



forschen.
vernetzen.
anwenden.

Innovationsreport 2021

Industrielle Gemeinschaftsforschung

IGF-Forschungsvorhaben 19402 N

Entwicklung von nachweisstarken Verfahren zur Bestimmung von Asbest in flächigen Baustoffen

Laufzeit:

01.03.2017 – 31.12.2020

Beteiligte Forschungsstelle(n):

Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V.,
Bereich Forschungsanalytik & Speziesanalytik

Schlussbericht

zu IGF-Vorhaben Nr. 19402 N

Thema

Entwicklung von nachweisstarken Verfahren zur Bestimmung von Asbest in flächigen Baustoffen

Berichtszeitraum

01.03.2017-31.12.2020

Forschungsvereinigung

Umwelttechnik

Forschungseinrichtung(en)

Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V.

Gefördert durch:

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| TABELLENVERZEICHNIS | 4 |
| ABKÜRZUNGS- UND SYMBOLVERZEICHNIS | 6 |
| ZUSAMMENFASSUNG | 7 |
| 1. EINLEITUNG & STAND DER FORSCHUNG | 9 |
| 2. ASBEST - PROBLEMSTELLUNG | 10 |
| 3. STAND DER FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG | 13 |
| 3.1. ANALYTISCHER NACHWEIS VON ASBESTBELASTUNGEN | 13 |
| 4. PROJEKTZIEL | 15 |
| 5. BEARBEITUNG, ERGEBNISSE UND DISKUSSION | 15 |
| 5.1. ARBEITSPAKET 1: CHARAKTERISIERUNG VERSCHIEDENER ASBESTHALTIGER SCHICHTEN | 15 |
| 5.2. ARBEITSPAKETE 2 UND 3: PROBENAKQUISE UND BEGEHUNGEN, ENTWICKLUNG NEUER PROBENAHMEVERFAHREN | 22 |
| 5.3. ARBEITSPAKET 4: ENTWICKLUNG DER PROBENVORBEREITUNG | 29 |
| 5.4. ARBEITSPAKET 5: ASBESTBESTIMMUNG MITTELS RASTERELEKTRONENMIKROSKOPIE | 52 |
| 5.5. ARBEITSPAKET 6: VALIDIERUNG DER ERARBEITETEN VERFAHREN | 61 |
| 6. DARSTELLUNG DES WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHEN UND WIRTSCHAFTLICHEN NUTZENS DER ERZIELTEN ERGEBNISSE INSBESONDERE FÜR KMU SOWIE IHRES INNOVATIVEN BEITRAGS UND IHRER INDUSTRIELLEN ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN | 64 |
| 7. FORTGESCHRIEBENER PLAN ZUM ERGEBNISTRANSFER IN DIE WIRTSCHAFT | 65 |
| 7.1. INFORMATION DER UNTERNEHMEN DES PROJEKTBEGLEITENDEN AUSSCHUSSES | 65 |
| 7.2. GEZIELTE ANSPRACHE POTENZIELL INTERESSIERTER UNTERNEHMEN AUCH AUßERHALB DES PA | 65 |
| 7.3. AUFLISTUNG ALLER DURCHGEFÜHRTEN SOWIE ÜBER DIE PROJEKTLAUFZEIT HINAUS GEPLANTEN TRANSFERMAßNAHMEN | 66 |
| 7.4. EINSCHÄTZUNG ZUR REALISIERBARKEIT DES VORGESCHLAGENEN UND AKTUALISIERTEN TRANSFERKONZEPTS | 69 |
| 8. VERWENDUNG DER ZUWENDUNG | 70 |
| 8.1. FORSCHUNGSEINRICHTUNG 1 (IUTA E. V.) | 70 |
| 8.2. ERLÄUTERUNG DER NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT | 70 |
| 9. DANKSAGUNG | 71 |
| 10. DURCHFÜHRENDE FORSCHUNGSSTELLE | 72 |
| 11. LITERATUR | 73 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|--------------|---|----|
| Abbildung 1 | Verteilung von Asbestanwendungen..... | 9 |
| Abbildung 2 | Zusammensetzung von Untersuchungsbefunden | 20 |
| Abbildung 3 | Anteil der positiven Befunde an den Untersuchungsbefunden..... | 21 |
| Abbildung 4 | Ablaufschema einer Erkundung..... | 23 |
| Abbildung 5 | Fotos der Probenahme in einem öffentlichen Gebäude | 24 |
| Abbildung 6 | Fotos der Probenahme im IUTA | 26 |
| Abbildung 7 | Werkzeuge zur Probenahme und Bilder zur Durchführung der Probenahme nach dem Stanzverfahren und Foto einer von IUTA genommenen Stanzprobe..... | 27 |
| Abbildung 8 | Stück der Asbestzementplatte, REM-Aufnahme eines Filterpräparates der Asbestzementplatte und EDX-Aufnahme (Asbestgehalt ca. 12,5 Gew.-%) | 30 |
| Abbildung 9 | REM-Aufnahme eines Filterpräparates des Standardmaterials (Asbestgehalt ca. 1 Gew.-%) | 31 |
| Abbildung 10 | REM-Aufnahmen der Filterpräparate der Ausgangsmaterialien und des Standardmaterials Standard 2 | 33 |
| Abbildung 11 | Zerkleinerungsprozeduren, oben - mahlen in der Kugelmühle, Mitte – Zerreiben im Mörser, unten – zerreiben im Tiegel | 37 |
| Abbildung 12 | REM-Bilder bei 2000-facher Vergrößerung, links - Kugelmühle, Mitte – Mörser, rechts - Tiegel..... | 38 |
| Abbildung 13 | REM-Bilder bei 2000-facher Vergrößerung über die Behandlung mit Salzsäure | 42 |
| Abbildung 14 | REM-Bilder bei 2000-facher Vergrößerung über die Behandlung mit Salpetersäure.... | 43 |
| Abbildung 15 | REM-Bilder bei 2000-facher Vergrößerung zum Mikrowellenaufschluss, links Aufschluss mit konzentrierter Salzsäure, rechts Aufschluss mit konzentrierter Salpetersäure | 44 |
| Abbildung 16 | REM-Aufnahmen eines Filterpräparates mit Faserbündels links und eines leeren Bildfeldes bei heterogen verteilten Fasern, 2000-fache Vergrößerung (Probenvorbereitung Suspensionsprobe gemäß BIA-Methode 7487)..... | 46 |
| Abbildung 17 | REM-Aufnahmen von Filterpräparaten des Standards 1(1:10 verdünnt), Variation der Behandlungszeit mit HCl im Ultraschallbad, Variation des Netzmittels, 2000-fache Vergrößerung (Probenvorbereitung Suspensionsprobe gemäß BIA-Methode 7487) ... | 48 |
| Abbildung 18 | REM-Aufnahmen von Filterpräparaten des Standards 1(1:10 verdünnt), Variation der Behandlungszeit mit HCl im Ultraschallbad, Variation des Netzmittels, Probenentnahme aus der gerührten Suspension, 2000-fache Vergrößerung (Probenvorbereitung Suspensionsprobe gemäß BIA-Methode 7487)..... | 49 |

| | | |
|--------------|--|----|
| Abbildung 19 | REM-Aufnahmen der Filterpräparate nach verschiedenen Stufen der Zerkleinerung... | 52 |
| Abbildung 20 | Faserbündel..... | 56 |
| Abbildung 21 | Verschiedene Bildfelder bei 1000-facher Vergrößerung am REM..... | 60 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|--|----|
| Tabelle 1 | Zusammenstellung wichtiger asbesthaltiger bauchemischer Produkte..... | 17 |
| Tabelle 2 | Vorgaben der VDI 6202 Blatt 3 E zur Probenanzahl bei Spachtelmassen und Putzen | 28 |
| Tabelle 3 | REM-Untersuchungen der Standardprobe (Asbestbestimmung gemäß BIA-Methode 7487)..... | 31 |
| Tabelle 4 | Asbestgehalt des Standards 2 (Asbestbestimmung gemäß BIA-Methode 7487)..... | 33 |
| Tabelle 5 | Generelle Arbeitsschritte bei der Bearbeitung der Materialien gemäß VDI oder BIA.... | 35 |
| Tabelle 6 | Versuchsmatrix zur Säurebehandlung der Asbestmaterialproben | 40 |
| Tabelle 7 | Zusammenfassung der Ergebnisse bei der Optimierung der Probenaufbereitung | 44 |
| Tabelle 8 | Unterschiede bei der Herstellung der beiden dotierten Probenmaterialien | 47 |
| Tabelle 9 | Zusammenstellung der normativen Vorgaben für die Auswertung der Filterpräparate am REM..... | 52 |
| Tabelle 10 | Zusammenstellung der am REM quantitativ ausgewerteten Daten Asbestgehaltsbestimmungen der dotierten Standardmaterialien incl. der auswertbaren Verdünnungsschritte bei der Standardherstellung..... | 53 |
| Tabelle 11 | Zusammenstellung der am REM quantitativ ausgewerteten Daten Asbestgehaltsbestimmungen der zur Bestimmung des Einflusses der Herstellung der Filterpräparate aus gerührten und ungerührten Suspensionsproben mit Variation der Behandlungszeit mit Salzsäure (HCl) im Ultraschallbad..... | 54 |
| Tabelle 12 | Vergleich der Mittelwerte der Asbestgehalte Einfluss der Herstellung der Filterpräparate aus gerührten und ungerührten Suspensionsproben mit zusätzlicher Variation der Behandlungszeit im Ultraschallbad | 56 |
| Tabelle 13 | Zusammenstellung der am REM quantitativ ausgewerteten Daten Bestimmung des Einflusses der zusätzlichen Zerkleinerungsschritte | 58 |
| Tabelle 14 | Vergleich der Asbestgehalte der Probe Standard 1 (1:10 verdünnt) bei der Auswertung nach BIA-Methode 7487 und nach VDI 3866 Blatt 5 Anhang B | 59 |
| Tabelle 15 | VDI 3866 Blatt 5 Anhang B , Zusammenhang von Filterfläche und Vergrößerung am REM..... | 59 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabelle 16 | Asbestgehalte der Filterpräparate bei Variation der ausgewerteten Filterfläche | 60 |
| Tabelle 17: | Ergebnistransfer in die Wirtschaft (während/nach der Laufzeit): Geplante spezifische Transfermaßnahmen während des Vorhabens | 66 |

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

| Zeichen | Bedeutung |
|----------------|---|
| VDI | Verein Deutscher Ingenieure |
| BMAS | Bundesministerium für Arbeit und Soziales |
| DGUV | Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung |
| DIN | Deutsches Institut für Normung |
| BAuA | Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin |
| REM | Rasterelektronenmikroskopie |
| PAK | Polyaromatische Kohlenwasserstoffe |
| HSE | Health and Safety Executive |
| AIMS | Asbestos In Materials Scheme |
| s | Standardabweichung |
| S | Relative Standardabweichung |
| EDTA | Ethylendiamintetraessigsäure oder Ethylendiamintetraacetat |
| BIA | Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – jetzt IFA Institut für Arbeitsschutz der DGUV Das IFA gibt noch eine BIA-Schriftenreihe heraus. |
| PA | Projektbegleitender Ausschuss |
| GVSS | Gesamtverband Schadstoffsanierung e.V. (GVSS) |
| BGI | Berufsgenossenschaft |
| UBA | Umweltbundesamt |
| BBSR | Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung |

Zusammenfassung

Das Ziel des Forschungsvorhabens war die systematische Entwicklung eines Analysenkonzeptes für die Untersuchung flächiger Asbestbelastungen. Dazu sollten aufeinander abgestimmte Probennahme-, Probenvorbereitungs- und Analyseverfahren erarbeitet werden, mittels derer Asbestgehalte zwischen 0,01 und 1% in dünnen, komplex zusammengesetzten Schichten sicher erfasst werden können.

Die im Rahmen des Vorhabens selbst durchgeführten Probenahmen wurden unter Anleitung von Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses (PA) durchgeführt. Dabei wurden die emissionsarmen Verfahren gemäß BIA angewandt. Es zeigte sich, dass die bisher vorliegenden Methoden zur Probenentnahme relativ einfach und vor allem staubarm durchgeführt werden können. Ein weiterer Bedarf zur methodischen Optimierung der ProbenahmeprozEDUREN bestand nicht.

Putze und Spachtelmassen sind die Proben, die bis zu ca. 60% der gesamten Untersuchungsmatrix in den Laboratorien darstellen. Für eine hohe Aussagesicherheit sind viele Probenahmestellen erforderlich. Um diese große Anzahl an Proben analysieren zu können, werden diese als Mischproben aus 5 Einzelproben untersucht. Aufgrund der zulässigen Mischprobenherstellung sind die sich ergebenden Asbestgehalte relativ niedrig, so dass eine Aufkonzentrierung der Asbestfasern im Labor essentiell ist. Die einschlägige Normung ist bzgl. der auszuwählenden Arbeitsschritte relativ ungenau; den Laboratorien wird die Suche nach den optimalen Arbeitsbedingungen an vielen Stellen selbst überlassen. Darunter leiden die Reproduzierbarkeit und die Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse. Die wesentlichen Anreicherungsprozeduren für Asbestfasern, wie der Säureaufschluss, die Behandlung im Ultraschallbad, die Herstellung des Filterpräparates aus einer Suspensionsprobe bis hin zur Zerkleinerung des Materials selbst, sind im Rahmen des Vorhabens an einem dotierten Standardmaterial umfangreich getestet worden. Dabei zeigte sich, dass die Zerkleinerung des Materials der wesentliche Arbeitsschritt zur Herstellung optimal belegter Filterpräparate ist. Ein zusätzlicher Einfluss der Behandlungszeit des Materials im Ultraschallbad und die Herstellung des Filterpräparates aus einer gerührten Suspension auf die Art und Verteilung der Fasern auf den Filterpräparaten kann nicht ausgeschlossen werden.

Eine zusätzliche Ausweitung der unter dem REM auszuwertenden Bildflächen führte zu einer deutlichen Reduzierung der bei der Asbestanalytik üblichen sehr hohen relativen Standardabweichung. Die Steigerung der Bildfläche bedingt eine adäquate Erhöhung der Auswerte-/Arbeitszeit am REM. Aufgrund der am Aufwand im Labor bemessenen relativ geringen Marktpreise für den Nachweis von Asbest ist eine Erhöhung der Arbeitszeit am REM für die Laboratorien bei einem definierten Auftragswert finanziell nicht darstellbar.

Alle erzielten Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf das eingesetzte dotierte Probenmaterial. Bedingt durch die jeweils aufwändigen Hygienekonzepte während der Pandemie (Corona) war die Beschaffung realen Probenmaterials über den PA insbesondere unter Mitwirkung von IUTA nicht möglich. Eine Validierung der Ergebnisse an realen Proben konnte daher nicht erfolgen.

Insgesamt ergibt sich aus dem Forschungsvorhaben ein hoher Nutzen für die einschlägige Normung und die vielen klein- und mittelständische Unternehmen, die sich als Ingenieurbüros mit der Erkundung und dem Nachweis von Asbest aus Baustoffen befassen. Damit tragen die Ergebnisse wesentlich zur Sicherung von bestehenden bzw. zur Generierung neuer Arbeitsplätze bei deutschen KMU bei.

Die Ziele des Forschungsvorhabens wurden erreicht.

1. Einleitung & Stand der Forschung

In den letzten Jahren stehen die sogenannten flächigen Asbestanwendungen, d. h. asbesthaltige Baustoffe im Fokus der Untersuchungs- und Sanierungsaufgaben. Dabei handelt es sich um großflächig verarbeitete Putze, Anstriche, Fliesenkleber, Spachtelmassen etc., die nach Schätzungen in ca. 25% aller Gebäude, die vor 1993 erbaut wurden, vorhanden sind. Aufgrund der Faserstruktur von Asbest führte es in vielen Fällen zu verbesserten Materialeigenschaften und wurde daher bevorzugt bei

- Zementprodukten (Asbestzement, Wellasbest etc.)
- Fugenmassen und Putzen
- Spritzmassen
- Brandschutzmaterialien (Pappen, Dichtungen etc.)

eingesetzt.

Die Abbildung 1 gibt eine Übersicht zur Verteilung von Asbestanwendungen. Es wird deutlich, dass 87% in Bauprodukten zu finden sind¹.

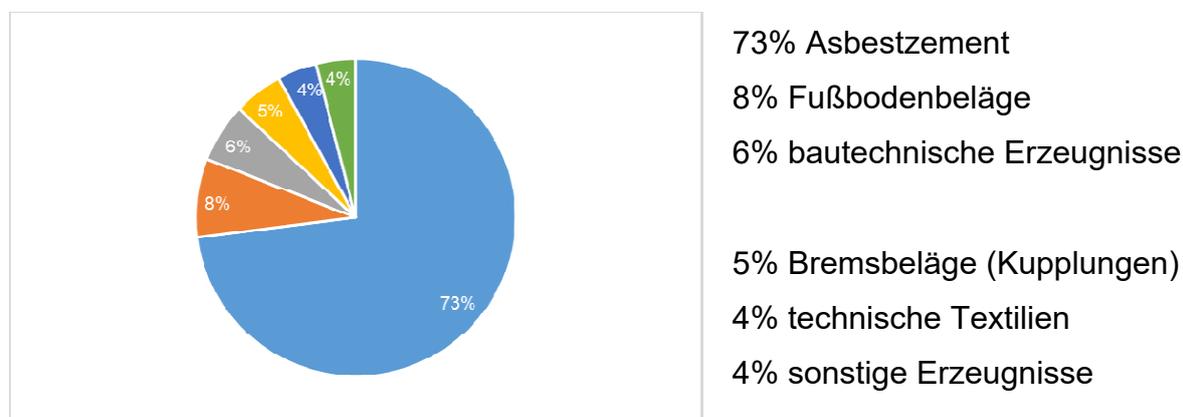


Abbildung 1 Verteilung von Asbestanwendungen¹

Obwohl die Asbestkonzentrationen in diesen Materialien gering ist (< 5%), werden bei der Entfernung der Schichten durch z. B. Abschleifen sehr hohe Fasermengen freigesetzt. Bonner berichtete beim Schleifen von asbesthaltigen Oberflächen von

¹ Quelle: BAuA, Nationales Asbestprofil 2020, https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/Gd80-3.pdf?__blob=publicationFile&v=7

möglichen Faserkonzentrationen bis 891.000 Fasern/m³, die die Akzeptanzkonzentration von 10.000 Faser/m³ und sogar die Toleranzkonzentration von 100.000 Fasern/m³ weit überschreitenⁱⁱ. Dadurch entstehen erhebliche Gefahren für die exponierten Beschäftigten, die Gebäudenutzer und die Umwelt. Die Problematik wird dadurch verschärft, dass die Belastungen innerhalb eines Gebäudes sehr inhomogen verteilt sind und auch von Fachleuten in aller Regel nicht ohne analytische Untersuchungen identifiziert werden könnenⁱⁱⁱ. Kritisch ist dadurch vor allem der Umgang mit derartigen Materialien (z. B. beim Umbau oder Abriss) zu sehen. Nach wie vor ist ungeklärt, wann ein Material Asbest enthält und ab wann es als asbestfrei gilt. Dieser Nachweis ist aber ein wesentliches Kriterium für den Entsorgungsweg. Der Nationale Asbestdialog², der sich mit dem allgemeinen Thema Asbest beim Bauen im Bestand beschäftigte, konnte in diesem Zusammenhang seit 2017 viele Fragen aufwerfen, diskutieren und zur Ausarbeitung neuer Richtlinien und Regelungen beitragen. Im Themenblock 2 des Nationalen Asbestdialogs, der sich mit der Erkundung, Bewertung und Dokumentation von Asbestlasten beschäftigte, wurde ermittelt, dass der Forschungs- und Entwicklungsbedarf zum Thema Asbest – wo kommt Asbest wie vor und wie sind Proben repräsentativ zu entnehmen und analysieren – nach wie vor als hoch einzustufen ist^{iv}.

Im Rahmen des Projektes sollten nachweisstarke Probennahme- und Analysenverfahren für einen zuverlässigen Nachweis von geringen Asbestmengen in verschiedenen flächigen Asbestprodukten entwickelt werden, wobei insbesondere asbesthaltige Putze, Spachtelmassen und Fliesenkleber im Vordergrund stehen.

2. Asbest - Problemstellung

Asbest ist eine Sammelbezeichnung für sechs faserige, natürlich vorkommende Silikatminerale, die in der Erdkruste an vielen Stellen eingebettet sind. Asbest fand in der Vergangenheit aufgrund seiner positiven Eigenschaften - insbesondere Nichtbrennbarkeit, thermische und elektrische Isolationswirkung sowie mechanische und chemische Beständigkeit - vielseitige Anwendung in über 3.500 Produkten. Zum Ende der 1970er Jahre lag der Verbrauch bei ca. 180.000 Tonnen Asbest pro Jahr und hatte damit seinen Höhepunkt erreichtⁱ.

² <https://www.bmas.de/DE/Arbeit/Arbeitsschutz/Gesundheit-am-Arbeitsplatz/Nationaler-Asbestdialog/2020-05-11-sachstand-nationaler-asbestdialog.html>

Beim Arbeiten mit Asbest können Asbestfasern freigesetzt werden, gelangen durch die Atmung in die Lunge und können schon bei geringer Belastung die sogenannte Asbestose auslösen. Asbestose ist eine Schädigung des Bindegewebes, welche Atemnot, Lungenfunktionseinschränkungen und in schweren Fällen Ateminvalidität zur Folge haben. Ebenfalls wird das Risiko für Lungenkrebs und andere Krebsarten erhöht. Die Latenzzeit dieser Erkrankungen reicht von 15 bis 40 Jahren. Nach Schätzungen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) gibt es bundesweit rund 190.000 Asbesterkranke; die Tendenz ist steigend. Zwischen 1994 und 2017 starben in der gewerblichen Wirtschaft insgesamt 34.900 Beschäftigte³ an den Folgen von Asbestexpositionen.

