

KfK 5397
September 1994

Stand der Behandlung und Entsorgung asbesthaltiger Reststoffe 1994

I. Jovanovic
Projekt Schadstoff- und Abfallarme Verfahren

Kernforschungszentrum Karlsruhe

Kernforschungszentrum Karlsruhe

Projekt Schadstoff- und Abfallarme Verfahren

KfK 5397

Stand der Behandlung und Entsorgung asbesthaltiger Reststoffe 1994

Ivan Jovanovic

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH
Postfach 3640, 76021 Karlsruhe

ISSN 0303-4003

Zusammenfassung

Das erhöhte gesundheitliche Risiko von Asbest verlangt eine sichere Entsorgung eingesetzter Asbeststoffe. Der hohe Verbreitungsgrad und die zur Entsorgung anfallenden Mengen machen die Aufgabe außerordentlich kostenintensiv.

Es wird der Weg des geförderten Rohasbests vom Abbaubereich bis zur Entsorgung als Funktion der Zeit gezeigt und das stoffliche Verhalten von Asbest bei Anwendung verschiedener thermischer und chemischer Behandlungsverfahren anhand der Literatur verglichen.

Thermische Verfahren garantieren eine vollständige Faserzerstörung, keine wesentliche Volumenzunahme der aufkommenden Abfallmenge und ermöglichen einen umweltgerechten Umgang mit den Endprodukten, verlangen aber einen hohen Primärenergieaufwand und Zusatz von Glasbildnern und/oder Flußmittel. Die anfallenden Nebenprodukte müssen auch weiterhin entsorgt werden.

Chemische Asbestbehandlungsverfahren sind stark vom Preis der eingesetzten Chemikalien abhängig. Der Einsatz von aggressiven und toxischen Chemikalien stellt zudem höhere Anforderungen an Sicherheit und Technik der Anlagen.

Verfestigungsverfahren mit hydraulischen Bindemitteln vergrößern das Abfallaufkommen, verursachen einen enormen Verbrauch an Wirtschaftsgütern und Deponieraum und können ohne vollständige Faserzerstörung keine dauerhafte Sicherheit vor erneuter Asbestemission gewährleisten.

Keine der angeführten Behandlungsmethoden genügt gegenwärtig den Anforderungen an ein energiearmes, volumenreduzierendes Verfahren mit vollständiger Strukturzerstörung aller Asbestvarietäten bei gleichzeitiger Sicherung von Wiederverwertungsmöglichkeiten.

Treatment and Disposal of Asbestos and Asbestos Containing Materials 1994

Summary

The potential health risks require a safe handling and disposal of asbestos and asbestos containing materials. Its distribution and the accumulated quantity make the disposal an extraordinary expensive task.

The path of asbestos from the mining field to the final disposal is shown as a function of time and its physico-chemical behaviour under various thermal and chemical treatments is compared using existing literature.

Thermal treatments guarantee a total destruction of the fibre structures, a reduction of the waste products and make an environmentally adequate handling of the products possible. These thermal treatments require a high energy expenditure and the addition of glass-forming oxides and/or fluxes. The by-products of these processes need to be disposed of after all.

Chemical treatment of asbestos containing waste depends heavily on the price of the used chemicals. The application of aggressive and toxic chemicals requires a much higher standard in security and technology.

Treatment with hydraulic binders enhances the quantity of waste and causes an enormous consumption of economic goods and deposition space. The future emission of asbestos fibres can not be prevented without total destruction of the asbestos fibres.

At present none of the treatments fulfill the demands of being low in energy consumption, reducing waste volume and permitting a total destruction of the asbestos structures with the possibility of reusing the products.

Inhalt

A. Asbestproblematik	3
1. Asbestarten	3
2. Mengenaufkommen, Verarbeitung, Entsorgung	4
2.1. Produktion	4
2.2. Verarbeitung	5
2.3. Entsorgung	6
2.4. Deponiegebühren	9
3. Gefahrenpotential und gesundheitliche Folgen	9
4. Eigenschaften der Asbeste	11
5. Richtlinien und rechtliche Grundlagen	12
B. Behandlung asbesthaltiger Abfälle	15
1. Thermische Verfahren	15
2. Chemische Verfahren	23
3. Verfestigung mit Bindemitteln	27
4. Weitere Verfahren	29
5. Vergleich der Verfahren	30
Literatur	31

A. Asbestproblematik

1. Asbestarten

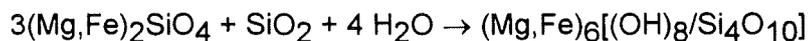
Asbest ist eine Sammelbezeichnung für in der Natur als Fasern vorkommende silikatische Minerale der Serpentin- und Amphibolgruppe. Zur Serpentinegruppe gehört u.a. Chrysotil (Weißasbest). Zur Amphibolgruppe zählen Krokydolith (Blauasbest), Amosit, Anthophyllit, Tremolit und Ferroaktinolith.

Tabelle 1 listet die bekannten Asbestvarietäten auf.

Asbestart	Strukturformel	Kristallklasse
Serpentinasbest		
Chrysotil	$Mg_3[(OH)_4/Si_2O_5]$	monoklin
Amphibolasbest		
Krokydolith	$(Na,K)_2(Fe^{2+},Mg)_3(Fe^{3+},Al)_2[(OH)_2/Si_8O_{22}]$	orthorhombisch
Anthophyllit	$(Fe,Mg)_7[(OH/F)_2/Si_8O_{22}]$	orthorhombisch
Amosit	$Fe_7[(OH)_2/Si_8O_{22}]$	monoklin
Tremolit	$Ca_2Mg_5[(OH)_2/Si_8O_{22}]$	monoklin
Ferroaktinolith	$Ca_2(Fe,Mg)_5[(OH)_2/Si_8O_{22}]$	monoklin

Tab.1.: Asbestarten und ihre kristallographischen Eigenschaften.

Serpentinasbest entsteht in der Lithosphäre unter hydrothermalen Bedingungen durch Umwandlung wasserfreier Minerale bei Temperaturen von 200-600°C. Dabei wird Hydroxid in das Kristallgitter eingebaut. Ein Beispiel ist die Serpentinisierung von Olivin nach der vereinfachten Reaktion:



Die Asbestminerale Tremolit, Aktinolith und Krokydolith können magmatisch im intermediären bis sauren Bereich sowie epi- mesozonal und kontaktmetamorph entstehen.

Die Kombination von Nichtbrennbarkeit, thermischer und elektrischer Isolationswirkung, Verspinnbarkeit und chemischer Beständigkeit erlaubt vielfache Verwendungszwecke.

2. Mengenaufkommen, Verarbeitung und Entsorgung

2.1. Produktion

Die Weltproduktion von Rohasbest beläuft sich auf mehrere Millionen Jahrestonnen. 1976 wurden 5.2 Mio. t gefördert. 1982 fiel die Weltasbestproduktion auf ein Minimum von 4 Mio. Jahrestonnen zurück. 1989 wurden weltweit 6 Mio. Jahrestonnen produziert. Tabelle 2 zeigt die wichtigsten Förderländer.

Erzeugerland	Produktionsmenge in 1000t
GUS	2600
Kanada	705
Brasilien	230
Zimbabwe	190
China	150
Rep. Südafrika	145
Italien	120
Griechenland	80
Indien	25
Indonesien	25
übrige (USA, Jugoslawien, Kolumbien, Zypern etc.)	87
Summe	4357

Tab.2: Verteilung der Weltproduktion von Asbest 1988; Quelle: Asbestos Minerals Yearbook 1989.

Asbest ist ein preiswerter Rohstoff. Je nach Faserlänge bewegt sich der Preis zwischen 0.80-5.00DM/kg.

1968-80 importierte die Bundesrepublik jährlich ca. 180.000 t an Rohasbest. Seit 1980 nimmt die importierte Menge stetig ab. Die Bundesrepublik und die DDR verbrauchten 1990 insgesamt ca. 70.000 t. Die importierte Rohasbestmenge gliedert sich in ca. 94% Chrysotil, ca. 4% Krokydolith und ca. 2% Amosit. Tabelle 3 vergleicht den Asbestverbrauch in Deutschland mit anderen europäischen Ländern.

Land	geschätzter Verbrauch 1973 in t
Belgien/Luxemburg	86000
Dänemark	33000
Bundesrepublik Deutschland	180200
Frankreich	156000
Irland	7000
Italien*)	139000

Niederlande	38000
Großbritannien	172000

*) Italien exportiert mehr Asbest als es verbraucht. Daher können keinerlei Rückschlüsse auf den Verbrauch gemacht werden.

Tab.3: Asbestverbrauch in anderen EG-Ländern im Jahr 1973. Keine Angaben für Griechenland, Spanien, Portugal. Quelle: EVANS, J. (1977).

2.2. Verarbeitung

Asbest fand in mehr als 1000 Anwendungsformen für über 3000 verschiedene Produkte (z.B.: als Füllstoff, in Arbeits- und Brandschutz, zur Wärme- und Elektroisolation, in Dichtungen, Filtern, Reibbelägen und bautechnischen Produkten) Verwendung. Asbesthaltige Produkte werden durch den Einsatz von Asbestersatzstoffen zunehmend eingeschränkt. Für einige Anwendungsgebiete (z.B.: Tiefbau) sind bisher keine Substitutionsmöglichkeiten bekannt.

Die wichtigsten Asbesteinsatzgebiete werden anteilig in Tab.4 dargestellt.

Verarbeitung	Einsatzgebiet	Menge
Asbestzement		ca. 70 %
Brems- und Kupplungsbeläge		ca. 5 %
Fußbodenbeläge	Flexplatten, Cushion-Vinyls	ca. 8 %
Textilien	Gewebe, Schutzkleidung, Schnüre, Schläuche	ca. 3.5 %
Bautechnische Produkte	Bitumen-, Dach-, Dichtungsbahnen, Kittmassen, Spachtel- und Vergußmassen, Farben, Feuerschutzmittel, Druck- und Kanalrohre, Unterbodenschutz	ca. 6 %
Sonstiges	Hochdruckdichtungen, Pappen und Papiere, Filtermassen, Formmassen, Straßendeckenschichten, Füllstoffe	ca. 3.5 %

Tab.4: Verarbeitung des eingeführten Asbests in den 70er Jahren i.d. BRD. Quelle: Asbest - Arbeitsschutzvorschriften und Handlungsanleitungen für die Bauwirtschaft; Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft.

Den größten Teil der anfallenden Asbestaltlasten deckt gegenwärtig und in Zukunft Asbestzement. Asbestzement ist eine Mischung fein aufgeschlossener Asbestfasern und Zement unter Wasserzusatz. Seit Beginn des Innovationsprogramms der Asbestzementindustrie Anfang 1982 sind durchschnittlich 10 Gew% Asbestfaser in den

Produkten enthalten. Dadurch konnte die Biegezug- und Zugfestigkeit, Bruchdehnung und Biegeschlagzähigkeit erhöht und die Rißneigung in Beton und Mörtel vermindert werden. Asbestzementprodukte werden nahezu ausschließlich als Baustoffe verwendet, wobei der Hauptanteil von ca.80% auf ebene und gewellte Platten entfällt. 15% werden in Form von Rohren aller Art eingesetzt: Druckwasser- und Kanalrohre, Abflußrohre, Abgas- und Entlüftungsrohre. Der Rest von ca. 5% verteilt sich auf Spezialprodukte wie Blumenkästen, Brandschutzplatten usw.

Nachstehende Tabelle zeigt das typische Phaseninventar asbesthaltiger Produkte:

Asbestzement:	Chrysotil (10 Gew%), Portlandit, Calcit, Ettringit, Quarz, Calciumsilikathydrate.
Spritzasbest:	Amphibolasbest (50-70Gew%), Calcit, Calciumsilikathydrate. Asbestpappe: Chrysotil, Fassait, Forsterit.
Fußbodenbeläge:	Chrysotil, organisches Material.
Feuerfest Textilien:	Chrysotil, organische Fasern.
Isolier- und Dämmaterialien:	künstliche Mineralfasern, Chrysotil.
Nachtspeichermaterial:	künstliche Silikatglasfasern, Chrysotil, Krokydolith, Forsterit, Klinochlor, Calcit, Aragonit, Quarz.
Filtermaterialien:	Wollastonit, Quarz, Steinwolle, organisches Material, Chrysotil, Krokydolith

Tab.5: Mineralogisches Phaseninventar einiger asbesthaltiger Produkte.

2.3. Entsorgung

In den letzten 40 Jahren wurden allein in der Bundesrepublik (West) 4.5 Mio. t Asbest verarbeitet. Asbest wird bei der Verarbeitung verdünnt. Konservative Schätzungen gehen von einem Asbest:Zuschlagverhältnis von 1:5 aus. Dabei ergibt sich eine Menge von ca. 22 Mio. t asbesthaltiger Rückstände, die in den nächsten Dekaden zu entsorgen ist. Berücksichtigt man auch die Gebiete der ehemaligen DDR, so kommen weitere 7 Mio. t hinzu. Bei der Entsorgung werden im wesentlichen drei Abfallarten unterschieden:

- * schwach gebundener Asbestabfall (Spritzasbest, Asbeststäube, Weichasbest, Asbestschnüre, -matten oder -decken)
- * asbesthaltige Hausmüllabfälle (Dämmaterialien, Teppichböden)
- * Asbestzementbauschutt

Folgende Grafiken zeigen den Asbestverbrauch in BRD und DDR von 1948-1989.

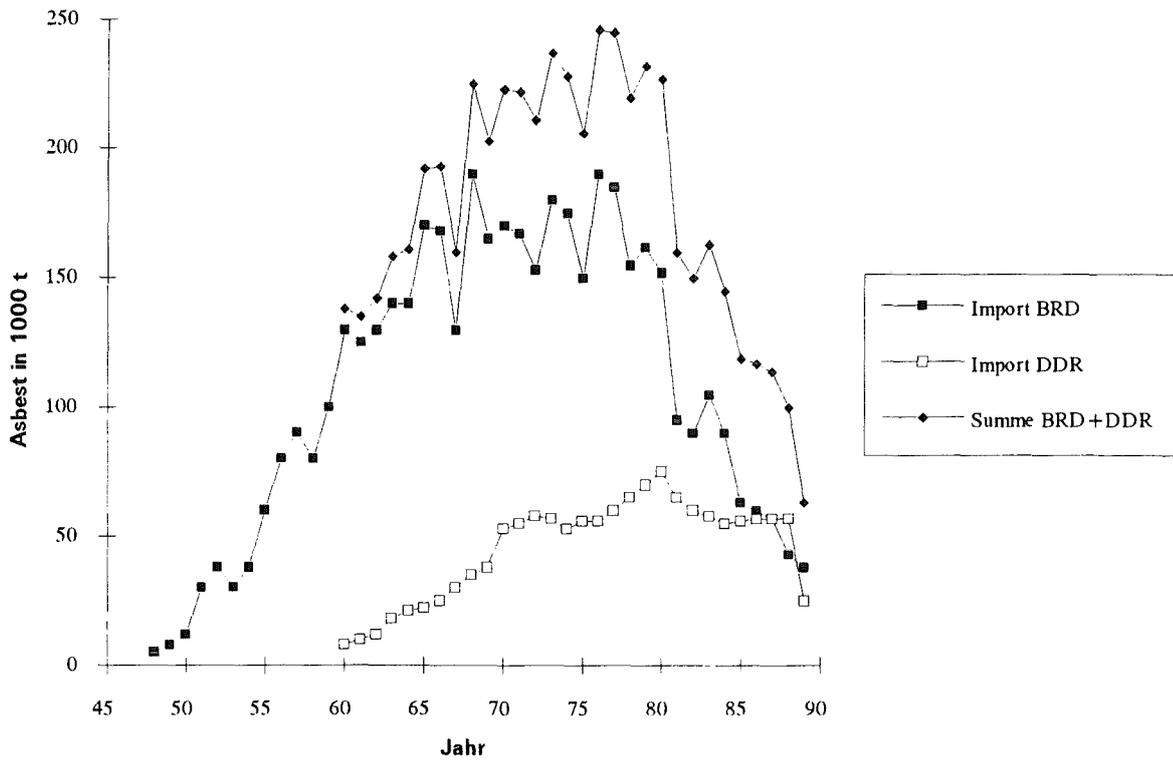


Abb.1: Asbestverbrauch der BRD und der DDR in den Jahren 1948-1989. Quelle: UBA-Berichte (Zahlen 1948-1979) und ALBRACHT, SCHWERDTFEGER 1991 (Zahlen 1979-1989)

