällen verwendet werden können.

Einzelheiten hinsichtlich wirtschaftlicher Auswirkungen konnten anhand der vorliegenden Informationen nicht bestimmt werden.

Auf dem sozialen / personellen Gebiet konnten lediglich im Zusammenhang mit Berylliumoxid bzw. -karbid gewisse Feststellungen gemacht werden. Berylliumoxid wird trotz seiner in vieler Hinsicht ausgezeichneten Eigenschaften nur verhältnismäßig wenig benutzt; die Herstellung von Formkörpern wird nicht so gut beherrscht wie bei anderen Oxiden.

Ein wesentlicher Grund dafür ist die Giftigkeit von BeO. Während für die meisten Menschen BeO nicht gefährlicher zu sein scheint als andere hochschmelzende Oxide, ergeben sich bei einigen Personen schon bei Aufnahme von sehr geringen Mengen in den Organismus schwere Lungenschäden (Berylliose), die zum Tode führen können. Über die physiologische Seite dieser Berufskrankheit ist bisher nur sehr wenig bekannt. Statt gezielter Schutzmaßnahmen wie Auswahl von nicht anfälligen Personen, Schutz der Arbeiter durch Vorbeugungsmittel u.ä., werden bislang umfassende technische Vorkehrungen getroffen, die für die Forschung, Handhabung und Herstellung ein großes Hindernis bedeuten.



## 7. B E D E U T U N G

Trotz der generell schlechten Beständigkeit gegen Temperaturwechsel und der hohen Sprödigkeit haben die keramischen Stoffe für Hochtemperaturöfen, Turbinen- und Raketentriebwerke eine außerordentliche Bedeutung gewonnen. Bei anderen hochtemperaturbeaufschlagten Teilen, vor allem in stationären Wärmemaschinen, nimmt man häufig noch die konstruktiv aufwendigere Lösung einer Kühlung der entsprechenden Teile in Kauf, bzw. bleibt im Bereich niedrigere Temperaturen, um herkömmliche Werkstoffe verwenden zu können und verzichtet damit auf die Möglichkeit, bessere Wirkungsgrade zu erreichen.

Der Durchbruch der stationären Gasturbine (eventuell in Verbindung mit einem gasgekühlten Reaktor) hängt zum Beispiel offenbar weitgehend von der Entwicklung eines geeigneten Hochtemperaturwerkstoffs für die Turbinenschaufeln ab, der den thermischen und mechanischen Beanspruchungen gewachsen ist.

FALL-NR.: 2289.200

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Sinterwerkstoffe

1.2 BEZEICHNUNG: Cermets (Metall-Metalloxyd-Werkstoffe)

## 2. B E S C H R E I B U N G

Die Entwicklung von Metall-Metalloxyd-Werkstoffen aus hochtemperaturfesten Materialien für Gasturbinenschaufeln begann während des Krieges. Die Bezeichnung CERMET = CERamic + METal wurde erstmals 1945 in der amerikanischen Literatur verwendet. Nach dem Krieg wurde diese Entwicklung auf breiterer Basis für die Reaktortechnik (Kernbrennstoffe, Strukturmaterialien) und gleichzeitig für die Raketen- und Raumfahrttechnik fortgesetzt. Von dieser Entwicklung gehen heute starke Rückwirkungen auf herkömmliche Bereiche aus.

Unter "Cermets" werden gesinterte Mischkörper aus Oxyden, Oxydmischungen, Silicaten und nichtmetallischen Carbiden mit Metallen verstanden. Der Begriff "Cermet" wird damit gegenüber der Definition "Hartmetalle" abgegrenzt, worunter Kombinationen von rein metallischen Hartstoffen wie Carbide, Nitride, Boride und Silicide der Metalle der Gruppen 4a bis 6a des Periodischen Systems mit Metallen, besonders der Eisengruppe, verstanden werden (Uhlmann, Band 14, Sinterstoffe).

Das Mischungsverhältnis zwischen metallischen und nichtmetallischen Komponenten kann in weiten Grenzen schwanken; jedoch werden fast rein metallische Sinterwerkstoffe (zum Beispiel rekristallisationsfestes Wolfram mit Zusätzen von Thoriumoxyd, Aluminiumoxyd beziehungsweise Silicaten und SAP-Metall) üblicherweise nicht zu den Cermets gezählt.

Die Entwicklung der Cermets ist von dem Bestreben gekennzeichnet, die gute Oxydationsbeständigkeit und Warmfestigkeit der Oxyde beziehungsweise keramischen Materialien mit der hohen Wärmeleitfähigkeit, Temperaturwechselbeständigkeit und Zähigkeit der Metalle zu kombinieren und so warmfeste, zunderbeständige Werkstoffe herzustellen. Es gibt Cermets, die bis  $1.500^{\circ}\text{C}$  als Werkstoff verwendbar sind (zum Beispiel  $\text{Fe-Al}_2\text{O}_3$  mit 40 - 60 % Fe). Die Wärmeleitfähigkeit dieser

Werkstoffe, die aus zwei sich gegenseitig durchdringenden Skeletten bestehen, ohne eine Legierung zu bilden, beruht zum Teil auf bestimmten Eigenschaften der Elektronen. Die elektrischen und Wärmeleiteigenschaften und die ausgezeichnete Strahlungsbeständigkeit derartiger Mischwerkstoffe aus Leitern und Nichtleitern werden ausgenutzt (vergleiche Punkt 5). Nachteilig sind ihre im Vergleich zu den Metallen geringe Temperaturwechselbeständigkeit, ihre Sprödigkeit und die Tatsache, daß ihre Wärmeausdehnungskoeffizienten von denen der Metalle erheblich abweichen (70/30  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Cr ca.  $9 \cdot 10^{-6}$ ), wodurch eine Verbindung Cermet-Metall (zum Beispiel Turbinenlaufrad aus Stahl und Schaufeln aus Cermetwerkstoff) sehr schwierig zu verwirklichen ist. Die Festigkeit besonders in bezug auf Biegebeanspruchungen nimmt mit zunehmendem Oxydgehalt ab.

Die Herstellung der "Cermets" erfolgt durch Mischen der einzelnen Komponenten und Pressen und Sintern der Formkörper bei Temperaturen nahe unter oder knapp über dem Schmelzpunkt der metallischen Phase (für  $\text{UO}_2$ -Cermets ca.  $2.100 - 2.300^\circ \text{C}$ ). Es gibt auch Beispiele, wo reaktionsthermische Verfahren für die Herstellung von Cermetkörpern zur Anwendung gelangen. Als Ausgangsmaterialien dienen Pulver mit sehr geringen Korngrößen ( $\leq 10 \mu$ ). Die Sinterfähigkeit der Cermets ist fast ausnahmslos schlecht; bewährt hat sich das Verfahren der Drucksinterung (auch Sintern - Strangpressen) bei Drücken von ca.  $1.000 \text{ kg/cm}^2$ ) als zweckmässigste Methode. In der Kerntechnik geht man auch den Weg des Warmwalzens von Komponentengemengen, die in einem geschlossenen Rahmen eingebracht werden (zum Beispiel  $\text{UO}_2$ -Al Verbundstoffe). Strangpressen ist geeignet für Komponenten mit einem Oxydgehalt von nicht mehr als 5 - 10 Gew. %.

Beispiele von erprobten und in Erprobung befindlichen Metall-Metall-oxydwerkstoffen sind:

#### Oxyd-Cermets

$UO_2/U_3O_8$	Al, Fe, Nb, Mo, Cr, nicht rostende Stähle, z.B. 302 B
$Al_2O_3$	Ni, Mo, Al, Be, Co, Fe, Cr, NiFe, Nb
$Cr_2O_3$	Cr
MgO	Al, Be, Co, Fe, Mg
$SiO_2$	Cr, Si
$ZrO_2$	Zr

#### Carbid-Cermets

(UC	Fe, Cr, $UFe_2$ , Ni - in der Regel als Dispersionen)
(BC	Cu, Ag, Ti, TiHf, Al, Fe - mit geringem BC-Gehalt)
SiC	Ag, Si, Co, Cr
TiC	Mo, W, Fe, Ni, Co, Superlegierungen

#### Borid-Cermets

$Cr_3B_2$	Ni
$TiB_2$	Fe, Ni, Co
$ZrB_2$	Fe, Ni, Co

#### Silicid-Cermets

$MoSi_2$	Ni, Co, Pt, Fe, Cr
----------	--------------------

#### Nitrid-Cermets

TiN	Ni
-----	----

### 3. URHEBER

Erste technische Anwendung: H.G. Schurecht 1939, Mischung aus Ton und Al-Pulver, aber nur als Schutzschicht;

E. Meyer-Hartwig, 1944, Material aus 40 - 60 % Fe, Rest  $Al_2O_3$  für Turbinenschaufeln.

Die erste Cermet-Entwicklung für die Kerntechnik (in den USA) scheint auf das Ende der 40-iger Jahre zurückzugehen.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Die Entwicklung befindet sich auch auf dem Gebiet der Kerntechnik noch in einem Übergangsstadium und ist keineswegs ausgereift. Die Entwicklung der Cermets wurde in letzter Zeit stark vorangetrieben. Die USA haben zum Beispiel für die Entwicklung eines Hochtemperaturwerkstoffs auf TiC-Basis 5 Mio \$ aufgewendet.

Die Tendenz weiterer Entwicklungen und die möglichen weiteren Anwendungsgebiete sind schwer zu übersehen.

## 5. A N W E N D U N G

Da die Metall-Metalloxydwerkstoffe spröde und schlecht temperaturwechselbeständig sind, ist ihre Anwendung beschränkt; so kommen sie zum Beispiel für Turbinenschaufeln und für andere Teile, die auf Biegung beansprucht werden, nicht in dem Maße infrage, wie man zu Beginn der Entwicklung gehofft hatte.

In der Atomtechnik haben Cermets von  $UO_2$  in metallischen Grundmassen (Al, Fe und andere) als Material für Brennstoffelemente und Absorber, für gasgekühlte Hochtemperatur-Reaktoren und für Forschungsreaktoren ein Anwendungsgebiet gefunden beziehungsweise sind im Begriff, sich durchzusetzen. Darüber hinaus gibt es vereinzelte Anwendungen von Cermets als Strukturwerkstoff, zum Beispiel als Brennstoffhüllenmaterial.

Anwendung außerhalb der Kerntechnik

### Metallurgie

Material für Tiegel und dergleichen

Hochtemperatur-Schutzüberzüge über Metalle

### Raketen und Luftfahrttechnik

Hochwarmfeste Materialien für Düsen, Auskleidung von Verbrennungskammern

### Elektrotechnik

Material für Thermoelement Schutzrohre

Elektronik: aufgrund der besonderen Eigenschaften (Leit- und

Emissionsvermögen) geeignet als Widerstands- und Kathodenmaterialien



## 6. AUSWIRKUNGEN

Informationen über wirtschaftliche oder soziale Auswirkungen liegen nicht vor. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich die Entwicklung der Cermets noch kaum aus dem Versuchsstadium gelöst hat.

Bei der Verarbeitung von Metallpulvern ist die mögliche Toxicität zu beachten. Einige Metallpulver haben eine spezielle gesundheitsschädliche Wirkung bei der Inhalation, während sie sonst ungefährlich sind (zum Beispiel Beryllium, Aluminium, Kobalt, Chrom, Wolfram, Mangan, Nickel, Molybdän, Vanadium, Titan, Tantal und Carbide dieser Stoffe). Bei der Verarbeitung sind entsprechende Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um Berufskrankheiten (zum Beispiel Hartmetallfibrose der Lunge) zu vermeiden. Die durch diese Stoffe entstehenden Lungenschäden sind erst seit kurzer Zeit bekannt. Erkrankungen oder Verdacht müssen gemäß 6 BKVO sofort gemeldet werden.

## 7. B E D E U T U N G

Die oxydischen Kernbrennstoffe in Metallmatrix, unter anderem auch die Cermets haben in der Kerntechnik ein gewisses Maß an Bedeutung erreicht.

In herkömmlichen Anwendungen haben die Cermets - abgesehen vom technischen Erfolg der metallreichen Systeme vom SAP-Typ ( $\text{Al-Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Be-BeO}$ ,  $\text{Ni-ThO}_2$ ) - bis jetzt noch nicht die in sie gesetzten Erwartungen erfüllt. Ein größeres Anwendungsgebiet wird sich den Cermets aber mit Sicherheit in der Raketentechnik erschließen.

FALL-NR.: 3327.100

1. DEFINITION

- 1.1 KLASSE: Verfahren zur Beobachtung und Prüfung von Struktur und Aufbau von Stoffen, Materialfehlerprüfung
- 1.2 BEZEICHNUNG: Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung  
(dargestellt am Beispiel der elektromagnetischen Verfahren zur Riß- und Fehlerprüfung)

## 2. B E S C H R E I B U N G

Die Technik der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung wurde durch die Kerntechnik beziehungsweise den Bau von Reaktoren in zweifacher Weise beeinflusst: einmal mußten die Fehlerprüfverfahren wesentlich verfeinert werden, um den extrem hohen Anforderungen an Werkstoffe und Verarbeitungsqualitäten gerecht zu werden, zum anderen wurden durch die Reaktortechnik die Entwicklung völlig neuer Prüfmethoden angeregt.

Bei der hier zu betrachtenden Art der Fehlerprüfung sind zwei Gebiete der Prüfverfahren zu unterscheiden, einerseits die elektromagnetischen oder Wirbelstromprüfverfahren (sogenannte aktive Verfahren), andererseits die magnetischen Streuflußverfahren (sogenannte passive Verfahren).

### Elektromagnetische- oder Wirbelstromverfahren

Bei diesen Verfahren wird das zu prüfende Werkstück in das magnetische Feld einer von Wechselstrom durchflossenen Spule gebracht, wodurch im Prüfkörper Wirbelströme (bei ferromagnetischen Werkstoffen auch Wechsellagerungen) erzeugt werden, die ihrerseits wieder ein magnetisches Wechselfeld hervorrufen.

Die Rückwirkung dieser sekundären, vom Prüfkörper erzeugten Wechselfelder auf die primäre Prüfspule hat eine scheinbare Veränderung der Prüfspuleneigenschaften zur Folge, die sowohl von den Geräte- als auch von den Prüfkörpereigenschaften abhängig sind. Befindet sich im Werkstoff zum Beispiel ein kleiner Fehler, das heißt eine örtliche Materialtrennung, so stellt diese einen Widerstand für die Wirbelströme dar, und der Kennwert der Prüfspule verändert sich.

Für die Wirbelstromverfahren bestehen zwei Grundanordnungen:

- Das Prüfverfahren mit D u r c h l a u f s p u l e , bei dem der Prüfkörper konzentrisch umfaßt und jeweils ein bestimmter Querschnitt untersucht wird. Hierbei läßt sich nicht angeben, an welcher Stelle des Umfangs ein Fehler lokalisiert ist.
- Das Prüfverfahren mit p u n k t f ö r m i g e r A u f s a t z s p u l e , die den Prüfkörper mit hoher Geschwindigkeit umkreist und mittels eines hochfrequenten Wechselfeldes Wirbelströme im Prüfling erzeugt, deren Rückwirkungen auf die Prüfspule den Meßeffect darstellen. Nicht der ganze Querschnitt wird geprüft, sondern nur eine Zone auf der Oberfläche des Prüfkörpers, die nahezu punktförmig ist. Die Aufsatzspule rotiert bei gleichzeitiger axialer Fortbewegung des Prüfkörpers und erzeugt dadurch eine spiralförmige Prüfzone. Bei diesem Prüfverfahren wird auf dem Schirm nicht nur die Größe sondern auch die genaue Lage des Fehlers auf dem Umfang des Prüflings dargestellt.

Das elektromagnetische oder Wirbelstromverfahren reagiert außer auf Fehler auch auf die Variation anderer Einflußgrößen, zum Beispiel der Dimension (innerer und äußerer Durchmesser).

#### Magnetische Streuflußverfahren

Im Gegensatz zum Wirbelstromverfahren beruht das Streuflußverfahren darauf, daß durch geeignete Magnetisierung des Prüfkörpers an den Fehlerstellen magnetische Streuflüsse austreten, die mit einer magnetischen Mikrosonde gemessen werden. Das Streuflußverfahren zeigt ein besonders gutes Verhältnis der Fehlersignalspannung zum Störpegel und ist weitgehend unabhängig von der Oberflächenbeschaffenheit des Prüfkörpers.

Vier verschiedene Streuflußverfahren lassen sich unterscheiden:

- Das magnetische Streufluß-Rotierkopfverfahren; es wurde speziell entwickelt, um das remanente Feld von magnetisch hartem ( $H_c > 10 \text{ Oe}$ ) Halbzeug nach einer Stoßmagnetisierung zum Beispiel mit Hilfe einer Förster-Sonde abtasten zu können.
- Das Tubotest-Verfahren zur Rißprüfung an nahtlosen Rohren, bei dem das zu untersuchende Rohr durch einen zentrischen Strom zirkular magnetisiert wird. Eine Reihe von Streuflußsonden läuft dabei in axialer Richtung längs des rotierenden Rohres, so daß eine enge Abtastspirale des Streuflusses erzielt wird.
- Das Magnetographieverfahren für diskontinuierlichen Betrieb, bei dem der an einem Riß auftretende Streufluß auf einer mit einem magnetischen Pigment präparierten Folie kopiert und diese Folie dann mit elektronischen Streuflußköpfen abgetastet wird. So wird zum Beispiel bei Prüfen einer runden Schweißnaht ein Streifen um diese gelegt und die Schweißzone durch einen Stromstoß magnetisiert; anschließend läuft der Streifen durch eine Abtastvorrichtung und das Ergebnis wird als Fehlerflächenübersicht aufgezeichnet.
- Das Magnetographieverfahren für kontinuierlichen Betrieb benutzt Walzen aus besonderen Plastikwerkstoffen, die mit einem magnetischen Pigment gefüllt sind. Das Wesentliche dieses Verfahrens ist die Übertragung eines magnetischen Streuflusses auch von sehr unregelmäßig geformten Oberflächen, wie zum Beispiel Schweißnähten auf ein weiches Band, das den magnetischen Streufluß elektronisch auf einen Leuchtschirm und auf Papierstreifen genau abbildet. Dadurch erhält man nicht nur die kontinuierliche Abbildung der Streuflußverteilung einer Schweißnaht, sondern es lassen sich zum Beispiel die erhaltenen Fehlersignale von der Oberfläche eines zu prüfenden Knüppels dazu benutzen, eine automatische Fehlerkennzeichnung gleichzeitig auf allen vier Seiten zu erhalten; das Ausputzen der Fehler braucht dann nur längs der Farblinien zu erfolgen, die direkt auf dem Knüppel am Ort der Fehler automatisch aufgebracht sind.

