

Positionspapier Forum Asbest Schweiz (FACH):

Kriterien zur Beurteilung der Asbestiformität von Amphibolpartikeln in Materialproben



Luzern, 27.06.2023

Autoren¹:

Dr. Patrick Steinle (Suva, Bereich Analytik; Silag), Dr. Barbara Kuhn (Silag), Dr. Markus Schafer (Suva, Bereich Analytik), Dr. Michael Romer (Aatest, Silag, FAGES Arbeitsgruppe Analytik), Dr. Roy Trittschack (Jehle Umweltdienste, FAGES Arbeitsgruppe Analytik)

¹ Schreibweise: Bei geschlechtsspezifischen Bezeichnungen sind das jeweils andere Geschlecht sowie nicht-binäre Personen immer mitgemeint.

Inhalt	Seite:
Ausgangslage / Problematik:	2
Konsens zum analytischen Vorgehen:	3
Konsens-Kriterien für positiven Asbestbefund in Proben mit Amphibolpartikeln:	5
Vergleich mit den relevanten Normen:	5
Erwartete Konsequenzen bei Befolgung der vorgeschlagenen Konsens-Kriterien:	7

Beilagen

Beilage 1: Beispielbilder REM/PLM

Beilage 2: Beispielbilder Korngrösse und Belegung von Präparaten

Bildnachweis:

An der Erarbeitung des Positionspapiers beteiligte respektive am «Amphibol-Versand» teilnehmende Labore.

Ausgangslage / Problematik:

Die meisten Amphibole, darunter auch die fünf international als Asbestminerale anerkannten (Anthophyllit, Aktinolith, Tremolit, Riebeckit und Cummingtonit-Grunerit)², können sowohl in asbestiformer (faserförmiger) als auch in nicht-asbestiformer Morphologie vorliegen.

Anthophyllit, Amosit und Krokydololith (asbestiforme Morphologien von Grunerit resp. Riebeckit) wurden den Baustoffen in der Regel absichtlich aufgrund ihrer Asbest-typischen Eigenschaften beigemischt. Geologisch kommen diese Mineralien in der Schweiz äusserst selten bis gar nicht vor, und zwar weder in der asbestiformen noch in der nicht-asbestiformen Morphologie, wodurch die Unterscheidung von untergeordneter Bedeutung ist und die Analyse einfach fällt.

Anders präsentiert sich die Lage insbesondere bei Aktinolith und Tremolit, die selten kommerziell als Asbest eingesetzt wurden, aber in einigen primären Ausgangsgesteinen vorkommen und somit auch als wesentlicher Bestandteil in Kies- und Sandlagerstätten auftreten können. Dadurch bedingt finden sich entsprechende Minerale auch als «unbeabsichtigte», natürliche Beimengungen in einigen Baumaterialien (wie z.B. Putze, Fliesenkleber)³.

Eine scharfe Abgrenzung asbestiform/nicht-asbestiform ist in der Praxis oft schwierig, zumal keine allgemeingültige mineralogische oder gesetzliche Definition existiert, weder in der Schweiz noch international. Unglücklicherweise unterscheiden sich auch die Faserdefinitionen der verschiedenen normierten Analyseverfahren, was – in Kombination mit unterschiedlichen Auslegungen und einer teilweise von der Norm abweichenden Praxis – zu erheblichen Differenzen in der Probenbeurteilung zwischen einzelnen Analytikerinnen und/oder Laboren führen kann.

Eine analytische Fehleinstufung von Amphibolasbest kann zu einer direkten Gesundheitsgefährdung von Arbeitnehmenden und/oder Be- und Anwohnern führen, aber auch zu einer Verschleppung in den Recyclingkreislauf. Umgekehrt führen falsch-positive Asbestbefunde zu unnötigem Aufwand bei Sanierung und Entsorgung.

Um eine schweizweit einheitlichere und nachvollziehbare Beurteilung zu erreichen, wurde die Thematik auf Anregung aus den Reihen der Silag⁴ und der Analytik-Fachgruppe des FAGES⁵ am 24.8.21 erstmals an einem Expertengespräch⁶ bei der Suva⁷ in Luzern erörtert.

Im weiteren fachlichen Austausch, unter Einbezug interessierter Labore und mit Durchführung eines Probenversands im Spätsommer 2022, erarbeitete die Expertengruppe die hier vorliegende, möglichst einfache und mit Beispielbildern (Beilage 1) hinterlegte Konvention.

² Neben den international anerkannten können auch weitere Amphibole asbestiforme Morphologien aufweisen. Deren Beurteilung und Unterscheidung ist nicht Gegenstand dieses Dokuments.

³ In der Schweiz ist es gesetzlich und analytisch irrelevant, ob Asbest einem Material absichtlich beigegeben wurde oder ob er «zufällig» in einem mineralischen Rohstoff oder Gestein enthalten ist. In beiden Fällen gibt es weder Gehaltsgrenzen noch ein vorgeschriebenes Analyseverfahren. Angewendet werden üblicherweise Methoden für die Asbestanalyse in «technischen Produkten» resp. Baumaterialien (siehe Fussnote 8). In Deutschland hingegen gilt für Asbest in mineralischen Rohstoffen gemäss Gefahstoffverordnung ein Maximalgehalt von 0,1%. Dessen Bestimmung ist in TRGS 517¹¹ geregelt, als Asbestfasern gelten wie bei der Luftanalytik alle Partikel mit passendem Chemismus und WHO-Dimensionskriterien. Das vereinfacht die Analytik, dafür können Abgrenzungsprobleme entstehen, ob Asbest einem Produkt absichtlich aufgrund seiner Eigenschaften oder eher unabsichtlich als Bestandteil eines mineralischen Rohstoffs beigegeben wurde.

⁴ Silag – swiss laboratory for particle analysis in tissues, Verein zur Erforschung und Bekämpfung von durch anorganische Stäube verursachte Lungenerkrankungen

⁵ Schweizerischer Fachverband Gebäudeschadstoffe

⁶ Dr. Patrick Steinle (Suva, Bereich Analytik; Silag), Dr. Barbara Kuhn (Silag), Dr. Markus Schafer (Suva, Bereich Analytik), Dr. Michael Romer (Aatest, Silag, FAGES Arbeitsgruppe Analytik), Dr. Roy Trittschack (Jehle Umweltdienste, FAGES Arbeitsgruppe Analytik)

⁷ Schweizerische Unfallversicherungsanstalt

Sie ist mit den in der Schweiz gängigen Analyseverfahren⁸ kompatibel und präzisiert respektive vereinfacht deren Faser-Definitionen.

Den Experten ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass mit dieser Konvention keine Aussage zur Toxizität der meist ebenfalls vorhandenen, nicht-asbestiformen (z.B. splitterförmigen) Amphibolpartikel gemacht wird. Deren Berücksichtigung wird etwa von der ANSES⁹ und in der NIOSH Roadmap to Asbestos¹⁰ empfohlen, allerdings ohne Präzisierung von Zählkriterien und Beurteilungsmassstab. Zur Regelung in Deutschland siehe Fussnote 3.

Ein Einbezug solcher Partikel läge weit ausserhalb der Faserkriterien der gängigen Analysemethoden und würde dem im vorliegenden Positionspapier verfolgten Ansatz, sich auf diese als Grundlage für eine Harmonisierung der Beurteilungspraxis zu stützen, nicht gerecht. Die Empfehlungen werden aber insofern berücksichtigt, als dass im Zweifelsfall – auch gemäss Vorsorgeprinzip - zugunsten der Asbestiformität eines Partikels entschieden wird.

Konsens zum analytischen Vorgehen:

- Je nach Probenbehandlung (Mahlen, Mörsern, Ultraschall etc.) können verschiedene Bruchstücke entstehen und allfällig vorhandene Faserbündel werden unterschiedlich stark aufgespalten.
Als Konventionsverfahren, das in gewissem Mass die mechanische Bearbeitung des Materials simuliert, gilt das Mahlen/Mörsern.
Dabei ist darauf zu achten, dass zwar ein gewisser Energieeintrag stattfindet, die Probe (und der möglicherweise darin enthaltene Asbest) aber nicht «kaputtpulverisiert» wird.
Empfohlen wird, dass eine Mehrheit der im Präparat vorhandenen Partikel eine Grösse < 100 µm aufweist, um eine Überdeckung kleinerer Asbeststrukturen zu minimieren (Beispielsbilder Korngrösse und Belegung siehe Beilage 2).
In besonderen Fällen, wenn z.B. strittig ist, ob ein bestimmtes Verfahren zur Freisetzung von Asbestfasern aus einem Material führt, empfiehlt sich ein Vorgehen nach Verfahren 2 der TRGS 517¹¹, bei dem während der realen Bearbeitung des Materials eine Luftstaubprobenahme durchgeführt wird und diese Probe auf Asbest untersucht wird.
- Bezüglich Probenaufbereitung, Belegung des Präparats, untersuchter Menge/Fläche, Vergrösserungsstufen und Untersuchungsdauer bestehen für die Labore viele Freiheitsgrade. Die Experten sind sich einig, dass die in den «Empfehlungen der Suva»¹² genannte Nachweisgrenze im Bereich von 0,01% (bei aller Unsicherheit der Gehaltsschätzung) eine sinnvolle Richtschnur abgibt. Nachweisgrenzen in diesem Grössenbereich finden sich auch in den Normen VDI 3866 (Blatt 5, Anhang B) und HSG 248 (Anhang 2).

⁸ VDI 3866:5 Bestimmung von Asbest in technischen Produkten. Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren. Berlin: Beuth 2017.

HSG 248: Asbestos: The analysts' guide (2nd edition). Norwich, TSO 2021

EPA 600/R-93/116: Method for the determination of asbestos in bulk building materials. Environmental Protection Agency (EPA), 1993.

⁹ Rapport d'expertise collective: Effets sanitaires et identification des fragments de clivage d'amphiboles issus des matériaux de carrière. ANSES saisine Nr. 2014-SA-0196. Hrsg.: Agence nationale de sécurité sanitaire (ANSES). Maisons-Alfort Cedex, Frankreich, 2015.

¹⁰ Current intelligence Bulletin 62: Asbestos fibers and other elongate mineral particles: State of the science and roadmap for research [rev. April 2011]. DHHS Publ. Nr. 2011-159. Hrsg.: National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Atlanta, USA.