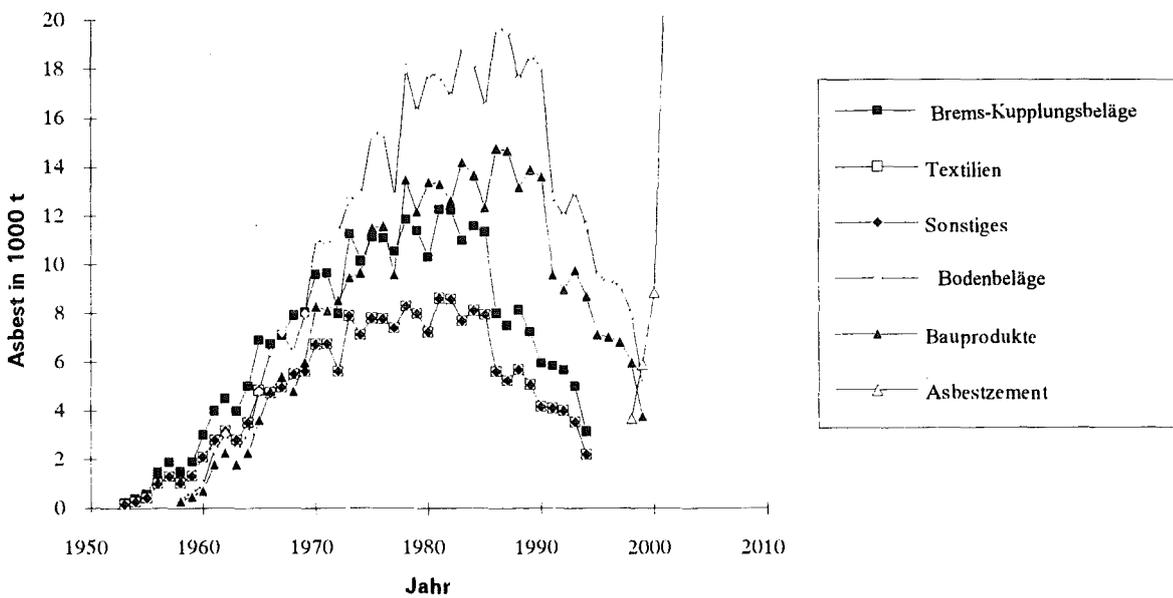


Abb.2: Anfallende Entsorgungsmenge an Asbest hochgerechnet und differenziert nach Verarbeitungspfad. und mittlerer Lebensdauer (Asbestzement: 50 Jahre, Bautechnische Produkte und Fußbodenbeläge: 10 Jahre, Brems- und Kupplungsbeläge, Textilien und Sonstiges: 5 Jahre).

In der Bundesrepublik wurden 1984 ca. 870 Mio. m² Asbestzementplatten verbaut, auf Dachflächen entfallen davon ca. 650 Mio. m². Durch natürliche Abrasion (z.B. Verwitterung) ergibt sich daraus eine jährliche Emission von 30-50 Mio. m² oder ca. 400000-700000 t asbesthaltigen Reststoffs.

Gesicherte Mengenangaben zur Verarbeitung schwach gebundener Asbestprodukte (z.B. Spritzasbest u.ä.) in der Bundesrepublik existieren nicht. Bei Spritzasbest wird von 2-3 Mio. m² verputzter Fläche ausgegangen. Die Menge an leichten Asbestplatten wird auf ein Vielfaches geschätzt. Die Hälfte der Spritzasbestverwendungen ist bereits saniert.

Unter der Annahme einer Lebensdauer von 50 Jahren für Asbestzementprodukte, 10 Jahren für Bodenbeläge und bautechnische Produkte und 5 Jahren für Reibbeläge, Textilien und sonstige Anwendungsbereiche kann das jährlich zu entsorgende Aufkommen geschätzt werden.

Folgende Grafik zeigt das in Zukunft anfallende Asbestgesamtaufkommen differenziert nach der mittleren Lebensdauer der Produkte.

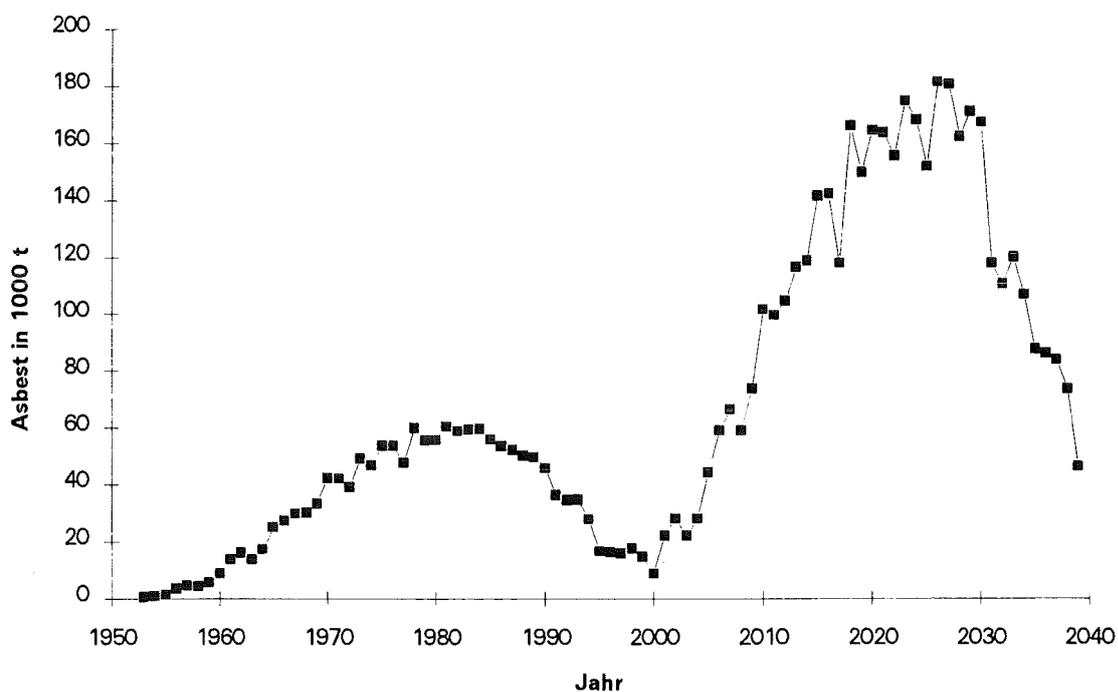


Abb.3: Jährliches Entsorgungsaufkommen an Asbest extrapoliert unter Berücksichtigung des Verarbeitungspfads des Asbests und der mittleren Lebensdauer der Produkte.

Berücksichtigt man zusätzlich einen, über alle Produkte gemittelten, Verdünnungsfaktor muß der Entsorgungssektor mit einer Verfünfachung der Menge rechnen. Das dynamische Mengenaufkommen basiert auf der Einhaltung der zugrunde gelegten Lebensdauer und rechnet nicht mit einem vorzeitigen Abbau oder Austausch asbesthaltiger Materialien. Dieser Einflußfaktor ist stark abhängig von einer Sensibilisierung der öffentlichen

Akzeptanz. Nach den bisher durchgeführten Sanierungen ist mit einem starken Abflachen der 2020 erwarteten Asbestmenge zu rechnen.

Ausgehend von ca. 15000 asbestverdächtigen Gebäuden allein in Hessen errechnet ALBRACHT für die alten Bundesländer eine Zahl von 150000-200000 Gebäuden, die asbesthaltige Bauteile enthalten. Das entspräche einem Sanierungsvolumen von 40 Mrd. DM. Wird aber berücksichtigt, daß Sanierungskosten für Einzelobjekte sich bereits auf dreistellige Millionensummen belaufen, muß angenommen werden, daß der tatsächliche finanzielle Aufwand wesentlich höher liegt. Bei einem Sanierungsvolumen von 40-80 Mrd. DM schätzt GELSDORF, daß die Sanierung aller asbestverdächtigen Gebäude etwa 15-20 Jahre in Anspruch nehmen und daß das Hauptvolumen in den nächsten 10 Jahren abgewickelt sein wird. Andere Schätzungen gehen von einem Abschluß der Sanierungen in 8-10 Jahren aus.

Die gewachsene umweltpolitische Sensibilität der Betroffenen führte zur Anlage eines flächendeckenden Katasters im öffentlichen Bereich vieler Städte und Kommunen. Der in vielen Fällen ausbleibende politische Druck führte dazu, daß bisher in den alten Bundesländern nur 5000-6000 Gebäude tatsächlich saniert wurden.

2.4. Deponiegebühren

Die zur Zeit vorherrschende Methode der Deponierung nach vorgeschalteter Verfestigung mit hydraulischen Bindemitteln kostet wertvollen Deponieraum und beinhaltet potentiell die Freisetzung von Asbest in die Umwelt.

Die bei der Ablagerung asbesthaltiger Reststoffe anfallenden Deponiegebühren sind standortbedingt. In Berlin sind 49 DM/t in einer Inertstoffdeponie im norddeutschen Raum 180 DM/m³ zu entrichten. Die Verbringung von spritzasbesthaltigen Abfällen auf der Untertagedeponie Herfa-Neurode (Hessen) in 200 l Stahlblechfässern kostet 387 DM/t. Höchste Deponiegebühren sind mit 690 DM/t für Asbestzementabfälle und 730 DM/t für unverfestigten Spritzasbest in Nordrhein-Westfalen zu entrichten.

3. Gefahrenpotential und gesundheitliche Folgen

Das Gefahrenpotential von Asbest liegt in der vollkommenen Spaltbarkeit der Fasern und der damit verbundenen Fähigkeit, in lungengängige Partikel (Länge 5µm, Ø 2µm) aufzuspalten. Asbest nimmt unter den krebserregenden Arbeitsstoffen den ersten Platz als Ursache von Berufskrebstodesfällen ein und ist daher in die Gruppe I der Gefahrstoffverordnung eingestuft worden.

Tabelle 6 zeigt die Immisionsbelastungen durch Asbestfasern.

Reinluftgebiete:	50-140	Fasern/m ³
Städtische Ballungsgebiete	100-150	Fasern/m ³
Höchstwerte in Ballungsgebieten:	1000-1500	Fasern/m ³
verkehrsreiche Kreuzung:	1000-5000	Fasern/m ³
asbestverarbeitende Fabrikation:	80000	Fasern/m ³
in unmittelbarer Nähe des Werkes:	>3000	Fasern/m ³
gelegentliche Spitzenwerte:	>15000	Fasern/m ³
Asbestsanierungsarbeiten:	2-300 Mio.	Fasern/m ³
Zerkleinern von Spritzasbest:	80 Mio.	Fasern/m ³
Flex-Arbeiten an Asbestzement:	30 Mio.	Fasern/m ³
Isolierarbeiten mit Asbest:	200000-20 Mio.	Fasern/m ³

Tab.6: Jahresmittelwerte der Immisionsbelastungen durch Asbestfasern in den Jahren 1984-1989 nach IRMSCHLER.

Asbesterkrankungen sind auf einen fibrogenen (Erzeugung von Narbengewebe) und karzinogenen Effekt (Krebserzeugung) zurückzuführen. Hieraus resultieren Asbeststaublungerkrankungen (Asbestose) oder durch Asbeststaub verursachte Erkrankungen der Pleura, Lungenkrebs und sehr schmerzhaftes Mesotheliom des Rippen- und Bauchfells. Mesotheliome verlaufen in der Regel tödlich. Sechs Monate nach der Diagnose ist die Hälfte der Patienten verstorben. Für die USA werden jährlich aufgrund der zurückliegenden Asbeststaub-Gefährdung 2000 Mesotheliom- und 4000-6000 Lungenkrebs-Todesfälle assoziiert. Die mittlere Latenzzeit für Erkrankungen an einem Lungenkrebs liegt bei 25, für Mesotheliome bei 30 und mehr Jahren. Der Häufigkeitsgipfel in der Bundesrepublik ist für asbestfaserstaubverursachte Tumoren daher noch zu erwarten.

In der Medizin wird angenommen, daß sich Chrysotil aufgrund der Biegsamkeit der Fasern und der höheren Löslichkeit in biogenen Flüssigkeiten geringer karzinogen als Krokydolith auswirkt, dem die Fähigkeit Zellen zu durchbohren zugeschrieben wird.

Durch die Verarbeitung von Asbestzementrohren für die Wasserversorgung (24Mio. km) ist auch das Trinkwasser in ganz erheblichen Maß asbestbelastet (bis zu 1Mio. Fasern/l Trinkwasser). Zur Toxizität der Asbestfasern bei oraler Aufnahme liegen keine Erfahrungen vor.

4. Eigenschaften der Asbeste

Asbeste werden sowohl im Tagebau als auch im Untertagebetrieb gefördert. Die Fasern werden durch stufenweises Vermahlen des Gesteins freigelegt und nach jeder Aufbereitungsstufe durch Sieben und Absaugen vom Gestein getrennt.

In folgender Tabelle werden die Eigenschaften eines Serpentin-asbests (Chrysotil) einem Vertreter der Amphibol-asbeste (Krokydolith) gegenübergestellt.

Eigenschaften	Chrysotil (Weißasbest)	Krokydolith (Blauasbest)
chemische Zusammensetzung	$Mg_3[(OH)_4/Si_2O_5]$	$Na_2Fe_5[(OH)_2/Si_8O_{22}]$
physikalische Eigenschaften		
+ Dichte g/cm	2.2 - 2.6	2.8 - 3.4
+ Faserdurchmesser μm (Büschel)	0.75 - 1.5	1.5 - 4
+ Elementarfasern μm	0.03 - 0.04	0.1 - 0.2
+ Faserquerschnitt	kreisf., spiralf. gerollt	elliptisch, kreisförmig
+ Faserlänge μm	1 - 40	3 - 70
+ spez. Oberfläche m^2/g	10 - 25	3 - 5
+ Farbe	weiß, grau, grün, gelbl.	lavendel-, metallblau
+ Härte (Mohs)	2.5 - 4	5 - 6
+ Oberflächenladung	positiv	negativ
+ Verarbeitung	gut spinnbar	z.T. spinnbar
mechanische Eigenschaften		
+ Zugfestigkeit N/mm^2	2000 - 6000	7500 - 22 500
+ E-Modul N/mm^2	30 000 - 160 000	100 000 - 190 000
+ Reißfestigkeit %	0.5 - 2	1.5
thermische Eigenschaften		
+ Anwendungstemperatur		
ohne Einschränkung °C	400	300
mit geringer Einschränkung °C	650	450
kurzzeitig °C	1000	1000
+ Schädigungstemperatur °C	550	450
+ Dehydroxylierung °C	600 - 850 ¹⁾	ab 400
+ Schmelztemperatur °C	1520	1190
+ Wärmeleitfähigkeit (Rohdichte)		
300 kg/m^3 $W/m \cdot K$	0.070	0.070
600 kg/m^3 $W/m \cdot K$	0.200	0.200
+ spez. Wärme $J/g \cdot K$	1.1	0.8
elektrische Eigenschaften		
+ spez. elektr. Widerstand bei 50% rel. Feuchte Ωcm	$10^4 - 10^6$	$3 \cdot 10^6 - 10^7$

Eigenschaften	Chrysotil (Weißasbest)	Krokydololith (Blauasbest)
+ DK - Wert	3	k.A.
+ dielekt. Verlustfaktor	0.15	k.A.
+ Brennverhalten	nicht brennbar	nicht brennbar
chemisches Verhalten		
konzentrierte Säuren	nicht beständig	beständig ²⁾
verdünnte Säuren	beständig	beständig
verdünnte Laugen	beständig	beständig
konzentrierte Laugen	beständig	nicht beständig
Lösemittel	beständig	beständig
Wasserdampf	beständiger als Krokydololith	empfindlicher als Chrysotil

1) Übergang in Forsterit (Mg_2SiO_4)

2) Ausnahme HF und H_3PO_4

Tab.7: Stoffeigenschaften von Chrysotil und Krokydololith im Vergleich.

5. Richtlinien und rechtliche Grundlagen

Den Umgang mit Asbest regeln eine Fülle von rechtlich verankerten Richtlinien.