Asbest ist auf europäischer Ebene als krebserzeugender Stoff der Kategorie 1 eingestuft. Obwohl Lungenkrebs in den USA bereits seit 1942 als durch Asbest verursachte Berufskrankheit anerkannt ist, wurde die Herstellung und Verwendung in Deutschland 1995 und 2005 europaweit verboten^{v, vi, vii, viii, ix}.

Ausgenommen vom Umgangsverbot sind **Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsmaßnahmen** (ASI Arbeiten). Der mit der fachgerechten Freilegung, Austausch und Entsorgung verbundene technische, personelle und zeitliche Aufwand ist jedoch naturgemäß groß, da eine Freisetzung der Asbestfasern und damit die Belastung der Beschäftigten, Bewohner und Nutzer des Gebäudes aber auch der Anwohner und der Umwelt soweit als möglich minimiert werden muss. Derartige Arbeiten unterliegen strengen Vorgaben, die in unterschiedlichen nationalen und europäischen Regelwerken festgelegt sind. Vor der Aufnahme von Arbeiten mit Asbest besteht eine Mitteilungspflicht gegenüber der zuständigen Behörde und der zuständigen Berufsgenossenschaft. Es dürfen nur emissionsarme Verfahren angewendet werden, die von den Aufsichtsbehörden oder den Trägern der gesetzlichen Unfallversicherung anerkannt sind. Zu den erforderlichen Schutzmaßnahmen zählen insbesondere staubarme Arbeitsverfahren, eine besondere Baustelleneinrichtung und der konsequente Einsatz von persönlicher Schutzausrüstung in Form von Atemschutz und Schutzanzügen. Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit Asbest dürfen nur von zugelassenen Fachbetrieben durchgeführt werden, deren personelle und

³ Quelle: BAuA, Nationales Asbestprofil 2020, https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/Gd80-3.pdf?__blob=publicationFile&v=7

sicherheitstechnische Ausstattung für diese Tätigkeiten geeignet ist. Bei den Arbeiten ist dafür zu sorgen, dass mindestens eine weisungsbefugte sachkundige Person vor Ort ist.

Asbesthaltige Abfälle sind gesondert zu erfassen und getrennt zu halten, um zu verhindern, dass durch Vermischung mit anderen Materialien die Menge an asbesthaltigen Abfällen vergrößert wird oder Asbestgehalte unerkannt bleiben. Da es keine geeigneten Verwertungsverfahren gibt, ist die Entsorgung asbesthaltiger Abfälle derzeit nur auf geeigneten Deponien möglich^x.

Flächige Asbestanwendungen

Bei asbesthaltigen Produkten sind grundsätzlich zwei verschiedene Gruppen zu unterscheiden:

- Asbestzement- und andere Hartasbestprodukte in z.B. Fassadenverkleidungen, Dacheindeckungen, Fensterbrettern, Abwasserrohren, Blumenkästen oder Elektro-Speicherheizgeräten,
- Spritzasbest bzw. Weichasbestprodukte insbesondere in Ummantelungen von anderen Bauteilen, Dichtungs- und Isolationsmaterialien, Cushion-Vinyl-Fußbodenbeläge, Leichtbauplatten, Heizkörperverkleidungen, Schweißpappen, Klebern, Spachtelmassen, Putzen und Wandbeschichtungen.

Bei Asbestzementbauteilen sind die Fasern relativ sicher eingebettet – zumindest solange das Material nicht beschädigt wird. Bei den Weichasbestprodukten sind die Asbestfasern dagegen nur schwach, z. B. in Mineral-, Papier- oder Kunststoffstrukturen eingebunden und können relativ leicht als feiner Staub in die Luft gelangen. Daher stellen diese Materialien die größere Gefahr bei Alterung des Materials sowie unsachgemäßer Bearbeitung oder Austausch dar.

Besonders problematisch sind die flächige Asbestverwendungen Diese asbesthaltigen Putze, Spachtelmassen, Fliesenkleber, Farben, Beschichtungen etc. sind schwerer zu identifizieren als klassische Asbestfundstellen und von nicht asbesthaltigen Materialien durch Sichtprüfung in der Regel nicht unterscheidbar. Asbest wurde diesen Baumaterialien häufig als sogenanntes Thixotropierungsmittel zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit erst unmittelbar vor der Anwendung in den jeweils erforderlichen

Mengen zugesetzt. Der resultierende inhomogene Asbestgehalt in der Fläche durch höchst unterschiedliche Vor-Ort-Beimischungen, aber auch die oft verdeckte Lage und geringen Schichtdicken erschweren die Probenahme und Analytik erheblich

xi xii xiii xiv xv xvi xvii
, , , , , , , .

Ca. 80% der bestehenden Gebäudesubstanz ist vor 1995 errichtet und könnte damit als potentiell asbestbelastet eingestuft werden. Aufgrund von Voruntersuchungen ist davon auszugehen, dass in etwa 25% dieser Wohngebäude derartige Asbestmaterialien an Innenwänden oder Fußböden verbaut sind. Bei öffentlichen Bauten sind nach Schätzungen 40-50% der Bestandsgebäude betroffen^{xviii}. Auch bereits sanierte Bauten können noch belastet sein. Gleiches gilt für ältere Gebäude, die im Zeitraum zwischen 1950 und 1995 saniert oder umgebaut wurden.

Bei flächig eingesetzten Produkten ist von einem Asbestgehalt von lediglich ca. 0,5 % bis 4 % auszugehen. Im Rahmen der normalen Raumnutzung kommt es zu keinerlei Gefährdungen. Durch einen Eingriff in die Bausubstanz kann eine hohe Faserbelastung entstehen^{xix, xx, xxi}. Eine Sanierung sowie die Vorbereitung zum Gebäudeabbruch erfordern jedoch gerade die mechanische Entfernung derartiger Schichten durch Schleifen, Fräsen, Abstoßen, Abstemmen, Trocken- oder Wasserstrahlen. Messungen bei diesen sehr stark Staub erzeugenden Arbeiten zeigen, dass auch bei geringen Asbestgehalten von < 0,1 % in den bearbeiteten Produkten häufig Asbestfaserkonzentrationen oberhalb der geltenden Grenzwerte von 10.000 Fasern/m³ (Akzeptanzwert) bzw. 100.000 Fasern/m³ (Toleranzwert) auftreten.

3. Stand der Forschung und Entwicklung

3.1. Analytischer Nachweis von Asbestbelastungen

Asbesthaltige Flächen sind ohne eine entsprechende Laboranalyse selten eindeutig als solche zu erkennen. Wenn entsprechende Produktangaben aus Bauunterlagen fehlen – wie es in Bestandsgebäuden der Normalfall ist – müssen mehr oder weniger aufwändige Erkundigungen erfolgen. Vor-Ort sind dazu nach geeigneten Schemata Proben zu entnehmen, die im Labor aufbereitet und analysiert werden.

Der quantitative Nachweis von Asbest erfolgt durch optische Verfahren. Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) stellt dabei die wichtigste Methode zur

Identifizierung von Asbest in Material- oder Raumluftproben dar. Daneben gibt es weniger empfindliche mikroskopische und infrarotspektroskopische Verfahren für spezielle Anwendungsbereiche. Die entsprechenden standardisierten Verfahren sind in verschiedenen Regelwerken - insbesondere den VDI-Richtlinien der Reihe VDI 6202 - beschrieben.

Die bei den üblichen Probenahmeverfahren unvermeidliche Vermischung der asbesthaltigen Schichten mit anderen organischen oder anorganischen Materialien stellt in der Analytik flächiger Asbestprodukte ein zusätzliches Problem dar. Insbesondere Chrysotil, aus dem 90-95% der Asbestprodukte bestehen, ist oft schwer zu erkennen, wenn er mit großen Mengen von z. B. Zellulose vermengt ist.

Auch andere organische Fasern, wie z. B. Schafswolle, ähneln in ihren morphologischen Eigenschaften denen von Chrysotil. Gleiches gilt, wenn die Fasern in organischen Matrices wie Bitumen oder Polyvinylchlorid dispergiert sind. Anorganische Matrixbestandteile, wie Calcit und Gips, die einen großen Anteil des Probenmaterials ausmachen, umschließen häufig die Asbestfasern, so dass ihre morphologischen Eigenschaften nicht zuverlässig untersucht werden können. In der ISO 22262^{xxii} wird die Entfernung organischer Bestandteile durch Veraschen der Probe beschrieben. Die Probe wird dazu bei Temperaturen von 450 bis maximal 485°C für 4 bis 10 Stunden getempert. Viele zusätzlich in den Proben vorhandene anorganische Bestandteile, wie Gips oder Calciumcarbonat sind in Säure löslich. Aus diesem Grund wird in der ISO eine Säurebehandlung (2 m HCl ($\approx 7\%$ ig) über 15 Minuten) vorgeschlagen.

In der VDI 3866 Blatt 5^{xxiii} ist für die Probenvorbereitung die Heißveraschung (maximal 450°C über 4 Stunden) sowie die Säurebehandlung aus der ISO 22262-2 entnommen worden. Eine zusätzliche Schwereretrennung, beschrieben in der ISO 22262-2 oder der BIA-Arbeitsmappe^{xxiv}, erlaubt sehr niedrige Nachweisgrenzen. Allerdings sind die entsprechenden Verfahren nur allgemein beschrieben, Validierungsdaten fehlen in den Richtlinien. In Anlehnung an diese Methodik wurde in Deutschland für gering belastete Proben durch die Schulbaubehörde Hamburg das sogenannte SBH-Verfahren, ebenfalls mit Säureaufschluss und Veraschung, eingesetzt. Allerdings erfolgte auch dafür keine umfassende Dokumentation, Verfahrensbeschreibung und Validierung. Für Stäube, Pulver und Puder (Partikelgröße $\leq 100\ \mu\text{m}$) existiert mit dem BIA-Verfahren^{xxv} eine analytische Methode zur Bestimmung geringer Massengehalte von Asbestfasern.

Die im Idealfall erreichbare Nachweisgrenze wird unter vereinfachenden Annahmen zu 0,008 % geschätzt.

Die Probennahme flächiger Asbestbelastungen erfolgt i.d.R. durch emissionsarme Verfahren wie Ausstanzen. In der Praxis werden dann aus zumeist 5 Einzelproben Mischproben für die Analytik hergestellt. Diese Methode ist für die Untersuchung homogener Materialien optimal. In der Praxis ergeben sich aber erhebliche Probleme bezüglich der Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, wenn Proben mit stark unterschiedlichem Asbestgehalt und sehr unterschiedlichen anorganischen oder organischen Hauptbestandteilen vermischt und zusammen analysiert werden. Für die Asbestbestimmung in dünnen, inhomogenen Schichten wird die vorhandene Asbestmenge noch weiter verdünnt und vermischt, was zu falsch negativen Ergebnissen führen kann.

Die VDI-Gesellschaft Bauen und Gebäudetechnik hatte vor diesem Hintergrund Mitte 2015^{xxvi} gemeinsam mit dem Gesamtverband Schadstoffsanierung e.V. (GVSS) ein Diskussionspapier veröffentlicht, welches die Probleme bei der Erkundung, Bewertung und Sanierung von asbesthaltigen Putzen, Spachtelmassen und Fliesenklebern in Gebäuden thematisiert. Hierin wurde ausdrücklich auf das Fehlen klarer Leitlinien zur erforderlichen Untersuchung und Bewertung des Baubestands sowie von Hinweisen zu deren fachgerechter Sanierung hingewiesen. Mit dem Blatt 3 der VDI 6202^{xxvii}, die bisher als Entwurf vorliegt, sollen diese Lücken geschlossen werden.

4. Projektziel

Ziel des beantragten Forschungsvorhabens ist die systematische Entwicklung eines Analysenkonzeptes für die Untersuchung flächiger Asbestbelastungen. Dazu sollten aufeinander abgestimmte Probennahme-, Probenvorbereitungs- und Analysenverfahren erarbeitet werden, mittels derer Asbestgehalte zwischen 0,01 und 1% in dünnen, komplex zusammengesetzten Schichten sicher erfasst werden können.

5. Bearbeitung, Ergebnisse und Diskussion

5.1. Arbeitspaket 1: Charakterisierung verschiedener asbesthaltiger Schichten

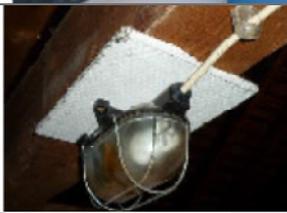
Als Ausgangspunkt der Entwicklungsarbeiten war vorgesehen, in enger Zusammenarbeit mit dem Projektbegleitenden Ausschuss sowie durch Kontakt mit

weiteren Unternehmen, Behörden und Verbänden eine umfassende Übersicht der relevanten Probenmaterialien zu erstellen. Dazu sollten die Abmessungen, Struktur, chemisch-physikalischen Eigenschaften und insbesondere die Zusammensetzung der zu untersuchenden Schichten möglichst genau erfasst werden. Die Erfahrungen von möglichst vielen Unternehmen aus dem Bereich der Asbestsanierung sollten dazu mittels Befragung erfasst und systematisch ausgewertet werden. Aufbauend auf den Ergebnissen sollten die Arbeiten der folgenden Arbeitspakete geplant und angepasst werden.

Die Bearbeitung dieses Arbeitspaketes gestaltete sich schwierig. Beim Versuch der Zusammentragung der notwendigen Informationen wurde von Mitgliedern des PA auf die VDI 6202 Blatt 3 verwiesen, die unter anderem eine Zusammenfassung der Erfahrungen verschiedener Unternehmen aus dem Bereich der Asbestsanierung sowie die Informationen aus dem Diskussionspapier zu Erkundung, Bewertung und Sanierung enthält. Insgesamt 6300 Untersuchungsbefunde wurden dazu statistisch ausgewertet, sodass die mit Stand der Berichtslegung als Entwurf vorliegende VDI 6202 Blatt 3 E eine Übersicht über die relevanten bauchemischen Materialien, die in der Zeit von 1910 bis 1993 als asbesthaltige Produkte verbaut wurden, enthält. Eine Zusammenstellung dieser Informationen ergänzt um Abbildungen und Daten aus verschiedenen Vorträgen und der Literatur sind in Tabelle 1 zusammengefasst worden.

Tabelle 1 Zusammenstellung wichtiger asbesthaltiger bauchemischer Produkte^{xxviii, xxix, xxx, xxxi}

| Material | Vorkommen | Beispiele für eine Baugruppe | Beispielhafte Abbildung |
|--------------------|----------------------------------|---|---|
| Abstandhalter | punktuell | |  |
| Brandschutzklappen | punktuell | |  |
| Dämmung/Isolierung | linienförmig | Rohrisolierung, Abhangdeckenisolierung |  |
| Dichtmasse | punktuell, linienförmig | Fensterkitt |  |
| Dichtungsbahnen | flächig | Bitumen/Teerdichtungen |  |
| Dünnbettmörtel | flächig | Fliesenkleber |  |
| Faserzement | punktuell, linienförmig, flächig | Formstücke, Gleitlager, Lüftungsleitungen |  |
| Flachdichtung | punktuell | |  |

| Material | Vorkommen | Beispiele für eine Baugruppe | Beispielhafte Abbildung |
|---------------------------------------|----------------------------------|--|--|
| Kleber | flächig | Kunstharz-, Teer-, Bitumen-, Dispersionskleber |  |
| Kunststein, Asphaltplatten | flächig | Fensterbänke |  |
| Leichtbauplatte | flächig | Brandschutz, Akustik |  |
| Pappe/Papier | flächig | Brandschutz |  |
| PVC, Linoleum | flächig | Bodenbeläge (Platten/Rollen) |  |
| Spachtelmasse | punktuell, linienförmig, flächig | Glätt- und Füllspachtel, Betonspachtelung |  |
| Als Anstriche- Estrich, Mörtel, Putze | punktuell, linienförmig, flächig | Nivelliermasse, Brandschutzmassen – Rohrummantelungen, Buntsteinputz |   |

| Material | Vorkommen | Beispiele für eine Baugruppe | Beispielhafte Abbildung |
|---------------|-----------|--------------------------------|---|
| | | |  |
| Spritzasbest | flächig | Stopfmassen, Spritzschatten |  |
| Techn. Textil | punktuell | Dichtschnur, Gewebe |  |

Asbestfasern sind nicht mit dem Auge oder am Geruch erkennbar. Es ist immer ein analytischer Nachweis erforderlich.

Die statistische Auswertung der 6300 Untersuchungsbefunde^{xxxii} zeigte, dass ca. 50 bis 60 % aller, in den Laboratorien vorliegenden, Untersuchungsproben auf Asbest dem Materialbereich Spachtelmassen, Putze und Mörtel zu zuordnen sind (vgl. Abbildung 2).

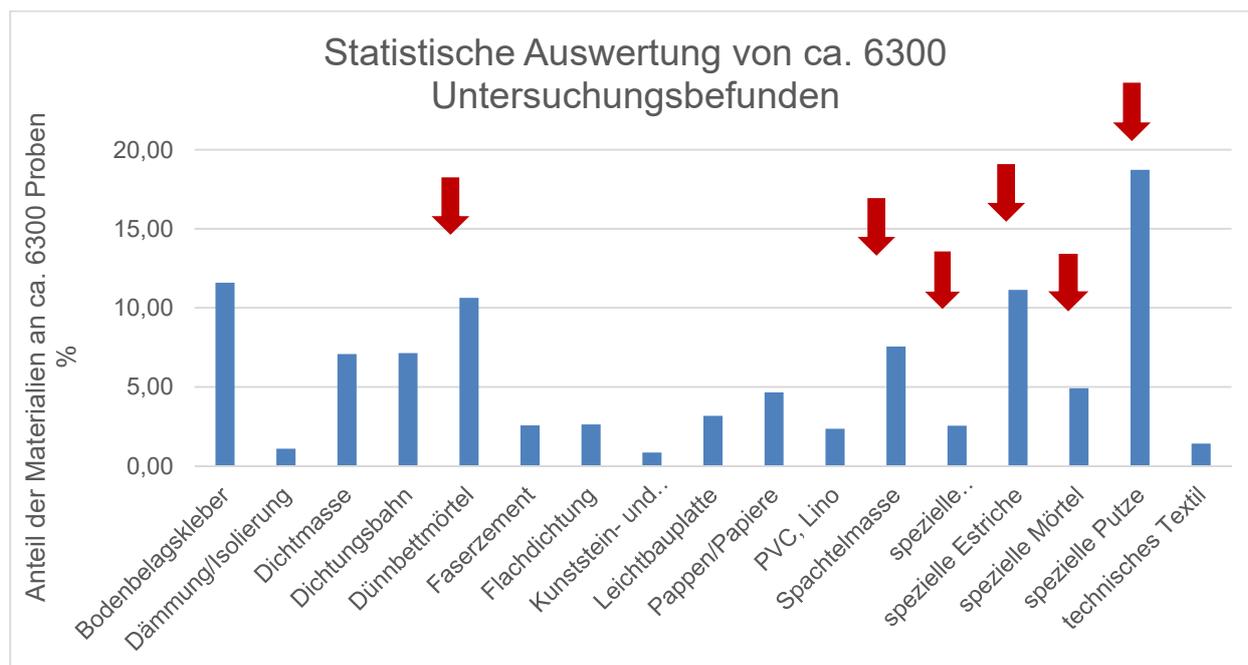


Abbildung 2 Zusammensetzung von Untersuchungsbefunden⁴

Die Unternehmen des PA bestätigten, dass mehrheitlich Spachtelmassen und Putze in den Laboratorien untersucht werden. Bemerkenswert ist dabei allerdings, dass der Anteil der positiven Befunde in diesen Materialien unter 20 % (vgl. Abbildung 3) liegt. Die Ursachen sind vielfältig. Bei den Spachtelmassen und Putzen handelt es sich um die Materialien, die an sich geringe Asbestgehalte aufweisen (< 10 %^{xxxiii}) und zudem nicht homogen zusammengesetzt sind. Des Weiteren sind diese Putze in verschiedenen dünnen Schichten, die oft mit anderen Materialien überdeckt wurden, aufgebracht worden. Bei der Probenahme zur Erkundung eines Asbestverdacht es ist es meist nicht möglich, diese dünnen asbestbelasteten Schichten, sie sind optisch nicht von unbelasteten Materialien unterscheiden, separat zu nehmen. Die Proben stellen damit Mischproben einer Einbausituation dar. Die Konzentration von Asbest sinkt in diesen Materialien, der Nachweis im Labor ist damit wesentlich aufwändiger und erschwert, die Messunsicherheit steigt.

⁴ Kessel, M., VDI 6202 Blatt 3 (Asbest) –Grundlagen und Regeluntersuchungsumfang, Forum Asbest und andere Schadstoffe in technischen Anlagen und Bauwerken 29. Erfahrungsaustausch 2020 und Weiterbildung für Sachkundige gemäß TRGS 519 5./6. November 2020, Essen

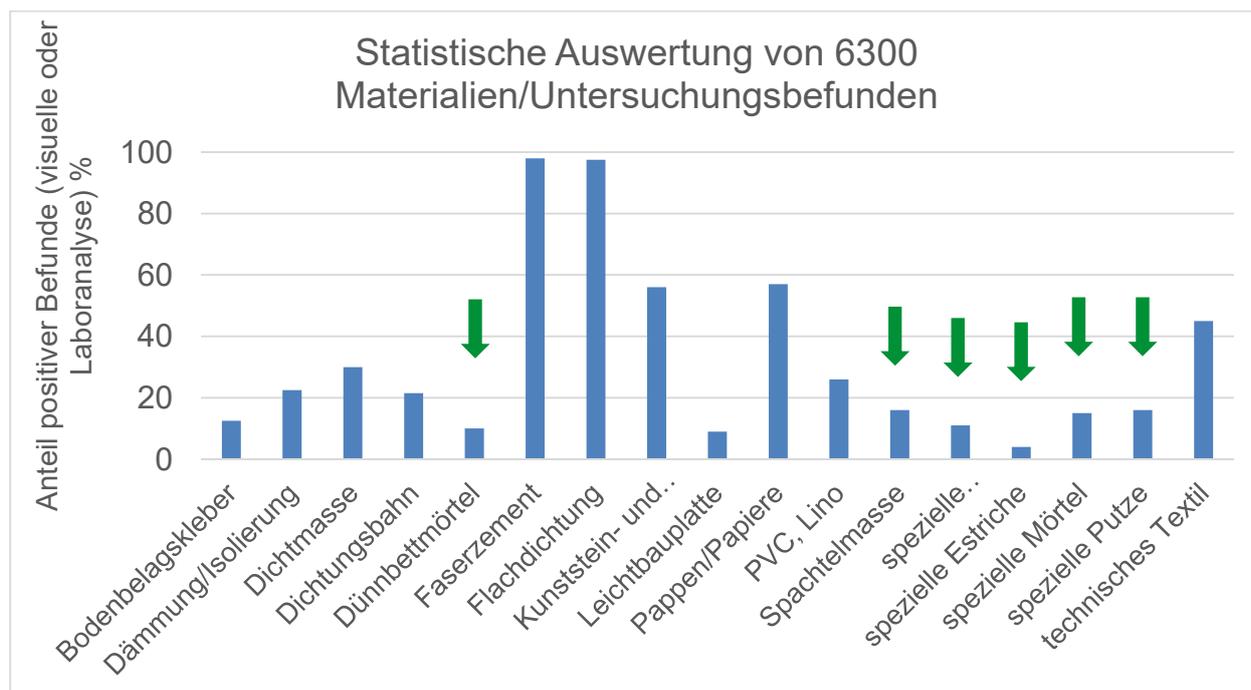


Abbildung 3 Anteil der positiven Befunde an den Untersuchungsbefunden⁵

Aufgrund dieser Problematik wurde mit Mitgliedern des PA beschlossen, dass sich die Arbeiten im Vorhaben auf Putze und Spachtelmassen, insbesondere auf die Arbeiten im Untersuchungslabor konzentrieren. Hier wurde das momentan größte Problem identifiziert.

