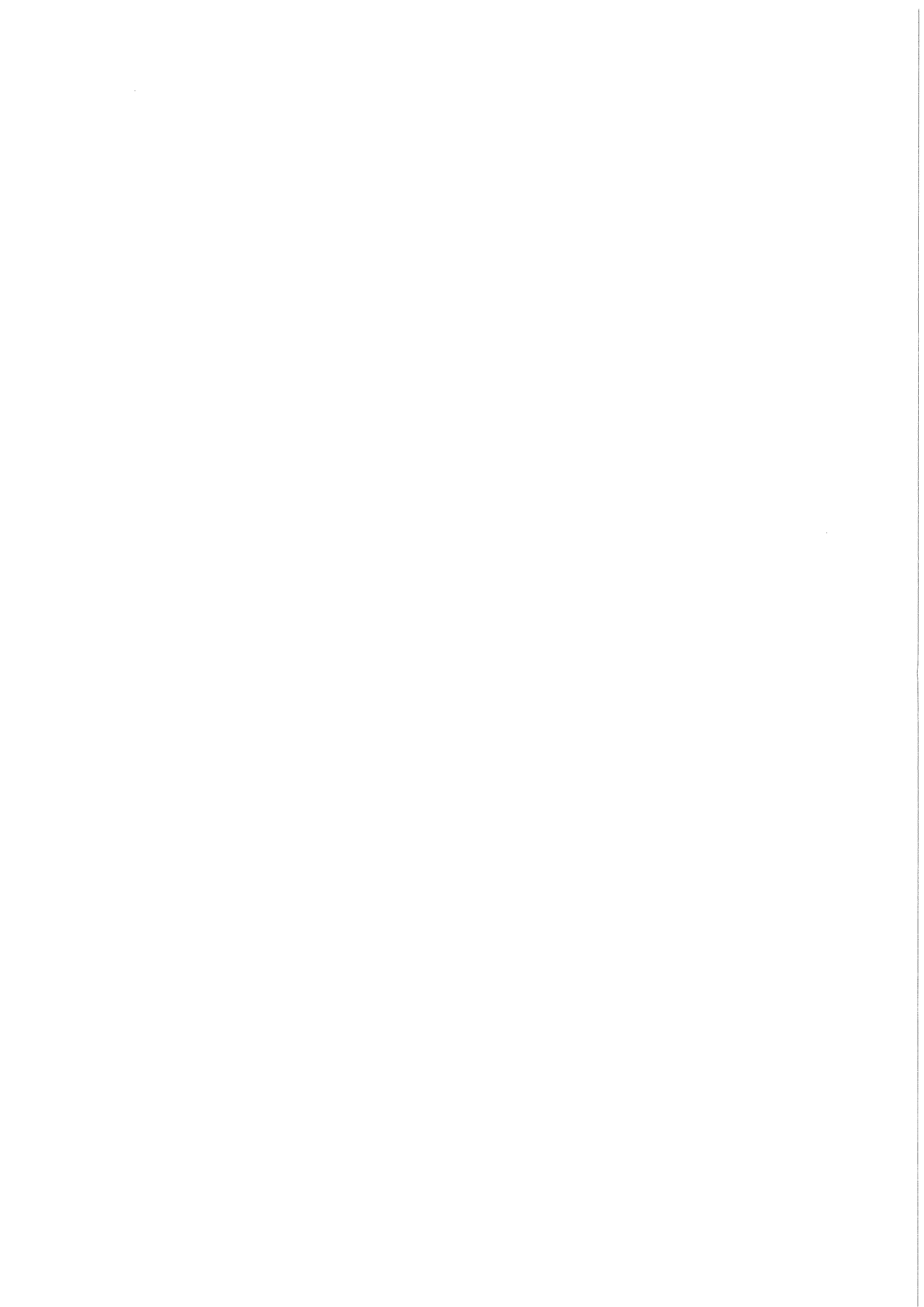


KfK 3867
März 1985

Die Abscheidung von Iod mit Iodfiltern in Kernkraftwerken bei Bränden (Literaturstudie)

V. Giraud
Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik
Projekt Nukleare Sicherheit

Kernforschungszentrum Karlsruhe



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Laboratorium für Aerosolphysik und Filtertechnik
Projekt Nukleare Sicherheit

KfK 3867

Die Abscheidung von Iod mit Iodfiltern in
Kernkraftwerken bei Bränden
(Literaturstudie)

V. Giraud

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
ISSN 0303-4003

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wird mit Mitteln des Bundesministers des Innern (Förderungszeichen: SR 302) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt beim Autor.

Die Abscheidung von Iod mit Iodfiltern in Kernkraftwerken
bei Bränden (Literaturstudie)

Kurzfassung

Brände in Kernkraftwerken können durch die Freisetzung erheblicher Mengen von gasförmigen Brandprodukten zu einer Beeinträchtigung der Rückhaltung von Radioiod mit Iodfiltern führen.

Die Brandprodukte der sich in den über Iodfilter entlüfteten Anlagenteile befindenden brennbaren Materialien - wie Isolationsmaterialien, Schmiermittel und Dekontanstriche - sind je nach Brandverlauf stark variierend. Brandproduktanalysen der genannten Materialien sind nur in nicht ausreichendem Umfang durchgeführt worden.

Die Umsetzung von Iod mit Brandprodukten sowie die Abscheidung resultierender Reaktionsprodukte durch Iodsorptionsmaterialien ist bis jetzt nicht untersucht worden. Die Reduktion der Abscheideleistung für I_2 und CH_3I durch die Beladung der Iodsorptionsmaterialien mit Brandprodukten ist nicht bekannt.

The Retention of Iodine by Iodine Filters in Nuclear Power
Plants in the Case of Fire (a Literature Review)

Abstract

Due to the liberation of considerable amounts of gaseous combustion products, fires in nuclear power plants may lead to a deterioration in the retention of radioiodine by iodine filters.

The combustion products of the burnable materials, i.e., insulations, lubricants and paints, vary considerably with the development of the fire. Combustion product analyses of these materials have been performed only to a limited extent.

The reaction of iodine with combustion products as well as the retention of the resulting iodine reaction products by sorbents have not yet been investigated.

The reduction in the removal efficiencies of iodine sorbents due to the presence of combustion products is unknown.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung	1
2. Brandhäufigkeit in Kernkraftwerken	2
3. Das brennbare Inventar eines Kernkraftwerkes	5
4. Brandprodukte relevanter Materialien	15
4.1. Kabelisolationenmaterialien	15
4.2. Schmierstoffe	23
4.3. Organische Materialien	25
5. Produkte aus Reaktionen zwischen Brandprodukten und Iod (Reaktionsprodukte)	27
6. Abscheidung von Iod mit Iodfiltern	28
6.1. Abscheidung von I_2 und CH_3I nach Ein- wirkung von Brandprodukten	28
6.2. Abscheidung von Reaktionsprodukten	29
7. Brände in Iodfiltern	30
7.1. Entzündung der Aktivkohle	31
7.2. Desorption von Iod	32
8. Brandversuche mit HEPA-Filtern	32
9. Zusammenfassung	33
10. Literatur	36

Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 1 Brände und Brandorte in Kernkraftwerken der USA	4
Tab. 2 Liste der brandschutztechnisch gefähr- lichen Stoffe	7
Tab. 3 Menge der brennbaren Materialien im Maschinen- haus des Kernkraftwerks Biblis B	12
Tab. 4 Mengen brennbarer Materialien im Kernkraft- werk Pilgrim Station 600 Unit 1 (USA) im Jahre 1977	13
Tab. 5 Übersicht über in der Kabeltechnik verwendete Polymere	17
Tab. 6 Analyse der Brandprodukte einiger Isolations- materialien (reine Polymere)	19
Tab. 7 Gasförmige Brandprodukte zweier Polyvinyl- chloride	20
Tab. 8 Brandprodukte eines auf PVC-Basis aufge- bauten Kabels	21
Tab. 9 Brandprodukte eines auf Polychloropren-Basis aufgebauten Kabels	22
Tab.10 Brandprodukte organischer Materialien	26

Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1 Orte größerer Mengen brennbarer Stoffe im Kernkraftwerk Biblis B	9
Abb. 2 Verbrennungsprozeß von Kunststoffen	16

1. Einleitung

Im Falle eines Brandes in kerntechnischen Anlagen kann die Rückhaltung von Iod mit Iodfiltern erheblich beeinträchtigt werden:

1. Eine brandbedingte Freisetzung von luftgetragendem Iod kann nicht ausgeschlossen werden;
2. durch luftgetragene Brandprodukte ist eine u.U. starke Reduzierung der Abscheideleistung zu erwarten.

Ein Lüftungstechnischer Abschluß der Brandherde ist nicht in jedem Fall möglich.

Im folgenden wird die zum Thema "Abscheidung von Iod mit Iodfiltern von Kernkraftwerken bei Bränden" gesichtete Literatur dargestellt. Hierzu wird im nächsten Kapitel die Häufigkeit von Bränden in Kernkraftwerken untersucht. Das brennbare Inventar eines Kernkraftwerkes wird in Kapitel 3 betrachtet. Der Verbrennungsprozeß und die zu erwartenden Brandprodukte werden in Kapitel 4 behandelt. Die Untersuchung der Umsetzung dieser Brandprodukte mit Iod folgt in Kapitel 5. Gegenstand des sich anschließenden Kapitels 6 ist die Abscheidung von Iod mit Iodfiltern bei Bränden. Auf Brände in Iodfiltern wird in Kapitel 7 eingegangen. Eine Zusammenstellung von mit HEPA-Filtern durchgeführten Brandversuchen, die im vorliegenden Zusammenhang von Bedeutung sein können, schließt die Literaturstudie ab.

Die Ergebnisse dieser Literaturstudie dienen als Basis für zukünftige experimentelle Untersuchungen. Im Rahmen dieser Arbeiten soll u.a. die Abscheidung von Iod durch mit Brandprodukten beladene Iodsorptionsmaterialien ermittelt werden. Die Umsetzung von Iod mit Brandprodukten sowie die Rückhaltung resultierender Reaktionsprodukte soll geklärt werden. Ziel dieses vom Bundesministerium des Innern geförderten Vorhabens SR 302 ist es, belastbare Aussagen zur Rückhaltung von Iod in Iodfiltern bei Bränden in Kernkraftwerken zu ermöglichen.

2. Brandhäufigkeit in Kernkraftwerken

Für den Zeitraum von 1955 bis 1965 beschreibt E.H. Schulz /Sc2/ weltweit 15 Brände in Kernreaktoren, von denen fünf auf Leistungsreaktoren entfallen.

Über Brände in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland ist relativ wenig bekannt. Die vom Bundesministerium des Innern berichteten "Besonderen Vorkommnisse in Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland" /Bu1-6/ enthalten einen Teil der stattgefundenen Brände. Den tabellarischen Darstellungen sind für die Jahre 1965 bis 1982 elf nicht näher spezifizierte Brandfälle zu entnehmen.

In den Betriebsdiagrammen deutscher Kernkraftwerke, die in den Jahrbüchern der Atomwirtschaft veröffentlicht werden, sind weitere drei Brände erwähnt.