In der Änderungsverordnung vom 23. April 1990 der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) wird Asbest aus der Gruppe II in die höchste Gruppe I (sehr stark gefährdend) der Liste der krebserzeugenden Gefahrstoffe umgestuft. Dies hat zur Folge, dass Arbeitnehmer, beim Herstellen und Verwenden von Asbest und allen asbesthaltigen Produkten, emittiertem Asbeststaub nicht exponiert werden dürfen (Technische Regeln für Gefahrstoffe TRGS 517). Dies kommt weitgehend einem Herstellungs- und Verwendungsverbot gleich:

Asbestzementprodukte (Asbestzement-Wellplatten, Dachplatten, Fassadenplatten und Rohre) dürfen, mit Ausnahme von Druckrohren, nicht mehr hergestellt und verwendet werden. Für Druckrohre gilt ein Verbot der Herstellung ab 1994 und ein Verwendungsverbot ab 1995.

Schwach gebundene Asbestprodukte (Spritzasbest, Spritzputz, Asbestmatten- und pappen, Asbestmassen, Dichtungsschnüre, Gewebe und Schaumstoffe) dienen vorwiegend bauphysikalischen Zwecken, wie dem Brand-, Wärme- und Feuchtigkeitsschutz. Asbestspritzputz, als die gefährlichste Verwendung, ist seit 1979 verboten, die meisten anderen schwach gebundenen Asbestprodukte seit 1986, der Rest seit 1990.

Zeitlich befristete Übergangsregeln oder generelle Ausnahmen (TRGS 519) regeln die Bereiche in denen geeignete Ersatzstoffe nicht zur Verfügung (Abbruch-Sanierungs-Instandhaltungsarbeiten ASI, Tiefbau) stehen.

Die vorgeschriebene Technische Richtwertkonzentration (TRK) für den Umgang mit Asbest bzw. asbesthaltigen Gefahrstoffen (gilt nicht für ASI-Arbeiten) für Chrysotil-Asbest ist in der TRGS 402 festgelegt. Der Grenzwert für Chrysotil von 250000 Fasern/m³ schließt auch bei Einhaltung das Risiko einer Beeinträchtigung der Gesundheit nicht aus. Die Auslöseschwelle (eine Überschreitung erfordert zusätzliche Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit) beträgt bei Chrysotil 62000 F/m³. Für ASI-Arbeiten gilt derzeit der Anhaltswert von 15000 F/m³. Beide Schwellenwerte orientieren sich u.a. an der Nachweisgrenze des rasterelektronenmikroskopischen Verfahrens zur Bestimmung lungengängiger Asbestfasern (ZH 1/120.26).

Das Abfallgesetz und die neue seit 14. Mai 1993 geltende TA Abfall enthalten Regelungen zur Vermeidung und Entsorgung von Abfällen. Der Umgang mit Asbestprodukten wird in den "Richtlinien für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbest-Richtlinien)" festgelegt. Eine Norm mit Regelungen für die Behandlung von eingebauten Asbestzementprodukten ist derzeit in Vorbereitung (DIN 18520). Die Asbestrichtlinien enthalten Regeln für die Bewertung der Dringlichkeit einer Sanierung, Verfahrensregeln für die Sanierung selbst und Vorschriften zur Erfolgskontrolle von Sanierungen.

Im Sinne der Bauverordnungen geht von Asbestzementprodukten keine konkrete Gesundheitsgefahr aus. Diese Produkte führen nur geringe Asbestfaserkonzentration in der Luft und lösen keine Spitzenbelastungen aus. Daher besteht keine Sanierungsverpflichtung.

Gesetze	Verordnungen	Verwaltungsvorschriften Richtlinien u.ä.
Arbeitsschutz Chemikaliengesetz (ChemG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. März 1990 (BGBl. I; S. 521)	Verordnung über gefährliche Stoffe (Gefahrenstoffverordnung - GefStoffV) vom 26. August 1986 (BGBl. I, S. 1470), zuletzt geändert durch Verordnung vom 23. April 1990 (BGBl. I, S. 790) Asbestverbotsverordnung Berufskrankheitenverordnung (BeKV) vom 20. Juni 1968 (BGBl. I, S. 721), zuletzt geändert am 22. März 1988 (BGBl. I, S. 4000)	TRGS 100 Auslöseschwelle für gefährliche Stoffe TRGS 400 Außerbetriebliche Meßstellen TRGS 402 Meßtechnische Überwachung von MIK und TRK-Werten TRGS 517 Asbest TRGS 519 Asbest - Abruch-, Sanierungs- und Instandsetzungsarbeiten TRGS 560 Luftrückführung beim Umgang mit krebserregenden Stoffen TRGS 610 Ersatzstoffe für Asbest UVV Gesundheitsgefährlicher mineralischer Staub (VBG 119) UVV Allgemeine Vorschriften (VBG 1) UVV Arbeitsmedizinische Vorsorge (VBG 100) ZH 1/120.46 Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren zur Bestimmung lungengängiger Fasern ZH 1/134 Atemschutz-Merkblatt ZH 1/148 Einrichtungen zum Abscheiden gesundheitsgefährlicher Stäube mit Rückführung der Reingluft in die Arbeitsräume - Anforderungen an die Wirksamkeit
Baurecht Landesverordnung z.B. Hessische Bauverordnung § 3 entspricht § 3 der Musterbauordnung		Richtlinien für die Bewertung und Sanierung schwachgebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbest-Richtlinien)
Immissionsschutzgesetz Bundes-Immissionsschutzgesetz (BlmschG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990 (BGBl. I, S. 880), zuletzt geändert durch Gesetz vom 10. Dezember 1990 (BGBl. I, S. 2634)	BlmschV vom 24. Juli 1985 (BGBl. I, S. 1586), geändert durch Verordnung vom 19. Mai 1988 (BGBl. I, S. 608), durch Verordnung vom 15. Juli 1988 (BGBl. I, S. 1059) und durch Gesetz vom 20. Juli 1990 (BGBl. I, S. 1080) BlmschV vom 14. Februar 1985 (BGBl. I, S. 504), zuletzt geändert durch Verordnung vom 19. Mai 1988 (BGBl. I, S. 608) BlmschV vom 12. April 1975 (BGBl. I, S. 957) Blmsch in der Fassung vom 19. Mai 1988 (BGBl. I, S. 625)	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 27. Februar 1986 (GMBI. I, S. 95)
Abfallrecht Abfallgesetz (AbfG) vom 27. August 1986 (BGBl. I, S. 1410, bereinigt durch BGBl. I, S. 1501), geändert durch Artikel 2 G zur Umsetzung der Richtlinien des Rates vom 27. Juni 1985 über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen Projekten vom 12. Februar 1990 (BGBl. I, S. 205 und Art. ", 3. Gesetz zur Änderung des BlmschG vom 11. Mai 1990, BGBl. I, S. 870)	Abfallbestimmungs-Verordnung (AbfBestV) Reststoffbestimmungs-Verordnung (RestBestV) Abfall- und Reststoffüberwachungs-Verordnung (AbfRestÜberwV) vom 3. April 1990 (BGBl. I, S. 613ff.)	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz TA Abfall vom 14. Mai 1993 (GMBI. I, S. 170) LAGA-Merkblatt "Entsorgung asbesthaltiger Abfälle"
Lebensmittelrecht Lebensmittel- und Bedarfsgegenstände-gesetz (LMBG) vom 15. August 1974 (BGBl. I, S. 2125-40)	Verordnung über Trinkwasser Wasser für Lebensmittelbetriebe (Trinkwasserverordnung TrinkwV) vom 22. Mai 1986 (BGBl. I, S. 760)	

Tab.8: Zusammenfassung gesetzlicher Regelungen zum Thema Asbest.

B. Behandlung asbesthaltiger Abfälle

Asbesthaltige Abfälle sind sehr inhomogen und in ihrer Zusammensetzung verschieden. Ziel physikalischer und chemischer Behandlungsmethoden ist es, eine Wiederverwertung und -verwendung bei vollständiger Zerstörung der Faserstruktur und Reduzierung des Abfallaufkommens sowie Minimierung im Einsatz von Energie und Wirtschaftsgütern zu erreichen.

Eine Beurteilung der anfallenden Reststoffe, deren Verhalten und Chemismus ist stark abhängig vom eingesetzten Abfallstoff (z.B. Asbestzement oder Spritzasbest) und dem durchgeführten Behandlungsverfahren. Dabei spielen zeitliche Schwankungen im Chemismus des eingebrachten Reststoffs, Homogenität sowie insbesondere bei thermischen Verfahren die durchlaufenen Temperaturen sowohl beim Schmelzen als auch beim Abkühlen eine wesentliche Rolle. Letztlich kann eine Bewertung der Endprodukte und deren wirtschaftlicher Wiedereinsatzbarkeit nur dann vorgenommen werden, wenn Proben eines Verfahrens über längere Zeiträume hinweg untersucht werden.

Bei folgender Auflistung (Literaturstand August-September 93 mit Literatur- und Patentrecherche) werden nur Behandlungsmethoden berücksichtigt. Entsorgungsmethoden, wie beispielsweise die Faß in Faß-Methode oder ähnliche Praktiken werden nicht aufgeführt.

Alle Behandlungsverfahren werden bei einem leichten Unterdruck im Reaktor durchgeführt, um Asbestkontamination der Umgebung zu vermeiden.

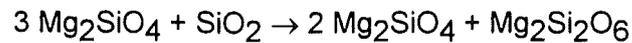
1. Thermische Verfahren

Thermisches Verhalten der Asbeste

Bei trockenem Erhitzen wird das Kristallwasser der Asbeste bereits bei relativ niedrigen Temperaturen abgegeben. Der thermische Abbau geht in mehreren Stufen vor sich. Beispielsweise zersetzt sich Chrysotil in folgender Weise: Im Temperaturbereich von 50-200°C wird in einem endothermen Prozeß das adsorbtiv gebundene Wasser abgegeben. Ab 200°C erfolgt weitere endotherme Abspaltung der Hydroxylgruppen. Im Temperaturbereich von 450-520°C erfolgt die Bildung einer schwach hydratisierten amorphen Mg-Silikatphase mit kleinen Anteilen an Forsterit, der einen geringen Kristallisationsgrad aufweist. Kristalliner Forsterit bildet sich in einer dritten Stufe exotherm im Temperaturintervall von 520-900°C. Beim Erhitzen auf 1000°C tritt nach der Reaktion



als weitere kristalline Phase Quarz auf, der oberhalb 1100°C wieder resorbiert wird, wobei sich bei weiterem Erhitzen auf 1200°C nach der Reaktion



Forsterit und Enstatit bilden. Dieser Prozeß verläuft irreversibel.

Der Schmelzpunkt dieser Mg-Silikatmischung liegt bei ca. 1550°C, während reiner Forsterit bei 1890°C in die schmelzflüssige Phase übergeht. Folgende Tabelle zeigt Umwandlungsbereiche der Asbeste und Schmelzpunkte ihrer thermischen Folgeprodukte.

Asbestvarietät	Strukturformel	Schmelzpunkt [°C]	Umwandlungsbereich [°C]
Chrysotil	$\text{Mg}_3[(\text{OH})_4/\text{Si}_2\text{O}_5]$	1550	400-700
Anthophyllit	$(\text{Mg,Fe})_7[(\text{OH,F})_4/\text{Si}_8\text{O}_{22}]$	1450	600-850
Amosit	$\text{Fe}_7[(\text{OH})_2/\text{Si}_8\text{O}_{22}]$	1450	600-800
Aktinolith	$\text{Ca}_2(\text{Fe,Mg})_5[(\text{OH})_2/\text{Si}_8\text{O}_{22}]$	1400	620-960
Tremolit	$\text{Ca}_5\text{Mg}_5[(\text{OH,F})_2/\text{Si}_8\text{O}_{22}]$	1315	950-1040
Krokydolith	$(\text{Na,K})_2(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_3(\text{Fe}^{3+},\text{Al})_2[(\text{OH})_2/\text{Si}_8\text{O}_{22}]$	1200	400-600

Tab.9: Transformationsbereiche von Asbest und Schmelzpunkte der Folgeprodukte bei weiterem Erwärmen (nach STRÜBEL 1991).

Wie MACKANZIE und MEINHOLD (1994) zeigen stellt sich der Verlauf der thermischen Reaktionen von Chrysotil komplexer dar, als hier beschrieben. Sie können noch weitere Zwischenprodukte auf dem Weg zum Forsterit und Enstatit beobachten.

Thermische Behandlungsmethoden sowie Verglasungsverfahren müssen bei einer vorgesehenen Mindesttemperatur eine vollständige Zerstörung aller Asbestvarietäten durch eine irreversible Umkristallisation oder chemisches Lösen des Asbest in der Glasmelze garantieren.

1) VITRIFIX Ltd., Shieffield; Patent 1985, Erweiterungen des Patents 1991 in USA; erster Einsatzort in Deutschland: Frankfurter Flughafen seit Mitte 1992:

Asbest wird einschließlich Verbundmaterial, Glasbruch sowie nicht beschriebener Zusatzstoffe, die in einem bestimmten Verhältnis eingebracht werden, in einem elektrischen Schmelzofen thermisch bei 1450°C behandelt. Durch die Beimengung oben genannter Reststoffe soll ein Herabsetzen der eutektischen Temperatur erreicht werden.

Asbest liegt nach Aussage vom Patentinhaber im Glas gebunden vor. Tatsächlich wird aber Chrysotilasbest bereits bei 400-650°C entwässert und wandelt sich oberhalb 700°C langsam in Forsterit um. Eine vollständige Umsetzung zu Forsterit kann oberhalb 1000°C auch bei kurzen Verweilzeiten im Ofen erreicht werden. Bei 1450°C ist zu erwarten, daß sich der gebildete Forsterit in der Schmelze vollkommen löst. Somit wird zwangsläufig die Faserstruktur des Asbest zerstört.

Der am Frankfurter Flughafen eingesetzte Ofen schmilzt max. 5t/d. Hierzu werden 250kg Altglas/t Asbestabfall benötigt. Der Altglaszusatz ist gleichzeitig auch der Regelungsprozeß, der das Schmelzverhalten steuert. Die vorliegende Schmelze kann in erster Näherung im ternären System CaO-SiO₂-Al₂O₃ beschreiben werden. Ein vollkommenes Aufschmelzen im System bei Temperaturen von 1300-1400°C ist nur bei einer ungefähren Zusammensetzung von 45 Gew% CaO, 40 Gew% SiO₂ und 15 Gew% Al₂O₃ möglich. Bei Zugabe von Altglas mit einer Pauschalzusammensetzung eines handelsüblichen Flaschenglases kann pro t Asbestabfall (Asbestzement) 940 kg Glasschmelze der Zusammensetzung 46 Gew% CaO, 35 Gew% SiO₂, 5 Gew% Al₂O₃, 7 Gew% MgO, 3 Gew% Fe₂O₃ und 4 Gew% Alkalioxide erwartet werden. Der Anteil an Alkalioxid führt zu einer Senkung der eutektischen Temperatur.

Bei einer mittleren Verweilzeit von ca. 1h fließt die Glasschmelze dünnstrahlig aus dem Ofen und wird in einem Wasserbad abgeschreckt. Das Endprodukt, ein Glas-Granulat soll im Straßenbau oder als Betonzuschlagstoff verwertet werden.

Der elektrische Bedarf liegt bei 1kWh/kg Asbestabfall. Die anfallenden Kosten betragen 1500-3000 DM/t Asbesttrockenmasse.

2) PROMETHEE/AEROSPITALE -Plasmaschmelzverfahren, Electricité de France, Paris:

Asbestzementabfälle werden in einem Hochtemperaturofen mit Hilfe eines Plasmabrenners bei 1500°C verglast. Die Abgase werden in eine Nachbrennkammer geführt, zur Nachverbrennung organischer Stoffe. Abluft wird gekühlt und in einem Wäscher gereinigt. Über Kosten liegen unterschiedliche Angaben vor: 300-1000DM bei französischen Strompreisen und einem Verbrauch von 1MWh/t Asbestabfall.

3) SPE Consulting und Projektsteuerung GmbH, Frankfurt am Main:

Asbesthaltiger Reststoff wird zusammen mit 25Gew% Altglas in einem Schredder auf Korngrößen < 30mm zerkleinert und mit Hilfe eines Magnetabscheiders die Eisenfraktion separiert. In einem vorgeschaltetem Verbrennungssystem wird Holz, Papier und Plastik verbrannt.