¹¹ Technische Regel für Gefahrstoffe: Tätigkeiten mit potenziell asbesthaltigen mineralischen Rohstoffen und daraus hergestellten Gemischen und Erzeugnissen (TRGS 517). GMBI. (2013) Nr. 18, S. 382-396; zul. geänd. GMBI. (2015) Nr. 7, S. 137-138.

¹² <https://forum-asbest.ch/files/fachexperten/suva-asbestanalyse-in-schwierigen-proben-empfehlungen-de.pdf>

- Unabhängig von der Methode, von der Anzahl angefertigter Präparate pro Probe und von der standardmässig untersuchten Probenmenge resp. Präparatfläche/Bildfelderzahl muss das Resultat mit einer ausreichenden Sicherheit reproduzierbar sein. Werden in einem Präparat nur eine oder zwei Asbeststrukturen gefunden, ist aufgrund der Poisson-Statistik (seltene Ereignisse) die Wahrscheinlichkeit hoch, dass bei einer erneuten Analyse desselben oder eines von derselben Probe angefertigten zweiten Präparats KEIN Asbest gefunden wird¹³.

Als Minimalforderung ist eine Probe erst dann als asbesthaltig zu deklarieren, wenn in einem sorgfältig hergestellten und untersuchten Präparat zumindest drei eindeutige Asbeststrukturen auffindbar sind. Werden mehrere Präparate pro Probe untersucht, ist die Zuverlässigkeit des Ergebnisses mit einer sinngemässen Regelung sicherzustellen. Damit wird auch vermieden, dass Zufallsfunde etwa durch Kontamination der Probe (Anlagerung von «Flugasbest» während der Nutzungsdauer eines Bauteils, geringfügige Verschleppungen bei der Probenahme oder im Labor) zu letztlich unnötigen Asbestsanierungen führen.

Die nachfolgenden Überlegungen/Kriterien beziehen sich ausschliesslich auf die Dimensionen und die Morphologie der Partikel. Dabei wird vorausgesetzt, dass die übrigen (chemisch/optischen) Identifikationskriterien gemäss EPA 600/R-93/116 respektive VDI 3866:5 einwandfrei erfüllt sind.

- Die Experten sind sich einig, dass die WHO-Dimensionskriterien nur für Luftmessungen herbeizuziehen sind, nicht für Materialuntersuchungen. Für Luftmessungen sind diese Dimensionen in den entsprechenden, gemäss Grenzwertliste der Suva verbindlichen Normen (VDI 3492 und DGUV-I 213-546) definiert, während dem in den gebräuchlichen Normen für Materialanalysen andere morphologische Kriterien festgelegt sind. Davon abzuweichen hätte zur Folge, dass fast jedes amphibolhaltige Material als Asbest deklariert würde. Die Diskrepanz zwischen den Kriterien für Luft- und Materialanalyse bleibt damit bestehen. Statt einer Übertragung der WHO-Kriterien auf Materialproben, lässt sich auch ein differenzierter Ansatz bei Luftmessungen vertreten¹⁴.
Im Unterschied zu Luftproben, sind bei Materialproben auch Faserbündel zu berücksichtigen, die dicker als 3 µm sind und/oder ein Längen:Durchmesser-Verhältnis von < 3 aufweisen. Hingegen sollten die Strukturen dennoch eine Mindestlänge von 5 µm aufweisen. Wenn ausschliesslich kürzere Strukturen vorhanden sind, ist dies zu vermerken.
- Das Erfüllen der WHO-Kriterien ist weder notwendig (siehe oben) noch hinreichend: Die relevanten Normen formulieren zusätzliche/strengere Anforderungen für die morphologische Beurteilung. Die Expertengruppe schlägt im Folgenden normenübergreifende Konsens-Kriterien vor.
- Einig waren sich die Experten auch in einem letzten Punkt, der oft zu Missverständnissen führt: Die Passage zu «Population» in «EPA 600» ist nützlich für die geologische Ansprache eines Amphibol-Vorkommens, hingegen nicht relevant für die Beurteilung der Asbesthaltigkeit einer Baumaterial- oder Rohstoffprobe.
Begründung: Es ergibt keinen Sinn, wenn eine Probe mit wenigen (aber reproduzierbar nachweisbaren) asbestiformen Amphibolpartikeln nicht als asbesthaltig eingestuft wird, nur weil dieses Amphibolmineral im selben Material auch noch in kompakter Form auftritt.

¹³ König, R. 2021: Nachweisgrenze und Bestimmungsgrenze von mikroskopischen Methoden in der Asbestanalytik. Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 81:435-442.

¹⁴ Vergleiche Steinle, P., M. Schafer und P. Roth 2016: Freisetzung von Asbestfasern und anderen länglichen Mineralpartikeln beim Bearbeiten von Serpentinogestein – Emissionstest und differenzierte analytische Beurteilung. Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 76:173-182. Die darin formulierten Kriterien für «eindeutige» Asbestfasern (Länge > 10 µm, Durchmesser < 0,5 µm) könnten an die im vorliegenden Positionspapier vorgeschlagenen Konsens-Kriterien angepasst werden. Entsprechende Vergleichsauszahlungen von Luftprobenfiltern laufen derzeit in Zusammenarbeit mit IFA (D) und ÖSBS (A).

Konsens-Kriterien für positiven Asbestbefund in Proben mit Amphibolpartikeln:

In einem sorgfältig hergestellten Präparat finden sich bei gründlicher Untersuchung¹⁵ mindestens drei Asbest-Partikel/Strukturen mit folgenden morphologischen Eigenschaften (ODER-Verknüpfung):

- Lange, dünne Einzelfasern (oder sehr dünnes Faserbündel): Länge > 5 µm UND Durchmesser < 1 µm UND Länge:Durchmesser-Verhältnis >20
- Aufspliessendes Faserbündel¹⁶ beliebigen Durchmessers, Länge > 5 µm
- Wirrfaserige/verfilzte Partikelaggregate («matted masses»), Länge des Aggregats > 5 µm

Vergleich mit den relevanten Normen:

In den drei in Fussnote 8 zitierten Normen, nach denen ein Grossteil der Asbestlabore in der Schweiz arbeitet, finden sich folgende morphologischen Kriterien:

VDI 3866, Blatt 5:

«Wesentliche Merkmale der morphologischen Beurteilung im REM sind die deutliche Sichtbarkeit einer Längsspaltbarkeit sowie das damit verbundene Aufspießen des Objekts an den Faserenden oder das Vorliegen dünner Fasern ($D < 1 \mu\text{m}$) mit einem großen Länge-Durchmesser(L/D)-Verhältnis.»

EPA 600:

«With the light microscope, the asbestiform habit is generally recognized by the following characteristics:

- *Mean aspect ratios ranging from 20:1 to 100:1 or higher for fibers longer than 5 µm. Aspect ratios should be determined for fibers, not bundles.*
- *Very thin fibrils, usually less than 0.5 micrometers in width, and*
- *Two or more of the following:*
 - o *Parallel fibers occurring in bundles,*
 - o *Fiber bundles displaying splayed ends,*
 - o *Matted masses of individual fibers, and/or*
 - o *Fibers showing curvature»*

HSG 248:

«Under a light microscope, the asbestiform habit is generally recognised by the following characteristics:

- *a range of aspect ratios ranging from 20:1 to 100:1 or higher for fibres longer than 5 µm;*
- *capability of splitting into very thin fibrils;*
- *two or more of the following:*
 - o *parallel fibres occurring in bundles*
 - o *fibre bundles displaying frayed ends*
 - o *fibres in the form of thin needles*
 - o *matted masses of individual fibres, and/or*
 - o *fibres showing curvature.»*

¹⁵ Zu untersuchende Fläche z.B. nach VDI 3866 Blatt 5; Zeitaufwand (Mikroskopieren) pro Probe mind. 10 Minuten (HSG248).

¹⁶ Blosser Sichtbarkeit von Längsstrukturen sowie gestufte/splitttrige Enden reichen nicht aus. Die Längsstrukturen müssen als aneinandergelagerte Einzelfasern erkennbar sein. Aufspießen (muss zumindest an einem Ende klar erkennbar sein) bezeichnet das endständige Auftrennen eines Faserbündels in Längsrichtung in Einzelfasern/feinere Bündel. Charakteristisch ist dabei das Wegbiegen von der Hauptachse des Bündels. Einzelne abstehende Fasern, die auch als Überlagerung von Partikeln interpretiert werden können, sind kein Beleg für das Aufspießen. Siehe auch Beispielbilder in Beilage 1.

Im **Vergleich zu VDI 3866** quantifizieren die Konsens-Kriterien, was unter einem «grossen» Länge:Durchmesser-Verhältnis zu verstehen ist, unter Anlehnung an die anderen Normen. Damit werden der Interpretationsspielraum und das Potenzial für unterschiedliche Beurteilungen durch verschiedene Analysten oder Labore reduziert.

Die selten auftretenden «matted masses» (schwierig bis unmöglich einzeln zu erfassende, verfilzte Faseraggregate), wurden in die Konsens-Kriterien aufgenommen, um auch dort eine einheitlichere Beurteilung über verschiedene Normen hinweg zu erreichen. Es ist zu vermuten, dass nach VDI 3866 arbeitende Labore solche Beobachtungen bereits bis anhin als Asbest-Funde gewertet haben.

Im **Vergleich zu HSG 248** und noch etwas ausgeprägter zu **EPA 600** sind die Konsens-Kriterien weniger streng, vor allem weil auf die «UND»-Verknüpfung verzichtet wird.

Gemäss Konsens-Kriterien ist der Asbestbefund auch gültig, wenn nur eine Partikel-Kategorie (vermutlich meist lange, dünne Fasern) gefunden wird, währenddem EPA 600 und HSG 248 den Nachweis weiterer Merkmale im selben Präparat verlangen. Ebenfalls verzichtet wird auf das – je nach Interpretation der Normen – fast zwingende Kriterium der Faserkrümmung.

In HSG 248 wird nicht ausgeführt, was unter «very thin» bzw. «thin» zu verstehen ist, in EPA 600 steht «usually less than 0.5 micrometers in width». In diesen Normen besteht also eine gewisse, vermutlich beabsichtigte Unschärfe, zumal eine präzise Messung im Submikrometerbereich mit dem Lichtmikroskop schwierig ist. Die Expertengruppe schlägt nach Vorsorgeprinzip eine Grenze von 1 µm vor, die besser messbar ist und auch dem Durchmesserkriterium von VDI 3866 entspricht. Gestützt wird dies auch durch eine Studie von Harper et al¹⁷, gemäss der die «Talsohle» zwischen den Durchmessern von asbestiformen und nicht-asbestiformen Amphibolpartikeln bei ca. 0.84 µm liegt.

