

# Analyse thermisch behandelten Asbestzements

M. Mattenklott

**Zusammenfassung** Asbesthaltige Abfälle können z. B. durch thermische Behandlung verwertet werden. Es wird der Frage nachgegangen, mit welchen Analysenverfahren die vollständige Umwandlung von Asbest in Asbestzement nach einer definierten thermischen Behandlung festgestellt werden kann. Dabei werden die Defizite und Vorteile von phasenkontrastmikroskopischen, rasterelektronenmikroskopischen, infrarotspektroskopischen und röntgendiffraktometrischen Verfahren in Bezug auf diese spezielle Fragestellung erläutert. Als aussagekräftig und effizient hat sich eine kombinierte phasenkontrastmikroskopische und infrarotspektroskopische Analyse unter Beachtung besonderer Vorgaben für die Probenahme herausgestellt.

## Analytics of thermally treated asbestos cement

**Abstract** Wastes containing asbestos may e. g. be recycled by thermal treatment. The objective of this study is to identify analytical methods suitable for stating complete destruction of asbestos contained in asbestos cements after its well defined thermal treatment. Advantages and deficits of procedures based on phase contrast microscopy, scanning electron microscopy, infrared spectroscopy, and X-ray diffraction for this specific analytical question are discussed. A combination method using both phase contrast microscopic and infrared spectroscopic techniques and observing specific sampling conditions is shown to be valid and efficient.

## 1 Einführung

Ca. 65 bis 70 % des in die Bundesrepublik Deutschland importierten Asbests wurden für die Asbestzementherstellung verwendet, z. B. in Wellasbestplatten, Fassadenplatten, Kunstschiefer, Rohren oder Formteilen. Für Asbestzement wurde überwiegend Chrysotil („Weißasbest“) eingesetzt, für einige Produkte (z. B. Druckrohre, bestimmte Platten) ist neben Chrysotil auch Krokydolith („Blauasbest“) benutzt worden. Der Asbestgehalt lag in der Regel zwischen etwa 5 und 15 Masse-% Chrysotil, bei Produkten mit Krokydolith: ca. 10 % Chrysotil und 5 % Krokydolith. Seit dem Zweiten Weltkrieg wurden demnach überwiegend in der Zeit zwischen 1955 und 1985 mehrere Millionen Tonnen Asbestzementprodukte in Verkehr gebracht.

Da die Haltbarkeit von Asbestzement mit rund 50 bis 70 Jahren anzunehmen ist, ist davon auszugehen, dass ein Großteil der überwiegend im Hochbau verbauten Produkte noch zur Entsorgung ansteht. Als Alternative zur kostspieligen Depositionierung wird mit Verweis auf das Kreislaufwirtschafts- und Abfall-Gesetz [1] auch eine Verwertung asbesthaltiger Abfälle gesehen. Hier sind Verfahren denkbar, die den Asbest z. B. durch Aufmahlung, thermische oder chemische Behandlung umwandeln bzw. zerstören (z. B. [2]).

Für Behörden, Abnehmer und Inverkehrbringer stellt sich dabei die Frage, wie kontrolliert werden kann, ob die Umwandlung bzw. Zerstörung von Asbest im Rahmen der

Abfallbehandlung vollständig erfolgt ist. Zur Analyse von Asbest in technischen Produkten steht eine Reihe von etablierten Analysenmethoden zur Verfügung, die z. B. in folgenden Verfahrensbeschreibungen dokumentiert sind [3; 4]:

- VDI-Richtlinie 3866 „Bestimmung von Asbest in technischen Produkten“

Blatt 1: „Grundlagen; Entnahme und Aufarbeitung der Proben“

Blatt 2: „Infrarotspektroskopisches Verfahren“

Blatt 4: „Phasenkontrastmikroskopisches Verfahren“

Blatt 5: „Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren“

- BGI 505-30 „Verfahren zur Bestimmung der Massenanteile von Chrysotil- und Amphibolasbesten“ (Phasenkontrastmikroskopie und Infrarotspektroskopie).

Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse und Schlussfolgerungen beziehen sich auf die Analyse thermisch behandelte Asbestzementprodukte. Die etablierten Analysenverfahren wurden an definiert aufgearbeiteten Asbestzementproben angewendet. Die Defizite und Vorteile der einzelnen Verfahren werden in Bezug auf diese spezielle Fragestellung erläutert. Abschließend wird eine Vorgehensweise vorgeschlagen, um eine effektive Kontrolle der thermischen Umwandlung von Asbest in Zementprodukten zu ermöglichen. Eine pauschale Übertragung dieser Vorgehensweise auf anders behandelte Asbestzemente oder andere asbesthaltige Materialien kann zu Fehlaussagen führen. So ist vor allem auf die Abgrenzung zu asbesthaltigen Leichtbauplatten hinzuweisen. Diese haben eine geringere Rohdichte als Asbestzementprodukte (Dichte von Asbestzement > 1,4 g/cm<sup>3</sup>) und enthalten zumeist neben Chrysotil auch Amosit.