In Abhängigkeit der Zusammensetzung der eingesetzten Reststoffe muß die Schmelztemperatur in einigen Fällen durch Zusatz geringer Mengen Soda geregelt werden. Das Gemisch wird in einem Molybdän-Elektrodenofen bei 1400°C verglast. Direkt oberhalb

der Schmelze werden 1300°C eingestellt, um eine Faserzerstörung vor Austritt mit der Abluft zu sichern.

Folgende asbesthaltige Reststoffgemische können verglast werden: Asbest mit Beton, Stein, Sand, Gips, Holz, Mineralwolle, PE-Plastik, PVC, Eisen, nichteisenhaltige Metalle, Papier, Filtermaterial, Textilien, Wasser, Glas. Ausgenommen werden schwermetalbelastete Reststoffe.

Die Anlage ist für einen 24h Dauerbetrieb an 330 Tagen/a konzipiert mit einem Durchsatz von 5t/d und einem Energieeinsatz von ca. 1MWh/t Asbestreststoff.

Endprodukt: je nach Fe-Gehalt in seiner Farbe stark variierendes Na-Ca-Silikatglas-Granulat mit Korngrößen im mm bis cm-Bereich. Das Glasgranulat zeigt Ähnlichkeiten im Chemismus von handelsüblichen Flaschenglas. Flaschenglas ist MgO reicher, Na₂O und SiO₂ ärmer. Das Verglasungsprodukt ist durch den geringen Na-Gehalt korrosionsresistent und soll als Deponiedeckschicht, als Schleifmittel und im Straßenbau wiederverwendet werden.

4) ASBESTEX-Verfahren nach Johannes DIETER, Dortmund; Patent: EP 4035358.3-45:

Dieses Verfahren ist ein Gesamtkonzept von Sanierung und Entsorgung. Bei einer Temperatur von 1250°C und einer Verweildauer von 1h in einem Drehrohrofen wird die Asbeststruktur völlig zerstört. Dabei werden Silikate und Oxide synthetisiert.

In Tabelle 10 wird die Zusammensetzung und die Gewichtsverluste asbesthaltiger Stoffe vor und nach der thermischen Behandlung bei 1250°C im Drehrohrofen aufgeführt.

Produkt/Einsatzbereich	Phaseninhalt (unbehandelt)	Phaseninhalt (thermisch behandelt)	Glühverlust (Gew%)
Asbest kontaminierte Isolier- und Dämm-Materialien	KMF*, Chrysotil	Alkali-Silikatglas, Mg-Hedenbergit, Silikatglas, Wollastonit	0.6-5.3
asbesthaltiges Nachtspeichermaterial (AEG, Striebel, Witte)	Silikatglas (KMF*), Chrysotil Silikatglas (KMF*), Chrysotil, Forsterit, Klinochlor Krokydolith, Calcit, Aragonit, Quarz, KMF*	Cordierit Forsterit, Enstatit, Fassait Wollastonit, Hedenbergit, Cyclo-Wollastonit, Silikatglas	1.9-24.4
Asbestpappe für Kühlschränke	Chrysotil, Forsterit, Fassait	Forsterit, Enstatit	12.7
Gemisch aus 60% Asbestzement 20% Spritzasbest 20% Asbestdecken u. -schnüre	Krokydolith, Quarz, Ettringit, Chrysotil, Calcit	Larnit ($\beta\text{Ca}_2\text{SiO}_4$), $\alpha\text{Ca}_2\text{SiO}_4$, Periklas, Hämatit	20.1
Spritzasbest	Amphibolasbest, Calcit	Ca-Silikatglas, Hedenbergit	24.7-25.6
Asbestzement	Chrysotil, Portlandit, CaCO ₃ , Ettringit, Quarz	Larnit, Periklas, Akermanit	28.4
asbesthaltiger Fußbodenbelag	Chrysotil, organisches Material	Larnit, Periklas, Hämatit	48.6

Produkt/Einsatzbereich	Phaseninhalt (unbehandelt)	Phaseninhalt (thermisch behandelt)	Glühverlust (Gew%)
Filtermaterialien	Wollastonit, Quarz, Steinwolle	Silikatglas	91.3-93.0
	org. Material, Chrysotil, Krokydolith	Wollastonit, Cristobalit, Cyclo-Wollastonit, Hedenbergit, Perowskit	
Feuerfest-Textilien	org. Fasern, Chrysotil	Perowskit, Brookit, Wollastonit, Cristobalit	95.3-96.5

KMF: künstliche Mineralfasern (Glaswolle, Steinwolle, Keramikfasern)

Tab.10: Vergleich einiger asbesthaltiger Materialien vor und nach der thermischen Behandlung bei 1200°C nach STRÜBEL (1991).

Neben silikatischen Gläsern treten ausschließlich Oxide und Silikate auf:

Oxide:	Brookit (TiO_2), Brownmillerit ($2\text{CaO} \cdot (\text{Al,Fe})_2\text{O}_3$), Cristobalit (SiO_2), Hämatit (Fe_2O_3), Magnetit (Fe_3O_4), Korund ($\alpha\text{Al}_2\text{O}_3$), Periklas (MgO), Perowskit (CaTiO_3), Quarz (SiO_2), Tridymit (SiO_2).
Silikate:	Akermanit ($\text{Ca}_2\text{Mg}(\text{Si}_2\text{O}_7)$), Akmit ($\text{NaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$), Cyclo-Wollastonit ($\alpha\text{Ca}_3\text{Si}_3\text{O}_9$), Diopsid ($\text{CaMg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$), Enstatit ($\text{Mg}_2(\text{Si}_2\text{O}_6)$), Fassait ($\text{Ca}(\text{Mg,Al,Fe})(\text{Al/Si}_2\text{O}_6)$), Forsterit (Mg_2SiO_4), Hedenbergit ($\text{CaFe}(\text{Si}_2\text{O}_6)$), Merwinit ($\text{Ca}_3\text{Mg}(\text{SiO}_4)_2$), Larnit ($\beta\text{Ca}_2\text{SiO}_4$), Orthoferrosilit ($(\text{Fe,Mg})\text{SiO}_3$), Wollastonit ($\text{Ca}_3(\text{Si}_3\text{O}_9)$).

Das Produkt kann als Feuerfestmaterial im Bauwesen wiederverwendet werden. Pro Tonne asbesthaltigen Materials fallen Kosten von 1000-1400DM bei einem Energieverbrauch von 250-350kWh/t Asbestabfall an. Der Durchsatz wird mit 13 Tagestonnen angegeben. Ende 1991 wurde in einem Versuchsdrehrohrofen mit verschiedenen Asbestabfällen bei 1250°C und einer Aufenthaltszeit von 1-2h die Methode technisch realisiert. Derzeit wird die Realisierung einer mobilen Betriebsanlage geplant.

5) HITACHI Zosen Eng. KK.; Tokyo Electric Power Co.; Patent JP 4180879:

Bei diesem Verfahren werden Calciumsilikat- und/oder aluminiumhaltige, industrielle Reststoffe mit asbesthaltigen Material homogenisiert, geschmolzen und die Schmelze in einem Wasserbad abgeschreckt.

6) OSAKA Gas KK, Patent JP 3060789:

Bei diesem Verfahren werden Schlacken aus der industriellen und kommunalen Abwasserreinigung stufenweise entwässert ($\text{CaO} > \text{SiO}_2$). Asbestkontamierter Reststoff wird der noch feuchten Masse (10Gew% Wasser) hinzugegeben, das Gemenge homogenisiert und gänzlich entwässert. Anschließend werden Preßlinge geformt und in einem Hochtemperaturofen mit Graphitschmelzwanne geschmolzen.

7) SORG GmbH & Co.KG., Lohr/Main, Patent 89-3841918:

Asbesthaltige Abbruchmaterialien, Klärschlämme, Aschen und Filterstäube werden mit Hilfe von Zuschlagstoffen, wie Glasbruch, Soda, Phonolith und Sand in einem Hochtemperaturofen verglast. Das Aufschmelzen des Abfalls erfolgt mittels Elektroden, die von oben in die Schmelzwanne hineinragen. Die Schmelze selbst ist dabei der Ohmsche Widerstand. Auf der Oberfläche der Schmelze wird aus Gründen der Minimierung des Energiebedarfs und der Abgasemission eine flüssige Alkali- oder Erdalkalisalz-Galteschicht mit konstanter Schichtdicke erzeugt. Als Endprodukt wird bei gleichzeitiger Volumenreduzierung um 80% ein Glasgranulat erhalten. Die Glaszusammensetzung entspricht der von Vitrifix. Das Granulat soll als Bauzuschlagstoff Verwendung finden. Als Nebenprodukt erzeugte Salzgemische werden, da weitere Behandlungs- oder Verwertungsmöglichkeiten fehlen in einer Deponie verbracht. Je nach Anlagengröße ist ein Durchsatz bis zu 50 Tagestonnen errechnet bei einem Energieverbrauch von 1.6-2MWh/t Asbestmaterial.

8) FILINI, CALZAVACCA; Patent EP 344563:

Glühen asbesthaltiger Materialien bei 580°C. Bei entsprechender Verweilzeit der Materialien und reduzierenden Prozeßbedingungen wandelt sich Asbest in Forsterit bzw. Enstatit um. Forsterit und Enstatit sollen als Füll- und Versatzmaterialien im Bauwesen wiederverwendet werden.

9) ORTLEPP; Patent DE 4004201:

Asbesthaltiges Material wird zusammen mit Flußmitteln und Kohlenstaub vermischt und in einem reduzierenden Verglasungsprozeß in einem Lichtbogen unterzogen. Im Verfahrensprozeß entstehen keine Dioxine und Furane.

10) DOW-Verfahren:

Asbesthaltige Reststoffe werden mit Wasserglas, Bentonit, Na_2CO_3 und Fe_2O_3 vermischt, homogenisiert und peletiert. Der Verglasungsprozeß wird in einem Hochtemperaturofen durchgeführt und die Schmelz in einem Wasserbad abgeschreckt. Das Endprodukt ist eine mineralische Schlacke. Der Energieverbrauch liegt bei 1.2MWh/t Asbestmaterial.

11) MATHISZIK/SIEBRECHT; DE 89-3931686:

Nicht näher genannte Flußmittel werden zusammen mit asbesthaltigen Materialien unterhalb 1000°C in einem Ofen verglast.

12) NIPPON PILLAR KOGYO, Patent JP 89156296:

In einer Säurevorbehandlung werden asbesthaltige Materialien mit 1.5 facher Menge Phosphorsäure versetzt, feucht granuliert und die Lösung 2h bei 500°C thermisch

behandelt. Anschließend werden CaCO_3 oder Ca(OH)_2 dazugegeben und das Gemisch getempert. Dabei entstehen Mg-Phosphate und Ca-Silikate, die als Dünger Wiederverwendung finden sollen.

Thermische Verfahren im Vergleich

Verfahren	Input (AHM* + Zuschlagstoffe)	T [°C]	Hauptprodukt	Neben- produkt
VITRIFIX	Verbundmaterial + Glasbruch, Zuschlagstoffe	1450	Glasgranulat	k.A.
PROMETHEE	+ Wasser	1500	Glasgranulat, Glasbarren	k.A.
SPE-Verglasung	Beton, Steine, Glas, Gips, Holz, Mineralwolle, PE, PVC, Eisen, nichteisenhaltige Metalle, Filtermaterial, Textil, Wasser (Fe-Fraktion wurde vorher separiert) + 25Gew% Altglas, Na_2CO_3	1400	Glasgranulat	Salzgemisch, Metallge- misch Fe- Metall, entsorgt auf Deponie
ASBESTEX	nur anorg. AHM*, keine Zuschlagstoffe bzw. Sand	1250	teilmorphes silikatisches Material, Oxide	keine
HITACHI	AHM* + Calciumsilikate, Al- haltige Reststoffe	Hochtem- peraturofen	k.A.	k.A.
OSAKA	Schlacken aus kommunalen und industriellen Abwässern ($\text{CaO} > \text{SiO}_2$)	Hochtem- peraturofen	k.A.	k.A.
SORG	Abbruchmaterialien, Klärschlämme, Aschen, Filterstäube + Glasbruch, Na_2CO_3 , Phonolith, Sand	1400	Glaspropfen, Glasgranulat	Salzgemisch, entsorgt auf Deponie
FILINI	Chrysotil	580	Forsterit	k.A.
ORTLEPP	AHM + Flußmittel, Kohlenstaub	2000 Lichtbogen	k.A.	k.A.
DOW	AHM + Wasserglas, Bentonit, Na_2CO_3 , Fe_2O_3	Hochtem- peraturofen	mineralische Schlacke	keine
MATHISZIK	AHM + Flußmittel	1000	k.A.	k.A.
NIPPON PILLAR	+ H_3PO_4 , CaCO_3 , Ca(OH)_2	500	Mg-Phosphate Ca-Silikate	k.A.

*AHM=asbesthaltiges Material (wenn keine näheren Angaben gemacht wurden)

Tab.11: Thermische Asbestbehandlungsverfahren im Vergleich.

Allen Verglasungsverfahren ist der hohe energetische Aufwand gemeinsam. Der Primärenergieeinsatz bei der elektrischen Verglasung liegt bei 11.000-22.000 MJ/t reinen Asbest und ist damit um den Faktor 3 höher als bei der Primärglaserstellung bei Einsatz von 20Gew% Altglas.

Der Verglasungsprozeß benötigt eine ausreichende Menge glasbildender Komponenten und Flußmittel. Im Asbestreststoff enthaltene Metalle, organische Verbindungen und Wasser können sich prozeßstörend auswirken.

Bei zu geringem mineralischen (<50Gew%), hohem organischen (>10Gew%) oder hohem Anionenanteil (>30Gew%) im asbesthaltigen Reststoff müssen teure Zusatzmittel eingesetzt werden. Unter diesen Rahmenbedingungen stößt die Verglasung an die Grenzen der Wirtschaftlichkeit.

Als Nebenprodukte der Verglasung fallen Ca-, Na- und K-Sulfate und Chloride in Form von Glasgallen an, in denen eine Anreicherung der Schwermetalle, wie Pb, Cu, Zn etc. stattfindet. Die Glasgalle muß entweder einer Weiterbehandlung zugeführt oder in Abhängigkeit von ihren Schwermetallgehalten und dem Elutionsverhalten als Sondermüll deponiert werden. Weitere Metallschlacken reichern sich an Böden der Schmelzwannen an und müssen, da Aufbereitungsmöglichkeiten fehlen entsorgt werden. Nach derzeitigem Kenntnisstand wird in beiden Fällen deponiert.

Zusätzlich fallen Rückstände aus der Rauchgasreinigung an, die entweder eine Rückführung in den Verglasungsprozeß zulassen oder ebenfalls entsorgt werden müssen. Die Rauchgasreinigung muß dem Stand der Technik angepaßt sein, da ein Schwermetall- und Chlorideintrag über Kunststoffe und Lacke möglich ist.

Die Wirtschaftlichkeit des Verglasungsverfahrens hängt im wesentlichen von der Durchsatzkapazität und der Prozeßkontinuität ab, die durch eine ausreichende Reststoffmenge gesichert werden muß. Versiegelungs- und Transportkosten gehen zu einem erheblichen Maß in die Rentabilität einer stationären Anlage mit ein.

Den Anforderungen einer vollständigen Zerstörung der Faserstruktur aller Asbeste, einer Beherrschbarkeit des Verfahrens, Weiterverwendbarkeit und -verwertbarkeit, der Wirtschaftlichkeit und der gleichbleibenden Qualität der Endprodukte wird kaum ein Verfahren im optimalen Maß genügen können. Daher liegen sowohl in Deutschland als auch im englischsprachigen Raum noch eine Reihe weiterer Patente zu thermischen Behandlungsmethoden von Asbestreststoffen, die sich nur in geringen verfahrenstechnischen Details, wie Vorbehandlungsverfahren, Ofentypen oder der Logistik (z.B.: Passavant-Patent DE 4125169: zusätzliches Einbringen von asbesthaltigen Material an der Glasaustrittsdüse. Dabei wird ein Teil mit aufgeschmolzen, der Rest in der Glasmatrix gebunden) unterscheiden. Eine Reihe amerikanische Patente beschäftigt sich mit dem Herabsetzen von Schmelztemperaturen asbesthaltigen Materials mit Hilfe von Flußmittel:

- * MASON-LARAMIE, in U.S.Pat.No 5085838: Zugabe von Na_2O , Na_2CO_3 , Na_3PO_4 , NaHCO_3 , Borax und/oder Mischungen daraus.
- * ROBERTS et al., in U.S.Pat.No. 4678493: Zugabe von Alkali- und Erdalkalimetallverbindungen, Fluoriden und Chloriden.
- * IKEDA et al., in US.Pat.No. 3425817: Zugabe von PbO , B_2O_3 , TiO_2 -Gläsern
- * CHEVALIER-BULKTEL, in U.S.Pat.No. 4476235: Zugabe von Na-, K-, Li-, Mg-, Ca-, Al-Metallsalze, Mischungen daraus und natürlichen Aluminiumsilikaten.
- * KROYER, in U.S.Pat.No. 3073708.
- * DUMESNIL et al., in U.S.Pat.No. 4743302: Zugabe von B-, Zn-, Ba-, Sr-, P-, Nb-, Ta-Oxiden mit Pb-,V-Glas.