Ziel war die Erarbeitung und Modifikation von Probenvorbereitungs- und Analysemethoden, die den Nachweis von Asbest aus Spachtelmassen im Labor vereinfachen und verbessern.

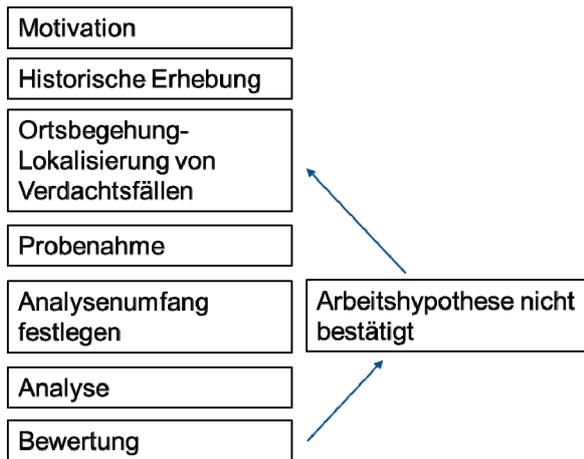
⁵ Kessel, M., VDI 6202 Blatt 3 (Asbest) –Grundlagen und Regeluntersuchungsumfang, Forum Asbest und andere Schadstoffe in technischen Anlagen und Bauwerken 29. Erfahrungsaustausch 2020 und Weiterbildung für Sachkundige gemäß TRGS 519 5./6. November 2020, Essen

5.2. Arbeitspakete 2 und 3: Probenakquise und Begehungen, Entwicklung neuer Probenahmeverfahren

Ziel dieser Arbeitspakete war die Durchführung eigener Begehungen und Probenahmen, um für die nachfolgenden Arbeiten Probenmaterial zu beschaffen. Des Weiteren sollten zurzeit eingesetzte Probenahmeverfahren bewertet und ggf. weiterentwickelt oder optimiert werden.

Im Rahmen des Vorhabens konnte nur an wenigen Probenahmen mitgewirkt werden. Da IUTA nicht als unabhängiger Sachverständiger gemäß TRGS 519^{xxxiv} tätig ist, erfolgten die Probenahmen gemeinsam mit Unternehmen des PA. Vor einer Probenahme wird durch den sachverständigen Gutachter ein ausführlicher Probenahmeplan erstellt. Dabei bestimmt die Motivation der Erkundung wesentlich den Umfang der durchzuführenden Untersuchungen. Bei geplanten Baumaßnahmen (Modernisierung oder Umbau) sind die Vorgaben von Bau-, Gefahrstoff- und Abfallrecht zu beachten.

Die Planung einer Probenahme beginnt mit der Zusammenstellung und Sichtung historischer Bau- und Planungsunterlagen. Der historischen Erhebung schließt sich in der Regel eine Begehung vor Ort an. Die Sichtung der Gegebenheiten vor Ort soll die Definition von Verdachtsmomenten erlauben. Auf Basis dieser Voruntersuchungen wird der Umfang und die Vorgehensweise der Probenahme und der Analytik abgeleitet. Abbildung 4 fasst das Ablaufschema einer Erkundung zusammen.

Abbildung 4 Ablaufschema einer Erkundung⁶

Die Beprobungen, bei denen IUTA mitwirkte, erfolgten jeweils in öffentlichen Gebäuden zur Vorbereitung von Modernisierungs- oder Umbaumaßnahmen. Eines der öffentlichen Gebäude war ein Kindergarten, bei dem Umbauten zur Sicherstellung notwendiger Brandschutzmaßnahmen geplant waren. Es wurden alle Bereiche des Gebäudes untersucht, die von den Umbaumaßnahmen betroffen waren. Dabei lag der Fokus auf Putzen und Spachtelmassen. Des Weiteren wurden Abhangdecken und verschiedene Fußbodenbeläge sowie die Kleber, mit denen die Beläge aufgebracht waren, beprobt. Die Abbildung 5 zeigt einige Fotos der verschiedenen Probenahmepunkte.



⁶ Entwurf VDI 6202 Blatt 3



Abbildung 5 Fotos der Probenahmen in öffentlichen Gebäuden⁷

Insbesondere bei der Beprobung der Putze und Spachtelmassen wurden die Probenahmepunkte so im Raum verteilt, dass in den anschließend im Labor herzustellenden Mischproben die verschiedenen ggf. heterogenen Belastungssituationen abgebildet werden konnten. Besonderes Augenmerk bei den Probenahmen wurde durch den sachverständigen Gutachter auch auf eine jeweils gewerkspezifische Probenahme gelegt. Spachtelmassen können als

- Wandspachtel
- Spachtel umlaufend um Türzargen
- Fensterlaibungen
- Spachtel in Heizungs-nischen
- Deckenspachtel
- als Reparaturstellen (z.B. Verschluss von Dübellöchern)
- Fugen- und Glättspachtel an Stoßkanten von Platten, wie Gipskartonplatten

auftreten.

Eine exakte Beschriftung und Zusammenstellung der Proben vor Ort ist wesentlich, da im Labor nur zusammengehörende Proben, d.h. Proben einer adäquaten Kontaminationsart, gemischt werden dürfen (maximal 5 Proben je Sorte).

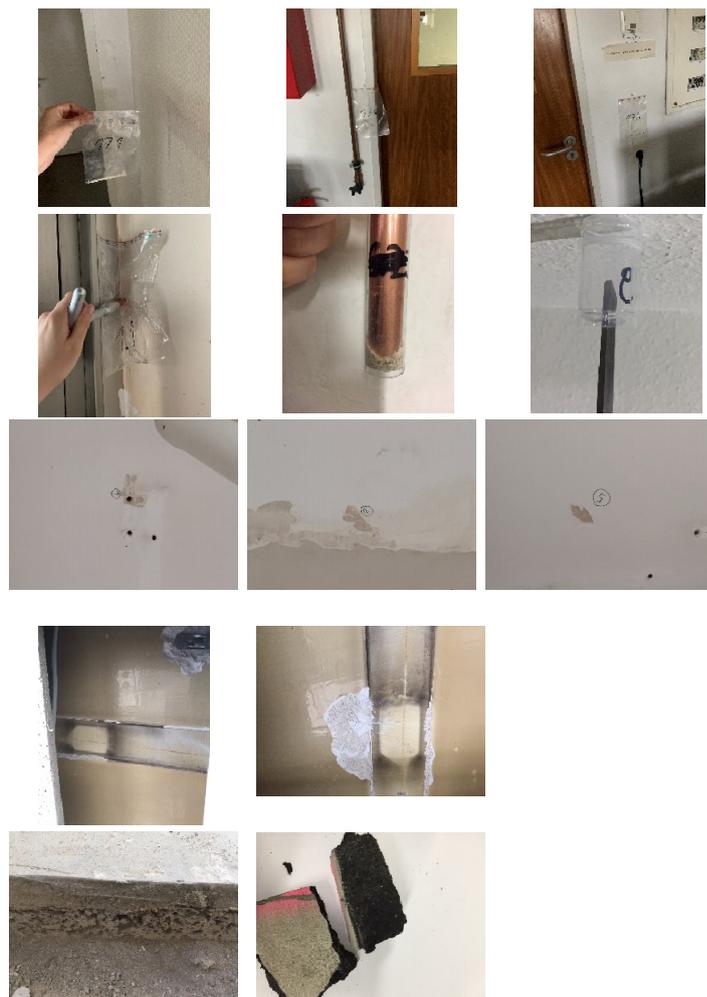
Während der Bearbeitung des Forschungsvorhabens begannen die Bauarbeiten zum FutureLab⁸ im IUTA. Das IUTA befindet sich in der alten Krupp-Versuchsanstalt, die

⁷ Quelle: IUTA, eigene Fotos der durchgeführten Probenahmen

Anfang des 20. Jahrhunderts (1909⁹) als Laborgebäude für die Friedrich-Alfred-Hütte in Rheinhausen errichtet wurde. Mit Schließung des Kruppwerkes in Rheinhausen wurde zeitgleich das IUTA gegründet, welches nach Umbaumaßnahmen 1989 in das Gebäude einzog. Damit fallen die Umbauarbeiten in eine Zeit, in der Asbest auch in Putzen und Spachtelmassen eingesetzt worden sein könnte, d.h. vor Durchführung der aktuellen Umbaumaßnahmen, war für die betroffenen Bereiche ein Schadstoffkataster zu erstellen. Auch bei dieser Probenahme wurde der beauftragte Schadstoffgutachter begleitet, die Probenahme wurde mit Fotos dokumentiert. Ein Auszug ist in der nächsten Abbildung wiedergegeben.

⁸ FutureLab NRW: Digitalisiertes Modelllabor für die miniaturisierte instrumentelle und wirkungsbezogene Analytik der Zukunft, Projektträger EFRE und Bezirksregierung Düsseldorf

⁹ http://www.albert-gieseler.de/dampf_de/firmen0/firmadet1177.shtml



Intensive Beprobung der Putze im Bereich der Türzargen und Fensterlaibungen; dieser Bereich ist typisch für Asbestputze

Einsatz von Einmalprobenahmeequipment zur Beprobung von Decken und Wänden, um Querkontaminationen

auszuschließen zu können
Großflächige Beprobung von Putzen, die zu Mischproben vereinigt wurden

Probenahme an einem auffälligen Farbanstrich, großflächige Probenahme der oberen dünnen Schichten

Auffälliger Aufbau eines Estrichs, Entnahme von Materialproben zur Analytik auf Asbest und PAK

Abbildung 6 Fotos der Probenahme im IUTA¹⁰

Bei den eigenen Beprobungen konnte nur Material genommen werden, das nicht mit Asbest belastet war und damit für die folgenden Arbeitspakete auch nicht einsetzbar war.

Basierend auf den Erkenntnissen der Arbeitspakete 1 und 2 sollten die derzeit üblichen Probenahmeverfahren weiterentwickelt und optimiert werden.

Die bisher vorgeschlagenen Probenahmeverfahren basieren auf den emissionsarmen Verfahren gemäß BGI 664 BT 31^{xxxv}. Beispielhaft ist das Stanzverfahren (Abbildung 7) dargestellt, welches auch vom IUTA während der Probenahmen eingesetzt wurde.

¹⁰ Quelle: IUTA, eigene Fotos der durchgeführten Probenahmen. Die Probenahme wurde von IUTA-Mitarbeitern unter Anleitung eines Sachverständigen durchgeführt.

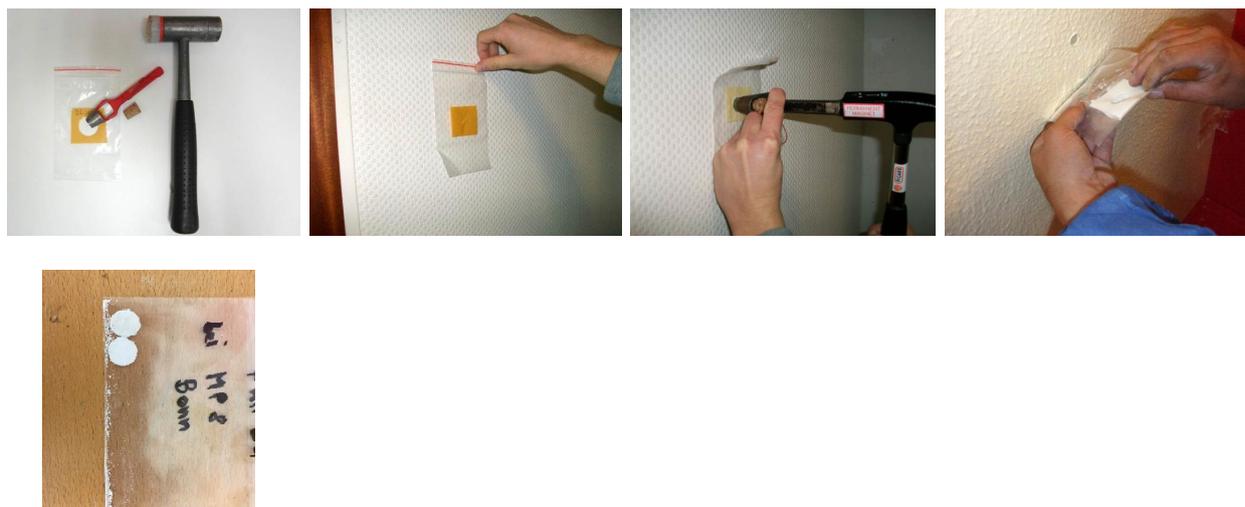


Abbildung 7 Werkzeuge zur Probenahme und Bilder zur Durchführung der Probenahme nach dem Stanzverfahren¹¹ und Foto einer von IUTA genommenen Stanzprobe

Die in der Regel dabei einfach herzustellenden Stanzschleusen (PE-Druckverschlussbeutel) werden über dem vorgesehenen Bohrloch auf der Wand befestigt. Mit einem zuvor gereinigten und verschlossenen Stanzeisen erfolgt die Probenahme. Die Probe kann so automatisch in die präparierte Stanzschleuse fallen. Durch das Stanzeisen werden Materialreste ebenfalls in die Schleuse gegeben und dann das Bohrloch mit einem Haftmittel verschlossen. Die Schleuse wird vorsichtig von der Wand abgenommen und verschlossen, die Wand mit Wasser gereinigt. Während der Probenahme ist der Untersuchungsbereich zu sperren und der Probenehmer hat Schutzausrüstung zu tragen (mindestens FFP2-Maske).

Die Probenahmeverfahren sind (z.B. durch Punktabsaugung, Benetzen oder Beutelsysteme) so ausgelegt, dass eine Freisetzung von Asbestfasern weitestgehend vermieden wird. Die Methoden und die entsprechenden Arbeitsanweisungen sind sehr einfach gestaltet. Generell muss die Probenahme nicht durch den Gutachter gemäß TRGS 519 durchgeführt werden. Auch sachkundig^{xxxvi} unterwiesenes Personal mit geeigneter Schutzausrüstung ist für die Durchführung der Probenahme ebenfalls zugelassen. Auf den verschiedenen Homepages der einzelnen Untersuchungsstellen gibt es kurze Anweisungen, wie eine Probenahme eigenständig durchgeführt werden sollte, wie viel Material zur Analytik benötigt wird (max. 1 cm² bzw. 1 g) und wie der

¹¹ Verfahren BT 31 nach BGI 664 (Stand 06.2012) Ausstanzen von asbesthaltigen Wand- und Deckenbekleidungen in einen Kunststoffbeutel als Schleuse („Stanzverfahren“), verfügbar unter http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pra/asbest/bt_31.pdf

Probenversand erfolgen sollte. Dabei werden nicht die Anforderungen an die Probenahme entsprechend der VDI 6202 Blatt 3 E oder der VDI 3866 Blatt 1^{xxxvii} berücksichtigt.

In Abhängigkeit vom Material und der jeweiligen Ausprägung (z.B. Spachtelmassen, die linienförmig aufgetragen wurden) im Untersuchungsobjekt sind Probenanzahlen pro m² asbesthaltiger Fläche oder pro m Linienlänge eindeutig in der einschlägigen Normung vorgegeben. Die höchsten Probenanzahlen entfallen auf Putze, Spachtelmassen und Mörtel. Die

Tabelle 2 enthält die für diese Materialien vorgegebene Probenanzahl, von der bei der Probenahme nicht abgewichen werden sollte.

Tabelle 2 Vorgaben der VDI 6202 Blatt 3 E zur Probenanzahl bei Spachtelmassen und Putzen

| Material/Produkt | Vorkommen Flächig/linien- förmig/Punktuell | Abstufung m²/m/Stück | Probenanzahl |
|-------------------------|---|--|---------------------|
| Spachtelmasse | flächig | bis 10 m ² | 4 |
| Bodenbelagskleber | | 10-50 | 8 |
| spezielle Estriche | | 50-250 | 11 |
| Dichtungsbahnen | | 250-1000 | 14 |
| | | 1000-4000 | 21 |
| | | Je 1000 zusätzlich | + je 2 |
| Spachtelmasse | linienförmig | bis 10 m | 4 |
| | | 10-50 | 8 |
| | | 50-250 | 11 |
| | | 250-1000 | 14 |
| | | 1000-4000 | 21 |
| | | Je 1000 zusätzlich | + je 2 |
| Spezielle Mörtel | punktuell | bis 3 Stück | 3 |
| | | 4-5 | 4 |
| | | 6-10 | 6 |
| | | 11-20 | 7 |
| | | Je zusätzl. 10 Stück | + je 3 |

Die in der Regel punkt-, linienförmig ggf. auch flächig vorkommenden Materialien können dann „falsch negative“ Befunde generieren, wenn die Probenahme nicht fachkundig und damit nicht an den potentiellen Belastungsstellen durchgeführt wird. Viele Materialien sind nicht homogen verteilt im Baubestand, so dass eine Erkundung eine anspruchsvolle Aufgabe darstellt. Die Planung der Untersuchung und die

Festlegung des Probenahmespektrums und der genauen -punkte sowie des Untersuchungsumfangs sollte einem ausgebildeten Sachverständigen obliegen.

In den Betrachtungen zur Ergebnisunsicherheit der Asbestanalytik sind neben der chemischen Analyse auch die Planung der Erkundung, die daraus resultierende Auswahl der Probenahmestellen, die Durchführung der Probenahme und die Probenvorbereitung zu berücksichtigen. Das LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) Forum Abfalluntersuchungen hat sich in den LFP¹²-Vorhaben L1.12, L1.13^{xxxviii} und L1.17^{xxxix} mit dem Einfluss der Probenahme und der Materialpräparation auf den Analysenfehler beschäftigt. In den Vorhaben wurde festgestellt, dass die Aussagekraft einer Analyse mit der Verteilung der Prüfmerkmalsträger im Probenmaterial korreliert (Vorhaben L 1.13). Bei sinkendem Gehalt der Prüfmerkmalsträger in den Probenmaterialien stieg die von Kettelhut¹³ kalkulierte Messunsicherheit. Zur Verbesserung der Präzision wurde eine Erhöhung der Einzelprobenanzahl empfohlen. Diesem Ansatz folgt die VDI 6202 Blatt 3 mit der Vorgabe einer hohen Einzelprobenanzahl bei Materialien, wie Spachtelmassen und Putzen, die im Labor ggf. zu Mischproben vereinigt werden können. Eine Abweichung ist nur dann möglich, wenn die Ergebnisunsicherheit nicht negativ beeinflusst wird. Gibt es aus der historischen Bewertung des Baubestandes Hinweise auf die konkrete Anwendung von Asbest, ist es möglich, bei gleichbleibender Aussagesicherheit die Probenanzahl zu reduzieren.

Eine zusätzliche Optimierung der Probenahme für die Materialbereiche Spachtelmassen und Putze erfolgte aufgrund der gut beschriebenen Vorgaben der Normen und Richtlinien nicht im Rahmen des Vorhabens. Allerdings sollte die Festlegung des Probenahmeplanes und Untersuchungsumfangs von sachkundig ausgebildetem Personal durchgeführt werden.

5.3. Arbeitspaket 4: Entwicklung der Probenvorbereitung

Die zu erarbeitenden Probenvorbereitungsverfahren sollten organische und anorganische Beimengungen soweit wie möglich abtrennen und damit die Asbestfasern

¹² LFP - Länderfinanzierungsprogramm

¹³ LFP-Vorhaben L1.13

vor der eigentlichen Bestimmung aufkonzentrieren, so dass der Nachweis im Labor reproduzierbar möglich ist.

Da bei den durchgeführten Probenahmen kein asbesthaltiges Material genommen werden konnte, musste vor Beginn der Arbeiten ein asbesthaltiges Material beschafft werden, das für alle durchzuführenden Versuche der Probenvorbereitung eingesetzt werden kann. Auch bei den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses gab es kein asbesthaltiges Probenmaterial ausreichender Menge. Der Einsatz eines zertifizierten Referenzmaterials wurde aus Kostengründen verworfen. Aus diesem Grund sollte eine synthetische Probe mit niedrigem Asbestgehalt hergestellt werden. Ausgangspunkt war ein Stück einer Asbestzementplatte, die vom PA zur Verfügung gestellt wurde. Der Asbestgehalt der Platte lag bei ca. 12%.