3. H E R S T E L L E R

Mit Geräten, zum Teil auch anderen als den hier beschriebenen, für die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung befassen sich in der BRD unter anderem folgende Firmen:

- Buchler & Co.
- Frank & Schulte
- Frieseke & Hoepfner
- F.J. Gattys
- F.H. Gottfeld
- Institut Dr. Förster
- Labor Prof. Dr. Berthold
- Leybold Hochvakuum
- C.H.F. Müller
- Rich. Seifert

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Bereits in den 30-iger Jahren wurden die theoretischen und experimentellen Grundlagen der hier behandelten Verfahren erarbeitet und Methoden zur Berechnung der Prüffrequenzen und Spulendimensionen in Abhängigkeit von den physikalischen Eigenschaften des Prüfkörpers entwickelt. Die Analyse vieljähriger Industrieerfahrung sowie eine sorgfältige theoretische und experimentelle Klärung der Grundlagen der elektromagnetischen Prüfverfahren haben mit metallurgischen Versuchen und Auswertungen zu einem gewissen Abschluß in der Entwicklung von Wirbelstromprüfgeräten und Durchlaufspulen geführt. Der Defektograph mit Durchlaufspule hat zur Zeit das weitaus größte Auflösungsvermögen hinsichtlich der Erkennbarkeit sehr kleiner Fehler.

Einen wichtigen Platz in der Materialfehlerprüfung wird in Zukunft auch das Magnetographieverfahren einnehmen, das in der UdSSR bereits in erheblichem Umfang für Schweißnahtprüfungen eingesetzt wird, da dieses Verfahren durch seine besonderen Eigenschaften für die Fehlerprüfung prädestiniert ist.



## 5. A N W E N D U N G E N

Die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung gewinnt immer mehr an Bedeutung, da mit ihr Halb- und Fertigfabrikate ohne Einwirkung von außen, das heißt ohne jegliche Beschädigungen untersucht werden können, um eventuell bei der Herstellung aufgetretene Fehler festzustellen. Der Anwendungsbereich elektromagnetischer beziehungsweise magnetischer Verfahren ist praktisch unbegrenzt und an keine Dimensionen gebunden: Walzwerks- und Gießereierzeugnisse können ebenso geprüft werden wie kleinste Prüfkörper - durch die technologische Entwicklung extrem kleiner Spulen mit Einlaufdüsen aus durchbohrtem Diamant wurden die apparativen Voraussetzungen geschaffen, mit denen Drähte bis zu einem Durchmesser von 25  $\mu$  auf Risse geprüft werden können.

Aus den besonderen Eigenschaften der jeweiligen Verfahren ergeben sich gleichzeitig die Möglichkeiten ihres Einsatzes:

Elektromagnetische Wirbelstromverfahren

Durchlaufspule

- Stärkere Eindringung des Feldes, daher Feststellung von tiefer liegenden Fehlern möglich
- Große Prüfungsgeschwindigkeit
- Unempfindlichkeit gegenüber Oberflächenrauigkeit des Prüfkörpers
- Differenzverfahren, das heißt Anzeige der Differenz der Fehler-tiefe in den beiden Prüfungspulen

Umlaufspule

- Anzeige von Oberflächenfehlern oder Fehlern dicht unter der Oberfläche beziehungsweise Fehlern in beliebiger Lage in dünnwandigen Rohren

- Prüfungsgeschwindigkeit je nach zugelassener Prüfspiralbreite mit 50 Spulenumläufen pro Sekunde (bei 2 beziehungsweise 4 Prüfspulen entsprechend 100 beziehungsweise 200 Spulenumläufe pro Sekunde)
- Empfindlichkeit gegenüber der Oberflächenrauigkeit, daher optimale Ergebnisse bei glatten Oberflächen; bei geschliffenen Oberflächen Fehlerauflösung bis herab zu  $10 \mu$  Fehlertiefe
- Absolutanzeige der Fehlertiefe, daher besonders geeignet als Abnahmegesetz, welches Halbzeug mit Fehlern über einer bestimmten vorgeschriebenen Tiefe aussortiert.

#### Magnetisches Streuflußverfahren

##### Magnetographie

- Hohe Fehlerempfindlichkeit bei niedrigem Störpegel
- Fehlerprüfung auch von sehr rauhen oder unebenen welligen Oberflächen
- Eindeutiger Zusammenhang zwischen Fehleranzeige und Fehlertiefe (dadurch besonders als Abnahmeverfahren geeignet)
- Sofortiges, genau reproduzierbares Fehlerdokument durch das Flächenübersichtsbild

Die Anwendungsgebiete auf kerntechnischem und herkömmlichem Gebiet unterscheiden sich nicht voneinander, es sei denn, daß auf Grund der höheren Qualitätsanforderungen in der Kerntechnik dort diese Verfahren häufiger angewendet werden, während man sich sonst mit weniger empfindlichen Meßmethoden begnügt. Meistens wird es sich um Riß- und Fehlerprüfung an Drähten, Stangen, Rohren, Bolzen etc. handeln, wobei jedoch einige der genannten Verfahren sich nur für rotationssymmetrische Prüfkörper von 0,025 - 1000 mm  $\varnothing$  eignen.

Weitere Anwendungsgebiete der elektromagnetischen und magnetischen Verfahren sind:

- Schichtdickenmessungen
- Messung der Haftung mehrerer metallischer Komponenten
- Wandstärken- und Dimensionsmessungen
- Berührungsfreie Messung physikalischer Größen
- Bestimmung der Anisotropie

## 6. AUSWIRKUNGEN

Es liegen keine Informationen vor, auf deren Grundlage sich die sozialen oder wirtschaftlichen Auswirkungen des vermehrten Einsatzes der beschriebenen Methoden der Werkstoffprüfung erarbeiten ließen.

## 7. B E D E U T U N G

Die zerstörungsfreie Werkstoffprüfung ist eine wesentliche Voraussetzung für den Bau und wirtschaftlichen Betrieb von Kernenergieanlagen. Da Reparaturen von Anlagenteilen, die entweder im Strahlenfeld des Reaktors liegen oder möglicherweise radioaktiv verseucht sind, unmöglich oder nur unter außerordentlich erschwerten Umständen durchführbar sind, ist die Fehlerfreiheit der Reaktorkomponenten - neben einer einwandfreien konstruktiven Ausführung - der Hauptfaktor für die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit einer Anlage.

Die Investitionen für Entwicklung und Verbesserung der Prüfmethode sind somit ein unumgänglicher Aufwand für die Kernenergie. Wie die Anwendungsbeispiele (siehe Punkt 5) deutlich zeigen, werden die Methoden der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung heute gleichermaßen in der konventionellen Fertigung angewendet. Ein Unterschied zeigt sich lediglich in der Häufigkeit der Anwendungen, da in herkömmlichen Produktionsbereichen oft nur Stichprobenuntersuchungen durchgeführt werden.

FALL-NR.: 3544.201

1. DEFINITION

- 1.1 KLASSE: Abtrennen aus flüssigen Mischungen
- 1.2 BEZEICHNUNG: Solventextraktion (Flüssig-Flüssig-Extraktion)  
mit Tributylphosphat

## 2. B E S C H R E I B U N G

Es werden die in einer Trägerflüssigkeit gelösten Substanzen entsprechend dem Nernstschen Verteilungssatz durch Zumischen eines Lösungsmittels mit selektivem Lösungsvermögen herausgelöst, das heißt extrahiert. Sofern die Trägerflüssigkeiten und Lösungsmittel verschiedene spez. Gewichte haben, lassen sie sich anschließend durch Absetzen beziehungsweise in Zentrifugalseparatoren wieder trennen.

Das am längsten bekannte Extraktionsmittel, das während des Krieges bereits für die Uranaufbereitung verwendet wurde, ist Diäthyläther. Gegenwärtig ist in fast allen bekannten Reinigungsanlagen Tri - n - butylphosphat (TBP) im Gebrauch. Tributylphosphat  $(C_4H_9)_3PO_4$  ist eine wasserhelle, fast geruchfreie Flüssigkeit, die auch als Weichmacher für Celluloid, Nitrocelluloselacke und plastische Massen, außerdem als Antischaummittel verwendet wird. Um die Dichte (0,98) des TBP und seine Viskosität herabzusetzen, wird es mit inerten gesättigten Kohlenwasserstoffen verdünnt. Gebräuchlich ist Kerosin und n-Hexan in 25 - 35 %-igen Tributylphosphat-Lösungen.

Zur Reinigung wird das U-Konzentrat in Salpetersäure aufgelöst und das Uranylнитrat dann durch das selektive Lösungsmittel extrahiert. Uranylнитrat bildet mit TBP einen Komplex  $(UP_2(NO_3)_2 \cdot 2 TBP_{org})$ . Äußerst wichtig ist dabei eine möglichst weitgehende Abtrennung des Urans von Elementen mit hohen Einfangquerschnitten für (thermische) Neutronen (Bor, Seltene Erden, Cadmium, Lithium).

Bei Behandlung der Tributylphosphat-Lösung mit reinem Wasser geht das Uranylнитrat wieder in die wässrige Phase über.

Der Verteilungskoeffizient ist temperaturabhängig, weshalb die Reextraktion vorteilhaft mit erwärmtem Wasser durchgeführt wird. Zur Verbesserung des Wirkungsgrades arbeiten die meisten Verfahren im Gegenstrom.

Aus der reinen Uranylнитrat-Lösung wird das Uran in der großtechnischen Produktion entweder durch

- Eindampfen der Lösung und Denitrierung bis zu festem  $UO_3$
- oder durch
- Fällung des Urans mit Ammoniak als Ammoniumuranat
- gewonnen.

### 3. URHEBER, HERSTELLER

URHEBER:           Angaben liegen nicht vor

HERSTELLER von Extraktionsanlagen in der BRD sind unter anderem:

Gebr. Böhling	Venuleth & Ellenberger
Borsig	Gesellschaft für chem. Apparatebau
Canzler	H. Becker, Chem. Apparate (Chemobeck)
Hering AG	H. A. Bohstedt, Chemie Apparate
Lurgi	QVF Glastechnik
Otto & Co. GmbH	
Schmidding	
Vemag	

### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Das Prinzip der Solventextraktion ist allgemein bekannt und in der technischen Chemie vielfach gebräuchlich. Die Solventextraktion mit TBP als Extraktionsmittel indessen scheint außerhalb der Aufbereitung der Kernbrennstoffe noch nicht bis zum großtechnischen Einsatz gelangt zu sein.



## 5. ANWENDUNG

Die Solventextraktion mit TBP wird in der Kerntechnik angewandt:

- für die Flüssig-Flüssig-Extraktion für die Gewinnung von reinem  $UO_3$  aus dem Konzentrat  $U_3O_8$  (yellow cake)
- für die Wiederaufbereitung bestrahlten Brennstoffs zur Extraktion des Urans und des Plutoniums (Purex-Prozeß) und des Thoriums (Thorex-Prozeß)

In der herkömmlichen Industrie:

Neben  $UO_2$  ( $NO_3$ )<sub>2</sub> können auch andere Schwermetallnitrate und -chloride mit Tributylphosphat Komplexe bilden (was sich übrigens bei der Uranextraktion nachteilig auswirkt und unter Umständen eine mehrfache Wiederholung des Prozesses erfordert, bis die verlangten Extraktionsgrade erreicht sind). Die Solventextraktion wird unter anderem für die Reindarstellung beziehungsweise Trennung von Thallium, Cadmium, Americium, Niob, Tantal, Lithium, Kupfer, Chrom und Seltenen Erden verwendet. (Denkbar ist sie auch für die Extraktion von Gold aus Goldseifen mit einem Goldgehalt von  $0,1 \text{ g/cm}^3$ ). Außerdem hat die Solventextraktion (auch mit anderen Lösungsmitteln) in den letzten Jahren in der Technik große Bedeutung gewonnen in der Petrochemie, bei der Phenolgewinnung, bei der Extraktion von Nitraten allgemein sowie der Nitrierung, so zum Beispiel für die Reindarstellung von Thorium, Hafnium und Zirkon mittels Aminextraktion oder für die Trennung von Calcium und Strontium mittels ADTA als Komplexbildner.

## 6. AUSWIRKUNGEN

Nach Angaben des C E A (Commissariat à l'Énergie Atomique) kostet die Reinigung des Urans über die Solventextraktion rund 2,50 DM/kg Uran, wovon etwa 24 % auf Anlageamortisation, 17 % auf Lohnkosten und 59 % auf Kosten für Energie und Hilfs- und Betriebsstoffe fallen. Der Preis des TBP in entsprechend gereinigter Form beträgt in der BRD etwa 14,- DM/kg.

Nach dem Hinweisenden Programm EURATOMS wird Ende 1979 die Menge des wiederaufzuarbeitenden Kernbrennstoffs

rd. 3.000 t/a an Natururanbrennstoff und

rd. 450 t/a an angereichertem Uran

betragen.

Informationen über die Auswirkungen im Personal- beziehungsweise sozialen Sektor lagen nicht vor.

## 7. BEDEUTUNG

Die Bedeutung der Solventextraktion mit TBP ist offenbar noch auf die Kerntechnik beschränkt, während die Flüssig-Flüssig-Extraktion mit anderen organischen und anorganischen Lösungsmitteln allgemein bereits labormäßig und als großtechnisches Verfahren angewandt wird.

FALL-NR.: 3544.601

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Abtrennen aus flüssigen Mischungen

1.2 BEZEICHNUNG: Reindarstellung von Stoffen, aufgezeigt  
am Beispiel des Zonenschmelzverfahrens

## 2. B E S C H R E I B U N G

Das Zonenschmelzverfahren wurde 1952 in den USA für die Reindarstellung von Kristallen für Szintillationszähler und Transistoren entwickelt.

Das Verfahren beruht auf der Tatsache, daß Verunreinigungen gewöhnlich in der flüssigen Phase eines Stoffes leichter löslich sind als in dessen fester Phase. Man bringt das zu reinigende Material in Form eines schmalen Stabes durch Ringstrahler, Hochfrequenz- oder Elektronenstrahlheizung zum Schmelzen und läßt die Schmelzzone langsam weiterwandern. Mit dem Vorrücken der Schmelzzone gehen die Verunreinigungen in der Schmelze in Lösung und wandern mit ihr weiter. Hinter der Schmelzzone hat die erstarrte Masse einen höheren Reinheitsgrad; die Verunreinigungen bleiben in der flüssigen Phase gelöst und reichern sich im letzten Abschnitt des Stabes an. Dieser Teil wird daher abgeschnitten. Der Prozeß wird in der Regel mehrfach wiederholt.

Die erreichbaren Reinheitsgrade liegen sehr hoch; für Si, Sb, Sn wurden Reinheitsgrade von 99,999 % (nach 40 Schmelzungen) erreicht. Eine wichtige Voraussetzung für die Wirksamkeit des Verfahrens ist ein scharf begrenzter und möglichst schmaler Schmelz<sup>melz</sup>bereich. Das Zonenschmelzverfahren wird häufig auch in Kombination mit anderen Verfahren zur Reinstdarstellung von Stoffen verwendet, zum Beispiel mit Vakuumschmelzen. Da jedes Verfahren für die Entfernung bestimmter Verunreinigungen besonders geeignet ist, kann man durch geschickte Kombination den Gehalt an Verunreinigung steuern.

Manchmal gewinnt man die reinen Metalle auch auf einem Umweg, indem man die Salze zonenreinigt (zum Beispiel  $\text{GaCl}_3$ ) und aus diesen dann das Metall darstellt.

3. URHEBER - HERSTELLER

URHEBER

Bell Telephone Lab., USA

Entsprechende Apparaturen wurden entwickelt von

H. Schildknecht

Mannl

Nouaille u.a.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Das Verfahren und die theoretischen Grundlagen erscheinen in ihrer Entwicklung abgeschlossen und erforscht zu sein. Die Möglichkeiten einer Weiterentwicklung ergeben sich auf der anwendungstechnischen Seite, in dem es durch weitgehende Differenzierung gelingt, immer mehr Stoffe mit dem Verfahren zu bearbeiten.

## 5. A N W E N D U N G

Zonenschmelzen ist grundsätzlich geeignet für die

- Reindarstellung von Metallen und anderen Stoffen
- Trennung von Substanzgemischen
- Verteilung einer Beimengung in einer Trägersubstanz (Zonenlegieren)
- Anreicherung von Spuren (Zonenanreichern)

Anwendungen in der Kerntechnik:

Zur Reindarstellung von Szintillationsmaterialien und für bestimmte Metalle, zum Beispiel Zirkon, Uran (nicht großtechnisch).

Anwendungen in der herkömmlichen Industrie:

Metallurgie

Diskontinuierliches Verfahren zur Reindarstellung kleinerer Mengen von Metallen (zum Beispiel Fe), vor allem zur Entfernung von Schwefel und Sauerstoff. Eine Kombination von Zonenschmelzverfahren und Vakuumschmelzen ist geeignet, Reinsteisen darzustellen.

Weitere Beispiele für die Reinigung von Metallen mit dem Zonenschmelzverfahren sind Al, Sb, Bi, Pb, Mo, Re, Sn und Ti.

Chemie

Organische Chemie:

Herstellung reiner Naphthalinkristalle

Trennen von Mischkristallsystemen homologer Fettalkohole u.v.a.

Analytische Chemie:

Reinstdarstellung von Pb, Cu, Fe, Si, Zn, Al, Ga, Zr  
und Cr, Silberhalogenide etc.

Lebensmittelechemie:

Anreicherung von Vitaminen und Enzymen

Elektroindustrie

Halbleitertechnik:

In diesem Industriebereich hat das Zonenschmelzen zur  
Reindarstellung von Si, Ge und Sb in neuerer Zeit  
große Bedeutung erlangt, außerdem für Halbleiter-  
verbindungen wie InSb, GaAs, AlSb

Medizinische Forschung und Bakteriologie

Mit Hilfe von Sonderformen des Zonenschmelzverfahrens (Eis-  
zonenschmelzen) lassen sich Bakterien und wahrscheinlich auch  
Viren in Substanzen anreichern.



## 6. AUSWIRKUNGEN

Die wirtschaftlichen Aspekte des Zonenschmelzverfahrens sind noch kaum bekannt. Die Anwendung des Verfahrens ist in erster Linie durch seine technischen Vorzüge gerechtfertigt und nicht aus wirtschaftlichen Gründen. Die verwendeten Apparate sind zwar verhältnismäßig einfach; die Produktionsgeschwindigkeit ist jedoch außerordentlich gering (die durchschnittliche Wandergeschwindigkeit der Schmelzzone liegt bei 1 cm/h). Infolge des großen Zeitaufwandes ist die Anwendung des Verfahrens vor allem auf schwer trennbare Gemische begrenzt.