Die reduzierten Anforderungen der Konsens-Kriterien gegenüber HSG 248/EPA 600 sollen den Interpretationsspielraum verkleinern und die Vergleichbarkeit von Resultaten verbessern, die mit verschiedenen Verfahren ermittelt werden (Angleichung an VDI 3866), aber auch dem Zeitdruck im Routinelabor Rechnung tragen. Wenn in einem Präparat mindestens drei Partikel einer Kategorie vorhanden sind (zum Beispiel aufspliessende Faserbündel), so ist die Wahrscheinlichkeit hoch, dass beim Weitersuchen auch Partikel einer anderen Kategorie gefunden würden (zum Beispiel aus diesen Faserbündeln beim Mörsern generierte lange, dünne Einzelfasern). Im Sinne der Verfahrensökonomie schlägt die Expertengruppe vor, den Analysten das Weitersuchen nach allenfalls noch fehlenden Komponenten freizustellen.

¹⁷ Harper, M. et al (2012): An Inter-Laboratory Study to Determine the Effectiveness of Procedures for Discriminating Amphibole Asbestos Fibers from Amphibole Cleavage Fragments in Fiber Counting by Phase-Contrast Microscopy. Ann. Occup. Hyg., Vol. 56, No. 6, pp. 645–659

Erwartete Konsequenzen bei Befolgung der vorgeschlagenen Konsens-Kriterien:

Die Expertengruppe erwartet eine weitgehende Harmonisierung bei den Asbestbefunden in Proben mit Amphibolen. Wenn REM-Labore zugunsten einer genaueren Befolgung der morphologischen Kriterien gemäss VDI 3866 die Praxis aufgeben, Materialproben wegen einzelner Splitter, die zufälligerweise WHO-Dimensionskriterien aufweisen, als asbesthaltig einzustufen, so werden einige Materialien zukünftig nicht mehr als Asbest klassiert. Andererseits dürften Labore, die bisher auf der vollständigen Erfüllung des EPA-Kriterienkatalogs bestanden haben, mit der vorgeschlagenen weniger strikten Interpretation einige Stoffe mit nadelförmigem Amphibolvorkommen neu als asbesthaltig beurteilen, was gemäss Vorsorgeprinzip wünschenswert ist.

Der im Spätsommer 2022 durchgeführte Versuch, bei dem 19 Labore verschiedene Tremolit-haltige Baumaterialien sowohl nach Konsens- als auch laborinternen Kriterien beurteilten, zeigte diese gewünschte Harmonisierung.

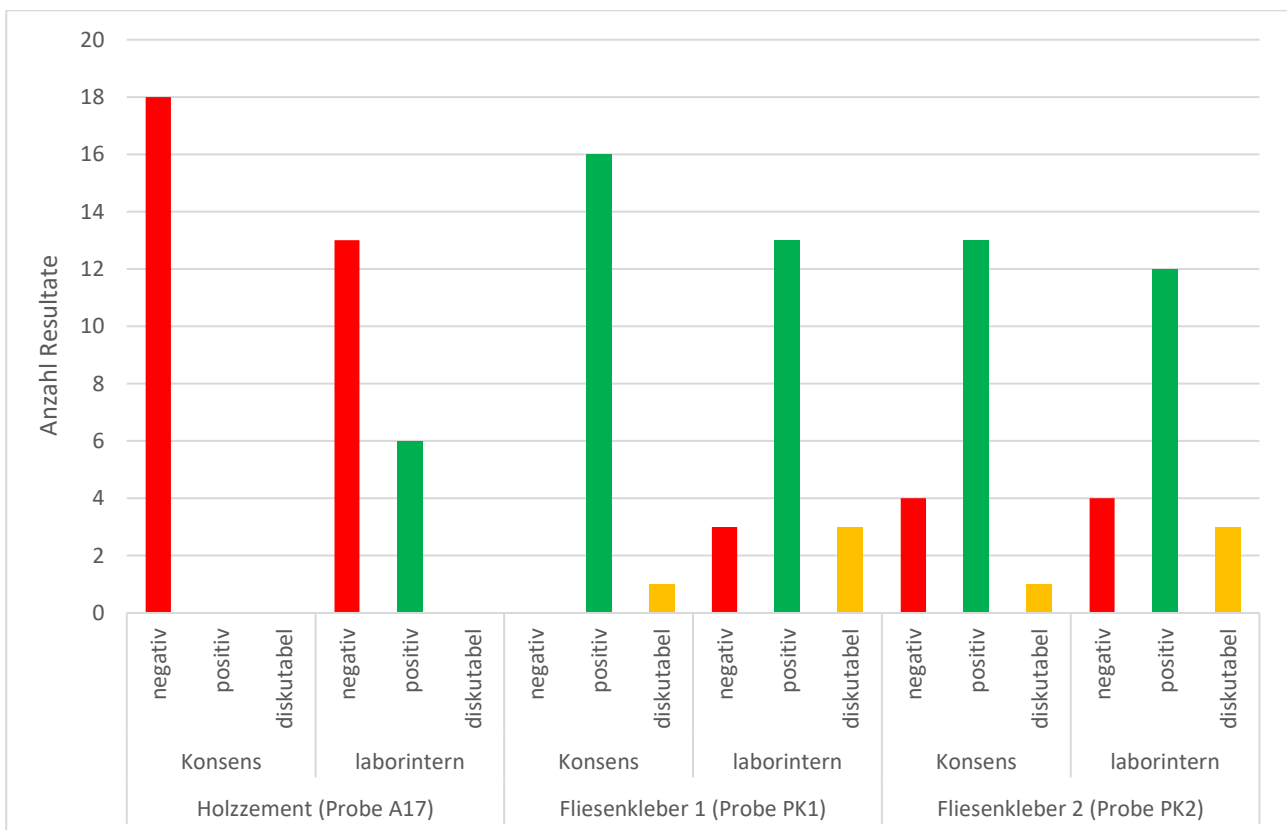


Abbildung 1: Resultate des «Amphibol-Versands»: 19 Labore beurteilten 3 vorgängig zentral aufbereitete und homogenisierte Materialproben einerseits gemäss laboreigener Praxis, andererseits unter Anwendung der «Konsens-Kriterien» (18 Resultate).



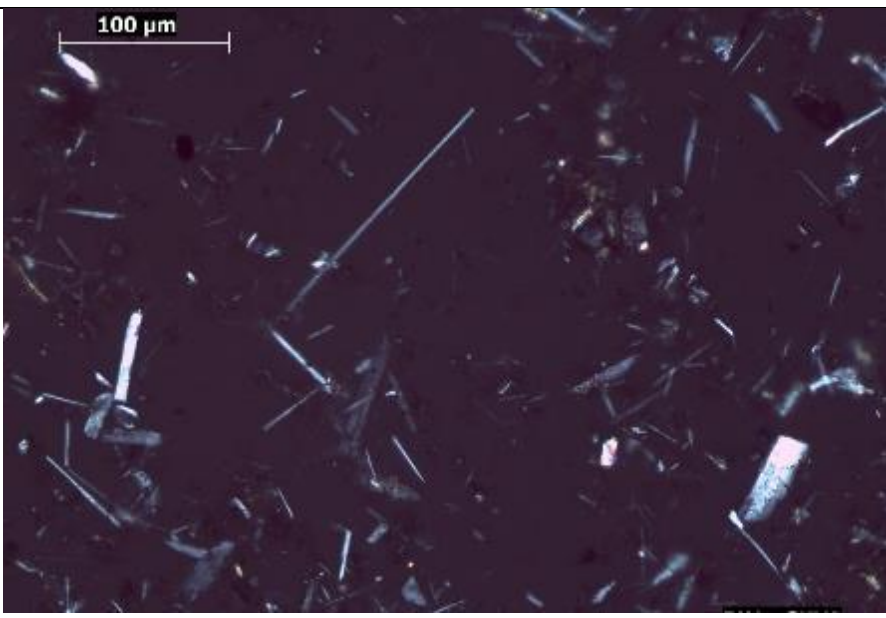
Bei den Proben A17 und PK1 führte dies zu vollständiger Übereinstimmung bei der Beurteilung. (Probe PK1 wurde von einem Labor mit PLM zwar auch gemäss Konsens-Kriterien als nicht-asbesthaltig beurteilt, das Resultat wurde aber nicht berücksichtigt, weil dasselbe Labor mit REM zu einem positiven Befund kam und diesem Resultat den Vorzug gab).

Das Probenmaterial PK2 erwies sich als tatsächlich grenzwertig, die wenigen vorhandenen länglichen Tremolit-Partikel wiesen Durchmesser im Bereich von 1 µm und Längen:Durchmesser-Verhältnisse von meist ca. 10-15 auf, so dass das Resultat aufgrund statistischer Zufälle (Wahrscheinlichkeitsverteilung) mal auf die eine, mal auf die andere Seite kippte.

