

– Asbest –

Von der 'Wunderfaser' zur 'Altlast'

Caroline Röhr, Institut für Anorganische und Analytische Chemie, Universität Freiburg

23.01.2013

## Die 'Wunderfaser'

Einleitung, Geschichtliches

Klassifizierung, Zusammensetzung, Strukturen

Eigenschaften

Genese, Vorkommen

Gewinnung

Verarbeitung

Verwendung

## Die 'Altlast'

Gesundheitliche Auswirkungen

Messtechnik

Stand der gesetzlichen Bestimmungen

Ersatzstoffe

## Zusammenfassung

## Literatur

## Die 'Wunderfaser'

Einleitung, Geschichtliches

Klassifizierung, Zusammensetzung, Strukturen

Eigenschaften

Genese, Vorkommen

Gewinnung

Verarbeitung

Verwendung

## Die 'Altlast'

Gesundheitliche Auswirkungen

Messtechnik

Stand der gesetzlichen Bestimmungen

Ersatzstoffe

## Zusammenfassung

## Literatur

## Einleitung, Geschichtliches

- ca. 10000 v. Chr. Asbest als Zusatz der Kammkeramik (Finnland, Sowjetunion)
- ca. 400 v. Chr. Dochte für Öllampen, Asbestfäden und Stoffe, Totenkleider (*ασβεστος*: unverbrennbar)
- Ende 17. Jh. Wiederentdeckung des Spinnens von Asbest
- 19. Jh. Industrialisierung: Schutzkleidung für Eisengießerei, Stopfbuchsenpackungen für Dampfmaschinen, Hitzeisolierung von Turbinen, Filter für chemische Prozesse
- 1871 Beginn des Asbest-Abbaus in Quebec und im Ural
- 1900 Patent für Asbestzement (Eternit), erste Asbestose-Fälle
- 1918 Lenin verkauft Konzession zur Asbestgewinnung an A. Hammer
- 1933 Lungenkrebs als Folge von Asbesteinwirkung erkannt
- seit 1940 Formelemente aus Faserzement
- 1950-1979 Verwendung im Hoch- (Isolier- und Dämmstoffe, Spritzasbest) und Tiefbau (Kanalrohre, Fahrbahndecken), Elektro- und Wasserinstallation, Maschinen- und Fahrzeugbau (Brems- und Kupplungsbeläge); insgesamt ca. 3000 verschiedene Produkte

## Einleitung, Geschichtliches (Forts.)

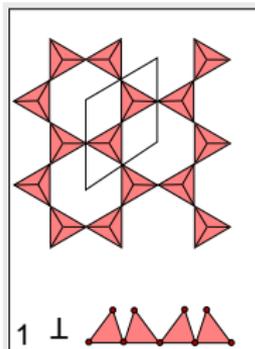
- 1959 Jahresverbrauch: 2.5 Mill. t
- 1960 Mesotheliome als Folge von Asbestexposition erkannt
- ab 1972 Prozesslawine gegen die Asbestindustrie in den USA
- 1979 Verbot von Spritzasbest in der BRD
- 1982 Konkurs der Manville Corp. (USA)
- 1984 Verbot asbesthaltiger Leichtbauplatten
- 1988 Jahresverbrauch: 4.5 Mill. t
- 1989 'Asbestrichtlinien' für Sanierung schwach gebundener Asbeste
- 1990 Verbot aller asbesthaltigen Hochbauprodukte, TRGS 519 regelt Umgang mit Asbest bei Sanierungsarbeiten
- 1993 Verbot der Nutzung in Deutschland, Asbest in der ChemVerbV
- 2005 Verbot der Verwendung in der gesamten EU (Sonderregelungen s.u.)
- 2011 Jahresproduktion: 2.11 Mill. t (s.u.)

## Klassifizierung der Asbeste

Serpentinasbeste (Schichtsilicate)	Amphibolasbeste (Bandsilicate)
$A_6[Si_4O_{10}](OH)_8$	$A_{0-3}B_{2-0}C_{5-4}[(Al/Si)_4O_{11}]_2(OH)_2$
Chrysotil (Weißasbest, Faserserpentin) Amesit Greenalit	Krokydolith (Blauasbest) Amosit (Braunasbest) Anthophyllit (finnischer Asbest) Tremolit
Antigorit (Blätterserpentin)	Aktinolit (Amiant, Strahlstein)

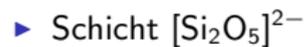
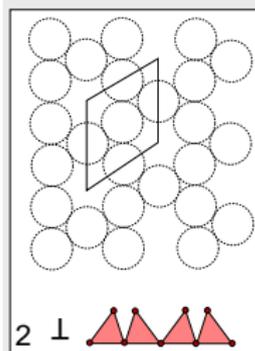
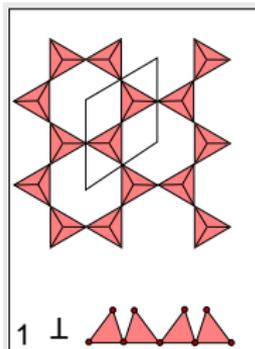
Übersicht Asbestarten

## Strukturen von Schichtsilicaten (schematisch)

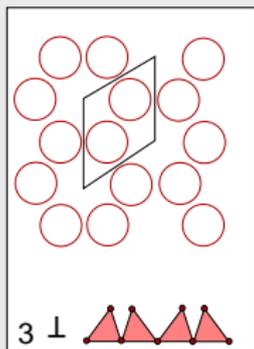
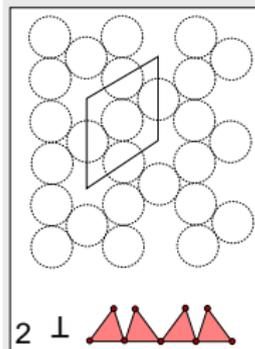
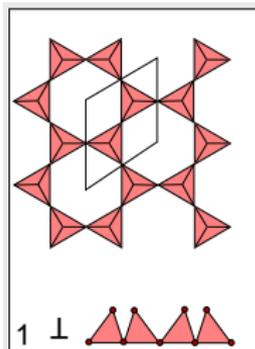


- ▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$

## Strukturen von Schichtsilicaten (schematisch)



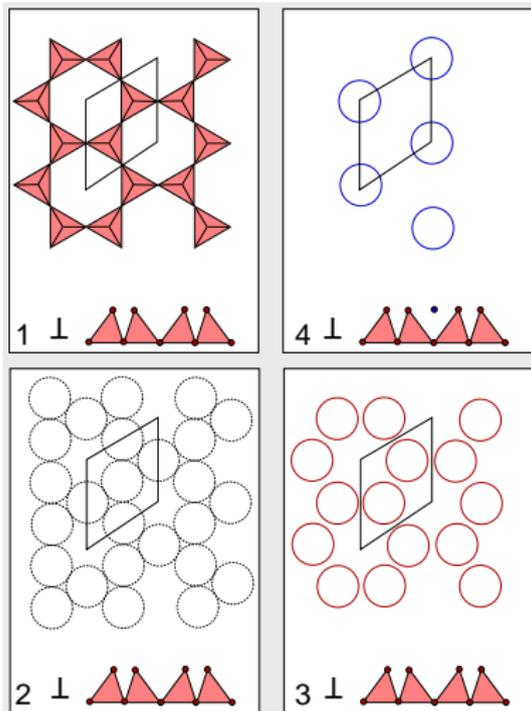
## Strukturen von Schichtsilicaten (schematisch)



▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$

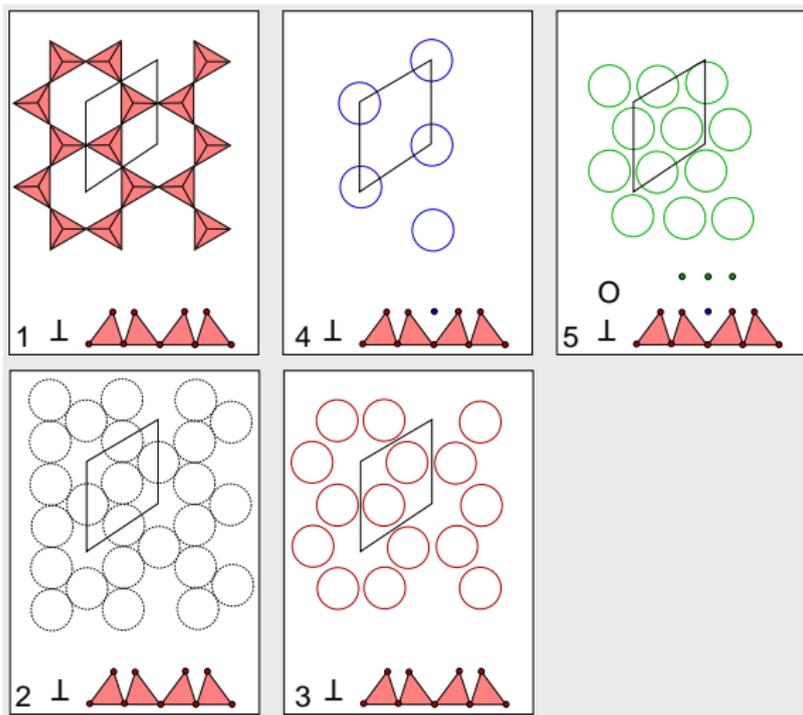
▶  $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$

## Strukturen von Schichtsilicaten (schematisch)



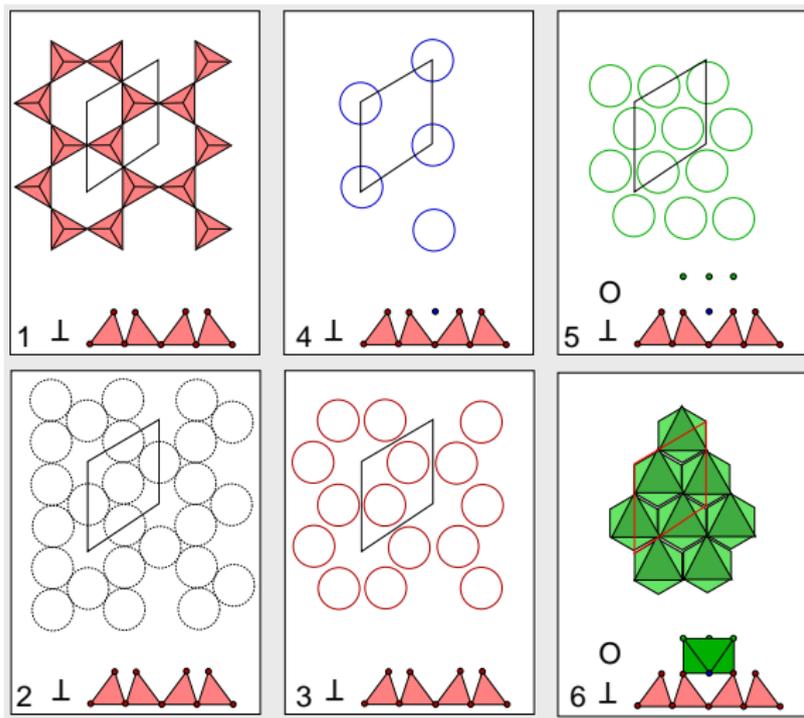
- ▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶  $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶  $\text{OH}^-$  in Lücken

## Strukturen von Schichtsilicaten (schematisch)



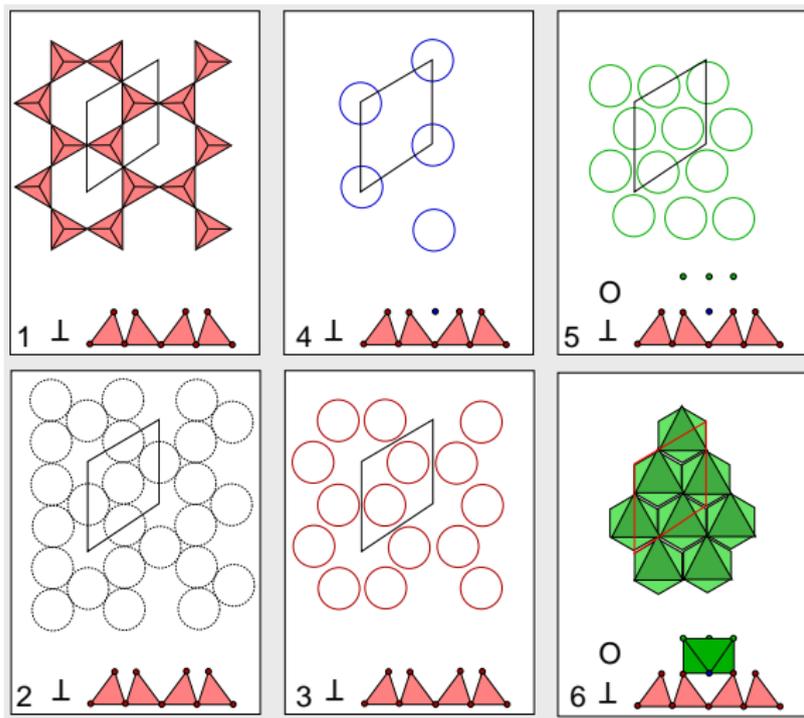
- ▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶  $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶  $\text{OH}^-$  in Lücken
- ▶ zweite  $\text{OH}^-$ -Schicht (3 Ionen)

## Strukturen von Schichtsilicaten (schematisch)



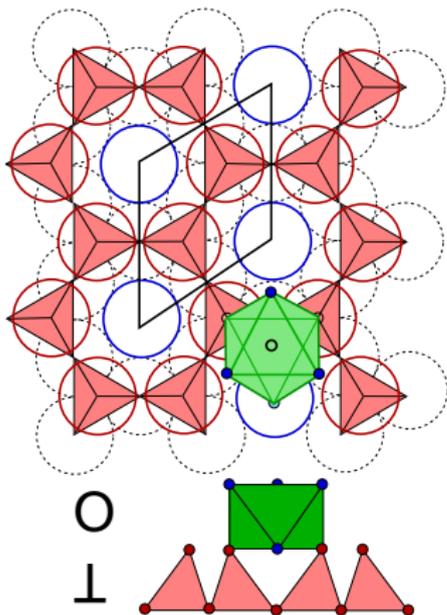
- ▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶  $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶  $\text{OH}^-$  in Lücken
- ▶ zweite  $\text{OH}^-$ -Schicht (3 Ionen)
- ▶ 3 Oktaeder pro Formeleinheit