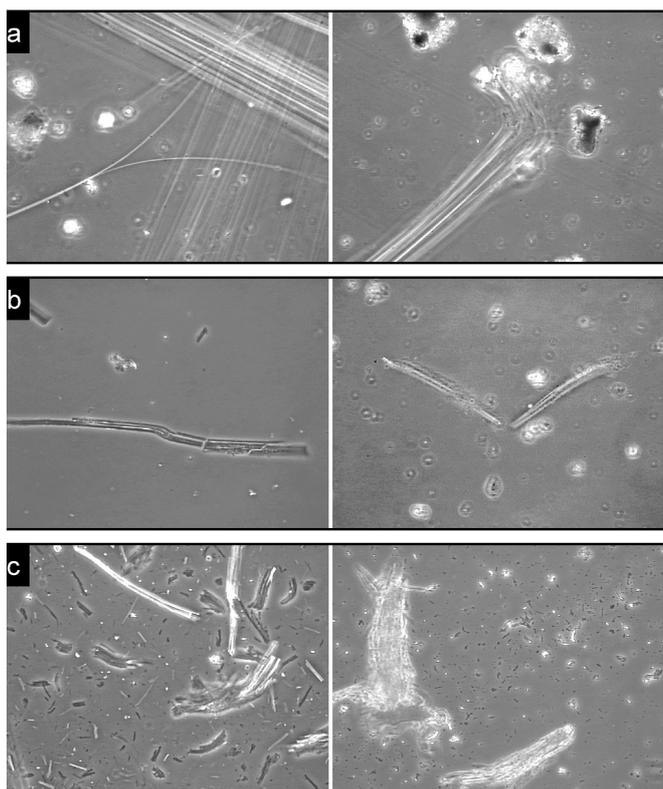
## 2 Aufbereitung und Analyse der Proben

Für die vergleichenden Untersuchungen wurden verschiedene archivierte Proben von Asbestzementplatten genutzt. Daneben wurden auch Proben von Asbestzementplatten aus der Praxis verwendet. Der Schwerpunkt der Untersuchungen betraf chrysotilhaltige Platten. Als thermische Behandlung wird hier ein Glühen der Proben bei 1 000 °C durchgeführt. Die Glühdauer variierte zwischen einer Viertelstunde und 30 Stunden. Andere Glühtemperaturen wurden nicht angewendet.

Die Proben wurden in Abhängigkeit vom Analysenverfahren aufbereitet. Für die infrarotspektroskopische und röntgendiffraktometrische Analyse wurden die Proben zwei Minuten in der Mikronisiermühle gemahlen, zur phasenkontrastmikroskopischen und rasterelektronenmikroskopischen Auswertung in der Reibschale zerkleinert. Daneben wurden rasterelektronenmikroskopisch auch Bruchflächen mit Chrysotilfaserbüscheln und phasenkontrastmikroskopisch auch gezielt herauspräparierte Faserbüschel untersucht. Ein generelles Problem stellt die Nachweisgrenze der Chrysotilbestimmung dar. Diese liegt für die Analysenverfahren nach VDI 3866 [3] und BGI 505-30 [4] bei etwa 1 Masse-%. Hierauf wird im Abschnitt 4 eingegangen.

Dr. rer. nat. Markus Mattenklott,

Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BIA,  
Sankt Augustin.