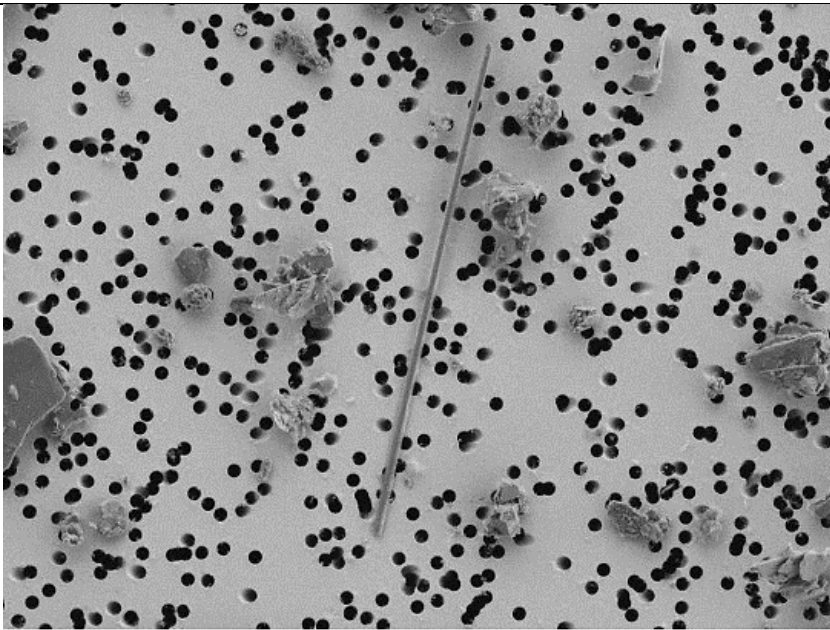
Beilage 1: Beispielbilder REM/PLM

Kategorie Lange, dünne Einzelfasern (oder sehr dünne Faserbündel) - PLM

Länge > 5 µm UND Durchmesser < 1 µm UND Länge:Durchmesser-Verhältnis >20

	<p>Mehrere Fasern erfüllen die Dimensionskriterien</p>
	<p>Einzelfaser Bildmitte</p>
	<p>Bei dieser Vergrößerung ist das <1 µm Durchmesser-Kriterium nicht beurteilbar.</p> <p>Vermutung: Bei höherer Vergrößerung lange dünne Einzelfasern nachweisbar.</p>

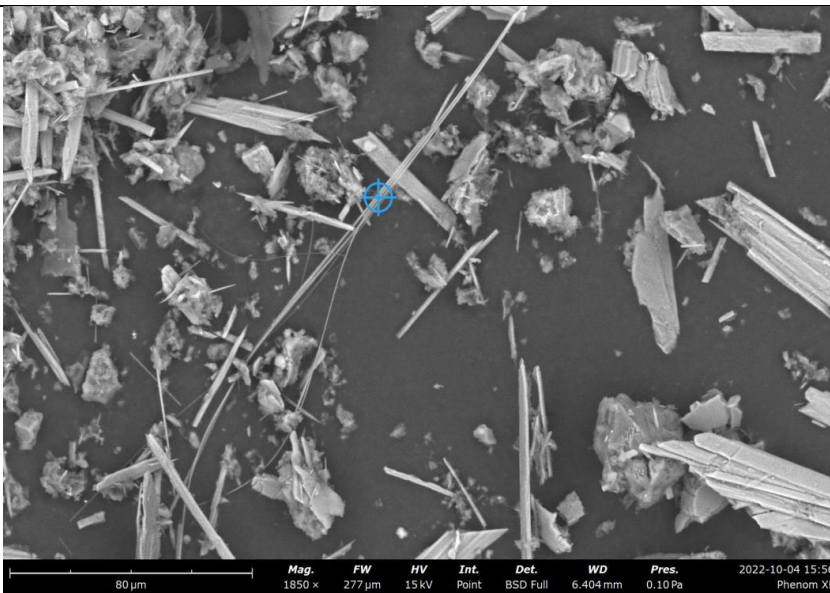
Kategorie Lange, dünne Einzelfasern (oder sehr dünne Faserbündel) - REM



Detailaufnahme
gerade Faser

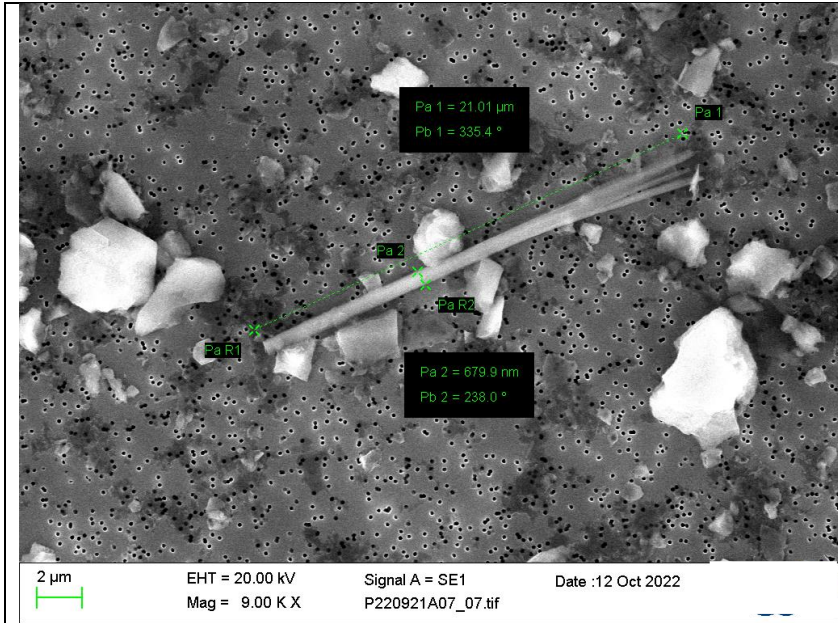


Die markierte Faser er-
füllt die Kriterien (knapp
< 1 μm Durchmesser)

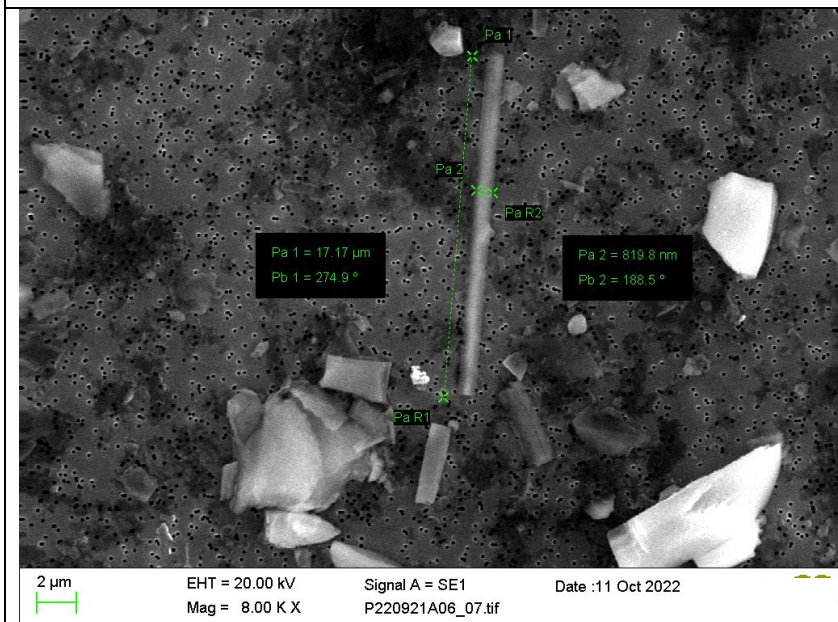


Mehrere Fasern erfüllen
die Kriterien.

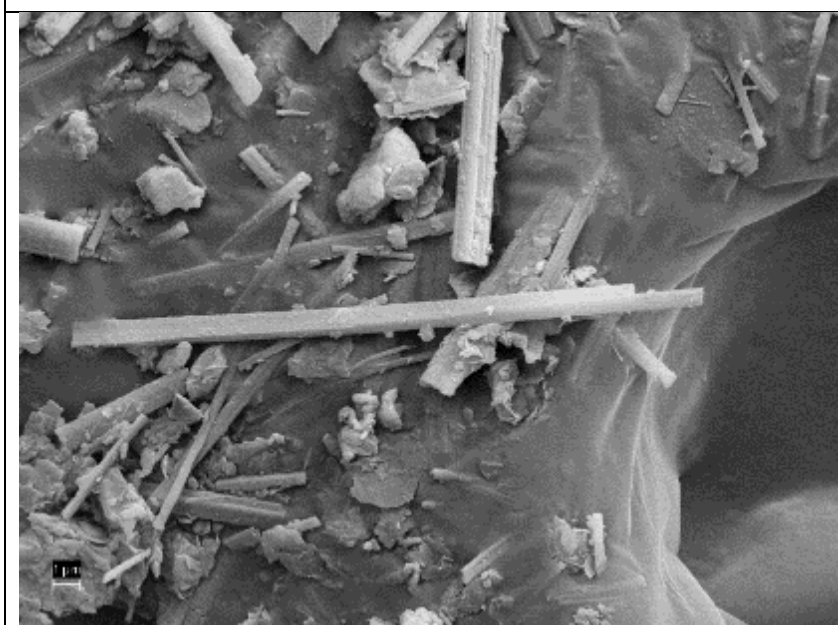
Krümmungen sichtbar.



Aufspieissendes feines Faserbündel, erfüllt auch die Dimensionskriterien für «lange dünne Einzel-faser».

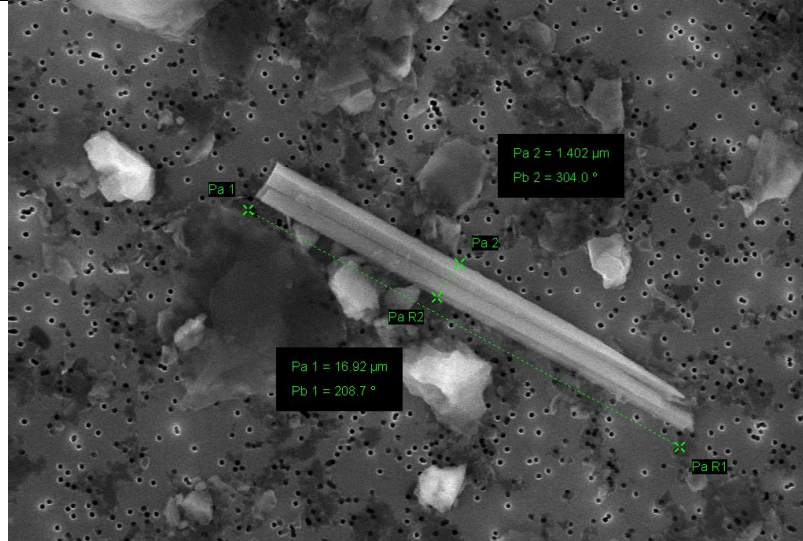
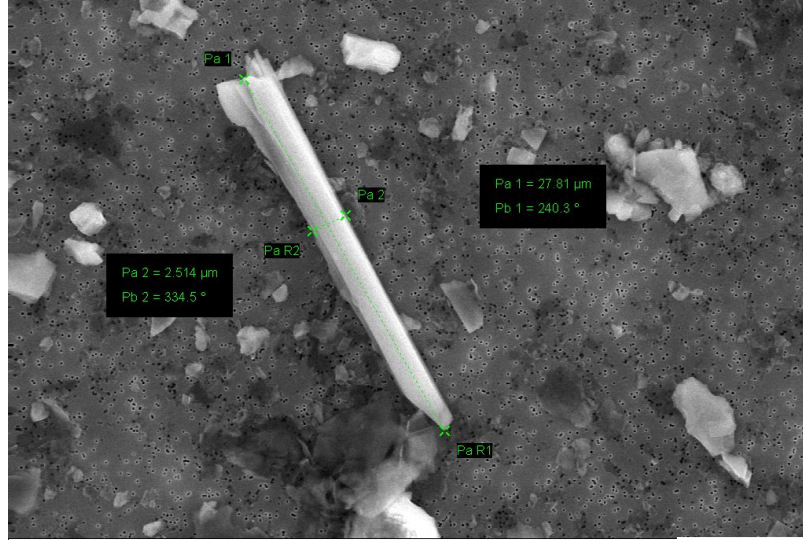
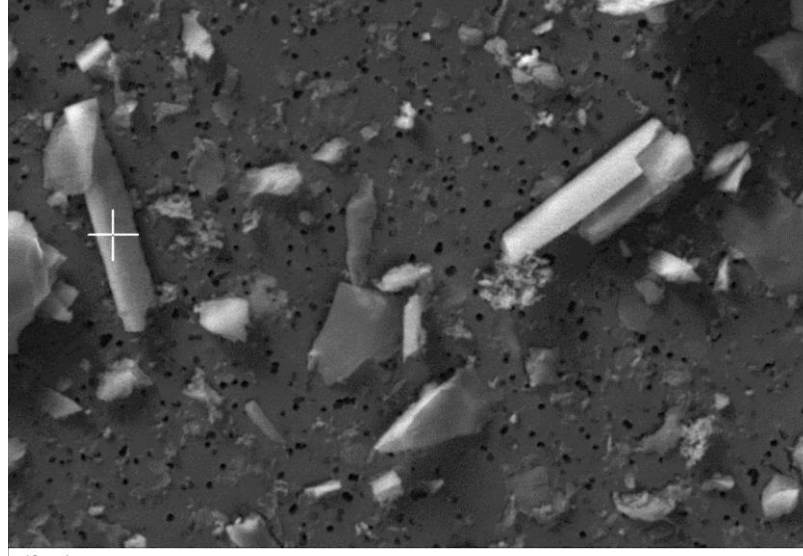