1. Kernkraftwerk Würgassen, 9.3.1980:
Kleiner Brand nach Ölleckage im Turbinenbereich /Be3/;
2. Kernkraftwerk Biblis B, Juli 1977:
Schwelbrand durch in der Isolierung des Hochdruckteils der Turbine befindliches Restöl /Be4/;
3. Kernkraftwerk Lingen, 2.11.1971:
Brand am Zwischenlager I der Turbine /Be5/.

1973 gibt H. Grupp beim 4. Int. Brandschutz-Seminar "Brandschutz in Kernkraftwerken" /Gr/ an, daß ihm 18 Brandschäden für die Zeit von 1962 bis 1972 bekannt geworden sind. Die genannte Zahl bezieht sich auf Montagezeit, Inbetriebnahme und Probetrieb sowie endgültigen Betrieb. Sie teilt sich nach den verschiedenen Ländern wie folgt auf:

USA	5	Deutschland	2
Großbritannien	4	Schweden	1
Frankreich	2	Schweiz	1
Japan	2	Italien	1

Die meisten dieser Brandfälle traten im konventionellen Teil der Kernkraftwerke auf und waren im wesentlichen Öl- und/oder Kabelbrände.

In den USA werden die sich in Nuklearanlagen ereignenden Brände von den entsprechenden Versicherungsunternehmen in Zusammenarbeit mit dem Rensselaer Polytechnic Institut ausgewertet /Si/. Im Jahre 1979 lagen Angaben zu 214 Bränden, die sich in den zurückliegenden 20 Jahren ereigneten, vor. 158 der 214 Brände entfallen auf kommerziell genutzte Kernreaktoren. Etwa 25 % dieser Brände fanden während des normalen Reaktorbetriebs, die restlichen Brände während des Baus und des Probetriebs statt.

Ausführlich werden von J. Klevan et al. /K12/ 59 Brände, die sich in 34 Kernkraftwerken zwischen 1965 und 1977 ereigneten, analysiert. In sieben Fällen waren elektrische Leitungen, die in Kabelbäumen oder -schächten zusammengefaßt sind, die Brandursache. Schmierölbrände traten wesentlich häufiger auf; insgesamt wird über 13 Brände berichtet. Ursache war in jedem Fall der Kontakt von Schmieröl, das in 10 Fällen aus Lecks an Ventilen und Armaturen von Ölleitungen stammte, mit einer heißen Oberfläche. Vier weitere Brände an Dieselgeneratoren sind ebenfalls auf die Zündung von ausgeflossenem Öl an einem erhitzten Bauteil zurückzuführen.

Ferner beruhen 15 Brände auf Wasserstoffexplosionen. Brandort ist in allen Fällen die Lüftungsanlage von Siedewasserreaktoren.

Für die Zeit von Januar 1978 bis Februar 1982 sind 59 Brände in Kernkraftwerken bekannt /Du/. Nur fünf dieser 59 Brände verursachten größere Schäden (vier Transformatorenbrände, ein Brand an einem Dieselgenerator).

Zusätzliche Angaben zur Brandhäufigkeit in Leichtwasserreaktoren können Veröffentlichungen von M. Kazarians und G. Apostolakis /Ap1-2, Ka2-4/ entnommen werden. Tabelle 1 enthält die Verteilung der Brandherde von 37 Brandfällen, die sich während 337 Reaktorbetriebsjahren in Kernkraftwerken der USA ereigneten.

Die Brandhäufigkeit ergibt sich somit zu 0,11 Bränden pro Reaktorbetriebsjahr. Eine ältere Berechnung der genannten Autoren /Ka2/, bei der 15 Brände in 130 Reaktorbetriebsjahren berücksichtigt wurden, führt auf eine Brandhäufigkeit von 0,12 Bränden pro Reaktorbetriebsjahr. Eine Übereinstimmung mit der von K.N. Fleming et al. /F1/ ermittelten Brandhäufigkeit von 0,13 (49 Brände in 372 Betriebsjahren) ist gegeben. Diese grobe Abschätzung der Brandhäufigkeit in Kernkraftwerken der USA kann nur als Anhaltspunkt dienen. Eine Angabe zur Brandhäufigkeit in kanadischen Kernkraftwerken von 172 Bränden in etwa 100 Reaktorbetriebsjahren /Le/ verdeutlicht das.

Tabelle 1

Brände und Brandorte in Kernkraftwerken der USA /Ap1/

Brandort	Zahl der Brände	Zahl der zu berücksichtigenden Betriebsjahre ^{a)}
Warte	1	288,5
Rangierverteiler	2	301,3
Notstromdiesel	10	543,0
Containment	5	337
Maschinenhaus	9	295,3
Hilfsgebäude	10	303,3

a) Die unterschiedliche Zahl der Betriebsjahre ergibt sich aus der verschiedenen Anzahl der Anlagenteile in den Kernkraftwerken

Die Darstellung der vorliegenden statistischen Daten zur Brandhäufigkeit in Kernkraftwerken soll mit einer Analyse der von D.W. Moeller /Mo1-6/ veröffentlichten Berichte über Störfälle in Lüftungsanlagen von Nuklearanlagen der USA abgeschlossen werden. Für die Zeit von 1966 bis 1974 sind 13 Brände oder Explosionen in Lüftungsanlagen erfaßt /Mo1/; darunter ein Brand im Aktivkohlefilter eines Leistungsreaktors im Jahre 1972. Im Zeitraum vom 1. Januar 1975 bis 30. Juni 1978 sind 10 Brand- oder Explosionsfälle in den Lüftungsanlagen von Siedewasserreaktoren bekannt geworden (1975:2; 1976:5; 1977:2; 1978:1) /Mo3-4/. Sechs der sieben Vorfälle aus den Jahren 1975 und 1976 sind auf Wasserstoffexplosionen zurückzuführen /Mo2/. Für die Jahre 1979, 1980 und 1981 sind keine Brände oder Explosionen mehr gemeldet worden /Mo5-6/.

3. Das brennbare Inventar eines Kernkraftwerks

Wie in den meisten industriellen Anlagen finden sich auch in Kernkraftwerken brennbare Materialien in kleineren und größeren Mengen.

Die immobile Brandbelastung (d.h.: das mit dem Gebäude fest verbundene brennbare Inventar) ist als gering zu bezeichnen. Im wesentlichen sind hier brennbare Isolierungen und Anstriche, sowie Kunststoffböden zu berücksichtigen.

Die mobile Brandbelastung muß dagegen als größer betrachtet werden. Die Hauptbrandbelastung befindet sich in Form von brennbaren Flüssigkeiten in geschlossenen Systemen. Dies wären insbesondere die Schmieröl- und Hydraulikkreisläufe. Ferner sind hinzuzurechnen die Transformatorenöle, sowie die erheblichen Mengen Kabelisolationsmaterialien.

Nach den "Internationalen Richtlinien für den Brandschutz in Kernkraftwerken" /In1-2/ ist zur Ermittlung der Brandbelastung ein Inventar der auf dem Kraftwerksareal vorkommenden gefährlichen Stoffe und Waren nach ihrer Brandgefährlichkeit und Schadenanfälligkeit aufzunehmen.

Die Stoffe sind zu unterteilen in:

1. Brennbare Stoffe

- konventionelle Brenn- und Treibstoffe
- Schmierstoffe und Hydrauliköle
- Isolationsmaterialien
- Baustoffe
- Filtermaterialien
- Reinigungsmaterialien
- Farbmaterialien und Lösungsmittel
- Verpackungsmaterialien
- Organische Materialien für die Neutronenabschirmung

2. Explosive oder brennbare Gase

- Wasserstoff für die Generatorkühlung
- Wasserstoff oder Methan für die Kühlgaskonditionierung bei gasgekühlten Reaktoren
- H_2 und O_2 durch Radiolyse im Core und H_2 -Einspeisung für verbesserte Rekombinationsbedingungen
- Propan und andere Gase
- Gase für Schneide- und Schweißwerkzeuge

3. Radioaktive Stoffe in Form von geschlossenen und offenen Quellen

4. Säuren und Laugen

In Tabelle 2 sind die aus der Sicht des Brandschutzes gefährlichen Materialien nach ihrer Verwendung und ihrem Ort des Einsatzes gegliedert /En/. Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und spiegelt den Stand des Wissens von 1974 wieder.

Tabelle 2: Liste der brandschutztechnisch gefährlichen Stoffe /En/

Stoffgruppe	Stoffe	Anwendung
Schmierstoffe	Schmieröle Schmierfette	Turbogruppen, Umwälzgebläse, allgem. rotierende Maschinen, Hebewerkzeuge, Ventilatoren, Pumpen etc.
	Graphit	Umwälzpumpen
Hydrauliköle	Schmieröle, (sofern nicht spezielle, nicht brennbare synthetische Öle eingesetzt werden)	Steueraggregate und -Ventile der Turbogruppe, Brennelementwechseleinrichtungen, Schleusen, Türen, Hebe- einrichtungen, Kompaktierungsanlage etc.
Isolations- materialien	Transformatoröle	Transformatoren, Schalter, ölsolierte Leistungskabel
	PVC	Kabelisolationen
Kühlmedien	flüssiges Na	Natriumgekühlte Brutreaktoren
	organische Flüssig- keiten	Di- und Terphenyle (nur vereinzelte Reaktoren)
	gasförmige: H ₂ CO, CH ₄	- Generatorkühlung: Korrosionsinhibitor in gasgekühlten Reaktoren - Radiolyse im Primärkreislauf der Leichtwasser- reaktoren als Verunreinigungen in den Kühlmedien (CO ₂ oder Helium), z.B. durch Dampfleckage in den Primärkreislauf bei HTR (für Brandschutz von Bedeutung bei größerer Leckage und gleichzeitigem Bruch des Primärkreislaufes mit größerem Lufteintritt)
Moderator- materialien	Graphit	Gasgekühlte Reaktoren (CO ₂ oder He)
	Paraffine	vereinzelt bei besonderen thermischen Abschirmungen in Forschungsreaktoren
	deuteriertes Diphenyl	vereinzelt, wurde als kombiniertes Kühl- und Moderator- material verwendet (unbedeutend)
Schutzgase	als solche inert z. T. mit brennbaren Verunreinigungen be- lastet	- Radiolytische Gase (H ₂ ; O ₂ Knallgas) bei Leichtwasser- reaktoren - analog D ₂ , O ₂ bei Schwerwasserreaktoren - CO und CH ₄ bei Hochtemperaturreaktoren
Hüllmaterial	Brennstoffhüllen	- Magnesium Legierungen (Magnar) - Kohlenstoffbeschichtungen von HTR Brennstoffpartikel- chen (coated particles)
	Ashalt und Bitumen	Vergießen und Binden von komprimierten radioaktiven Abfällen
Filter- materialien	Papier, Aktivkohle, Ionenaustauschharze	Verseuchungsgefahr durch die adsorbierten radioaktiven Substanzen
Konventionelle Brennstoffe	Heizöl Treibstoffe	Hilfskessel Notstrom-Diesel, Fahrzeuge, tragbare Notstromgruppe
Konditionie- rungsstoffe	Wasserstoffgas	CH ₄ -Erzeugung als Graphitkorrosionsinhibitor
	Aktivatoren	chemisch aktivierte Substanzen zur Kühlgasreinigung (z.B. aktiviertes Kupfer)
Bau- und Kon- struktions- materialien	Kork	Isolationen
	Holz	u.a. temporäre Konstruktionen bei Revisionen und während des Baues ("clean conditions")
	Asphalt	Bedachungen, Feuchtigkeitsdämmungen
	Kunststoffe wie PVC etc.	Isolationsmaterialien, Bodenbeläge, Wand- und Deckenverkleidungen
diverse Stoffe	Reinigungsmittel, Farbmaterialien etc.	Werkstatt, Lager

Die Einwirkungen anlageninterner Brände in einem modernen deutschen Kernkraftwerk werden in der von der Gesellschaft für Reaktorsicherheit im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie durchgeführten "Deutschen Risikostudie Kernkraftwerke" untersucht /Ge/. Ausgangspunkt zur quantitativen Brandrisikoanalyse ist die Erfassung des brennbaren Inventars des als Referenzanlage gewählten Kernkraftwerks Biblis B (Druckwasserreaktor; elektrische Leistung: 1300 MW; Inbetriebnahme: Januar 1977). Abb. 1 verdeutlicht die Orte im genannten Kraftwerk, an denen sich größere Mengen der angegebenen, brennbaren Stoffe befinden. Die potentiellen Brandursachen der in Abb. 1 aufgeführten Reaktorgebäude werden im folgenden aufgezeigt.