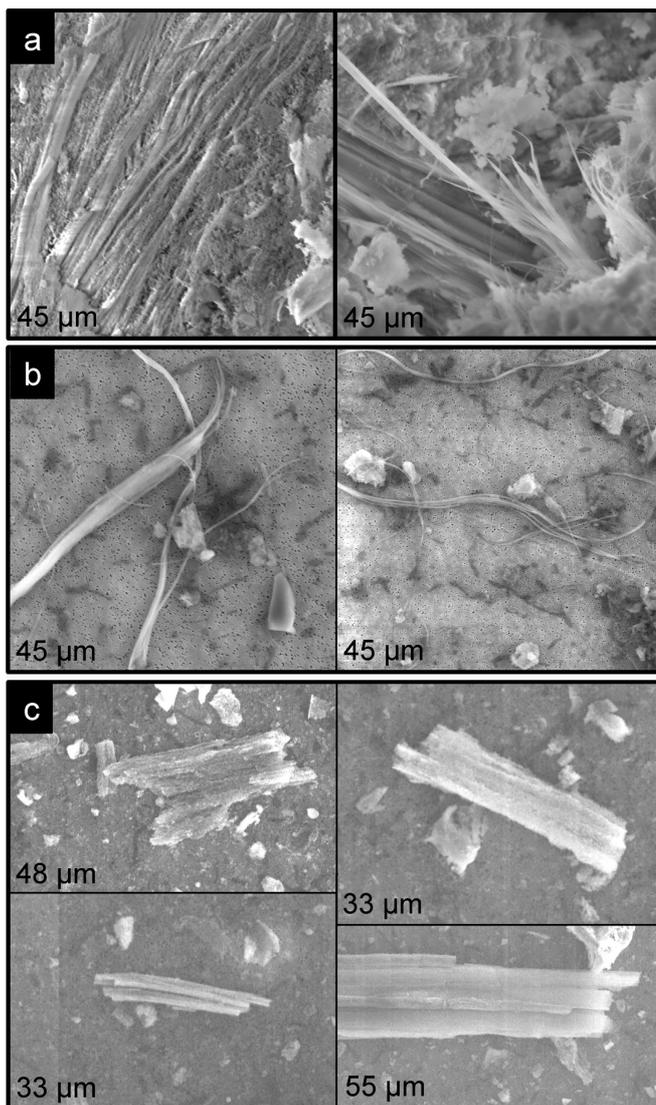


**Bild 1. Phasenkontrastmikroskopische Aufnahmen von zerkleinertem Asbestzement (Bildbreite jeweils 300 µm).**

a) Chrysotilfasern aus unbehandeltem Asbestzement. b) teilweise durch thermische Behandlung umgewandelte Chrysotilfasern. c) durch thermische Behandlung vollständig umgewandelte Chrysotilfasern. (Erläuterungen im Text).

**Bild 2. Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen von Asbestzement (Bildbreite jeweils angegeben).**

a) Bruchfläche mit Chrysotilfaserbündel von thermisch behandeltem (links) und unbehandeltem Asbestzement (rechts). b) Chrysotilfaserbündel aus unbehandeltem Asbestzement c) durch thermische Behandlung umgewandelte Chrysotilfaserbündel.



## 2.1 Phasenkontrastmikroskopie

Bei phasenkontrastmikroskopischer Betrachtung sind die typischen morphologischen Eigenschaften von Chrysotilfasern zu erkennen (siehe **Bild 1a**). Die Fasern zeigen Aufspaltungen in feinste Fibrillen und eine hohe Flexibilität, die z. B. zu sehr engen Verbiegungen und Flexuren bei Stauungen an Enden von Faserbündeln führt. Im positiven Phasenkontrast zeigen die Faserbündel bei einer Einbettung in eine Immersionsflüssigkeit mit Lichtbrechung  $n_D = 1,56$  eine charakteristische hellblau-blaue Anfärbung mit orangertfarbenem Halo.

In **Bild 1c** sind umgewandelte Chrysotilfasern aus thermisch behandeltem Asbestzement dargestellt (vergl. auch **Bild 2c**). Einzelne Fibrillen oder Aufspaltungen von Faserbündeln sind nicht mehr zu erkennen, die Fasern sind zu kompakten Partikeln verbacken. Es sind kurze Bruchstücke ehemaliger Faserbündel zu erkennen, die bei stärkerer mechanischer Belastung zu immer kürzeren körnigen Partikeln zerfallen. Die Lichtbrechung der ehemaligen Chrysotilfasern hat sich deutlich zu höheren Werten verschoben und führt erst bei einer Einbettung in eine Immersionsflüssigkeit mit  $n_D = 1,69$  zu den beschriebenen charakteristischen Anfärbungen. Eine Betrachtung unter gekreuzten Polarisatoren zeigt häufig eine Felderung der Doppelbrechung quer zur ehemaligen Faserausrichtung und belegt damit eine Umwandlung

des Chrysotils in eine andere Phase. Diese Effekte zeigen sich schon bei einer Glühdauer der Proben von nur einer Viertelstunde. Nicht umgewandelte Chrysotilfasern konnten in keiner der im Labor thermisch behandelten Proben gefunden werden.