## Strukturen von Schichtsilicaten (schematisch)



- ▶ Schicht  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶  $[\text{SiO}_3\text{O}_2]^{2-}$
- ▶  $\text{OH}^-$  in Lücken
- ▶ zweite  $\text{OH}^-$ -Schicht (3 Ionen)
- ▶ 3 Oktaeder pro Formeleinheit
- ▶ mit 3 (2) Kationen  $\text{A}^{n+}$  besetzt
- ▶  $\text{A}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$   
bzw.  
 $\text{A}_6[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$
- ▶ Gesamtstruktur

## Strukturen von Schichtsilicaten



- ▶ Tetraederschicht:  $[\text{Si}_2\text{O}_5]^{2-}$
- ▶ 1  $\times$   $\text{OH}^-$  in den Lücken zwischen den Tetraederspitzen
- ▶ dichte Kugelschicht A
- ▶ 3  $\times$   $\text{OH}^-$  (Schicht B)
- ▶ 3 Mg (2 Al) in Oktaederlücken
- ▶ Summe:  $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$  (Serpentin)
- ▶ bzw.  $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5](\text{OH})_4$  (Kaolinit)



# Übersicht Schichtsilicate

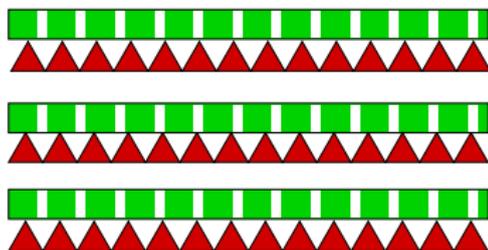
tri- oktaedrisch di-				
Serpentin Kaolinit	Talk Pyrophyllit	Phlogopit Muskovit	Chlorit Sudoit	
Tonminerale		Glimmer		
kationenreich	kationenarm			
2-Schicht-S.	3-Schicht-S.		4-Schicht-S.	

## Übersicht Schichtsilicate

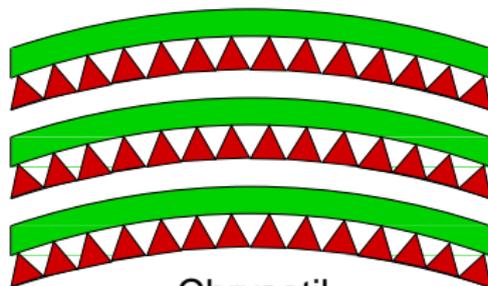
	nicht hydratisiert		hydratisiert	
T	dioktaedrisch	trioktaedrisch	dioktaedrisch	trioktaedrisch
Si	Kaolinit $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$	Serpentin $\text{Mg}_3[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$	Hydrohalloysit $\text{Al}_2[\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot (\text{H}_2\text{O})_2$	-
Si	Pyrophyllit $\text{Al}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$	Talk $\text{Mg}_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$	Montmorillonit $\text{Mg}_{0.33}\text{Al}_{1.67}[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Ca}, \text{Na})_x(\text{H}_2\text{O})_n$	Saponit $(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Ca}, \text{Na})_x(\text{H}_2\text{O})_n$
Si/Al	Glimmer		Vermiculit-Reihe	
	Muskovit $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$	Biotit $\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$	Muskovit (Illit) $(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Mg}, \text{Ca}, \text{K})_x(\text{H}_2\text{O})_n$	$(\text{Mg}, \text{Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Mg}, \text{Ca})_x(\text{H}_2\text{O})_n$
Si	-	-	-	-
Si/Al	Sudoit $\text{Al}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot \text{Al}_{2.33}(\text{OH})_6$	Chlorit $(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})_3[(\text{Al}/\text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2] \cdot (\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{OH})_6$	-	-

## Schichtsilicate → Serpentin-Asbeste (schematisch)

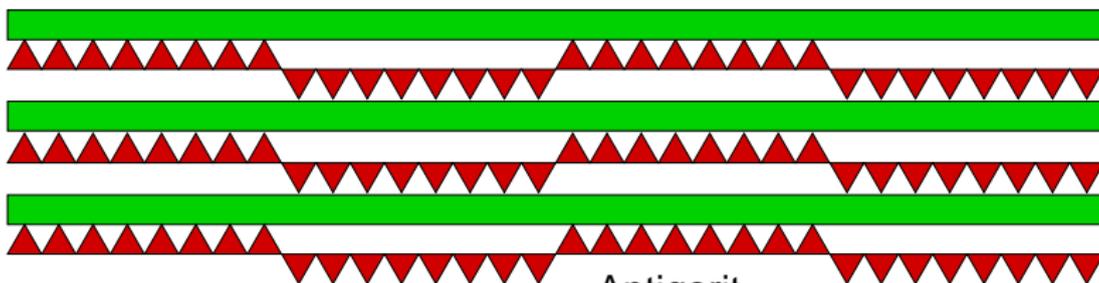
Kaolinit



Chrysotil



Antigorit

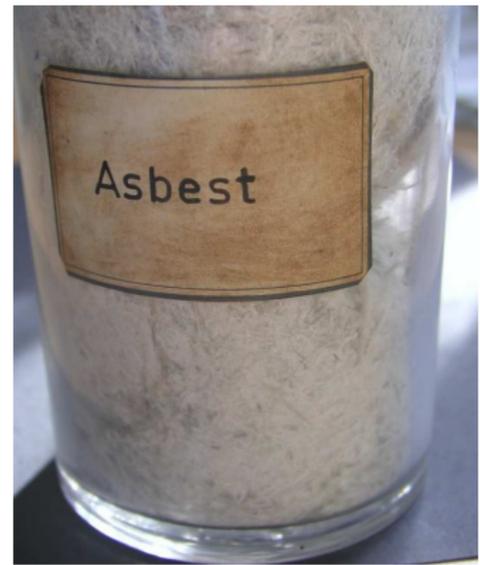


## verschiedene Serpentin-Asbeste

- ▶ trioktaedrische, aufgerollte Schichtsilicate
- ▶ allgemeine Formel:  $A_3[T_2O_5](OH)_4 = A_6[T_4O_{10}](OH)_8$
- ▶ einzelne Minerale

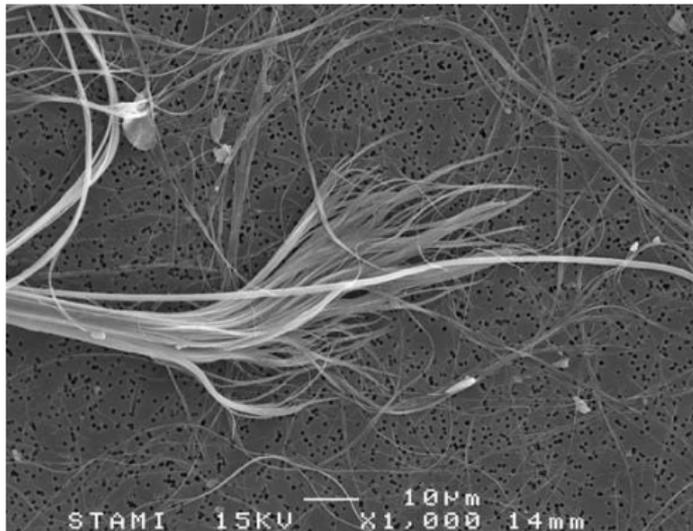
A	T	mineralogischer Name	typischer Röllchen-durchmesser [nm]
Mg <sub>6</sub>	Si <sub>4</sub>	Chrysotil	15.6
Al <sub>4</sub>	Si <sub>4</sub>	Metahalloysit	65.0
Ni <sub>6</sub>	Si <sub>4</sub>	Pecorait	15.4
Fe <sub>6</sub> <sup>2+/3+</sup>	(Al/Si) <sub>4</sub>	Greenalit	
(Ni/Mg) <sub>6</sub> <sup>2+</sup>	Si <sub>4</sub>	Garnierit	15.5
(Mg/Fe) <sub>4</sub> Al <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> Si <sub>2</sub>	Amesit	