Über die Auswirkungen auf sozialem Sektor liegen keine Angaben vor.

## 7. B E D E U T U N G

Die Reindarstellung von Metallen ist bisher die wohl wichtigste Anwendung des Zonenschmelzverfahrens. Seine Bedeutung ist jedoch auf die Darstellung kleinerer Mengen beschränkt.

FALL-NR.: 3565.100  
3566.100

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: (Chemische Umsetzungen)  
Synthese/Kettenbildung

1.2 BEZEICHNUNG: Chemische Reaktionen durch energiereiche  
Strahlen

## 2. BESCHREIBUNG

In den USA finden Prozesse, bei denen energiereiche Strahlen für chemische Reaktionen verwendet werden, seit 1962/1963 im technischen Maßstab Anwendung. In Deutschland scheint man jedoch noch nicht über den versuchsmäßigen Einsatz hinaus zur wirtschaftlichen Nutzung von energiereicher Strahlung gekommen zu sein. Unter Einfluß radioaktiver Strahlungen (Alpha-, Beta-, Gamma-, Ultraviolett-, Neutronen-, Protonenstrahlen, energiereiche Atomkerne) entstehen in den meisten Stoffen Radikale, die mannigfache chemische Reaktionen auslösen können, zum Beispiel

- Zerstörung langkettiger Moleküle
- Kettenbildung (Polymerisation, Vernetzung)
- Härtung bzw. Versprödung
- Vulkanisation
- Synthese
- Oxydation
- Sterilisation

Die wichtigsten Aspekte der Strahlensynthese und -verkettung sind im folgenden dargelegt. Eine Tabelle der wichtigsten Strahlenquellen ist auf Blatt 5 zusammengestellt.

### Mechanismus der Strahlenreaktionen

Die von den ungeladenen Teilchen ausgelöst oder direkt in die Substanz eingeschossenen geladenen energiereichen Teilchen durchqueren die Materie auf Bahnen, auf denen sie ihre kinetische Energie durch Stöße allmählich verlieren und entweder durch Anhebung der (Hüllen)-Elektronen der Atome der entsprechenden

Materie auf Elektronen-Bahnen höherer Energie angeregte Atome bzw. Moleküle schaffen oder bei höheren Stoßenergien Elektronen aus den Molekülen herausschlagen, das heißt die Materie ionisieren.

Die als Folge der Anregung und Ionisation gebildeten reaktiven Zwischenkörper sind (Molekül-) Ionen, freie Elektronen und freie Radikale. Es ist eine Vielzahl von Ion-Molekül-Reaktionen bekannt (zum Beispiel  $\text{CH}_4^+ + \text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_5^+ + \text{CH}_3$ ). Sie erfordern nur geringe Aktivierungsenergie und treten deshalb bei fast jedem Stoß ein. Unter anderem werden durch solche Reaktionen C-C-Bindungen aufgebaut, das heißt, es werden Ketten gebildet (zum Beispiel reagiert das  $\text{CH}_3^+$ -Ion mit  $\text{CH}_4$  zu  $\text{C}_2\text{H}_5^+ + \text{H}_2$ ).

Durch die Neutralisation eines positiven Ions durch ein Elektron wird ein erheblicher Energiebetrag (Ionisationsenergie) frei. Das neutralisierte Teilchen wird dadurch in den meisten Fällen sofort in freie Radikale dissoziiert.

Diese sind als Verbindungen mit ungesättigtem Charakter von großer Reaktionsfreudigkeit. Die typischen Reaktionen sind:

- Radikalassoziaton (Kombination)
- Radikalumlagerung
- Radikalzerfall
- Anlagerung an andere ungesättigte Systeme
- Radikalübertragung
- Redox-Reaktionen
- Polymerisation
- Substitution

Aus den radikalischen Reaktionen leiten sich die vielfältigen Möglichkeiten des Einsatzes von energiereicher Strahlung für chemische

Reaktionen zum größten Teil ab. Es sind jedoch gleichfalls molekulare und ionische Prozesse beteiligt. Über die Anteile radikalischer, molekularer und ionischer Prozesse an den Strahlenwirkungen lassen sich indessen keine quantitativen Aussagen machen.

Am weitesten fortgeschritten ist die Bestrahlungstechnik mit Gammastrahlen und mit schnellen Elektronen. Ferner läßt sich die kinetische Energie von Atomkernen, die bei Kernreaktionen mit thermischen Neutronen entstehen, zur Auslösung chemischer Reaktionen verwenden.

Ungeladene Teilchen, wie Gamma-Quanten und Neutronen haben wegen ihrer relativ schwachen Wechselwirkung mit der Materie große Eindringtiefen. Sie üben nicht unmittelbar chemische Wirkungen aus, sondern es werden bei ihrer Absorption in einem Atom geladene Teilchen hoher Energie frei, die ihrerseits durch Ionisation und Anregung von Molekülen dann chemisch wirksam sind. Die ungeladenen Teilchen verlieren bei diesen Reaktionen allmählich ihre Energie und werden dadurch abgebremst.

Die Möglichkeit von Bestrahlung mittels der Strahlenenergie aus dem Zerfall radioaktiver Isotope (zum Beispiel Co 60, Cs 137) sei hier nur erwähnt. (Die Isotopentechnik ist aus der vorliegenden Untersuchung ausgeklammert; vergleiche Punkt 12 des Berichtsteiles Band I).

Nicht unter den Begriff der Isotopenstrahlenquellen sind Reaktorkreisläufe gezählt, in denen über  $(n, \gamma)$ -Reaktionen leicht aktivierbare Stoffe (Indium, Lithium, Natrium) zirkulieren, die als Hilfsmittel betrachtet werden können, um die Strahlenenergie aus dem Reaktor dorthin zu bringen, wo sie für die Durchführung chemischer Reaktionen technisch besser zu verwerten ist.

Darüber hinaus gibt es auch detaillierte Pläne direkter Bestrahlung von Reaktionsgemischen im Reaktor. So wird zum Beispiel die unter Punkt 5 genannte Äthylenglykolsynthese in der Weise durchgeführt, daß dem heißen Methanoldampf Uranoxydstaub beigegeben wird. Die chemische Umsetzung erfolgt in einem homogenen Kernreaktor mit Hilfe der Kernspaltungsenergien.

Die größten Strahlenintensitäten werden von Elektronenbeschleunigern geliefert. Diese haben (gegenüber den Isotopenstrahlenquellen) den Vorteil konstanter Leistung, guter Meßbarkeit und Dosierbarkeit der Strahlung und der Möglichkeit diskontinuierlichen Betriebs, das heißt, die Strahlenquelle ist in den Arbeitspausen abschaltbar. Dagegen ist die Eindringtiefe der Elektronenstrahlen gering. Sie beträgt in Stoffen der Dichte 1 nur 3 - 4 mm je MeV Strahlenenergie. Das Reaktionsgemisch muß daher durch geeignete mechanische Vorrichtungen so bewegt werden, daß jeder Teil in die Bestrahlungszone gelangt. Bei Strahlenleistungen von mehr als einigen 100 Watt ist für ausreichende Kühlung der bestrahlten Substanz zu sorgen.

Als Strahlenquellen für Elektronen sind radioaktive Isotope weniger geeignet; technisch wird normalerweise ein Van-de-Graaff-Beschleuniger verwendet. Denkbar sind auch Elektronenstrahlkanonen, wie sie beim Elektronenstrahlschweißen verwendet werden (vergleiche Fall-Nr. 3617.201, Anlage 7 - 6).

Die Wirkung der Bestrahlung ist abhängig von der absorbierten Dosis, das heißt der Strahlenenergie, welche in der Masseneinheit der bestrahlten Substanz dissipiert wird. Die Einheit der absorbierten Dosis ist 1 rad (roentgen absorbed dose) = 100 erg/g Substanz. Als Beispiel der für einzelne chemische Reaktionen notwendigen Strahlendosen seien genannt:

Kettenreaktionen (zum Beispiel Polymerisation, Chlorierung)	> 1.000 rad
Vernetzung von Kunststoffen	$10^4 - 10^8$ rad
Präparative Synthesen durch einstufige Reaktionen (10 % - 20 % Umsatz)	$10^7 - 10^{10}$ rad



Strahlenarten und ihre Erzeugung

Strahlung	Teilchen- ladung	ruhe- masse	Erzeugung	Energie pro Quant	Reichweite in Luft	in Wasser
Röntgen	0	0	Röntgenröhren (indirekt auch mittels Elektronen- beschleunigern)	Kontinuier- liches Brems- spektrum	Viele m	10 cm
Gamma	0	0	Isotopenstrahlenquellen, z.B. Cs 137; Co 60	Cs 137: 0,66 MeV Co 60: 1,1 und 1,3 MeV	Viele m	10 cm
Schnelle Neutronen	0	1		100 eV bis mehrere MeV	Viele m	Mehrere cm
Elektronen	1	$\frac{1}{1824}$	VAN-DE-GRAAFF-Generatoren, Linearbeschleuniger, Resonanztransformatoren	Einige MeV bis zu 40 MeV bis zu 3 MeV	Mehrere m	ca. 4 mm pro MeV

Energiereiche  
Folgekerne aus  
Kernreaktionen  
der thermischen  
Neutronen

In diesem Zusammenhang nicht näher betrachtet

Zu den Punkten 3, URHEBER, und 4, ENTWICKLUNGSSTAND, liegen  
keine Angaben vor.

## 5. ANWENDUNG

Aus den radikalischen Reaktionen, Radikalanlagerung, Radikalkombination und Kettenreaktion leiten sich die meisten der vielfältigen Möglichkeiten des Einsatzes von Strahlungsenergie für die präparative Anwendung von Strahlung ab.

Beispiele bekanntgewordener kommerzieller bzw. für den technischen Einsatz geeigneter Anwendungen von energiereichen Strahlen sind:

- Synthese von Äthylbromid aus Äthylen und Bromwasserstoff
- Reaktionen mit Schwefeldioxyd, zum Beispiel mit Sauerstoff und aliphatischen Kohlenwasserstoffen zu Sulfonsäuren
- Oxydation von Benzol zu Phenol
- Salpetersäuregewinnung aus Luft
- Synthese von Hydrazin aus Ammoniak
- Synthese von Äthylenglykol aus Methanol
- Strahlenreaktionen in Polymeren, zum Beispiel Vernetzung oder Aufbrechen der Ketten
- Polymerisationen
- Kropf-Misch-Polymerisationen

Weitere Untersuchungen richten sich auf:

- Organische Synthesen mit weißem Phosphor
- Kondensation von organischen Chloriden mit Kohlenwasserstoffen

Eine unübersehbare Zahl weiterer möglicher Reaktionen wird zur Zeit untersucht.

## 6. AUSWIRKUNGEN

Die Auswirkungen des Einsatzes von energiereicher Strahlung für chemische Reaktionen lassen sich noch kaum übersehen, da die auf dieser Basis in der BRD erzeugten Produkte mengenmäßig und ihrer Zahl nach keine Bedeutung gewonnen haben. Von den unter Punkt 5 erwähnten Anwendungsbeispielen arbeitet das Verfahren der Äthylbromidsynthese nach Angaben der DOW CHEMICAL COMP. bereits wirtschaftlicher als die konventionelle Herstellung aus Äthanol und Bromwasserstoff, bei der ein Nebenprodukt entsteht, das eine anschließende Reinigung des Äthylbromids erforderlich macht. Dieser aufwendige Vorgang ist bei der Darstellung unter Einwirkung von Strahlung nicht notwendig.

Zur Erzielung chemischer Reaktionen im technischen Maßstab sind Strahlendosen nötig, die tausend- bis millionenfach größer sind als die letale Dosis für den Menschen ( $10^7 - 10^{10}$  rad im Verhältnis zu 400 - 500 r).

Die Gefährlichkeit des Arbeitens mit energiereichen Strahlen in der Chemie geht aus diesen Zahlen deutlich hervor. Es ist aber hervorzuheben, daß die Maßnahmen zum Strahlenschutz so wohlbekannt und sicher einzuhalten sind, daß die Benutzung ionisierender Strahlen in der Chemie mit geringeren Gefahrenmomenten verbunden ist als zum Beispiel die Ausführung von Hochdruckreaktionen oder die Herstellung von Explosionsstoffen.

Über die weiteren Auswirkungen auf Arbeitsplätze und personelle Struktur sowie das Verhalten der mit der Produktion von Chemieerzeugnissen über strahlenchemische Prozesse betrauten Arbeitskräfte liegen keine Informationen vor. Eine eingehendere Untersuchung wäre von noch größerem Interesse als auf manchen anderen durch die Kerntechnik beeinflussten Gebieten.

7. B E D E U T U N G

Möglichkeiten eines wirtschaftlichen Einsatzes ionisierender Strahlung scheinen sich über das gesamte Gebiet der technischen Chemie einschließlich Petrochemie und Kunststoffchemie zu erstrecken. Auch auf den Sektoren der Biologie und Medizin sind künftig Anwendungen im technischen Maßstab zu erwarten. Der Einsatz energiereicher Strahlung kann in weiten Bereichen der Forschung neuartige Wege zur Lösung mannigfaltiger Probleme bringen. (Über den Einsatz von ionisierender Strahlung für die Sterilisation verderblicher Güter siehe Fall-Nr. <sup>200</sup>3953.401, Anlage 8 - 9).

FALL-NR.: 3613.601

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Spanlose Formgebung

1.2 BEZEICHNUNG: Plasmaschneiden

## 2. B E S C H R E I B U N G

Die Entwicklung der ersten Plasmabrenner geht bis auf die Zeit kurz nach der Jahrhundertwende zurück (1909). Die erste technische Anwendung eines Plasmabrenners des heutigen Konstruktionsprinzips erfolgte 1921 in den USA. Vor 1939 wurde auch in Deutschland die Plasmaschweißtechnik bereits zu einer gewissen Reife gebracht. Mit der Entwicklung der nuklearen Fusionsenergietechnik für friedliche Zwecke und dem Aufkommen der hochtemperaturfesten Werkstoffe nahm die Vervollkommnung der Plasmaschweißgeräte (seit etwa 1955) einen neuen Aufschwung.

Unter einem thermischen Plasma versteht man ein dissoziiertes und hochionisiertes elektrisch leitendes Gas.

In einem Gas mit sehr hoher Temperatur befinden sich Moleküle, Atome, Ionen und Elektronen in einer völlig ungeordneten Bewegung. Durch Wärmezufuhr kann man die Energie der Moleküle so steigern, daß zwei aufeinanderstoßende Moleküle eine genügende Energie besitzen, um sich in Atome aufzuspalten und somit eine Dissoziation eintritt. Durch weitere Wärmezufuhr können die Elektronen, die den Atomkern auf einer bestimmten Bahn umkreisen, auf eine weiter außen liegende Bahn höheren Energieniveaus geraten oder sich sogar aus der Elektronenhülle lösen. In diesem "angeregten" oder "ionisierten" Zustand sind die sonst elektrisch neutralen Atome positive Ladungsträger.

Im Plasmabrenner wird das Plasma mit Hilfe eines Gleichstromlichtbogens erzeugt.

Man unterscheidet zwei Arten von Plasmabrennern: Solche mit geschlossenem oder nicht übertragenem Lichtbogen und solche mit offenem oder übertragenem Lichtbogen. Das erste System wird zum Schweißen dünner Bleche und zum Auftragsschweißen verwendet. Zum

Plasmaschneiden hat sich das System mit offenem Lichtbogen durchgesetzt, der zwischen einer Wolfram-Elektrode - durch eine einengende (Kupfer-)Düse hindurch - und dem Werkstück gebildet wird. Neben der Energie des heißen Plasmagases wird die Wärme des Lichtbogens ausgenutzt. Es entstehen im Kern des Plasmastrahls Temperaturen von  $25.000^{\circ}$  C. Das Gas erfährt durch die Temperaturerhöhung eine große Volumenausdehnung und tritt daher mit sehr hoher Geschwindigkeit (ca. Mach 1) aus der Düse, die bei entsprechender Form die Austrittsgeschwindigkeit weiter steigert.

Die hohe Temperatur des Strahls wird zum Schmelzen benutzt. Die kinetische Energie des scharf gebündelten Plasmastrahls bläst das Schmelzgut aus der Schnittfuge.

Das Plasmaschneidverfahren hat gegenüber dem Schneiden mit Sauerstoff den Vorteil, daß auch solche Werkstoffe getrennt werden können, bei denen die Entzündungstemperatur höher liegt als ihr Schmelzpunkt, was bei austenitischen Stählen und vielen Nichteisenmetallen gegeben ist. Es findet keine chemische Reaktion des Plasma mit dem Werkstoff statt. Die Schnittqualität ist durchaus mit der eines Sauerstoffschnittes an Baustahl vergleichbar.



3. URHEBER, HERSTELLER

Schoenherr baute den ersten Plasmabrenner für die Herstellung von Stickoxyd (1909).

Himes entwickelte 1921 in den USA den ersten Plasmabrenner für das Schneiden von Metallen.

In Deutschland fanden die Plasmabrenner 1934 durch ein Gerät von Siemens Eingang.

Ihre großtechnische Einführung erfolgte in den Jahren nach dem Krieg, angeregt durch die speziellen Bedürfnisse der Kerntechnik.

Hersteller

- Messer-Griesheim GmbH
- Gesellschaft für Linde's Eismaschinen AG
- u.a. in der BRD und in anderen Ländern

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Das Verfahren des Plasmaschneidens ist industriell ausgereift und wird großtechnisch angewendet. Die Weiterentwicklung des Verfahrens hat vor allem zum Ziel, die Wirtschaftlichkeit, die für große Stückzahlen im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren bereits gegeben ist, zu erhöhen.

## 5. A N W E N D U N G

Grundsätzlich eignet sich das Plasmaschneiden für die Bearbeitung von hochschmelzenden, mit Sauerstoff-Flamme nicht schneidbaren Materialien. Die Wärmekonzentration auf die Schmelzzone ermöglicht die Bearbeitung von Materialien, die empfindlich gegen lokale Überhitzung und daraus resultierende Gefügeveränderungen sind.

In der Kerntechnik wurde das Verfahren zunächst zum Schneiden von hochtemperaturfesten Werkstoffen eingesetzt, zum Beispiel für nichtrostende austenitische Stähle, Hastelloy, René 41.

In der konventionellen Industrie - unter anderem im Flugzeug- und Schiffbau - wird das Verfahren heute ebenfalls für austenitische Stähle, aber auch für Nickel-, Kupfer- und Aluminiumlegierungen verwendet. Mit Spezialbrennern für Sauerstoff bzw. Luft als Plasmagas ist das Verfahren auch für die Bearbeitung von unlegierten oder niedriglegierten Stählen geeignet.