Die beginnende Umwandlung von Chrysotilfasern ist beispielhaft in **Bild 1b** zu erkennen. Es handelt sich hierbei um Proben, deren Zementmatrix noch nicht die in Abschnitt 2.3 beschriebene Umwandlung durchlaufen hat. Hier zeigen sich bereits teilweise verbackene Fasern, die typischerweise Querbrüche aufweisen und nicht mehr aufspalten. Eine mechanische Belastung belegt die Versprödung der Fasern, die zu einem scheinartigen Zerlegen dickerer Faserbündel oder weiteren Querbrüchen führt. Eine Biegsamkeit der Fasern und die für Chrysotil typischen Flexuren sind nicht mehr zu beobachten und die Lichtbrechung ist bereits zu etwas höheren Werten verschoben (nur noch graue Anfärbung bei Einbettung in Flüssigkeit mit  $n_D = 1,56$ ).

## 2.2 Rasterelektronenmikroskopie und Energiedispersive Mikrosondenanalyse (EDXA)

Zunächst wurden Chrysotilfasern auf Bruchflächen von Asbestzementstücken rasterelektronenmikroskopisch untersucht (siehe **Bild 2a**). Eine Unterscheidung in unbehandelten und thermisch behandelten Chrysotil ist dabei nicht ein-

deutig möglich. Die Morphologie gibt zwar Hinweise auf eine Umwandlung des Chrysotils (Bild 2a links: Faserbündel scheinen verklebt/verbacken zu sein, keine einzelnen Fibrillen mehr zu erkennen), die EDX-Spektren von Fasern weisen aber in beiden Fällen Ca-Kontaminationen auf. Hierbei ist jedoch mit vertretbarem Aufwand nicht unterscheidbar, ob es sich um Ca aus der Zementmatrix oder um Ca-Anteile eines umgewandelten und chemisch veränderten Faserbündels handelt.

In zerkleinerten Proben sind an Faserbündeln bzw. ehemaligen Chrysotilfaserbündeln die gleichen morphologischen Charakteristika zu beobachten, wie in Abschnitt 2.1 beschrieben (siehe Bild 2b und c). In Bild 2c sind die für umgewandelte Chrysotilfaserbündel typischen teilweise gestuften Querbrüche zu erkennen. Im Gegensatz zur Phasenkontrastmikroskopie ist es bei der rasterelektronenmikroskopischen Analyse allerdings nicht möglich, den Grad der Umwandlung einzelner Partikel zu erkennen, da die optischen Merkmale (z. B. Lichtbrechung) nicht festgestellt werden können.

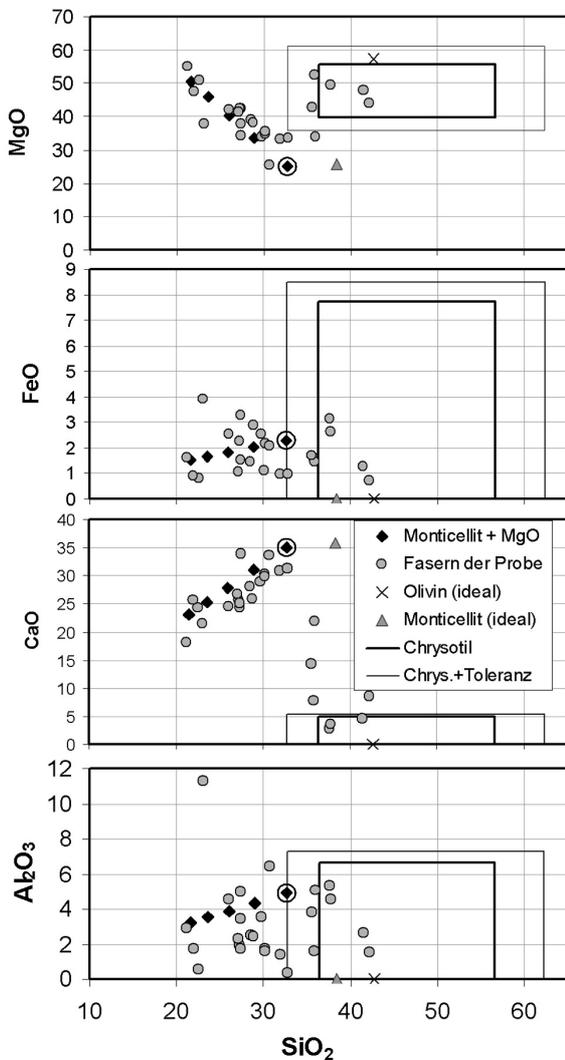


Bild 3. Mittels EDX-Analyse ermittelte chemische Zusammensetzung von thermisch umgewandelten Chrysotilfasern aus einem Asbestzementstück. Zum Vergleich sind der Bereich der Zusammensetzung von Chrysotil, die ideale chemische Zusammensetzung von Olivin, Monticellit und von verschiedenen Mischungen aus Al- und Fe-haltigem Monticellit (Raute im Kreis) und MgO dargestellt (Erläuterungen im Text).