# Chrysotil: Kristallfoto

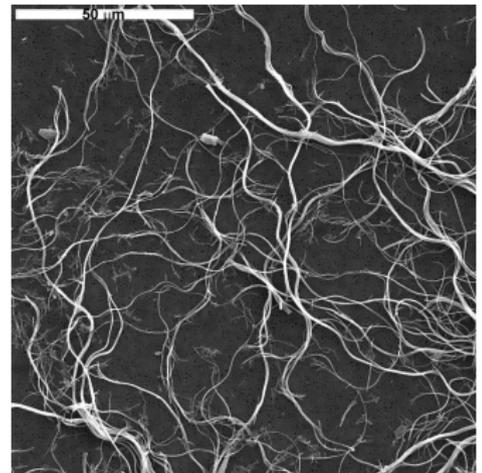


Hörsaalsammlung

## Chrysotil-Asbest im REM

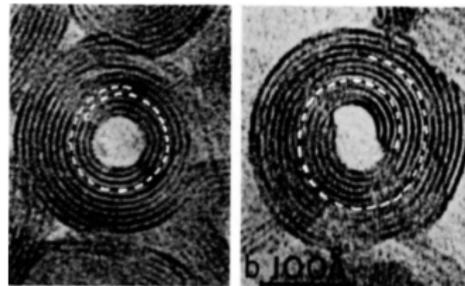
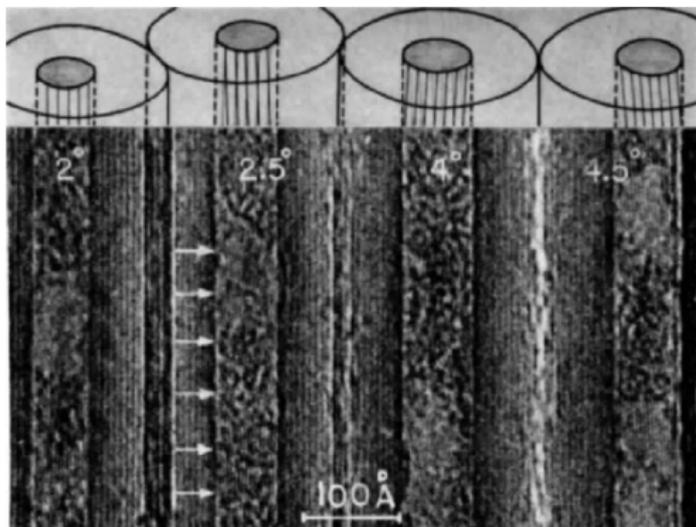


[www.stami.no/asbestos](http://www.stami.no/asbestos)

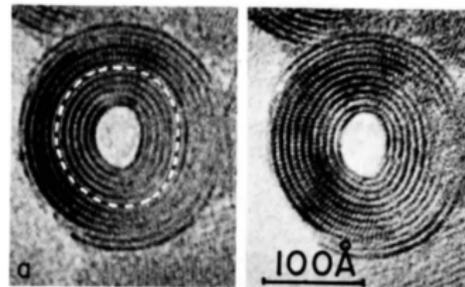


United States Geological Survey ([usgsprobe.cr.usgs.gov](http://usgsprobe.cr.usgs.gov))

# Chrysotil-Asbest im TEM

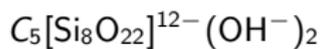
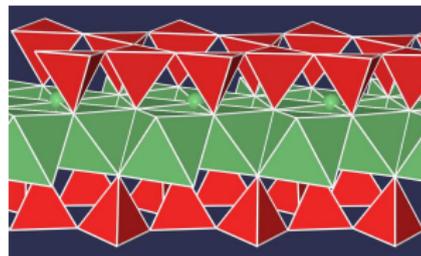
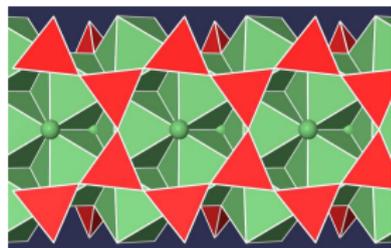
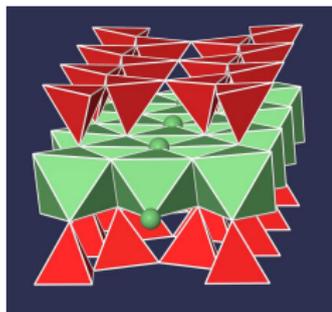
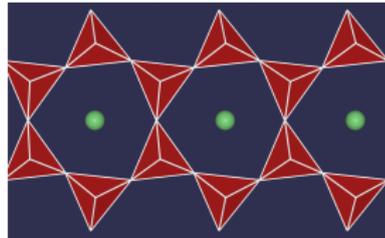
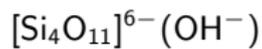
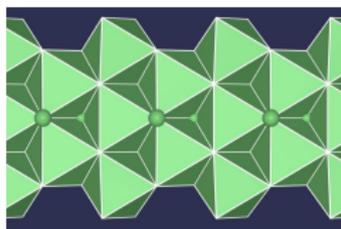
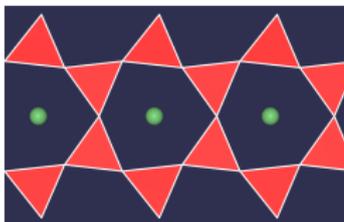
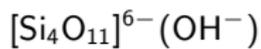


Röllchen



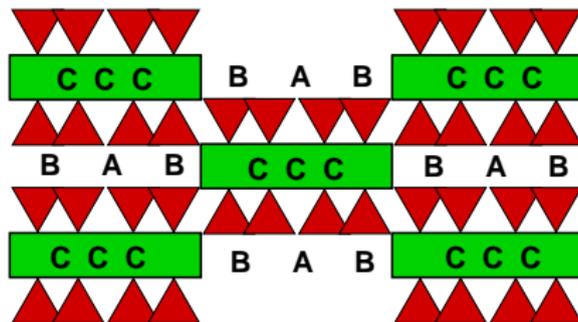
Röhren

## Bandsilicate (Amphibolasbeste)



## Amphibolasbeste: Struktur/Kationenpositionen

- ▶ allgemeine Formel:  $A_x B_y C_5 [T_8 O_{22} (OH)_2]$  (**Gesamtstruktur**)
- ▶ Kationenpositionen (schematisch)



Position	A	B	C	T
Besetzung	0-3	2-0	5-4	8
CN	8 / 12	6 / 8	6	4
Kationen	groß Alkali/Erdalkali-M. $Na^+, K^+, Ca^{2+}$	groß-mittelgroß $Mg^{2+}, Ca^{2+}, Fe^{2+/3+}$	mittelgroß-klein $Mg^{2+}, Al^{3+}, Fe^{3+}$	sehr klein $Al_{0-2}Si_{8-6}$