Vorschläge zur Wiederverwertung von Asbestzement als Rohstoff in der Zementklinkerherstellung stoßen zur Zeit in der Öffentlichkeit auf geringe Akzeptanz müßten aber tiefergehenden Studium unterzogen werden.

2. Chemische Verfahren

Verhalten der Asbestminerale in wäßrigen Lösungen

Chrysotil ist in alkalischen Lösungen relativ stabil und kann nicht in technisch relevanten Zeiten in Lösung gebracht werden. In Säuren hingegen ist seine Stabilität stark eingeschränkt. Mit fallendem pH steigt die Löslichkeit von Chrysotil. Flußsäure kann allerdings auch als schwache Säure (pH=3) Chrysotil in kurzen Zeiten (min-1h) lösen. Chrysotil geht inkongruent in Lösung (GRONOW 1986).

In schwefel-, salpeter- oder chromsauren Lösungen und Abfallsäuren aus der metallveredelnden Industrie bei einem Flüssig/Feststoffwert von 10:1 kann bei Raumtemperatur je nach Abmischung nach 15-48h eine 80%ige Auslaugung der $Mg(OH)_2$ -Schicht von Chrysotil beobachtet werden (HEASMAN und BALDWIN 1986). Chromsäure/Salpeter-Mischungen laugen Chrysotil schneller aus als reine HNO_3 . Die Auslaugungsgeschwindigkeit des Mg^{2+} kann in Anwesenheit weiterer gelöster Metallkationen erhöht werden. Nach MORGAN et al. (1977) und MONCHAUX et al. (1981) geht bei 40-55%iger Auslaugung der $Mg(OH)_2$ -Schichten die Karzinogenität drastisch zurück. Einige der Abmischungen zeigen eine vollkommene Zerstörung der Faserstruktur während in anderen Fällen trotz 90%iger Auslaugung der $Mg(OH)_2$ -Schichten fasrige Rückstände zurückbleiben. Ihre Morphologie bleibt auch bei vollkommener Mg-Auslaugung erhalten. Das verbleibende Silikat-Gerüst ähnelt in seinem optischen Verhalten Glasfasern und stellt kein Gesundheitsrisiko mehr dar (WAGNER et al. 1973). Aktuelle Untersuchungen (POTT 1990) fasriger Asbestersatzstoffe (z.B. Glasfasern, Steinwolle) zeigen ähnliche kanzerogene Eigenschaften wie Asbest.

Amphibolasbeste, wie Krokydolith verhalten sich in H_3PO_4 und HF analog zum Serpentinbest. In anderen Säuren ist Krokydolith beständig. Seine Stabilität wird in alkalischen Lösungen reduziert.

1) SOLVAS-Verfahren, Solvay Umweltchemie GmbH, Hannover:

Sowohl Amphibol- als auch Serpentinbeste sind in Flußsäure löslich. Bei dem Verfahren handelt es sich um einen standardisierten Gesteinsaufschluß, wie er im Labor bei Gesteinsuntersuchungen vorgenommen wird.

Das SiO_4 -Gerüst der Asbestfasern wird mit HF aufgelöst. Dabei spielt nicht der pH-Wert von 3, sondern die Fähigkeit von Si unter Bildung von SiF_4 in Lösung zu gehen, die entscheidende Rolle. Der Lösungsprozeß muß bei einem 5-10%igen Überschuß an HF durchgeführt werden, da nach Aussagen der Betreiber ein Unterschuß oder eine Verdünnung an Flußsäure vorzeitig zu einem Abbruch des Lösungsvorgangs der Asbestfasern führt. Der Überschuß an Säure muß anschließend mit Kalkmilch (übersättigte Ca(OH)_2 -Lösung) neutralisiert werden. Dabei kommt es zu einem Temperaturanstieg auf 100°C unter heftiger HF-Dampfbildung. Die Kesseltemperatur soll daher nicht 75°C überschreiten um Freisetzung an HF-Dampf so gering wie möglich zu halten. Der Lösungsvorgang findet schubweise in einer Waschtrommel statt.

Der Fluorüberschuß wird als CaF_2 (Fluorit) oder in Form von Hexafluorosilikaten gefällt. Als Nebenprodukte entstehen Na-, K-, Mg-, Fe-Hydroxide. Diese Verbindungen weisen keine nadeligen Strukturen mehr auf. Die Schlacke wird gefiltert und der verbleibende Wassergehalt abgepreßt oder verdampft.

Das feinkörnige Endprodukt soll als Zuschlag- und Ersatzstoff für Feinsandanteile in Zementbausteinen oder als Flußmittel verwendet werden. Auch wird der Wiedereinsatz zur Gewinnung von Flußsäure erwogen (eine Genehmigung ist in Stuttgart bereits erteilt worden). Zementsteine unter Verwendung des Endprodukts können die für Recyclingprodukte vorgeschriebenen Druckfestigkeitswerte einhalten. Die Stadt Bremen erteilte die Genehmigung zum Bau einer Pilotanlage, nachdem der Entsorgungs- und Verwertungsnachweis durch die Fa. Berding Beton GmbH, Wardenburg, die den fluorhaltigen Reststoff in das Mischgut zur Betonsteinherstellung einbringen möchte, erbracht wurde.

Über Variation des Chemismus, Phaseninventars und Fluorid-Eluierbarkeit der Endprodukte bei Dauerbetrieb und Vollast liegen keine Angaben vor. Bei Phasenumwandlungen könnten lösliche Fluoridverbindungen entstehen, die für zusätzlichen Sondermüll sorgen (TA-Siedlungsabfall schreibt als Obergrenze für Eluate 5mg/l für F^- in Deponieklasse I bzw. 10mg/l in Deponieklasse II vor).

Mit dem Einsatz von Flußsäure wird eine sehr kritische Chemikalie eingesetzt, die hohe Anforderung an die Sicherheit von Mensch, Anlage und Gefahrguttransporte stellt. Abluft, Abwasser und Abfallstoffe aus Filtern stellen weitere Probleme dar. Anders als bei thermischen Verfahren findet hier eine Volumenzunahme statt. Nach Aussagen der Betreiber kann beim SOLVAS-Verfahren vollständig auf eine Deponierung verzichtet werden.

Die Anlage ist für einen Durchsatz von 2t Asbest/d ausgelegt. Der energetische Einsatz ist mit 200kWh verhältnismäßig gering. Der Reagenzienbedarf liegt bei 900kg Flußsäure und 450kg Kalk/t asbesthaltigem Material. Die Kosten werden bei $4000\text{DM/t Flußsäure}$ und 100DM/t Kalk durch die Säure bestimmt. Die Solvay Umweltchemie ist zudem der größte Flußsäurehersteller in Deutschland.

2) NIPPON STEEL Chemical. Co. Tokyo, Patent JP 90198670:

Asbesthaltiges Material wird unter Wärmezufuhr in wässriger Lösung gelöst. Die Lösung enthält eine flüchtige P-, S-, N-haltige Mineralsäuren, Flußsäure, H_2SiF_6 , H_3BF_6 . Anschließend wird die Lösung gefiltert und das Filtrat auf $100^\circ C$ erhitzt. Dabei werden flüchtige Fluoride ausgetrieben.

Mit der Behandlung in wäßrigen mineral-sauren Lösungen werden zusätzliche kritische Chemikalien eingebracht und das Volumen der Problemstoffe erhöht. Das Endprodukt, eine Schlacke, kann nicht unbedenklich wiederverwertet oder deponiert werden.

3) NIPPON STEEL Chemical. Co., Tokyo .JP 89132841:

Chrysotilasbest wird mit einer konzentrierten wäßrigen Mg-Hydrogenphosphat-Lösung bei pH 2.4-2.8 und einem Lösung zu Feststoffverhältnis von 3:1 behandelt. Der Behandlung geht eine mechanische Beanspruchung voraus. Der phosphathaltige Reststoff soll als Düngemittel wiederverwertet werden. Eine Verbesserung der Düngemittleigenschaften kann durch Zugabe von Na-Silikaten erreicht werden.

4) ASD INC., Patent US 4678493:

Spritzasbest, Asbestzement und ähnlich stark kontaminiertes Material wird zuerst um einen Säureangriff zu forcieren mit 50-97%iger Schwefelsäure bei einem $pH < 2$ und anschließend verdünnter Schwefelsäure behandelt. Chrysotil wird dabei in Mg-Silikate überführt. Die Lösung wird neutralisiert und mit Dispergierungsmittel, Beschleunigern, Puzzolanen und Zementklinker vermischt und verfestigt.

5) MITSUI ENG & SHIPBUILDING CO., Patent JP 1171685:

Asbesthaltiges Material wird nach einer mechanischen Aufbereitung im Schredder einer hydrothermalen Behandlung bei $150-350^\circ C$ und $200-300 kg/cm^2$ in einer stark alkalischen Lösung unterzogen. Die verwendeten Reagenzien sind: Wasserglas oder Sodaglas oder B-haltiges Glas (1-30Gew%), Alkalieintrag (1-5Gew%) in Form von NaOH, KOH, $Ca(OH)_2$, $Ba(OH)_2$, $Sr(OH)_2$ oder einer Mischung aus zwei Hydroxiden und 5-20Gew% Wasser. Die mittlere Verweilzeit der Mischung im Autoklaven wird in der Patentschrift mit 10min-1h angegeben. Das Endprodukt ist eine nichtnadelige Masse und wird nicht näher charakterisiert.

Um eine Charakterisierung des Endprodukts vornehmen zu können, wurde in eigenen Experimenten die Lösungsvorschrift im Labormaßstab nachgeahmt. Dazu wurden $Na_2SiO_3 \cdot 9H_2O$ oder $Na_2Si_3O_7$ (Wasserglas) mit wäßrigen Lösungen aus NaOH, KOH und Chrysotilasbest in verschiedenen Verhältnissen versetzt und 5-7 Tage einer hydrothermalen Behandlung bei $200^\circ C$ und gesättigtem Wasserdampfdruck ausgesetzt.

Mit Hilfe eines Pol-Durchlichtmikroskops konnte nach einer Woche keine Zerstörung bzw. Auflösung der Chrysotilfasern beobachtet werden. In nahezu allen Fällen wurden die

Faserbündel lediglich in Fasern unter 10-20µm Länge aufgespalten und homogen in der Lösung (pH=14 vor und nach der Reaktion) verteilt. Damit nimmt auch die Doppelbrechung der Fasern ab. In einem Experiment konnte der gegenteilige Effekt, eine erhöhte Haftneigung und Verklebung zu größeren Chrysotilasbestfasern beobachtet werden. Dieser Effekt beruht mit hoher Wahrscheinlichkeit auf der Wirkungsweise einiger Verfestiger auf Wasserglasbasis, die sich die freien OH-Gruppen an der Oberfläche der Oktaederschichten zunutze machen. Die Wirkung der elektrostatischen Kräfte, die die Haftung erhöhen, kann mechanisch sehr leicht aufgehoben werden.

Eine Reihe weiterer Patente zu chemischen Behandlungsverfahren unterscheidet sich nur in der Säure oder der Abmischung mehrerer Mineralsäuren. Einige Patente beschränken sich auf die Anwendung organischer Säuren (z.B. Oxalsäure).

Verfahren	Bedingungen	Reagenzien	Produkte	Entsorgungspfad
SOLVAS	pH=3 T=100°C	HF im Überschuß, Kalkmilch	Fluorit, Hexafluorosilikat- Schlacke	Zuschlagstoff im Zement, HF-Gewinnung, Flußmittel
NIPPON STEEL JP 90198670	T=100°C	P-, S-, N-Mineral- säuren, HF, H ₂ SiF ₆ , H ₃ BF ₆	Schlacke	Deponie
NIPPON STEEL JP 89132841	pH=2.4-2.8 Lsg./Festst.verh.= 3:1	konz. Mg- Hydrogenphosphat- lösung, Na-Silikate	Schlacke	Düngemittel
ASD	pH<2	50-97%ige H ₂ SO ₄ , verd. H ₂ SO ₄ , Dispergierungsmittel, Puzzolane, Zement	Mg-, Ca-Silikate	Bauschuttdeponie
MITSUI	hydrothermal p=200-300kg/cm ² T=150-300°C pH>13	Wasserglas, Na- Glas, B-Glas, Alkali-, Erdalkalihydroxide	Schlacke	Deponie

Tab.12: Vergleich chemischer Behandlungsverfahren.

Chemische Behandlungsverfahren sind energetisch günstiger als thermische Verfahren. Auch die Rauchgasreinigung gestaltet sich finanziell günstiger als bei der Verglasung. Die Kosten liegen allerdings in zum Teil hohen Preisen für Chemikalien. Aus diesem Grund wird in einigen Verfahren versucht auf Prozeß- und Restsäuren aus der Industrie (z.B. Metallverhüttung) zurückzugreifen.

Bei chemischen Asbestbehandlungsverfahren wird in der Regel eine Volumenzunahme der Reststoffmenge durch Verdünnung in aquatischen Systemen erreicht. Mit dem Einbringen von kritischen Reagenzien werden hohe Anforderungen an Sicherheit des Personals und der Anlage gestellt. Zudem muß die gesamte Menge an Reststoff deponiert werden, falls

keine zusätzlichen Maßnahmen zur Abtrennung oder Einengung der Gefahrenstoffe getroffen werden.

3. Verfestigung mit Bindemitteln

1) HOHENLEITER Herbert, Patent DE 2524988:

Nach vorgeschaltetem Schreddern wird asbesthaltiges Material in einer Mischanlage verbracht und einer Versatzpulpe für die Verfüllung von Hohlräumen im Untertagebau beigemischt. Die Pulpe härtet untertage aus, wo sie auch gleichzeitig als Stützung der Hohlräume dient.

2) ORTLEPP Wolfgang, Patent DE:

Für eine Zwischenlagerung oder einen Transport von asbesthaltigen Material, insbesondere Asbeststaub wird ein Naßverfahren vorgeschlagen, bei dem der wäßrigen Waschflüssigkeit ein wasserlösliches Bindemittel, wie Celluloseether und/oder Methylcellulose (z.B. Tapetenkleister) zugegeben wird. Nach der Aushärtung kann das Bindemittel wieder gelöst und der asbesthaltige Reststoff mit Hilfe eines hydraulischen Bindemittels zu einem dauerhaft deponiefähigen Produkt umgesetzt werden.

3) DUST Umweltschutztechnik GmbH, Patent DE 3673707:

Asbesthaltiges Material wird mit Hilfe von Zementmilch verfestigt. Unter Druck wird das Gemenge zu Briketts geformt. Eine Deponierung auf Hausmülldeponien soll bei dieser Methode möglich sein.

4) BILFINGER & BERGER Bau AG, Patent DE 1155326:

In wesentlichen Zügen beinhalten 3) und 4) das gleiche Patent. Im vorliegenden Patent wird das, bei der Volumenreduzierung auf ca.0.5-0.1 und Verpressen zum Block abgesonderte Wasser als Anmachwasser für nächste Mischungen verwendet.

5) EWIDO-Penetrationsverfahren, Fa. Wild, Dortmund, Patent 3932208:

Die Verfestigung von asbesthaltigem Material soll durch einen Zwei-Komponentenbinder geleistet werden. Mit der Absättigung durch Faserbindemittel (Alkalisilikate und Phosphathärter) soll eine Aufrauung der Oberfläche der Fasern erreicht und damit die Haftung und Klebefähigkeit gesteigert werden. Eine Beschichtung soll dauerhaft sein und die Sanierung unnötig machen bzw. die Entsorgung sicher gestalten.