Hinweise auf die Art der Umwandlung des Chrysotils durch thermische Behandlung gibt die Elementanalyse. In Bild 3 ist die durch EDXA ermittelte chemische Zusammensetzung umgewandelter Chrysotilfaserbündel dargestellt. Die quantitative Auswertung erfolgte mittels standardloser ZAF-Korrektur, die Normierung der Zusammensetzung nach [5]. Einige der faserförmigen Partikel weisen noch die typische Zusammensetzung technisch verwendeten Chrysotils auf (gekennzeichnet durch die eingerahmten Felder in den Diagrammen in Bild 3; Chrysotil und Chrysotil mit erweiterter Toleranz der Zusammensetzung nach [5]) und sind somit chemisch nicht vom Chrysotil der unbehandelten Probe zu unterscheiden. Daneben ist eine Gruppe von faserförmigen Partikeln zu beobachten, die auffällige Ca- und Mg-Gehalte zeigt. Die Zusammensetzung der Partikeln streut um einen Trend, bei dem abnehmende Anteile an SiO<sub>2</sub> und CaO mit zunehmenden Mg-Anteilen einhergehen. Olivin scheidet als mögliches Produkt der Umwandlung wegen der hohen Ca-Anteile in den Partikeln aus (siehe auch Abschnitt 2.4). Als mögliches Umwandlungsprodukt kommt Monticellit (CaMg[SiO<sub>4</sub>]) infrage. In Bild 3 sind zum Vergleich Monticellit und Al- und Fe-haltiger Monticellit (Raute im Kreis) dargestellt. Es ist zu erkennen, dass letzterer eine Begrenzung des Trendverlaufs darstellt. Die übrigen Raute, die im Trendverlauf liegen, sind fiktive Mischungen aus Al- und Fe-haltigem Monticellit und variablen Anteilen MgO. Diese gute Übereinstimmung erlaubt die Annahme, dass Chrysotil bei der thermischen Behandlung durch Reaktion mit der Zementmatrix in Monticellit und Mg-Oxid oder -Hydroxid umgewandelt wird. Hierfür spricht auch, dass neben den in Bild 3 dargestellten Partikeln eine größere Zahl von Partikeln gefunden wurde, deren Elementspektrum dominierend Mg und nur sehr geringe Anteile an Si, Fe und Al aufweist.

### 2.3 Infrarotspektroskopie

Bislang wurde angenommen, dass der bei der Erhitzung von Chrysotil entstehende Olivin (Forsterit) ebenfalls in dem für Chrysotil signifikanten Wellenzahlbereich von 3 600 bis 3 700 cm<sup>-1</sup> eine charakteristische Absorptionsbande zeigt (z. B. [5]). Zur Überprüfung wurden drei verschiedenen Olivinproben, die mittels röntgendiffraktometrischer Analyse identifiziert wurden, infrarot-(IR)-spektroskopisch untersucht. Hierbei zeigte sich im genannten Wellenzahlbereich keine Absorptionsbande (siehe Bild 4). Die drei charakteristischen Absorptionsbanden des Chrysotils im Wellenzahlbereich von 900 bis 1 100 cm<sup>-1</sup> unterscheiden sich ebenfalls signifikant von denen des Olivins.

Wie die röntgendiffraktometrische und rasterelektronenmikroskopische Analyse gezeigt haben, ist jedoch beim Glühen von chrysotilhaltigem Asbestzement aufgrund der Matrixeinflüsse nicht mit einer Entstehung von Olivin aus Chrysotil zu rechnen. Sollte dies doch in geringem Umfang geschehen, wäre wegen der nicht vorhandenen Querempfindlichkeit kein vorgetäuschter Chrysotilanteil zu erwarten.