Die Anwendungen der Plasmabrenner für Schweißungen und Beschichtung von Werkstoffen seien nur am Rande erwähnt.

## 6. AUSWIRKUNGEN

Das Verfahren des Plasmaschneidens ist geeignet, in gewissen Fällen das Schneidbrennen mit Sauerstoff zu substituieren. Da die Schnittgeschwindigkeit beim Schneiden von Baustahl mit dem Plasmaverfahren nur bis zu Dicken von 15 mm wesentlich höher liegt als beim Sauerstoff-Brennschneiden, ist das Plasmaschneiden hier noch nicht als Konkurrenz des herkömmlichen Verfahrens zu betrachten. Dem Pulverbrennschneiden ist es dann überlegen, wenn größere Mengen hochlegierter Stähle zu schneiden sind und die Konstruktion entsprechend hohe Schneidgeschwindigkeiten zuläßt (ca. 1,5 m bei nichtrostendem Stahl von 1 cm Dicke). Mit dem Plasmabrenner läßt sich auch die Arbeitsweise einer Drehbank nachahmen.

Die Bearbeitung von Drehteilen mit dieser Methode ist dann angebracht, wenn sich der zu verarbeitende Werkstoff nur schwer mit einem zerspanenden Drehwerkzeug bearbeiten läßt. Hierzu gehören vor allem Nickellegierungen, wie René 41, Hastelloy etc., die sich mit dem Plasmaverfahren fünf- bis zehnmal schneller bearbeiten lassen als mit konventionellen spanabhebenden Formgebungsverfahren.

Der Preis einer Plasmaschneidanlage (einschließlich Lizenzgebühr) beträgt ca. DM 30.000,--. Die Schneidkosten für 1 m rostfreien Stahl, 10 mm dick, betragen rund DM 0,30.

Die Maschinen werden mit Schablonensteuerungen, die von einem Magnetrollenkopf abgetastet werden, oder mit fotoelektrischen Steuerungen und Koordinatenantrieb des Schneidbrennerwagens gebaut. Alle Arbeitsvorgänge können durch ein Lochband vorgegeben werden.

Für Reparaturarbeiten an der Maschine bedarf es speziell geschulten Personals, das in der Regel im Rahmen eines Kundendienstes von der Herstellerfirma gestellt wird. Der Schweißvorgang selbst kann von angelernten Kräften durchgeführt bzw. überwacht werden. Die entsprechende Anlerndauer beträgt etwa eine Woche. Normalerweise werden solche Arbeitskräfte zu den Anlernkursen bei den Herstellerfirmen geschickt, die schon jahrelang an herkömmlichen Koordinatenschneidbrennern gearbeitet haben.

## 7. B E D E U T U N G

Die Entwicklung des Plasmabrenners, die durch spezielle Bedürfnisse der Kerntechnik angeregt und durch neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der Plasmaphysik gefördert wurde, hat in letzter Zeit einen starken Aufschwung erfahren. Die Anwendungen für Schneidzwecke und andere technische und wissenschaftliche Probleme wurden erheblich erweitert.

Plasmabrenner dürften zum Beispiel zunehmend an Bedeutung gewinnen für das Erschmelzen von Edelstählen.

Ein neues Gebiet für den Plasmabrenner scheint sich in der Verwendung für Strahlantriebe zu eröffnen. In unmittelbarem Zusammenhang damit steht die Möglichkeit der Direktumwandlung von Wärmeenergie in elektrische Energie über bewegte Plasmen (MHD-Generatoren).

FALL-NR.: 3953.200

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Sterilisieren

1.2 BEZEICHNUNG: Strahlensterilisation mit Beschleunigern und  
Chemiereaktoren

## 2. B E S C H R E I B U N G

(vgl. auch Fall-Nr. 3565.100, Anlage 8 - 7, chemische Reaktionen durch energiereiche Strahlen)

### Historische Entwicklung

Die grundsätzlichen Möglichkeiten einer Sterilisation von Nahrungsmitteln durch Bestrahlung wurden bereits Anfang des Jahrhunderts erkannt. Forschungen in der Mitte der vierziger Jahre zeigten die Durchführbarkeit einer Anwendung im großen Maßstab, warfen aber auch Probleme auf, die in den fünfziger Jahren durch Untersuchungen (seit 1953) in den Vereinigten Staaten im wesentlichen gelöst werden konnten. Seit 1959 werden dort für die Armee Nahrungsmittel und Verbandstoffe in zunehmendem Maße durch Bestrahlung haltbar gemacht. Für die Bestrahlung von Genußmitteln für den zivilen Gebrauch werden Untersuchungen in vielen Ländern, seit einigen Jahren auch in der BRD durchgeführt und haben zu vereinzelt Anwendungen geführt.

### Prinzip der Sterilisation durch Bestrahlung

Ionisierende Strahlung, die in ein Gewebe eindringt, ruft in Makromolekülen Veränderungen hervor und zerstört dadurch Bakterien und andere Mikroorganismen, während die schädlichen Effekte auf die Atome bzw. Moleküle des zu sterilisierenden Stoffes vernachlässigbar sind. Es gehen zwar einige Vitamine verloren, jedoch ist dieser Anteil geringer als bei herkömmlichen Methoden des Haltbarmachens (z.B. Trocknen, Einmachen) solange die Strahlendosen gering sind. Im übrigen lassen sich die verlorengegangenen Vitamine ersetzen. Teilweise wird auch vor der Bestrahlung Ascorbinsäure (Vitamin C) zugesetzt, um Geschmacksveränderungen zu vermeiden. Nach der induzierten Strahlendosis kann man Vorgänge unterscheiden, die mit "Pasteurisieren" bzw. "Sterilisieren" bezeichnet werden können. Die Intensität der Strahlung ist vom Zweck, der mit der Sterilisation verfolgt wird, abhängig:



4.000 - 10.000 rad	x) keiminhaltend
5.000 - 30.000 rad	teilweise Zerstörung von Enzymen, die zur Fäulnis beitragen, ausreichend zur Verhinderung der Frühkeimung von Früchten
50.000 - 300.000 rad	ausreichend zur Vernichtung von Insekten, die Lebensmittel zerstören
800.000 - 900.000 rad	tötet das Gros der Bakterien bzw. verhindert ihre Vermehrung, so daß die Lagerfähigkeit stark erhöht wird
$2 \cdot 10^6 - 5 \cdot 10^6$ rad	vollkommene Sterilisation, Abtöten sämtlicher Bakterien

Für die Bestrahlung können folgende Strahlenarten verwendet werden:

- Elektronen-Strahlen
- Gamma-Strahlen
- Röntgen-Strahlen

Sie werden technisch auf verschiedenen Wegen erzeugt, nämlich aus:

- Radioaktiven Isotopen-Quellen für Gamma-Emission (z.B. Co 60 bis zu  $\ll$  30.000 Curie; 1,17 und 1,33 MeV)
- Kernreaktoren mit einem Kreislauf, bei denen das umgepumpte Medium (Indium, Natrium) aktiviert wird und dann sehr harte Gamma-Strahlung (1,27 MeV) aussendet, die außerhalb des Reaktors zur Bestrahlung verwendet wird
- Röntgenanlagen zur Erzeugung von Röntgenstrahlung ( $\ll$  20 eV) vorteilhaft für flache Güter
- Elektronenstrahlbeschleuniger zur Erzeugung von Beta-Strahlung mit Energiebereichen von 1 - 8 - (20) MeV

Gefährliche Produkte (beispielsweise durch Aktivierung irgendwelcher Atome des bestrahlten Gutes) entstehen nicht, solange die Energie der Strahlung unter (7 -) 10 MeV bleibt.

---

x) rad (Röntgen-absorbed Dose) = Menge einer ionisierenden Strahlung, die der Absorption einer Energie von 100 erg/Gramm der bestrahlten Materie entspricht

### 3. URHEBER , HERSTELLER

#### URHEBER

Der Urheber des Gedankens der Strahlensterilisation wurde nicht bekannt; Arbeiten wurden an Forschungsinstituten in der ganzen Welt durchgeführt.

Zur technischen Reife wurde die Anwendung der Strahlensterilisation vor allem durch die US-AEC (ATOMIE-ENERGY-COMMISSION) und in Laboratorien der US-Army gebracht.

In der Bundesrepublik befaßt sich das Institut für Strahlentechnologie der Lebensmittel, Karlsruhe mit der Entwicklung technisch verwertbarer Verfahren zur Haltbarmachung verderblicher Güter durch Bestrahlung, daneben auch einige Industrieunternehmen.

#### HERSTELLER

Hersteller von Geräten für die Erzeugung geeigneter Strahlung sind die reaktorbauende Industrie und deren Zulieferer, u.a. :

- AEG
- CSF Deutschland
- Elektro-Spezial
- Leybold-Hochvakuumanlagen
- C. H. F. Müller
- Nuclear GmbH
- Rich. Seifert & Co.
- Siemens-Reiniger
- Sunvic-Regler

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Es ist anzunehmen, daß kein Verfahren zur Sterilisation insbesondere von Lebensmitteln so genau untersucht wurde wie die Bestrahlungsmethoden.

Die gegenwärtige Verwendung beschränkt sich dennoch auf Einzelfälle und versuchsweise Einsätze.

Ein Ausblick auf die weiteren Entwicklungen dieser Konservierungsverfahren läßt jedoch eine starke Ausweitung erwarten, die in den USA bereits begonnen hat, bei uns aber auf Grund einer zur Vorsicht neigenden Gesetzgebung für den Umgang mit Lebensmitteln und Pharmazeutika noch nicht eingesetzt hat. Mit einer Genehmigung für die Bestrahlung von Kartoffeln zur Keimverhinderung ist in der BRD womöglich im Laufe des Jahres 1967 zu rechnen.

5. ANWENDUNG

Verfahren zur Konservierung durch Bestrahlung sind für eine Vielzahl von verderblichen Gütern entwickelt worden:

geringe Strahlendosen	}	5.000 - 15.000 rad	Verzögerung der Keimung von Kartoffeln und Zwiebeln
		300.000 - 650.000 rad	Seetiere wie Muscheln, Krebse, Krabben, Garnelen
		650.000 - 800.000 rad	Fisch
		100.000 - 200.000 rad	Zitrusfrüchte (wobei die Strahlenbehandlung von Zitronen gewisse Schwierigkeiten wegen möglicher Geschmacksbeeinträchtigung mit sich bringt)
		200.000 - 300.000 rad	Kirschen, Pfirsiche, Birnen, Feigen
		100.000 - 300.000 rad	Erdbeeren
mittlere Strahlendosen	}	$2 \cdot 10^6 - 3 \cdot 10^6$ rad	Schinken im bereits verpackten Zustand
			Konservierung von Pharmazeutika für die Lagerung
			Sterilisation von Operationsmaterial, z.B. Catgut
hohe Strahlendosen	}	Sterilisation von Verbandszeug, z.B. Keimfreimachen von Tupfern, Operationsbestecken	

Andere technische Anwendungen von ionisierenden Strahlen sind Strahlensynthese und -polymerisation die in der organischen Chemie an Bedeutung gewinnen.

## 6. AUSWIRKUNGEN

Da nach dem deutschen Lebensmittelgesetz die Anwendung ionisierender Strahlung für die Konservierung von Nahrungs- und Genußmitteln genehmigungspflichtig ist, derartige Genehmigungen aber bisher nicht erteilt wurden, ergeben sich für diesen Fall noch keine Auswirkungen. Es sind auch keine genauere Prognosen möglich. Die ungefähren Kosten belaufen sich auf:

- 2 bis höchstens 8 Pf/kg für Fisch und dgl.
- Für die Bestrahlung von Kartoffeln zur Verhinderung von Frühkeimung sind die Kosten so gering, daß sie praktisch den Preis der Kartoffeln nicht beeinflussen.

Außerhalb Deutschlands wurden bereits einige Unternehmen gegründet, die sich ausschließlich mit der Nutzung der biologischen und chemischen Wirkungen ionisierender Strahlung befassen, z.B. Radiatom, Italien; Radest, Dänemark.

## 7. B E D E U T U N G

Die wirtschaftliche Bedeutung der Strahlensterilisation ist gegenwärtig noch gering. Für die nächste Zukunft bahnt sich aber ein erheblicher Bedeutungszuwachs an, mit dem man bei einem so frühen Entwicklungsstand nicht gerechnet hat, wenigstens nicht in der sich abzeichnenden Breite der Einsatzmöglichkeiten.

FALL-NR.: 4214.201

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Apparate für die Zählung und Auswertung von  
Impulsen

1.2 BEZEICHNUNG: Vielkanal-Impulshöhenanalysator

## 2. B E S C H R E I B U N G

Aufgabe eines Vielkanalanalysators (oder -spektrometers) ist, aufgefangene Impulse eines Amplitudenspektrums in Größenklassen zu sortieren, z.B. in 100 aneinander anschließende, sich nicht überdeckende Intervalle. Jeder Größenklasse ordnet man eine Speicherzelle mit einer bestimmten Speicherkapazität, z.B.  $10^5$  Impulsen, zu. Die Zahl der gespeicherten Impulse kann dann nach gewissen Meßintervallen oder am Ende der Messung abgelesen werden.

Der technische Aufwand für die Realisierung ist relativ groß. Wegen der Abstimmungsschwierigkeiten genügt es nicht, der Anzahl der Kanäle entsprechend viele Einkanalspektrometer parallel zu schalten, es ist vielmehr zweckmäßig, das Sortieren in einer einzigen Baugruppe mit entsprechenden Bauelementen vorzunehmen.

Man verwendet heute vielfach eine Schaltung, bei der zunächst horizontale "Dächer" an die vom Linearverstärker gelieferten Impulse in der Höhe ihrer Maximalamplitude gehängt werden. Diese Impulse werden nach einer festen Zeit (ca.  $10 \mu\text{s}$ ) gelöscht.

Man startet weiter eine "Sägezahnspannung", das heißt eine linear mit der Zeit wachsende Spannung, und mißt die Zeit, welche vom Augenblick des Starts des Sägezahns bis zu seiner Amplitudengleichheit mit dem Impulsdach vergeht. Diese Zeit ist der Impulsamplitude proportional.

Gleichzeitig mit dem Start des Sägezahns schwingt ein Oszillator an. Man zählt aus, wie viele Perioden der Oszillatorschwingung vom Zeitpunkt des Startes des Sägezahns bis zur Amplitudenkoinzidenz des Sägezahns mit dem Impulsdach verstreichen und erhält so die Basis für eine Zuordnung der Impulsamplitude zu einem der Meßintervalle. Die Zuordnung wird für jeden Impuls von einem Analog-Digital-Konverter (Wandler) vorgenommen.



Während bei den älteren Vielkanal-Analysatoren die Impulse in magnetostriktiven Drähten, nach Größenklassen geordnet, als binäre Zahlen gespeichert werden (Laufzeitspeicher), wobei nur etwa je  $10^{-3}$  sec ein Impuls verarbeitet werden kann, verwendet man heute Ferritkernspeicher, die es gestatten, Geräte mit wesentlich kürzeren Totzeiten zu bauen.

Die Totzeiten moderner Geräte nach dem erwähnten Prinzip können mit entsprechenden Speichern auf etwa 10 Mikrosekunden herabgesetzt werden.

In der Regel sind die Impulsanalysatoren mit einem Rechner für die Auswertung der eingespeicherten Meßdaten versehen. Man verwendet hierzu kleine, für die wichtigsten Aufgaben fest programmierte Digitalrechner. Mit ihrer Hilfe kann man z.B. innerhalb sehr kurzer Zeit (0,1 - 0,2 sec) die Zahl der in den Kanälen gespeicherten Impulse aufaddieren oder das Integral über einen Teil des Spektrums berechnen. Mit einem anderen Programm lassen sich zwei in verschiedenen Gruppen des Speichers vorhandene Spektren addieren oder voneinander subtrahieren. Man kann u.a. die einzelnen Meßgrößen auch mit einem Faktor (0,1; 0,01) multiplizieren.

### 3. URHEBER , HERSTELLER

#### URHEBER

Wilkinson beschreibt das Prinzip des Amplituden/Zeitkonverters mit Laufzeitspeicher (1950).

Hutchinson und Scarrott führen ihn in die Praxis ein (1951).

#### HERSTELLER

Die meisten Elektronikfirmen befassen sich mit Impulshöhenanalysatoren.

Hersteller von Vielkanalanalysatoren (oder ähnlichen Geräten) in der BRD sind vor allem:

AEG

BBC

Frieseke und Hoepfner

Berthold

Siemens

Telefunken

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Die Entwicklung der letzten Zeit konzentrierte sich vor allem auf die Konstruktion von Geräten mit besserem Auflösungsvermögen und kürzeren Totzeiten. So gibt es heute Geräte mit mehr als 500 Kanälen. Die Totzeiten eines Impulshöhenanalysators in der beschriebenen Weise (nach Hutchinson und Scarrott) sind im wesentlichen durch die Grenzen der Speicher gegeben.

Ein entscheidender Schritt auf dem Weg zu Geräten mit kürzeren Totzeiten war der (erwähnte) Analog-Digital-Konverter mit Amplitudenwaage, mit dem Totzeiten  $\leq 10 \mu\text{s}$  erreicht werden können.

Andere Geräte mit gutem Auflösungsvermögen sind:

- Impulshöhen-Frequenz-Konverter
- Impulshöhenwandler mit Kathodenstrahlröhren (das einfachste Gerät dieser Art stellt das Graukeilspektrometer dar).

## 5. A N W E N D U N G

Vielkanalanalysatoren sind Geräte, die geeignet sind, alle (elektrischen) Impulse ihrer Größe nach zu sortieren und (mit entsprechenden Zusatzgeräten) Impulsspektren mit Hilfe eines Speichers auszuwerten.

Anwendung in der Kerntechnik:

Aufnahme von Impuls-Amplitudenspektren von Detektoren (z.B. Szintillationszählern oder Proportionalzählrohren) zur Bestimmung von Strahlungsenergiespektren.

In herkömmlichen Bereichen:

Grundsätzlich geeignet für die Auswertung aller Impulsspektren, soweit die Impulse in entsprechenden Mengen und kurz aufeinanderfolgend sind und in elektrische Impulse umgewandelt werden können. Daraus ergibt sich die Bedeutung der Vielkanalanalysatoren für die Auswertung von statistischen Problemen, z.B. in der Medizin und Biologie. Die charakteristischen Größen müßten hierbei aus einem elektrischen Speicher in den Impulsanalysator gegeben werden. Die Rechner für die Auswertung derartiger Probleme werden wegen der Verschiedenartigkeit und des größeren Umfangs der zu lösenden Aufgaben nicht mehr fest programmiert sein und werden außerdem über größere Kapazitäten als für die Auswertung von Strahlungsspektren verfügen müssen. Eine gewisse Bedeutung dürfte den Vielkanalanalysatoren auch im Zusammenhang mit Prozeßsteuerungen zukommen.