6) UWAS Umweltchemie GmbH, Ismaning:

Spritzasbesthaltige Abfälle werden mit Hilfe eines Bindemittels auf Kunststoffbasis verpreßt und verfestigt. Als Bindemittel können Thermoplaste oder auch Kunststoffe, wie z.B. Schnitzel aus PE-Folien verwendet werden. Die Brikettierkosten sollen bei einem Bindemittelanteil von 15-30 Gew% bei DM 80,- bis 100,- liegen. Das Verfahren erfordert vorheriges Zerkleinern des eingebrachten Materials. Eine Faserfreisetzung wird an Brikettbruchstellen nicht ausgeschlossen, da der Bindemittelanteil sehr niedrig ist. Eine Umsetzung des Verfahrens wird nicht geplant.

7) SHIKOKO Kaken Ltd., Japan:

Asbesthaltiger Reststoff wird mit Bindemitteln aus $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ und MgO verfestigt. Je nach Mischung der Asbestabfälle werden Briketts gepreßt, die auf Deponien abgelagert werden können. Im Gegensatz zum Zement reagiert das Bindemittel nicht alkalisch und soll nur geringe pH-Abhängigkeit über weite Bereiche aufweisen.

8) SCHÜTZE-Verfahren:

Asbesthaltiger Reststoff wird mit Portlandzement verfestigt und auf einer Deponie verbracht. Dabei entstehen Kosten von 800-2300DM/t Reststoff.

Die Fülle, der auf dem Sanierungs- und Entsorgungsmarkt, eingesetzten Verfestiger und Binder läßt sich in drei Kategorien unterteilen:

- * Verfestiger und Binder auf Wasserglasbasis (Sinolith der BM Chemie GmbH, EWIDO-Verfahren),
- * Kunstharze auf organischer Basis (z.B. Fibreseal SB, Sinosol S),
- * Portlandzement.

Verfahren	Reagenzien	Endprodukt	Entsorgungspfad
HOHENLEITER	Versatzpulpe	Pulpe	Stützung im Untertagebau
ORTLEPP	wasserlösliche Bindemittel, hydraulische Binder	Briketts	Deponie
DUST/BILLFINGER	Zementmilch	Briketts	Deponie
EWIDO	Zwei-Komponentenbinder (Alkalisilikate, Phosphathärter)	Briketts	Deponie
UWAS	Bindemittel auf Kunststoffbasis, (Thermoplaste, Kunststoffe)	Briketts	Deponie
SHIKOKO	$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$, MgO	Briketts	Deponie
SCHÜTZE	Portlandzement	Briketts	Deponie

Tab.13: Verfestigungsverfahren im Vergleich.

Mit Verfestigungsverfahren wird keine Zerstörung oder Auflösen der Asbestfaserstruktur erreicht. Sämtliche der o.g. Verfestigungsverfahren können nur unter einer Volumenzunahme, der zu entsorgenden Menge, betrieben werden. Die Endprodukte müssen auf einer Deponie verbracht werden.

Die Stabilität der verfestigten Körper hängt stark von Deponiebedingungen ab. Im sauren Milieu kann eine Zerstörung oder Teilauflösung der Zementmatrix bzw. der Schutzumhüllung eintreten und zu einer erneuten Asbestfaserfreisetzung führen. Darüber hinaus müssen Druckfestigkeiten und Elutionsverhalten verfestigter Körper den Anforderungen einer Deponie entsprechen.

Bundesanstalt für Materialforschung- und Prüfung in Berlin rät von Verfestigungsmethoden für Spritzasbest am Bauteil zur Vermeidung des Ausbaus ab, da Penetration der Fasern nicht gewährleistet werden kann.

Die Kosten werden vom Preis für Verfestiger, Binder und den Deponiegebühren diktiert. Wobei Deponiekosten stark von der Lokalität abhängen (50-400DM). Eine Verfestigung mit Portlandzement (Fa. Schütze: Stand der Technik) kostet 5-10 DM/kg asbesthaltiges Material. Der Bindemittelbedarf liegt bei 55kg/m^3 Asbestabfall. Alle weiteren Verfestigungsmethoden sind momentan noch teurer.

4. Weitere Verfahren

1) NEUGEBAUER & BUCHMANN, Dortmund:

Behandlung von chrysotilhaltigen Asbestschnüren und Asbestpappen mit Hilfe eines CO₂-Lasers mit Strichfokusoptik und einer Leistung von 2200W. Bei einer vom bindemittelabhängigen Eindringtiefe von 4-6mm wird im oberflächennahen Bereich der Chrysotil bei 600-780°C entwässert und anschließend bei höherer Temperatur in Forsterit umgewandelt.

Der hohe apparative Aufwand kann den Anforderungen einer Vor-Ort-Methode nicht genügen. Bei einer Laservorschubgeschwindigkeit von 1mm/min und einer Fokusbreite von 5mm kann diese Methode auf dem Bausektor nicht die Methode der Wahl sein.

2) LOBOCK & FISCH

Asbesthaltige Suspensionen und Pulpen werden mittels eines Verfahrens defibrilliert, bei dem Dampfzufuhr im Zentrum einer Dispergiermaschine schlagartig aufgeheizt wird. Die Faserbündel werden hierbei mechanisch durch Druckwechsel-, Kavitations-, Prall- und Gravitationskräfte aufgelöst und es wird eine Pulpe besonderer Feinheit hergestellt.

5. Vergleich der Verfahren

Keines der angeführten Verfahren genügt den Anforderungen in allen Punkten.

Zukunftsträchtige Verfahren, wie Vitrifix, AsbestEx und SPE garantieren eine vollständige Faserstrukturzerstörung, Volumenreduktion des Abfallaufkommens und eine technisch unproblematische Handhabbarkeit der Endprodukte, müssen aber mit einem hohen Primärenergieaufwand, Zusatz von Glasbildnern und Flußmitteln rechnen. Das Glasgranulat kann im Straßenbau und als Füllstoff wieder eingesetzt werden, doch die Möglichkeit eines Downcycling alleine kann noch keine Abnehmer in der freien Wirtschaft garantieren. Dabei entstehende Nebenprodukte müssen auf einer Deponie entsorgt werden.

Chemische Behandlungsmethoden sind (mit Ausnahme vom Solvas-Verfahren der Fa. Solvay dem größten deutschen Flußsäurehersteller) stark vom Säurepreis abhängig. Der Einsatz von Prozeßsäuren aus der Metallverhüttung vergrößert das Abfallaufkommen und verlagert nur das Problem. Die Flußsäurewäsche garantiert eine vollständig Faserzerstörung, mit HF wird aber eine kritische Chemikalie eingeführt, die höhere Anforderungen an Sicherheit und Technik stellt (z.B. komplexe Rauchgasreinigung).

Verfestigungsverfahren verbrauchen unter Volumenvergrößerung ein Wirtschaftsgut und benötigen darüber hinaus vermehrt Deponieraum, ohne eine dauerhafte Sicherheit unter Deponiebedingungen gewährleisten zu können.

Die Methode der Wahl kann nur ein energieeinsparendes, volumenreduzierendes Verfahren sein, daß eine vollständige Strukturzerstörung aller Asbestvarietäten gewährleistet und eine sichere Wiederverwertungsmöglichkeit bei größtmöglicher Aufspaltung der Entsorgungspfade garantiert.

Keines der angeführten Verfahren kann o.g. Anforderungen in allen Punkten genügen. Eine umweltgerechte Entsorgung kann aber nur bei größtmöglicher Deckung des Forschungsbedarfs sichergestellt werden.

Literatur

- Adomeit, W.; Turbofilter G.m.b.H. (1991): Central asbestos disposal plant; Staub - Reinhalt. Luft, 51(10), 341-3
- Albracht, G.; Schwerdtfeger, O. A. (1991): Herausforderung Asbest, Universum Verlagsanstalt GmbH KG, Wiesbaden
- Allen, M.P.; Smith, R.W. (1975): Dissolution of asbestos minerals in acid and buffered salt solutions; Resumes Commun. - Conf. Int. Phys. Chim. Miner. Amiante, 3rd, 4.16, 12 pp., Univ. Laval: Quebec, Que.
- Arkhiptsev, V.M.; Rjasnoj, V.D. (1992): Compositions for curing fresh concrete, U.S.S.R.; Izobreteniya 1992, (19), 97.
- Asakura, T.; Kawaguchi, Y.; Iwao, Y.; Okuda, Masami (1992): Treatment of waste asbestos and calcium silicates; Jpn. Kokai Tokkyo Koho, 5 pp.;JP 04180879 A2
- Asbest-Richtlinien (1990): Richtlinien für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden, Bonn
- Ashimov, T.B.; Bolotov, Y.A.; Krass, Y.R (1991): Experimental and theoretical investigation of the reduction electrosmelting of a magnesian-silicate raw material; Kompleksn. Ispol'z. Miner. Syr'ya, (1), 62-7
- Ashwood, T.L.; Wickliff, D.S.; Morrissey, C.M. (1992): Active Sites Environmental Monitoring Program: program plan: revision 1, Report, ORNL/M-1793; Order No. DE92010373, 60 pp.
- Bales, R.C.; Morgan, J.J. (1985): Dissolution kinetics of chrysotile at pH 7 to 10; Geochim. Cosmochim. Acta, 49(11), 2281-8
- Bau-Berufsgenossenschaft (1991): Technische Regeln für Gefahrenstoffe TRGS 519 - Asbest, Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten, TRGS 517 - Asbest, Herstellen und Verwenden
- Bennington, K.O.; Ferrante, M.J.; Stuve, J.M. (1978): Thermodynamic data on the amphibole asbestos minerals amosite and crocidolite; U. S., Bur. Mines, Rep. Invest., RI 8265, 30 pp.
- Berghmans, P.K; Jacob, Wim; Adams, Freddy1992, Ultrastructural localization of titanium in chemically modified chrysotile asbestos, J. Microsc. (Oxford), 166(3), 307-16.
- Berman, R.G.; Engi, M.; Greenwood, H.J.; Brown, T.H. (1986): Derivation of internally-consistent thermodynamic data by the technique of mathematical programming: A review with application to the system magnesium oxide-silica-water; J. Petrol., 27(6), 1331-64
- Berman, R.G. (1988): Internally-consistent thermodynamic data for minerals in the system sodium oxide-potassium oxide-calcium oxide-magnesium oxide-iron oxide(FeO)-iron oxide (Fe₂O₃)-alumina-silica-titania-water-carbon dioxide; J. Petrol., 29(2), 445-522
- Bertelsmann Fachzeitschriften-Supplement (1992): Asbest in Ostdeutschland - Asbestaltlasten (Sanierung, Entsorgung)
- Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (1992): Asbest - Arbeitsschutzvorschriften und Handlungsanleitungen für die Bauwirtschaft , Frankfurt am Main
- Bethke, C.M. (1992): The Question of Uniquess in Geochemical Modeling, Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 56, S. 4315-4320
- Bish, D.L.; Chipera, S.J. (1991): Detection of trace amounts of erionite using x-ray powder diffraction: erionite in tuffs of Yucca Mountain, Nevada, and central Turkey; Clays Clay Miner., 39(4), 437-45

- Blanco, M.A.; Armor, A.F. (1991): Asbestos control and replacement for electric utilities; Proc. Am. Power Conf., 53(1), 479-84
- Blaszczok, H.; St. Laurent, G.; Edmiston, J. (1992): Composition used for sealing surfaces after the removal of asbestos; Can. Pat. Appl., 9 pp.; CA 2026476 AA
- Bolotov, Y.A.; Nechistykh, G.A.; Biryukova, A.A. (1992): Magnesium silicate refractories from industrial waste of Kazakhstan; Kompleksn. Ispol'z. Miner. Syr'ya, (9), 58-62
- Borchert, C. (1992): Asbestos management in general and particularly for Leipzig from legal and technological viewpoints, Germany; IWL-Forum, 29(8, Asbest: Gefahren, Rechtliche Anforderungen, Entsorgung), 69-76
- Brady, P.V.; Walther, J.V. (1989): Controls on silicate dissolution rates in neutral and basic pH solutions at 25.degree.C; Geochim. Cosmochim. Acta, 53(11), 2823-30
- Branchendienst des Hessischen Handwerks und des Hessischen Umweltministeriums (1992): Asbest die gefährliche Faser, Wiesbaden
- Breznikar, I.; Debus, M., Friedrich, Maschinenbau; BEC Breznikar GmbH Rationalisierungs- und Umwelttechnik (1992): Apparatus and method for transformation of hazardous materials into harmless construction debris, Germany; Ger. Offen., 9 pp. DE 4034447 A1
- Budnikov, P.P.; Ved, E.I.; Bludov, B.F. (1967): Thermodynamic analysis of the decomposition reactions of some magnesium hydrated silicates; Izv. Sib. Otd. Akad. Nauk SSSR, Ser. Khim. Nauk, No. 5 3-7
- Bundesgesetzblatt (1991): Verordnung über gefährliche Stoffe - (GefStoffV) , Bonn
- Bundesministerium für Wirtschaft (1987): Einheimische Rohstoffe - Steine, Erden und Industriemineralien, Referat Presse und Information, Bonn-Duisdorf
- Bundesministerium für Wirtschaft (1987): Mineralische Rohstoffe, Referat Presse und Information, Bonn-Duisdorf
- Burgbacher, G.; Hermann, K. und Mohr, R. (1991): Entsorgung von Abfällen aus Asbestsanierungen, Sonderdruck der Technischen Überwachungsvereine e.V., Bd .32, Heft 7/8, Stuttgart
- Chermak, J.A.; Rimstidt, J.D. (1989): Estimating the thermodynamic properties (.DELTA.Gf0 and DELTA.Hf0) of silicate minerals at 298 K from the sum of polyhedral contributions; Am. Mineral., 74(9-10), 1023-31
- Choi, I.; Smith, R.W. (1972): Kinetic study of dissolution of asbestos fibers in water; J. Colloid Interface Sci., 40(2), 253-62
- Ciochina, M.; Calinoiu, M. (1992): Asbestos cement pipes used for conveying geothermal waters; Mater. Constr. (Bucharest), 22(1), 19-22
- Cui, G.; Lei, S. (1991): Comprehensive utilization of asbestos tailings-extraction of magnesium oxide from serpentine; Feijinshukuang, (3), 32-5, 39
- Datta, A.K. (1991): Dehydration of chrysotile asbestos: an infrared absorption study; J. Mater. Sci. Lett., 10(15), 870-1
- Davis, M.L.; Chou, G.P. (1992): RCRA land disposal restrictions for contaminated debris Hazard. Mater. Control, 5(2), 30-3

Day, H.W.; Chernosky, J.V.; Kumin, H.J. (1985): Equilibria in the system magnesium oxide-silicon dioxide-water: a thermodynamic analysis; *Am. Mineral.*, 70(3-4), 237-48

Deutscher Bundestag, 11. Wahlperiode (14.06.1989): Entsorgung von asbesthaltigen Abfällen, Drucksache 11/4590, Sachgebiet 2129, Bonn

Dobrynina, N.V.; Bel'skaya, Z.V.; Olekhova, L.P.; Manninen, V.O.; Kaistryukov, A.S. (1991): Putty; *U.S.S.R. Otkrytiya, Izobret.*, (11), 71.; SU 1636381 A1

Donaldson, K.; Szymaniec, S.; Li, X.Y.; Brown, D.M.; Brown, G.M (1991): Inflammation and immunomodulation caused by short and long amosite asbestos samples; NATO ASI Ser., Ser. A, 223(Mech. Fibre Carcinog.), 121-30; Draft postclosure permit application for Bear Creek hydrogeologic regime at the Oak Ridge Y-12 Burial Grounds Hazardous Waste Disposal Unit: environmental restoration program; Oak Ridge Y-12 Plant; Geraghty and Miller Inc., Oak Ridge, TN, USA Report, Y/ER/Sub-91-ALV96/3-Draft; Order No. DE92004747, 320 pp.

Drovetskii, Y.I.; Chichetkin, V.I.; Yatsunova, M.I. (1979): Hygrothermic and thermodynamic parameters of some types of organosilicon molding materials; *Khim. Prom-st., Ser.: Proizvod. Pererab. Plastmass Sint. Smol*, (2), 21-3

Dujic, Z.; Tocilj, J.; Boschi, S.; Saric, M.; Eterovic, D. (1992): Biphasic lung diffusing capacity: detection of early asbestos induced changes in lung function; *Br. J. Ind. Med.*, 49(4), 260-7

Eckert, A.; Bildner, K.; Ruetgerswerke A.-G. Ernst (1992): Method for reusing polymer- and filler-containing residues in bituminous mixtures, and the use of the mixtures; *Eur. Pat. Appl.*, 6 pp; EP 471925 A2

Eger, K. (1993): Ungewöhnliche Fundstellen DDR-spezifischer Asbestmaterialien, Tagungsband zum Asbestkongreß 15.-16. Februar 1993, UTECH Berlin, Fortbildungszentrum Gesundheit und Umweltschutz Berlin e.V.

