



Raumluftuntersuchungen in öffentlichen Gebäuden in Schleswig-Holstein

Teil 3: Stäube in Innenräumen:
Künstliche Mineralfasern (KMF) und Feinstaub
in Schulen und Kindergärten

Herausgeber:
Ministerium für Arbeit, Soziales und Gesundheit
des Landes Schleswig-Holstein
Adolf-Westphal-Str. 4
24143 Kiel

in Zusammenarbeit mit dem
Landesamt für soziale Dienste
des Landes Schleswig-Holstein
Brunswiker Str. 4
24105 Kiel

Ansprechpartnerin:
Gudrun Petzold
Tel. 0431/988-5421

ISSN 0935-4379

Februar 2012

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der schleswig-holsteinischen Landesregierung herausgegeben. Sie darf weder von Parteien noch von Personen, die Wahlwerbung oder Wahlhilfe betreiben, im Wahlkampf zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Druckschrift nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Landesregierung zugunsten einzelner Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Druckschrift zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Die Landesregierung im Internet:
www.landesregierung.schleswig-holstein.de

Die vorliegende Studie wurde vom Landesamt für soziale Dienste des Landes Schleswig-Holstein, Dezernat Umweltbezogener Gesundheitsschutz, durchgeführt. Ansprechpartner für weiterführende Fragen sind
Dr. Birger Heinzow, Tel. 0431/988-4330 und
Dr. Guido Ostendorp, Tel. 0431/988-4322

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung.....	4
1 Einleitung.....	5
2 Grundlagen.....	6
2.1 Faserstäube in der Raumluft.....	6
2.2 Feinstaub in der Innenraumluft.....	6
3 Bewertung von künstlichen Mineralfasern in Gebäuden.....	7
4 Materialien und Geräte.....	9
5 Durchführung.....	10
5.1 Vorbereitung der Probenahme für die Studie.....	10
5.2 Probenahmeorte und Durchführung der Probenahme.....	10
5.3 Rasterelektronenmikroskopische Auswertung.....	11
5.4 Auswertung der Feinstaubmessungen.....	11
5.5 Statistische Verfahren.....	12
6 Ergebnisse und Diskussion.....	13
6.1 Fasermessungen.....	13
6.1.1 Diskussion der Probenahmetechniken von sedimentierten Fasern.....	13
6.1.2 Diskussion der rasterelektronenmikroskopischen (REM) Auswertung.....	14
6.1.3 Diskussion der Ergebnisse der Luftproben.....	14
6.1.4 Diskussion der Ergebnisse der Sedimentationsproben.....	15
6.1.5 Vergleich der Untersuchungsverfahren.....	15
6.2 Ergebnisse der Feinstaubmessungen.....	16
6.2.1 Auswertung zu PM10.....	16
6.2.2 Auswertungen zu PM2,5.....	19
6.2.3 Korrelation PM10 und PM 2,5.....	20
6.2.4 Bewertung der Feinstaubgehalte in der Raumluft.....	21
6.2.5 Einfluss bestimmter Raummerkmale auf die Feinstaubkonzentration.....	21
7 Zusammenfassung.....	23
8 Literatur.....	24
9 Anhang.....	25
Anlage 1: Tabellen.....	25
Tabelle 11: Ergebnisse der Fasermessungen in der Raumluft.....	25
Tabelle 12: Ergebnisse der Fasermessungen in sedimentiertem Staub.....	27
Anlage 2: Erläuterungen zum Ablauf der Untersuchungen und Probenahme für die Gesundheitsbehörden.....	29
Anlage 3: Fragebogen.....	30

Kurzfassung

Künstliche Mineralfasern werden als Baustoffe zur Wärmedämmung und als Schallschutz seit Jahrzehnten in nahezu jedem Bauwerk eingesetzt. Im öffentlichen Bereich ist der Einsatz in abgehängten Schallschutzdecken sehr weit verbreitet. In den letzten Jahren ist aber auch die Frage aufgeworfen worden, ob von solchen Konstruktionen möglicherweise Gesundheitsgefahren durch die Freisetzung von Fasern in die Raumluft ausgehen.

