

Aussenluft-Asbestmonitoring am Standort Zürich Kaserne

Verfasser

Mario Meier
Tel.: +41 79 830 77 69
mario.meier@particle-vision.ch

Thomas Zünd
thomas.zuend@particle-vision.ch

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt BAFU
Abteilung Luftreinhaltung und Chemikalien
3003 Bern

Fribourg, 15. Oktober 2015

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1. Einleitung	3
1.1 Ausgangslage	3
1.2 Auftrag / Zielsetzung	3
2. Methodik	4
2.1 Probenahme	4
2.2 Analytik	5
2.3 Konzentrationsberechnung	7
2.4 Qualitätssichernde Messungen	8
3. Resultate	9
3.1 Lungengängige Asbestfasern	9
3.2 Weitere lungengängige Fasern	10
3.3 QS: Vergleichsmessungen und Doppelprobenahme	14
4. Konklusion	16
5. Referenzen	17
Definitionen	18

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Asbest ist ein Sammelbegriff für verschiedene in der Natur auftretende faserförmige Silikate, welche aufgrund ihrer grossen physikochemischen Stabilität bei zahlreichen Anwendungen zum Einsatz kamen. Unter anderem wurde Asbest in grossen Mengen in der Bauindustrie verwendet. Aufgrund der kanzerogenen Wirkung ist die Verwendung von Asbest heute in vielen Staaten verboten. So auch in der Schweiz, wo am 1. März 1989 ein weitgehendes Asbestverbot in Kraft getreten ist.

Trotz dieses Verbotes muss aufgrund von Abriss-, Umbau- und Renovationsarbeiten von asbesthaltigen Gebäuden, sowie beim Baustoffrecycling und der Endlagerung von asbesthaltigem Material von Asbestemissionen ausgegangen werden. Zudem kommt Asbest im Alpenraum auch natürlich vor, weshalb durch Steinbrüche oder durch die Verarbeitung von asbesthaltigen Gesteinen lokal Asbestfasern in die Aussenluft gelangen können. Da besonders Arbeiter, welche mit Asbestfasern in Kontakt gelangen können, einer Gesundheitsgefährdung ausgesetzt sind, gibt es gut etablierte Methoden, um Asbestkonzentrationen in der Raumluft zu ermitteln. Die gängigste Methode, welche in der Schweiz verwendet wird, basiert auf der aktiven Probenahme auf goldbedampften Filtern mit anschliessender Analyse mittels Rasterelektronenmikroskop (REM) und ist in der VDI-Richtlinie VDI 3492:2013 (VDI, 2013) verankert. Etwas anders sieht es für die Asbestkonzentrationen in der Aussenluft aus. Die Methode VDI 3492:2013 kommt dort zwar ebenfalls für kurzzeitige Messungen zum Einsatz, für eine Langzeitmessung oder gar ein Monitoring ist diese Methode jedoch nur bedingt zu gebrauchen, da dies mit einem grossen zeitlichen und finanziellen Aufwand verbunden wäre. Aus diesem Grunde ist die Datenlage zur Asbestkonzentration in der Aussenluft relativ gering. Um dem Abhilfe zu schaffen, liess das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in einem vorgängigen Projekt testen, ob der Sigma-2 Passivsammler, welcher in der VDI Richtlinie VDI 2119:2013 (VDI, 2013) verankert ist, als Sammelgerät für Asbestfasern in Frage kommt. Die Resultate dieser Studie (Meier und Zünd, 2013) fielen positiv aus, so dass für die hier vorliegende Arbeit diese neue Methode zum Einsatz kam.

1.2 Auftrag / Zielsetzung

Aufgrund der geringen Datenlage bezüglich der Asbestkonzentrationen in der Aussenluft beauftragte das Bundesamt für Umwelt (BAFU) die Particle Vision GmbH ein Asbestmonitoring während einem Jahr am Standort Zürich Kaserne zu betreiben. Zürich wurde bewusst als Standort gewählt, um erste Informationen zur Asbestbelastung über einen längeren Zeitraum in einer dicht bevölkerten Region zu erhalten. Parallel zur Asbestkonzentration wurden auch die Konzentrationen anderer lungengängigen Fasern bestimmt. Um den Sigma-2 Passivsammler als Asbestprobenahmegerät weiterführend zu evaluieren, wurden zudem während zwei Perioden vergleichende Probenahmen nach VDI 3492:2013 getätigt und auch eine Doppelprobenahme fand statt.

2. Methodik

2.1 Probenahme

Die Probenahme fand mittels Sigma-2 Passivsammler nach VDI 2119:2013 am Standort Zürich Kaserne statt. Dieser Standort liegt inmitten der Stadt Zürich und ist Teil des NABEL-Luftqualitätsmessnetz (Abbildung 1).



Abbildung 1: Probenahme am Standort Zürich Kaserne. Aufgrund einer weiteren, parallelllaufenden Messkampagne, war der Standort während den Vergleichsmessungen jeweils mit zwei Minivolum Samplern (links) und zwei Sigma-2 Passivsammlern (rechts) bestückt.

Als Probenahmesubstrat kamen zuerst spiegelpolierte mit 40 nm Gold beschichtete Graphitscheiben zum Einsatz. Im späteren Verlauf wurden diese durch vergoldete Kernporenfilter ersetzt. Diese wurden mit Kohlenstoffpads auf Aluträger aufgeklebt. Beide Substrattypen wurden mit einem Kleber beschichtet, so dass die gesammelten Partikel haften bleiben und keine Verluste durch den Transport zu erwarten sind.

Im Allgemeinen wurde mit einem Probenahmeintervall von zwei Wochen vom 13.5.2014 bis zum 14.4.2015 gesammelt. Die Ausnahme davon waren die Perioden, welche für die qualitätssichernden Vergleichsmessungen genutzt wurden. Für diese wurde ein einwöchiges Probenahmeintervall gewählt. Zudem kam es bei der zweiten Serie von Vergleichsmessungen aus organisatorischen Gründen davor und danach zu abweichenden Probenahmeintervallen (Tabelle 1). Der Probenwechsel wurde von Herrn Urs Schaufelberger vom AWEL (Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft) Zürich und der Particle Vision GmbH vorgenommen.

2.2 Analytik

Die Analysen wurden mit einem REM (FEI XL-30 Sirion FEG) gekoppelt mit energiedispersive Röntgenspektroskopie (EDS) getätigt. Die Beschleunigungsspannung und Vergrößerung betragen, wie in der VDI 3492:2013 empfohlen, 15 keV respektive 2000x. Zur besseren elektrischen Leitfähigkeit, wurden die Proben vorgängig mit 40 nm Kohlenstoff bedampft.