## 6. AUSWIRKUNGEN

Über Auswirkungen auf dem wirtschaftlichen und sozialen Sektor liegen keine Angaben vor.

## 7. B E D E U T U N G

Als impulsamplitudenbewertendes Gerät ist das Vielkanalspektrometer in der Kerntechnik heute ein wichtiges Instrument zur Bestimmung von Strahlungsenergiespektren und deren Auswertung z.B. für die Analyse von Isotopengemischen.

Die Bedeutung für die herkömmlichen Bereiche liegt wahrscheinlich in der Auswertung großer Mengen statistischen Zahlenmaterials. Die darüber hinausgehende Bedeutung läßt sich gegenwärtig noch nicht übersehen.

FALL-NR.: 4515.102

1. DEFINITION

- 1.1 KLASSE: Einrichtungen zum Fördern von Flüssigkeiten  
und Gasen
- 1.2 BEZEICHNUNG: Stopfbuchslose Kreiselpumpen,  
Beispiel Spaltröhropumpen

## 2. B E S C H R E I B U N G

Spaltröhrpumpen kleinerer Leistung wurden bereits früher, z.B. als Umwälzpumpen für Heizungsanlagen gebaut. Aber erst die Kerntechnik erfordert einen größeren Bedarf an Pumpen für die Umwälzung von Flüssigkeiten für die Wärmeabfuhr aus Kernreaktoren. Diese Pumpen müssen für größere Leistungen und höhere Arbeitstemperaturen und -drücke ausgelegt sein als bislang in konventionellen Bereichen verwendete Pumpen. Die ersten Pumpen dieser Art wurden wahrscheinlich in den Primärkreisläufen des Atom-U-Bootes "Nautilus" verwendet.

Die Spaltröhrpumpe ist eine stopfbuchslose Kreiselpumpe, bei der der Anker des Antriebsmotors (Spaltröhrmotor) zusammen mit dem Laufrad der Pumpe in dem Fördermedium läuft. Auch die Lager befinden sich in dem mit der Förderflüssigkeit angefüllten Raum, der nach außen durch ein (möglichst) dünnes Rohr abgeschlossen ist. Das Rohr ist durch den Spalt zwischen Anker und Feldmagnet hindurchgeführt und gegen das Gehäuse abgedichtet. Auf Grund der hohen Anforderungen in der Kerntechnik werden Spaltröhr und Gehäuse in der Regel verschweißt bzw. mit einer Dichtlippenschweißung versehen. Das die Dichtungsfunktion ausübende Spaltröhr muß aus einem hinsichtlich seiner chemischen und magnetischen Eigenschaften indifferenten Material bestehen.

Auf diese Weise sind bei der Spaltröhrpumpe alle rotierenden Teile von einem geschlossenen Gehäuse umgeben, das heißt, das Pumpeninnere ist nach außen vollkommen abgedichtet. Eine Abdichtung gegen den Kreislauf des Fördermediums ist nur insoweit erforderlich, als man ein Eindringen und die Ablagerung von Verunreinigungen aus dem Kreislauf in das Pumpeninnere verhindern will.

Anstelle des durchgehenden Spaltröhres werden in manchen Konstruktionen auch kurze Rohrstücke verwendet, die gegen Feldmagnet und Gehäuse abgedichtet sind. Bei einer anderen Version wird ein getrennter Antriebs-



motor verwendet, wobei die Übertragung des Drehmoments durch eine Magnetkupplung erfolgt, deren Pole durch ein Spaltrohr getrennt sind.

Die Lager der Pumpen bestehen in der Regel aus Graphit und werden vom Fördermedium geschmiert. In einigen Konstruktionen wälzt ein Hilfspumpenrad einen Teilstrom des Fördermediums in einem geschlossenen Kreislauf um, damit die in den Radial- und Axiallagern und im Motorspalt entstehende Wärme an den Außenmantel der Pumpe bzw. über einen Niederdruckwärmetauscher abgegeben werden kann.

Die Pumpen für Leistungsreaktoren liegen meist in der Größenordnung von einigen 100 kW (200 - 500 kW). Spaltrohrpumpen mit ähnlichen Pumpleistungen im herkömmlichen Bereich sind seltener und beschränken sich auf wenige Anwendungsbereiche (z.B. Umwälzpumpe für Zwangsumlauf in einem Kraftwerkskessel, 150 PS bei 310° C, 130 atü).

3. H E R S T E L L E R  
VON UMWÄLZPUMPEN

- Halberg
- Klein, Schanzlin und Becker
- Ruhrpumpen GmbH
- u.a.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Auf Grund der neueren Entwicklung im Kernkraftwerksbau ist eine gewisse Stagnation in der Weiterentwicklung der Spaltrohrpumpen eingetreten. Zur Zeit werden für stationäre, leichtwassergekühlte Leistungsreaktoren nicht mehr Spaltrohrpumpen, sondern Kreiselpumpen mit Stopfbüchsen mit kontrollierter Leckrate verwendet.

## 5. A N W E N D U N G

Spalтроhrantriebe finden Anwendung für Pumpen und andere Geräte, bei denen eine besonders zuverlässige Abdichtung erforderlich ist. Die Abdichtung kann gegen Leckverluste aus dem Kreislauf, z.B. bei teuren Materialien (Schwerwasser, Helium und so weiter) sowie bei toxischen bzw. radioaktiven Stoffen (Chlor, Tritium, Xenon, Jod), oder gegen Eindringen von Fremdstoffen in den Kreislauf des Fördermediums von außen erfolgen.

In der Kerntechnik werden Spalтроhrpumpen als Umwälzpumpen in Leicht- und Schwerwasserreaktorkreisläufen eingesetzt (Spalтроhrantriebe finden außerdem Anwendung für stopfbuchsfreie Ventiltriebe und bei magnetischen Steuerstabantrieben).

In den herkömmlichen Industriebereichen spielen Spalтроhrpumpen eine Rolle:

- in der chemischen Industrie zum Fördern wertvoller oder giftiger bzw. gefährlicher Stoffe
- in konventionellen Kraftwerksanlagen zum Umwälzen von Wasser in Dampfkesseln, z.B. im La-Mont-Kessel
- als Unterwasserpumpen

## 6. AUSWIRKUNGEN

Der Bedarf der Kerntechnik an Spaltrohrpumpen ist rückläufig. Für Leichtwasserreaktoren scheinen sich Pumpen mit Stopfbuchsen durchzusetzen (KRB, KWO, KWL u.a.). Diese Tendenz scheint sich auch für Schwerwasserreaktoren abzuzeichnen.

Auf der Grundlage des Hinweisenden Programms der Europäischen Atomgemeinschaft werden im Zeitraum bis 1980 in der Gemeinschaft etwa 8 bis 9 schwerwassermoderierte Kernkraftwerke gebaut werden. Unter der Annahme, daß ungefähr zwei Drittel der mit Schwerwasser moderierten Reaktoren noch mit Spaltrohrpumpen versehen werden, wären für 5 Reaktoren mit jeweils 3 Umwälzpumpen für den Moderatorkreislauf nur 15 Pumpen mit ca. 200 bis 300 kW Leistungsbedarf zu bauen.

Der Bedarf der nicht-kerntechnischen Bereiche läßt sich auf der Grundlage der vorliegenden Unterlagen nicht übersehen. Es ist jedoch nicht zu vermuten, daß Spaltrohrpumpen großer Leistung in der herkömmlichen Industrie einen großen Absatz finden werden.

Über Auswirkungen im sozialen/personellen Bereich lassen sich ebenfalls keine Aussagen machen.

## 7. B E D E U T U N G

Spaltrohrpumpen scheinen an Bedeutung zu verlieren. Auch ihre gegenwärtige Bedeutung ist sowohl aus technischer als aus wirtschaftlicher Sicht relativ gering. Dies gilt nach den bisherigen Feststellungen für den Bereich der Nukleartechnik wie auch für die Anwendungsmöglichkeiten in der chemischen Industrie und in sonstigen nicht-kerntechnischen Bereichen. Der Grund für diese geringe Bedeutung mag darin zu sehen sein, daß es mit verhältnismäßig einfachen Mitteln möglich ist, dem Problem der Leckverluste auf andere Weise zu begegnen.

FALL-NR.: 4515.511

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Einrichtungen zum Fördern von Flüssigkeiten  
und Gasen

1.2 BEZEICHNUNG: Große Gebläse  
unter besonderer Berücksichtigung gasgelagerter  
Gebläse für gasgekühlte Reaktoren

## 2. B E S C H R E I B U N G

Die hier behandelten Radialverdichter wurden im Zusammenhang mit der Konzeption der gasgekühlten Hochtemperaturreaktoren entwickelt und fanden in solchen Anlagen ihre erste Anwendung.

Die Entwicklung von Gebläsen großer Leistung für die Umwälzung von gasförmigen Wärmetransportmitteln in Kernreaktoren sah und sieht sich folgenden Problemen gegenübergestellt:

- Das Fördermedium ( $\text{CO}_2$ , He, Ar etc.) befindet sich auf hohen Temperaturen (beim Dragon-Reaktor  $350^\circ\text{C}$ ; AVR-Jülich  $200^\circ\text{C}$  Ansaugtemperatur)
- Der absolute Druck des Gases im Kreislauf ist gegenüber der Umgebung stark erhöht (Dragon 20 ata, KKN ca. 60 ata). Man ist bestrebt, zu noch höheren Drücken überzugehen.
- Verunreinigung des Fördermediums durch Schmiermittel ist unbedingt zu vermeiden.
- Kontamination der Anlagenkomponenten und damit erschwerte Zugänglichkeit für Reparaturarbeiten nach Inbetriebnahme der Anlage, das heißt hohe Anforderungen an die Betriebssicherheit.
- Ein hohes Maß an Dichtigkeit nach außen, um das Austreten von radioaktiven und teuren Gasen wie He zu verhindern.

Von den anfangs mit Stopfbüchsendichtungen versehenen Gebläsen mit ölschmierten Lagern ging man daher im Laufe der Entwicklung zu einem (zumindest teilweise) neuen Typ über, bei dem die Abdichtung nach außen durch eine doppelwandige Dichthülle gewährleistet wird, die in das Lecküberwachungssystem der Anlage einbezogen ist. Die Abdichtung der Lager gegen das Fördermedium erfolgt durch ein Sperrmedium, das aufgefangen und durch einen Reinigungskreislauf (Ölabscheider) geführt wird (AVR-Anlage).

Die ersten gasgelagerten Gebläse wurden für den Dragon-Hochtemperaturreaktor entwickelt und gebaut. Ein Prototyp wurde bereits 1963 in der Reaktoranlage am Wärmetauscher fertigmontiert. Die Betriebserfahrung mit diesem Umwälzgebläse war so positiv, daß man auch die anderen Umwälzgebläse des Dragon-Reaktors in dieser Art baute.



Die Umwälzgebläse für die Reaktoranlage AVR, Dragon und KKN sind als einstufige Radialmaschinen mit fliegender Lagerung ausgelegt. (Für GCR- und AGR-Anlagen werden meist Axialgebläse verwendet mit Leistungen bis zu 10 MW und größer.)

Die Hauptdaten der Gebläse dieser 3 Reaktoranlagen sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

	AVR	Dragon	KKN
Fördermedium	He	He	CO <sub>2</sub>
Fördermenge (kg/s)	6,5	max. 2,5	420
Förderhöhe (ata)	0,073	ca. 0,4	6,8
Ansaugdruck (ata)	ca. 10		53,2
Ansaugtemperatur (°C)	200	350	240
Nenndrehzahl (U/min)	3.500	11.000 (?)	4.500
Leistungsbedarf (kW)	77		
Antriebsaft)	Kurzschluß- läufermotor	Kurzschluß- läufer	Gegendruckdampf- turbine und Pony- motor für Hilfs- betrieb

Die Fördermengen der Gebläse werden im allgemeinen durch Drehzahländerung geregelt (bei Dragon 1.100 - 11.600 U/min; bei AVR 400 bis 4.000 U/min).

Die gasgelagerten Reaktorgebläse des Dragon-Reaktors sind direkt auf den Wärmetauscher aufgeflanscht. Die äußere Hülle des Gebläses ist gasdicht mit dem Mantel des Wärmetauschers verbunden. Die innere Abdichtung ist nur insoweit nötig, als man verhindern will, daß (radioaktive) Verunreinigungen aus dem Gaskreislauf in den Motor gelangen und sich dort ablagern.

Entscheidend für die Möglichkeit einer gasdynamischen Schmierung, das heißt das Zustandekommen eines Schmierfilms, ist die Tatsache, daß in einem Gas infolge molekularer Bewegungen zwischen zwei benachbarten Stromflächen Impulsübertragungen stattfinden, die eine Schubspannung in den Grenzflächen

zur Folge haben und aus denen die dynamische Zähigkeit der Gase resultiert. Die intermolekularen Zusammenstöße erfolgen mit einer außerordentlich hohen Frequenz, worauf zurückzuführen ist, daß Gase trotz ihrer diskontinuierlichen Natur Druck- bzw. Schubkräfte übertragen können, also die notwendigen Eigenschaften eines Schmiermediums aufweisen.

Die Gaszähigkeit ist unter den normalerweise in Turbomaschinen auftretender Bedingungen unabhängig vom Gasdruck und im Vergleich zu Öl nur in einem schwachen Maße abhängig von der Temperatur. Die Kompressibilität des Gases kann bei der rechnerischen Erfassung vernachlässigt werden, solange die Druckerhöhung im Schmierpalt klein ist gegenüber dem Arbeitsdruck des Schmiergases.

Abgesehen von der durch die geringe Gaszähigkeit bedingten niedrigeren Tragfähigkeit, die teilweise durch Verwendung von kleinem Lagerspiel ausgeglichen werden kann, und der geringen Schwingungsdämpfung durch Gase, die sich nachteilig auf die Lagerstabilität auswirkt, besteht zwischen Gas- und Ölschmierung kein grundsätzlicher Unterschied:

In einem Radial-Gleitlager stellt sich die zur Druckentwicklung befähigte Schmierpaltform automatisch durch Wellenverlagerung bei geeigneten Betriebsbedingungen in der Weise ein, daß der Schmierpalt am vollen Lagerumfang zur Entwicklung von Tragkraft ausgenutzt wird. In Abhängigkeit von der Kompressibilitätszahl  $\Lambda$  gibt es zwei Betriebszustände.

$$\Lambda = \frac{6\eta U_2 L}{p_0 h_0^2}$$

- $\eta$  = dynamische Zähigkeit ( $10^{-6}$  kg/ms)
- $U$  = Gleitgeschwindigkeit der Lagerlaufläche (m/s)
- $L$  = Länge des Schmierpalt (m)
- $p_0$  = Umgebungsdruck des Schmiergases
- $h_0$  = Spalthöhe am Austritt

Bei kleiner Kompressibilitätszahl ( $\Lambda \rightarrow 0$ ) herrscht im Lagerspalt überwiegend hydrodynamische Druckentwicklung, bei großer Kompressibilitätszahl ( $\Lambda \rightarrow \infty$ ) gaselastische Druckentwicklung.

Die maximale Tragfähigkeit des zylindrischen Gaslagers beträgt etwa  $2 \text{ kg/cm}^2$ . Die Reibungsleistung beträgt unter gleichen Bedingungen für ein Lager von 100 mm Durchmesser und 200 mm Breite 480 Watt gegenüber einer 100-fach größeren Reibungsleistung bei einem ölgeschmierten Lager von gleichem Durchmesser, halber Breite, 5-fach größerem Lagerspiel und für eine 20-fach größere Lagerlast.

Für die Aufnahme der Axialkräfte sind gasdynamische Axialschublager entwickelt worden, die meist doppelseitig ausgeführt sind, da es in Übergangsbetriebszuständen zu entgegengesetzt wirkenden Axialschubkräften kommen kann.

Durch Zuführung von Druckgas während der Dauer des Anfahrens bzw. des Abstellens der Maschine wird ein absolut berührungsfreier bzw. abnutzungsfreier Lauf der Lager gewährleistet.

Größere Schwierigkeiten bereitet die Lösung des Stabilitätsproblems. Lagerinstabilitäten (wie z.B. das Halbfrequenzwirbeln in den Radiallagern) können zur raschen Zerstörung der Lager führen. Man versucht, dem durch technische "Kunstgriffe" zu begegnen (z.B. Anbringen einer Axialnute in der unbelasteten Lagerseite). Auch den in den Axiallagern auftretenden gasdynamischen Lagerinstabilitäten und axialen Pendelungen des Rotors kann man durch geeignete konstruktive Maßnahmen begegnen.

### 3. URHEBER , HERSTELLER

#### URHEBER

Informationen über den Urheber der gasgelagerten Gebläse waren nicht zu erhalten. Die ersten Gaslager wurden bereits vor dem zweiten Weltkrieg gebaut, z.B. hat die Aerodynamische Versuchsanstalt in Göttingen in den dreißiger Jahren ein Gaslager entwickelt, das als Versuchsmodell jahrelang einwandfrei gelaufen ist. Es ist wahrscheinlich, daß auch bereits die Dampfdiffusionsanlagen für die Uranisotopentrennung in Oak Ridge Anfang der vierziger Jahre mit gasgelagerten Gebläsen ausgerüstet wurden, doch liegen darüber wegen der militärischen Bedeutung dieser Einrichtungen keine Veröffentlichungen vor. Die ersten gasgelagerten Gebläse für friedlich genutzte Kernenergieanlagen wurden von BBC für den Dragon-Reaktor in Winfrith, England, gebaut.

#### HERSTELLER von Reaktorkühlgebläsen:

- BBC
  - GHH (bisher keine gasgelagerten Gebläse)
  - DEMAG (bisher keine gasgelagerten Gebläse)
  - HISPANO SUIZZA
  - RATEAU
  - CEM
  - BRISTOL SIDDELEY (Bau gasgelagerter Gebläse aufgegeben)
  - SULZER (bisher keine gasgelagerten Gebläse)
- u.a.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Die Hauptprobleme bei der Entwicklung der Gaslager resultieren aus der geringen Tragfähigkeit und Neigung zur Instabilität. Diese Schwierigkeiten hat man durch eine Reihe von konstruktiven Maßnahmen zu überwinden versucht, z.B. durch Anpassung des Lagerspiels an den Gasdruck für Maschinen mit konstanter Drehzahl. Auch fertigungstechnisch wurden Fortschritte erzielt. Die Fertigungsgenauigkeit liegt bereits in dem für die optimale Ausnutzung der Tragfähigkeit der Gaslager gewünschten Bereich.

Bei der Entwicklung größerer Gaslagermaschinen dürfte die Frage der optimalen Ausnutzung der Tragfähigkeit im Vordergrund stehen.