Mit $D = 0.82$ und $L = 17.2 \mu\text{m}$ Kriterien knapp erfüllt ($L:D = 21$)

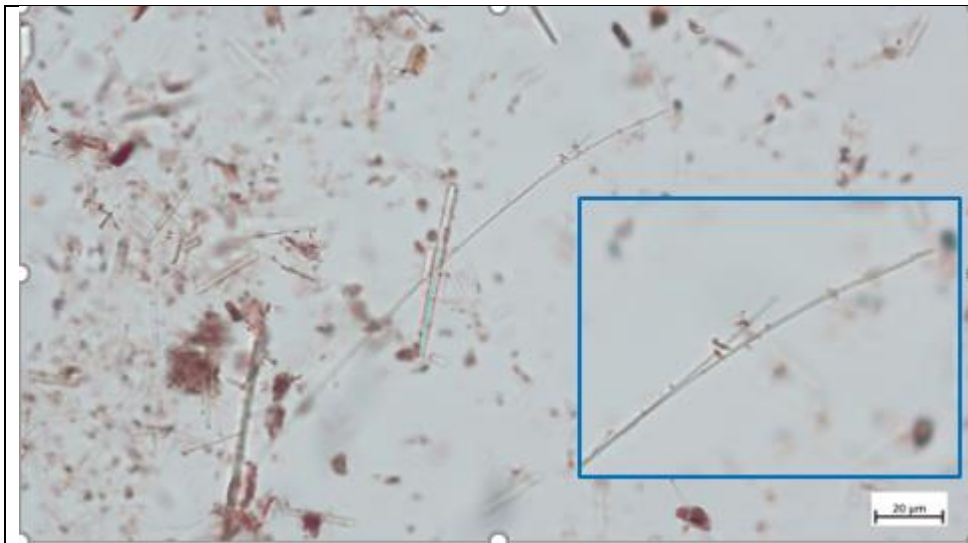


Faser mit gestuftem Ende resp. zwei aneinandergelagerte gerade Fasern, die gemeinsam die Dimensionskriterien (knapp) erfüllen.

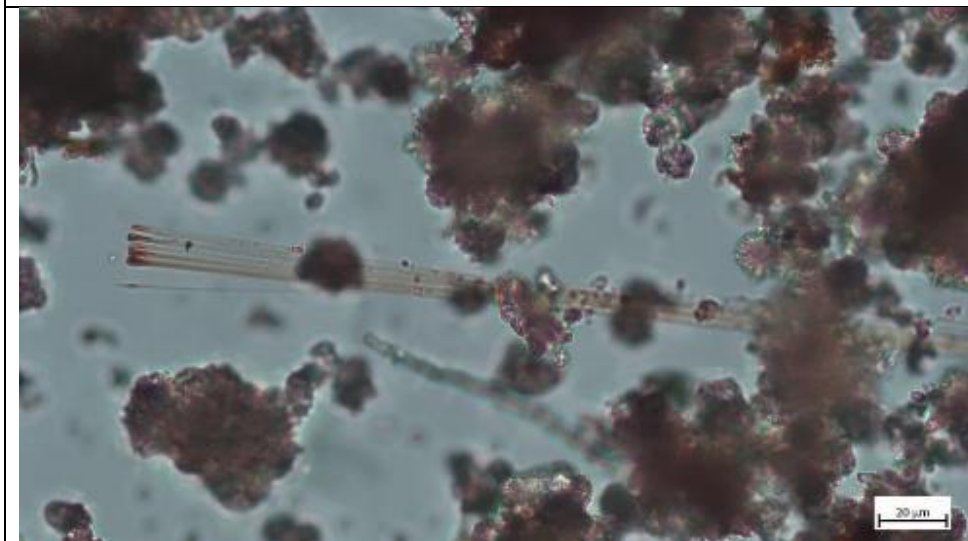
Kategorie Lange, dünne Einzelfasern (oder sehr dünne Faserbündel) – Beispiele Kriterien nicht erfüllt:

 <p> 2 µm EHT = 20.00 kV Signal A = SE1 Date :12 Oct 2022 Mag = 12.00 K X P220921A07_08.tif </p>	<p>Kriterien Durchmesser und L:D-Verhältnis nicht erfüllt.</p> <p>Bei Interpretation als Faserbündel: Aufspaltung zu wenig deutlich.</p>
 <p> 2 µm EHT = 20.00 kV Signal A = SE1 Date :12 Oct 2022 Mag = 6.00 K X P220921A07_04.tif </p>	<p>Kriterien Durchmesser und L:D-Verhältnis nicht erfüllt.</p> <p>Bei Interpretation als Faserbündel: Undeutliche Aufspaltung am oberen Ende, aber keine Längsstrukturen -> nicht erfüllt.</p>
 <p> 10 µm* 20.00 kV 12.0 mm 4.01 K X L2204594-0001-00-SW-02.tif Width = 74.79 µm 14 Oct 2022 </p>	<p>Kriterien Durchmesser und L:D-Verhältnis bei weitem nicht erfüllt.</p> <p>Mit $D > 3 \mu\text{m}$ auch nach TRGS 517 nicht als Faser zu bewerten.</p>

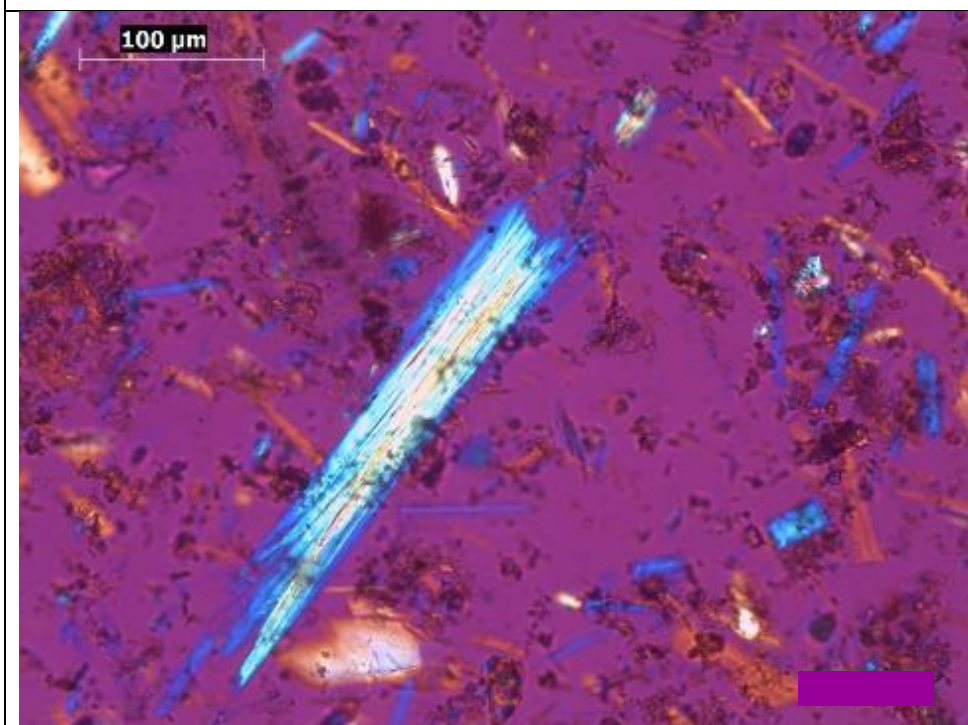
Kategorie «Aufspleissendes Faserbündel»



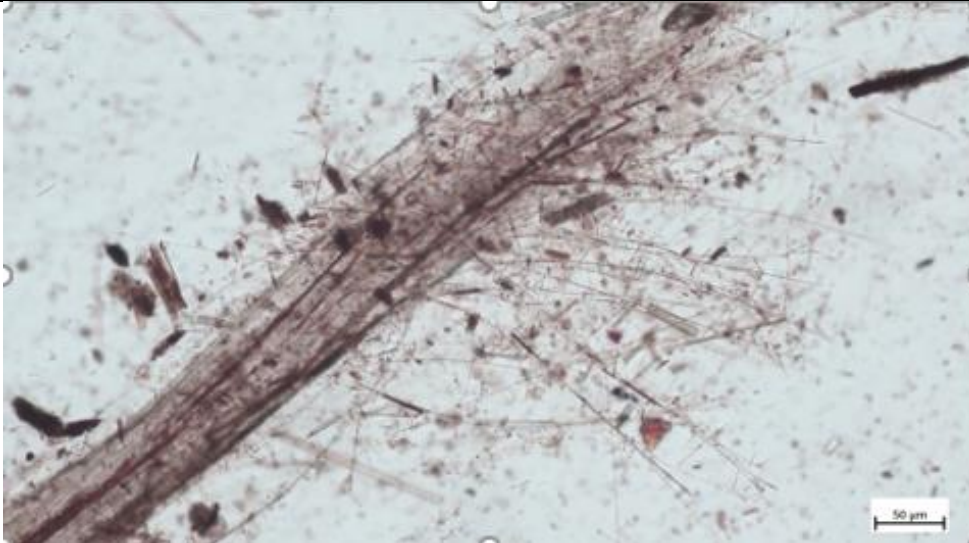
« Minimalbündel »
Zwei sich
aufspleissende Fasern.