Um die lungengängigen Fasern zu zählen, wurde eine Fläche von ca. 1.15 – 4.6 mm² pro Probe manuell abgesucht, wobei die Analysefläche für Asbest und die weiteren lungengängigen Fasern nicht immer identisch war. Ausserdem wurde die Analysefläche für die weiteren lungengängigen Fasern zu Beginn tiefer angesetzt, dann aber aufgrund der daraus resultierenden, relativ hohen maximal möglichen Faserzahlkonzentrationen nach oben angepasst. Eine Übersicht zu den jeweiligen Parametern kann der Tabelle 1 entnommen werden. Sobald eine Faser gefunden wurde, wurden die Länge und Breite der Faser ermittelt und mittels EDS ein chemisches Spektrum von dieser aufgenommen. Basierend auf diesen chemischen Analysen wurden die Fasern in fünf Klassen eingeteilt (Tabelle 2) und für jede Klasse eine mittlere Dichte angenommen. Diese spielt bei der Quantifizierung der Sigma-2 Proben eine wichtige Rolle.

Probe	Start-datum	End-datum	Anz. Tage	Analysefläche für LAF (mm ²)	Analysefläche für weitere LF (mm ²)	Bemerkungen
ZHK-01	13.05.2014	27.05.2014	14	4.6	1.15	
ZHK-02	27.05.2014	10.06.2014	14	4.6	1.15	
ZHK-03	10.06.2014	24.06.2014	14	4.6	1.15	
ZHK-04	24.06.2014	08.07.2014	14	4.6	1.15	
ZHK-05	08.07.2014	22.07.2014	14	4.6	1.15	Doppelprobe
ZHK-06	22.07.2014	05.08.2014	14	4.6	1.15	
ZHK-07	05.08.2014	19.08.2014	14	4.6	1.15	
ZHK-09	19.08.2014	25.08.2014	7	4.6	2.3	Vergleichsperiode
ZHK-10	25.08.2014	02.09.2014	7	4.6	2.3	
ZHK-11	02.09.2014	16.09.2014	14	4.6	4.6	
ZHK-12	16.09.2014	30.09.2014	14	4.6	4.6	
ZHK-13	30.09.2014	14.10.2014	14	4.6	4.6	
ZHK-14	14.10.2014	28.10.2014	14	4.6	4.6	
ZHK-15	28.10.2014	11.11.2014	14	4.6	4.6	
ZHK-16	11.11.2014	21.11.2014	10	4.6	4.6	
ZHK-17	21.11.2014	28.11.2014	7	4.6	4.6	Vergleichsperiode
ZHK-18	28.11.2014	09.12.2014	11	4.6	4.6	
ZHK-19	09.12.2014	23.12.2014	14	4.6	4.6	
ZHK-20	23.12.2014	06.01.2015	14	4.6	4.6	
ZHK-21	06.01.2015	20.01.2015	14	4.6	4.6	
ZHK-22	20.01.2015	03.02.2015	14	4.6	4.6	
ZHK-23	03.02.2015	17.02.2015	14	4.6	4.6	
ZHK-24	17.02.2015	03.03.2015	14	4.6	4.6	
ZHK-25	03.03.2015	17.03.2015	14	4.6	1.15	
ZHK-26	17.03.2015	31.03.2015	14	4.6	2.3	
ZHK-27	31.03.2015	14.04.2015	14	4.6	2.9	

Tabelle 1: Probenahme- und Analytikparameter der Sigma-2-Proben für Lungengängige Asbestfasern (LAF) und weitere lungengängige Fasern (LF)

Faserklasse	Fasertypen	Dichte in g/cm ³
Asbest	Chrysotil, Krokydolith, Anthophyllit, Amosit, Tremolit und Aktinolith	2.3
Silikatische (ohne Asbest)	Glasfasern und silikatische faserförmige Abriebpartikel	2.3
Kohlenstoffdominierte	Organische Fasern (z.B Cellulose) oder kohlenstoffhaltige Kunstfasern	0.9
Sulfate	Gipskristalle und andere Sulfate	2.1
Eisendominierte	Faserförmiger Abrieb von Eisen und Eisen(hydr)oxiden	5.1

Tabelle 2: Faserklassen und ihre entsprechenden Dichten, die Dichten wurden aufgrund möglicher Partikelporositäten etwas tiefer angesetzt, als sie in den Standardwerken angegeben werden. Dies hat den Effekt, dass die Faserzahlkonzentration jeweils etwas höher ausfällt und man sich damit bei der Beurteilung der Gefährlichkeit der Asbestfaserkonzentration auf der sicherheitsbedachten Seite befindet.

Das Auszählen der lungengängigen Fasern erfolgte nach VDI 3492:2013. Dieser Richtlinie folgend, werden nur Partikel als lungengängige Fasern bezeichnet, welche maximal 3 µm breit und mindestens 5 µm lang sind. Zudem muss das Verhältnis von Länge zu Breite mindestens 3:1 betragen. Sind diese Kriterien nicht erfüllt, gilt die Faser nicht als lungengängig und hat somit keinen Einfluss auf die Konzentrationsberechnung. Fasern welche nicht komplett im Auswertebereich liegen, werden jeweils nur als halbe Faser gezählt. Sollte genau eine halbe Faser gefunden werden, so wird diese für die Berechnung der Faserzahlkonzentration auf eine ganze Faser aufgerundet. Im Gegensatz zur Richtlinie wurden auch Partikel als Fasern ausgezählt, welche nicht kantenparallel sind. Zudem ist der Sigma-2 Passivsammler nur für Partikel mit einem Äquivalentdurchmesser > 2.5 µm validiert, weshalb auch nur Fasern quantitativ ausgewertet wurden, welche diese Bedingung erfüllen. Fasern mit einem Äquivalenzdurchmesser < 2.5 µm wurden aber trotzdem für eine qualitative Aussage erfasst und bei den Vergleichsproben zu Testzwecken quantifiziert. Inwiefern sich beide Messbereiche unterscheiden, kann der Abbildung 2 entnommen werden. Aufgrund der gemachten Erfahrungen (z.B. bei den Vergleichsmessungen) in diesem Projekt, wirkt sich diese Einschränkung kaum negativ aus und es macht den Anschein, dass der Sigma-2-Messbereich in Zukunft an den VDI-Messbereich angeglichen werden kann (vgl. Kapitel 3.3).