A/B: Reaktorgebäude mit Ringraum

- Schmiermittelbrände, z.B. Brände durch Heißlaufen von Lagern an den Hauptkühlmittelpumpen
- Ölbrände, ausgelöst z.B. durch Leckagen an Rohrleitungen
- Brände an elektrischen Einrichtungen, z.B. Kabelisolierungen (Kurzschluß, Kabelüberlastung)
- Brände sonstiger brennbarer Stoffe, z.B. Verpackungsmaterial, Öle, Fette, Farben, Dekontanstriche, Fußbodenbeschichtungen
- Brände und Explosionen von Gasen
- Filterbrände in Lüftungstechnischen Einrichtungen

Potentielle Brandschwerpunkte sind:

- die vier Hauptkühlmittelpumpen mit ihren Ölbehälterräumen
- die stellenweise auftretenden Kabelmassierungen
- Brand von Aktivkohle- und Schwebstofffiltern

C: Reaktorhilfsanlagengebäude

- Brände von Aktivkohle- und Schwebstofffiltern
- Brände von brennbaren Harzen
- Brände im Faßlager für kontaminierte Putzwolle und Luftfilter
- Brände im Sacklager für Putzwolle und Papier
- Brände im Lagerraum für Schmutzwäsche
- Brände der Einrichtungen in Sozialräumen

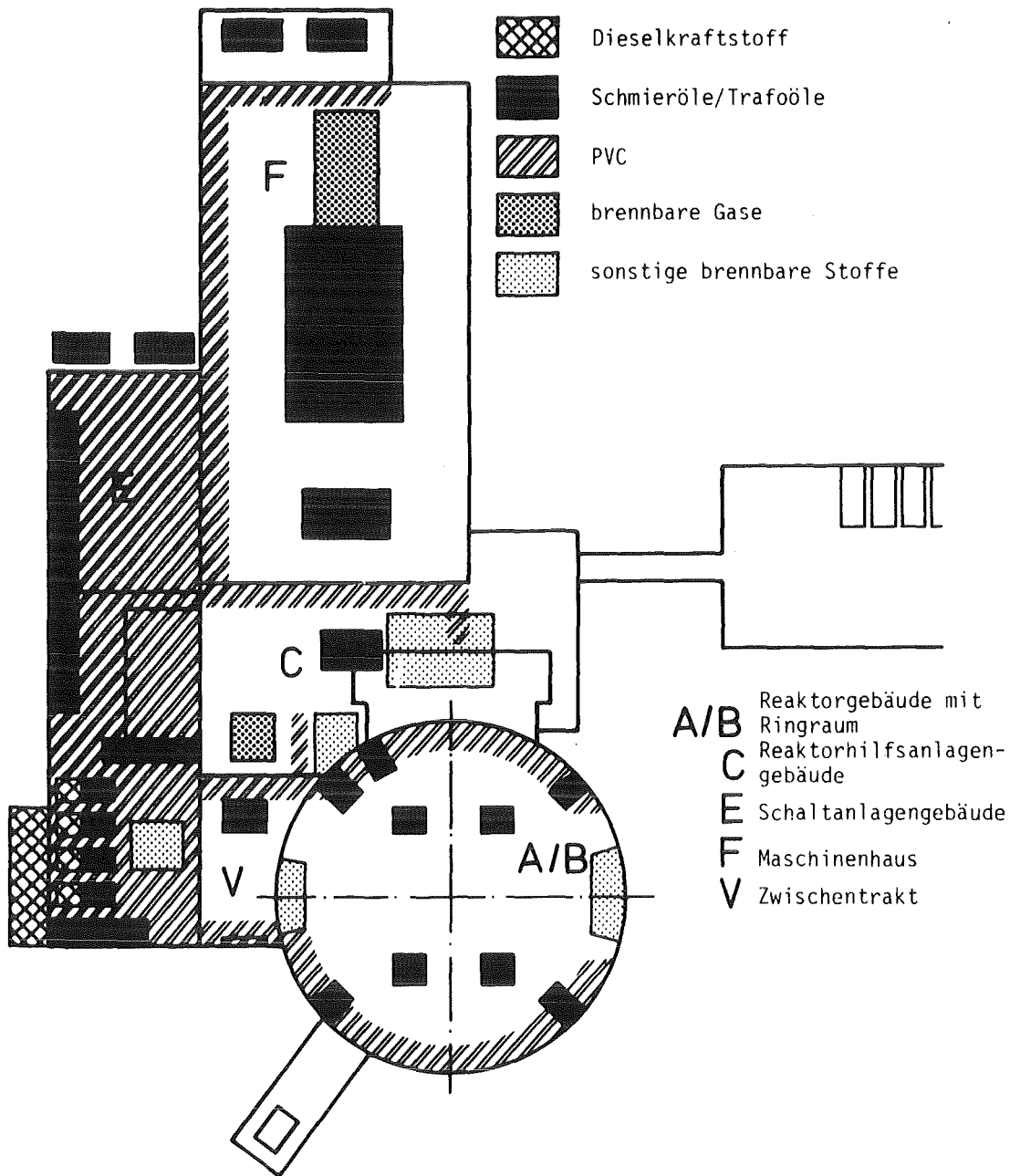


Abb. 1: Orte größerer Mengen brennbarer Stoffe im Kernkraftwerk
Biblis B /Ge/

E: Schaltanlagegebäude

- Das Schaltanlagegebäude stellt wegen der hohen Brandbelastung durch die brennbaren Isolierungen der verlegten Kabel einen potentiellen Brandschwerpunkt dar

F: Maschinenhaus

- Brand von Wasserstoff, der zur Generatorkühlung benötigt wird
- Brand der Schmier- und Hydrauliköle
- Kabelbrände

V: Zwischentrakt

- Für diesen Gebäudeteil liegen keine Angaben vor

Im Rahmen der Untersuchungen zur Auswirkung von Bränden auf die Abscheidung von Iod ist nur das brennbare Inventar der über Aktivkohlefilter belüfteten Anlagenteile zu berücksichtigen. Aus dem Lüftungsschema eines Druckwasserreaktors geht hervor, daß im Normalbetrieb die Anlagen- und Betriebsräume im Reaktorgebäude über Aktivkohlefilter entlüftet werden. Im Störfall kann zusätzlich die Ringraumabluft über Aktivkohlefilter abgegeben werden (Abb. 1: Gebäude A/B) /Wi, De1/. Zum brennbaren Inventar im Reaktorgebäude des Kernkraftwerks Biblis B liegen allerdings keine Unterlagen vor.

Im Reaktorgebäude eines in der Bundesrepublik Deutschland neu errichteten Kernkraftwerks (Druckwasserreaktor, elektrische Leistung 1300 MW) befinden sich /Ko1/:

A: Reaktorgebäude-Innenraum

- | | |
|-------------------------------|-------------|
| - Kabelisolierungen (PVC) | 10750 kg |
| - Öl | 600 kg |
| - Ölversorgung für HKM-Pumpen | 1900 kg |
| - Schmieröle | ohne Angabe |
| - Dekontanstriche | ohne Angabe |
| - Polyurethan-Schaum | ohne Angabe |
| - Aktivkohle | 1280 kg |
| - Holz | 140 kg |

B: Reaktorgebäude-Ringraum	
- Kabelisolierungen	24050 kg
- Schmieröle und -fette	760 kg
- Ölversorgung für HD-Förderpumpen	900 kg
- Dekontanstriche	ohne Angabe
- Polyurethan-Schaum	ohne Angabe
- Aktivkohle	880 kg
- Holz	120 kg

Die angegebenen Mengen an brennbaren Materialien stimmen mit den 1982 von J. Held für das Containment eines Druckwasserreaktors (ebenfalls mit einer elektrischen Leistung von 1300 MW) geschätzten Mengen überein /He1/:

- Kabelisolierungen (PVC)	ca 11000 kg
- Öl	ca 3000 kg
- Dekontanstriche	ca 40000 kg
- Aktivkohle	ca 1260 kg
- Holz (Filterrahmen)	70-140 kg

Die Brandbelastung in neu zu errichtenden Kernkraftwerken wird durch die Verwendung schwer entflammbarer Materialien verringert. Die verstärkte Anwendung von schwer brennbaren Hydraulikflüssigkeiten auf Phosphorsäureesterbasis wird angestrebt /Ko1/. Die Verwendung dieser Öle hat jedoch verschiedentlich zu Betriebsstörungen durch Bildung von Ablagerungen in den Systemen geführt, so daß ein konsequenter Einsatz dieser Mittel bisher nicht möglich war /Sp/. Im Reaktorgebäude-Innenraum werden überwiegend schwer entflammbare FRNC-Kabel (FR: flame retardent, NC: non corrosive), die nur bei vorhandenem Stützfeuer abbrennen und eine Brandfortleitung erschweren, eingesetzt werden /Ho/.

In den beiden neuesten deutschen Siedewasserreaktorblöcken wird die Abluft aus dem Sicherheitsbehälter ebenfalls kontinuierlich über Aktivkohle zur Iodabscheidung geleitet. Veröffentlichungen zum brennbaren Inventar von Siedewasserreaktoren in der Bundesrepublik Deutschland sind nicht bekannt. Anhaltspunkte kann nur das bekannte, brennbare Inventar in Druckwasserreaktoren geben. In Tabelle 3 sind die wichtigsten brennbaren Stoffe und deren Menge im Maschinenhaus des Kernkraftwerks Biblis B (Abb. 1: Gebäude F) aufgelistet /Ge/.