Außer höheren Lagerbelastungen werden bei zukünftigen Entwicklungen vor allem tiefere Berührungsdrehzahlen anzustreben sein.

Neuere Arbeiten befassen sich über die reinen Gaslager hinaus auch mit der Entwicklung von dampf- bzw. kondensatgeschmierten Gebläsen. Diese Entwicklung dürfte vor allem für dampfgetriebene Gebläse großer Leistung von Bedeutung sein.

## 5. A N W E N D U N G

Anwendungsgebiete für Gebläse in der für Kernreaktoren entwickelten Art sind grundsätzlich überall dort gegeben, wo es auf hohe Dichtigkeit und betriebliche Zuverlässigkeit ankommt. Die Verwendung von "gasgeschmierten" Lagern bietet darüber hinaus weitere Vorteile: hohe Temperaturbeständigkeit des Schmiermediums und niedrige Verlustleistung sowie - durch Wegfall der Ölversorgung und Gasabdichtung - einfache Maschinenkonstruktionen. Wegen der durch die Gaszähigkeit bedingten geringen Tragfähigkeit ist die Anwendung gasdynamischer Lager auf Maschinen mit leichten und hohtourigen Rotoren beschränkt, so daß also Turbomaschinen (Verdichter, Gasturbinen, Dampfturbinen, Aggregate aus Dampfturbine und Gebläse) die Hauptanwendungsgebiete der Gaslager sein dürften.

Die bekanntgewordenen Beispiele bisher erfolgter Anwendungen gasgelagerter Gebläse stammen alle aus der Kerntechnik: Uranhexafluoridgebläse für Isotopentrennanlagen, Kühlgasgebläse für Hochtemperaturreaktoren, Förderung ultrareinen Gases für bestimmte kerntechnische Versuchsanlagen, z.B. für "heiße" Zellen.

Anwendungsgebiete für gasgelagerte Gebläse außerhalb der Kerntechnik sind überall dort gegeben, wo das gasförmige Fördermedium (bzw. bei Kondensatlagern der Dampf) in keiner Weise durch ein Fremdschmiermittel (z.B. durch Öldunst) verunreinigt werden darf, oder wo es auf hohe Dichtigkeit der Anlagen ankommt (z.B. bei der Förderung stark riechender oder giftiger Gase).

Anwendungsgebiete sind demnach:

- Chemische und pharmazeutische Industrie  
  Belüftungs- bzw. Klimatisierungsanlagen für die
  - Textilindustrie
  - Nahrungsmittelindustrie

## 6. A U S W I R K U N G E N

Inwieweit sich Gaslager bei Turboverdichtern durchsetzen werden, läßt sich im gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht ermessen. Über Auswirkungen im wirtschaftlichen und sozialen/personellen Bereich können (anhand der vorliegenden Informationen) noch keine Aussagen gemacht werden. Unter Zugrundelegung des hinweisenden Programms EURATOMS kann im Zeitraum 1970 bis 1980 mit ungefähr 200 Gebläsen gerechnet werden. Da bislang Gebläse in der für Kernkraftwerke von ca. 500 MW benötigten Leistungsgröße (10 bis 15 MW) ausschließlich mit Ölschmierung gebaut bzw. konzipiert wurden, läßt sich der Anteil gasgelagerter Gebläse noch nicht übersehen.

## 7. B E D E U T U N G

Durch die Entwicklung gasdynamischer Lager mit hoher Betriebssicherheit werden auf vielen Gebieten des Maschinenbaus, namentlich für die Lagerung raschlaufender, nicht allzu schwerer Wellen, neue Möglichkeiten eröffnet. Gasgeschmierte Lager sind weitgehend wartungsfrei.

Speziell gasgelagerte Gebläse haben zwei Hauptvorteile: keine Verschmutzung des Fördermediums durch Schmiermittel und absolute Dichtigkeit nach außen. Weitere Vorteile sind die Tatsache, daß ihre Leistungsfähigkeit mit Druck, Umlaufgeschwindigkeit und Temperatur zunimmt. Welle und Lager sind durch einen Gasfilm voneinander isoliert, so daß es kein Gleiten von Metall auf Metall gibt. Verschleiß und Verlustleistung sind minimal.



FALL-NR.: 4545.401

1. DEFINITION

- 1.1 KLASSE: Einrichtungen zum Abtrennen von Stoffen  
aus Gasen
- 1.2 BEZEICHNUNG: Filter zur Abscheidung von Schwebstoffen

## 2. B E S C H R E I B U N G

Um zu verhindern, daß die Abluft aus Kontrollbereichen, in denen im normalen Betriebszustand oder im Störfall radioaktive Aerosole entstehen können, eine höhere Aktivitätskonzentration als zulässig aufweist, ist es häufig notwendig, diese über Filter abzugeben.

Die Konzentration der radioaktiven Aerosole in der Luft wird in Curie pro Kubikmeter ( $C/m^3$ ) oder in Mikro-Curie pro Kubikzentimeter ( $\mu C/cm^3$ ) angegeben. Als zulässige Konzentration für  $Na^{24}$  gelten etwa  $10^{-6} \mu C/cm^3$ ; das bedeutet, daß pro  $cm^3$  Luft in der Minute nicht mehr als 2 Atome zerfallen dürfen. Zur Verdünnung von z.B. 6 mC freiwerdendem Jod 131 (entsprechen einem Gewichtsäquivalent von ca.  $4,8 \times 10^{-5}$  mg) sind 1 Million Kubikmeter Luft notwendig, sofern nicht durch andere Maßnahmen wie etwa Filterung der Luft für eine Verminderung der Konzentration gesorgt werden kann. Als Filter in kerntechnischen Anlagen gelangen sogenannte Schwebstofffilter oder Aerosolfilter zur Anwendung, die eine besonders hohe Abscheideleistung gegenüber festen und flüssigen Schwebstoffen (Aerosolen) aller Korngrößenbereiche aufweisen. Hauptsächlich werden diese Filter für die Abscheidung von Schwebstoffen mit Teilchendurchmesser unterhalb  $1 \mu$  verwendet.

Bei radioaktiven, natürlichen, atmosphärischen Aerosolen liegt die Korngrößenverteilung zwischen  $0,01$  und  $0,3 \mu$ , wobei das Maximum der Teilchen sich etwa zwischen  $0,06$  und  $0,12 \mu$  befindet. Eine solche Korngrößenverteilung entspricht derjenigen feinsten in der Atmosphäre befindlicher Spaltprodukte (ohne "heiße Teilchen") und der radioaktiver Folgeprodukte der radioaktiven Edelgase in Reaktoren.

Bei dem Filtervorgang kommt es nun darauf an, einen möglichst hohen Abscheidegrad zu erreichen. Der Abscheidegrad (oder auch die Wirksamkeit) eines Filters ist das Verhältnis der vom Filter je Zeiteinheit zurückgehaltenen Staubmenge zu der je Zeiteinheit an das Filter herangetragenen Staubmenge.

Bis vor ca. 15 Jahren war man jedoch noch nicht in der Lage, mit der damaligen Ausrüstung entsprechend feine Messungen vorzunehmen, und es konnten nur Abscheidegrade bis 99 % festgestellt werden. Durch verbesserte Strahlungsmessgeräte und durch bessere Aerosolmessgeräte mit großem Luftdurchsatz ist man nunmehr in der Lage, Abscheidegrade einer Filteranlage von mehr als 99,9 % festzustellen.

Neu gegenüber den alten, klassischen Entstaubungsverfahren der konventionellen Industrie, die Abscheidegrade von mehr als 99 % nur für Teilchen größer als  $2 \mu \text{ Ø}$  erzielen, ist die Forderung, auch im submikroskopischen Bereich, also für Teilchen  $0,5$  bis  $1 \mu$ , noch gleiche oder bessere Abscheidegrade erzielen zu müssen.

Der Abscheidegrad ist sowohl von der eingespeicherten Staubmenge, das heißt dem Staubgewicht pro Filterflächeneinheit, abhängig als auch von der Korngrößenverteilung des Aerosols sowie von dem mechanischen Verhalten des Filtermaterials. Der Abscheidegrad für jeden Korndurchmesser des zu filternden Aerosols ist seinerseits abhängig von der Korngrößenverteilung des eingespeicherten Aerosols.

Um die hohen Anforderungen an heutige Filteranlagen zu verdeutlichen, seien nachfolgend die höchstzulässigen Konzentrationen einiger nicht-radioaktiver gesundheitsschädlicher Stäube und radioaktiver Aerosole aufgeführt.

#### Höchstzulässige Konzentration

##### Gesundheitsschädliche Stäube

Mangan	5,0	mg/m <sup>3</sup>
Vanadium	0,5	mg/m <sup>3</sup>
Blei	0,2	mg/m <sup>3</sup>
Chrom	0,1	mg/m <sup>3</sup>
Beryllium	0,002	mg/m <sup>3</sup>

Radioaktive Aerosole

Na <sup>24</sup>	1,8 · 10 <sup>-11</sup> mg/m <sup>3</sup>
P <sup>32</sup>	2,2 · 10 <sup>-10</sup> mg/m <sup>3</sup>
S <sup>35</sup>	6,2 · 10 <sup>-9</sup> mg/m <sup>3</sup>
Fe <sup>55</sup>	4,1 · 10 <sup>-7</sup> mg/m <sup>3</sup>
Co <sup>60</sup>	8,0 · 10 <sup>-9</sup> mg/m <sup>3</sup>
J <sup>131</sup>	4,8 · 10 <sup>-11</sup> mg/m <sup>3</sup>
U <sup>238</sup>	2,7 · 10 <sup>-1</sup> mg/m <sup>3</sup>

Schwebstofffilter bestehen aus besonders luftdurchlässigem und hochwirksamem Filtermaterialien (Kunststoff-Fasern, Zellulose oder Zellulose-Asbest-Fasern, Glas- bzw. Glas-Asbest-Fasern, Quarz-, Keramik- oder andere Mineralfasern, metallische, keramische oder mineralische Sinterkörper). Je nach Zusammensetzung weisen sie eine bestimmte Feuchtigkeitsempfindlichkeit auf. Sie sind im allgemeinen beständig gegenüber den meisten Chemikalien (ausgenommen Lösemittel, Flußsäure und so weiter). Man unterteilt sie in brennbare, schwer brennbare, feuerempfindliche, feuerbeständige und feuerfeste Filter. Das Filtermaterial ist gewöhnlich in Zellengerahmen mit den Maßen 610 x 610 x 292 mm eingespannt. Um eine größte wirksame Filterfläche auf möglichst kleinem Raum unterzubringen und dadurch einen niedrigen Durchflußwiderstand zu erreichen, ist das Filtermaterial eng gefaltet; zwischen den einzelnen Falten befinden sich Abstandshalter. Die zulässigen Betriebstemperaturen richten sich sowohl nach dem Material des Filtermediums und der Abstandshalter als auch nach dem zum Abdichten und Befestigen des Filtermediums im Rahmen oder Gehäuse verwendeten Werkstoff (Kitt). Bei Durchflußmengen von 50 bis 2300 m<sup>3</sup>/h liegen die Durchflußwiderstände meist zwischen 10 und 50 mm WS bei neuen, unbenutzten Filtern. Bei welchen Widerständen die Filter auszuwechseln sind, hängt weitgehend von den zur Verfügung stehenden Ventilatoren, Gebläsen, Unter- und Überdruckerzeugern ab.

Das Kriterium für die Güte eines Filters ist sein Abscheidegrad bzw. seine Durchlässigkeit in Abhängigkeit von der Beaufschlagung (Anström- bzw. Durchströmgeschwindigkeit).

Schwebstofffilter werden im allgemeinen als Endfilter mehrstufiger Filterkombinationen verwendet; ihre Standzeiten sind im wesentlichen durch Art und Korngrößenverteilung der zu filtrierenden Schwebstoffe sowie durch die Güte der Vorfilter bestimmt.

### 3. URHEBER , HERSTELLER

Wie bereits aus den vorhergehenden Ausführungen ersichtlich ist, kann von einem bestimmten Urheber bzw. erstmaligen Hersteller von Schwebstofffiltern und ihrer Sonderklasse "S" (das sind Filter mit besonders hohem Abscheidevermögen) nicht gesprochen werden, da es sich nicht um eine Neuentwicklung bzw. Neuentdeckung, sondern vielmehr um eine Weiterentwicklung und Vervollkommnung bereits bestehender Filter mit hohem Abscheidevermögen handelt.

Im Laufe der letzten Jahre wurden in der BRD am Staubforschungsinstitut des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaft in Bonn über 50 offizielle Typenprüfungen von Filtern auf ihre S-Eigenschaft durchgeführt. Es handelte sich dabei um die nachfolgend aufgezählten 14 Hersteller aus 6 Ländern (weitere in Klammern), wobei 26,5 % der geprüften Filter nicht den Anforderungen der Stufe "S" entsprachen, wohl aber Schwebstofffilter sind und somit als Vorfilter zur Anwendung gelangen können.

BRD:       u.a.:Auergesellschaft  
              Delbag  
              Dräger  
              (CEAG)  
              (Membramfiltergesellschaft mbH, Göttingen)  
              (A. Schnackenberg & Co.)

USA:       u.a.:American Air Filter  
              Cambridge Filter International  
              Farr Comp.  
              Flanders Filters  
              Mine Safety Appliances

GB: u.a.: E. N. Mackley & Co.  
Vokes

Frankreich: u.a.: Saint Gobain Nucléaire  
Schneider-Poelman  
(Société Française de l'Acétylène)

Schweden: u.a.: Camfil AB

Schweiz: u.a.: Luwa AG

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Für die Filter zur Abscheidung radioaktiver Aerosole gelten im wesentlichen dieselben Forderungen wie bei sonstigen Aerosolfiltern:

- möglichst hoher Abscheidegrad
- geringe Selektivität
- niedriger Druckabfall
- hohes Speichervermögen

Wegen der extrem hohen Toxizität vieler radioaktiver Aerosole ist der hohe Abscheidegrad von besonderer Bedeutung. Beträgt das Abscheidevermögen mehr als 99,7 %, so werden in der BRD diese Filter "Schwebstofffilter, Sonderstufe "S" (S-Filter) genannt, im Ausland fälschlicherweise oft als "Absolut-Filter", besser aber als "Low-Penetration-Filter" oder "Ultra-Filter" bezeichnet.

Filter mit Abscheidegraden von mehr als 85 % für Teilchen von 0,2 bis  $1 \mu \varnothing$  und von mehr als 70 % für Teilchen kleiner als  $0,3 \mu \varnothing$  werden als "Schwebstofffilter bezeichnet.

Die Eingruppierung in Stufe S sagt aus, daß das geprüfte Filter für 3 verschiedene Korngrößenbereiche (Quarzstaub, Ölnebel, radioaktive Aerosole) einen bestimmten Mindestabscheidegrad hat.

Die in eine Filteranlage eingebauten Filterpacks (Papiere, Vliese, Faserschichten), die auswechselbar sind, müssen genau montiert sein, um einen leistungsfähigen Betrieb zu garantieren.

Die Filterelemente sind meistens in einen Rahmen aus Furnier eingebaut; Filterkästen aus Kunststoff waren bisher den hohen Anforderungen bei Dauerbelastung nicht gewachsen. Ein Problem stellen noch immer die Abdichtungen dar. Undichtigkeiten können zwischen Filterzelle und



Filterzellenaufnahme (z.B. in der Filterwand, der "Clean-Bench" oder einem sonstigen Gehäuse) auftreten. Häufig sind die Filtersitze der hochwertigen Qualität der Filterpacks nicht angepaßt. Die Leckrate der Filtersitze sollte  $1/3$  des Wertes des Durchlässigkeitsgrades des Filters nicht überschreiten.

Beträgt beispielsweise der Durchlässigkeitsgrad eines Filters  $100\% - 99,97\% = 0,03\%$  so sollte die Leckrate des Filtersitzes  $< 0,01\%$  sein, was einen Filterwirkungsgrad von  $99,96\%$  ergeben würde. Bei Filteranlagen mit einer Luftleistung von  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  würde somit z.B. bei der angenommenen Leckrate von  $0,01\%$  die absolute Leckrate am Filtersitz  $100 \text{ l/h}$  oder  $1,7 \text{ l/min}$  betragen.

Wenn es gelänge, alle Filterelemente einer Anlage absolut dicht einzubauen, könnte der Abscheidegrad einer solchen Anlage für alle Schwebstoffteilchen, die einen Durchmesser  $> 0,01 \mu$  haben, mehr als  $99,99\%$  betragen; bei der Hintereinanderschaltung zweier oder mehrerer S-Filter könnte man mit noch höheren Abscheidegraden rechnen.

Als Dichtungswerkstoffe werden die unterschiedlichsten Materialien verwendet, die von Papier über Kork bis zu Moltopren und Moosgummi gehen. Moosgummidichtungen mit geschlossener Oberfläche haben sich als sehr geeignet erwiesen, da sie verhältnismäßig weich sind, sich gut zurückformen und keinen allzu großen Anpreßdruck benötigen. Dichtungen aus Moltopren verformen sich z.B. und lassen in ihrer Spannkraft nach (vor allem bei Anlagen, die keinen nachdrückenden Anpreßmechanismus haben, um ein Nachlassen der Dichtung auszugleichen).

Für Dichtungen aus Korkmischung oder Papier sind hohe Anpreßdrücke erforderlich; außerdem werden sie bei geringen Unebenheiten an der Dichtfläche leicht undicht.

Auf Grund erhöhter Feuergefahr in Filteranlagen werden neuerdings feuerbeständige S-Filter gebaut, deren Material aus Borsilikat-Glasfasern besteht. Das Glasfaserpapier hat eine minimale Stärke von  $380 \mu\text{m}$  und soll mindestens  $78 \text{ g/m}^2$  wiegen. Die Reißfestigkeit des trockenen Papiers in Arbeitsrichtung der Papiermaschine soll mindestens  $450 \text{ g/cm}$  Breite betragen, in Querrichtung  $360 \text{ g/cm}$ . Die Minimalfestigkeit muß von einer ausreichenden Wasserabstoßung begleitet sein.

Ebenso gibt es nunmehr spezielle S-Filter zur Abscheidung von Bakterien und Viren (letztere haben Durchmesser bzw. Längen von  $3 \mu$  bis  $30 \mu$ ), die je nach Wartungsart, Überwachung der "Reinluft" und Auswechselfrequenz in folgende Gruppen unterteilt werden können:

- a) Normale Filter, verbrennbare und nichtverbrennbare Typen
- b) Filter, die mit bakterienhemmenden Mitteln getränkt oder besprüht werden können (verbrennbare und nicht verbrennbare Typen)
- c) Sterilisierbare Filter (meist mit Heißdampf), die meist nicht verbrennbar sind

Die Betriebstemperaturen der heutigen Schwebstofffilter liegen zwischen  $60^\circ \text{C}$  (Filtermaterial aus Kunststoff-Fasern) und oberhalb  $500^\circ \text{C}$  (Filtermaterial aus Quarz-, Keramik- oder anderen Mineralfasern sowie metallische, keramische oder mineralische Sinterkörper).