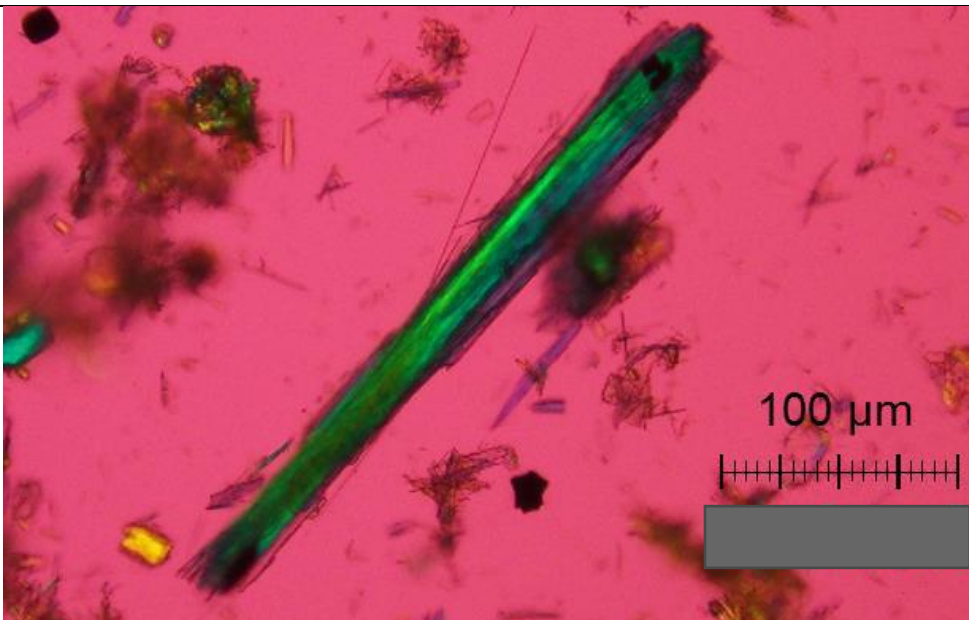
Leichtes Aufspleissen
links



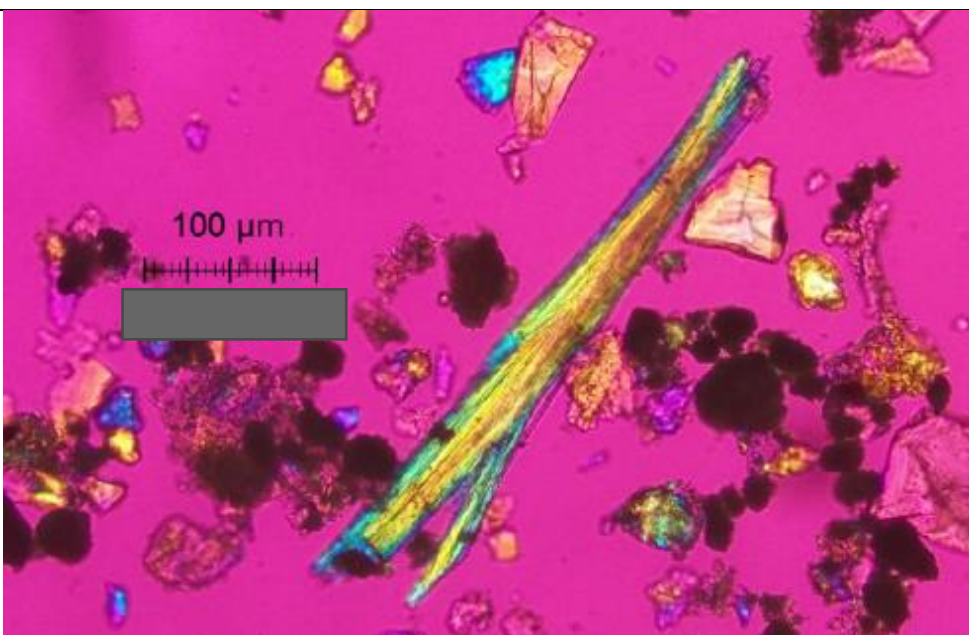
Kompaktes Bündel.
Leichtes Aufspleissen
an beiden Enden
sichtbar.



Dickes Bündel mit unzähligen wegspleissenden Fasern.
Übergang zu «matted mass»



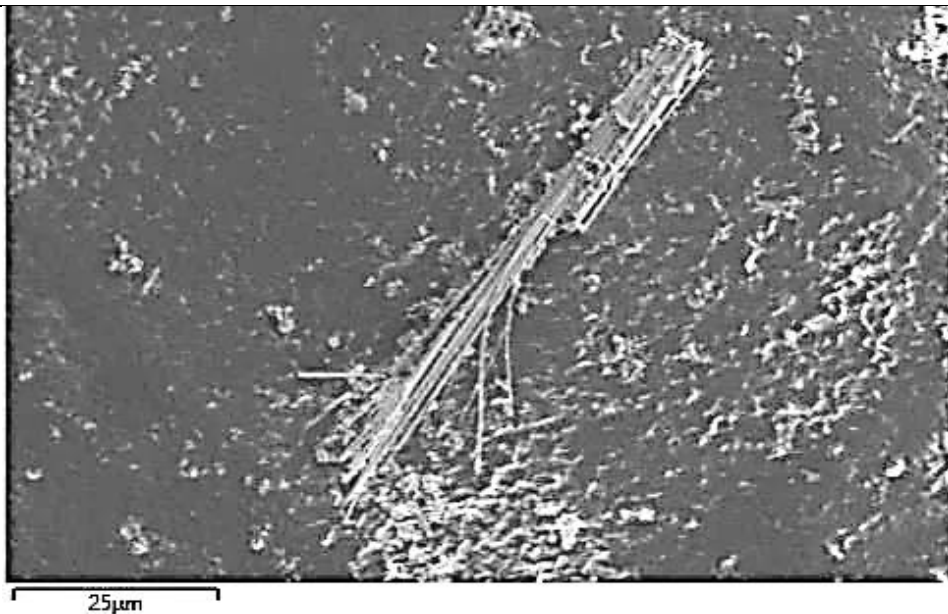
Links unten leichte Aufspleissung
Zudem drei wegspleissende Fasern an der linken Flanke beobachtbar.



Nicht-asbestiform
Grenzwertig, aber bei dieser Vergrößerung als nicht-asbestiform beurteilt.
Grobe Absplitterung am unteren Ende.
Feine Faser (?) im mittleren Bereich und allfällig beginnende Aufspleissung am oberen Ende zu wenig erkennbar.



Nicht-asbestiform
(Amosit-)Partikel mit deutlicher paralleler Längsstruktur und komplex gestuftem Ende rechts.
Kein wirkliches Aufspalten beobachtbar.

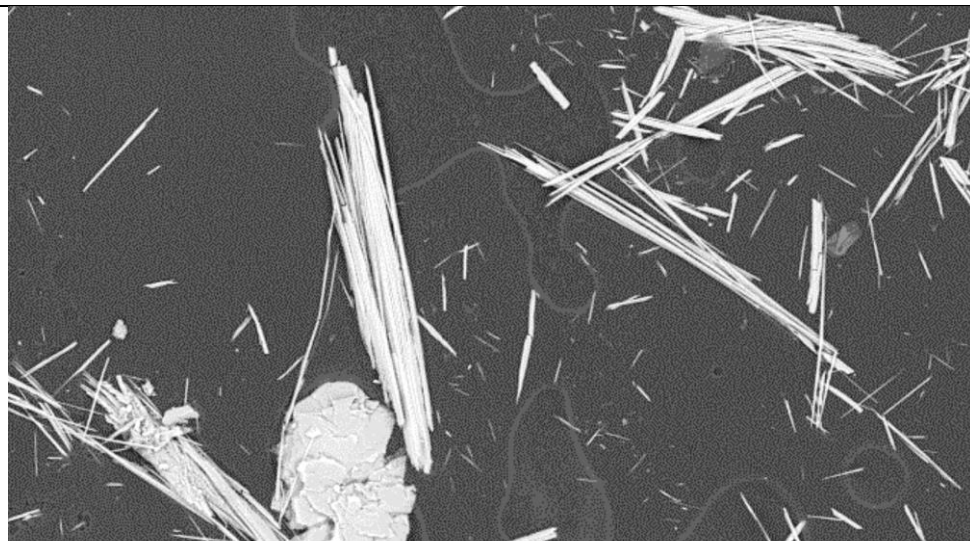
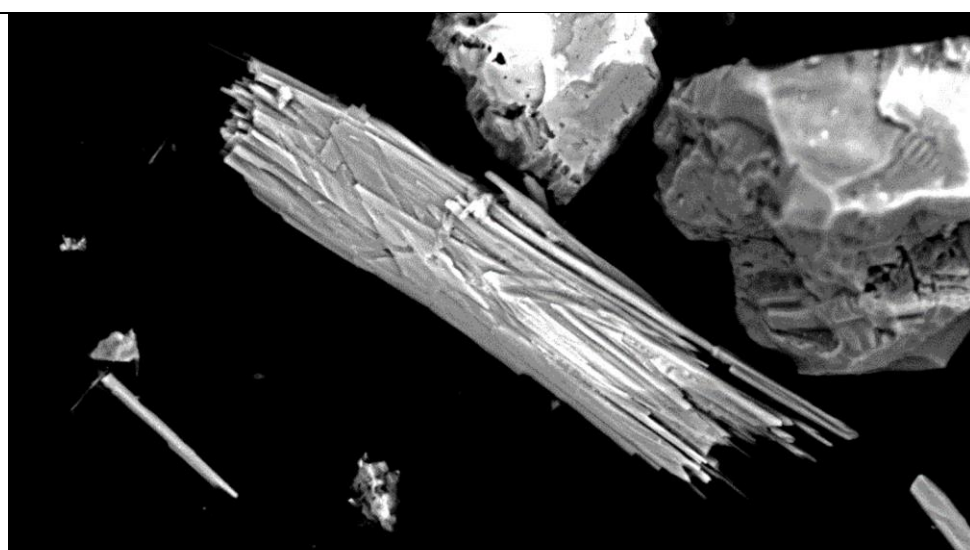