Tabelle 3: Menge der brennbaren Materialien im Maschinenhaus des Kernkraftwerks Biblis B /Ge/

Stoff	Menge
Kabelisolierungen (PVC)	10000 kg
Öl in den Hauptspeisewasser- und Kondensatpumpen	6850 l
Öl in den Kondensatrückspeise- und Abscheiderkondensatpumpen	2,6 l
Öl in den Nebenkondensatpumpen	6,0 l
Öl im Turbosatz, Frischölbehälter und im Ölsammelbehälter	127000 l
Getriebeöl	6,0 kg
Hydrauliköl	21,0 kg
Wasserstoff	650 m ³
Methan	90 m ³

Tabelle 4: Mengen brennbarer Materialien im Kernkraftwerk
Pilgrim Station 600 Unit 1 (USA) im Jahre 1977
(berechnet nach /Pi/)

Stoff	Menge
Kabelisolationenmaterialien	50700 kg
Schmieröle	105400 l
Schmiermittel	42500 l
Filterkohle	53500 kg
Papier	180 kg
Äthylalkohol	60 l
Propangas	60 l
Benzin	75 l
Treibstoff	6900 l
Batteriegehäuse	615 kg
Sonstiges	4550 kg

Die Mengen brennbarer Materialien eines in den USA betriebenen Siedewasserreaktors (elektrische Leistung: 652 MW, Inbetriebnahme: 1972) sind in Tabelle 4 aufgeführt /Pi/. Bei der Mengenberechnung der einzelnen brennbaren Materialien wurde die Einstufung der Stoffe in die einzelnen Brandklassen nicht berücksichtigt.

In zwei Fällen sind die bei Bränden in Kernkraftwerken zerstörten Mengen an brennbaren Materialien bekannt.

Am 22. März 1975 wurden beim Kabelbrand im Kernkraftwerk Browns Ferry Unit 1 (USA, Siedewasserreaktor, elektrische Leistung 1067 MW, kommerzielle Inbetriebnahme 1973) mehr als 1600 Kabel, die in 26 Kabelbäumen zusammengefaßt waren, zerstört. Schätzungsweise sind 2000 kg Polyvinylchlorid (PVC) verbrannt, wobei etwa 700 kg Chlorwasserstoff freigesetzt wurden /He1, Pr/.

Die Kabel bestanden aus folgenden Materialien /Sa/:

1. Isolationsmaterialien

- Polyethylen
- nylonbeschichtetes Gummiband
- vernetztes Polyethylen
- Strahlungspolymerisate aus Polyolefinen und Polyethylen

2. Kabelmantelmaterialien

- Nylon
- Polyvinylchlorid
- Hochdruck-Polyethylen
- Polyvinyl
- Aluminiumfolie
- chlorsulfoniertes Polyethylen
- glasfaserverstärktes Silikonband
- Neopren
- vernetztes Polyethylen

Mindestens 8000 l Öl und 3000 kg Polyvinylchlorid /Gr, Lu1-2, Ch/ verbrannten beim Turbinenölbrand im Kernkraftwerk Mühleberg

(Schweiz, Siedewasserreaktor, elektrische Leistung: 306 MW, kommerzielle Inbetriebnahme: 1973) während des Probetriebs am 28. Juli 1971.

4. Brandprodukte relevanter Materialien

Beim Erhitzen brennbarer Materialien entstehende Stoffe (thermische Zersetzungsprodukte) und deren Reaktionsprodukte mit Sauerstoff (thermisch-oxidative Zersetzungsprodukte) werden als Brandprodukte bezeichnet. Bei der Untersuchung der Brandprodukte ist die Vielfalt der bei Verbrennungsprozessen auftretenden Reaktionsbedingungen zu berücksichtigen.

Durch eine Zündquelle wird ein brennbares Material zum Entflammen gebracht. Im Flammenbereich tritt, je nach Luftzufuhr weitgehend die Verbrennung zu den energieärmsten Produkten Kohlendioxid und Wasser ein. Bei Luftmangel bildet sich in zunehmendem Maß Kohlenmonoxid.

Durch Wärmeleitung, Konvektion und Strahlung wird die Umgebung der Flammenzone erwärmt. Die so erhitzten Bereiche durchlaufen alle Temperaturen bis zur Entzündungstemperatur. Sind diese erwärmten Bereiche den Brandgasen unmittelbar ausgesetzt, so beginnt die thermische Zersetzung unter mehr oder weniger reduzierter Sauerstoffzufuhr. Dieser Vorgang schreitet fort, bis alle Oberflächen brennen /Ba2/. Abb. 2 stellt schematisch den Verbrennungsprozeß eines Kunststoffes dar /Tr/.

4.1. Kabelisolationmaterialien

Zur Isolierung von elektrischen Kabeln und Leitungen, im folgenden Kabel genannt, dienen synthetische Werkstoffe und Naturkautschuk, sowie ölgetränktes Papier.

Tabelle 5 gibt eine Übersicht über die in der Kabeltechnik im Kraftwerksbereich verwendeten Polymere. Zusätzlich werden Stabilisatoren, Antioxidations-, Plastifizier- und Flammschutzmittel den Isolationmaterialien zugemischt.

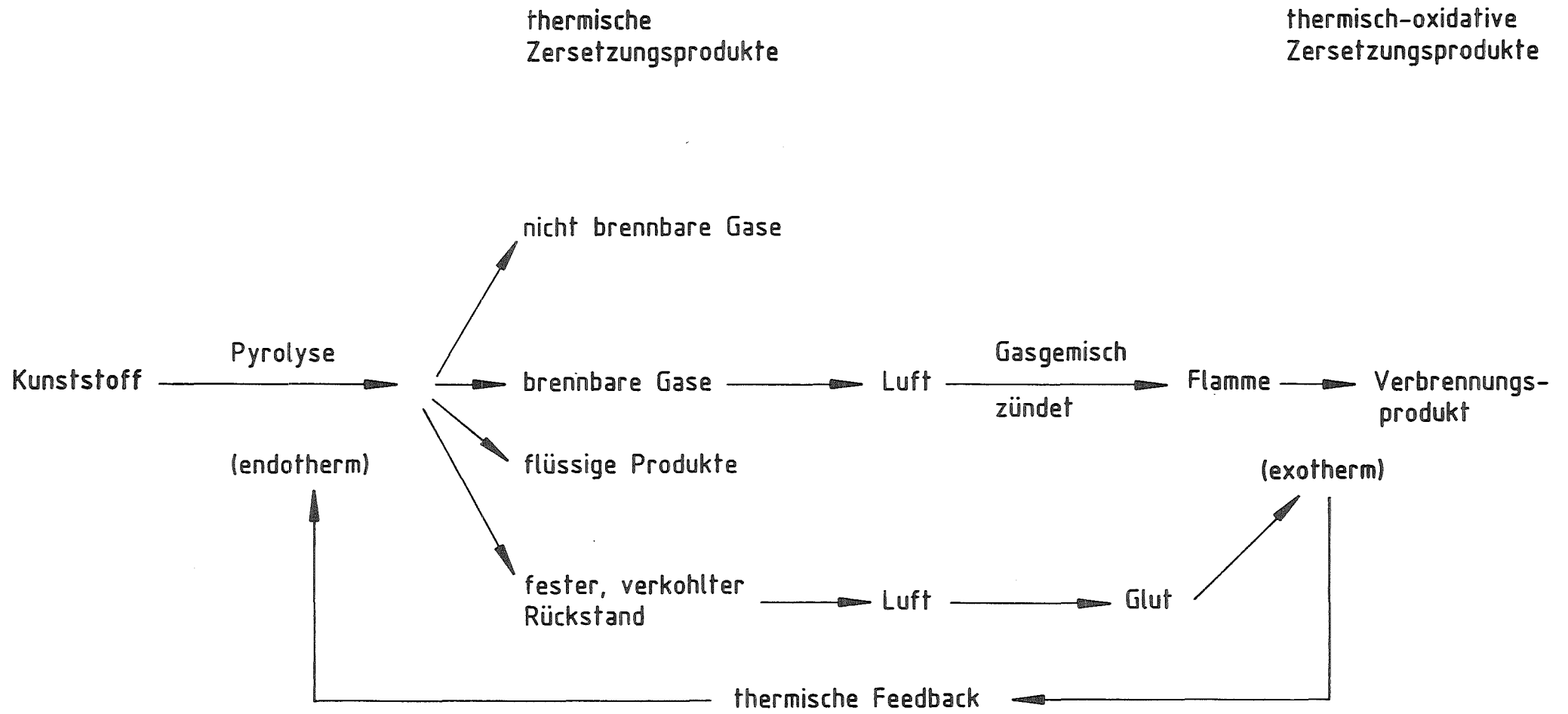


Abb. 2: Verbrennungsprozeß von Kunststoffen /Tr/

Tabelle 5: Übersicht über in der Kabeltechnik verwendete
Polymere /He2/

	Plastomere	Werkstoffe im Übergangsbereich	Elastomere
Homopolymere	Polyethylen Polyvinylchlorid b) c)		vernetztes Polyethylen Polychloropren d) chlorsulfoniertes Polyethylen
Copolymerere	Polyamid	Ethylen- a) Vinylacetat Polyurethan	Silikonkautschuk a) Ethylen-Propylen- a) Kautschuk Ethylen-Propylen- a) Terpolymer- Kautschuk Butylkautschuk Styrol-Butadien a) Kautschuk Nitrilkautschuk

- a) Brandprodukte des reinen Polymeren in Tabelle 6
- b) Brandprodukte des reinen Polymeren in Tabelle 7
- c) Brandprodukte eines Kabels auf PVC-Basis in Tabelle 8
- d) Brandprodukte eines Kabels auf CR-Basis in Tabelle 9

In Tabelle 6 sind Analysenergebnisse der Brandprodukte einiger in Tabelle 5 genannter Polymere bezüglich CO, CO₂, HCN, HCl, Monostyrol und Vinylchlorid (bzw. C=C-Doppelbindung) aufgeführt /Ei/. Zur Verbrennung der Materialien wurde die Methode nach DIN 53 436 "Erzeugung thermischer Zersetzungsprodukte von Werkstoffen unter Luftzufuhr und ihre toxikologische Prüfung" /Di/ verwendet.

Mehr als 50 flüchtige Brandprodukte identifizierten E.A. Boettner et al. /Bo1-2/ bei der Zersetzung von Polyvinylchlorid, das in Kernkraftwerken in großen Mengen als Basismaterial für Kabelisolationen verwendet wird. Der Verlauf des thermischen Abbaus von PVC hängt einerseits vom Polymeren selbst (Reinheit, Herstellungsverfahren), andererseits von den während des Abbaus herrschenden Bedingungen ab. Tabelle 7 veranschaulicht die Variation der Brandprodukte für zwei unter identischen Bedingungen verbrannte Polyvinylchloride (Temperaturbereich 200 bis 600 °C; Temperaturerhöhung 3 °C/min). Aufgeführt sind die sieben Hauptzersetzungsprodukte, die restlichen Brandprodukte sind im wesentlichen gesättigte und ungesättigte Kohlenwasserstoffe. Der Tabelle ist zu entnehmen, daß bei Bränden von Polyvinylchloriden mindestens 50 Gew.% Chlorwasserstoff abgespalten werden.

Analysen der bei Kabelbränden entstehenden Brandprodukte wurden im Rahmen des Programms "Fire Protection Research for Energy Technology Projects" im Lawrence Livermore National Laboratory (USA) durchgeführt /Ha2/.

Kabel auf PVC-Basis spalten mit steigender Temperatur unterhalb von 200 °C Chlorwasserstoff und die Zersetzungsprodukte des Plastifizierstoffs Dioctylphtalat ab. Bei höherer Temperatur beginnen die vernetzten Polymerketten aufzubrechen. Zersetzungsprodukte sind eine Vielzahl heteroatomarer organischer Verbindungen. Die verbleibende Asche enthält die Zersetzungsprodukte der Flammenschutzmittel. Tabelle 8 gibt exemplarisch die Brandprodukte für ein PVC-Kabel wieder. Aufgenommen sind weiter der Flammpunkt die Zündtemperatur, der Siedepunkt sowie Angaben zur Wasserlöslichkeit.