## 5. A N W E N D U N G

Filter zur Abscheidung von Schwebstoffen finden auf den verschiedensten Gebieten Anwendung, so in kerntechnischen Anlagen und Isotopenlabors zur Feinstreinigung der Zu- und Umluft von radioaktiven Schwebstoffen und deren Rückgewinnung (in nennenswertem Umfang bisher fast ausschließlich in Uran oder Plutonium verarbeitenden Industrien); Weiterhin auf allen Gebieten der Technik zur Lösung der vielseitigen Probleme der Luftreinhaltung wie z.B. in der chemischen Industrie, Textilindustrie, Lebensmittelindustrie, Elektrizitäts- und Telephonzentralen, Datenverarbeitungszentralen, in Betrieben der Feinmechanik, Elektronik sowie in der Phototechnik, weiterhin im Bereich der biologischen Forschung und auf medizinischem Gebiet (Viruslaboratorien, Zucht von Versuchstieren, Operationssälen, pharmazeutischen Forschungsstätten).

Versuche mit S-Filtern in sogenannten "weißen Räumen" ergaben einen Reinheitsgrad in  $1 \text{ m}^3$  Luft von 12 Teilchen mit  $0,3$  bis  $0,5 \mu$  Korngröße und 6 Teilchen mit  $0,5 \mu$  und größer.

## 6. AUSWIRKUNGEN

Bei den hier beschriebenen Schwebstofffiltern und ihrer Sonderstufe "S" handelt es sich um eine Weiterentwicklung bereits erprobter hochwirksamer Filter aus dem konventionellen technischen Bereich. Auf Grund der verstärkten Industriealisierung und des Aufbaus von Kernkraftwerken und Forschungsreaktoren sah sich der Gesetzgeber veranlaßt, einschneidende Richtlinien im Hinblick auf die Reinhaltung der Luft zu erlassen. Diese Bestimmungen führten zu einer Intensivierung in der Entwicklung von Filtern mit hohem Abscheidegrad, die nunmehr auf den verschiedensten Gebieten zur Anwendung gelangen und im Rahmen der technischen und medizinischen Entwicklung sowie Forschung eine Voraussetzung darstellen, ohne die bestimmte Ergebnisse nicht hätten erzielt werden können.

Das Arbeiten in sogenannten "weißen Räumen" stellt für die dort Tätigen hinsichtlich ihrer Kleidung ein besonderes Problem dar, da die Kleidungsstücke aus möglichst flusenfreiem Gewebe sein müssen, um den dadurch entstehenden Staubanteil von vornherein weitestgehend zu reduzieren. Ein Ende der Entwicklung bezüglich der Schwebstofffilter und ihrer Auswirkungen ist noch nicht abzusehen.

## 7. B E D E U T U N G

Es waren keine Informationen erhältlich, die konkrete Aussagen über die nichtnuklearen Bereiche von Industrie und Forschung ermöglichen. Sicher ist jedoch, daß in der Zukunft immer mehr Filter mit höchsten Abscheidegraden nötig sein werden.

FALL-NR.: 4567.400

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Druckbehälter

1.2 BEZEICHNUNG: Spannbetondruckbehälter in Einfach- und Mehrlagenbauweise

## 2. B E S C H R E I B U N G

Die ersten Spannbetonbehälter wurden nach dem zweiten Weltkrieg im Rahmen der atomaren Entwicklung in Frankreich für die Reaktoren zur Plutoniumerzeugung im Kernforschungszentrum Marcoule konstruiert und gebaut; der erste Reaktor der Reihe Graphit-Gas wurde 1954 begonnen und 1956 kritisch. Wenig später begann die Entwicklung in England, wo seit dem Kraftwerk Oldbury alle Reaktordruckgefäße aus vorgespanntem Beton gefertigt werden.

Die heutige Entwicklung der Spannbetondruckgefäße in der Bundesrepublik geht unterschiedliche Wege:

### - Einschalige Bauweise

Die Behälter werden innen durch ein spezielles Kühlsystem gekühlt. Durch den in der Betonwand zugelassenen Temperaturgradienten von 30 - 50 ° C treten Wärmespannungen auf, die rechnerisch nicht exakt erfaßt werden können. Man wählt dementsprechend größere Sicherheitszuschläge, die zu Wanddicken von 4 - 6 Metern führen, was allerdings Sonderkonstruktionen für die Durchführungen der Dampfleitungen durch die Behälterwände bedingt.

### - Behälter aus vorgefertigten Teilen

Diese Konstruktion stellt eine Abwandlung und Weiterentwicklung der einschaligen Bauweise dar. Der Behälter besteht aus mehreren ringförmigen Elementen, die ihrerseits wieder in Segmente aufgeteilt sind. Durch Auseinanderschleben der Segmente erreicht man die Verspannung der in ihnen liegenden geschlossenen Drahringe.

Die Boden- und Deckplatten werden an diesem zylindrischen Teil so verkeilt, daß sich die aus dem Innendruck resultierenden Biegemomente zum Teil ausgleichen.

### - Zweischalige Bauweise

Bei dieser Bauweise befindet sich die innere Behälterschale auf hohem Temperaturniveau, nimmt aber keinen Druck auf (Ein Druckausgleichssystem sorgt dafür, daß sich innerhalb und außerhalb der Wärmeisolierung der gleiche Druck einstellt.), während die äußere - im Vergleich zur einschaligen Bauweise - dünnere Schale nur einem minimalen Temperaturgradienten

(einige Grad) ausgesetzt ist, jedoch den gesamten Druck aufnimmt. Diese Trennung nach Temperatur- und Druckbeanspruchung schafft übersichtliche Verhältnisse, die sich rechnerisch gut erfassen lassen, und erlaubt, die Sicherheitszuschläge für Unsicherheiten in der Berechnung gering zu halten.

Der innere Betonmantel besteht aus hochwärmfesten Spezialbeton, dem durch ein bestimmtes Verfahren alles nicht in Kristallform gebundene Wasser entzogen wird (Dicke ca. 0,5 m, Dichte bis zu  $4 \text{ g/cm}^3$ , mit sehr hohem Wasserstoffgehalt, das heißt bis zu 3 Gewichtsprozent).

Boden- und Deckplatten sind kuppelförmig oder in gewölbter Form ausgebildet.

Die Verminderung der Spannungen, die auf Grund von Temperaturdifferenzen im Beton auftreten (sie können bei Temperaturgradienten von  $50^\circ \text{C}$  bis zur Höhe der aus dem Innendruck resultierenden Spannungen anwachsen) und die bessere Erfassbarkeit der in einer dünneren Wandung auftretenden Spannungen erlauben nicht nur elegante und leichtere Konstruktionen größerer Sicherheit, sondern ermöglichen auch Materialeinsparungen.

Diese können bei einem Bedarf von etwa 3.000 t Spannstahl für einen größeren gasgekühlten Reaktor (ca. 500 Mwe) bei einer Verminderung des Verbrauchs an Spannstahl von nur 1 % DM 150.000,-- betragen. Nach Angaben des Herstellers lassen sich mit der Mehrlagenbauweise Einsparungen an Spannstahl bis zu 30 % erzielen, wobei allerdings ein Mehraufwand für den inneren Betonmantel das Gesamtergebnis nicht ganz so günstig erscheinen läßt.

Dem Material Beton wird in jedem Falle eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt, nicht nur in Hinsicht auf die Entwicklung besonderer Hitzebeständigkeit (bis zu  $400^\circ \text{C}$ ), sondern auch auf die Festigkeit, die bis zu  $600 \text{ kg/cm}^2$  gesteigert wurde.



### 3. URHEBER , HERSTELLER

#### URHEBER

Urheber der Idee des vorgespannten Betondruckgefäßes ist die CEA (Commissariat à l'Energie Atomique), das den ersten gasgekühlten, graphitmoderierten Reaktor G 1 in Marcoule mit Spannbetondruckbehälter baute.

#### HERSTELLER

Hersteller und Entwicklungsstellen in Deutschland sind:

- SIEMENS-SCHUCKERT in Zusammenarbeit mit DYCKERHOFF und WIDMANN
- KRUPF UNIVERSALBAU

Außerhalb der BRD befassen sich mit dem Bau von Spannbetondruckgefäßen:

- SEEE (Société d'Etudes et d'Equipements d'Entreprises), Frankreich
- STUP, Bonlogne-Billancourt, Frankreich
- CITRA, Paris
- GEN. TRAVAUX DE MARSEILLES
- INDATOM, Frankreich
- McALPINE, London
- TAYLOR WOODROW, England
- GENERAL ELECTRIC USA

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Spannbetondruckgefäße wurden bisher nur für gasgekühlte Reaktoren gebaut. Wegen der großvolumigen Cores dieser Reaktoren sind Spannbetondruckgefäße derzeit die einzige wirtschaftliche Lösung für größere Leistungseinheiten. Die stählernen Druckbehälter für Wasserreaktoren gehören zu den technisch schwierigsten und Termin- und Transportprobleme stellenden Anlagenteilen. Bei größeren Leistungseinheiten und Drücken muß daher das Druckgefäß auf der Baustelle gefertigt werden. Zum Beispiel liegt die Grenze für einen in der Werkstatt gefertigten EWR-Druckbehälter bei ungefähr 600 MWe. Dies hat dazu geführt, daß man in letzter Zeit neben der Baustellenfertigung von stählernen Druckgefäßen auch den Bau von Spannbetonbehältern für Wasserreaktoren in Erwägung zieht. Es wurden bereits verschiedene Konzepte entworfen und teilweise im Versuch erprobt. Über dieses Versuchsstadium hinaus ist die Entwicklung in Westdeutschland noch nicht gediehen. Die intensiven internationalen Bemühungen um die Einführung von Spannbeton-Druckbehältern bei großen Leistungsreaktoren und die positiven Erfahrungen, die man in Frankreich und England mit diesen Konzeptionen gemacht hat, lassen aber erwarten, daß Spannbetondruckbehälter in absehbarer Zukunft auch für Wasserreaktoren an Bedeutung gewinnen werden. Beide deutsche Firmengruppen dürften auf Grund ihrer Entwicklungen ohne weiteres in der Lage sein, Druckgefäße in Größenordnungen von 15 - 20 m innerem Durchmesser und 20 m Höhe für Drücke bis zu 50 at bzw. mit kleineren Durchmessern (ca. 7 m) für Drücke bis zu 100 at und mehr bei Temperaturen bis zu 400° C zu bauen. Entsprechende Angebote wurden bereits ausgearbeitet. Verwirklicht wurden in Frankreich und England Reaktordruckgefäße bis zu 20 m  $\varnothing$  für Drücke bis zu 25 (-40) at.

Der nächste Schritt könnte der Übergang zu sphärischen Druckbehältern aus vorgespanntem Beton sein, wobei keine grundsätzlich neuen Probleme auftauchen.

Die weitere Entwicklung wird sich in erster Linie auf Spannbeton-  
druckgefäße für Drücke bis zu 300 (-400) atü und Temperaturen bis  
zu 600° C erstrecken. In den Entwicklungsbüros werden bereits  
Lösungsmöglichkeiten erarbeitet.

## 5. A N W E N D U N G

Bisherige Anwendung in der Kerntechnik:

Druckgefäße für graphitmoderierte und  
gasgekühlte Reaktoren (GCR)

Im Bau- bzw. Projektstadium:

Druckgefäße für gasgekühlte Hochtemperatur-  
Reaktoren (HTGR)

Voraussichtliche Anwendung in der Kerntechnik:

Druckgefäße für Leichtwasserreaktoren

Die Firmen befassen sich intensiv mit weiteren Verwendungsmöglichkeiten. Bisher denkt man an Gefäße für die großtechnische Durchführung chemischer Reaktionen bei hohen Drücken und Temperaturen, z.B. Ammoniaksynthese bei Drücken  $\leq 200$  atü.

## 6. AUSWIRKUNGEN

Spannbetondruckbehälter befinden sich in der BRD im Stadium der beginnenden industriellen Anwendung; Prognosen über die Auswirkungen lassen sich infolgedessen nur auf Grund von ausländischen Erfahrungen machen.

Die Spannbetondruckgefäße stellen keine eigentliche Substitution der bereits eingeführten Stahldruckgefäße dar, sondern können dort eingesetzt werden, wo aus transport- und fertigungstechnischen Gründen Stahldruckgefäße nur schwierig zu verwirklichen sind.

Die Spannbetondruckgefäße können also als Ergänzung der Stahldruckgefäße angesehen werden. Für einen Siedewasserreaktor von mehr als 600 MWe z.B. hat man sich zwischen einem auf der Baustelle gefertigten Stahldruckgefäß und einem Spannbetonbehälter zu entscheiden. Kostengleichheit beider Bauweisen ist nach Angaben der befragten Firmen gegeben:

bei 90 at für einen Innendurchmesser von etwa 6,0 m

bei 40 at für einen Innendurchmesser von etwa 7,5 m

Die traditionelle französische Bauweise und die Grundidee des Spannbetonbehälters sind nicht patentiert. Die Weiterentwicklung in den letzten Jahren ist jedoch von einer großen Zahl ausgedehnter Untersuchungen begleitet, deren Ergebnisse patentlich geschützt sind.

Die Erprobung des Mehrlagen-Spannbetondruckbehälters durch ein deutsches Unternehmen wird zu 80 % von einem öffentlichen Auftraggeber (EURATOM) finanziert. Ein französisches Unternehmen hat ebenfalls einen EURATOM-Forschungsauftrag aus dem Gebiet der Spannbetondruckbehälter erhalten.

Ein Zusammenarbeitsvertrag besteht zwischen einem europäischen Hersteller von Spannbetondruckgefäßen und einer amerikanischen Reaktorbaufirma. Für den Raum der BRD konnte eine losere Form von Zusammenarbeit zwischen einer Reaktorbaufirma und einem Bauunternehmen ermittelt werden.

An die Arbeitskräfte werden sehr hohe Anforderungen gestellt. Dies gilt sowohl für die wissenschaftlichen Kräfte, denen die Konstruktion und Berechnung obliegt (im Falle eines befragten Herstellers etwa 12) als auch für die gewerblichen Arbeitskräfte im Labor und auf der Baustelle (beim selben Hersteller etwa 30). Höhere Bezahlung konnte jedoch nicht festgestellt werden außer für die Innenarbeiten unter "extremen" Sauberkeitsbedingungen (clean conditions)

## 7. B E D E U T U N G

Spannbetondruckgefäße haben in der Bundesrepublik noch keine Bedeutung erlangt im Gegensatz zu Frankreich und Großbritannien, wo gasgekühlte Natururanreaktoren nur noch mit Spannbetondruckbehältern ausgerüstet werden.

Anwendungen außerhalb der Reaktortechnik sind nicht bekannt.

Nach dem Hinweisenden Programm EURATOMS für den Zeitraum 1970 bis 1980 ist der Bau von mindestens 40 Kernkraftwerken erprobter Bauart (LWR, GCR) und etwa 15 Kernkraftwerken mit Konvertern zu erwarten. Nimmt man an, daß alle gasgekühlten Reaktoren mit Spannbetondruckgefäßen ausgerüstet werden, so ergibt sich ein Bedarf von ca. 25 Spannbetonbehältern im Raum der Europäischen Gemeinschaft in der Zeit bis 1980.

Die größten Spannbetondruckbehälter kosten heute rund 15 Mio DM (600 MWe Gas-Graphit-Reaktor, 17 m Durchmesser, 18 m Höhe, 45 atü).

Inwieweit man außer den Reaktorbaufirmen Auftraggeber für Spannbetondruckgefäße finden wird - man denkt zunächst nur an die Chemie - läßt sich noch nicht absehen.

FALL-NR: 4655.100

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Fernbedienungswerkzeuge

1.2 BEZEICHNUNG: Manipulatoren



## 2. B E S C H R E I B U N G

Die Anfänge der Entwicklung von Manipulatoren gehen auf die Zeit vor der Kerntechnik zurück. In Hütten- und Stahlwerken werden Manipulatoren benutzt, um schwere Teile bei hohen Temperaturen zu handhaben. Die Entwicklung von Manipulatoren früher nicht geforderter Präzision erfolgte aber erst für die Kerntechnik auf Grund des Bedarfs an geeigneten Geräten für Arbeiten in "Heißen Zellen".

Sie wurden entwickelt, um radioaktive Gegenstände bzw. Materialien aus einem Sicherheitsabstand oder unter Zwischenschaltung einer Abschirmwand handhaben zu können. Charakteristikum der Manipulatoren ist, daß mit ihnen in mehr oder weniger vollkommener Weise Bewegungen ausgeführt werden können, die denen der menschlichen Hand oder einzelner Finger entsprechen.

Es gibt verschiedene Systeme, die sich in ihrer Mechanik und in ihren Verwendungsmöglichkeiten voneinander unterscheiden.

- Bei der einfachsten Form, dem Kugelmanipulator, ist ein Kugelgelenk in die Strahlenschutzwand so eingesetzt, daß der Manipulator in Längsrichtung beweglich und innerhalb eines kegelförmigen Bereiches schwenkbar ist. Bewegungen quer zur Längsachse erfolgen dabei spiegelbildlich.
- Beim Parallelmanipulator (masterslave, magische Hände) ist eine vollständige Übereinstimmung der Bewegung von Hand und Fingern (Daumen und Zeigefinger) am Griffstück und am Werkzeug auf der Arbeitsseite gegeben, wobei das Gefühl für die übertragenen Kräfte erhalten bleibt. Darüber hinaus gibt es Systeme mit Bewegungsübertragung durch Hilfskräfte (Servo-Mechanismen) und mit Bewegungsmaßstäben, die vom Verhältnis 1 : 1 abweichen (z.B. 1 : 2; 1 : 4). Der Parallelmanipulator kann Abschirmungen beträchtlicher Wandstärken überbrücken.
- Bei größerem Kraftbedarf werden Manipulatoren verwandt, bei denen der Greifarm an einem Ausleger einer senkrechten Säule angebracht ist.

- Für die Bewegung schwerer Lasten über größere Entfernungen dienen Fahrmanipulatoren, die wie Laufkatzen eines Kranes verfahrbar sind und entsprechend große Räume bestreichen können. Fahrmanipulatoren arbeiten grundsätzlich mit Hilfskräften und werden von einem Bedienungspult aus gesteuert.
- In einer anderen Bauart ist der Fahrmanipulator als frei bewegliches Fahrzeug ausgebildet, z.B. als ferngesteuerter Elektrokarren mit einem Ausleger, an dessen Ende der manipulierende Greifer arbeitet. Diese Konstruktion ist für den weiträumigen Transport von stark strahlenden Gegenständen gedacht.