Aufgrund der phasenkontrastmikroskopischen Analysen war festzustellen, dass bereits nach einer Viertelstunde Glühdauer die Chrysotilfasern im Zement vollständig umgewandelt sind. Bild 5 zeigt die IR-Spektren des nicht geglühten Asbestzements und der verschieden lang geglühten Asbestzementproben. Es ist auch hier zu erkennen, dass im gesamten Absorptionsspektrum deutliche Änderungen bereits bei der nur eine Viertelstunde geglühten Probe zu beobach-

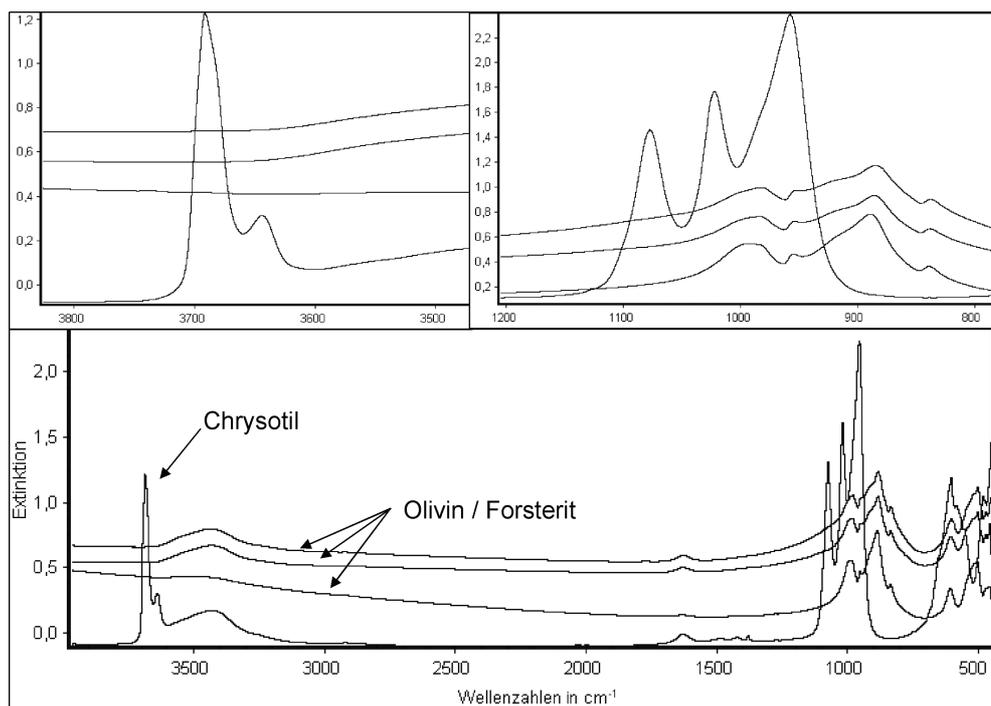


Bild 4. Gestaffelte Darstellung der IR-Absorptionsspektren von Chrysotil und drei verschiedenen Olivinproben mit zwei Ausschnittvergrößerungen in den Wellenzahlbereichen 3 500 bis 3 800  $\text{cm}^{-1}$  und 800 bis 1 200  $\text{cm}^{-1}$ .