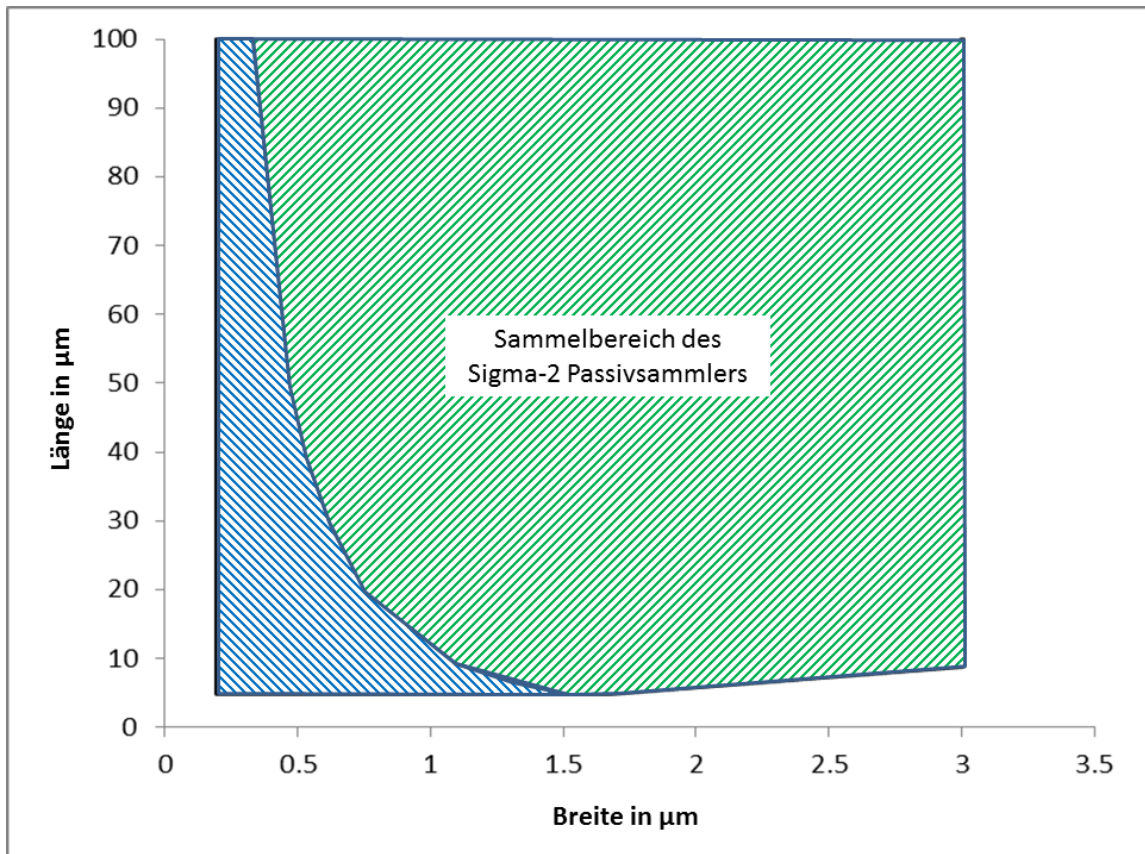


Abbildung 2: Der blaue und grüne Bereich zusammen entsprechen der Definition einer lungengängigen Faser (VDI-Messbereich) in Abhängigkeit der Länge und Breite. Der grüne Bereich ist jener, welcher quantitativ mit dem Sigma-2 Passivsammler (Sigma-2-Messbereich) erfasst werden kann.

2.3 Konzentrationsberechnung

Die Konzentrationsberechnung nach VDI 2119:2013 basiert auf kugelförmigen Partikeln. Um Faserkonzentrationen aus Sigma-2 Proben zu berechnen, sind deshalb Anpassungen vorzunehmen. Dazu gehören eine Annahme der Dichte und die Annahme/Berechnung der benötigten Formfaktoren. Eine detaillierte Beschreibung zur Berechnung der Faserkonzentration aus Sigma-2 Proben kann dem Bericht des Pilotprojektes (Meier und Zünd, 2013) und aus weiteren Studien (Hinds, 1999; Su und Cheng, 2005; Sturm, 2009) entnommen werden. Wurde keine Faser in der jeweiligen chemischen Klasse gefunden, so wurde von einer Faser mit einer Länge von $5\ \mu\text{m}$ und einer Breite von $1.44\ \mu\text{m}$ ausgegangen und daraus die Faserzahlkonzentration berechnet. Da Fasern mit diesen Dimensionen die tiefsten Sedimentationsgeschwindigkeiten im Sigma-2-Messbereich aufweisen, entspricht dies der maximal mögliche Faserzahlkonzentration und somit der analytischen Empfindlichkeit. Die effektive Konzentration an Fasern liegt in diesem Fall unter diesem Wert.

2.4 Qualitätssichernde Messungen

Als qualitätssichernde Massnahme wurden während zwei Perioden vom 19.- 25. August und vom 21. – 28. November 2015 parallel zur Probenahme mit dem Sigma-2 Passivsammler auch Proben mit einem Leckel Minivolume Sampler gemäss VDI Richtlinie 3492:2013 genommen (Tabelle 3). Dabei kamen vergoldete 47mm Kernporenfilter zum Einsatz. Um eine ganze Woche mit dieser Methode abdecken zu können, waren jeweils 3 Proben bei einem Fluss von 1.8 – 1.9 l·min⁻¹ notwendig. Bei diesen Vergleichsmessungen wurde auch getestet, wie gut der Sigma-2 Sammler für den gesamten VDI-Messbereich geeignet ist. Als zusätzliche qualitätssichernde Massnahme wurde in der Periode 5 vom 8. – 22. Juli 2014 eine Doppelprobenahme genommen.

Proben (Sigma-2)	VDI-Proben	Probenahmeintervall	Probenahmevervolumen (l)
ZRK-9	ZRK-9.1	19.08.2014 10:10 – 21.08.2014 09:05	5206
	ZRK-9.2	21.08.2014 09:10 – 23.08.2014 12:20	5672
	ZRK-9.3	23.08.2014 12:20 – 25.08.2014 15:40	5691
ZRK-17	ZRK-17.1	21.11.2014 12:25 – 23.11.2014 17:35	10725 ¹
	ZRK-17.2	23.11.2014 17:40 – 25.11.2014 12:45	4782
	ZRK-17.3	25.11.2014 12:50 – 28.11.2014 13:40	8085

Tabelle 3: Probenahmeparameter der Vergleichsmessungen

¹ Bei diesem Intervall lag der Fluss ausnahmsweise bei 3.3 l·min⁻¹

3. Resultate

3.1 Lungengängige Asbestfasern

Während des gesamten Monitorings wurden keine Asbestfasern gefunden, welche per Definition lungengängig waren und im Sigma-2-Messbereich lagen. Somit konnten nur die maximalen Faserzahlkonzentrationen ermittelt werden. Diese lagen in Abhängigkeit des Sammelintervalls zwischen 100 und 200 Fasern pro m^3 Luft (Abbildung 3). Allerdings wurde in der Probe ZHK-02 ein grösseres nicht lungengängiges Chrysotil-Asbestfaserbündel gefunden, welches ca. 200 nm breite, abgespreizte Fasern aufwies (Abbildung 4). Diese abstehenden Fasern würden bei einer Probe nach VDI 3492:2013 ausgezählt. Sowohl das Gesamtpartikel, wie auch die abgespreizten Fasern liegen ausserhalb des Sigma-2-Messbereiches, weshalb dieser Fund nur in die qualitative Betrachtung eingeflossen ist. Basierend darauf kann davon ausgegangen werden, dass zumindest zeitweise lungengängige Asbestfasern am Standort Zürich Kaserne in geringen Konzentrationen auftreten.