Die Steuerung von Servomanipulatoren muß nicht von Hand erfolgen. In Verbindung mit einem Speicher, in den Impulse für einen bestimmten Arbeitsablauf eingegeben sind, oder mit einem Prozeßrechner kann der Manipulator auch automatisch gesteuert werden und wird damit zum "Roboter".

Die bislang verwirklichten automatischen Manipulatoren werden von einer elektromagnetischen Gedächtnisstrommel gesteuert. Die Programmierung kann in der Weise erfolgen, daß der vom Manipulator später wiederholt durchzuführende Ablauf einer Tätigkeit einmal von Hand durchgeführt wird, wobei entsprechende Impulse in den Speicher eingegeben werden. Dieser Speicher kann den Manipulator und gegebenenfalls außerdem weitere Anlagen, z.B. die Vorschubbewegungen einer Werkzeugmaschine steuern und kontrollieren. In einem derartigen Speicher lassen sich 200 unmittelbar aufeinander folgende Operationen registrieren und entsprechend steuern.

Die Präzision der Bewegungen auf der Arbeitsseite liegt für die automatisch gesteuerten Anlagen bei ca.  $\pm 1,3$  mm; bei handbedienten kleineren Manipulatoren ist sie noch größer. Die übertragbaren Kräfte können für Geräte ohne Kraftverstärker 10 - 20 kg erreichen; für Geräte mit Servosteuerung gehen sie bis zu 50 kg; darüber hinaus gibt es "heavy duty" Manipulatoren, die Kräfte von einigen 100 kg aufbringen können. Die erwähnten Manipulatorautomaten können in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit Kräfte zwischen 10 und 35 kg übertragen.

### 3. H E R S T E L L E R

Mit der Herstellung bzw. dem Vertrieb von Manipulatoren mit Handsteuerung befassen sich in der BRD:

- Buchler & Co.
- Draht & Schrader
- Frank & Schulte
- Leybold - Hochvakuum
- MAN
- Mauler-Nukleonik
- Wälischmiller
- Weserhütte

Hersteller von elektronisch gesteuerten Manipulatoren sind u.a. Unimation Inc., Connecticut, USA und American Machine & Foundry Company.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Die Entwicklung von Manipulatoren mit Handbedienung darf als ausgereift angesehen werden. Neuere Entwicklungen gehen dahin, die mechanische Verbindung zwischen Bedienungs- und Arbeitsseite vollkommen durch elektrische Übertragung und die optische Sicht durch eine den Kopfbewegungen des Operateurs folgende Fernseheinrichtung zu ersetzen. Hierdurch erreicht man, daß die Entfernung zwischen Operateur und zu handhabendem Werkstück keinen nachteiligen Einfluß auf die Genauigkeit des Manipulierens hat.

Elektronisch gesteuerte Maschinen oder Manipulatoren (Roboter) sind gerade erst auf den Markt gekommen. Bisher dürften kaum mehr als 10 Anlagen in Betrieb sein. Mit Sicherheit sind hier entscheidende Neuentwicklungen zu erwarten.

## 5. A N W E N D U N G

Manipulatoren werden eingesetzt, wenn Gegenstände nicht direkt gehandhabt werden können. Dies ist z.B. der Fall

- bei der Handhabung radioaktiv strahlender Gegenstände
- bei der Verarbeitung toxischer und explosiver Stoffe
- bei Arbeiten in Inertgasatmosphäre  
(falls man Atemgeräte vermeiden will)
- bei Unterwasserarbeiten oder im Vakuum
- für Handhabungen in absolut keimfreier Atmosphäre

### Anwendung in der Kerntechnik

Manipulatoren sind typische Einrichtungen für die Handhabung von radioaktiv strahlenden Stoffen und Gegenständen in heißen Zellen.

Daneben werden sie in Sonderfällen direkt für Reparaturen an stark aktivierten oder radioaktiv verseuchten Anlageteilen verwendet, soweit diese nicht in heiße Zellen gebracht bzw. dekontaminiert werden können. Unter anderem werden sie auch für Handhabungen unter Wasser eingesetzt, z.B. für Brennelemente in Abklingbecken.

### Anwendung im nicht-kerntechnischen Bereich

Von Hand gesteuerte Manipulatoren (mit und ohne Kraftverstärker) finden auch im nicht-kerntechnischen Bereich Anwendung:

- bei der Montage von Explosionskörpern, z.B. Granaten und Bomben
- beim Umgang mit toxischen Stoffen, z.B. Beryllium-Oxyd, das u.a. für Raketen Verwendung findet (BeO ist ein Nervengift; Inhalation und Kontakt mit der Haut ist zu vermeiden)
- bei der Bedienung von Geräten und Anlagen unter Wasser, die möglicherweise unter Zuhilfenahme von Fernsehleinrichtungen oder Endoskopen von der Oberfläche aus gesteuert werden (zum Teil auch von

Unterwasserfahrzeugen aus, die mit Manipulatoren versehen sind).

- für Sonderfälle in der Forschung (z.B. Pharmazie, Biologie)

Die programmgesteuerten Manipulatoren haben ihren Hauptanwendungsbereich außerhalb der Kerntechnik. Sie wurden für die automatische Durchführung von sich mehrfach wiederholenden Arbeitsvorgängen aus den von Hand bedienten Manipulatoren entwickelt. Sie sind aber gleichermaßen für Tätigkeiten geeignet, die von Hand nur unter großem Kraftaufwand auszuführen oder die mit Gefahren verbunden sind:

- Beschickung von (Werkzeug-) Maschinen, wie z.B. Pressen und Gußmaschinen
- Aufeinanderfolgende Montagevorgänge
- Wiederholtes Stapeln, Sortieren, Bereitstellen und Transportieren von Teilen

## 6. AUSWIRKUNGEN

Die bisherige Anwendung mechanischer Manipulatoren in der Form, wie sie in heißen Zellen verwendet werden, ist außerhalb der Kerntechnik auf wenige Einzelfälle beschränkt. Der Einsatz von elektrisch gesteuerten Manipulatoren in Verbindung mit Programmspeichern wird allerdings Veränderungen bringen. Nach amerikanischen Veröffentlichungen sind derartige Roboter in geringen Stückzahlen bereits im Betrieb. Untersuchungen ergaben, daß neben der Schonung der menschlichen Gesundheit erhebliche Kosteneinsparungen zu erwarten sind. Die Investitionen von ca. DM 100.000,-- für die Maschine würden sich nach diesen Angaben innerhalb einer Betriebszeit von weniger als zwei Jahren amortisieren.

Weit interessanter sind die Auswirkungen auf den personellen und sozialen Bereich.

Auf der einen Seite schaffte der Einsatz von Manipulatoren einen neuartigen Berufsstand, nämlich den der Manipulatoroperateur, die über außerordentliche manuelle Geschicklichkeit verfügen müssen. Zum anderen sind programmgesteuerte Manipulatoren in der Lage, dem Menschen einfache, sich ständig wiederholende mechanische Tätigkeiten abzunehmen, die weit unter seiner Intelligenz und den Grenzen der Empfindlichkeit seiner Sinne liegen (z.B. das wiederholte Einlegen von Teilen in eine Presse).

Ein Roboter in der Art eines automatisch gesteuerten Manipulators ähnelt in seiner Arbeitsweise einer von menschlichen Händen durchgeführten Handhabung. Er ersetzt in gewisser Weise die beim Arbeiten mit Automaten noch benötigten Arbeitskräfte und bringt die Aspekte der Automation (wie Verringerung von Arbeitsplätzen, Bedarf an qualifiziertem Wartungspersonal und so weiter) noch stärker zum Ausdruck als beispielsweise die Fertigung mit automatischen Werkzeugmaschinen, wenn auch das Problem von Massenentlassungen bei Einsatz eines automatischen

Manipulators nicht auftreten dürfte, da das Gerät normalerweise nur eine Arbeitskraft je Schicht ersetzt.

Ein Roboter vermeidet arbeitspsychologische Probleme. Seine Genauigkeit ist reproduzierbar. Er bedarf keiner Erholungspausen. Menschliche Einflußfaktoren, wie z.B. persönliche Probleme und Unkonzentriertheit, die sich auf die Genauigkeit der Arbeit auswirken, können ausgeschaltet werden.



## 7. B E D E U T U N G

Manipulatoren als Fernbedienungswerkzeuge sind in erster Linie auf die Kerntechnik und einige andere Gebiete beschränkt, wo eine direkte Handhabung des Werkstoffs oder Geräts mit Schwierigkeiten oder Gefahren verbunden ist. Von elektrischen Speichern gesteuerte Manipulatoren werden vermutlich als Mehrzweckmaschinen mit beliebig abwandelbarem Programm in Zukunft große Bedeutung für die Durchführung von mehrfach sich wiederholenden Handhabungen gewinnen. Der Einsatz derartiger Roboter befindet sich erst im Anfangsstadium.

FALL-NR.: 4731.510

1. DEFINITION

1.1 KLASSE: Absperrorgane

1.2 BEZEICHNUNG: Große Schnellschlußventile,  
dargestellt am Beispiel der Schrägsitz-  
Schnellschlußventile für die Hauptdampf-  
leitungen von flüssigkeitsgekühlten  
Kernreaktoren

## 2. B E S C H R E I B U N G

Im Falle einer plötzlich auftretenden (größeren) Störung wird eine Kernenergieanlage in der Regel durch eine automatisch gesteuerte Schnellabschaltung außer Betrieb gesetzt. Dabei wird bei Reaktoren, die von einem Containment (Sicherheitshülle) umschlossen sind, u.a. der Schnellschluß der Ventile der Hauptturbinendampfleitung(en) ausgelöst. Diese Ventile sind im Verlauf der Hauptdampfleitungen so angeordnet, daß sie bei einem Schadensfall im Reaktor, durch den größere Radioaktivitäten freigesetzt werden, das Containmentinnere gegen die Umgebung abschließen. Ihnen kommt eine besondere Bedeutung zu für Reaktoranlagen, bei denen der Reaktordampf ohne Zwischenwärmetauscher direkt in die Turbine geleitet wird (Reaktor Dresden, USA; KRB, Gundremmingen).

Die Hauptanforderung an Absperrorgane für Kernenergieanlagen besteht in absoluter Funktionstüchtigkeit. Weitere Gesichtspunkte sind die Forderung nach möglichst kurzen Schließzeiten ( $\ll 3$  sec), guter Dichtigkeit und geringen Strömungsverlusten. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wurden vielseitige Entwicklungs- und Konstruktionsarbeiten durchgeführt.

Die Arbeitsweise eines Schrägsitzventils (NW 600, ND 160) für den Schnellschluß der Primärdampfleitung eines Leistungsreaktors ist nachfolgend kurz beschrieben:

Die Betätigung des Ventils erfolgt durch einen Preßluftkolbenantrieb, wobei sich auf der Kolbenunterseite eine Ölvorlage befindet, die die Aufgabe hat, die Bewegung des Ventils in Schließrichtung zu dämpfen.

Das Öffnen des Ventils geschieht ebenfalls durch Preßluft, die auf den Ölspiegel im Ölauffangbehälter wirkt.

Im Oberteil der Steuereinrichtung befindet sich ein federbelasteter Klinkmechanismus, der die Funktion hat, Kegel und Spindel in Offenstellung zu halten, damit kein unbeabsichtigtes Schließen durch das Eigengewicht dieser Teile eintreten kann.

Außerdem ist eine Verriegelungseinrichtung vorgesehen, die den Kegel in Verschlussstellung bei einem Differenzdruck von 2 atm festhalten kann.

In Schließstellung drückt der anstehende Dampfdruck das Ventil gegen den Sitz.

Die Gehäuseabdichtung nach außen erfolgt durch einen selbstdichtenden Deckelverschluß. Die Spindel ist durch eine Mehrfachstopfbüchse bzw. in einer anderen Konstruktion durch einen Faltenbalg abgedichtet.

Aus Sicherheitsgründen werden unter Umständen zwei Ventile hintereinandergeschaltet. Diese Anordnung ist analog zu der Hintereinanderschaltung von Turbinen Schnellschluß- und -regelventil bei Hochdruckturbinen und von 2 Abfangventilen nach der Zwischenüberhitzung vor dem Dampfeintritt in den Niederdruckteil.

Die Werkstoffe, die für solche Ventile verwendet werden, sind in der Regel sehr hochwertig. Die Gehäuse bestehen aus Gußstahl (z.B. GS-C 25), die mit Dampf in Berührung kommenden Teile aus stelliteierten Stählen (z.B. 1.7335 oder 1.4 119).

### 3. URHEBER, HERSTELLER

Der Urheber der hier behandelten Ventile konnte nicht ermittelt werden.

Als Hersteller wurde nur die Firma Klein Schanzlin & Becker bekannt.

Ventile ähnlicher Konstruktion stellt die Firma BBC her.

#### 4. ENTWICKLUNGSSTAND

Die Entwicklungsarbeit auf dem Gebiet der Schnellschlußventile für Kernenergieanlagen der letzten Jahre richtete sich in erster Linie auf die Verkürzung der Schließzeiten bei gleichzeitig höchster Betriebssicherheit. Schließzeiten bis herab zu 1 sec erscheinen mit Schrägsitzventilen bei weiteren konstruktiven Verbesserungen realisierbar zu sein. Mit elektrisch angetriebenen Schnellschlußradialschiebern werden Größenordnungen von  $\ll 1$  sec bereits erreicht. Doch sind diese zwar als Absperrorgane für Turbinen geeignet, offenbar aber nicht für die Verwendung als Schnellschlußventil der Primärdampfleitung am Containment.

## 5. A N W E N D U N G

Die beschriebenen Schrägsitzschnellschlußventile werden in der Kerntechnik als Schnellschlußventile für Dampfleitungen, die die Sicherheitshülle durchdringen und die mit aktivem Dampf beaufschlagt sind bzw. sein können, verwendet.

Außerhalb der Kerntechnik ergäben sich grundsätzlich Anwendungsmöglichkeiten als Schnellschlußventile für Hochdruckdampfturbinen vor den Regelstufen und vor dem Wiedereintritt des zwischenüberhitzten Dampfes in den Mitteldruckteil; außerdem unter Umständen für Sonderzwecke in der chemischen Industrie.

Der tatsächlichen Anwendung außerhalb der Kerntechnik steht aber - wie vom Hersteller betont wird - der hohe Preis dieser Armaturen entgegen, den die potentiellen Anwender aus den herkömmlichen Bereichen nicht zu zahlen gewillt sind.

## 6. AUSWIRKUNGEN

Eine Substitution von Schnellschlußventilen hergebrachter Konstruktionen erscheint unwahrscheinlich, da auf Grund des Aufwandes für Werkstoffe, Fertigungsgenauigkeit und Fehlerprüfung die Preise der behandelten Schrägsitzschnellschlußventile zu hoch sind.

Der Absatz dürfte sich damit zumindest vorläufig auf Lieferungen für die Abschieberung der Hauptdampfleitungen in kerntechnischen Anlagen beschränken.

Der Bedarf für die bis 1980 zu errichtenden flüssigkeitsgekühlten Kernreaktoren (in der Europäischen Gemeinschaft schätzungsweise 30 bis 40 mit einer durchschnittlichen Leistung von etwa 500 MWe) wird sich auf etwa 100 Stück belaufen.



## 7. B E D E U T U N G

Die Bedeutung der Großventile in der Art, wie sie in Kernenergieanlagen zum Schnellschluß der Hauptdampfleitungen flüssigkeitsgekühlter Reaktoren verwendet werden, ist zumindest zum gegenwärtigen Zeitpunkt für den nicht-nuklearen Bereich gering.



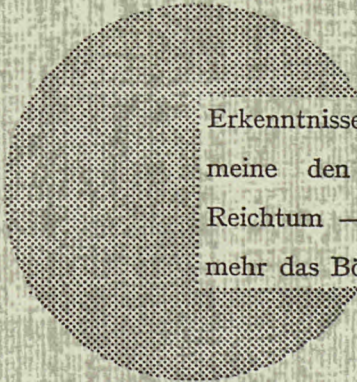
**AN UNSERE LESER**

Alle Euratom-Berichte werden nach Erscheinen in der von der Zentralstelle für Information und Dokumentation (CID) herausgegebenen Monatszeitschrift **EURATOM INFORMATION** angezeigt. Abonnements (1 Jahr : DM 60) und Probehefte sind erhältlich bei :

**Handelsblatt GmbH**  
**"Euratom Information"**  
Postfach 1102  
D-4 Düsseldorf (Deutschland)

oder

**Office de vente des publications**  
**des Communautés européennes**  
2, Place de Metz  
Luxembourg



Erkenntnisse verbreiten ist soviel wie Wohlstand verbreiten — ich meine den allgemeinen Wohlstand, nicht den individuellen Reichtum — denn mit dem Wohlstand verschwindet mehr und mehr das Böse, das uns aus dunkler Zeit vererbt ist.

Alfred Nobel

## VERTRIEBSSTELLEN

Alle Euratom-Berichte sind bei folgenden Stellen zu den auf der ersten Rückseite des Umschlags angegebenen Preisen erhältlich (bei schriftlicher Bestellung bitte die EUR-Nummer und den Titel, die beide auf der ersten Umschlagsseite jedes Bericht stehen, deutlich angeben).

### OFFICE CENTRAL DE VENTE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTES EUROPEENNES

2, place de Metz, Luxembourg (Compte chèque postal N° 191-90)

#### BELGIQUE — BELGIË

MONITEUR BELGE  
40-42, rue de Louvain - Bruxelles  
BELGISCH STAATSBLED  
Leuvenseweg 40-42, - Brussel

#### LUXEMBOURG

OFFICE CENTRAL DE VENTE  
DES PUBLICATIONS DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
9, rue Goethe - Luxembourg

#### DEUTSCHLAND

BUNDESANZEIGER  
Postfach - Köln 1

#### NEDERLAND

STAATSDRUKKERIJ  
Christoffel Plantijnstraat - Den Haag

#### FRANCE

SERVICE DE VENTE EN FRANCE  
DES PUBLICATIONS DES  
COMMUNAUTES EUROPEENNES  
26, rue Desaix - Paris 15<sup>e</sup>

#### ITALIA

LIBRERIA DELLO STATO  
Piazza G. Verdi, 10 - Roma

#### UNITED KINGDOM

H. M. STATIONERY OFFICE  
P. O. Box 569 - London S.E.1

EURATOM — C.I.D.  
51-53, rue Belliard  
Bruxelles (Belgique)

CDNA03616DEC