Entsorga-Magazin (1991): Sicher Eingeschlossen, Bd. 10 (6), S. 14-17

Fachverband Asbest-Sanierung (1992): Asbest-Report, Ausgabe 1, Köln

Fachverband Asbest-Sanierung e.V. (FAS) (1993): Asbest, Köln

Fournier, J.; Fubini, B.; Bolis, V.; Pezerat, H. (1989): Thermodynamic aspects in the adsorption of polynuclear aromatic hydrocarbons on chrysotile and silica - possible relation to synergistic effects in lung toxicity *Can. J. Chem.*, 67(2), 289-96

Frantz, J.D; Popp, R.K. (1979): Mineral-solution equilibriums. An experimental study of complexing and thermodynamic properties of aqueous magnesium chloride in the system magnesia-silica-hydrochloric acid; *Geochim. Cosmochim. Acta*, 43(8), 1223-39

Frantz, J.D.; Popp, R.K. (1978): An experimental study of complexing and thermodynamic properties of aqueous magnesium chloride in the system magnesium oxide-silicon dioxide-water-hydrochloric acid *Year Book - Carnegie Inst. Washington, Volume Date 1977*, 812-23

Fujii, S.; Yano, K. (1991): Nonpolluting disposal of waste asbestos; *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, 3 pp; JP 03021387 A2

Fujii, Y.; Minanizono, H.; Yamamoto, S.; Igami, K. (1991): Highly functional inorganic paint; *Shinagawa Giho*, 34, 157-62

Gabinskaya, G.D.; Bukreeva, N.A.; Kolesnik, N.M.; Osmerkina, A.D.; Vigant, Z.K.; Lavrinenko, L.A.; Dyatchin, A.V.; Malysheva, M. (1991): Layered seals for containers in thermochemical treatments; *U.S.S.R. Otkrytiya, Izobret.*, (12), 79.; SU 1638199 A1

Gal'perina, T.Y.; Ivanova, R.P.; Zharova, I.Y.; Lokk, G.R.; Kuznetsova, E.N. (1992): Efflorescence and its prevention; *Tsement*, (2), 70-3

Ghiondea, G. (1992): Pipes made of asbestos cement with admixture of cellulose or cellulose waste; *Mater. Constr. (Bucharest)*, 22(1), 17-18

Goni, J.; Thomassin, J.H.; Jaurand, M.C.; Touray, J.C. (1979): Photoelectron spectroscopy analysis of asbestos dissolution in acidic media of biological interest; *Phys. Chem. Earth, Volume Date 1977, 11(Origin Distrib. Elem.)*, 807-17

Graceffa, P.J.; Weitzman, S.A. (1992): Treatment of asbestos and silicates to reduce their toxicity; *Can. Pat. Appl.*, 11 pp.; CA 2051311 AA

Gronow, J.R. (1987): The dissolution of asbestos fibers in water; *Clay Miner.*, 22(1), 21-35

Gross, T.J.; Cobb, S.M.; Gruenert, D.C.; Peterson, M.W. (1993): Asbestos exposure increases human bronchial epithelial cell fibrinolytic activity, *Am. J. Physiol.*, 264(3, Pt. 1)

Guenard, J. (1992): Vitrification of asbestos with a process using a plasma torch; *Therm. Treat. Radioact., Hazard. Chem., Mixed Med. Wastes, Proc. Incineration Conf.*, 11th, 147-50. Edited by: Wacks, Morton E., Univ. Calif., Irvine: Irvine, Calif.

Gulumian, M.; De waard, H.; Pollak, H. (1993): Activation and detoxification of UICC crocidolite: the effect of conversion of oxidation state of iron on the toxicity of the fibers, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res., Sect. B*, B76(1-4), 180-2

Güteschutzgemeinschaft für Asbestdemontage und Entsorgungstechnik e.V. (1992): *Spezialisten entsorgen Asbest*, Berlin

Guthrie, G.D.; Mossmann, B.T.; editors (1993): Health effects of mineral dusts, *Am. Min.Soc.; Reviews in Mineralogy*, Vol 28

Gwilliam, G.J. (1992): Encapsulation of asbestos or other fibrous materials; *PCT Int. Appl.*, 23 pp.; WO 9203235 A1

Habashi, F. (1992): Dyeing asbestos fibers; *Text. Chem. Color.*, 24(4), 23-6

Hand, A.M.S.; Husgafvel-Pursiainen, K.; Pelin, K.; Vallas, M. (1992): Interferon-.alpha. and -.gamma. in combination with chemotherapeutic drugs: In vitro sensitivity studies in four human mesothelioma cell lines, *Anti-Cancer Drugs*, 3(6), 687-94

Harris, M.L.; Yu, S.Y. (1991): Modified preparation methods for the analysis of asbestos in vinyl floor tiles; *Microscope*, 39(2), 109-19

Hart, G.A.; Newman, M.M.; Bunn, W.B.; Hesterberg, T.W. (1992): Cytotoxicity of refractory ceramic fibers to Chinese hamster ovary cells in culture; *Toxicol. in Vitro*, 6(4), 317-26

Hearne, G.R.; Pollak, H.; Van Wyk, J.A.; Gulumian, M. (1992): An investigation of the mechanism of detoxification in asbestos; *Hyperfine Interact.*, 73(3-4), 377-81

Heisterkamp, H.A.; Schimming, A.; GTA GmbH Umwelttechnik und Altlastensanierung (1992): Asbestos removal system for removal of materials containing weakly or strongly bound asbestos from buildings in closed transport and storage containers; *Ger. Offen.*, 5 pp. DE 4109691 A1

Hessisches Ministerium für Umwelt und Reaktorsicherheit (1991): *Merkblatt: Entsorgung asbesthaltiger Abfälle*, Wiesbaden

Hessische Landesanstalt für Umwelt (1991): *Merkblatt: Entsorgung asbesthaltiger Elektro-Speicherheizgeräte (Nachtspeicheröfen)*, Wiesbaden

- Hirner, A. (1976): Beeinflussung der physikalischen und chemischen Eigenschaften von technischen aufbereitetem Chrysotil-Asbest durch hydrothermale Behandlung, Dissertation, München
- Hohenleitner, H. (1992): Disposal of harmful fibrous substances, in particular asbestos materials; Eur. Pat. Appl., 6 pp.; EP 483389 A1
- Hollett, B.A.; Froehlich, P.A. (1991): In-depth survey report: evaluation of a custom fabricated negative air glove bag during the removal of asbestos-containing pipe lagging; Report, ECTB-147-22A; Order No. PB91-212647, 37 pp.
- Hsu, M.T.; Dimairo, M.; Reiss, O.K.; Ciurea, D.; Gil, J. (1992): A novel system for the culture of human lung: lung development and the response to injury; Am. J. Physiol., 263(3, Pt. 1)
- Huenger, K.J.; Rosenberger, H. (1991): Manufacture of asbestos-free, fiber-reinforced composite building materials; Ger. (East), 4 pp.; DD 291073 A5
- Idlis, B.D.; Mutin, I.I.; Sarymsakov, A.A.; Tyul'kina, F.A.; Bezverkhnyaya, N.Y (1991): Raw compositions for asbestos silicate extrusion articles; U.S.S.R. Otkrytiya, Izobret., (16), 76-7. SU 1645255 A1
- Ignatenko, E.N.; Loktionova, L.N. (1991): Compositions of drilling fluids based on asbestos-cement wastes; Neft. Gazov. Prom-st., (3), 26-8
- Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes (1990): Asbestemissionen aus Nachspeicheröfen
- Ito, M.; Noji, Y.; Kato, M. (1992): Method and apparatus for treating waste asbestos-cement tubes; Jpn. Kokai Tokkyo Koho, 4 pp.; JP 04018974 A2
- Ivasishina, O.N.; Kholodnyi, A.G.; Mchedlov-Petrosyan, O.P. (1991): Use of asbestos-cement-manufacturing wastes in portland cement clinkering; Tsement, (9-10), 85-8
- Jabbour, A.J.; Holian, A.; Scheule, R.K. (1991): Lung lining fluid modification of asbestos bioactivity for the alveolar macrophage; Toxicol. Appl. Pharmacol., 110(2), 283-94
- Jovanovic, I. (1994): Thermodynamische Modellierung aquatischer Lösungen zur Behandlung von Chrysotil-Asbest, Interner Bericht 21.03.02/10A, Projekt Schadstoff- und Abfallarme Verfahren (PSA), Kernforschungszentrum Karlsruhe
- Kahlert, H.E.R.K. (1989): Vergleichende Studie von Computermodellen anhand von Wasseranalysen der Literatur und Entwicklung eines Programms (BrinEQ), das thermodynamische Eigenschaften von Lösungen berechnet, Diplomarbeit, Göttingen
- Kaliev, R.R.; Bartashchuk, E.I.; Takyrbasheva, E.A.; Sooronbaev, T.M. (1991): Asbestos; Zdravookhr. Kyrg., (3), 52-5
- Kamps, H.-J. (1993): Anforderungen an eine Ökobilanz der Asbestentsorgung, Tagungsband zum Asbestkongreß 15.-16. Februar 1993, UTECH Berlin, Fortbildungszentrum Gesundheit und Umweltschutz Berlin e.V
- Kaneko, S.; Shindo, T.; Inokawa, N.; Hoshino, Y.; Hara, M.; Takebe, T. (1992): Slag wool from wastewater treatment sludge; Jpn. Kokai Tokkyo Koho, 4 pp.; JP 04083735 A2
- Kaplan, D.E. (1993): Unregulated disposal of asbestos-contaminated shower water effluent: a question of public health risk; J. Environ. Health, 55(6), 6-8
- Kawasaki, H.; Inagaki, H.; Nippon Steel Chemical Co., Ltd. (1991): Wetting agents for asbestos; Jpn. Kokai Tokkyo Koho, 5 pp.; JP 03271179 A2

Kawasaki, H.; Inagaki, H.; Nippon Steel Chemical Co., Ltd. (1991): Asbestos-treating agents; Jpn. Kokai Tokkyo Koho, 8 pp.; JP 03075283 A2

Kawasaki, H.; Inagaki, H.; Nippon Steel Chemical Co., Ltd. (1991): Regeneration of waste asbestos by melting and solidification; Jpn. Kokai Tokkyo Koho, 4 pp.; JP 03004980 A2

Kawasaki, H. (1990): Detoxification of asbestos by dissolution; Jpn. Kokai Tokkyo Koho, 6 pp.; JP 04083574 A2

Khan, S.G.; Ali, S.; Rahman, Q. (1992): Interaction of mineral fibers with lung cytochrome P-450 system: impairment of drug metabolizing enzyme activities; *Chemosphere*, 24(8), 959-68

Khmara, A.Y. (1970): Role of metasomatism in ultrabasic rock alteration and formation of anthophyllite-asbestos deposits; *Probl. Metasomatizma, Tr. Konf. Okolorudnomu Metasomatizmu*, 2nd, Meeting Date 1966, 299-305.; "Nedra": Moscow, USSR.

Kihara, Y.; Shukuzawa, J.K. (1980): Characterization and determination of asbestos content in fiber cement (cement-asbestos), using x-ray diffractometry and selective dissolution techniques; *Ceramica (Sao Paulo)*, 26(128), 189-96

King, E.G.; Barany, R.; Weller, W.W.; Pankratz, L.B. (1967): Thermodynamic properties of forsterite and serpentine; U. S., Bur. Mines, Rep. Invest., No. 6962, 19 pp.

Kleeberg, R.; Starke, R. (1991): Hydrothermal process for the manufacture of asbestos-free talc from reactive silica raw materials; *Ger. Offen.*, 2 pp., DE 4108372 A1

Kleineberg, J. (1990): Suitable disposal of asbestos containing wastes state-of-the art and outlook, *Alllastensanierung 90, Int. KfK/TNO Kongr.*, 3rd, Meeting, Karlsruhe 1990

Kodama, Y.; Boreiko, C.J.; Maness, S.C.; Hesterberg, T.W. (1992): Cytotoxic and cytogenetic effects of asbestos on human bronchial epithelial cells in culture, *Carcinogenesis (London)*, 14(4), 691-7

Koizumi, M. (1992): Manufacture of fiber-reinforced cement boards; Jpn. Kokai Tokkyo Koho, 2 pp.; JP 04132646 A2

Kolesnikov, B.I.; Komarov, V.A.; Fuks, V.A.; Ovtynov, I.E. (1992): Closed cycle for recycling of sludge in the manufacture of asbestos-cement products; *Russia, Stroit. Mater.*, (8), 19-20

Kontorovich, S.I.; Lavrova, K.A.; Sporysh, N.I.; Bessonov, A.I.; Shchukin, E.D. (1981): Variation in the strength of filled aluminosilicate hydro- and xerogels during dissolution of the filler particles; *Kolloidn. Zh.*, 43(2), 275-8

Kubovy, O.; Schmidt, I. (1991): Noncombustible material with active fireproofness; *Czech.*, 3 pp.; CS 273027 B1

Kuma, T. (1992): Methods for forming gas adsorption elements or catalyst supports with honeycomb structures; *Ger. Offen.*, 11 pp.; DE 4200995 A1

Ländergemeinschaft Abfall/Umweltbundesamt: Merkblatt: Entsorgung asbesthaltiger Abfälle, Berlin

Law, B.D.; Bunn, W.B.; Hesterberg, T.W. (1991): Dissolution of natural mineral and man-made vitreous fibers in Karnovsky's and formalin fixatives; *Inhalation Toxicol.*, 3(3), 309-21

Lebküchner-Neugebauer, J. und BUCHMANN, C. (1992): Versuche zur Oberflächenbehandlung von asbesthaltigen Materialien mit Laserbestrahlung, *Staub - Reinhaltung der Luft* 52, S. 42-53

Legat, W. (1992): Das Solvas-Verfahren - Dauerhafte Asbestentsorgung, Solvay Umweltchemie GmbH, Hannover

- Legat, W. (1992): Der SOL-WA-MAT - Reinigung durch Asbestersetzung, Solvay Umweltchemie GmbH, Hannover
- Lendvay, L. (1992): Safe disposal of hazardous wastes by vitrification, Hung., *Epitoanyag*, 44(6), 230-1
- Li, H.; Wu, Z.; Zeng, X.; Liu, S.; Zheng, Z.; Zeng, L.; Duanmu, B.; Ke, F.; Yang, H.; Qung, Y. (1991): Pathological observation of experimental asbestosis treated by hydroxypiperquin phosphate in dogs; *Huaxi Yike Daxue Xuebao*, 22(2), 181-4
- Logan, K.V.; Walton, J.D. (1991): Alumium- or magnesium-containing exothermic smelting mixtures for asbestos disposal; U.S., 10 pp. Cont.-in-part of U.S. 901,766.; US 5006490 A
- Lohrer, W. (1981): Luftbelastung durch Asbest und andere faserige Stäube - Ein Überblick über die Gesamtproblematik, *Staub - Reinhaltung der Luft* 41, 1981
- Lohrer, W. und Schreiber, H. (1989): Asbest-Immisionen bei der Verwendung und Beseitigung, *EntsorgungsPraxis* 12/89
- Lossau, N. (1989): Asbest-Report: Vom Wunderstoff zur Altlast, hrsg. Putz, J.
- Mack, W.A.; Canterino, P.J (1992): Extrusion method and apparatus for recycling waste plastics and construction materials therefrom; PCT Int. Appl., 21 pp. WO 9215640 A1
- MacKenzie, K.J.D; Meinhold, R.H. (1994): Thermal reactions of chrysotil revisited: A ^{29}Si and ^{25}Mg MAS NMR study; *Am.Min.*, Vol 79, pp.43-50
- Maher, T.F.; Mittal, S.R. (1992): Investigation and plan for remediation of a former railroad classification yard and roundhouse facility; *Hydrocarbon Contam. Soils*, 2, 173-96
- Malakhov, I.A. (1971): Thermodynamic conditions for the serpentinization of ultrabasic rocks; *Dokl. Akad. Nauk SSSR*, 200(1), 212-14 [Geochem]
- Malakhov, I.A. (1973): Thermodynamic conditions of serpentinization; *Tr. Inst. Geol. Geokhim., Ural. Nauchn. Tsentr, Akad. Nauk SSSR*, 100, 38-52
- Manos, C.G.; Patel-Mandlik, K.J. und Lisk, D.J. (1992): Prevalence of Asbestos in Composed Waste from 26 Communities in the United States, *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 23, S. 266-269
- Manos, C.G.; Patel-Mandlik, K.J.; Lisk, D.J.(1993): Asbestos in yard or sludge composts from the same community as a function of time-of-waste-collection, *Chemosphere*, 26(8), 1537-40
- Manos, C.G.; Patel-Mandlik, K.J.; Ross, B.J.; Jenkins, E.J.; Lisk, D.J. (1991): Prevalence of asbestos in sewage sludges from 51 large and small cities in the United States; *Chemosphere*, 22(9-10), 963-73
- Marfels, H. (1991): Asbestfasern im Trinkwasser, Dokumentation zum Internationalen Asbestkongreß 17.-19. April 1991, Technischer Uberwachungs-Verein Sudwestdeutschland e.V., Stuttgart
- Markov, B.F.; Chukreev, N.Y.; Saporov, A. (1974): Thermodynamic properties of beryllium chloride-(potassium chloride-lithium chloride) eutectic system melts; *Ukr. Khim. Zh. (Russ. Ed.)*, 40(11), 1149-53
- Mason, G.M. (1992): Thermal modification of asbestos; U.S., 7 pp.; Cont.-in-part of U.S. Ser. No. 356,893, abandoned. US 5085838 A4
- Matsumoto, K.; Fujioka, T.; Yasu, S.; Nagase, K.; Uigunaraaja, S.; Kureha, S.; Kimura, K.; Kasuya, M. (1992): Surface treatment of zeolite-containing mortar and concrete by laser irradiation; *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, 6 pp.; JP 04160080 A2

Mazurenko, N.D.; Talalina, A.S.; Stepanova, A.I.; Il'ina, V.M.; Khairullin, R.G.; Myasautova, M.I.; Malov, V.F. (1992): Removal of dissolved impurities from sewage; U.S.S.R. Izobreteniya (12), 119.