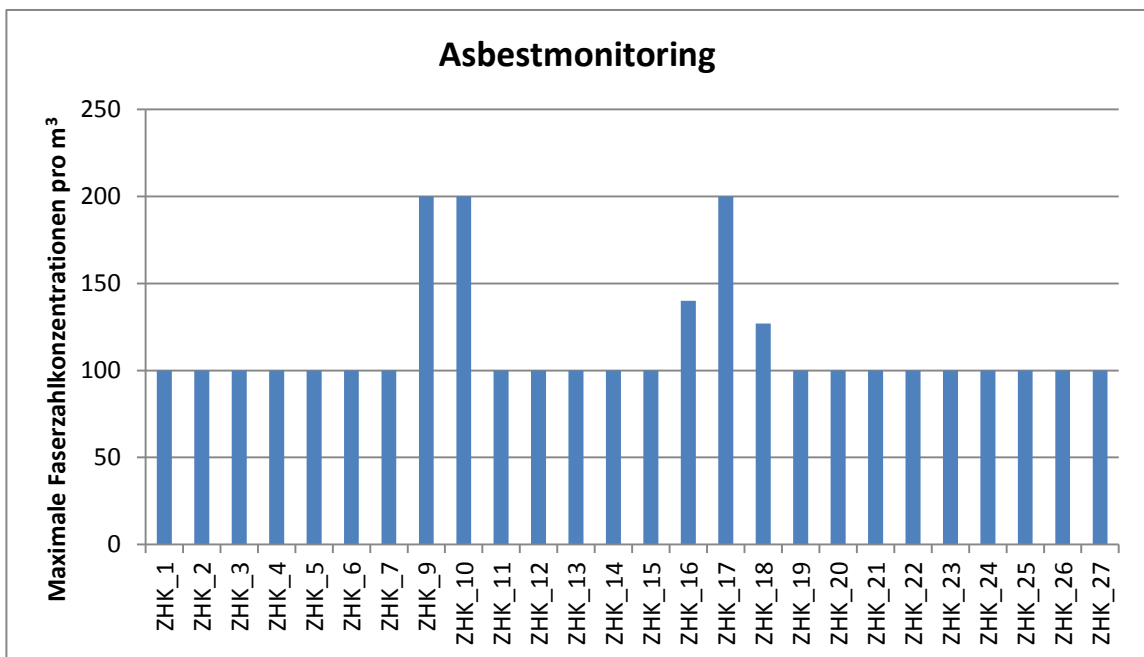


Abbildung 3: Der Jahresverlauf der maximalen Asbestfaserkonzentrationen. Die Unterschiede sind das Resultat unterschiedlicher Probenahmeintervalle. Zum Vergleich kann der Grenzwert der maximalen Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) beigezogen werden. Dieser liegt bei $10'000$ Fasern pro m^3 .

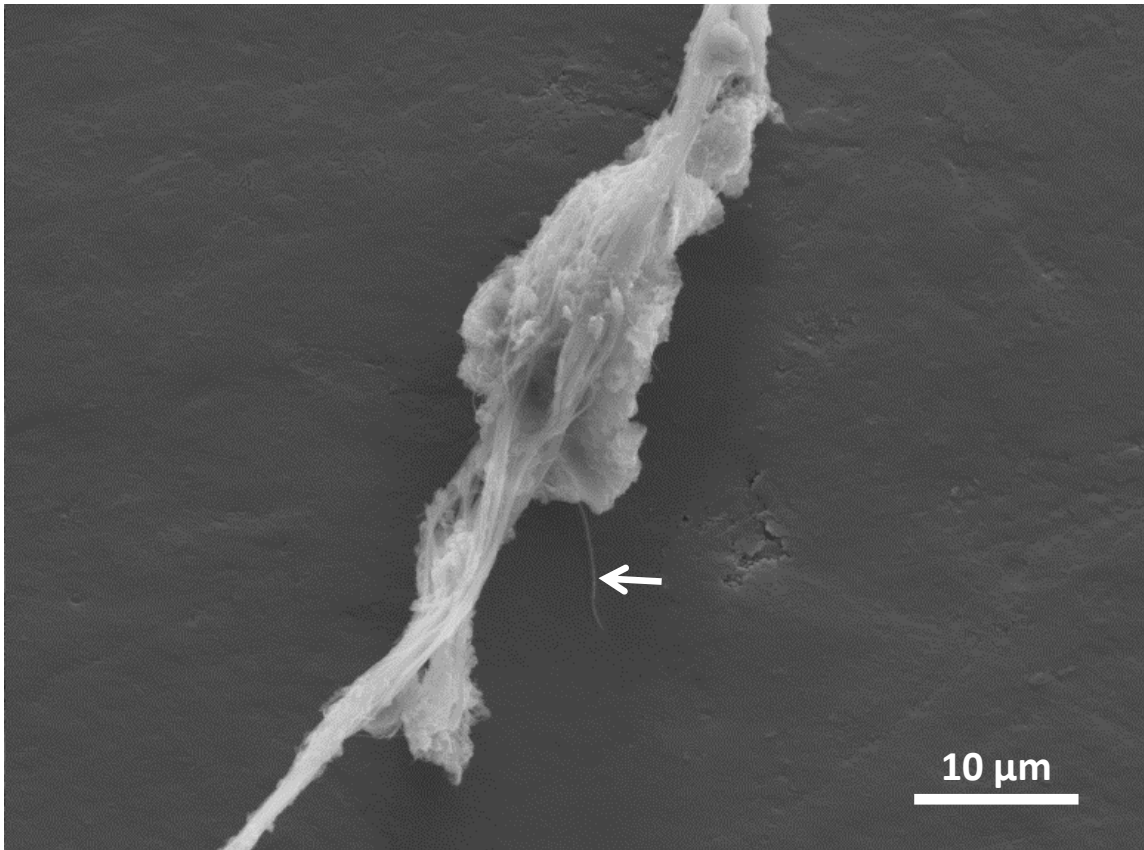


Abbildung 4: Grosses Faserbündel aus Chrysotilasbest (Länge: 70 μm , Maximale Breite des Bündels: ca. 7.5 μm) mit abstehender Faser (Pfeil).