## Amphibolasbeste: Tabellarische Übersicht

Kationen				Ortho-Amphibole	Klino-Amphibole
A	B	C	T	$b = 1800 \text{ pm}, c = 530 \text{ pm}$	
				$a = 1850 \text{ pm}, \beta = 90^\circ$	$a = 950 \text{ pm}, \beta = 104^\circ$
I. Alkali-freie-, Al-arme Amphibole					
-	Mg <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>	Anthophyllit	Cummingtonit
-	(Fe <sup>2+</sup> /Mg) <sub>7</sub>		Si <sub>8</sub>	Amosit	
-	Fe <sub>2</sub> <sup>2+</sup>	Fe <sub>5</sub> <sup>2+</sup>	Si <sub>8</sub>		Grünerit
-	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>8</sub>		Tremolit (Aktinolith)
-	Ca <sub>2</sub>	Fe <sub>5</sub> <sup>2+</sup>	Si <sub>8</sub>		Ferroaktinolith
II. Alkali-freie, Al-reiche Amphibole					
-	Mg <sub>2</sub>	Mg <sub>4-3</sub> Al <sub>1-2</sub>	Si <sub>7-6</sub> Al <sub>1-2</sub>	Gedrit	
-	Fe <sub>2</sub>	Fe <sub>4-3</sub> Al <sub>1-2</sub>	Si <sub>7-6</sub> Al <sub>1-2</sub>	Ferrogedrit	
III. Alkali-, Al- bzw. Fe <sup>3+</sup> -haltige Amphibole					
Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>5</sub>	Si <sub>7</sub> Al		Edenit
Na	Ca <sub>2</sub>	Fe <sub>5</sub> <sup>2+</sup>	Si <sub>7</sub> Al		Ferroedenit
Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>3</sub>	(Al/Fe <sup>3+</sup> ) <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>		Tschermakit
Ca <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> <sup>2+</sup>	(Al/Fe <sup>3+</sup> ) <sub>2</sub>	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>		Ferrotschermakit
Na	Ca <sub>2</sub>	Mg <sub>4</sub> (Al/Fe)	Si <sub>6</sub> Al <sub>2</sub>	Paragasit	
Na <sub>2</sub>	Fe <sub>3</sub> <sup>2+</sup>	Fe <sub>2</sub> <sup>3+</sup>	Si <sub>8</sub>		Riebeckit (Krokydololith, Blau-A.)

# Amphibolasbeste: Graphische Übersicht

		Name			Mg		Fe				
		A	B	C							
Silicate	Alkali-frei	Al-arm	Cummingtonit	-	2 Mg	5 Mg	Grünerit	-	2 Fe	5 Fe	
			Tremolit	-	2 Ca	5 Mg	Aktinolith	-	2 Ca	5 Fe	
			Glaukophan	2 Na	3 Mg	2 Al	Richterit	Arfvedsonit	Riebeckit	2 Na	3 Fe
	Alkali-haltig		Al- bzw. Fe-haltig	Gedrit	-	2 Mg	5 Mg/Al	Ferrogedrit	-	2 Fe	5 Mg/Al
				Edenit	1 Na	2 Ca	5 Mg	Ferroedenit	1 Na	2 Ca	5 Fe
				Pargasit	1 Na	2 Ca	4 Mg,Al	Hornblende	Hastingsit	1 Na	2 Ca
Tschemakit	2 Ca	3 Mg		2 Al/Fe	Hornblende	Ferrotschemakit	2 Ca	3 Fe	2 Al/Fe		

## Fotos von Amphibolasbesten



Aktinolith



Tremolit

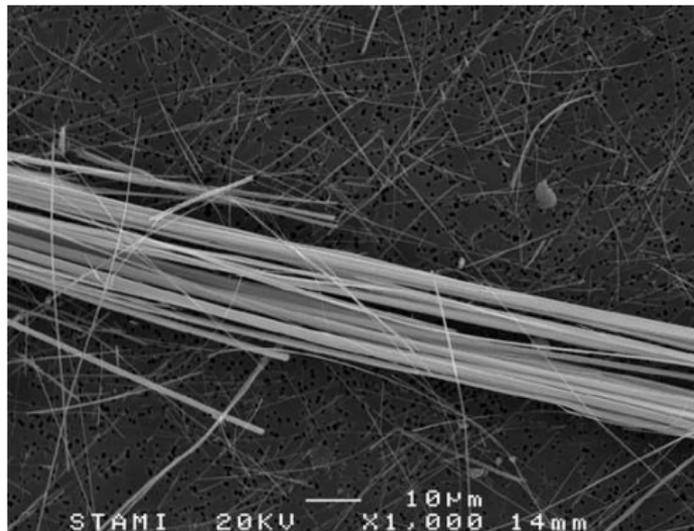


Byssolith (faserige Hornblende)



Hornblende

## REM-Aufnahme von Krokydolith



## Eigenschaften von Asbesten

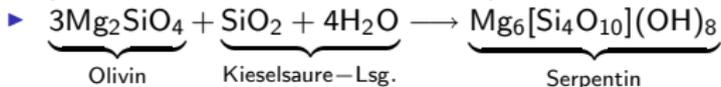
		<u>Serpentin-A.</u>	<u>Amphibol-A.</u>
		gebünd. Einzelfasern	Einzelfaser
• faserförmige Abmessungen ( $l/\varnothing \gg 3$ )	$\varnothing$ in nm	ca. 15-40	100-300
• defektfreie Oberflächenstruktur		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• bis in feine Faser teilbar		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• Flexibilität, Verspinnbarkeit, Geschmeidigkeit		<input type="checkbox"/>	-
• geringes spezifisches Gewicht	$\frac{g}{cm^3}$	2.3-2.5	3.1-3.4
• hohe Zugfestigkeit	$\frac{N}{mm^2}$	2000 - 20000	
• hohes Elastizitätsmodul	$\frac{N}{mm^2}$	30 000 - 160 000	
• therm. Stabilität ( $M_p > 1500K$ )		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• ger. elektrische Leitfähigkeit	$\frac{10^{-6}}{\Omega cm}$	0.6 - 1.8	
• geringe Wärmeleitfähigkeit		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• gute chemische Stabilität		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• sehr gute Laugenbeständigkeit		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
• gute Säurebeständigkeit		-	<input type="checkbox"/>
• spez. Oberfläche	$\frac{m^2}{g}$	10-50	3-10
• Zeta-Potential		⊕	⊖

## Genese, Vorkommen

- ▶ metamorphe Bildung

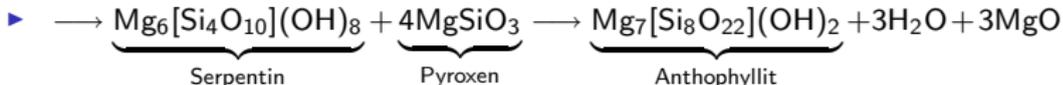
- ▶ **Serpentin:**

- ▶ Serpentinisierung von Dunit-Mineralien (Olivine)
- ▶ (Aufnahme von  $\text{SiO}_2$  und Wasser)



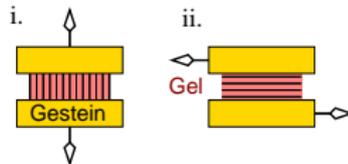
- ▶ **Amphibole:**

- ▶ Amphibolisierung von Serpentin
- ▶ (Aufnahme von  $\text{SiO}_2$ , Abgabe von Wasser)