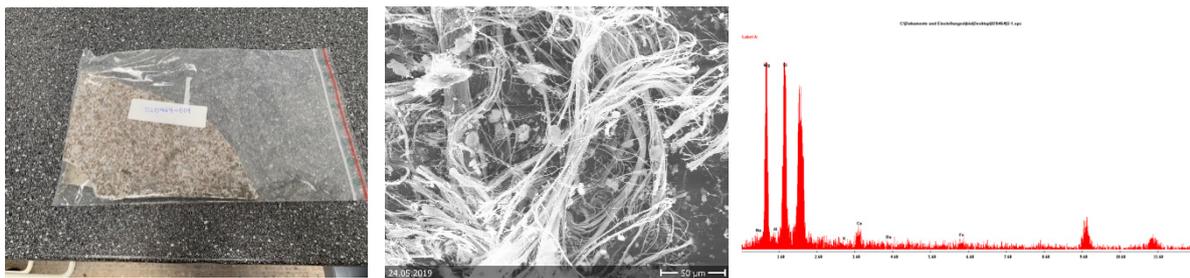


Abbildung 8 Stück der Asbestzementplatte, REM-Aufnahme eines Filterpräparates der Asbestzementplatte und EDX-Aufnahme (Asbestgehalt ca. 12,5 Gew.-%)

Ein Teil dieser Platte wurde in einer Kugelmühle gemahlen und anschließend mit Rotbandgipsputz im Verhältnis 1:10 gemischt (Trommelmischer, 24h), so dass eine Asbestkonzentration im Gipsputz von 1,28 Gew.-% (vgl. Tabelle 3) vorlag.

Tabelle 3 REM-Untersuchungen der Standardprobe
(Asbestbestimmung gemäß BIA-Methode 7487)

| Proben | Asbestgehalt Gew.-% |
|------------------------|---------------------|
| Standard 1 – Versuch 1 | 1,73 |
| Standard 1 – Versuch 2 | 1,56 |
| Standard 1 – Versuch 3 | 0,56 |
| Mittelwert | 1,28 |

Bei relativ kleinen Ansätzen (1-10g) gelang die beschriebene Art der Herstellung von dotiertem Material, eine Verdünnung um den Faktor 10 war ebenfalls noch möglich. Abbildung 9 zeigt deutlich, dass die Fasern der Asbestzementplatte im Gips verteilt sind, es sind noch größere Faserbündel neben kleineren Fasern unter dem REM sichtbar. Die Abbildung 9 zeigt eine REM-Aufnahme des entsprechenden Filterpräparates bei 2000-facher Vergrößerung.

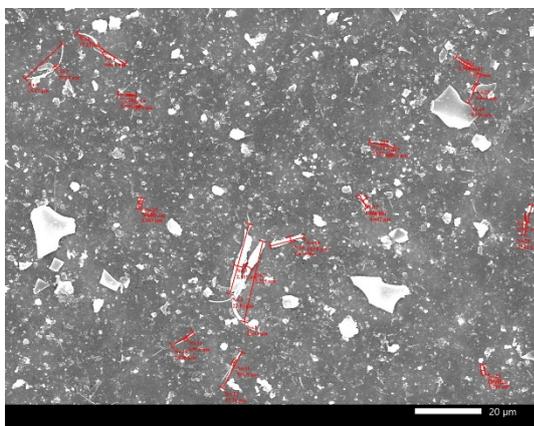


Abbildung 9 REM-Aufnahme eines Filterpräparates des Standardmaterials (Asbestgehalt ca. 1 Gew.-%)

Eine Übertragung auf einen größeren Maßstab (100-500 g) gelang nicht. Das hergestellte Material (Standard 1) konnte nicht für alle geplanten Versuchsreihen eingesetzt werden. Geplant war der Einsatz eines homogenen Materials, da dadurch die Auswertzeit am REM verkürzt werden könnte. Bei einem homogenen Material

sollte die Aufnahme von REM-Bildern in einer 2000-fachen Vergrößerung ausreichen, um Unterschiede erkennen zu können.

Aus diesem Grund musste ein neuer Ansatz zur Standardherstellung ermittelt werden.

Für die Durchführung von Laborvergleichsuntersuchungen müssen Feststoffe oft zusätzlich dotiert werden. Boden lässt sich z.B. mit PAK dotieren, indem die PAKs in einem Lösemittel gelöst und anschließend diese Lösung gleichmäßig auf dem Boden verteilt wird. Danach wird der Boden dann 24 bis 48 h über Kopf geschüttelt, damit eine Homogenisierung erreicht wird. Nach einer zusätzlichen Lagerung, es stellt sich ein Adsorptionsgleichgewicht ein, kann der Boden für die Analytik eingesetzt werden.^{xi}

Diese Art der Dotierung ist nicht direkt auf Asbestfasern übertragbar. Bei der Herstellung von Ringversuchsproben und Standardmaterialien für den Nachweis von Asbest aus Putzen und Spachtelmassen wird aber dennoch ein relativ ähnlicher Ansatz verwandt. Asbestfasern werden dazu mit Aceton im Ultraschallbad behandelt und anschließend in Gips oder Mörtel gegeben. Der Gips bzw. Mörtel werden mit Wasser angemischt, alles intensiv homogenisiert und härtet dann aus.^{xii}

Diese Informationen wurden genutzt, um eine größere Menge (4 Ansätze a 100 g) eines Standardmaterials herzustellen. Die feingemahlene Asbestzementplatte wurde in Aceton gegeben und 15 Minuten im Ultraschallbad behandelt. Anschließend ist diese Lösung zu einem Rotbandgips/Wassergemisch unter ständigem Rühren gegeben worden. Nach dem vollständigen Aushärten wurde das Gemisch noch einmal in einer Kugelmühle gemahlen. Die Untersuchung des Materials zeigte relativ gleichmäßig belegte Untersuchungsfilter. In der Abbildung 10 sind die REM-Aufnahmen der Asbestzementplatte, des Rotbandgipses und der hergestellten Materialprobe zum Vergleich nebeneinander dargestellt. Der Asbestgehalt der 4 verschiedenen 100g Standardansätze lag im Mittel bei 0,066% (Tabelle 4). Zusätzliche Verdünnungsschritte wurden nicht durchgeführt. Mit diesem Material wurden die Arbeiten zur Optimierung der Probenvorbereitung durchgeführt.

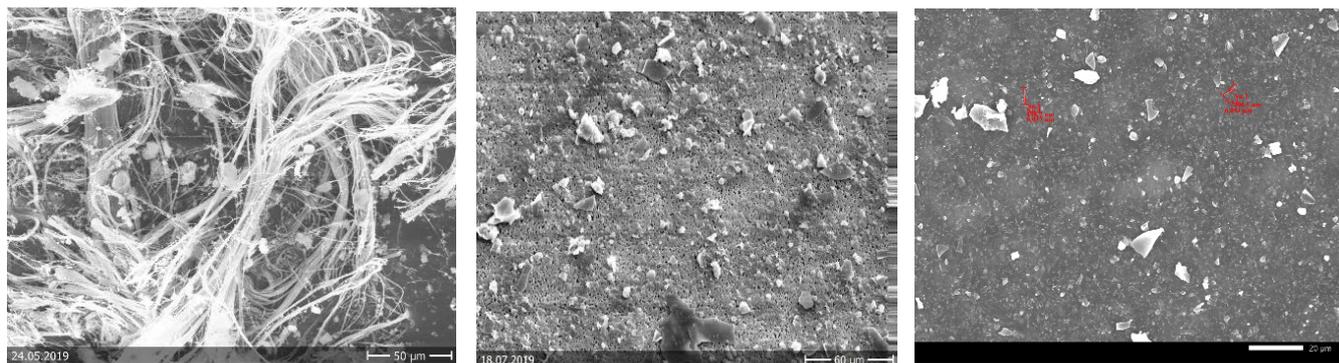


Abbildung 10 REM-Aufnahmen der Filterpräparate der Ausgangsmaterialien und des Standardmaterials Standard 2

Links: Asbestzementplatte; Mitte: Rotbandgips (Matrixaufnahme) und Rechts: Standardmaterial Standard 2

Tabelle 4 Asbestgehalt des Standards 2 (Asbestbestimmung gemäß BIA-Methode 7487)

| | Asbestgehalt / Gew.-% | | | Mittelwert / Gew.-% |
|-------------------------|-----------------------|-------|-------|---------------------|
| | | | | |
| Standard 2 - 1 | 0,053 | 0,149 | 0,014 | 0,072 |
| Standard 2 - 2 | 0,039 | 0,109 | 0,044 | 0,064 |
| Standard 2 - 3 | 0,065 | 0,161 | 0,045 | 0,090 |
| Standard 2 - 4 | 0,031 | 0,060 | 0,024 | 0,038 |
| Gesamtmittelwert | | | | 0,066 |

In den verschiedenen Normen und Vorschriften sind neben den Probenahmen auch die Aufarbeitung und die Analytik (Untersuchungsmethodik und Auswertung) von Feststoffmaterialien mit geringen Asbestgehalten beschrieben. Der Nachweis von geringen Asbestgehalten ist oft schwierig, da die Asbestfasern von anderen Materialien überlagert werden können. Aus diesem Grund ist eine Probenvorbereitungsprozedur mit dem Ziel, die störende Matrix zu entfernen und somit die Asbestfasern anzureichern, vorgegeben.

Die VDI 3866 Blatt 5 von 2017 Anhang B schreibt eine thermische Behandlung des Materials bei 400°C über 4 Stunden im Glühofen, gefolgt von einer Behandlung mit Säure zur Auflösung der störenden anorganischen Matrix vor. In der Analysenvorschrift wird dazu der Einsatz von 5 bis 10%iger HCl, eine Behandlungszeit von mindestens 30 Minuten mit einer kurzen Ultraschallbehandlung und eine anschließende Filtration auf

Polycarbonatfiltern (Porenweite < 0,8 µm) vorgeschlagen. Zuvor ist das Material zu zerkleinern und zu sieben.

Sowohl die BIA-Arbeitsvorschrift 7487, ein Verfahren zur analytischen Bestimmung geringer Massengehalte von Asbestfasern in Pulvern, Pudern und Stäuben mit REM/EDX, als auch die VDI 3866 Blatt 5 beschreiben die Herstellung einer Filterprobe über eine Suspension. Dazu ist eine Materialkorngröße < 100 µm vorgegeben. 20 - 50 mg der Probe werden mit einem Netzmittel in 500 ml bzw. 350 ml Wasser suspendiert und die Suspension kurz im Ultraschallbad behandelt. Anschließend ist eine Teilprobe über einen goldbedampften Polycarbonatfilter (Porenweite < 0,2 µm bzw. <0,8 µm) zu saugen, zu trocknen und dann zu untersuchen.

Weitere Vorgaben sind in der ISO 22262-2^{xlii}, der VDI 3876^{xliii} und der VDI 3866 Blatt 1^{xliv} zu finden.

Insgesamt sind die Vorschriften nicht konkret. Den Untersuchungsstellen bleibt bei den durchzuführenden Bearbeitungsschritten ein relativ weiter Spielraum bei der Auslegung der normativen Vorgaben.

Hervorzuheben sind dabei:

- die Zerkleinerung des Probenmaterials,
- die Abtrennung organischer Verunreinigungen,
- die Behandlung mit einer Mineralsäure zur Abtrennung anorganischer Matrix,
- die Präparation für die Suspensionsuntersuchung und
- die Untersuchung des Filterpräparats am REM.

Im Rahmen des Vorhabens wurden die verschiedenen Bearbeitungsschritte intensiv mit den Mitgliedern des PA diskutiert. Für die **Entfernung von organischer Matrix** wurde das Tempern bei 450°C über einen Zeitraum von 4 bis 8 Stunden als erprobt beschrieben. Abweichend wurde auch von einer Behandlung bei wesentlich höherer Temperatur, dafür aber über einen signifikant kürzeren Zeitraum berichtet, der zu einem vergleichbaren Ergebnis führt. Dieser Teil der Probenbearbeitung wurde nicht optimiert.

Generell wurde aber jedes bearbeitete Material vor der Behandlung immer bei 450°C über 8 Stunden getempert, auch wenn kein organisches Material dazugegeben wurde.

Damit sollte simuliert werden, dass beim Tempern auch aus den anorganischen Bestandteilen Kristallwasser abgegeben wird und sich dadurch ggf. die Eigenschaften dieser ändern können. Außerdem wurde auch jedes Material vor dem analytischen Nachweis mit Säure behandelt. Wenn keine Optimierungsversuche durchgeführt wurden, kam immer 10 %ige Salzsäure zum Einsatz. Generell wurden die Materialien nach der BIA-Methode 7487 oder nach VDI 3866 Blatt 5 Anhang B aufgearbeitet. Tabelle 5 enthält eine Zusammenstellung der einzelnen durchgeführten Arbeitsschritte. Abweichungen, Optimierungen und Variationen sind an den entsprechenden Textstellen dargestellt.

Tabelle 5 Generelle Arbeitsschritte bei der Bearbeitung der Materialien gemäß VDI oder BIA

| Arbeitsschritt | VDI 3866 Blatt 5 Anhang B | BIA-Methode 7487 |
|---|--|---|
| Tempern | 450°C, 4 bis 8 Stunden | 450°C, 4 bis 8 Stunden |
| Zerkleinerung | Zerreiben im Tiegel | Mahlen in der Kugelmühle |
| Einwaage | 5-12 mg (bevorzugt 5 mg) | 10-15 mg |
| Säurebehandlung | 2,5 mL 10%-ige HCl für 20 Minuten | 10 mL 10%-ige HCl für 20 Minuten |
| Herstellung einer Suspensionsprobe | - | Lösung in 250 mL Wasser geben, 1 Tropfen Netzmittel dazu, 5 Minuten im Ultraschallbad behandeln |
| Herstellung eines Filterpräparates - Filtration | 0,8 µm Filter mit Wasser benetzen, Säurelösung darauf geben, mit Wasser nachspülen | Filtration einer definierten Probenteilmenge über einen 0,2 µm Filter mit einem Durchmesser von 25 mm |
| Herstellung eines Filterpräparates – Aufbringen | Eine Ecke des Filters auf einen Probenstiftsteller geben und | Eine Ecke des Filters auf einen Probenstiftsteller geben und |



| Arbeitsschritt | VDI 3866 Blatt 5 Anhang B | BIA-Methode 7487 |
|----------------------------|--|--|
| auf Probenstiftteller | trocknen | trocknen |
| Untersuchung am REM | 50-fache Vergrößerung 48 mm ² , | 2000-fache Vergrößerung 0,5 |
| Angabe der zu | 200-fache Vergrößerung 6 mm ² , | mm ² auf Fasern untersuchen |
| untersuchenden Bildflächen | 1000-fache Vergrößerung 3 mm ² untersuchen | |

Zerkleinerung

Die Vorgaben zur Probenzerkleinerung sind unkonkret. Für eine Suspensionsprobe, die für eine geringe Bestimmungsgrenze zu wählen ist, muss das Probenmaterial auf < 100µm aufgemahlen werden. Auf welche Art bleibt dem Labor überlassen. Dabei ist zu beachten, dass zwar eine entsprechende Materialfeinheit erzielt werden muss, insgesamt aber auch nicht zu intensiv zerkleinert wird, da dabei auch die Asbestfasern aufgemahlen werden können und dann nicht mehr im REM als Fasern sichtbar sind. Verglichen wurde das Mahlen mit der Kugelmühle, das Zerreiben im Mörser sowie im Tiegel (Abbildung 11).



Abbildung 11 Zerkleinerungsprozeduren, oben - mahlen in der Kugelmühle, Mitte – zerreiben im Mörser, unten – zerreiben im Tiegel

Um die Unterschiede zu visualisieren, wurden die Standardmaterialien (Standard 2) gemäß VDI 3866 Blatt 5 aufgearbeitet und die REM-Bilder der Filterpräparate bei den Vergrößerungen 500-fach, 1000-fach und 2000-fach verglichen. Alle drei Zerkleinerungsprozeduren lieferten gleichwertige Bilder und damit auch Ergebnisse (vgl. Abbildung 12).

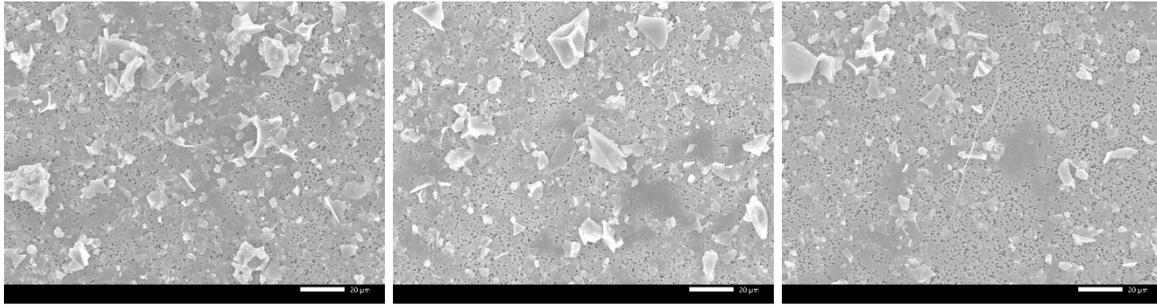


Abbildung 12 REM-Bilder bei 2000-facher Vergrößerung, links - Kugelmühle, Mitte – Mörser, rechts - Tiegel

Entfernung anorganischer Matrix, Säurebehandlung

Die anorganische Matrix besteht bei Spachtelmassen und Putzen im Wesentlichen aus Calciumcarbonat, Gips (Calciumsulfat) und Siliziumdioxid. Insbesondere Calciumcarbonat und Calciumsulfat lassen sich durch die Behandlung mit Säuren in Lösung bringen, wodurch eine Aufkonzentrierung der Asbestfasern erfolgt. Die Unternehmen des PA berichteten von verschiedenen Schwierigkeiten bei der Säurebehandlung. Eine zu lange Behandlung im Ultraschallbad greife die Fasern an, die Fasern würden so vereinzelt werden, sie sind nicht mehr im REM nachweisbar. Ebenfalls wurde bei Gips von Agglomeration berichtet, die sogar Verschlechterungen im Präparat bewirken könnte.

Schwierig ist hier die Suche nach der optimalen Behandlung. Bei der Bearbeitung dieses Arbeitspaketes wurde versucht, die Anmerkungen des PA und weitere verschiedene Fragestellungen zu beantworten.

- Welche und wie viel Säure kann unter welchen Bedingungen zum Material gegeben werden, ohne dass ein nennenswerter Angriff auf die Asbestfasern stattfindet?
- Gibt es ggf. eine alternative Behandlung?
- Ist Temperatur dem Löseprozess zuträglich?
- Kann die Zeit im Ultraschallbad ausgedehnt werden?

Im Labor lässt sich Gips u.a. mit Salz- oder Salpetersäure rückstandslos aufschließen, eine Agglomeration ist dabei nicht zu beobachten. Für Calciumsulfat (Gips) bietet sich

aber ggf. auch eine Behandlung mit EDTA¹⁴ an, da EDTA Calciumkomplexe bildet und damit zur Auflösung beitragen kann.

Aus diesem Grund erfolgten mit Gips und mit Mörtel vorab ausgiebige Vorversuche zur Auflösung des Materials. Es wurden dazu jeweils 50 mg Gips oder Mörtel (zuvor getrocknet) in einem Becherglas vorgelegt und mit 40 mL der entsprechenden Lösung behandelt. Der abfiltrierte Rückstand wurde getrocknet und gewogen. Als Lösungen wurden neben 10%-iger Salzsäure 10%-ige Zitronensäure und ein Gemisch aus Natrium-EDTA¹⁵ in 0,1 n Natronlauge (NaOH) eingesetzt. Die Behandlung erfolgte jeweils für 30 Minuten bei 30°C und 70°C im Ultraschallbad.

Mit Salzsäure konnte Gips sowohl in der Kälte als auch in der Wärme innerhalb von 30 Minuten im Ultraschallbad komplett aufgelöst werden. Mit Citronensäure war eine fast vollständige Auflösung nur bei 70°C möglich. Mit EDTA und NaOH wurden ca. 80% des Gipses gelöst, dieser Prozess war temperaturunabhängig. Das Auflösen von Mörtel, der i.d.R. aus 1/3 Gips oder Kalk und mindestens 2/3 Sand (SiO₂) besteht, gelang nicht. Der Anteil von Gips und/oder Kalk konnte aufgelöst werden, SiO₂ blieb als Feststoff zurück.

Aufbauend auf diesen Ergebnissen wurde untersucht, ob die Behandlung mit Säure die Asbestfasern angreift. Dazu wurde das Standardmaterial (Standard 2) mit verschiedenen Säuren bei unterschiedlichen Temperaturen behandelt. Die folgende Tabelle zeigt eine Matrix der durchgeführten Versuche.