3.2 Weitere lungengängige Fasern

Im Gegensatz zu den Asbestfasern, konnten Fasern aller anderen chemischen Klassen festgestellt werden. Am häufigsten wurden kohlenstoffdominierte Fasern mit diversen Morphologien festgestellt, wobei davon auszugehen ist, dass es sich meistens um organisches Material handelt. Auffällig sind zwei Events mit erhöhten Faserzahlkonzentrationen in dieser Klasse. Einer davon fällt in den Zeitraum von Ende Juni/ Anfangs Juli 2014, wobei es sich bei einigen „Fasern“ um ellipsoide Pollen handelt. Der zweite Event fand Ende August statt.

In deutlich geringerer Anzahl traten silikatische Fasern auf. In dieser Klasse konnten sowohl künstliche Mineralfasern (Glas- und Quarzfasern), wie auch faserförmiger geogenen und anthropogenen Abrieb von Silikaten festgestellt werden. Wenn es sich nicht um Quarzfasern handelte, war neben Si fast immer Al das zweite dominierende Element. Oft wurden zudem kleinere Anteile von Na, Mg, K, Ca und Fe festgestellt. Die silikatischen Fasern wiesen einen Event in der Periode ZHK-25 (Anfangs März 2015) auf.

Auch Sulfatfasern traten nur in kleinen Faserzahlkonzentrationen auf. Bei dieser Klasse handelte es sich in der Regel um Kalziumsulfate (Gips) und vereinzelt um Kalium- und Natriumsulfate, sowie um Mischsulfate dieser Kationen. Vereinzelt konnte festgestellt werden, dass die Sulfatfasern unter dem Elektronenstrahl und wohl auch im Hochvaku-

um und somit bei der Probenpräparation instabil wurden, weshalb Verluste nicht ausgeschlossen werden können. Auch hier konnte ein Event mit erhöhten Konzentrationen festgestellt werden. Dieser fand in der Periode ZHK-20 zum Jahreswechsel 2014/2015 statt und wurde fast ausschliesslich durch Fasern im VDI-Messbereich, welcher nicht quantitativ durch den Sigma-2 abgedeckt wird, verursacht. Eine mögliche Erklärung für diesen Event, könnten die Silvesterfeuerwerke sein.

Als letzte Fasergruppe konnten eisendominierte Fasern festgestellt werden. Diese traten in geringen Mengen auf und hatten ihr Maximum in der Periode ZHK-25, während dem Event der silikatischen Fasern, weshalb ein Zusammenhang denkbar wäre. Bei den eisendominierten Fasern ist von Eisenabrieb auszugehen, wobei die nahegelegene Eisenbahn, der Tramverkehr oder eisenverarbeitende Prozesse (z.B. Schleifarbeiten) als Quellen in Frage kommen. Denkbar wäre zum Beispiel eine Baustelle als Quelle für beide Faserklassen.

Ein paar Beispiele von analysierten Fasern, werden in der Abbildung 5, der Jahresverlauf der Faserkonzentrationen der diversen chemischen Klassen wird in Abbildung 6 gezeigt.

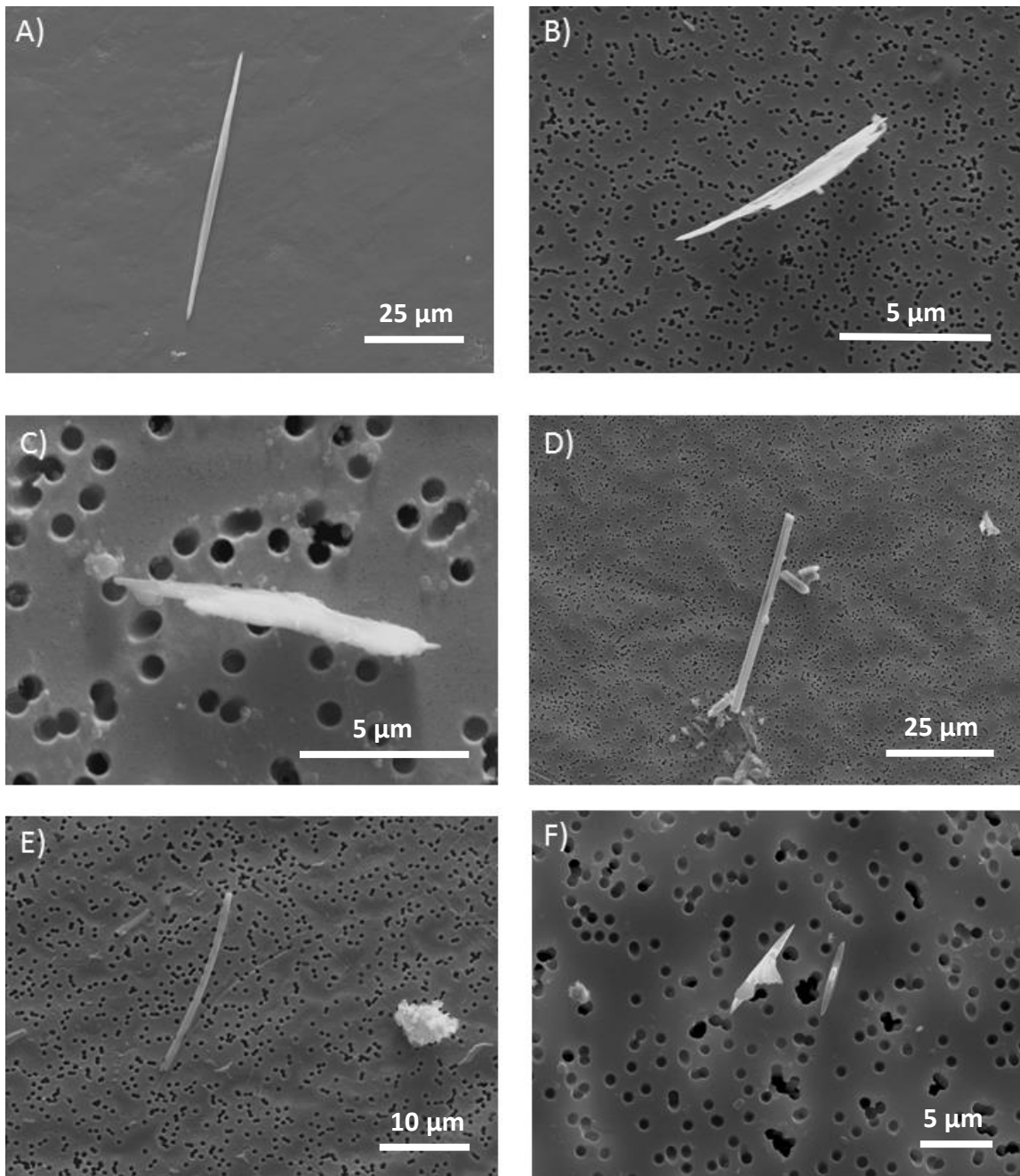


Abbildung 5: Diverse analysierte faserförmige Partikel: A) Kohlenstoffdominierte Faser (Länge: 68 μm); B) eisendominierte Faser (Länge: 8.1 μm); C) Silicateische Faser, welche neben Si noch Al und K enthält (Länge: 10.3 μm); D) Glasfaser mit den Elementen Si, Ca, Al und Mg (Länge: 53 μm); E) Quarzfaser (Länge: 23.6 μm); F) 2 Sulfatfasern, welche als Kationen Ca und K enthalten (Länge der längeren Faser: 7.4 μm).