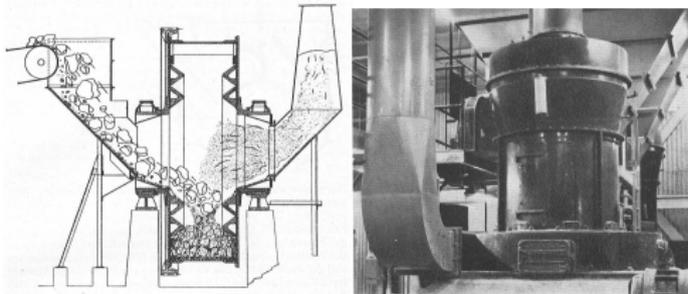
- ▶ Asbestbildung (Entstehung der Faserform) durch Tektonik:

1. Gel zieht Fäden ( $\perp$  zum Gestein, 'cross fiber')
2. Scherung durch Schiebungen ( $\parallel$  zum Gestein)



## Gewinnung

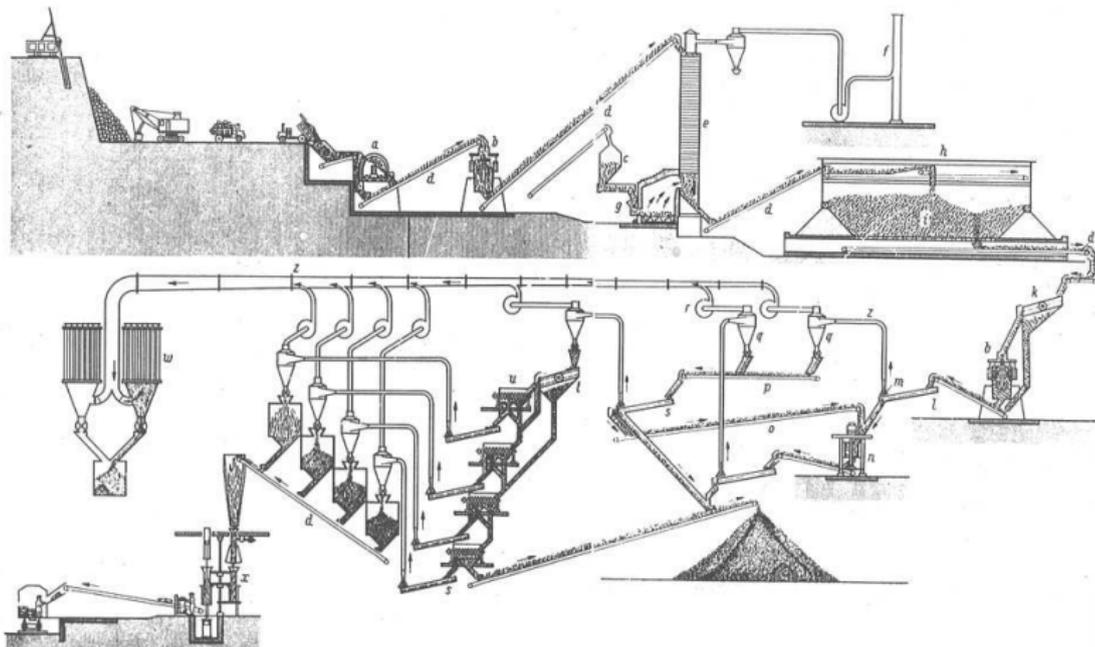
- ▶ Abbau meist im Tagebau
- ▶ Erze mit 4-10 % Asbestanteil
- ▶ Crude-Asbest handverlesen
- ▶ Maschinelle Aufarbeitung und Einengung des Faserlängenbereichs
  1. Trockenverfahren
    - ▶ Zerkleinerung und Lockerung des Erzes (Backen- und Walzenbrecher)
    - ▶ Trocknung
    - ▶ Zerquetschen, Zerfasern, Aufbrechen des Gesteins (div. Mühlen)
    - ▶ Sieben und Windsichten



### 2. Naßverfahren

- ▶ Abtrennung der Faser vom Gestein durch Hydrozyklone
- ▶ Auftrennung über Siebtrommeln

# Gewinnung im Trockenverfahren (1965)



## Verarbeitung

... zu Verbundwerkstoffen

- ▶ Asbestzement: ca. 10-20 % Chrysotil in Portlandzement (Eternit, Fulgurit)
  - ▶ Formteile durch Druckpressen und Dampfhärtung;
  - ▶ flüssige Masse als Spritzasbest
- ▶ Reibbeläge: 20-60 % Asbest mit Füllstoffen, Metallspänen und Phenolharzen/Kautschuk
- ▶ Formmassen auf Basis Phenol- oder Melaminharze
- ▶ verstärktes PVC (Fliesen, Bodenbeläge, 'it'-Platten)
- ▶ Asbestpappe und -papier (> 60 % Chrysotil-Asbest)

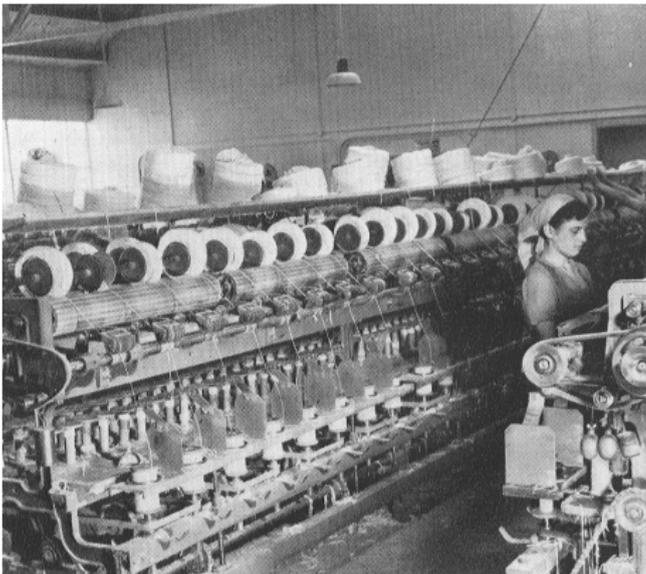


Arbeiter am 'Holländer'

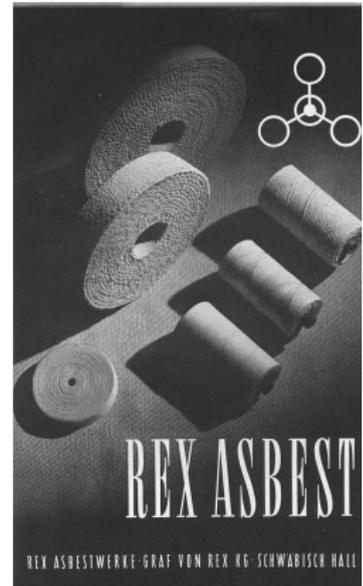
## Verarbeitung II

... zu Garnen, Textilien und Filtern

- ▶ Spinnmischungen aus Chrysotil mit Tragfasern (Baumwolle, org. Fasern)



Garnherstellung (Ringspinmaschine)