¹⁴ Ethylendiamintetraacetat

¹⁵ Natriumsalz des Ethylendiamintetraacetat

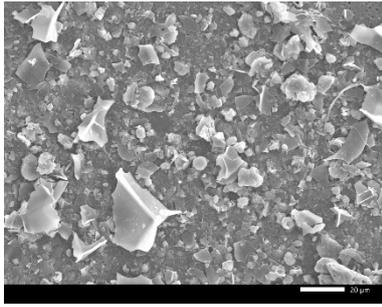
Tabelle 6 Versuchsmatrix zur Säurebehandlung der Asbestmaterialproben

| Säure | Konzentration | Temperatur | Behandlungsbedingungen |
|------------------|--------------------|----------------|---|
| HCl | 5% | 30°C und 70 °C | 2 oder 5 Minuten im Ultraschallbad behandeln, dann erwärmen und 10 bis 30 Minuten schütteln |
| HCl | 15% | 30°C und 70 °C | 2 oder 5 Minuten im Ultraschallbad behandeln, dann erwärmen und 10 bis 30 Minuten schütteln |
| HCl | 35% (konzentriert) | 80°C | Mikrowellenaufschluss |
| HNO ₃ | 5% | 30°C und 70 °C | 2 oder 5 Minuten im Ultraschallbad behandeln, dann erwärmen und 10 bis 30 Minuten schütteln |
| HNO ₃ | 15% | 30°C und 70 °C | 2 oder 5 Minuten im Ultraschallbad behandeln, dann erwärmen und 10 bis 30 Minuten schütteln |
| HNO ₃ | 65% (konzentriert) | 80°C | Mikrowellenaufschluss |

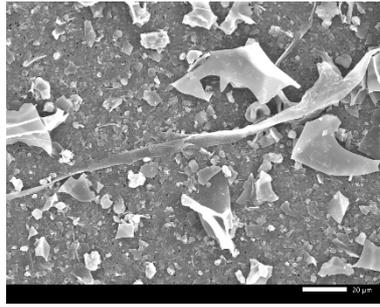
Um die Unterschiede zu visualisieren, wurden die Standardmaterialien (Standard 2) nach der Behandlung gemäß VDI 3866 Blatt 5 aufgearbeitet und die REM-Bilder der Vergrößerungen 500-fach, 1000-fach und 2000-fach verglichen. Die folgenden Abbildungen zeigen die Bilder der 2000-fachen Vergrößerung für die Behandlung mit Salz- und Salpetersäure. Weder die gewählten Konzentrationen, die verschiedenen Zeiten im Ultraschallbad, die Temperaturen und die Dauer der anschließenden Behandlung zeigten einen Einfluss auf die Fasern. Auf allen Bildern der 2000-fachen Vergrößerung waren die Fasern weiterhin in adäquatem Umfang erkennbar. Aus diesem Grund wurde das Material als sogenannter „worst case“ in der Mikrowelle aufgeschlossen. Dazu wurden ca. 250 mg Standardmaterial (Standard 2) jeweils mit 10 ml konzentrierter Säure (HCl und HNO₃) für 30 Minuten bei 400 W ($\approx 80^\circ\text{C}$) behandelt. Aus den Lösungen wurden Filterpräparate zur Analytik hergestellt. Abbildung 15 zeigt die dazugehörenden REM-Aufnahmen. Auch hier sind immer noch Fasern zu erkennen. Die Behandlung des Probenmaterials (Standard 2) mit Säure führte zu einer Anreicherung der Fasern, die Fasern wurden unter den gewählten Bedingungen nicht zerstört. Es kann neben Salzsäure auch Salpetersäure für die Behandlung eingesetzt werden, ohne dass ein Einfluss auf die Asbestfasern gefunden werden konnte. Weder die Temperatur der Säurelösung (30 und 70°C) noch die Behandlungszeit im

Ultraschallbad (2 und 5 Minuten) und die Gesamtbehandlungszeit von 10 bis 30 Minuten zeigten einen Einfluss auf die Fasern. Selbst nach der Behandlung in der Mikrowelle konnten die Fasern immer noch nachgewiesen werden. Die allgemein diskutierte Annahme, dass Asbest unter Einwirkung von zu hoch konzentrierter Säure zerstört wird, konnte durch die durchgeführten Versuche am dotierten Material (Standard 2) nicht bestätigt werden.

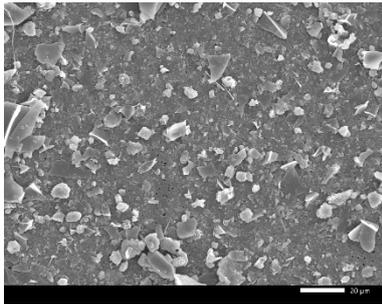
Darauf aufbauend wurde getestet, ob der Mikrowellenaufschluss auch als Alternative zur Temperung, d.h. zur gleichzeitigen Entfernung von organischer und anorganischer Matrix aus dem Probenmaterial eingesetzt werden kann. Zum Standard 2 wurde daher Gewebetapete mit Kleber und Leim gegeben und unter adäquaten Bedingungen aufgeschlossen. Die gewählten milden Aufschlussbedingungen in der Mikrowelle reichten nicht für den vollständigen Aufschluss. Die erhaltenen Lösungen waren so trüb, dass daraus keine Probe zur Betrachtung im REM erstellt wurde. Es wurde nicht versucht, die Bedingungen in der Mikrowelle zu ändern, da zu befürchten war, dass dadurch die Asbestfasern zerstört werden. Die Mikrowelle stellt keine Alternative zur Temperung dar.



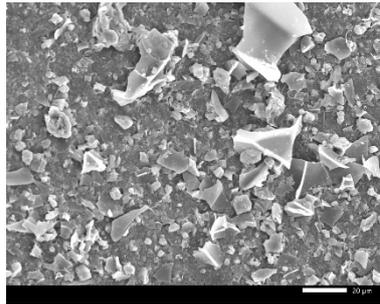
5%ige HCl, 2 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 30°C



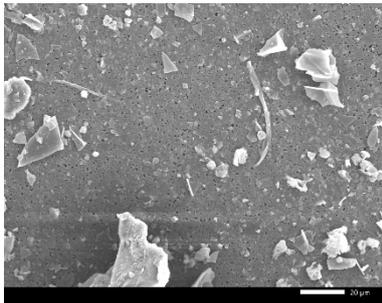
15%ige HCl, 2 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 30°C



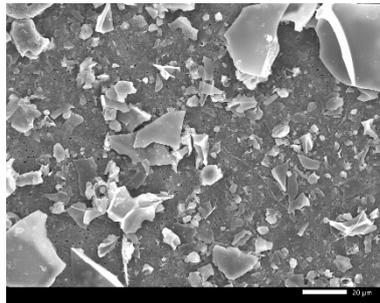
5%ige HCl, 5 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 30°C



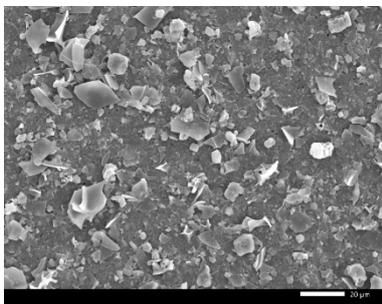
15%ige HCl, 5 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 30°C



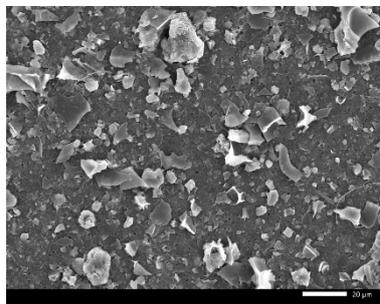
5%ige HCl, 2 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 70°C



15%ige HCl, 2 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 70°C

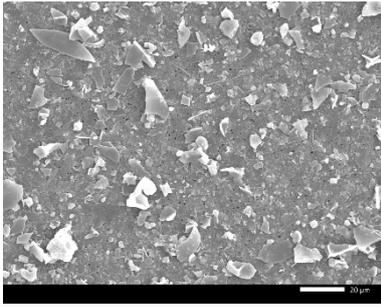


5%ige HCl, 5 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 70°C

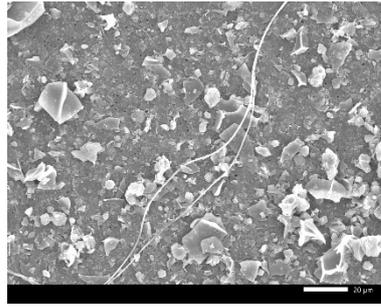


15%ige HCl, 5 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 70°C

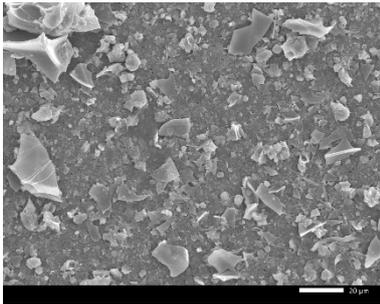
Abbildung 13 REM-Bilder bei 2000-facher Vergrößerung über die Behandlung mit Salzsäure



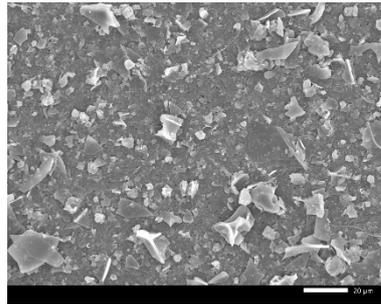
5%ige HNO₃, 2 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 30°C



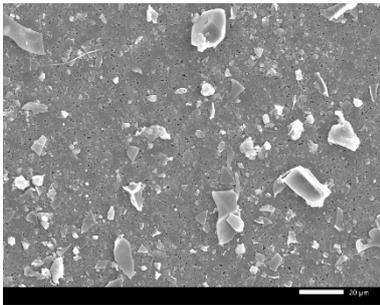
15%ige HNO₃, 2 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 30°C



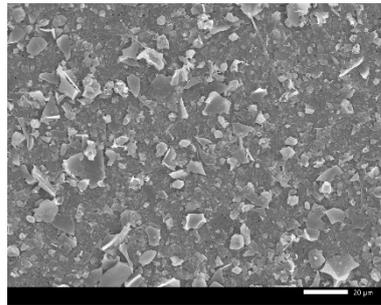
5%ige HNO₃, 5 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 30°C



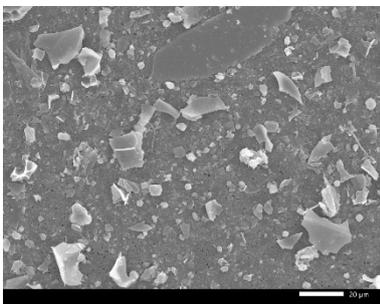
15%ige HNO₃, 5 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 30°C



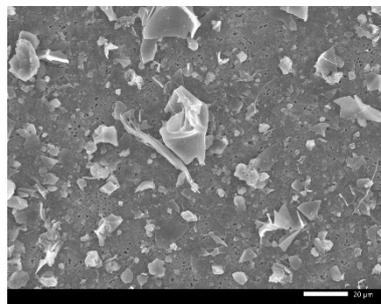
5%ige HNO₃, 2 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 70°C



15%ige HNO₃, 2 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 70°C



5%ige HNO₃, 5 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 70°C



15%ige HNO₃, 5 min Ultraschallbad,
Schütteln bei 70°C

Abbildung 14 REM-Bilder bei 2000-facher Vergrößerung über die Behandlung mit Salpetersäure

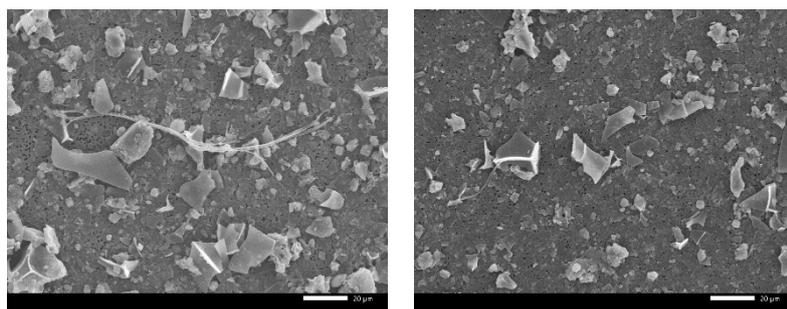


Abbildung 15 REM-Bilder bei 2000-facher Vergrößerung zum Mikrowellenaufschluss, links Aufschluss mit konzentrierter Salzsäure, rechts Aufschluss mit konzentrierter Salpetersäure

In der Tabelle 7 sind die durchgeführten Optimierungsarbeiten im Rahmen der Probenaufbereitung noch einmal mit den erzielten Ergebnissen zusammengefasst.

Tabelle 7 Zusammenfassung der Ergebnisse bei der Optimierung der Probenaufbereitung

| Variation in der Bearbeitung | | Ergebnisse |
|------------------------------|---|--|
| Zerkleinerung | Mörser Kugelmühle Glasstab und Tiegel | Die REM-Bilder unterscheiden sich nicht signifikant voneinander. Bei allen drei Zerkleinerungsmethoden sind die Fasern in gleichem Maß sichtbar. |
| Art der Säure | HCl HNO ₃ | Die Aufarbeitung des Materials ist unabhängig von der Art der Säure. |
| Konzentration der Säure | 5-15% | Es gibt keinen Einfluss der Konzentration der Säure auf das Herauslösen anorganischer Verbindungen. Die Asbestfasern sind weiterhin gut erkennbar. |
| Behandlungszeit | 10 bis 30 Minuten | Die Behandlungszeit des Probenmaterials mit der Säure hat keinen Einfluss auf die Qualität der REM-Aufnahmen. |
| Temperatur der Behandlung | 30 bis 70°C | Die Temperatur bei der Behandlung des Probenmaterials mit der Säure hat keinen Einfluss auf die Qualität der REM-Aufnahmen. |

Variation des Netzmittels bei der Suspensionsprobe

Optimale Filterpräparate für die Auswertung am REM sind relativ homogen und möglichst vereinzelt mit Asbestfasern belegt. Zur Herstellung eines Filterpräparates aus einer Suspension wird daher in den einschlägigen Normen auch immer der Einsatz eines Netzmittels empfohlen. Beispielhaft ist in der BIA-Vorschrift 7487 als Netzmittel Hospatal (ein Sulfatester, der von Clariant vertreiben wird), ein anionisches Tensid,

genannt. Mitglieder des PA setzen in ihren Laboratorien auch nichtionische Tenside, z. B. Tween – ein Polysorbat, wie sie aus dem Bereich der Lebensmittelherstellung bekannt sind, ein.

Die Zugabe eines Netzmittels senkt die Oberflächenspannung des Wassers, wodurch die kurze Behandlung der Suspension im Ultraschallbad ggf. eine potentielle Vereinzelung der Fasern ermöglichen könnte.

Für die Herstellung von Filterpräparaten der dotierten Materialprobe Standard 2 aus einer Suspension wurde daher sowohl die Zugabe eines anionischen Tensides, hier Natriumlaurylsulfat (SDS), als auch eines nichtionischen Tensides, Tween, verglichen. Beide Filterpräparate zeigten eine ähnliche Verteilung der Fasern. Ein signifikanter Unterschied konnte nicht ermittelt werden (vgl. Abbildung 17 und Abbildung 18).

Zusammenfassend bleibt festzustellen: auch wenn die einzelnen Analysevorschriften an verschiedenen Stellen relativ unkonkret sind, konnte mit den durchgeführten Arbeiten anhand des dotierten Probenmaterials (Standard 2) gezeigt werden, dass ein weiter Variationsbereich bei den verschiedenen Schritten der Probenvorbereitung ohne nennenswerten Einfluss auf den Nachweis der Asbestfasern möglich ist. Allerdings konnten alle Versuche nur am dotierten Material (Standard 2) durchgeführt werden. Es war während der Projektlaufzeit nicht möglich, zusätzliches Probenmaterial entsprechender Materialgröße (50 bis 100 g) für die Wiederholung der Untersuchung und die Übertragung auf andere Materialgruppen zu beschaffen.

Herstellung eines homogen belegten Filterpräparates

Bei der Untersuchung der Filterpräparate des Standards 2 ist aufgefallen, dass nach den zusätzlichen Bearbeitungsschritten, wie Tempern, wiederholtem Mahlen und der Säurebehandlung die Asbestfasern auf den hergestellten Filterpräparaten zwar klein sind, aber relativ vereinzelt und gut verteilt auf den Filteroberflächen vorliegen (vgl. Abbildung 13 und Abbildung 14). Bei einer Vergrößerung von 2000 sind die Fasern gut sichtbar.

Dies entspricht nicht vollständig den Erfahrungen aus der Praxis. Oft liegen Asbestfasern in Bündeln oder größeren Bruchstücken auf den Filtern. Da bei der

Analytik am REM nur ein relativ kleiner Teil der Filter ausgewertet wird (0,1% der Filterfläche bei BIA-Methode 7487 und ca. 12% der Filterfläche bei der VDI 3866 Blatt 5 Anhang B)¹⁶, kann es sein, dass größere Fasern oder Faserbruchstücke auf den Filtern übersehen werden. Insbesondere diese Fasern können bei den geringen Asbestmengen, die z. B. bei der BIA-Methode nachweisbar sind (NWG = 0,008 Gew.-% Asbest), einen überproportional großen Beitrag darstellen. Bei der Untersuchung von Ringversuchsproben könnte so eine übersehene Faser bedeuten, dass der Ringversuch nicht bestanden ist.

Abbildung 16 zeigt beispielhaft eine Abbildung die typisch für heterogen verteilte Asbestfasern ist. Auf dem linken Bildfeld ist eine relativ breite Faser, auf dem rechten Bildfeld sind keine Fasern zu erkennen.

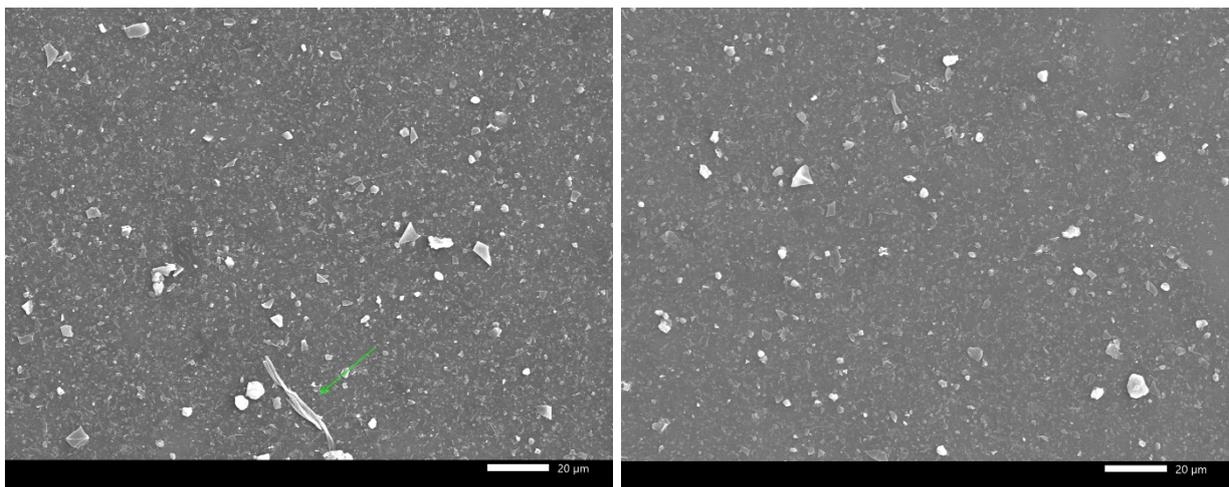


Abbildung 16 REM-Aufnahmen eines Filterpräparates mit Faserbündels links und eines leeren Bildfeldes bei heterogen verteilten Fasern, 2000-fache Vergrößerung (Probenvorbereitung Suspensionsprobe gemäß BIA-Methode 7487)

Die einzige Probe entsprechender Menge, mit der Optimierungsuntersuchungen durchführbar waren, bestand in der im kleinen Ansatz hergestellten dotierten Probe der Trockenmischung von gemahlener Asbestzementplatte und Rotbandgipsputz, der

¹⁶ Es wird immer ein Filter mit einem Durchmesser von 25 mm benutzt. Damit ergibt sich eine Filtergrundfläche von 491 mm². Bei der BIA-Methode 7487 sind 0,5 mm² (0,1%), bei der VDI 3499 Blatt 5 Anhang B 48 mm² (11,6%) des Filters am REM auszuwerten (identifizieren der Fasern und Bestimmung der Faserfläche).

Standard 1. Die REM-Bilder dieser Probe zeigten zum Teil noch größere Faserbüschel, wie sie bei Asbestzementplatten üblich sind.

Die Herstellungsverfahren beider verschieden dotierter Proben, Standard 1 und Standard 2, wurden verglichen. Tabelle 8 enthält eine Kurzfassung der Beschreibung der Arbeitsweise bei der Herstellung der dotierten Materialien.

Tabelle 8 Unterschiede bei der Herstellung der beiden dotierten Probenmaterialien

| Tätigkeit | Standard 1 | Standard 2 |
|--|---|--|
| Basis | Asbestzementplatte Fein gemahlen in einer Kugelmühle | Asbestzementplatte Fein gemahlen in einer Kugelmühle |
| Verdünnungsmaterial | Rotbandgipsputz | Rotbandgipsputz |
| Herstellungsverfahren Standardprobe | der Schütteln der trockenen Materialien (Trommelmischer) Trockene Verdünnung um den Faktor 10 Kleiner Probenansatz 1-10g | Behandeln des Pulvers der Asbestzementplatte für 15 Minuten mit Aceton im Ultraschallbad Mischung mit einer Gips/Wasser/Mischung Homogenisieren Aushärten (Probenansatz 4 mal 100 g) Aufmahlen in einer Kugelmühle |
| Asbestgehalt / Gew.-% | 0,073 | 0,066 |
| Bearbeitung | Tempern Zerkleinern (durch Verreiben im Tiegel) Säureaufschluss Herstellung des Filterpräparats REM | Tempern Zerkleinern (durch Verreiben im Tiegel) Säureaufschluss Herstellung des Filterpräparats REM |
| REM-Aufnahme | Heterogene Verteilung der Fasern, es gibt noch größere Faserbüschel | Relativ homogene Verteilung der Fasern, selten große Faserbüschel |

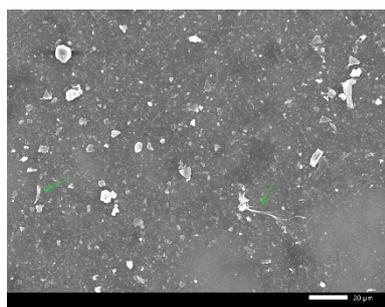
Wesentliche Verfahrensunterschiede bestehen in der Behandlung der Asbestfasern mit Aceton im Ultraschallbad über einen längeren Zeitraum und anschließendem Mahlen des ausgehärteten Gipsmaterials in der Kugelmühle. Es ist davon auszugehen, dass entweder die längere Behandlungszeit im Ultraschallbad bzw. das doppelte Mahlen dazu geführt haben, dass die Asbestfasern kleiner und daher nach der Präparation vereinzelt auf den Filtern zu finden sind.

Aus Diskussionen mit Mitgliedern des PA ergab sich, dass bei der Herstellung von Suspensionsproben die Entnahme der Teilprobe für den Filter aus einer gerührten

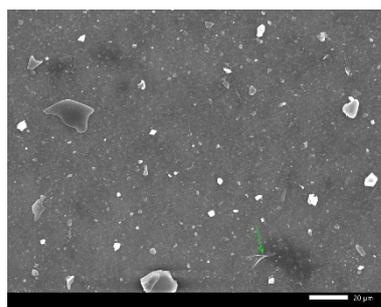
Suspension zu bevorzugen ist. Das Rühren soll die Abtrennung größerer störender Partikel bewirken, die so erhaltenen Filter zeigen eine homogene Verteilung der Fasern.