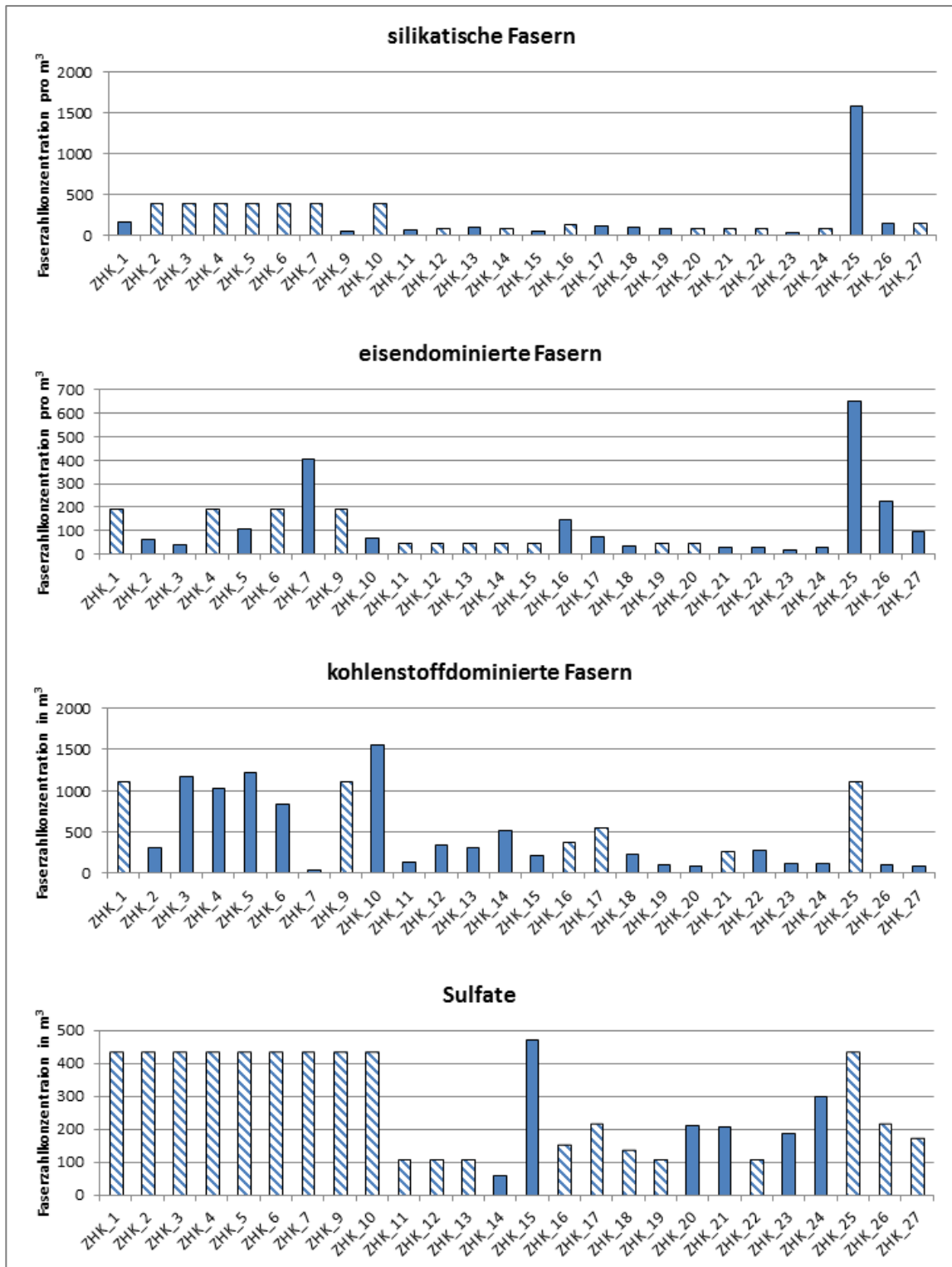


Abbildung 6: Die Resultate des Monitorings der Fasern, bei welchen es sich nicht um Asbest handelt. Die schraffierten Balken stehen für Proben bei welchen keine Faser der entsprechenden Klasse gefunden wurde und geben die maximal mögliche Faserzahlkonzentration an.

3.3 QS: Vergleichsmessungen und Doppelprobenahme

Die Vergleichsmessungen zwischen dem Sigma-2 Passivsammler nach VDI 2119:2013 und der aktiven Probenahme nach VDI 3492:2013 zeigen, dass beide Methode Resultate in derselben Grössenordnung ergeben, was nicht nur für den validierten Sigma-2-Messbereich sondern für den gesamten VDI-Messbereich (Abbildung 7) gültig ist. Für den Vergleich gilt es vier Fälle zu unterscheiden:

- 1) Die Faserzahl für die entsprechende Klasse belief sich bei beiden Methoden auf 0, wodurch jeweils nur die analytische Empfindlichkeit angegeben wird. Diese Vergleiche zeigen, dass die gewählten Probenahme- und Analyseparameter so gewählt wurden, dass zumindest für den Sigma-2-Messbereich beide Methoden ähnliche Empfindlichkeiten ergeben.
- 2) Die Faserzahl für eine Methode liegt bei 0, jene der zweiten Methode ist > 0 , wobei die daraus berechnete Faserzahlkonzentration kleiner als die analytische Empfindlichkeit der ersten Methode ist. Liegt der Wert für die analytische Empfindlichkeit im Bereich der Faserzahlkonzentration der zweiten Methode, so kann von einem gesicherten vergleichbaren Resultat ausgegangen werden. Ist der Wert für die analytische Empfindlichkeit um ein Vielfaches höher als jene der Faserzahlkonzentration, so ist das Resultat zwar plausibel aber ein direkter Vergleich macht wenig Sinn.
- 3) Die Faserzahl für eine Methode liegt bei 0, jene der zweiten Methode ist > 0 , wobei die daraus berechnete Faserzahlkonzentration grösser als die analytische Empfindlichkeit der ersten Methode ist. Liegt die Faserzahlkonzentration der zweiten Methode innerhalb des 95%-Vertrauensbereich der ersten Methode, so handelt es sich um Werte mit guter Übereinstimmung, was sowohl bei den eisen-dominierten Fasern im Sigma-2 Messbereich in der Periode 5 wie auch bei den kohlenstoffdominierten Fasern im Sigma-2 Messbereich der Periode 17 der Fall war.
- 4) Die Faserzahl beider Methoden ist > 0 . Die Resultate sind direkt vergleichbar und ergaben in der Regel Werte mit guter Übereinstimmung.