Tabelle 6: Analyse der Brandprodukte einiger Isolationsmaterialien
(reine Polymere) /Ei/

Material	CO Vol.%	CO ₂ Vol.%	HCN ppm	HCl ppm	Mono- styrol ppm	Vinylchlorid C=C-Doppelbindung ppm
Ethylen-Vinylacetat	0,6		2	- a)	Sp ^{b)}	1500
Silikonkautschuk Methyltyp	0,015		Sp	-	Sp	-
Phenyltyp	0,023		Sp	-	Sp	Sp
	0,009		Sp	-	Sp	Sp
	0,009		Sp	-	Sp	Sp
gemischter Typ	0,021	0,20	2	-	10	-
Ethylen-Propylen- Kautschuk	3,0	2	5	-	Sp	1500
Ethylen-Propylen- Terpolymer- Kautschuk	0,75		5	-	Sp	3000
Styrol-Butadien- Kautschuk	0,1		2	-	400	1500

a) -: Analyse durchgeführt; Konzentration unterhalb der Nachweisgrenze

b) Sp: Spuren

Tabelle 7: Gasförmige Brandprodukte zweier Polyvinylchloride
/Bo1/

PVC 1: Homopolymer; Molekulargewicht: 111 000;
Körnung: 80 mesh

PVC 2: Copolymer (85 % Vinylchlorid und 15 % Vinylacetat);
Molekulargewicht: 55 000; Körnung: 100 mesh

	PVC 1	PVC 2
Abbauprodukt	mg/g a)	mg/g a)
HCl	583	500
Essigsäure	-	96
CO ₂	729	923
CO	442	292
Benzol	36	28
Methan	4,6	4,4
Ethan	2,2	2,3

a) Die Brandprodukte wurden in mg Zersetzungsprodukt pro g Polymer bestimmt.

Tabelle 8: Brandprodukte eines auf PVC-Basis aufgebauten Kabels /Ha2/

Brandprodukt	Flamm- punkt °C	a)	Zündtem- peratur °C	b)	Siede- punkt °C	Wasserlös- lichkeit
3-Chlordecan						
2,6-di-T-butyl- 1,4-benzochinon						
Methylhexadeca- noat						
1-Hexacosen						
Laurinsäure					225	nicht
n-Oktadecano- nitril						
Hysterinsäure					251	nicht
Decansäure					270	
Ölsäure	189		363		286	
Stearinsäure						
Palmitinsäure					215	nicht
Diethylphatalat	215		390			nicht
1,7-Octadien						
1-Methoxy-4- methyl-benzo- triazol						
Benzol	-12		498		80	nicht
Octadecanol			450		210	nicht
Stearinsäure- methylester						
n-Butylthio- cyclohexan						
2-Methyl- carbazol						
1-Nonadecen						
Phenanthren	171				340	nicht
Fluorenon					342	nicht
2-Methylphe- nanthren						

a) Flammpunkt: Die niedrigste Temperatur einer Flüssigkeit, bei der sich unter festgelegten Bedingungen Dämpfe in solcher Menge entwickeln, daß sich über dem Flüssigkeitsspiegel ein durch Fremdzündung entflammables Dampf-Luft-Gemisch bildet /Ga3, Lu3/.

Tabelle 9: Brandprodukte eines auf Polychloropren-Basis aufgebauten Kabels /Ha2/

Brandprodukt	Flamm- punkt °C	a)	Zündtem- peratur °C	b)	Siede- punkt °C	Wasserlös- lichkeit
2,3,4,5-Tetramethyl- hexa-1,4-dien						
3-Benzyliden -1,4,4- trimethyl bicyclo (3,2,0) heptan-2-on						
1,1,5,5-Tetramethyl-4 acetyl-5-hydrindacen						
3,3,5,5-Tetramethyl- 1,7,5-hydrindacendion						
1, Methyl-7-Isopro- pylphenanthren						
Dioctylphthalat	215		390			nicht
7-Hydroxy-5,6- Benznorbornen						
Bicycloheptatrien						
2,2'-Dimethylbiphenyl						
1,2-Diphenylethylen						
4-Methylfluoren						
Phenanthren	171				340	nicht
4-Methylphenanthren						
2-Methylanthracen						
2,4,5,7-Tetramethyl- phenanthren						
Di-(2-Ethylhexyl) phthalat	215		390		231	nicht
Pyren					393	nicht

b) Zündtemperatur: Niedrigste Temperatur eines brennbaren Stoffes, bei der sich der Stoff von selbst entzündet.

Ebenso spalten Kabel auf Neopren-, Polychloropren- oder chlor-sulfonierter Polyethylen-Basis zu Beginn der thermischen Zersetzung beträchtliche Mengen Chlorwasserstoff ab. Die sich während und nach der Chlorwasserstoffabspaltung entwickelnden Brandprodukte sind für ein auf Polychloropren-Basis aufgebautes Kabel in Tabelle 9 aufgeführt.

Im Brandverhalten gegenüber PVC-Kabeln wesentlich verbesserte halogenfreie Kabel werden als FRNC-Kabel (FR: flame retardent, NC: non corrosive) bezeichnet /Ja/. Die Möglichkeiten der chemischen Zusammensetzung dieser Isolationsmaterialien sind sehr vielfältig und je nach Einzelfall unterschiedlich. Als Ausgangsmaterial werden z. B. Ethylen-Vinylacetat oder Ethylen-Propylen-Kautschuk verwendet /Br1/. Neben den bei der Verbrennung von Kohlenwasserstoffen auftretenden Brandprodukten können organische Säuren, wie Acrylsäure oder Essigsäure entstehen.

Eine Vorhersage der bei Kabelbränden in Kernkraftwerken entstehenden Brandprodukte ist aufgrund der Fülle der verwendeten Isolationsmaterialien und der verschiedenen Brandbedingungen nur bedingt möglich. Anhaltspunkte geben die Tabellen 6 bis 9.

4.2 Schmierstoffe

Der Begriff Schmierstoffe umfaßt strenggenommen nur Produkte, die für die Schmierung gleitender oder rollender Elemente verwendet werden. Den Schmierstoffen werden jedoch auch Produkte zugeordnet, die diesen in Zusammensetzung, Herstellung und Eigenschaften ähneln, aber für andere Zwecke dienen. Unter dem Begriff Schmierstoffe werden somit artverwandte Produkte, die überwiegend aus Mineralöl bestehen oder voll- oder teilsynthetisch sind und zur Schmierung, aber auch zur Kraftübertragung dienen, zusammengefaßt.

Grundmaterial der mineralischen Schmieröle ist ein Gemisch der unterschiedlichsten chemischen Verbindungen /K11/. Synthetische Produkte werden aus einheitlich aufgebauten, definierten

Verbindungen durch eine chemische Reaktion hergestellt. Als Grundbestandteil synthetischer Schmierstoffe werden verwendet /Sc1/:

- Phosphorsäureester
- Polyphenyläther
- synthetische Kohlenwasserstoffe
- Polyglykole
- Dicarbonsäure- und Polyester
- Silikone.

Schmieröle auf der Basis von Phosphorsäureestern sind schwer entflammbar (Zündtemperatur: ca. 600 °C). Sie werden in Regel- und Umlaufsystemen von Turbinen, in Hydraulikanlagen und Gasverdichtern eingesetzt.

Polyphenyläther sind Basismaterial strahlenbeständiger Hochtemperaturschmierfette in Kernenergieanlagen. Angewandt werden sie für unter Strahleneinwirkung stehende Fettschmierstellen wie z.B. Regelstabantriebe, Lade- und Beschickungsmaschinen, Primärpumpen und -gebläse sowie Ventile.

Brandproduktanalysen von Schmiermitteln sind nicht bekannt. Bei Mineralölbränden treten neben den Hauptbrandprodukten Kohlendioxid und Kohlenmonoxid als auch Wasser noch in geringen Anteilen nitrose Gase und Schwefeldioxid auf. Ferner sind flüchtige, aber unverbrannte Schmiermittelbestandteile zu berücksichtigen.

Brandversuche an Heizölen, die mit hohem Luftüberschuß durchgeführt wurden, ergaben, daß mehr als 10 % des Heizöls nicht verbrannte /Ma1/. Etwa 30 organische Verbindungen aus den Gruppen der Alkane, Alkene, Naphtene und Aromaten konnten nachgewiesen werden /Ba1/.

Bei Bränden von Phosphorsäureestern entsteht ein dichter weißer Qualm von Phosphorpentoxid /Ka1/.

4.3 Organische Materialien

Diese Gruppe umfaßt Materialien der verschiedensten Verwendungszwecke. Polyurethanschaum wird als Isolationsmaterial z.B. bei Wasserleitungen benutzt. Dekontanstriche sind schwer entflammbar, auf Epoxidharz-Basis aufgebaute Wandbeschichtungen. Holz wird in kleineren Mengen als Filterrahmen benutzt.

Die vollständige Verbrennung organischer Stoffe führt zu den energieärmsten Endprodukten der vollständigen Oxidation. Läuft die Verbrennung unvollständig ab, so ist mit Produkten zu rechnen, die aus erhitzten, aber noch nicht glimmenden oder brennenden Zonen stammen. In Tabelle 10 sind die Brandprodukte organischer Materialien aufgelistet. Angaben zu den Abbaumechanismen, sowie zur Art und Menge der Brandprodukte wurden von B. Doležel /Do/ sowie J. Troitzsch /Tr/ zusammengestellt.

Tabelle 10: Brandprodukte organischer Materialien /Ru/

Ausgangsmaterial	Brandprodukt
Polyurethane	nach Typ weit variierend; Cyanate, Isocyanate, Amine, Blausäure
Epoxy- und Melaminharze	nach Typ und Füller weit variierend; NH_3 , Amine, H_2O , Formaldehyd, HCN , CO_2 , CO^{20}
Polyamide	NH_3 , Amine, CO , CO_2 , H_2O
Polyolefine	CO , CO_2 , H_2O , Kohlenwasserstoffe ² , niedere Säuren
Polystyrol (halogenfrei)	Mono-, Di-, Tri-, und Tetrastyrol, Ethylbenzol, höhere Aromaten, CO , CO_2 , H_2O , Ruß
Polyvinylchlorid (weichmacherfrei)	HCl , CO , CO_2 , H_2O , Ruß, Phosgen, Chlorkohlenwasserstoffe, Chlor
Polyvinylchlorid (weichgemacht)	wie vorstehend, zusätzlich Abbau- produkte des Weichmachers
Polymethacrylsäureester (halogenfrei)	Monomerer Methacrylsäureester und gesättigte Ester, CO , CO_2 , H_2O
Polyacrylnitril	Acrylnitril, NH_3 , H_2O , CO , CO_2 , höher siedende Stickstoff- verbindungen
Phenolharze	Formaldehyd, Ameisensäure, Phenol, CO , CO_2 , H_2O
Polyester (ungesättigt, styrolvernetzt, halo- genfrei)	Styrol, niedere Styrolpolymere CO , CO_2 , H_2O
Holz	CO , CO_2 , H_2O , Methylalkohol, Formaldehyd, Ameisensäure, Essigsäure, Kohlenwasserstoffe

5. Produkte aus Reaktionen zwischen Brandprodukten und Iod^{a)} (Reaktionsprodukte)

Untersuchungen zur Umsetzung von Iod mit Brandprodukten wurden bis jetzt nicht vorgenommen.