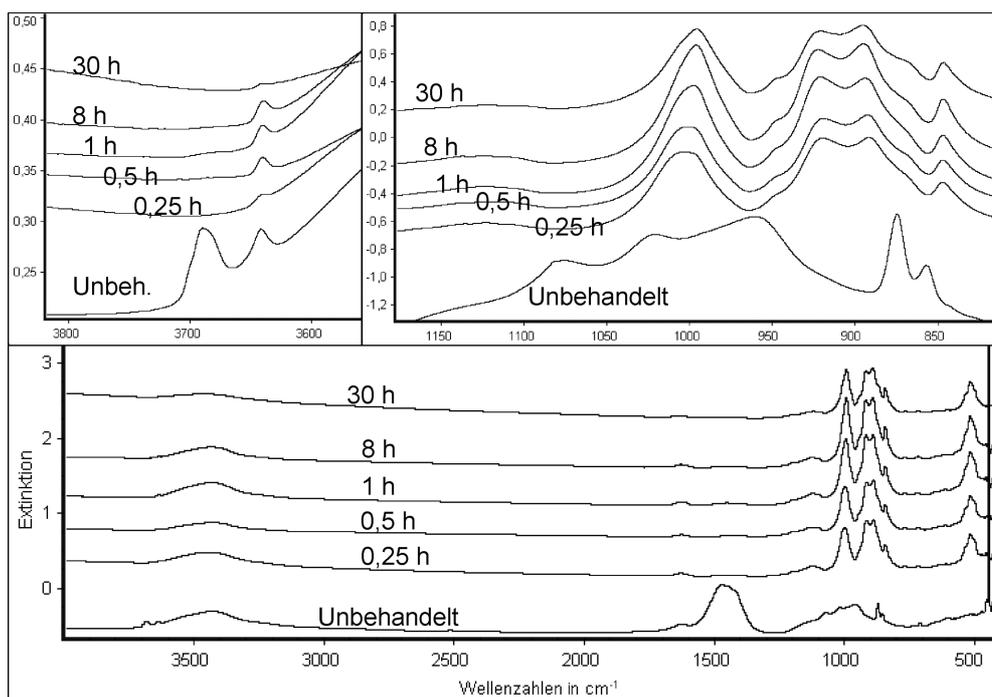


Bild 5. Gestaffelte Darstellung der IR-Absorptionsspektren von unbehandeltem und thermisch behandeltem Asbestzement (Glühdauer zwischen 0,25 und 30 Stunden) mit zwei Ausschnittvergrößerungen in den Wellenzahlbereichen 3 600 bis 3 800  $\text{cm}^{-1}$  und 800 bis 1 150  $\text{cm}^{-1}$ .

ten sind, die auf Umbildungen des Phasenbestandes zurückzuführen sind. Die mit längerer Glühdauer behandelten Proben zeigen im Vergleich hierzu keine signifikanten Änderungen mehr. Diese Feststellung wurde für verschiedene Asbestzementprodukte überprüft.

Somit lässt sich mittels IR-Spektroskopie auch überprüfen, wie weit die thermische Behandlung einer unbekanntem Asbestzementprobe vollzogen ist. Zeigt das IR-Spektrum dieser Probe nach einer weiteren thermischen Behandlung (z. B. 1 Stunde Glühen bei 1 000 °C) noch Veränderungen, war die thermische Umwandlung noch nicht abgeschlossen.

#### 2.4 Röntgendiffraktion

Die röntgendiffraktometrische Analyse von Chrysotil in Asbestzementproben ist durch Peak-Überlagerungen gestört. In den Diffraktogrammen sowohl des unbehandelten als auch des geblühten Asbestzements sind Peaks in den für Chrysotil charakteristischen Winkelbereichen vorhanden. Eine sichere Überprüfung der Umwandlung von Chrysotil durch thermische Behandlung ist somit nicht möglich. Ein Vergleich der Diffraktogramme von geblühten und ungeblühten Asbestzementproben ließ darüber hinaus keine einfache Unterscheidung zu, wie dies für die IR-Spektroskopie der Fall ist (vergl. Abschnitt 2.3).

Eine Auswertung der thermisch behandelten Asbestzementproben ergab keine Hinweise auf die Entstehung von Olivin. In den Diffraktogrammen der geglähten Asbestzementproben sind charakteristische Peaklagen von Monticellit und MgO (Periklas) enthalten, eine eindeutige Identifizierung ist wegen Peak-Überlagerungen jedoch nicht möglich.

### 2.5 Krokydolithhaltiger Asbestzement

Neben den oben beschriebenen Untersuchungen wurden auch Analysen von krokydolithhaltigen Proben vorgenommen. Da Krokydolith eine geringere Stabilität gegenüber thermischer Belastung zeigt als Chrysotil und generell nur zusammen mit Chrysotil in Asbestzementprodukten eingesetzt wurde, werden diese Analysen jedoch nicht detailliert dargestellt. Während z. B. Chrysotil als solcher und auch in Zementmatrix bei 400 °C Glühtemperatur auch nach mehrstündiger Behandlung keine Veränderungen zeigt, können an Krokydolith im Phasenkontrastmikroskop bereits nach halbstündigem Glühen bei 400 °C Veränderungen beobachtet werden. Eine Feststellung der vollständigen Umwandlung des Chrysotils in einer thermisch behandelten Asbestzementprobe kann deshalb zugleich auch als Beleg für die Umwandlung des Krokydoliths gewertet werden.

## 3 Empfehlungen für die Probenahme

Um aussagekräftige Analysen thermisch behandelter Asbestzementproben vornehmen zu können, sind bei der Probenahme wichtige Aspekte zu beachten. Es sollten generell nur homogene Stücke einzelner Asbestzementprodukte (z. B. Bruchstücke von Platten) als Proben verwendet werden, Mischproben mehrerer zerkleinerter Stücke sind nicht geeignet. Für ein Bruchstück von Asbestzement kann mit der in Abschnitt 4 vorgeschlagenen Vorgehensweise die vollständige Umwandlung des darin enthaltenen Asbests festgestellt werden. Würde es sich bei einer zu untersuchenden Probe um eine Mischprobe handeln, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die darin enthaltenen Bruchstücke einen unterschiedlichen Umwandlungsgrad aufweisen und somit kleine Anteile noch vorhandenen Chrysotils nicht erkannt werden. Eine Analyse nach der in Abschnitt 4 vorgeschlagenen Weise liefert dann kein eindeutiges Ergebnis.