«Schönes» Aufspalten am unteren Ende des ansonsten kompakten Bündels

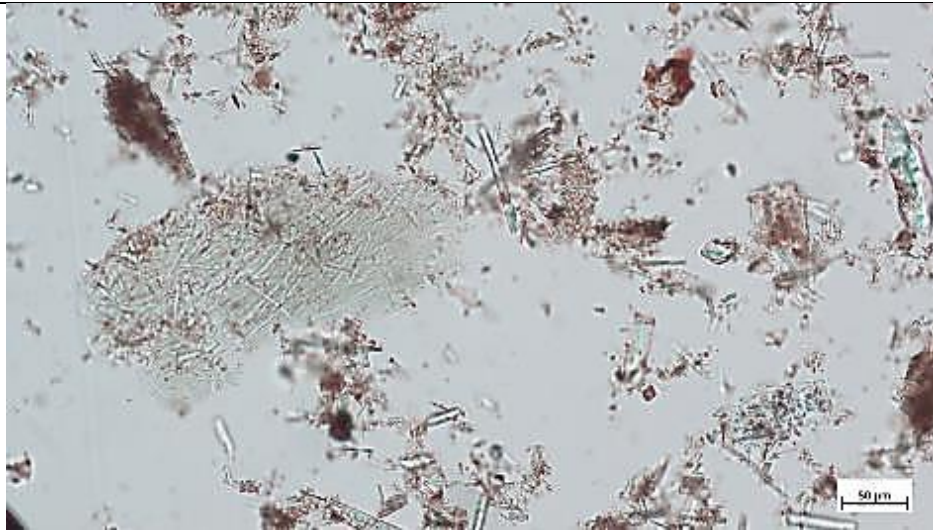


Sehr dickes Bündel, Aufspalten unten gut beobachtbar

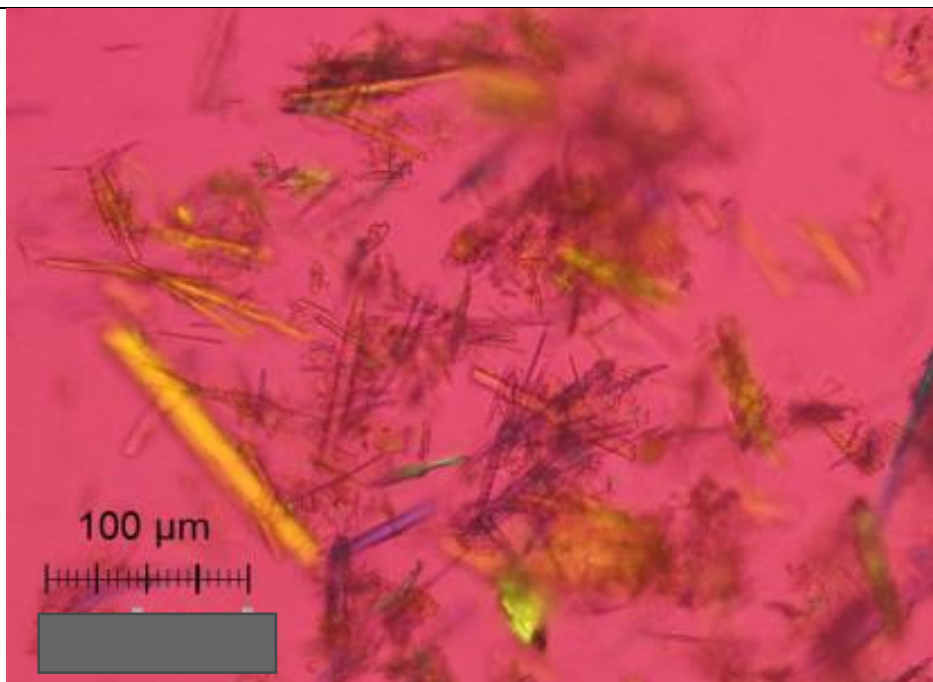
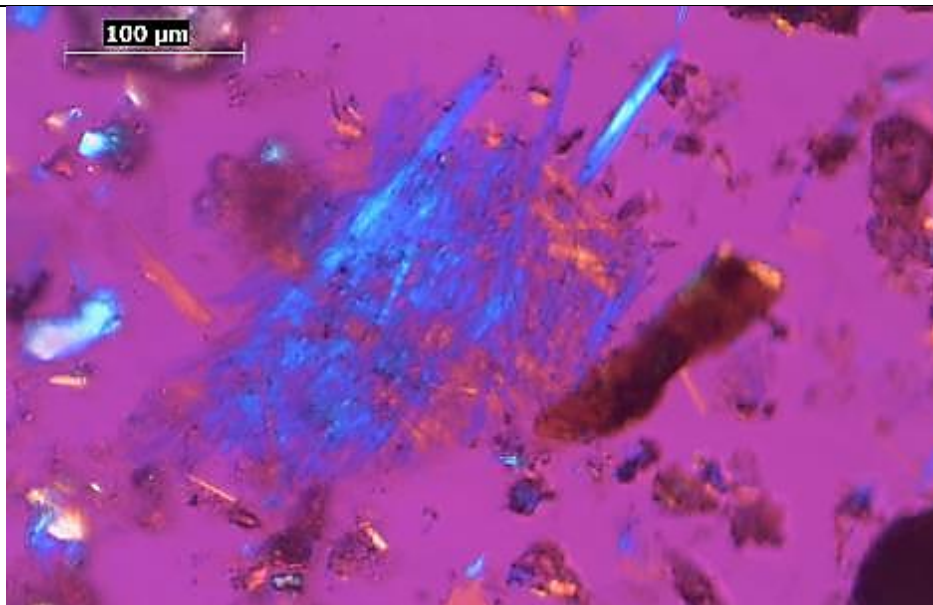
Kategorie «Aufspliessende Faserbündel», Asbestiformität grenzwertig

 <p> <small>Mag. 590 x FW 802 µm HV 15 kV Int. Image Det. BSD Full WD 7.902 mm Pres. 0.10 Pa 2022-10-19 14:18 PK2-1.15_004</small> </p>	<p>Mehrere verschiedene Bündel, deutliche Längsspaltbarkeit.</p> <p>Durchmesserkriterium bei dieser Vergrösserung nicht beurteilbar.</p>
 <p> <small>EHT = 15.00 kV Signal A = NTS BSD Date : 17 Sep 2020 I Probe = 200 pA WD = 8.5 mm Mag = 2.00 K X Time : 10:02:10</small> </p>	<p>Sehr kompaktes Bündel.</p> <p>Fraglich ob Enden aufspliessend.</p> <p>Von Expertengruppe als asbestiform klassiert.</p>
 <p> <small>Mag. 3900 x FW 133 µm HV 15 kV Int. Point Det. BSD Full WD 6.404 mm Pres. 0.10 Pa 2022-10-04 15:53 Phenom XL</small> </p>	<p>Bündel in Bildmitte. Unteres Ende aufspliessend?</p> <p>Von Expertengruppe als nicht asbestiform eingestuft.</p>

Kategorie: «Wirrfaserige Aggregate / matted masses»



Verfilzte Struktur in der linken Bildhälfte beispielhaft für «matted mass»



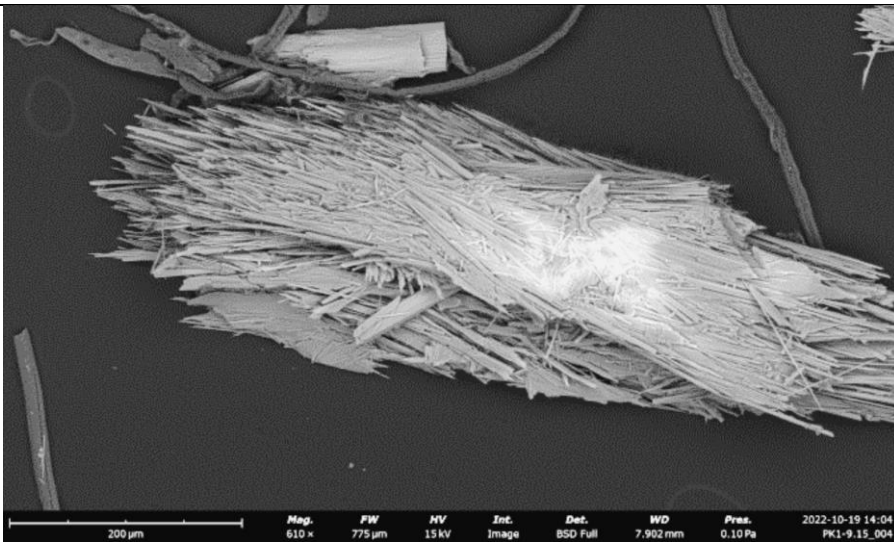
Grenzwertig, aber noch als wirrfaserige Aggregate aufzufassen.

Bei höherer Vergrößerung eventuell als Anhäufung von Einzelfasern und stängeligen Partikeln erkennbar.