Gasphasenreaktionen von Iod mit organischen oder anorganischen Verbindungen sind nur in geringem Umfang Gegenstand analytischer Arbeiten gewesen. 1965 wurden von W.E. Browning et al. /Br2/ Vorversuche zur Umsetzung von Iod mit organischen Verbindungen in der Gasphase durchgeführt. Ioddämpfe wurden bei 24 °C in trockener Luft 12 - 15 sec mit folgenden Substanzen umgesetzt:

1. einer Mischung aus Schmieröl-, Isolationsmaterial- und Lackdämpfen;
2. Dioctylphtalat.

Etwa 10 % des elementaren Iods (I_2) reagierten unter den genannten Bedingungen; Methyljodid (CH_3I) wurde nicht umgesetzt. Chemische Analysen der Reaktionsprodukte liegen zum Zeitpunkt der Veröffentlichung nicht vor.

Die Reaktion von Iod an heißen Eisenoxidoberflächen führt in Gegenwart von Wasserstoff und Wasserdampf zu Spuren von CH_3I und HI sowie zu einer nicht charakterisierten Verbindung /Br2/. R.L. Bennett et al. untersuchten die Reaktionen von elementarem Iod mit verschiedenen Anstrichmaterialien in Abhängigkeit von Temperatur, Feuchte und Wasserstoffgehalt der umgebenden Atmosphäre und Alterung des Farbanstrichs /Be1/. Endprodukte der Reaktion waren Methyljodid und höhere Alkyljodide.

Physikalisch-chemische Untersuchungen zur Kinetik von Iod mit gasförmigen Reaktionspartnern können zur Beantwortung des Problems "Reaktion von Iod mit Brandprodukten" nur in geringem Umfang hinzugezogen werden /vgl. z.B. /Cl,Wa/). Die in diesen

^{a)} Unter dem Begriff Iod werden elementares Iod (I_2) sowie organische und anorganische Iodverbindungen zusammengefaßt.

Untersuchungen eingestellten Reaktionsbedingungen sind nur bedingt auf die bei Bränden herrschenden Verhältnisse übertragbar.

Veröffentlichungen zur Iodchemie können folgenden Literaturstudien entnommen werden:

Beim "Workshop on Iodine Releases in Reactor Accidents" stellten M.E. Meck und G. White eine Literaturliste zur Iodchemie bei Reaktorunfällen mit etwa 180 Literaturzitate zusammen /Me/. J.M. Vinson legt bei der genannten Veranstaltung eine Liste von 247 Literaturstellen vor /Vi/. Allerdings nennt J.M. Vinson nicht die Titel der Veröffentlichungen, sondern nur die Fundstellen. Beide Listen enthalten Veröffentlichungen bis zum Jahre 1980.

Eine Literaturstudie zur Markierung organischer Verbindungen mit Radioiod wurde von M. Argentini /Ar/ verfaßt. Reaktionen in der Gasphase werden in einem kurzen Kapitel behandelt. Die vorliegenden Literaturstudien enthalten keine Hinweise über zur Umsetzung von Iod mit Brandprodukten relevante Arbeiten.

6. Abscheidung von Iod mit Iodfiltern

6.1. Abscheidung von I_2 und CH_3I nach Einwirkung von Brandprodukten

Der Einfluß der Beladung von Aktivkohlefiltern mit Brandprodukten auf die Abscheidung von I_2 und CH_3I ist nicht bekannt.

Die Vergiftung bzw. Alterung imprägnierter Aktivkohle ist im wesentlichen auf vier Gründe zurückzuführen /Ko5-6/:

1. die Beladung mit säurebildenden Gasen,
2. die Beladung mit organischen Lösungsmitteln,
3. die Bildung organischer Säuren auf der Kohlenoberfläche,

4. die Bildung von SO_2 aus dem in manchen Kohlen enthaltenen Schwefel.

Bei einer Beladung der Filter mit Brandgasen sollten vor allem die Punkte 1 und 2 als Vergiftungsursache mit in Betracht gezogen werden.

Durch die Reaktion von säurebildenden Gasen (NO , NO_2 , SO_2) mit der Imprägnierung der Kohle kann der Abscheidegrad herabgesetzt werden. Bekannt ist die Reaktion von NO_x mit Triamin-Imprägnierungen, sowie von SO_2 mit KI-Imprägnierungen /Ko4/. Im Falle eines PVC-Kabelbrandes könnte die mögliche Reaktion von HCl mit KI-Imprägnierungen das Abscheideverhalten beeinflussen.

Die Beladung von Aktivkohle mit Lösungsmitteldämpfen führte zu einem Absinken des Abscheidegrades der Iodfilter in einem neu in Betrieb genommenen Kernkraftwerk. Laborversuche an imprägnierten Aktivkohlen ergaben, daß bereits eine Beladung in Höhe von 5 % des Kohletrockengewichts zu einem Absinken des Abscheidegrads für CH_3I von 99,99 % auf 99 % führt /Fu/. Ein entsprechendes Verhalten ist bei der Beladung der Aktivkohle mit organischen Brandprodukten zu erwarten.

6.2. Abscheidung von Reaktionsprodukten

Die Abscheidung der durch die Reaktion von Iod mit Brandprodukten entstehenden Reaktionsprodukte ist noch nicht untersucht worden.

7. Brände in Iodfiltern

Die Rückhaltung von Iod durch Iodfilter kann nicht nur durch die Beladung der Aktivkohle mit Brandprodukten, sondern auch durch den Brand der Filterkohle selbst beeinträchtigt werden.

Einzelheiten über Brände in Aktivkohlefiltern sind in vier Fällen bekannt. Ein Kurzschluß im elektrischen Heizer des Iodfilters war die Ursache für den Brand im Kernkraftwerk Monticello (USA, Siedewasserreaktor, elektrische Leistung: 536 MW, Inbetriebnahme 1971) /K12/ sowie für den Brand in einem nicht genannten Siedewasserreaktor (USA) im Jahre 1972 /Mo1, Re/.

Als Ursache für den Temperaturanstieg auf etwa 60 °C in mehreren Filterbetten (in einem Filterbett betrug die Spitztemperatur 518 °C) der Abluftanlage des Kernkraftwerks Browns Ferry Unit 3 (USA, Siedewasserreaktor, elektrische Leistung 1065 MW, Inbetriebnahme 1977) am 17. Juli 1977 wird die Explosion eines Wasserstoff-Luft-Gemischs und eine daraus resultierende Entzündung der Filterkohle angenommen /Ma2, Cr/. Während des Brandes wurde eine erhöhte Radioaktivitätsabgabe nach außen nicht festgestellt. Eine Überprüfung der Kohle nach dem Brand ergab keine Veränderung bezüglich Körnung, Flammpunkt, Zündtemperatur, Feuchtigkeits- und Aschegehalt.

1958 ereignete sich ein ähnlich verlaufender Vorfall in der Lüftungsanlage des HRT (Homogeneous Reactor Test) im Oak Ridge National Laboratory /Br3/.

Experimentelle Untersuchungen zu Bränden in Iodfiltern sollten zwei Fragestellungen berücksichtigen:

1. Unter welchen Bedingungen tritt eine Entzündung der Aktivkohle ein?
2. Welche Iodmengen können durch einen Brand freigesetzt werden?

7.1. Entzündung der Aktivkohle

Wird Aktivkohle über die Zündtemperatur hinaus erhitzt, so tritt deren Entzündung ein. Die Zündtemperatur ist kein Charakteristikum der Aktivkohle allein, sondern wird vom Gesamtsystem Aktivkohle, Beladung der Aktivkohle, Gasstrom und dessen Zusammensetzung bestimmt.

Das American National Standard Institute (ANSI) verlangt, daß die Zündtemperatur frischer Kohle unter definierten Bedingungen (Testverfahren: ANSI/ASTM-D-3466-76 /An1/) über $330\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt (ANSI/ASME N509-1980 /An2/). Die Zündtemperatur sinkt mit steigender Bettiefe, sinkender Strömungsgeschwindigkeit und bei Vergiftung bzw. Alterung /Fr, Mi, Ko2-3/.

Der Einfluß der Strömungsgeschwindigkeit und der Lösungsmittelbeladung auf die Zündtemperatur der nichtimprägnierten Kohle 207B, sowie der imprägnierten Kohlen 207B (KI) und 207B (TEDA) wurde von J.S. Hardman et al. untersucht /Ha1/.

Die Zündtemperatur der Kohle 207B von etwa $450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ändert sich für Strömungsgeschwindigkeiten zwischen 10 und 120 cmsec^{-1} nicht. Für Strömungsgeschwindigkeiten bis 85 cmsec^{-1} schwankt die Zündtemperatur der Kohle 207B (KI) zwischen 430 und $445\text{ }^{\circ}\text{C}$. Die Kohle 207B (TEDA) weist ein komplexeres Verhalten auf. Unterhalb der Strömungsgeschwindigkeit von 17 cmsec^{-1} liegt die Zündtemperatur bei $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, oberhalb bei etwa $500\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Die Beladung der Kohlen 207B und 207B (KI) mit bis zu 10% Schmierölen beeinflusst die Zündtemperatur wenig (getestet unter Standardbedingungen). Eine höhere Beladung führt zu einem starken Absinken der Zündtemperatur.

Als wärmeliefernde Prozesse, die zu einer Erhitzung der Kohle und somit zum Brand führen könnten, kommen neben einem Wärmeeintrag von außen in Betracht:

1. Wärmeentwicklung durch den radioaktiven Zerfall absorbierten Iods;

2. Oxidation der Kohle;
3. Selbstentzündung absorbiertes, brennbarer Gase und Dämpfe.

Experimente sowie Rechnungen zeigen, daß nur bei einem Störfall nach der Absorption große Mengen Iods (z.B. 25 % des Gesamtinventars) bei reduzierter Ventilation eine Entzündung der Aktivkohle nach Punkt 1 in Verbindung mit Punkt 2 möglich wäre /Lo, Sh, Be2/.

7.2. Desorption von Iod

Im Verlauf eines Filterbrandes ist mit der Desorption von Iod und der Verringerung der Abscheideleistung der Aktivkohle zu rechnen. Die aufgrund der Temperaturerhöhung freigesetzte Menge Iod hängt von der Art der Kohle, deren Imprägnierung und Beladung ab. Äußere Parameter, die das Verhalten der Kohle bei höheren Temperaturen beeinflussen, sind insbesondere die Alterungszeit und die Nachströmzeit (Spülzeit) (vgl. hierzu /De2, Wi/).

Weitere Aspekte des Themas "Brand in Iodfiltern" sind experimentell nicht untersucht worden. Insbesondere bleibt die Frage nach einer geeigneten Methode zum Löschen eines Filterbrandes offen. Systematische Untersuchungen hierzu liegen nur in geringem Umfang vor /Mu/.