Variation der Behandlungszeit im Ultraschallbad

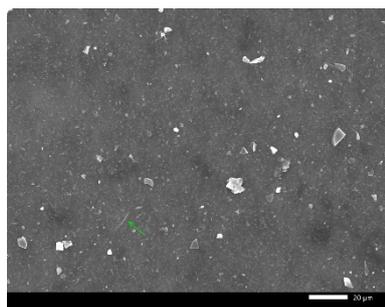
Der Standard 1 wurde, wie bereits in Tabelle 8 angegeben, um den Faktor 10 mit Rotbandgipsputz im Trommelmischer verdünnt. Anschließend wurde dieses Material getempert, im Tiegel verrieben und für 5, 20 oder 30 Minuten im Ultraschallbad mit 10%-iger Salzsäure behandelt. Aus der Lösung wurden jeweils Suspensionsproben hergestellt, bei denen zum einen die Teilprobe aus dem ruhenden Zustand zum anderen unter Rühren für die Filterpräparation entnommen wurde. Die folgenden Abbildungen zeigen die erhaltenen REM-Aufnahmen nach 5 und 30-minütiger Ultraschallbehandlung.



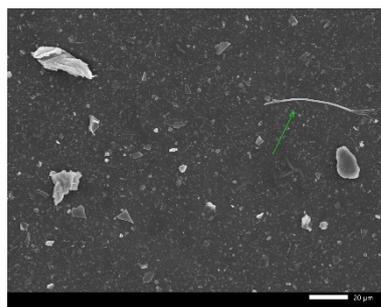
5 Minuten Behandlung mit HCl im Ultraschallbad, als Netzmittel wurde SDS eingesetzt



5 Minuten Behandlung mit HCl im Ultraschallbad, als Netzmittel wurde Tween eingesetzt



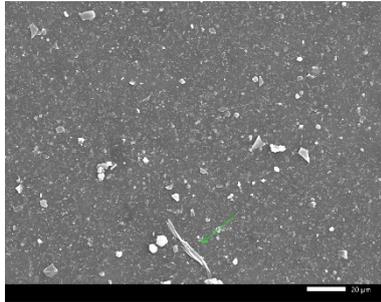
30 Minuten Behandlung mit HCl im Ultraschallbad, als Netzmittel wurde SDS eingesetzt



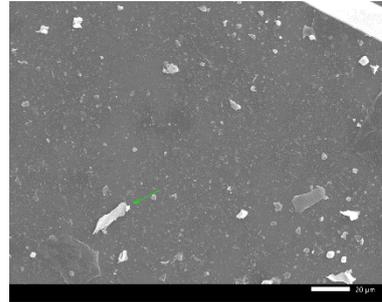
30 Minuten Behandlung mit HCl im Ultraschallbad, als Netzmittel wurde Tween eingesetzt

Abbildung 17 REM-Aufnahmen von Filterpräparaten des Standards 1(1:10 verdünnt), Variation der Behandlungszeit mit HCl im Ultraschallbad, Variation des Netzmittels, 2000-fache

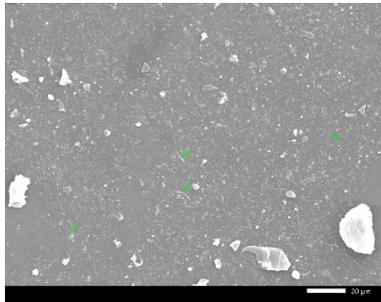
Vergrößerung (Probenvorbereitung - Suspensionsprobe Entnahme aus ruhendem Zustand - gemäß BIA-Methode 7487)



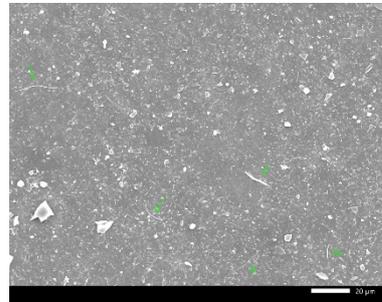
5 Minuten Behandlung mit HCl im Ultraschallbad, als Netzmittel wurde SDS eingesetzt, gerührte Suspension



5 Minuten Behandlung mit HCl im Ultraschallbad, als Netzmittel wurde Tween eingesetzt, gerührte Suspension



30 Minuten Behandlung mit HCl im Ultraschallbad, als Netzmittel wurde SDS eingesetzt, gerührte Suspension



30 Minuten Behandlung mit HCl im Ultraschallbad, als Netzmittel wurde Tween eingesetzt, gerührte Suspension

Abbildung 18 REM-Aufnahmen von Filterpräparaten des Standards 1(1:10 verdünnt), Variation der Behandlungszeit mit HCl im Ultraschallbad, Variation des Netzmittels, Probenentnahme aus der gerührten Suspension, 2000-fache Vergrößerung (Probenvorbereitung - Suspensionsprobe Entnahme aus gerührter Suspension - gemäß BIA-Methode 7487)

Unterschiede in den Bildern sind eher nur subjektiv erkennbar. Augenscheinlich sehen die REM-Aufnahmen der Suspensionsproben, bei denen die Teilproben unter Rühren entnommen wurden, optimal für die Auswertung aus. Die Filter sind entsprechend dünn belegt, Fasern sind gut erkennbar, es gibt wenige größere Partikel.

Zerkleinerung des Materials als Homogenisierungsschritt

Im LFP-Vorhaben L1.17^{xlv} des LAGA (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall) Forums Abfalluntersuchungen konnte durch Simulationsrechnungen gezeigt werden, dass die Prüfmerkmalsverteilung in einem Probenmaterial mit der Korngröße zusammenhängt. Die Qualität der einzelnen Analysen, d.h. die erzielbare Messgenauigkeit (Standardabweichung und Messunsicherheit) hängt in höchstem Maß von der Körnigkeit / Stückigkeit eines Materials ab.

Bei der Herstellung der Standardmaterialien 1 und 2 sind verschiedene Schritte der Zerkleinerung gewählt worden, d.h. die Körnigkeit des Materials selbst ist unterschiedlich.

Aus diesem Grund wurde das Material Standard 1 zusätzlich zerkleinert. Die zusätzlichen Zerkleinerungsschritte wurden vor und nach dem Tempern des Materials durchgeführt.

- Variationen der Probenzerkleinerung
 - Mörsern nach dem Tempern,
 - Mörsern vor und nach dem Tempern sowie
 - Mörsern vor dem Tempern und Mahlen in der Kugelmühle nach dem Tempern.

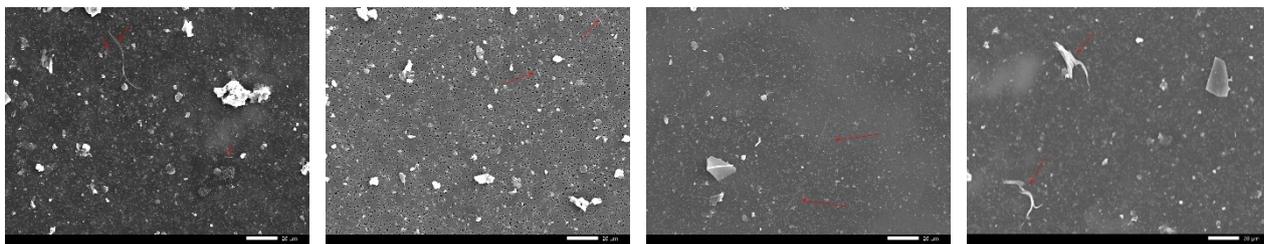
Die anschließende Herstellung der Filterpräparate erfolgte nach VDI 3866 Blatt 5 nach Säurebehandlung und Herstellung des Filterpräparates aus einer Suspension, wobei die Teilprobe immer aus der gerührten Suspension entnommen wurde. Die folgende Abbildung zeigt verschiedene REM-Aufnahmen bei einer 2000-fachen Vergrößerung (Abbildung 19).

Je intensiver die Zerkleinerung, desto weniger Fasern sind zu sehen, wobei nach dem Mörsern des Materials vereinzelt noch etwas größere Fasern gefunden werden konnten. Insgesamt nahm die Anzahl der Bildfelder, auf denen keine Fasern mehr detektiert werden konnten, mit jedem Zerkleinerungsschritt zu. Das zusätzliche Aufmahlen in der Kugelmühle hat dazu geführt, dass keine Fasern mehr detektierbar waren.

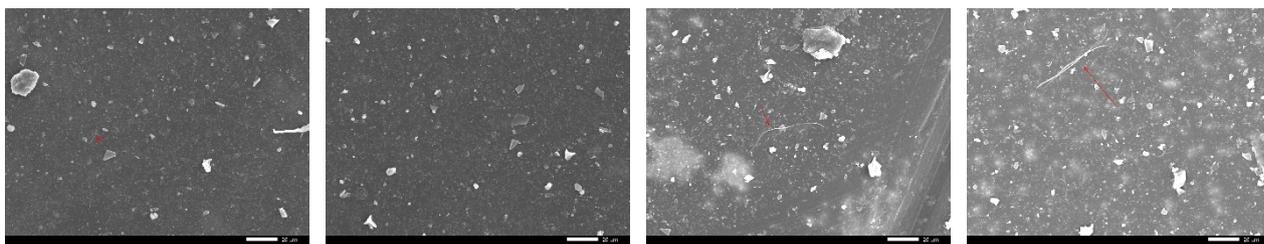
Das Aufmahlen des Probenmaterials ist der wesentliche Schritt zur Homogenisierung der Fasern auf den Filterpräparaten. Ein zu intensives Aufmahlen führt dazu, dass keine Fasern mehr detektierbar sind. Die eingesetzten Standardmaterialien wurden

insgesamt wesentlich intensiver als im Routinelaborbetrieb üblich zerkleinert. Jedes Material wurde vor der Herstellung der Filterpräparate mindestens einmal in der Kugelmühle gemahlen (Aufmahlen der Asbestzementplatte) und in einem Mörser oder Tiegel zerrieben. Selbst danach waren immer noch größere Faserbündel auf den Filterpräparaten im REM sichtbar. Das dotierte Material Standard 2 wurde zwei Mal in der Kugelmühle gemahlen. Die aus diesem Material hergestellten Filterpräparate waren relativ homogen, die Anzahl größerer Fasern war gering.

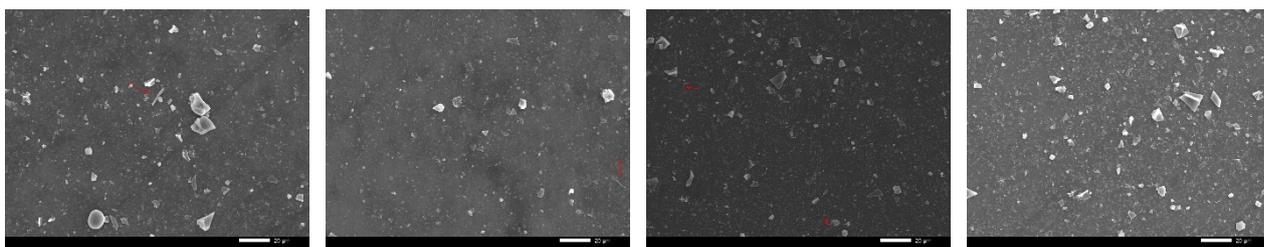
Ausgangsprobe, Bildfelder mit und ohne Fasern, einige Fasern sind schon relativ fein, es gibt größere Faserbündel



Ausgangsprobe wurde nach dem Tempern zusätzlich gemörsert, Bildfelder ohne Fasern nehmen wesentlich zu, Faserbündel werden feiner



Ausgangsprobe wurde vor und nach dem Tempern gemörsert, die Fasern sind relativ fein, es gibt kaum noch Faserbündel oder größere Fasern, Bildfelder ohne Fasern nehmen drastisch zu



Ausgangsprobe wurde vor dem Tempern gemörsert und nach dem Tempern in der Kugelmühle aufgemahlen, es können keine Fasern mehr detektiert werden

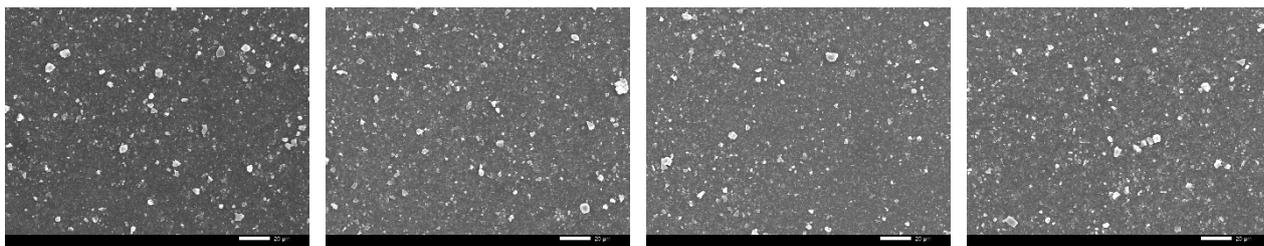


Abbildung 19 REM-Aufnahmen der Filterpräparate nach verschiedenen Stufen der Zerkleinerung

Das Optimum zwischen Mahlen in der Kugelmühle und Zerreiben im Mörser konnte im Rahmen des Vorhabens nicht gefunden werden. Dazu wäre eine größere Menge einer belasteten Materialprobe notwendig gewesen, die bis zur Berichtslegung nicht beschafft werden konnte.

Alle bisher erzielten Ergebnisse wurden mit dem dotierten Gipsputz erarbeitet. Es ist davon auszugehen, dass sich auch andere Spachtelmassen ähnlich verhalten.

5.4. Arbeitspaket 5: Asbestbestimmung mittels Rasterelektronenmikroskopie

Die Bestimmung der Asbestfasern in den vorbehandelten Proben sollte mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) gemäß der einschlägigen Normen und Richtlinien (BIA-Methode 7487 und VDI-Richtlinien 3866 Blatt 5) erfolgen.

Die bei der Asbestanalytik zur Anwendung kommenden Normen und Richtlinien unterscheiden sich bezüglich der auswertenden Fläche und der zu wählenden Vergrößerung bei der Auswertung der Filterpräparate am REM. Eine Zusammenstellung ist der Tabelle 9 zu entnehmen.

Tabelle 9 Zusammenstellung der normativen Vorgaben für die Auswertung der Filterpräparate am REM

| | BIA-Methode 7487 | VDI-Richtlinie 3866 Blatt 5 | VDI-Richtlinie 3866 Blatt 5 Anhang B |
|---|-------------------------|---|--|
| Vergrößerung am REM, bei der die Auswertung erfolgt | 2000 | 50; 200; 1000; 2000 | 50; 200; 1000 |
| Untersuchte Filterfläche mm ² | 0,5 | 50-fach: 40 200-fach: 2,5 1000-fach: 0,15 2000-fach: 0,04 Summe 42,69 | 50-fach: 48 200-fach: 6 1000-fach: 3 Summe 57 |
| Anteil an der GesamtfILTERfläche* % | 0,13 | 11,2 | 15 |
| Nachweisgrenze gemäß Richtlinie Asbestfaser/Gew.-% | 0,008** | ≥1 | 0,001** |

*Für die Berechnung des Anteils an der GesamtfILTERfläche wurde ein Filter mit einem Durchmesser von 25 mm als Grundlage benutzt (belegte Filterfläche = 380 mm² bei einem belegten Filterdurchmesser von

22 mm). Dieser Filter wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens für die Herstellung der Filterpräparate eingesetzt.

**Als Nachweisgrenze wird die Anzahl von Fasern auf einem Filter angenommen, die aufgrund der stichprobenartigen Untersuchung der Filter bei einem Negativbefund im Rahmen einer Wiederholungsuntersuchung gefunden werden könnte (3 Fasern). Unter Annahme von Durchschnittswerten für die Fasergeometrie und die Dichte (3g/cm^3) kann eine Nachweisgrenze berechnet werden. Die angegebenen Werte sind den jeweiligen Normen entnommen.

Die Filterpräparate der BIA-Methode 7487 sind weniger belegt als die der VDI 3866 Blatt B Anhang B (ca. $0,2\text{ mg/cm}^2$ im Vergleich zu 2 bis 5 mg/cm^2)¹⁷. Selbst kleinere Fasern sind besser sichtbar, sie werden nicht durch größere Partikel überdeckt. Der quantitative Nachweis von Asbest erfolgte daher bevorzugt nach der BIA-Methode. Um den Einfluss der verschiedenen Filterbeladungen und der Vergrößerungen bei der Auswertung am REM zu zeigen, wurde für ein dotiertes Material die Auswertung gemäß BIA-Methode 7487 mit der gemäß VDI 3866 Blatt 5 Anhang verglichen. Die quantitative Auswertung erfolgte mindestens als Dreifachbestimmung, so dass auch eine Standardabweichung angegeben werden konnte. In den folgenden Tabellen sind die wesentlichen Ergebnisse der Asbestgehaltsbestimmungen aufgeführt.

Tabelle 10 Zusammenstellung der am REM quantitativ ausgewerteten Daten
Asbestgehaltsbestimmungen der dotierten Standardmaterialien incl. der auswertbaren Verdünnungsschritte bei der Standardherstellung

| Probenmaterial | Behandlung, Herstellung des Filterpräparates | Analysenmethode | Asbestgehalt in Gew.-% | Mittelwert in Gew.-% | s Gew.-% | S % |
|-----------------------------------|---|-------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------|-----------|
| Standard 1 | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung Suspensionsprobe | BIA Methode 7487 | 1,73 1,56 0,56 | 1,28 | 0,63 | 49 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung Suspensionsprobe | BIA Methode 7487 | 0,075 0,043 0,100 | 0,073 | 0,029 | 39 |
| Standard 1 (1:100 verdünnt)** | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung Suspensionsprobe | BIA Methode 7487 | <0,008*** <0,008*** 0,013 | 0,010*** | | |
| Standard 2 | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle | BIA Methode | 0,072* 0,064* | 0,066 | 0,048 | 73 |

¹⁷ 0,2 (BIA) und 2 bis 5 mg/cm^2 (VDI) sind die Vorgaben der Normen.

| | | | | | | |
|--|---|-------------|--------------------------------|--|--|--|
| | Säureaufbereitung Suspensionsprobe | 7487 | 0,090* 0,038* | | | |
|--|---|-------------|--------------------------------|--|--|--|

*Diese Werte sind bereits Mittelwerte von Dreifachbestimmungen.

** Großansatz a 100 g

***Die Bestimmungsgrenze ist der BIA-Methode entnommen. Der Mittelwert wurde mit der vollen Bestimmungsgrenze berechnet.

Fett hervorgehoben sind die Probenmaterialien, die für die Modifizierungen der Probenaufbereitung eingesetzt wurden.

Aus den Werten wird noch einmal deutlich, dass die Mischung trockener Materialien (gemahlene Asbestzementplatte und Rotbandgipsputz) nur in einem kleinen Ansatz (1 bis maximal 10g) zu einer dotierten Materialprobe (Standard 1 und Standard 1 (1:10 verdünnt)) geführt hat, die für die Arbeiten im Projekt einsetzbar war. Der Standard 2 wurde ähnlich wie ein Referenzmaterial (Homogenisieren der Asbestfasern in Aceton und danach Zugabe zu einer Wasser/Rotbandgipsmischung) hergestellt. So gelang es, 400 g relativ homogenes, dotiertes Material herzustellen.

Des Weiteren wurde bei den Materialproben, bei denen das Filterpräparat aus einer ungerührten und einer gerührten Suspension hergestellt wurde, der Asbestgehalt bestimmt. Basis war die dotierte Materialprobe Standard 1 (1:10 verdünnt).

Tabelle 11 Zusammenstellung der am REM quantitativ ausgewerteten Daten
Asbestgehaltsbestimmungen zur Bestimmung des Einflusses der Herstellung der Filterpräparate aus gerührten und ungerührten Suspensionsproben mit Variation der Salzsäure-Behandlungszeit im Ultraschallbad

| Probenmaterial | Behandlung, Herstellung des Filterpräparates | Analysen- methode | Asbest- gehalt in Gew.- % | Mittel- wert in Gew.- % | s Gew.- % | S % |
|---------------------------------|---|----------------------|------------------------------------|----------------------------------|-----------------|--------|
| Standard 1** (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung Suspensionsprobe | BIA Methode 7487 | 0,075 0,043 0,100 | 0,073 | 0,029 | 39 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung 5 Min Ultraschall Suspensionsprobe ungerührt | BIA Methode 7487 | 0,0317 0,0175 0,011 | 0,02 | 0,009 | 43 |

| Probenmaterial | Behandlung, Herstellung des Filterpräparates | Analysenmethode | Asbestgehalt in Gew.-% | Mittelwert in Gew.-% | s Gew.-% | S % |
|-------------------------------|---|---------------------|------------------------------------|----------------------|----------|-----|
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung 5 Min Ultraschall Suspensionsprobe ungerührt | BIA Methode 7487 | 0,0323 0,0621 < 0,008* | 0,034 | 0,022 | 65 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung 30 Min Ultraschall Suspensionsprobe ungerührt | BIA Methode 7487 | 0,0243 0,0268 0,0336 | 0,028 | 0,004 | 14 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung 30 Min Ultraschall Suspensionsprobe ungerührt | BIA Methode 7487 | 0,0610 0,0296 0,0124 | 0,034 | 0,020 | 59 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung 5 Min Ultraschall Suspensionsprobe gerührt | BIA Methode 7487 | 0,149 0,009 0,022 | 0,06 | 0,063 | 106 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung 5 Min Ultraschall Suspensionsprobe gerührt | BIA Methode 7487 | 0,174 <0,008* <0,008* | 0,063 | 0,078 | 123 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung 30 Min Ultraschall Suspensionsprobe gerührt | BIA Methode 7487 | 0,020 0,012 0,039 | 0,024 | 0,011 | 48 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung 30 Min Ultraschall Suspensionsprobe gerührt | BIA Methode 7487 | 0,008 0,029 0,072 | 0,036 | 0,027 | 72 |

*Die Mittelwertbestimmung erfolgte mit dem Wert der Bestimmungsgrenze.