## Verwendung asbesthaltiger Produkte

Arbeitsschutz	Persönliche Hitzeschutzkleidung, Hitzeschutzhandschuhe, flächige Textilgebilde, Materialien für spezielle Arbeitsplätze
Brandschutz	Brandschutzplatten u. -matten, Spritzmassen, Isolierputz, Plastische Massen, Anstriche, Kitte u. Spachtelmassen, Brandschutzmörtel, Pappen, Schnüre/Vliese, Schaumstoffe, Brandschutzkissen, Textile Erzeugnisse
Wärmeisolation	Platten und Matten, Anorg. Spritzmassen, Materialien zur Verfüllung von Fugen und Hohlräumen, Formteile und Formmassen, Textile Erzeugnisse
Elektroisolation	Drähte und Kabel, Isolierstoffe, Formmassen, Haushaltsgeräte, duroplastische Formmassen zur Herstellung v. Kommutatoren
Dichtungen	statische (Flachdichtungen), dynamische (Packungsdichtungen) und Zylinderkopfdichtungen für Fahrzeuge und gewerbl. Anwendungen, Heißgasdichtung, Kompensatoren
Filtration	Flüssigfiltration, Fein- und Sterilfiltermedien, Filterhilfsmittel, Gasfiltration/Lüftung, Prozeßluft, Entstaubung, Atemfilter für Atemschutzgeräte, Diaphragmen ( <u>für Elektrolyseprozesse</u> )
Reibbeläge	Scheiben- und Trommelbremsbeläge, Bremsklotzsohlen für schienengebundene Fahrzeuge, Kupplungsbeläge, Reibbeläge für gewerbl. Anwendungen
Bautechn. Produkte (A.-Zement)	ebene Platten, Wellplatten, Rohre für Tiefbau (Druck- und Kanalrohre), Rohre für Haus und Grundstück, Gartengestaltung
Chem. Produkte/ Sonstiges	Anstrichstoffe und Spachtelmassen, Klebstoffe, Dichtungsmassen, Kitte; Sonderprodukte mit Bitumen oder Teer-Matrix, Formmassen mit Kunstharz-Matrix, Formmassen mit Kunststoffmatrix, poröse Massen für Acetylenflaschen

## Weltproduktion an Asbesten

Angaben in tausend Tonnen/Jahr

- ▶ 1959: 2 500
- ▶ 1988: 4 500
- ▶ 2011: 2 110 davon
  - ▶ Russland: 1 000
  - ▶ China: 440
  - ▶ Brasilien: 302
  - ▶ Kasachstan: 223
  - ▶ Kanada: 50
- ▶ 2009 in Deutschland:
  - ▶ 38 t (aus Kanada, für Chloralkalielektrolyse, Dow Chemical, Stade)

## Die 'Wunderfaser'

Einleitung, Geschichtliches

Klassifizierung, Zusammensetzung, Strukturen

Eigenschaften

Genese, Vorkommen

Gewinnung

Verarbeitung

Verwendung

## Die 'Altlast'

Gesundheitliche Auswirkungen

Messtechnik

Stand der gesetzlichen Bestimmungen

Ersatzstoffe

Zusammenfassung

Literatur



GHS-Kennzeichnung



Hinweisschild nach  
TRGS 519

# Folgeerkrankungen von Asbeststaubeinwirkung

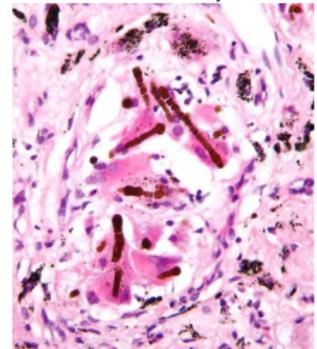
## I. Fibrogene Erkrankungen

### ▶ Asbestose

- ▶ spez. Form der Pneumokoniose (Lungenverhärtung); Symptome: Reizhusten, Auswurf, Atemnot
- ▶ gutartige Erkrankung (nicht kanzerös)
- ▶ oft tödlicher Verlauf
- ▶ erstmals 1900 nachgewiesen, seit 1936 als Berufskrankheit anerkannt
- ▶ nur bei hohen Asbestkonzentrationen (berufl. expon. Personen)
- ▶ Latenzzeit 'nur' ca. 20 Jahre, daher heute ohne Bedeutung

### ▶ Verschwartungen/Verwachsungen der Pleura (Brust- und Zwerchfell)

- ▶ seit April 1988 als Berufskrankheit anerkannt
- ▶ nur bei hohen Asbestkonzentrationen (berufl. exponierte Personen)



## Folgeerkrankungen von Asbeststaubeinwirkung

### II. Karzinogene Erkrankungen

- ▶ Lungenkrebs
  - ▶ 1933 als solcher erkannt; seit 1942 als Berufskrankheit anerkannt, wenn zusätzlich Asbestose vorliegt
  - ▶ Latenzzeit: 8-55 Jahre (Ø 30 Jahre (Dreißigjahresregel))
- ▶ Mesotheliome
  - ▶ bösartig wuchernde Krebs-Geschwulste im Rippen- und Bauchfell
  - ▶ 1960 in Südafrika entdeckt; seit 1977 als Berufskrankheit anerkannt
  - ▶ Latenzzeit zwischen 20-60 Jahren (Ø 43 Jahren)
  - ▶ nach Ausbruch schneller tödlicher Verlauf
  - ▶ keine langen Expositionszeiten nötig

## Folgeerkrankungen von Asbeststaubeinwirkung

### II. Karzinogene Erkrankungen

- ▶ Lungenkrebs
  - ▶ 1933 als solcher erkannt; seit 1942 als Berufskrankheit anerkannt, wenn zusätzlich Asbestose vorliegt
  - ▶ Latenzzeit: 8-55 Jahre (Ø 30 Jahre (Dreißigjahresregel))
- ▶ Mesotheliome
  - ▶ bösartig wuchernde Krebs-Geschwulste im Rippen- und Bauchfell
  - ▶ 1960 in Südafrika entdeckt; seit 1977 als Berufskrankheit anerkannt
  - ▶ Latenzzeit zwischen 20-60 Jahren (Ø 43 Jahren)
  - ▶ nach Ausbruch schneller tödlicher Verlauf
  - ▶ keine langen Expositionszeiten nötig

### Stand

- ▶ 1994 - 2008: 19 726 Tote in Deutschland (lt. Unfallversicherer)

## Gesetze/Verordnungen/Richtlinien

Gebiet	Gesetze	Verordnungen	Richtlinien/Verwaltungsvorschriften
Arbeitsschutz	Chemikaliengesetz ChemG (3.90)	GefStoffV (6.86)  Asbestverordnung	TRGS 100    Auslöseschwelle für gefährliche Stoffe
			TRgA 400    Außerbetriebliche Meßstellen
			TRGS 402    Meßtechnische Überwachung von MAK- und TRK-Werten
			TRGS 517    Asbest
			TRGS 519    Asbest – Abbruch- Sanierungs- und Instandsetzungsarbeiten
			TRGS 560    Luftrückführung beim Umgang mit krebserregenden Arbeitsstoffen
			TRgA 601    Ersatzstoffe für Asbest
			UVV          Gesundheitsgefährlicher Mineralischer Staub
			ZH 1/12046    REM-Verfahren zur Bestimmung lungengängiger Fasern
			ZH 1/487      Einrichtungen zum Abscheiden gesundheitsgefährlicher Stäube
Baurecht	Landesverordnungen		Richtlinien zur Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbestrichtlinie)
Immissionsschutz	BlmschG (5.90)	4.,5.,6. und 12. BlmschV.	TA Luft      Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
Abfallrecht	AbfG (6.86)	AbfBestV RestBestV	TA Abfall
			LAGA        Merkblatt 'Entsorgung asbesthaltiger Abfälle'