Auch die Doppelprobenahme hat eine gute Übereinstimmung ergeben (Abbildung 8). Unterschiede zwischen den beiden Proben bezüglich der Faserzahlkonzentrationen lagen jeweils innerhalb der durch eine einzige Faser verursachten maximalen Faserzahlkonzentration.

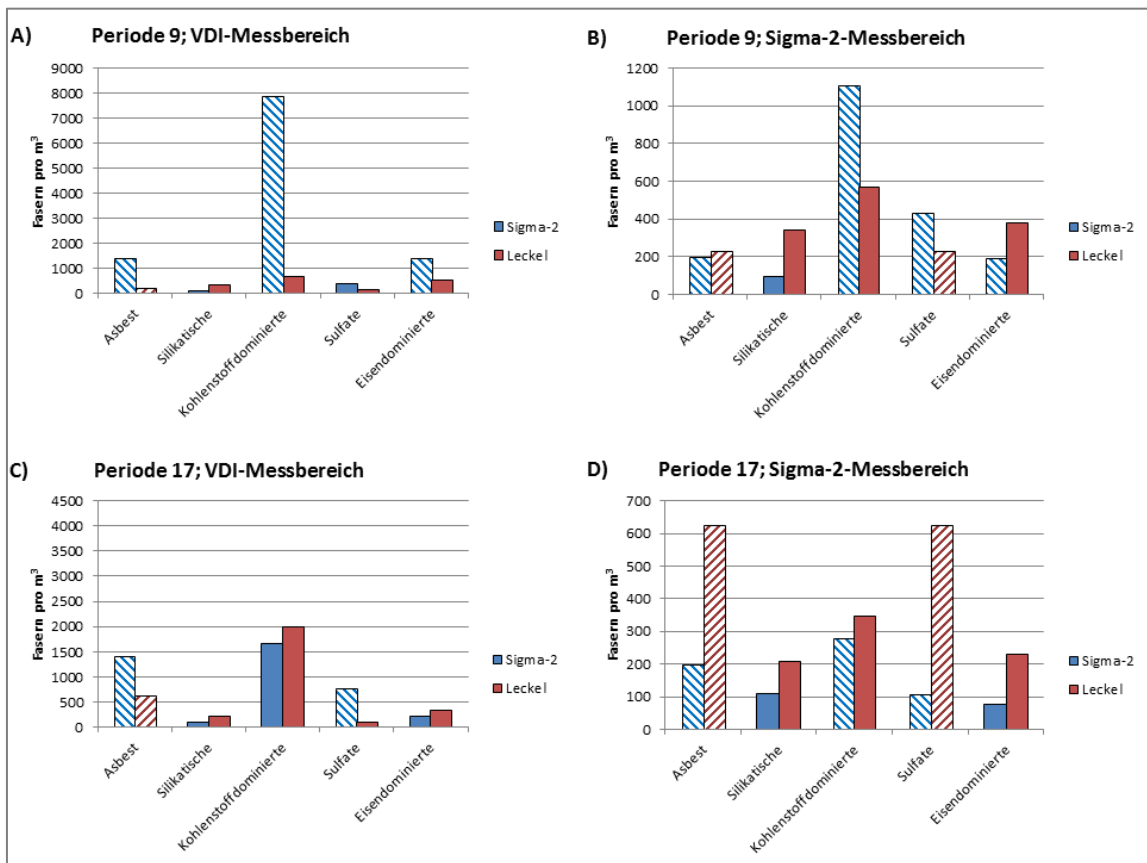


Abbildung 7: Die Resultate der beiden Vergleichsmessungen in den Messperioden ZRK-9 (Diagramme A und B) und ZRK-17 (Diagramme B und C) für den VDI-Messbereich (Diagramme A und C) und den Sigma-2-Messbereich (Diagramme B und D). Die schraffierten Balken entsprechen der analytischen Empfindlichkeit (= maximal mögliche Faserzahlkonzentration im Falle des Sigma-2).

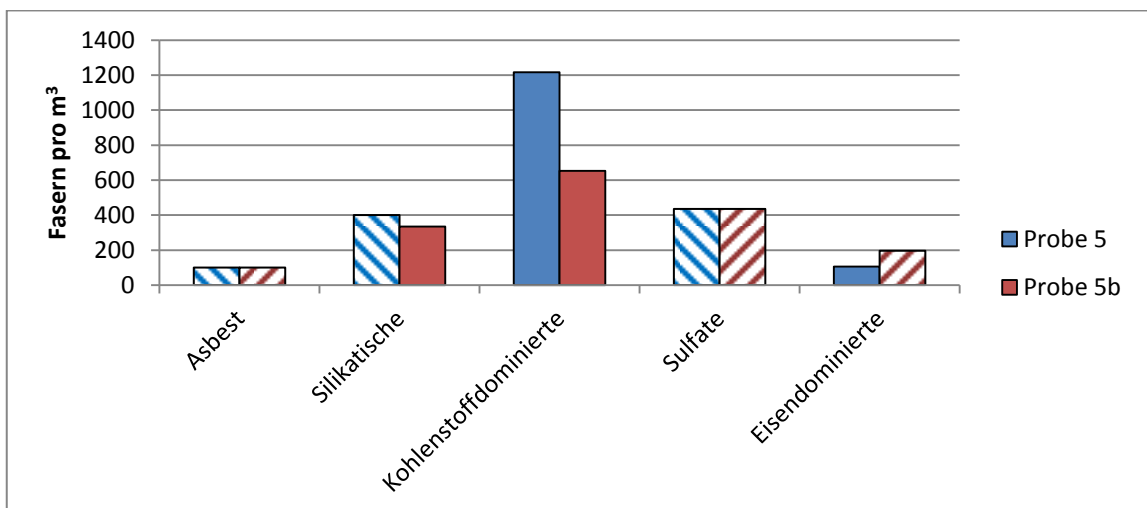


Abbildung 8: Resultate der Doppelprobenahme in der Periode ZRK-5. Die schraffierten Balken entsprechen der analytischen Empfindlichkeit (= maximale Faserzahlkonzentration bei einer Faser im Falle des Sigma-2).