**Ausgangsmaterial (zum Vergleich angegeben)

Bei den ausgewerteten REM-Aufnahmen (Abschnitt 5.3) waren kaum Unterschiede zwischen diesen Proben sichtbar. Generell liegen die bestimmten Asbestgehalte der

Materialien auch ungefähr in einer Größenordnung, wenngleich Tendenzen erkennbar sind.

Die lange Behandlungszeit im Ultraschallbad sowie die ungerührte Suspension führten zu etwas geringeren Asbestbefunden, allerdings mit der besseren Analysengenauigkeit (vgl. Tabelle 12). Es kann nicht ausgeschlossen werden, dass durch die längere Behandlung im Ultraschallbad Fasern so beeinflusst (ggf. vereinzelt) werden, so dass sie unter dem REM nicht mehr sichtbar sind.

Tabelle 12 Vergleich der Mittelwerte der Asbestgehalte
Einfluss der Herstellung der Filterpräparate aus gerührten und ungerührten
Suspensionsproben mit zusätzlicher Variation der Behandlungszeit im Ultraschallbad

| | Mittelwert 5 Minuten Ultraschallbehandlung | Mittelwert 30 Minuten Ultraschallbehandlung |
|---------------------|---|--|
| Asbestgehalt Gew.-% | 0,044 | 0,031 |
| s Gew.-% | 0,021 | 0,005 |
| S % | 47 | 19 |

| | Mittelwert Suspension gerührt | Mittelwert Suspension ungerührt |
|---------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Asbestgehalt Gew.-% | 0,046 | 0,029 |
| s Gew.-% | 0,019 | 0,007 |
| S % | 41 | 23 |

Die relativen Standardabweichungen schwankten extrem, sie lagen zwischen 14 und 120%. Insbesondere die beiden Befunde von 0,149 und 0,174 Gew.-% Asbest (rot gekennzeichnet in der Tabelle 11) sind auf vereinzelt größere Faserbündel (Abbildung 20) zurückzuführen. In den Parallelbestimmungen waren diese Faserbündel nicht sichtbar. Wie bereits im Abschnitt 5.3 diskutiert, beeinflussen derartige Faserbündel die Asbestgehalte und damit auch die Standardabweichung drastisch.

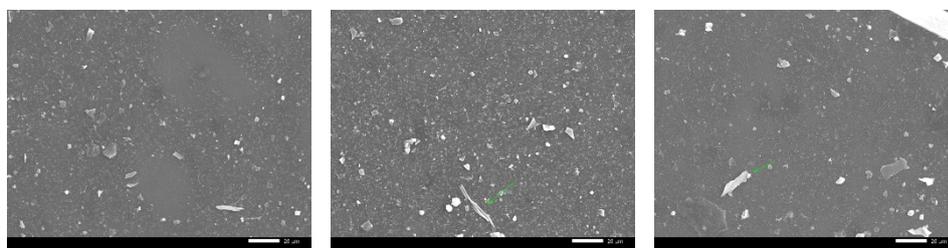


Abbildung 20 Faserbündel

Aus diesem Grund wurde versucht die Proben so zu zerkleinern, dass keine größeren Faserbündel mehr auf den Filtern liegen. Auch bei diesen Versuchen wurden alle Filterpräparate nicht nur visuell, sondern auch quantitativ ausgewertet.

Tabelle 13 Zusammenstellung der am REM quantitativ ausgewerteten Daten
Bestimmung des Einflusses der zusätzlichen Zerkleinerungsschritte

| Probenmaterial | Behandlung, Herstellung des Filterpräparates | Analysen- methode | Asbestgehalt in Gew.-% | Mittelwert in Gew.-% |
|--------------------------------|---|----------------------|--|-------------------------|
| Standard 1* (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle | BIA Methode 7487 | 0,075 0,043 0,100 | 0,073 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Mörsern | BIA Methode 7487 | 0,009 <0,008 <0,008 <0,008 0,012 | 0,009 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Zerkleinern Mörsern Tempern 450°C/8h Zerkleinern Mörsern | BIA Methode 7487 | 0,008 <0,008 <0,008 <0,008 <0,008 | 0,008 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Zerkleinern Mörsern Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle | BIA Methode 7487 | <0,008 <0,008 <0,008 <0,008 <0,008 | <0,008 |

*Ausgangsmaterial (zum Vergleich angegeben)

Je mehr das Probenmaterial mechanisch bearbeitet, d.h. zerkleinert wird, desto mehr Asbestfasern werden auch so aufgerieben, dass sie im Extremfall nicht mehr nachweisbar sind, sie sind im REM nicht mehr sichtbar. Das Optimum zwischen Zerkleinerung, Belegung des Filterpräparates und quantitativem Asbestnachweis konnte im Rahmen des Vorhabens nicht ermittelt werden. Es fehlte dazu eine belastete Asbestputzprobe aus einer Erkundung oder Sanierung. Kein Unternehmen des PA sah sich in der Lage, so ein Material während der Projektlaufzeit zur Verfügung stellen.

Auch mit der VDI 3866 Blatt 5 Anhang B wurden Filterpräparate ausgewertet und mit denen, die nach der BIA-Methode 7487 ausgewertet worden sind, verglichen. Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse anhand der Materialprobe Standard 1 (1:10 verdünnt). Die Asbestgehalte liegen ungefähr in einer Größenordnung.

Tabelle 14 Vergleich der Asbestgehalte der Probe Standard 1 (1:10 verdünnt) bei der Auswertung nach BIA-Methode 7487 und nach VDI 3866 Blatt 5 Anhang B

| Probenmaterial | Behandlung, Herstellung des Filterpräparates | Analysenmethode | Asbestgehalt in Gew.-% | Mittelwert in Gew.-% | s Gew.-% | S % |
|----------------------------|---|----------------------------|-------------------------|----------------------|----------|-----|
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Kugelmühle Säureaufbereitung Suspensionsprobe | BIA Methode 7487 | 0,075 0,043 0,100 | 0,073 | 0,029 | 39 |
| Standard 1 (1:10 verdünnt) | Tempern 450°C/8h Zerkleinern Zerreiben im Tiegel Säureaufbereitung | VDI 3866 Blatt 5, Anhang B | 0,024 0,01 0,103 | 0,046 | 0,050 | 110 |

Aufgrund der hohen Standardabweichung von 110% bei der Auswertung gemäß VDI 3866 Blatt 5 Anhang B wurden die Unterschiede zwischen den Methoden näher betrachtet.

Gemäß VDI 3866 Blatt 5 Anhang B sind die Bildfelder eines Filterpräparates bei drei verschiedenen Vergrößerungen am REM auszuwerten (Tabelle 15).

Tabelle 15 VDI 3866 Blatt 5 Anhang B, Zusammenhang von Filterfläche und Vergrößerung am REM

| Vergrößerung am REM | Zu untersuchende Filterfläche mm ² | Prozentualer Anteil an der GesamtfILTERfläche % |
|---------------------|---|---|
| 50 | 48 | 12,6 |
| 200 | 6 | 1,6 |
| 1000 | 3 | 0,8 |

Durch die mechanische Beanspruchung (Kugelmühle und / oder Zerreiben) des Probenmaterials werden die Asbestfasern gebrochen und vereinzelt. Auf den meisten Filtern liegen eher kleine Fasern mit einem geringen Faserdurchmesser vor. Faserbündel und Faserbüschel sind nur an einzelnen Stellen zu finden. Die kleineren Fasern sind erst ab einer Vergrößerung von 1000 gut sichtbar und damit auswertbar. Bei der VDI Richtlinie 3866 Blatt 5 Anhang wird zwar eine relativ große Filterfläche (57 mm², entspricht 15% der GesamtfILTERfläche) zur Auswertung herangezogen, die Fasern sind aber eigentlich nur in der Fläche der 1000-fachen Vergrößerung, 3 mm² (0,8% der

Gesamtfilterfläche) detektierbar. In einer zusätzlichen Versuchsreihe wurde an drei Filterpräparaten die Fläche bei 1000-facher Vergrößerung viermal variiert. Begonnen wurde mit 0,5 mm² (der Filterfläche, die gemäß BIA ausgewertet wird), dann 1,1 mm², 3 mm² und 30 mm².

Die Abbildung 21 zeigt typische der ausgewerteten Bildfelder und in der Tabelle 16 sind die Asbestkonzentrationen, die bei den verschiedenen Filterflächen bestimmt wurden, wiedergegeben. In Anbetracht dessen, dass die Fasern heterogen verteilt sind und große Fasern den Asbestgehalt überproportional beeinflussen, liegen bei Beachtung der Standardabweichung die Asbestkonzentrationen ungefähr in einer Größenordnung. Der Gesamtmittelwert liegt bei 0,07 Gew.-%, dem Asbestgehalt, der gemäß BIA-Methode 7487 ermittelt wurde.

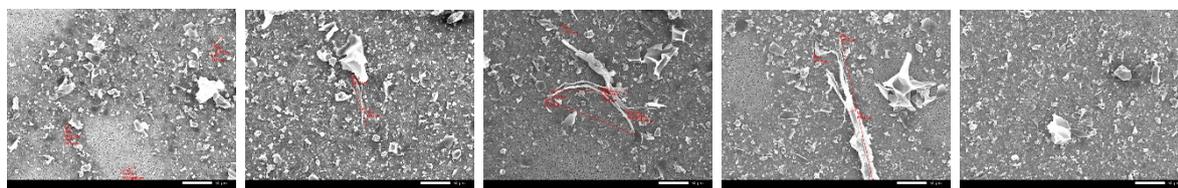


Abbildung 21 Verschiedene Bildfelder bei 1000-facher Vergrößerung am REM

Tabelle 16 Asbestgehalte der Filterpräparate bei Variation der ausgewerteten Filterfläche

| Untersuchte Filterfläche bei einer 1000-fachen Vergrößerung | Asbestgehalt in Gew.-% | Mittelwert in Gew.-% | s Gew.-% | S % |
|---|---|----------------------|--------------|------------|
| 0,5 mm ² | 0,005 0,517 0,0135 | 0,023 | 0,025 | 110 |
| 1,1 mm ² | 0,013 0,026 0,362 | 0,134 | 0,198 | 150 |
| 3 mm² | 0,024 0,01 0,103 | 0,046 | 0,050 | 110 |
| 30 mm ² | 0,08 0,086 0,054 | 0,0733 | 0,017 | 23 |

Optimal ist die Untersuchung von 30 Bildfeldern. Hier liegt die relative Standardabweichung nur bei 23%, einem für die Asbestanalytik sehr niedrigen Wert. Allerdings

erhöht sich bei der Auswertung nicht nur die Filterfläche um den Faktor 10, es erhöht sich auch der für die Auswertung notwendige Zeitbedarf ungefähr um den gleichen Faktor. Für ein Untersuchungslabor ist dieser Aufwand nicht vertretbar. Der Marktpreis für die Untersuchung einer Materialprobe liegt zwischen ca. 100 und 300 €, damit ist die Abdeckung des zusätzlich erforderlichen Personalaufwandes nicht möglich.

5.5. Arbeitspaket 6: Validierung der erarbeiteten Verfahren

Die entwickelten Probennahme- und Probenvorbereitungsverfahren sollten in Zusammenarbeit mit den Anwendern sowie den Richtlinien- und Normungsgremien standardisiert und in Arbeitsanweisungen niedergelegt werden. Es war vorgesehen, dass die Modifikationen der Probenvorbereitungsverfahren analytisch validiert werden sollten. Nach Verbreitung der Ergebnisse über den PA sollten Vergleichsversuchen zur Bestimmung von Verfahrenskenndaten durchgeführt werden.

Im Rahmen des Vorhabens gelang durch Unterstützung des PA die Teilnahme an drei Probenahmen, wobei eine der Probenahmen im IUTA stattfand. Die bei diesen Probenahmen genommenen Materialproben waren im Wesentlichen Putze und Spachtelmassen. In keiner der Materialproben konnte Asbest nachgewiesen werden. Die zur Probenahme eingesetzten Verfahren waren zwar in Abhängigkeit des Ingenieurbüros (Mitglied des PAs) etwas modifiziert, insgesamt aber einfach, so dass nach einer fachlichen Ein- und Unterweisung Proben selbstständig entnommen werden konnten. Die Probenahme erfolgte nach den vorgegebenen emissionsarmen Verfahren gemäß BIA. Nicht die Probenahme selbst (Entnahme von Materialien wie Putze, Spachtelmassen und Fußbodenbeläge), sondern die Festlegung der Probenahmepunkte mit der Erstellung eines fundierten Erkundungs- und Untersuchungsrahmens sind die essentiellen Arbeitsschritte, die zwingend einer Fachkompetenz bedürfen und daher nur von sachkundigem Personal ausgeführt werden sollten.

Daher bestand kein methodischer Optimierungsbedarf zur Durchführung der Probenahme.

Der Probenanteil von Putzen und Spachtelmassen liegt bei ungefähr 60% in den Laboren und Untersuchungsstellen. Der positive Asbestbefund in diesen Materialien

liegt unter 20%, was vielfältige Ursachen haben könnte. Die zulässige Herstellung von Mischproben aus 5 Einzelproben, die eine Verdünnung darstellt, könnte eine Ursache sein. Aus diesem Grund sind reproduzierbare Methoden zur Anreicherung von Asbest für ein Labor essentiell. Die VDI 3866 Blatt 5 Anhang B lässt bei den Vorgaben dem Labor einen weiten Spielraum. Aus diesem Grund wurden die Anreicherungsverfahren für Asbestfasern, wie sie für Spachtelmassen und Putze üblich sind, intensiv getestet worden. Zum Teil wurden so aggressive Aufschluss- oder Zerkleinerungsmethoden gewählt, dass selbst eine Zerstörung der Asbestfasern erreicht wurde.

Mit den durchgeführten Arbeiten anhand des dotierten Probenmaterials (Standard 2) konnte gezeigt werden, dass ein weiter Variationsbereich bei den verschiedenen Schritten der Probenvorbereitung ohne nennenswerten Einfluss auf den Nachweis der Asbestfasern möglich ist. Allerdings konnten alle Versuche nur am dotierten Material (Standard 2) durchgeführt werden. Eine Übertragung auf reale Probematerialien war innerhalb des Projektzeitraumes nicht möglich.

Die relativ hohe Standardabweichung, die während des Vorhabens bei den Asbestanalysen bestimmt wurde, ist typisch für Asbestanalysen. Die Standardabweichung sinkt, wenn die Filterpräparate relativ homogen und dementsprechend dünn belegt sind (BIA-Methode 7487), die Fasern müssen vereinzelt, nicht durch Partikel überdeckt und damit gut sichtbar sein. Dies ist durch eine optimale Zerkleinerung des Materials erreichbar. Die dotierten Standardmaterialien unterlagen bereits bei der Herstellung verschiedenen Zerkleinerungsschritten, so dass eine weitere Zerkleinerung zwar zu einer Homogenisierung der Fasern auf den Filtern beitrug, die ermittelten Asbestgehalte im Vergleich zur Ausgangsprobe viel zu gering waren. Die Arbeiten zur Modifikation der Zerkleinerung des Probenmaterials konnten nicht abgeschlossen werden. Da seitens der PA-Teilnehmer kein asbesthaltiges Material zur Verfügung gestellt wurde, war es nicht möglich, die erarbeiteten augenscheinlich positiv auf die Anreicherung der Fasern wirkenden Arbeitsschritte, wie die Zerkleinerung, die längere Extraktion im Ultraschallbad und die Herstellung des Filterpräparates aus einer gerührten Suspension, zu validieren.

Eine neue Arbeitsanweisung konnte daher nicht formuliert werden.

Alle vorliegenden Ergebnisse wurden auf der Sitzung des PA präsentiert. Die teilnehmenden Laboratorien nutzen die Ergebnisse direkt für Schulungen und

Unterweisungen des Laborpersonals, so dass eine direkte Umsetzung der Ergebnisse in die Praxis erfolgen konnte.

6. Darstellung des wissenschaftlich-technischen und wirtschaftlichen Nutzens der erzielten Ergebnisse insbesondere für KMU sowie ihres innovativen Beitrags und ihrer industriellen Anwendungsmöglichkeiten

Im Rahmen des IGF-Projektes wurde intensiv an Probenvorbereitungs- und Analysenverfahren für die Untersuchung flächiger Asbestbelastungen gearbeitet.

Flächige asbesthaltige Materialien, das sind Putze und Spachtelmassen, die den größten Anteil an den Untersuchungsmaterialien in den Laboratorien darstellen. Die zu erwartenden Asbestgehalte sind gering, der Anspruch an die Laboranalyse dementsprechend hoch. Die einschlägige Normung ist bzgl. der auszuwählenden Arbeitsschritte relativ ungenau, den Laboratorien wird die Suche nach den optimalen Arbeitsbedingungen an vielen Stellen selbst überlassen.

Aus diesem Grund wurden bekannte aber auch neue Wege zur Probenpräparation zusammengestellt und über einen weiten Bereich getestet. Die erzielten Ergebnisse zeigen insbesondere den kleinen und mittelständigen Unternehmen, die sich mit der Erkundung und dem Nachweis von Asbest beschäftigen, welche Möglichkeiten sie im Labor ausschöpfen können, welche Grenzen aber auch zu beachten sind.

Insbesondere die Zerkleinerung ist der wesentliche Arbeitsschritt der Probenpräparation. Diesbezüglich sollten weiterführende Untersuchungen durchgeführt werden. Dabei ist entscheidend, dass ein breites Materialspektrum zusammengetragen und untersucht wird. Diese Arbeiten sollten unter Mitwirkung des GVSS und des VDI erfolgen, da so sichergestellt ist, dass sowohl auf das notwendige Materialspektrum zugegriffen werden kann, als auch die Ergebnisse direkt in die Überarbeitung der Normen und Richtlinien einfließen.

Die zusammengestellten Ergebnisse wurden den teilnehmenden Unternehmen des PA präsentiert und flossen direkt in Schulungs- und Unterweisungsunterlagen der betreffenden Unternehmen ein.

Insgesamt ergibt sich aus den Ergebnissen des Forschungsvorhaben ein hoher Nutzen für die einschlägige Normung und damit auch die klein- und mittelständischen Unternehmen, die sich als Ingenieurbüros mit der Erkundung und dem Nachweis von Asbest aus Baustoffen befassen. Des Weiteren ist eine Übernahme der Ergebnisse in die Laborroutine der verschiedenen Laboratorien und Untersuchungsstellen möglich.

Die durchgeführten Arbeiten tragen wesentlich zur Modifizierung und Optimierung der Untersuchungsmethoden bei.

Damit tragen die Ergebnisse wesentlich zur Sicherung von bestehenden bzw. zur Generierung neuer Arbeitsplätze bei deutschen KMU bei.

7. Fortgeschriebener Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

7.1. Information der Unternehmen des Projektbegleitenden Ausschusses

Die Mehrheit der im Projektbegleitenden Ausschuss vertretenen Mitglieder entstammen der Entsorgungswirtschaft, aus Ingenieurbüros sowie Laboratorien und Untersuchungsstellen. Während der Projektlaufzeit wurden zwei Sitzungen des Projektbegleitenden Ausschusses durchgeführt.

- 1. PA Sitzung 15.05.2017
- 2. PA Sitzung 25.11.2020

Darüber hinaus, gab es mit einzelnen Unternehmen des PA einen sehr regen Informations- und Diskussionsaustausch.

Da IUTA nicht als Sachverständiger gemäß TRGS 519 tätig ist, wurde insbesondere zur Erkundung und Probenahme mit einzelnen Unternehmen des PA sehr eng zusammengearbeitet. Des Weiteren haben sowohl das Hygieneinstitut Gelsenkirchen als auch die GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH ihre Laboratorien für Projektarbeiten geöffnet. So gelangen Einblicke in die Probenvorbereitung und in die spezifischen Modifikationen und Optimierungen je Untersuchungsstelle. Diese engen Kontakte zu den Unternehmen des PA ermöglichten intensive Diskussionen auch unabhängig von den Sitzungen des PA.

7.2. Gezielte Ansprache potenziell interessierter Unternehmen auch außerhalb des PA

Sowohl während der Projektlaufzeit als auch nach Abschluss des Projektes wurden bzw. werden wichtige Fachtagungen in Deutschland genutzt, weitere potenziell interessierte Unternehmen über Projektinhalte und Projektergebnisse zu informieren.

7.3. Auflistung aller durchgeführten sowie über die Projektlaufzeit hinaus geplanten Transfermaßnahmen

Verschiedene der geplanten Transfermaßnahmen konnten nicht wie vorgesehen durchgeführt werden. In der Tabelle 17 sind die geplanten Transfermaßnahmen angegeben. Rot markiert sind alle Maßnahmen, die nicht stattfanden, schwarz/blau markiert sind alle Maßnahmen, die durchgeführt wurden.