McMath, W. (1992): Treatment of asbestos materials; Eur. Pat. Appl., 4 pp.; EP 501764 A2

Miyao, H.; Tanimoto, K.; Miyazaki, M.; Wakui, H.; Oasada, K. (1992): Ishikawa, F. Demonstration plant and test of an incinerating melter system for radioactive wastes; Therm. Treat. Radioact., Hazard. Chem., Mixed Med. Wastes, Proc., Incineration Conf., 11th, 323-6. Edited by: Wacks, Morton E. Univ. Calif., Irvine: Irvine, Calif.

Moriya, T.; Moriya, K. (1992): Cement solidification of industrial wastes and hazardous metals; Jpn. Kokai Tokkyo Koho, 9 pp. JP 04260483 A2

Müll und Abfall (1989): Entsorgung asbesthaltiger Abfälle, 8/89

Murray, W.B. (1991): Corrosion inhibition with the alternate application of a zinc salt and sodium metasilicate; Proc. - Water Qual. Technol. Conf., Volume Date 1990, (Pt. 1), 755-61

Mutzenbach, B.; Schumacher, J.F. (1991): Pure graphite for valve packings-the alternative for asbestos? 3R Int., 30(8), 448-53

National primary drinking water regulations - synthetic organic chemicals and inorganic chemicals; monitoring for unregulated contaminants; national primary drinking water regulations implementation; national secondary drinking water regulations; United States Environmental Protection Agency; Fed. Regist., 1991; 56(20), 3526-97.

Nielsen, K. (1976): Dissolution of materials from service pipes and house installations and its sanitary aspects Int. Water Supply Assoc., Congr., [Proc.], 11, M23-M28

Nordstrom, D.R. und Munoz J. L. (1985): Geochemical Thermodynamics, Benjamin/Cummings Publishing Co., Menlo Park, California

O'Hanley, D.S. (1987): A chemographic analysis of magnesian serpentinites using dual networks; Can. Mineral., 25(1), 121-33

Oberdoerster, G.; Boose, C.; Pott, F.; Pfeiffer, U. (1980): 'In vitro' dissolution rates of trace elements from mineral fibers; In Vitro Eff. Miner. Dusts, [Proc. Meet.], Meeting Date 1979, 183-9.

Ohyama, Masayuki; Nakajima, Takae; Hasimoto, Masafumi (1992): Size-dependent effects of asbestos fibers on the mouse lung. A role of the phagocytosis by macrophages; Osaka-furitsu Koshu Eisei Kenkyusho Kenkyu Hokoku, Kogai Eisei Hen, 13, 25-9

Paczian, W. (1993): Post: Sanier mal wieder, Focus 7/1993, S. 42-43

Panigrahy, S.C.; Rigaud, M.G.; Legast, P. (1992): Synthetic olivine as magnesia source in iron ore sinter manufacture for iron production in blast furnace; U.S., 7 pp. US 5127939

Paoletti, L.; Puleda, S. (1992): An approach to the classification and assessment of asbestos-containing wastes: description of a survey conducted in an industrial area; Med. Lav., 83(4), 371-80

Pashchenko, A.A.; Borsuk, P.S.; Demyanenko, V.A.; Sviderskii, V.A. (1984): Thermodynamic analysis of transformations in composite systems; Khim. Tekhnol. (Kiev), (6), 30-2

Patel, M.A.; Union Carbide Chemicals and Plastics Technology Corp. (1992): Apparatus for removing hazardous particulate and fibrous materials; U.S., 6 pp.; US 5131934 A

Pecherskii, S.A.; Sablina, T.I.; Gusein-Zade, T.L.; Davidova, A.S.; Dzhabyan, N.E. (1991): Composition for anticorrosive coat; U.S.S.R. Otkrytiya, Izobret, (10), 82; SU 1634690 A1

- Peng, T. und Wan, P. (1991): A Studie of the Applied Mineralogy of Short Fibres of Chrysotile Asbestos, International Congress on Applied Mineralogy in Pretoria, South Africa , Vol.1., paper 60
- Perkov, A.N. (1991): Use of thermal electric power plant ash for wastewater treatment with subsequent use in the manufacture of nitrocellulose-based linoleum; Khim. Tekhnol. (Kiev), (1), 34-7
- Pollak, H. (1991): A Proposal of the Mechanism of airborne Crocidolite, International Congress on Applied Mineralogy in Pretoria, South Africa , Vol.1., paper 44
- Pöschel, E. und Köhling, Bundesministeriums des Innern (1985): Asbestersatzstoffkatalog Bd.1-10, Umweltforschungplan der - Luftreinhaltung - Forschungsbericht 104 08 311, Berlin
- Pudill, R. (1992): Application, toxicology, and disposal of asbestos; LaborPraxis, (Lab. 2000), 24, 27-8, 31-2, 34
- Qamar, R.; Viswanathan, P.N.; Tandon, S.K. (1973): Influence of citrate ions on the dissolution of silica from asbestos; Med. Lav., 64(7/8), 245-9
- Raetzsch, M.; Geyer, S. (1991): Manufacture of a silicate-based filter aid; Ger. (East), 3 pp.; DD 294873 A5
- Rahman, Q.; Viswanathan, P.N.; Tandon, S.K. (1974): In vitro dissolution of three varieties of asbestos in physiological fluids; Work, Environ., Health, 11(1), 39-42
- Roberts, D.; VitriFix of North America Inc. (1991): The destruction of asbestos by vitrification; Proc., Annu. Meet. - Air Waste Manage. Assoc., 84th(Vol. 11), Paper 91/29.1, 12 pp.
- Rodin, A.N.; Chernyakova, S.M.; Kozhevnikov, V.I. (1991): Use of ash wastes in the manufacture of building materials; Kompleksn. Ispol'z. Miner. Syr'ya, (1), 58-61
- Rosenbusch, K. (1991) : VDI-Berichte Nr. 853, S. 633-644
- Rosenbusch, K. (1991): Abfallrechtliche Regelungen zur Entsorgung asbesthaltiger Abfälle, EntsorgungsPraxis 7-8/91
- Rosenbusch, K. (1991): Asbesthaltige Abfälle - umweltverträglich entsorgt: Gibt es wirksame Vorschriften?, Umwelt & Technik 11/91
- Ryl'kova, A.S.; Usatenko, Y.I. (1983): Kinetics of the dissolution of manganese oxide minerals in a sulfosalicylic acid solution; Ukr. Khim. Zh. (Russ. Ed.), 49(8), 802-6
- Saito, H.; Ushio, M. (1969): Synthesis of fluor-chrysotile. Stability region of chrysotile $[Mg_6Si_4O_{10}(OH)_8]$ under high pressure and high temperature; Yogyo Kyokai Shi, 77(887), 217-24
- Sakai, S.; Takatsuki, H.; Hiraoka, M.; Tsunemi, T. (1991): Sludge melting process with hazardous asbestos wastes; Water Sci. Technol., 23(10-12), 2029-37
- Shatov, A.A. (1992): Processing of liquid wastes from soda manufacture; Khim. Tekhnol. Vody, 14(5), 357-62
- Sorg, H.; Pieper, H.; Zschocher, H.; Sorg G.m.b.H. und Co. KG. (1991): Glass-forming component-rich siliceous waste for the manufacture of glass; Ger. Offen., 3 pp.; DE 3939089 A1
- Stiffler, M.A.; Gould, W.C. (1992): Remediation and demolition of coke by-products plants; Iron Steelmaker, 19(8), 25-30
- Strübel, G. (1992): Entsorgung von Asbest und asbesthaltigen Produkten durch thermische Behandlung, BWK/TÜ/Umwelt-Spezial 92, Tagungsband zum Asbestkongreß 15.-16. Feb. 1993, FGU-Berlin

- Stumm, W.; Sigg, L. (1991): *Aquatische Chemie*, Teubner-Verlag, Stuttgart
- Summerhays, J. (1991): Evaluation of risks from urban air pollutants in the southeast Chicago area; *J. Air Waste Manage. Assoc.*, 41(6), 844-50
- Superfund Record of Decision (EPA Region 3): Publicker/Cuyahoga Wrecking Plant, PA. (Second remedial action), June 1991; United States Environmental Protection Agency; Off. Emerg. Rem. Response; Washington, DC, USA; Report, EPA/ROD/R03-91/114; Order No. PB92-963902, 33 pp.
- Tanakamaru, M.; Iio, K. (1991): Method for immobilizing asbestos; *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, 5 pp.; JP 03005385 A2
- Teramoto, H. (1992): Extrusion molding of asbestos-free inorganic building materials; *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, 3 pp.; JP 04067905 A2
- Thomassin, J.H.; Touray, J.C.; Baillif, P.; Jaurand, M.C.; Magne, L.; Goni, J. (1980): Surface interaction between chrysotile and solutions (dissolution and adsorption): systematic x-ray photoelectron spectroscopy studies; *IARC Sci. Publ.*, 30(Biol. Eff. Miner. Fibres, VI), 105-12
- Thomassin, J.H.; Goni, J.; Baillif, P.; Touray, J.C.; Jaurand, M.C. (1977): An XPS study of the dissolution kinetics of chrysotile in 0.1 N oxalic acid at different temperatures; *Phys. Chem. Miner.*, 1(4), 385-98
- Trommsdorff, V. (1983): Petrologic aspects of serpentinite metamorphism; *Rend. Soc. Ital. Mineral. Petrol.*, 38(2), 549-59
- Tsunemi, T.; Fujii, T. (1991): Melting treatment of asbestos; *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, 5 pp.; JP 03060789 A2
- Tsunemi, T.; Fujii, T.; Osaka Gas Co., Ltd. (1991): Melting of asbestos; *Jpn. Kokai Tokkyo Koho*, 3 pp.; JP 03030885 A2
- Tsushima, H.; Kawakami, Y.; Hyodoh, F.; Ueki, A. (1992): Effect of crocidolite fibers on the cathepsin B-like enzyme activity in HL-60 cells; *Nippon Eiseigaku Zasshi*, 46(6), 1104-9
- TÜV Südwest (1991): *Sicherer Umgang mit Asbestprodukten*, Stuttgart-Filderstadt
- Uniewskil, H. (1993): Die kranken Riesen, *Stern* 15/1993.
- Usherovich, B.I.; Kruglyak, V.F.; Luneva, N.A.; Vinyukov, Y.G.; Vershinskii, G.O. (1991): Infiltration sealing slurry for airtightness of aluminum alloy castings; *U.S.S.R. Otkrytiya, Izobret.* 1991, (19), 47; SU 1650320 A1
- Van Eggelen, C. (1991): Processing of waste solids with other raw materials for glass manufacture, and the waste glass obtained; *Eur. Pat. Appl.*, 4 pp.; EP 448174 A1
- Veblen, D.R.; Ribbe, P.H., editors (1981): *Amphiboles: Petrology and Experimental Phase Relations*, *Am. Min. Soc. 1981, Reviews in Mineralogy*, Vol. 9B
- Veblen, D.R., editor (1981): *Amphiboles and Other Hydrous Pyriboles*, *Am. Min. Soc. 1981, Reviews in Mineralogy*, Vol. 9A
- Verband der Faserzement-Industrie e.V. (1992): *Asbest und Gesundheit*, Berlin
- Vezentsev, A.I.; Evstigneeva, M.N. (1992): Manufacture of asbestos filtering material, *U.S.S.R. Izobreteniya* 1992, (14), 29.

Vezentsev, A.I.; Evstigneeva, M.N. (1991): Removal of magnesium impurities from chrysotile asbestos; U.S.S.R. Otkrytiya, Izobret., (36), 97; SU 1680624 A1

Waschko, H.J. (1990): Asbest und seine Folgen, Entsorgungstechnik, Mai/Juni 1990, 15-19

Wehl, J.; Schilling, W.; Patschinsky, K.P.; Hennig, M. (1992): Stable amino acid solutions for parenteral infusion; Ger. (East), 3 pp.; DD 299700 A7

Weiler, W.; Passavant-Werke AG, Germany (1993): Solidification of waste asbestos, Ger. Offen., 2 pp., DE 4125169

Welch, M.D. und Pawley, A.R. (1991): Tremolite: New Enthalpy and Entropy Data from a Phase Equilibrium Study of the Reaction Tremolite = 2 Diopside + 1.5 Orthoenstatite + β -Quartz + H₂O, Am. Min., Vol 76, S. 1931-39

Wieczorek-Erlar, L. (1991): Process and apparatus for the treatment of asbestos-containing cement-based building materials; Ger., 5 pp.; DE 4106066 C1

Wissenschaftlicher Beirat der Bundesärztekammer (1991): Belastung der Bevölkerung durch Asbest, Dt. Ärztebl. 88, Heft 27, S. 70-76

Woodyard, J.P.; Williams, T.M.; Marrou, T.R. (1991): Solid and hazardous waste management issues for gas processing facilities; Proc., Annu. Conv. - Gas Process. Assoc., 70th, 17-20

Xi, B. (1991): Manufacture of high-strength cement; Faming Zhuanli Shenqing Gongkai Shuomingshu, 4 pp.; N 1049325 A

Xie, Z.; Lu, X. (1991): A research for the friction and wear properties of a metal fiber-reinforced composite material; C-MRS Int. Symp. Proc., Meeting Date 1990, Volume 5, 611-16

Yasue, Tamotsu; Kojima, Yoshiyuki; Arai, Yasuo (1992): Recent research and issues in surface improvement of asbestos; Gypsum Lime, 238, 194-204

Yoshimura, M.; Ioku, K.; Okamoto, K.; Takeuchi, H. (1991): Apatite whiskers, and their manufacture; Ger. Offen., 5 pp.; DE 4138104 A1

Zaidi, S.H.; Gupta, G.S.D.; Rahman, Q.; Kaw, J.L.; Shanker, R. (1976): Early response of gastric mucosa to ingested asbestos dust and the dissolution of nickel; Environ. Res., 12(2), 139-43

Zaporozhets, E.; Rogovenko, Y. I. (1991): Compositions for extrusion molding of building articles; U.S.S.R. Otkrytiya, Izobret., (12), 70; SU 1638130 A1

Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (1991): Merkblatt: Asbest in Speicherheizgeräten - Hinweise zur Verwendung von Asbest in älteren Speicherheizgeräten, zur Dringlichkeit des Austausches und zum Entsorgen der Geräte, Frankfurt/Main