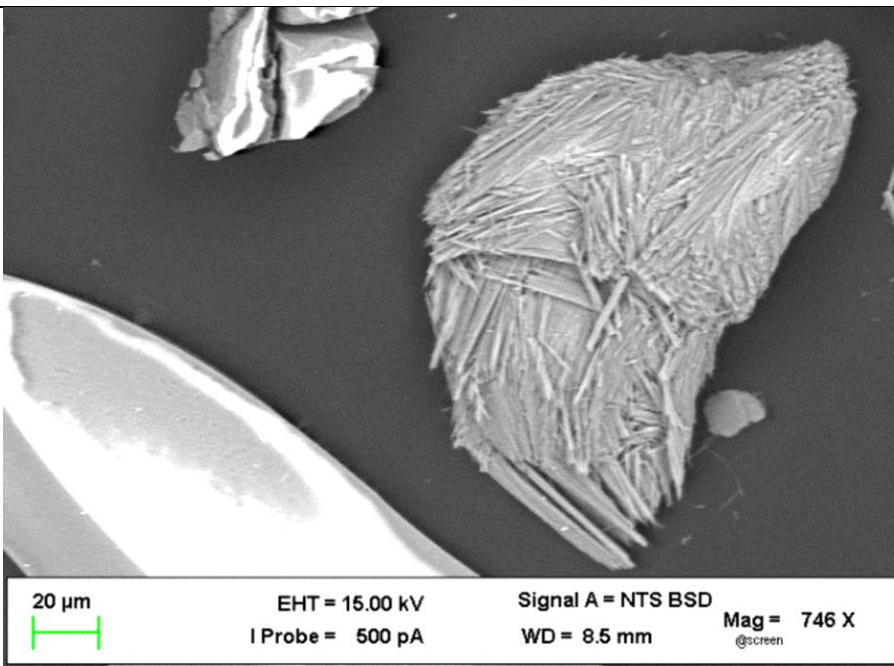


Kompakte «matted mass» im REM

Ungeordnete Bündel und einige Einzelfasern



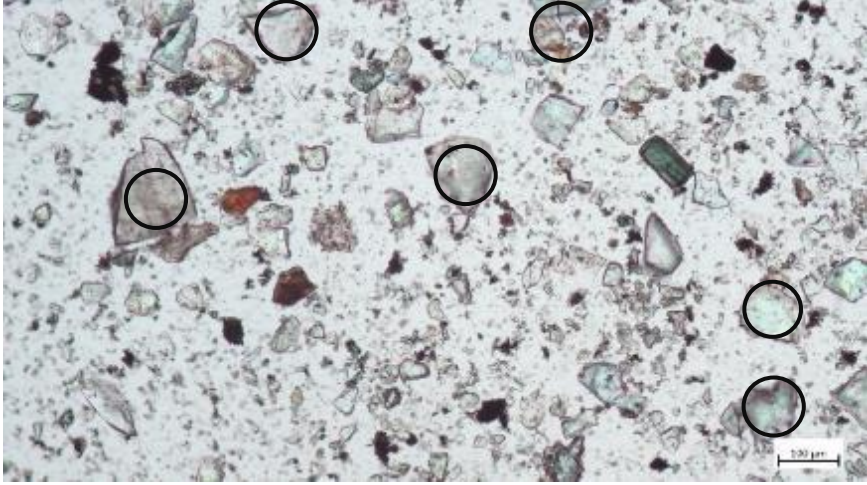

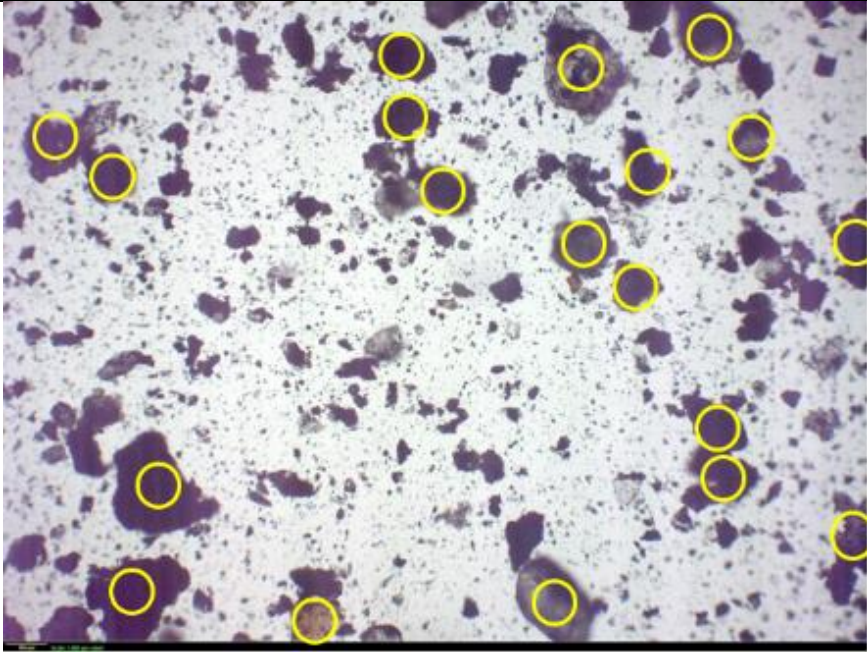

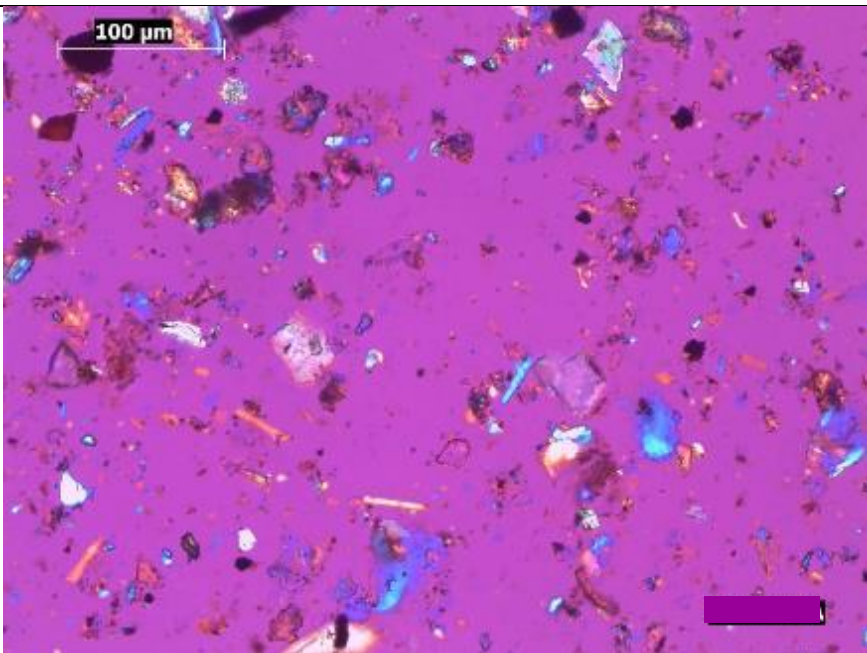
Sehr grosses Bündel oder «matted mass».



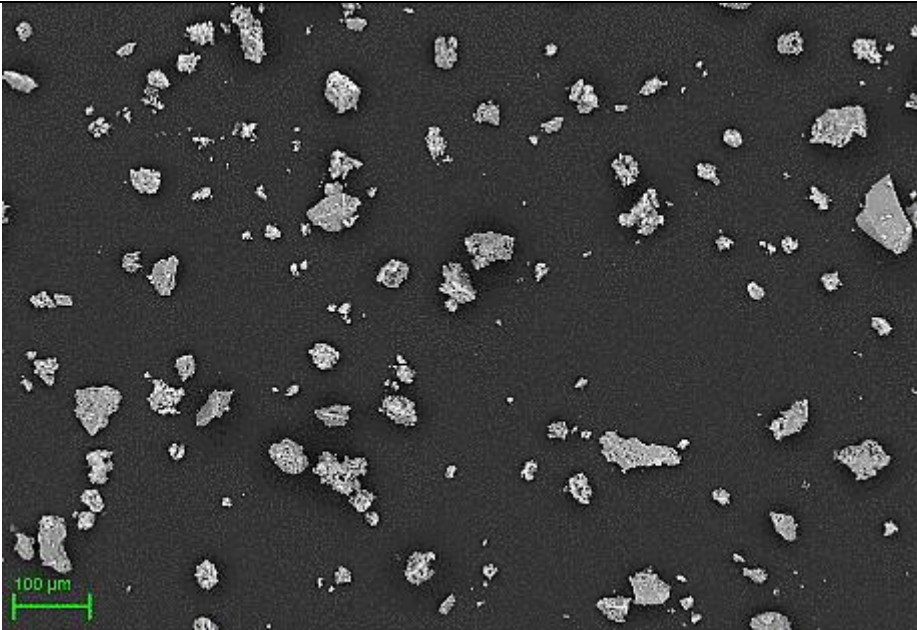

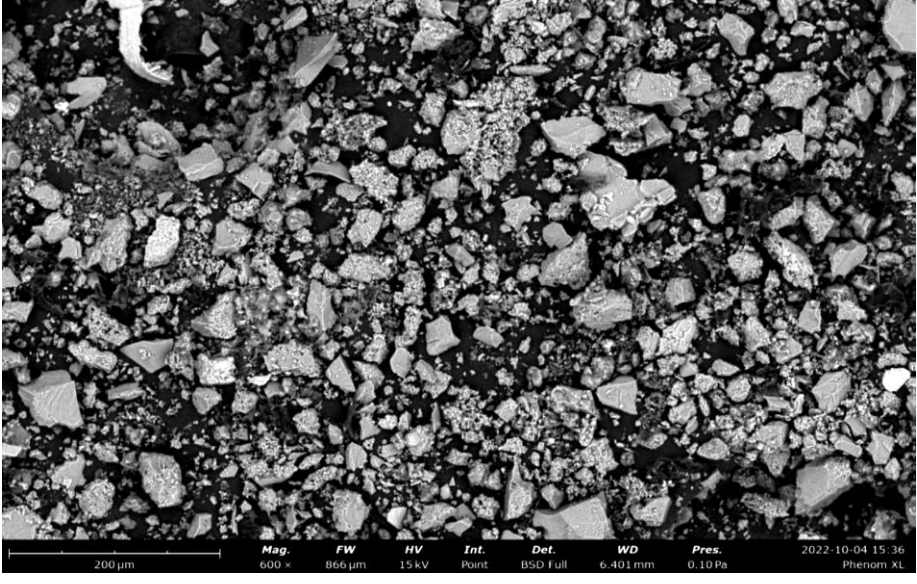
Sehr kompakte «matted mass»

Vorhandensein von Fasern mit Durchmesser < 1 µm, muss bei höherer Vergrösserung noch überprüft werden.

Beilage 2: Beispielbilder Korngrösse und Belegung von Präparaten bei der PLM- und REM-Analytik

	<p>D=0.1 mm </p> <p>Ziemlich optimale Korngrössenverteilung. Eher dichte Belegung.</p>
	<p>D=0.1 mm </p> <p>Korngrössenverteilung eher grob. Belegungsichte gut.</p>
	<p>Korngrösse eher fein. Belegungsichte gut.</p>

Beispielbilder Korngrösse von Präparaten bei der REM-Analytik

	<p>Korngrösse gut, Belegung knapp. (verringert die Nachweisgrenze resp. erhöht den Analysenaufwand)</p>
	<p>Korngrösse gut, Belegung gut bis dicht.</p>
	<p>Dichte Belegung</p>