Die Zahl der zu untersuchenden Einzelproben kann nicht pauschal festgelegt werden und muss aufgrund der Gegebenheiten vor Ort (z. B. eine Charge thermisch behandelten Materials, Haufwerk verschiedener Chargen, Mischgut thermisch behandelten Materials und anderer Baustoffe auf einer Baustelle) gewählt werden.

## 4 Empfehlung für die Analyse thermisch behandelten Asbestzements

Ein generelles Problem bei der Bestimmung von Chrysotil in behandelten Asbestzementprodukten scheint die Nachweisgrenze von ca. 1 Masse-% zu sein. Ist jedoch sichergestellt, dass es sich bei der Probe nur um ein homogenes Bruchstück

eines Produktes handelt (siehe Vorgaben in Abschnitt 5), ist die Nachweisgrenze des einzelnen Analysenverfahrens in diesem Fall nicht von entscheidender Bedeutung. Nach den in Abschnitt 2.1 beschriebenen Ergebnissen kann davon ausgegangen werden, dass bei ausschließlichem Nachweis von vollständig umgewandeltem Chrysotil bei der phasenkontrastmikroskopischen Analyse das Vorhandensein von nicht umgewandeltem Chrysotil in derselben Probe unwahrscheinlich ist. Als entscheidend wird außerdem angesehen, eine Kombination von phasenkontrastmikroskopischer und infrarotspektroskopischer Analyse (z. B. gemäß VDI 3866 [3] oder BGI 505-30 [4]) durchzuführen. Dabei gelingt der Nachweis der vollständigen Umwandlung des Asbests im Asbestzement, wenn die in Abschnitt 2.1 dargestellte Veränderung der optischen Eigenschaften des Chrysotils bei der thermischen Umwandlung und die in Abschnitt 2.3 beschriebenen charakteristischen Veränderungen des IR-Spektrums durch Umwandlung der Zementmatrix vorhanden sind. Eine vollständige Umwandlung kann aber nicht festgestellt werden, wenn sich in nicht eindeutigen Fällen nach einer weiteren thermischen Behandlung der Probe (z. B. 1 Stunde Glühen bei 1 000 °C) die Veränderungen im IR-Spektrum noch verstärken.

Diese Aussagen treffen für die Kontrolle der Umwandlung von Asbest in Asbestzementprodukten zu, die bei mindestens 1 000 °C gegläht wurden. Inwieweit niedrigere Glühtemperaturen zu vergleichbaren Analyseergebnissen und Schlussfolgerungen führen, ist zu überprüfen.

### Danksagung

Für die Durchführung der Analysen und Unterstützung bei der Auswertung danke ich Frau D. Schlünz und den Herren M. Hansen, G. Schneider und P. Thomas.

### Literatur

- [1] Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung von Abfällen (KrW-/AbfG). BGBl I (1994), S. 2705, zul. geänd. durch Art. 2 G v. 25.01.2004, BGBl. I (2004), S. 82.
- [2] Justen, H.-P.; Strübel, G.: Verwertungskonzepte für Thermische Reaktionsprodukte Asbesthaltiger Massen. Oberhess. Naturwissensch. Z. 60 (1998/2000); [www.ohg-natur.de/Justen.htm](http://www.ohg-natur.de/Justen.htm).
- [3] VDI 3866: Bestimmung von Asbest in technischen Produkten. Berlin: Beuth. Blatt 1: 2000; Blatt 2: 2001; Blatt 4; 2002; Blatt 5: 2004.
- [4] Berufsgenossenschaftliche Informationen und Grundsätze: Verfahren zur Bestimmung der Massenanteile von Chrysotilasbest und Amphibolasbesten. Von den Berufsgenossenschaften anerkannte Analyseverfahren zur Feststellung der Konzentration krebserzeugender Arbeitsstoffe in der Luft am Arbeitsplatz (BGI 505-30). Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften, Sankt Augustin. Köln: Carl Heymanns 1991.
- [5] Mattenklott, M.: Identifizierung von Asbestfasern in Stäuben, Pulvern und Pudern mineralischer Rohstoffe. Teil 1: Grundlagen, Kriterienkatalog. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 58 (1998) Nr. 1, S. 15-22.