8. Brandversuche mit HEPA-Filtern

Der Einfluß der Beladung von HEPA-Filtern mit Brandaerosolen auf das Rückhaltevermögen von Schwebstoffen ist Gegenstand von Brandversuchen, die seit fast 10 Jahren in den Lawrence Livermore National Laboratories (University of California, Livermore, Kalifornien (USA)) durchgeführt werden /Al1-3, Ga1-2, Ha2, Li/. Ein Ziel der Brandtests war die Ermittlung der Ursachen für die starke Raucherzeugung beim Brand einiger sich in den Kontrollbereichen nuklearer Anlagen befindenden Materialien. Das Vorgehen bei der chemischen Analyse, der während eines Brandes entstehenden Aerosole, gibt Hinweise zu den im Rahmen der Arbeiten zum Verhalten von Iodfiltern bei Bränden durchzuführenden Brandproduktanalysen.

Brandversuche wurden durchgeführt mit:

1. Tannenholz
2. Polymethylmethacrylat (PMMA)
3. Polycarbonat (PC)
4. Polyvinylchlorid (PVC)
5. glasfaserverstärktem Polyester
6. Kombination von 1 bis 5.

Während des Brandversuchs werden auf der Zu- und Abluftseite des HEPA-Filters Gasproben genommen. Das Gemisch wird gaschromatographisch aufgetrennt und die einzelnen Substanzen werden mit Hilfe eines Massenspektrometers identifiziert. Analog werden die von den HEPA-Filtern zurückgehaltenen Brandaerosole bestimmt /Li/.

In der Zusammensetzung der Brandaerosole bestehen je nach Herkunft grundlegende Unterschiede. Bei Tannenholzbränden entstehen eine Vielzahl organischer Verbindungen, die einen leichtflüchtigen Filterbelag bilden. In der Nachbrandperiode ist daher das Filter bei nur geringfügig höherer Druckdifferenz wieder verwendbar. PVC- oder PMMA-Brände erzeugen einen schwerflüchtigen Belag, der das Filter unbrauchbar macht.

Die Beladung von HEPA-Filtern mit Rauchgasaerosolen kann durch den Einbau von Rollbandfiltern als Vorfilter wesentlich herabgesetzt werden /A11/. Die Beladung der Aktivkohle in Iodfiltern mit Brandprodukten könnte analog durch den Einsatz spezieller Absorptionsmittel (z.B. Chlorwasserstoff absorbierende Materialien) in Vorfiltern verringert werden.

9. Zusammenfassung

Im Falle eines Brandes in Kernkraftwerken kann eine Freisetzung von Iod nicht ausgeschlossen werden. Eine Reduzierung der Abscheideleistung der Iodfilter durch die Beladung mit luftgetragenen Brandprodukten ist zu erwarten.

Die Brandhäufigkeit in Kernkraftwerken der Bundesrepublik Deutschland ist nicht bekannt. Brandstatistiken der USA ist ein Wert von etwa 0,1 Bränden pro Reaktorbetriebsjahr zu entnehmen; die meisten Brände ereigneten sich im konventionellen Teil der Anlage.

In den durch Iodfilter belüfteten Bereichen eines Kernkraftwerkes stellen Kabelisulationsmaterialien, Schmiermittel und die nur unter Stützfeuer brennenden Dekontanstriche die Hauptmenge an brennbarem Material. Im Containment eines neu in der Bundesrepublik Deutschland errichteten, mit einem Druckwasserreaktor ausgerüsteten Kernkraftwerks befinden sich etwa 11000 kg Kabelisulationsmaterialien auf PVC-Basis, 3000 kg Schmiermittel und 40000 kg Dekontanstriche. Brandprodukte dieser im wesentlichen organischen Materialien sind neben CO , CO_2 und H_2O eine Vielzahl der verschiedensten Verbindungen. Kabelisulationsmaterialien auf PVC-Basis spalten während des Brandes bis zu 50 Gew.-% HCl ab; Zersetzungsprodukte schwer entflammbarer FRNC-Kabel, die in zukünftigen Kernkraftwerken eingesetzt werden, können organische Säuren wie Essigsäure oder Acrylsäure sein. Bei Schmiermittelbränden ist mit flüchtigen, aber unverbrannten Schmiermittelbestandteilen zu rechnen.

Die Umsetzung von Iod mit Brandprodukten sowie die Abscheidung resultierender Reaktionsprodukte durch Iodsorptionsmaterialien ist bis jetzt nicht untersucht worden. Die Reduktion der Abscheideleistung von I_2 und CH_3I durch die Beladung der Iodsorptionsmaterialien mit Brandprodukten ist nicht bekannt.

Einzelheiten über Brände in Aktivkohlefiltern sind in vier Fällen bekannt. Ursache war in jedem Fall die Entzündung der Aktivkohle durch äußere Einwirkung. Aufgrund der Temperaturerhöhung kann ein Filterbrand u.a. zur Freisetzung von absorbiertem Iod führen.

Die Beladung von HEPA-Filtern mit Rauchaerosolen war Ausgangspunkt von Brandversuchen. Das Vorgehen bei der chemischen Identifizierung der während des Brandes entstehenden Aerosole

gibt Hinweise zur Brandproduktanalyse. Die Verstopfung von HEPA-Filtern durch abgeschiedene Rauchaerosole kann durch den Einbau von Rollbandfiltern als Vorfilter verhindert werden. Analog könnte die Beladung der Aktivkohle in Iodfiltern mit Brandprodukten durch spezielle, ebenfalls in Vorfiltern einzusetzende Absorptionsmittel verringert werden.

10. Literatur

- /A11/ Alvares, N.J. et al.;
Fire Protection Countermeasures for Containment Ventilation Systems; CONF 801038, S.1213-1277.
- /A12/ Alvares, N.J., Beason, D.G., Ford, H.W.;
In-Duct Countermeasures for Reducing Fire-Generated-Smoke Aerosol Exposure to HEPA-Filters; CONF 780819, S. 653-664.
- /A13/ Alvares, N.J., Lipska, A.E., Beason, D.G.;
HEPA-Filter Fire Protection; UCRL-50007-78-1, S.1-8 (1979)
- /An1/ ANSI/ASME N509-1980; Nuclear Power Plant Air Cleaning Units and Components; The American Society of Mechanical Engineers (1980).
- /An2/ ANSI/ASTM D3466-76; Standard Test Method for Initiation Temperature of Granular Activated Carbon; American Society for Testing and Materials.
- /Ap1/ Apostolakis, G., Kazarians, M.;
The Frequency of Fires in Light Water Reactor Compartments; CONF 800403/V-1, S. 72-80.
- /Ap2/ Apostolakis, G., Kazarians, M., Bley, D.C.;
Methodology for Assessing the Risk from Cable Fires; Nuclear Safety 23,391(1982).
- /Ar/ Argentini, M.;
Labelling with Iodine; Federal Institute for Reactor Research, Wuerenlingen (1982).
- /Ba1/ Bach, R.-W., Dötsch, E., Friedrichs, H.A., Marx, L.;
Nachweis unverbrannter Kohlenwasserstoffe in Heizölabgasen; Staub-Reinhalt. Luft 33,254(1973).
- /Ba2/ Bankston, C.P., Zinn, B.T., Browner, R.F., Powell, E.A.;
Aspects of Mechanisms of Smoke Generation by Burning Materials; Combustion and Flame 41,273(198).
- /Be1/ Benneth, R.L., Slusher, R., Adams, R.E.;
Reactions of Iodine Vapor with Organic Paint Coatings; ORNL-TM-2760(1970).
- /Be2/ Bernard, E.A., Zavadoski, R.W.;
The Calculation of Charcoal Heating in Air Filtration Systems; CONF 740807, S. 845-859.
- /Be3/ Betrieb des Kernkraftwerks Würgassen 1980;
Jahrbuch der Atomwirtschaft, 13. Jahrgang, Handelsblatt GmbH (1982).
- /Be4/ Betrieb des Kernkraftwerks Biblis B 1977;
Jahrbuch der Atomwirtschaft, 10. Jahrgang, Handelsblatt GmbH (1979).

- /Be5/ Betrieb des Kernkraftwerks Lingen 1971;
Jahrbuch der Atomwirtschaft, 4. Jahrgang, Handelsblatt
GmbH (1973).
- /Bo1/ Boettner, E.A., Ball, G., Weiss, B.;
Analysis of the Volatile Combustion Products of Vinyl
Plastics; Journal of Applied Polymer Science 13,377(1969).
- /Bo2/ Boettner, E.A., Ball, G., Weiss, B.;
Combustion Products from the Incineration of Plastics;
Pb-221001 (1973);
- /Br1/ Briker, M.;
Brandsichere Kabel; Bull SEV/VSE 69,67(1978).
- /Br2/ Browning, W.E. et al.;
Identity, Character and Chemical Behavior of Vapor Forms
of Radioiodine; CONF-650407, S. 1131-1161.
- /Br3/ Browning, W.E.;
Removal of Fission-Product Activity of Gases; Nuclear
Safety 1,47(1960).
- /Bu1/ Der Bundesminister des Innern;
Besondere Vorfälle in Kernkraftwerken der Bundesrepublik
Deutschland, Berichtszeitraum 1965-1976; Gesellschaft für
Reaktorsicherheit (GRS) mbH (1977).
- /Bu2/ Übersicht über besondere Vorkommnisse in den Kernkraft-
werken der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1977
und 1978; Umwelt 72,61(1979).
- /Bu3/ Der Bundesminister des Innern;
Übersicht über besondere Vorkommnisse in Kernkraftwerken
der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1979.
- /Bu4/ Bundesinnenminister Gerhardt Rudolf Baum;
Bericht über besondere Vorkommnisse in Kernkraftwerken
der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1980;
Pressedienst des Bundesministeriums des Innern (1981).
- /Bu5/ Bundesinnenministerium legt "Übersicht über besondere
Vorkommnisse in Kernkraftwerken der Bundesrepublik
Deutschland für das Jahr 1981" vor; Pressedienst des
Bundesministeriums des Innern (1982).
- /Bu6/ Bundesinnenminister Zimmermann legt Bericht über beson-
dere Vorkommnisse in deutschen Kernkraftwerken vor.
"Betrieb der deutschen Kernkraftwerke unverändert si-
cher". Pressedienst des Bundesministers des Innern (1983).
- /Ch/ Christian, H., Grupp, M.;
Maßnahmen zur Sanierung der beim Ölbrand im Kernkraftwerk
Mühleberg geschädigten Teile; Der Maschinenschaden
45,111(1972).