4. Konklusion

Das Asbestmonitoring am Standort Zürich Kaserne zeigt, dass die Hintergrundkonzentration der Asbestfasern in der Aussenluft an diesem dicht bevölkerten Standort in der Regel weniger als 100 Fasern pro m^3 beträgt, was einer Konzentration von weniger als 1% des MAK-Wertes entspricht. Dieser Befund bestätigt die Resultate einer früheren Studie, bei welcher über kürzere Zeiträume Messungen nach VDI 3492 im Bereich von Asbestzementdächern vorgenommen wurden (BUWAL, 2005). Ein einzelner Fund einer Faser, welche nach VDI ausgezählt wird zeigt, dass zumindest zeitweise Asbestfasern auftreten. Die allerdings in sehr geringen Konzentrationen, welche kaum eine Gesundheitsgefährdung für die Bevölkerung darstellen. Es ist aber auch davon auszugehen, dass in der Schweiz lokal oder zeitlich begrenzt Standorte existieren, in deren Umgebung mehr Asbestfasern in die Aussenluft gelangen und somit eine potentielle Gefahr für die dort lebende Bevölkerung existieren könnte.

Neben Asbest wurden weitere lungengängige Fasern detektiert. Diese wurden chemisch in 4 Klassen (silikatische, kohlenstoffdominierte, Sulfate und eisendominierte) eingeteilt. Die Konzentrationen dieser Fasern sind generell ebenfalls tief (< 1000 Fasern pro m^3). Nur vereinzelte Perioden wiesen leicht erhöhte Faserkonzentrationen auf, wobei einige dieser Events plausibel erklärt werden können. So fand ein Event der Klasse der kohlenstoffdominierten Fasern während der Pollensaison statt und ist auf die biologische Aktivität zurückzuführen. Der einzige Event der Sulfatklasse fand über den Jahreswechsel statt und könnte auf die Silvester-Feuerwerksaktivitäten zurückzuführen sein.

Methodologisch konnten gezeigt werden, dass die beiden Methoden nach VDI 2119:2013 und VDI 3492:2013 vergleichbare Resultate erzielen. Dadurch werden die früheren Resultate des Vergleichstestes (Meier und Zünd, 2013) und somit den möglichen Einsatz des Sigma-2 Passivsammlers für ein Asbestmonitoring bestätigt. Aufgrund der Resultate kann sogar eine Ausweitung des Sigma-2-Messbereiches auf den VDI-Messbereich in Betracht gezogen werden. Allerdings muss hinterfragt werden, ob zwei Vergleichsmessungen ausreichen, um eine genügend hohe Sicherheit zu haben. Insbesondere auch deshalb, weil die Faserkonzentrationen generell tief waren und somit oft unter oder im Bereich der maximalen Faserzahlkonzentration, respektive der analytischen Empfindlichkeit lagen. Dies gilt auch für die Resultate der Doppelproben, welche ebenfalls eine gute Übereinstimmung ergaben. Grundsätzlich kann gesagt werden, dass das gewählte Sammelintervall von zwei Wochen gut war. Für weitere Messungen könnte an ähnlich belasteten Messstandorten auch eine Erhöhung des Intervalls auf vier Wochen auf Kosten der zeitlichen Auflösung in Betracht gezogen werden.

5. Referenzen

- BUWAL**, 2005: *Messungen von Asbestfasern bei Asbestzementdächern*, Umwelt-Materialien Nr. 203, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 24 S.
- Hinds**, W. C., 1999: *Aerosol technology*, John Wiley and Sons, ISSN 0{0471{19410{7.
- Meier**, M. and Zünd, T., 2013: *Asbest-Immissionsmessungen in der Aussenluft; Messmethodenvergleich: Probenahme nach VDI 3492:2013 vs. Probenahme nach VDI 2119:2013*, Bericht für das Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
- Sturm**, R., 2009: *A theoretical approach to the deposition of cancer-inducing Asbestos fibers in the human respiratory tract*, The Open Lung Cancer Journal, 2, 1-11.
- Su**, W. C. and Cheng, Y. C., 2005: Deposition of fiber in the human nasal airway, *Aerosol Sci Technol*, 39, 888-901.
- VDI**, 2013: VDI 2119:2013; *Messen von Immissionen - Probenahme von atmosphärischen Partikeln größer 2,5 µm auf einer Akzeptorfläche mit dem Passivsammler Sigma-2 - Lichtmikroskopische Charakterisierung sowie Berechnung der Anzahl sedimentationsrate und der Massenkonzentration*.
- VDI**, 2013: VDI 3492:2013; *Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Messen von Immissionen - Messen anorganischer faserförmiger Partikel - Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren*.

Definitionen

Äquivalentdurchmesser:

Der Äquivalentdurchmesser eines Partikels entspricht dem Durchmesser einer Kugel, welche das identische Volumen wie das Partikel aufweist. Ausgehend davon, dass es sich bei Fasern um Zylinder handelt, kann der Äquivalentdurchmesser ($d_{\text{äq}}$) unter Einbezug der Breite (B) und dem Längen-Breitenverhältnis (β) wie folgt berechnet werden:

$$d_{\text{äq}} = \sqrt[3]{1.5 \cdot B^3 \cdot \beta}$$

Analytische Empfindlichkeit:

Die analytische Empfindlichkeit entspricht der Faserzahlkonzentration, welche bei aktiver Probenahme aus der Faserzahl 1, also aus genau einer gefundenen Faser, resultiert. Bei einer Faserzahl 0 gilt, dass die Faserzahlkonzentration kleiner als der analytischen Empfindlichkeit ist.

Faserzahl:

Die Anzahl der Fasern einer Faserklasse (z.B. Asbestfasern), welche während einer Analyse ausgezählt wurde.

Faserzahlkonzentration:

Die Anzahl Fasern pro Luftvolumen für eine bestimmte Faserklasse, berechnet aus der Faserzahl und den Analyse-, sowie Probenahmeparametern.

Maximal mögliche Faserzahlkonzentration:

Maximal mögliche Faserzahlkonzentration, welche bei passiver Probenahme mit dem Sigma 2 bei einer gefundenen Faser (Faserzahl 1) resultieren kann. Diese Grösse bezieht sich immer auf eine Faser mit der geringstmöglichen Sedimentationsgeschwindigkeit, ist abhängig von der angenommenen Dichte der Faserklasse und ist zugleich die analytische Empfindlichkeit. Bei einer Faserzahl 0 gilt, dass die effektive Faserzahlkonzentration kleiner als der maximal möglichen Faserzahlkonzentration ist.

Nachweisgrenze:

Die Nachweisgrenze bei der Asbestanalyse nach VDI 3492:2013 ist die Faserzahlkonzentration, welche mit mindestens 95% Wahrscheinlichkeit bei einer Faserzahl 0 unterschritten wird, was dem dreifachen Wert der analytischen Empfindlichkeit entspricht.

Sigma-2-Messbereich:

Der Grössenbereich für lungengängige Fasern, welcher durch die Probenahme mit dem Sigma-2 abgedeckt wird. Im Gegensatz zum VDI-Messbereich müssen die Fasern einen Äquivalentdurchmesser von $\geq 2.5 \mu\text{m}$ aufweisen.

VDI-Messbereich:

Der gesamte Grössenbereich für lungengängige Fasern.