## Bewertung der Dringlichkeit der Sanierung von Asbestprodukten

<b>I. Art der Asbestverwendung</b>		
1	Spritzasbest	20
2	Asbesthaltiger Putz	10
3	Leichte asbesthaltige Platten	5-15
4	Sonstige asbesthaltige Produkte	5-20
<b>II. Asbestart</b>		
5	Blauasbest	2
6	Sonstiger Asbest (weiß, grau)	0
<b>III. Struktur der Oberfläche des Asbestproduktes</b>		
7	Aufgelockerte Faserstruktur	10
8	Feste Faserstruktur ohne oder mit nicht ausreichend dichter Oberflächenbeschichtung	4
9	Beschichtete, dichte Oberfläche	0
<b>IV. Oberflächenzustand des Asbestproduktes</b>		
10	Starke Beschädigungen	6
11	Leichte Beschädigungen	3
12	Keine Beschädigungen	0
<b>V. Beeinträchtigung des Asbestproduktes von außen</b>		
13	Produkt ist durch direkte Zugänglichkeit (Fußboden bis Greifhöhe) Beschädigungen ausgesetzt	10
14	Am Produkt werden gelegentlich Arbeiten durchgeführt	10
15	Produkt ist mechanischen Einwirkungen ausgesetzt	10
16	Produkt ist Erschütterungen ausgesetzt	10
17	Produkt ist starken klimatischen Wechselbeanspruchungen ausgesetzt	10
18	Produkt liegt im Bereich stärkerer Luftbewegungen	10
19	Im Raum mit dem asbesthaltigen Produkt sind starke Luftbewegung vorhanden	7
20	Am Produkt kann bei unsachgemäßem Betrieb Abrieb auftreten	3
21	Das Produkt ist von außen nicht beeinträchtigt	0

## Bewertung der Dringlichkeit der Sanierung von Asbestprodukten

Fortsetzung der Tabelle

<b>I. Art der Asbestverwendung</b>		
1	Spritzasbest	20
2	Asbesthaltiger Putz	10
3	Leichte asbesthaltige Platten	5-15
4	Sonstige asbesthaltige Produkte	5-20
<b>VI. Raumnutzung</b>		
22	Regelmäßig von Kindern, Jugendlichen und Sportlern benutzter Raum	25
23	Dauernd oder häufig von sonstigen Personen benutzter Raum	20
24	Zeitweise benutzter Raum	15
25	Nur selten benutzter Raum	8
<b>VII. Lage des Produktes</b>		
26	Unmittelbar im Raum	25
27	Im Lüftungssystem (Auskleidung oder Ummantelung undichter Kanäle) für den Raum	25
28	Hinter einer abgehängten undichten Decke oder Bekleidung	25
29	Hinter einer abgehängten dichten Decke oder Bekleidung hinter staubdichter Unterfangung oder Beschichtung, außerhalb dichter Lüftungskanäle	0
30	Summe der Bewertungspunkte	*
<b>Sanierung</b>		
31	unverzüglich erforderlich (Dringlichkeitsstufe I)	> 79
32	mittelfristig erforderlich (Dringlichkeitsstufe II)	70-79
33	langfristig erforderlich (Dringlichkeitsstufe III)	< 70

## Faser-Messungen nach TRGS 402 und ZH 12046

- ▶ Probennahme (Durchsaugen von insgesamt  $4 \text{ m}^2$  Luft über 8 Stunden durch  $0.8 \mu\text{m}$  goldbeschichtete Kernporenfilter mit 25 mm Durchmesser )
- ▶ Kaltveraschung der organischen Partikel im  $\text{O}_2$ -Plasma
- ▶ Zahl der Fasern: Zählung unter dem REM ( $1 \text{ mm}^2 = \text{ca. } 10 \text{ l Luft d.h. } 1 \text{ Faser} \equiv 100 \text{ F/m}^3$ , Nachweisgrenze:  $100 \text{ F/m}^3$ )
- ▶ Fasergeometrie (Lungengängigkeit):
  - ▶ Länge:  $5 - 100 \mu\text{m}$
  - ▶ Durchmesser:  $< 3 \mu\text{m}$
  - ▶ Länge:Durchmesser  $> 3:1$
- ▶ Klassifizierung der Asbestart: durch Bestimmung der Zusammensetzung per EDX (für Fasern mit  $d > 0.2 \mu\text{m}$ )
- ▶ Meßwerte:
  - ▶ Entscheidungswert für erfolgreiche Sanierung:  $500 \text{ F/ m}^3$
  - ▶ Jahresmittelwerte:
    - ▶ Ballungsgebiet mit hoher Verkehrsdichte:  $53-94 \text{ F/m}^3$
    - ▶ Umgebung von Asbestzement:  $55-139 \text{ F/m}^3$
    - ▶ Umgebung industrielle Emittenten:  $87-333 \text{ F/m}^3$
    - ▶ Reinluftgebiete: -

## Ersatzstoffe

Einsatzbereiche	Arbeits- schutz	Brand- schutz	Wärme- isolation	Elektro- isolation	Dich- tungen	Filtra- tion	Reib- beläge	Baut. Prod.	Chem. Prod.
Substitute									
Textilglasfasern	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
SiO <sub>2</sub> -Fasern	<input type="checkbox"/>								
C-Fasern					<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Keramikfasern	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>						
Gipsfasern			<input type="checkbox"/>						<input type="checkbox"/>
Wollastonit	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Attapulgit, Sepiolith									<input type="checkbox"/>
PAN						<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ox. PAN	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>
Polypropylen					<input type="checkbox"/>			<input type="checkbox"/>	
Teflon				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>			
Aramid	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
Wolle	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>							
Baumwolle	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Cellulose-Fasern					<input type="checkbox"/>				
Flachs/Hanf								<input type="checkbox"/>	
Glimmer/Talk					<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>
Bentonit/Kieselgur							<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>

## Zusammenfassung

- ▶ Asbeste = faserförmige, natürliche Silicate
  1. Schichtsilicate: Weißasbest, Chrysotil
  2. Bandsilicate (Amphibole): Blauasbest
- ▶ herausragende Materialeigenschaften
  - ▶ mechanisch
  - ▶ chemisch
  - ▶ thermisch
- ▶ Abbau, Trennung, Aufarbeitung, Verarbeitung zu Pappen, Zementen, Geweben
- ▶ bis 1980 sehr häufige Verwendung, ca. 3000 Produkte
- ▶ seit 2005 in allen EU-Ländern verboten
- ▶ Weltjahresproduktion im Jahr 2011: 2.1 Mill. t
- ▶ Gesundheitsgefahren bei Faserexposition
  - ▶ Asbestose – Krebs
  - ▶ Lunge – Brust/Zwerchfells
- ▶ Verbot und rechtliche Bestimmungen
- ▶ wirtschaftlicher Schaden
- ▶ Entsorgungsproblematik

## Literatur

- ▶ C.R.: CHIUZ 2/98, S. 64-72.
- ▶ C.R.: Vorlesung: Strukturchemie der Silicate (Web-Seite)
- ▶ F. Liebau: Structural Chemistry of Silicates, Springer