- /Cl/ Clyne, M.A.A., Curran, A.H.;
Reactions of Halogen Atoms, Free Radicals and Excited States; Gas Kinetics and Energy Transfer, Volume 2, The Chemical Society, London (1977).
- /Cr/ Crisler, H.E.;
July 17, 1977, Off-gas System Charcoal Adsorber Bed Fire at Browns Ferry Nuclear Plant; LA-9911-C, S. 309-316 (1983).
- /De1/ Deuber, H.;
Die physikalisch-chemischen Radioiodkomponenten in der Abluft eines Druckwasserreaktors; KfK 3207 (1981).
- /De2/ Deuber, H.;
Abscheidung von elementarem ^{131}I an Aktivkohlen unter extremen Bedingungen; KfK 3796 (1984).
- /Di/ DIN 53436;
Erzeugung thermischer Zersetzungsprodukte unter Luftzufuhr und ihre toxikologische Prüfung; Teil 1: Zersetzungsgerät und Bestimmung der Versuchstemperatur, Teil 2: Verfahren zur thermischen Zersetzung; April 1981.
- /Do/ Dolezel, B.;
Die Beständigkeit von Kunststoffen und Gummi; Carl Hanser Verlag (1978).
- /Du/ Dungan, K.W., Lorenz, M.S.;
Nuclear Power Plant Fire Loss Data; EPRI NP-3179 (1983).
- /Ei/ Einbrodt, H.J., Jesse, H.;
Über die Toxizität der Brand- und Schwelgase bei Kabelbränden; GAK 36,648(1983), GAK 37,65(1984).
- /En/ Enzmann, H.F.;
Zum Modell einer Brandschutzkonzeption für Kernkraftwerke; 4. Internationales Brandschutzseminar (Brandschutz in Kernkraftwerken); Verlag: Brand-Verhütungs-Dienst für Industrie und Gewerbe, Zürich (1973).
- /Fl/ Fleming, K.N., Houghton, W.J., Scaletta, F.P.;
A Methodology for Risk Assessment of Major Fires and its Application to an HTGR-Plant; GA-A-15402 (1979).
- /Fr/ Freeman, W.P., Hunt, J.R., Kovach, J.L.;
Ignition Properties of Nuclear Grade Activated Carbon; LA-9911-C, S. 317-334 (1983).
- /Fu/ Furrer, J., Kaempffer, R., Wilhelm, J.G.;
Alterung und Vergiftung von Iodabsorptionsmaterialien in Kernkraftwerken; Kerntechnik 18,313(1976).
- /Ga1/ Gaskill, J.R. et al.;
HEPA Filter Fire Protection Smoke Plugging Problems; UCRL-50007-73-1, S. 10-18 (1973).

- /Ga2/ Gaskill, J.R. et al.;
Preliminary Results of HEPA-Filter Smoke Plugging Tests
Using the LLL Full-Scale Fire Test Facility; CONF-760822,
S. 134-147.
- /Ga3/ Gaskill, J.R.;
Coordination of Fire Terminology; CONF-760822, S.830-833.
- /Ge/ Gesellschaft für Reaktorsicherheit: Deutsche Risikostudie
Kernkraftwerke; Fachband 4: Einwirkungen von außen (ein-
schließlich anlageninterner Brände), Verlag TÜV Rheinland
(1980).
- /Gr/ Grupp, H.;
Ursachen und Folgerungen einiger ausgewählter Brände in
Kernkraftwerken; 4. Internationales Brandschutzseminar
(Brandschutz in Kernkraftwerken); Verlag:
Brand-Verhütungs-Dienst für Industrie und Gewerbe,
Zürich (1973).
- /Ha1/ Hardmann, J.S., Street, P.J., Twamley, C.S.;
Studies of Spontaneous Combustion in Beds of Activated
Carbon; Fuel 59,151(1980).
- /Ha2/ Hasegawa, H.K. et al.;
Fire Protection Research for Energy Technology Projects;
(FY 1981 year-end-report); UCRL-53179-81.
- /He1/ Held, J.;
Brandbekämpfung und Hilfeleistung im Containment eines
Kernkraftwerkes; Abschnittsarbeit bei der Feuerwehr
Hamburg (1982).
- /He2/ Heinhold, L.;
Kabel und Leitungen für Starkstrom (3.Auflage);
Siemens AG.
- /Ho/ Hosser, D., Schneider, U.;
Bestandsaufnahme des Brandschutzes in Kernkraftwerken;
VGB Kraftwerkstechnik 62,487(1982).
- /In1/ Internationale Richtlinien für den Brandschutz in Kern-
kraftwerken; Schweizer Pool für die Versicherung von
Atomrisiken (1974).
- /In2/ International Guidelines for the Fire Protection of
Nuclear Power Plants; Schweizer Pool für die Versicherung
von Atomrisiken (1983).
- /Ja/ Jagfeld, P. Reuter, S.;
Kabel mit verbesserten Eigenschaften im Brandfall;
VFDB-Zeitschrift 32,16(1983).
- /Ka1/ Kasper, K.;
Einsatz von synthetischen schwer brennbaren Hydraulik-
flüssigkeiten im Schmier- und Steuerkreislauf von
Dampfturbosätzen; Der Maschinenschaden 50,86(1977).

- /Ka2/ Kazarians, M., Apostolakis, G.;
Some Probabilistic Aspects of Fires; Transactions of the
American Nuclear Society, 27 (1977) S. 634
- /Ka3/ Kazarians, M., Apostolakis, G.;
Some Aspects of the Fire Hazard in Nuclear Power Plants;
PB-272-686 (1977).
- /Ka4/ Kazarians, M., Apostolakis, G.;
On the Fire Hazard in Nuclear Power Plants; Nuclear Engi-
neering and Design 47,157(1978).
- /K11/ Klamann, D.;
Schmierstoffe und verwandte Produkte; Verlag Chemie (1982).
- /K12/ Klevan, J., MacDougall, E., Hall, R.;
Fire Damage Data Analysis as Related to Current Testing
Practices for Nuclear Power Application; BNL-NUREG-23364
(1977).
- /Ko1/ Kordina, K., Schneider, U., König, G., Hosser, D.;
Bestandsaufnahme brandschutztechnischer Gegebenheiten,
Maßnahmen und Bestimmungen in Kernkraftwerken; Abschluß-
bericht, Förderungsvorhaben BMI SR 144 (1981).
- /Ko2/ Kovach, J.L., Green, J.E.;
Evaluation of the Ignition Temperature of Activated Char-
coals in Dry Air; Nuclear Safety 8,41(1966).
- /Ko3/ Kovach, J.L.;
The Evaluation of the Ignition Temperature of Activated
Charcoals in Air, Steam, Oxygen and Oxides of Nitrogen;
Treatment of Airborne Radioactive Waste, S. 439-447;
IAEA, Wien (1968).
- /Ko4/ Kovach, J.L., Rankovic, L.;
Evaluation and Control of Poisoning of Impregnated Car-
bons Used for Organic Iodide Removal; CONF-780819, S.
368-378.
- /Ko5/ Kovach, J.L.;
The Evaluation and Current State of Radioiodine Control;
CONF-801038, S. 417-433.
- /Ko6/ Kovach, J.L.;
The Evaluation and Current State of Radioiodine Control;
Nuclear Safety 23,44(1982).
- /Le/ Lee, S.P.;
Fire Protection Design in CANDU Nuclear Power Plants;
LA-9911-C, S. 31-40 (1983).
- /Li/ Lipska, A.E., Jeffries, M.F.;
Gaschromatographic/Massspectrometric Analysis of Thermal
Degradation Products from Wood and Composite;
UCRL-50007-79-1, S. 1-7 (1979).

- /Lo/ Lorenz, R.A., Martin, W.J., Nagao, H.;
The Behavior of Highly Radioactive Iodine on Charcoal;
CONF-740807, S. 707-735.
- /Lu1/ Lutz, H.R.;
Turbinenölbrand in einem Kernkraftwerk; Schadenspiegel,
März 1973.
- /Lu2/ Lutz, H.R., Schreiber, F.H., Weehuizen, F.H.J., Diener,
W.;
Der Brand im Kernkraftwerk Mühleberg (KKM); VGB
Kraftwerkstechnik 52,183(1972).
- /Lu3/ Lutzeier, G.;
Brennbare Flüssigkeiten; Bundesverband der
Unfallversicherungsträger der öffentlichen Hand - BAGUV -,
(1983).
- /Ma1/ Marx, L.;
Anwendung der Gaschromatographie bei der Analyse von
Heizölabgasen; Dissertation, RWTH Aachen (1970).
- /Ma2/ Mays, G.T.;
Browns Ferry Charcoal Adsorber Incident; Nuclear Safety
20,78(1979).
- /Me/ Meek, M.E., White, Y.;
Iodine Literature Survey; NSAC-14 (1980).
- /Mi/ Milham, R.C.;
High Temperature Properties of Activated Carbon: Part I:
Desorption of Iodine, Part II: Standard Method for
Ignition Temperature Measurement; Treatment of Airborne
Radioactive Waste, S. 417-437; IAEA, Wien (1968).
- /Mo1/ Moeller, D.W.;
Problems in Nuclear Air Cleaning Systems; Nuclear Safety
16,469(1975).
- /Mo2/ Moeller, D.W.;
Current Challenges in Air Cleaning at Nuclear Facilities;
Nuclear Safety 18,633(1977).
- /Mo3/ Moeller, D.W.;
Review of Failures in Nuclear Air Cleaning Systems
(1975-1978); CONF-780819, S. 32-50.
- /Mo4/ Moeller, D.W.;
Failures in Air-Monitoring, Air-Cleaning and Ventilation
Systems in Commercial Nuclear Power Plants (Jan. 1,1975-Jun
30,1978); Nuclear Safety 20,176(1979).
- /Mo5/ Moeller, D.W., Sun.-S.C.;
Failures in Air Cleaning, Air-Monitoring and Ventilation
Systems in Commercial Nuclear Power Plants; (January 1,1978
through December 31,1981); CONF 820833, S. 718-767.

- /Mo6/ Moeller, D.W., Sun, L.-S.C.;
Failures in Air-Cleaning, Air-Monitoring and Ventilation
Systems in Commercial Nuclear Power Plants, 1978-1981;
Nuclear Safety 24,352(1983).
- /Mu/ Murrow, J.L.;
Carbon Adsorber Fire Extinguishment Tests; CONF-700816,
S.807-815.
- /Pi/ PILGRIM NUCLEAR POWER STATION, UNIT 1;
Fire Protection System Review (Including Branch Technical
Position APCSB 9.5-1); DOCKET-50293-835 (1977).
- /Pr/ Pryor, A.J.;
Browns Ferry Revisited; Fire Journal 85(1977).
- /Re/ Reactor Operating Experiences, 1972-1974; ORNL/NSIC-121
(1975).
- /Ru/ Rumberg, E.;
Zersetzungsprodukte und Rauchentwicklung bei
Feuereinwirkung auf Kunststoffe; VDI-Z 113,20(1971).
- /Sa/ Sawyer, R.G., Elsnor, J.E.;
Cable Fire at Browns Ferry Nuclear Power Plant; Fire
Journal 5(1976).
- /Sc1/ Schmid, W.;
Synthetische Industrieschmierstoffe. Neue Wege zur
Problemlösung; Mobil Oil AG (1980).
- /Sc2/ Schulz, E.H.;
Vorkommnisse und Strahlenunfälle in kerntechnischen Anla-
gen; Verlag Karl Thieme KG, München (1966).
- /Sh/ Shields, R.P.;
Ignition of Charcoal Adsorbers by Fission Product Decay
Heat; CONF-700816, S. 770-790.
- /Si/ Sideris, A.G. et al.;
Nuclear Plant Fire Incident Data File; Nuclear Safety
20,308(1979).
- /Sp/ Speicher, K.;
Zum Brandschutz bei Dampfturbosätzen;
VGB-Kraftwerkstechnik 61,834(1981).
- /Tr/ Troitzsch, J.;
Brandverhalten von Kunststoffen; Carl Hanser Verlag (1982).
- /Vi/ Vinson, J.M.;
J.M. Vinson Reference List; NSAC-14 (1980).
- /Wa/ Waddington, T.C.;
The Halogen Hydrides; Inorganic Chemistry Series One,
Volume 3; Butterworths, London (1972).
- /Wi/ Wilhelm, J.G.;
Iodine Filters in Nuclear Installations; V/2110/83-En
(1983), Commission of the European Communities.