Tabelle 17: Ergebnistransfer in die Wirtschaft (während/nach der Laufzeit):
Geplante spezifische Transfermaßnahmen während des Vorhabens

| Maßnahme | Ziel | Ort / Rahmen | Datum / Zeitraum |
|--|--|-------------------------|------------------------------------|
| Beratung von KMU | Information von Unternehmen außerhalb des PA; Akquisition von Probenmaterial; Unterstützung bei Probennahmen und Begehungen Intensive Kontakte zu <ul style="list-style-type: none"> • GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH • TauW Umwelt • Hygieneinstitut Gelsenkirchen • Arcadis (Essen) | diverse | kontinuierlich |
| Information der Normungs- gremien, Verbände und Aufsichtsbehö- rden | Information der als Multiplikatoren dienenden Gremien, Input für Richtlinien etc. durch Präsentation und Diskussion der Ergebnisse auf Arbeitstreffen und Sitzungen Diskussionen mit dem VDI und der BAuA | diverse | kontinuierlich |
| Studienarbei- ten zum Forschungs- vorhaben | Vermitteln der Thematik sowie der wissenschaftlichen Erkenntnisse und Methoden in der Asbestanalytik durch Beteiligung am Forschungsprojekt | Duisburg/ Essen | kontinuierlich |
| Erste Sitzung des PA | Vorstellung des Projektthemas und der Projektziele; Konkretisierung der Problemstellung; Akquisition von Probenmaterial; Planung von Probennahmen und Begehungen in Kooperation mit KMU | Duisburg | 15.05.2017 |
| Vortrag | 25. Forum Asbest und andere Schadstoffe in technischen Anlagen und Bauwerken; Erfahrungsaustausch mit 2-300 Teilnehmern über den aktuellen Stand der Asbestbewertung in Normen und Recht und Praxiserfahrungen | Essen | Voraus. II. oder III. Quartal 2017 |
| Vortrag | 34. Internationaler Kongress für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin mit 60 | Düsseldorf | III. Quartal 2017 |

| | | | |
|-------------------------------------|--|---|------------------------------------|
| | Veranstaltungsreihen, 350-Referenten und ca. 5.000 Teilnehmern, halbtägiger Schwerpunkt Asbest in 2015 | | |
| Posterbeitrag | A + A 2017 internationale Leitmesse für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin mit 1.887 Ausstellern und ca. 65.000 Besuchern in 2015 | Düsseldorf | III. Quartal 2017 |
| Zweite Sitzung des PA | Vorstellung und Diskussion der erzielten Projektergebnisse; Organisation von Sanierungsbegleitenden Probennahmen und Messungen, Vorbereitung der Vergleichsmessungen | Duisburg | IV. Quartal 2017 |
| Vortrag | 5. DECONex 2018 Integrative Spezialmesse und Kongress rund um das Schadstoffmanagement und die Altlastensanierung in Kombination mit der DEUBAUKOM und der Spezialmesse für Infrastruktur InfraTech | Messe Essen | 10.-12. Jan. 2018 |
| Vortrag | Fachtagung Arbeitsschutz 2017 mit aktuellen Themen in Kombination mit der Umwelt Fachtagung | Hamburg | Vorauss. II. Quartal 2018 |
| Dritte Sitzung des PA | Vorstellung und Diskussion der erzielten Projektergebnisse; Organisation der Vergleichsmessungen; Vorbereitung gemeinsamer Publikationen | Essen | Voraus. II. oder III. Quartal 2018 |
| Vortrag | Deutscher Arbeitsschutz Kongress und Ausstellung, Fachforum für die betriebliche Sicherheit aktuelle Problemstellungen, konkrete Handlungsanweisungen und Lösungsansätze für die betriebliche Sicherheit und Gesundheit. | Bad Nauheim b. Frankfurt/ Main | Vorauss. III. Quartal 2018 |
| Vortrag | 35. Internationaler Kongress für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, ca. 5.000 Teilnehmer | Düsseldorf | IV. Quartal 2018 |
| Posterbeitrag | A + A 2018 internationale Leitmesse für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin mit 1.887 Ausstellern und ca. 65.000 Besuchern in 2015 | Düsseldorf | IV. Quartal 2018 |
| Vierte Zweite Sitzung des PA | Abschlusspräsentation und Diskussion aller erzielten Ergebnisse; Vorbereitung des Abschlussberichtes, Maßnahmen zur Methodendvalidierung | Duisburg | 25.11.2020 |

Kurz nach Beginn im Juni 2017 gab es gravierende personelle Änderungen im IUTA. Sowohl die Projektleitung als auch die Projektbearbeitung mussten personell neu

besetzt werden. Dies führte leider auch zu einem entscheidenden Kompetenz- und Wissensverlust. Insbesondere für die Probenaufarbeitung und Analytik fehlten entsprechende Mitarbeiter. Unter Mitwirkung von Unternehmen des PA wurde versucht, die Lücke zu schließen. Die Projektbearbeitung ruhte in dieser Zeit (2018), die entsprechenden Anträge liegen Ihnen vor. Nach Neueinstellungen und einer umfangreichen Einarbeitung konnte das Projekt ab Anfang 2019 fortgesetzt werden. Die für 2017 und 2018 geplanten Transfermaßnahmen erfolgten aus diesem Grund nicht. Dennoch wurde auch diese Zeit genutzt, um Tagungen und Kongresse zu besuchen und erste Kontakte aufzubauen (26. Asbestforum, November 2017 in Essen und DCONex Januar 2019 in Essen). Zusätzlich konnte die Zeit genutzt werden, mit Behörden (BAuA) das Thema Asbest und die anstehenden Entwicklungen (Erarbeitung der Leitlinie für die Asbesterkundung^{xlvi}) zu erörtern.

Die Corona-Krise bewirkte zudem, dass viele Messen, Tagungen und Kongresse 2020 nicht stattfanden, zunächst verschoben bzw. komplett abgesagt wurden. Die Teilnahme an Messen, Tagungen und Kongressen ist auch für 2021 noch ungewiss.

Die Ergebnisse des Vorhabens werden zusätzlich zu den geplanten Transfermaßnahmen auf der Homepage des IUTA sowie im nächsten Jahresbericht einem breiten Publikum präsentiert.

Geplante spezifische Transfermaßnahmen nach Abschluss des Vorhabens

| Maßnahme | Ziel | Ort | Datum/ Zeitraum |
|--|--|--------------------|----------------------------|
| Beratung von KMU | Information von Unternehmen zur Problemstellung und den im Projekt erarbeiteten Lösungen | diverse | kontinuierlich |
| Veröffentlichung der Ergebnisse | Über die Homepage des IUTA ist ein Zugriff auf die Ergebnisse möglich. Im Tätigkeitsbericht werden die Ergebnisse ausführlich dargestellt und so einem breiten Publikum präsentiert. | | |
| Veröffentlichung in Fachzeitschriften | Veröffentlichung der entwickelten Analysenverfahren und Ergebnisse in u.a. GIT, LABO, B+B BAUEN IM BESTAND, ASU Arbeits-, Sozial und Umweltmedizin u.a. | --- | kontinuierlich |
| Studienarbeiten zum Forschungs-vorhaben | Vermitteln der Thematik sowie der wissenschaftlichen Erkenntnisse und Methoden in der Asbestanalytik durch Beteiligung am Forschungsprojekt | Duisburg/ Essen | kontinuierlich |

| | | | |
|--|--|----------------------------|----------------|
| Information der Normungsgremien, Verbände und Aufsichtsbehörden | Information der verschiedenen Gremien, Input für Richtlinien etc. durch Präsentation und Diskussion der Ergebnisse auf Arbeitstreffen und Sitzungen Bei der Präsentation der Ergebnisse auf der Sitzung des PA im November 2020 nahm mit Herr Hohlweck vom GVSS auch ein Mitglied des entsprechenden VDI-Normungsausschusses teil, sodass die Ergebnisse direkt bei der Normung berücksichtigt werden können. | diverse | kontinuierlich |
| Akademische Ausbildung | Wissensvermittlung und Einbringung der Forschungsergebnisse in die Lehrveranstaltungen der Universität Duisburg-Essen und der Hochschule Niederrhein | Duisburg / Essen / Krefeld | kontinuierlich |

7.4. Einschätzung zur Realisierbarkeit des vorgeschlagenen und aktualisierten Transferkonzepts

In den vorangegangenen Unterkapiteln wurden die Transfermaßnahmen benannt. Hieraus geht hervor, dass seitens der Forschungseinrichtung zahlreiche Maßnahmen unternommen wurden und auch zukünftig unternommen werden, um eine breite Öffentlichkeit zu erreichen. Das Institut für Energie- und Umwelttechnik e. V. verfügt über ein großes interdisziplinäres wissenschaftliches Netzwerk und arbeitet sowohl im Rahmen von Innovationsprogrammen als auch der Normungstätigkeit im DIN eng mit kleinen und mittleren Unternehmen zusammen.

Aufgrund der teils langjährigen Erfahrungen und Arbeiten in Kooperation mit KMU besteht auch hier ein ausgezeichnetes Netzwerk, das einen optimalen Wissenstransfer in die Wirtschaft ermöglicht. Die weitere Realisierbarkeit des Transferplans wird als hoch eingeschätzt

8. Verwendung der Zuwendung

8.1. Forschungseinrichtung 1 (IUTA e. V.)

Der Personaleinsatz des wissenschaftlichen Personals war angemessen und notwendig. Statt der im Antrag geplanten HPA-A 24,3 Personenmonate wurden für das wissenschaftliche Personal 18,6 Personenmonate genutzt.

Die verbleibenden 5,7 Personenmonate wurden aufgrund der umfangreichen Arbeiten im Labor zugunsten eines technischen Mitarbeiters (HPA-C) umgewidmet.

Aufwendungen für Geräte oder Leistungen Dritter wurden nicht beantragt.

8.2. Erläuterung der Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die von den Forschungseinrichtungen im Rahmen des Projekts durchgeführten Arbeiten lassen sich den beantragten Arbeitspaketen direkt zuordnen und waren zum Erreichen des Projektziels notwendig und angemessen.

9. Danksagung

Das Forschungsvorhaben IGF-Nr. 19402 N der Forschungsvereinigung Institut für Energie- und Umwelttechnik, wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Den Mitgliedern des Projektbegleitenden Ausschusses danken wir für die vielen intensiven und konstruktiven Diskussionen sowie die intensive Unterstützung bei der Bearbeitung des Vorhabens, die zum Gelingen des vorliegenden Forschungsvorhabens wesentlich beigetragen haben.

Ein besonderer Dank geht an die GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH, Niederlassung Mönchengladbach, die nach personellen und organisatorischen Umstrukturierungen im IUTA, die eigenen Laborräume und Messgeräte für die Durchführung des Vorhabens zur Verfügung gestellt hat. Nach einer intensiven Einarbeitung der IUTA-Mitarbeiter in die Asbestroutineanalytik konnten alle durchgeführten Laboruntersuchungen in einem für die Asbestanalytik akkreditierten Routinelabor durchgeführt werden, was die Überführung der Ergebnisse in die Praxis erleichtert. Besonderer Dank gilt Herrn Dr. Obeloer, der mit seiner besonderen Sachkenntnis alle Bearbeitungsschritte eng begleitet hat. Sein Team hat die durchgeführten Analysen auszugsweise geprüft.

Des Weiteren danken wir dem Unternehmen Tauw GmbH (Moers) und GBA Gesellschaft für Bioanalytik mbH Mönchengladbach für die Möglichkeiten der Begleitung bei Probenahmen in öffentlichen Gebäuden. Hervorheben möchten wir auch die Unterstützung durch das Hygieneinstitut Gelsenkirchen, dass den die IUTA-Mitarbeiter die eigene Vorgehensweise der Asbestanalytik präsentierte und vor Fragestellungen und Diskussionen zur Verfügung stand.

10. Durchführende Forschungsstelle

Forschungsstelle: Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA)
Bliersheimer Straße 58-60
47229 Duisburg

Leiter der Forschungsstelle: Prof. Dr.-Ing. Dieter Bathen
Tel.: 02065-418-0
e-Mail: bathen@iuta.de

Projektleiter: Dr. Christine Kube
Tel.: 02065-418-213
e-Mail: kube@iuta.de

11. Literatur

ⁱ BAuA, Nationales Asbestprofil 2020,

https://www.baua.de/DE/Angebote/Publikationen/Berichte/Gd80-3.pdf?__blob=publicationFile&v=7

ⁱⁱ Bonner, A.; Asbestexpositionen bei Tätigkeiten an Putzen, Spachtelmassen und Fliesenklebern; Ergebnisse und Erfahrungen DGUV Messprogramm. Vortrag zum 26. Forum Asbest, Essen 2017

ⁱⁱⁱ Fischer, K.; Asbest lauert dort, wo man ihn nie vermuten würde. Die Welt. 21.12.2015. <http://www.welt.de/gesundheit/article150200432/Asbest-lauert-dort-wo-man-ihn-nie-vermuten-wuerde.html>

^{iv} Gesamtdokumentation zum Nationalen Asbestdialog, herausgegeben von BMAS und BMUB, 2018

^v VERORDNUNG (EG) Nr. 1272/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES Anhang VI Teile 1 - 3 - in berichtigter Fassung vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen

^{vi} RICHTLINIE 2009/161/EU DER KOMMISSION vom 17. Dezember 2009 zur Festlegung einer dritten Liste von Arbeitsplatz-Richtgrenzwerten in Durchführung der Richtlinie 98/24/EG des Rates und zur Änderung der Richtlinie 2000/39/EG

^{vii} RICHTLINIE 98/24/EG DES RATES vom 7. April 1998 zum Schutz von Gesundheit und Sicherheit der Arbeitnehmer vor der Gefährdung durch chemische Arbeitsstoffe bei der Arbeit

^{viii} RICHTLINIE 2004/37/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 29. April 2004 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit und

^{ix} RICHTLINIE 2009/148/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 30. November 2009 über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Asbest am Arbeitsplatz

^x Mitteilung der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 23: Vollzugshilfe zur Entsorgung asbesthaltiger Abfälle. Überarbeitung: Stand Juni 2015. https://www.laga-online.de/documents/m23_final_juni_2015_2_1517834576.pdf

^{xi} VDI/GVSS-Diskussionspapier Verein Deutscher Ingenieure e.V., Gesamtverband Schadstoffsanierung e.V. Handlungsfelder: Leitfaden zur Erkundung asbesthaltige Putze, Spachtelmassen und Fliesenkleber in Gebäuden - Diskussionspapier zu Erkundung, Bewertung und Sanierung, Juni 2015, Beuth Verlag, Berlin

^{xii} A. Berg: Asbesthaltige Spachtelmassen – ein flächendeckendes Problem. - Vortrag am 08.11.2011, VDI Technikforum in Heidelberg. <http://www.dr-berg-gmbh.de/vortraege/>

^{xiii} Fachkonferenz 18.06.2015 in Essen: Asbest in Spachtelmassen, Putzen und Fliesenklebern. <http://www.gesamtverband-schadstoff.de/presse-und-news/fachkonferenz-180615-in-essenbrasbest-in-spachtelmassen-putzen-und-fliesenklebern.html>

^{xiv} O. Dünger: Das im Dunkeln sieht man nicht. B+B Bauen im Bestand Heft 6/2013 Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln 2013

^{xv} S. Johannsen: Asbest in Putzen, Spachtelmassen, Mörtel, Klebern und Farben in Gebäuden: Fachgerechte Sanierung von Handwerkern erforderlich. sifa-news 10.07.2017. <https://www.sifa-news.de/news/arbeitsschutzorganisation/3445-asbest-in-putzen-spachtelmassen-moertel-klebern-und-farben-in-gebaeuden-fachgerechte-sanierung-von-handwerkern-erforderlich>

^{xvi} H.-D. Bossemeyer: Wie sich Schadstoffe im Baubestand zu erkennen geben. DCONex Kongress 13.-15. Januar 2016, Essen

^{xvii} B. Sedat: Workshop zur GVSS/VDI-Veröffentlichung „Asbesthaltige Putze, Spachtelmassen und Fliesenkleber in Gebäuden - Diskussionspapier zur Erkundung, Bewertung und Sanierung“. DCONex Kongress 13.-15. Januar 2016, Essen

^{xviii} J. Blechschmidt. Weniger Asbest geht nicht – Notwendigkeiten zur Sanierung (nicht) asbesthaltiger Fassadenfarben. DCONex Kongress 13.-15. Januar 2016, Essen

-
- ^{xix} Dr. A. Berg: Probennahme bei stark staubenden Arbeiten. 22. Asbest Forum, 14.11.2012, Essen. <http://www.dr-berg-gmbh.de/vortraege/>
- ^{xx} SUVA Fact-Sheet Factsheet Nr. 33067. Bohren durch Platten mit asbesthaltigem Kleber und durch asbesthaltige Kunststoffbeläge. Stand: Juli 2013
- ^{xxi} H.J. Bossenmayer, H.P. Schumm, R. Tepasse (Hrsg.). Asbest-Handbuch: Ergänzbare Leitfaden für die Sanierungspraxis, 1995, Register. 0110, S.16, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- ^{xxii} ISO 22262-2:2014-01 Air quality - Bulk materials, Part 2: Quantitative determination of asbestos by gravimetric and microscopical methods
- ^{xxiii} VDI 3866 Blatt 5:2017-06, Bestimmung von Asbest in technischen Produkten, Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren
- ^{xxiv} Verfahren zur analytischen Bestimmung geringer Massengehalte von Asbestfasern in Pulvern, Pudern und Stäuben mit REM/EDX (Kennzahl 7487). In: BIA-Arbeitsmappe - Messung von Gefahrstoffen, Loseblatt-Ausgabe, 18. Lfg. IV/97, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
- ^{xxv} Verfahren zur analytischen Bestimmung geringer Massengehalte von Asbestfasern in Pulvern, Pudern und Stäuben mit REM/EDX (Kennzahl 7487). In: BIA-Arbeitsmappe - Messung von Gefahrstoffen, Loseblatt-Ausgabe, 18. Lfg. IV/97, Erich Schmidt Verlag, Bielefeld
- ^{xxvi} VDI/GVSS-Diskussionspapier Verein Deutscher Ingenieure e.V., Gesamtverband Schadstoffsanierung e.V. Handlungsfelder: Leitfaden zur Erkundung asbesthaltige Putze, Spachtelmassen und Fliesenkleber in Gebäuden - Diskussionspapier zu Erkundung, Bewertung und Sanierung, Juni 2015, Beuth Verlag, Berlin
- ^{xxvii} VDI 6202 Blatt 3E:2019-10, Schadstoffbelastete bauliche und technische Anlagen Asbest Erkundung und Bewertung VDI 6202-3:2019-10 „Schadstoffbelastete bauliche und technische Anlagen“
- ^{xxviii} Kessel, M.; VDI-Richtlinie 6202 Blatt 3 – Asbest, DCONex 2019, 30.1.2019, Essen

^{xxix} Kessel, M., VDI 6202 Blatt 3 (Asbest) –Grundlagen und Regeluntersuchungsumfang, Forum Asbest und andere Schadstoffe in technischen Anlagen und Bauwerken 29. Erfahrungsaustausch 2020 und Weiterbildung für Sachkundige gemäß TRGS 519 5./6. November 2020, Essen

^{xxx} <https://mekon.de/portfolio-leistungen/beschichtung-sanierung-von-lueftungsanlagen-kanaelen-und-rohren/beschichtung-sanierung-von-asbestkanaelen-rohren/>

^{xxxi} Bossemeyer, H.-D., Dolata, S., Schubert, U. Zwiener, G., Schadstoffe im Baubestand, 2. erweiterte und aktualisierte Auflage Verlagsgesellschaft Rudolf-Müller GmbH & Co KG, 2019

^{xxxii} Kessel, M., VDI 6202 Blatt 3 (Asbest) –Grundlagen und Regeluntersuchungsumfang, Forum Asbest und andere Schadstoffe in technischen Anlagen und Bauwerken 29. Erfahrungsaustausch 2020 und Weiterbildung für Sachkundige gemäß TRGS 519 5./6. November 2020, Essen

^{xxxiii} VDI 3855 Blatt 5:2017-06 - Bestimmung von Asbest in technischen Produkten, Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren

^{xxxiv} TRGS 519: Asbest- Abbruch-, Sanierungs- oder Instandhaltungsarbeiten, 2014, Ergänzungen 2015 und 2019

^{xxxv} BGI 664: Verfahren mit geringer Exposition gegenüber Asbest bei Abbruch-, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten, Ergänzung (Stand: 04.2012);

Verfahren BT 31 nach BGI 664 (Stand 06.2012) Ausstanzen von asbesthaltigen Wand- und Deckenbekleidungen in einen Kunststoffbeutel als Schleuse („Stanzverfahren“), verfügbar unter http://www.dguv.de/medien/ifa/de/pra/asbest/bt_31.pdf

^{xxxvi} Stadt Herne: Handlungsanleitung zum Umgang mit asbesthaltigen Putzen, Spachtelmassen und Klebern in städtischen Gebäuden. 2020, https://www.herne.de/PDF/bauen/handlungsanleitung_asbest_in_psf.pdf

^{xxxvii} VDI 3866 Blatt 1: 2020 Entwurf: Bestimmung von Asbest in technischen Produkten, Entnahme und Aufbereitung der Proben

-
- ^{xxxviii} Ketelhut, R., Abschlussberichte zu den LFP-Vorhaben L1.12 und L1.13: Erarbeitung von grundlegenden Qualitätskriterien für Abfallprobenahmen zum Erhalt von Kenngrößen zur Beurteilung von Untersuchungsergebnissen, 2013 und 2014
- ^{xxxix} Uhlig, S., Hettwer, K.; Abschlussbericht zum LFP-Vorhaben L1.17: Prüfung der Arbeitsabläufe Probenahme(PN), Probenvorbereitung (PV), Analytik und QS-Maßnahmen, 2018
- ^{xi} Ebert, K., Validierung von Immunoassay Test-Kits für die Bestimmung von Polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen im Boden zum Einsatz bei der Erfassung und Bewertung von Altlasten, Dissertation 2020, TU München
- ^{xii} Homepage der HSE (Health and Safety Executive) <https://www.hsl.gov.uk/proficiency-testing-schemes/aims>
- ^{xiii} ISO 22262-2:2014: Air quality - Bulk materials - Part 2: Quantitative determination of asbestos by gravimetric and microscopical methods
- ^{xliii} VDI 3876:2018: Messen von Asbest in Bau- und Abbruchabfällen sowie daraus gewonnenen Recyclingmaterialien, Probenaufbereitung und Analyse
- ^{xliiv} VDI 3866 Blatt 1 Entwurf:2020: Bestimmung von Asbest in technischen Produkten, Entnahme und Aufbereitung der Proben
- ^{xliv} Uhlig, S., Hettwer, K.; Abschlussbericht zum LFP-Vorhaben L1.17: Prüfung der Arbeitsabläufe Probenahme(PN), Probenvorbereitung (PV), Analytik und QS-Maßnahmen, 2018
- ^{xlvi} BAuA, UBA, BBSR: Leitlinie für die Asbesterkundung zur Vorbereitung von Arbeiten in und an älteren Gebäuden; Link:
https://www.baua.de/DE/Angebote/Publicationen/Kooperation/Asbesterkundung.pdf?__blob=publicationFile&v=3