Dies war Anlass für das Landesamt für soziale Dienste (LAsD) in Zusammenarbeit mit der Hochschule Emden (Prof. Dr. Walker) zu prüfen, ob die Aussage noch zutrifft, dass dort, wo Dämmstoffe aus Mineralfasern vorschriftsgemäß verbaut wurden, in der Regel keine erhöhten Konzentrationen an künstlichen Mineralfasern (KMF) gemessen werden.

In keiner der 35 untersuchten Luftproben dieser Studie wurden Asbestfasern gefunden. Nachgewiesen wurden in den Luftproben aber teilweise Calciumsulfatfasern und sonstige anorganische Fasern (jeweils der kritischen Größe). Die Konzentrationen waren bei allen Faserarten der kritischen Größe aber jeweils unterhalb 500 Fasern/m^3 , demjenigen Wert, der als Zielwert für die Sanierung von Innenraumbelastungen bei Asbest gilt.

Im Ergebnis kann die Empfehlung: „Aus gesundheitlicher Sicht besteht kein Grund, sachgerecht eingebaute alte Mineralwolle-Dämmstoffe (KMF) zu entfernen“ aufrechterhalten werden.

1 Einleitung

Künstliche Mineralfasern werden als Baustoffe zur Wärmedämmung und als Schallschutz seit Jahrzehnten in nahezu jedem Bauwerk eingesetzt. Im öffentlichen Bereich ist der Einsatz in abgehängten Schallschutzdecken sehr weit verbreitet. In den letzten Jahren ist aber auch die Frage aufgeworfen worden, ob von solchen Konstruktionen möglicherweise Gesundheitsgefahren durch die Freisetzung von Fasern in die Raumluft ausgehen. In einzelnen Fällen wurde auch gleich aus Besorgnis vorsorglich saniert.

Dies war Anlass für das Landesamt für soziale Dienste (LAsD) in Zusammenarbeit mit der Hochschule Emden (Prof. Dr. Walker) zu prüfen, ob es durch Alterung der meist vor Jahrzehnten eingebauten Dämmstoffe zu einer erhöhten Freisetzung von Fasern kommt. Außerdem wurde der Frage nachgegangen, ob die Annahme noch zutrifft, dass dort, wo

Dämmstoffe aus Mineralfasern vorschriftsgemäß verbaut wurden, in der Regel keine erhöhten Konzentrationen an künstlichen Mineralfasern (KMF) gemessen werden [1].

Durch die Studie sollte in Zusammenarbeit mit den zuständigen Gesundheitsbehörden überprüft werden, ob die bestehenden Empfehlungen noch korrekt sind. Zu diesem Zweck erfolgte jeweils eine Messung auf künstliche Mineralfasern sowohl in der Raumluft als auch im Sedimentationsstaub in 20 Einrichtungen aus ganz Schleswig-Holstein.

In der öffentlichen Diskussion nimmt auch der allgemeine Feinstaub in Innenräumen breiten Raum ein. Parallel zu den Fasermessungen wurden daher auch die Feinstaubkonzentrationen der Fraktionen PM_{2,5} und PM₁₀ gemessen.

2 Grundlagen

2.1 Faserstäube in der Raumluft

Unter dem Begriff Faserstäube werden Partikel verstanden, die eine faser- beziehungsweise nadelförmige Struktur aufweisen. Aus hygienischer Sicht bedeutsam sind Fasern, die eine Länge von mehr als 5 µm aufweisen, deren Durchmesser kleiner als 3 µm ist und die ein Längen-zu-Durchmesser-Verhältnis von 3:1 überschreiten. Solche Fasern werden als „kritische“ Fasern¹ bezeichnet. Sie können beim Einatmen bis in das Lungengewebe eindringen.

Es gibt natürliche Fasern und künstlich hergestellte Fasern. Diese beiden Kategorien lassen sich wiederum unterteilen in anorganische Fasern und organische Fasern.

Zu den natürlichen anorganischen Fasern zählen Asbest, Talkum und Gips, zu den natürlichen organischen Fasern zählen Tierhaare (zum Beispiel Schafwolle) und Zellulosefasern (zum Beispiel Papierfasern, Baumwollfasern). Die verwendungsmäßig wichtigsten künstlich hergestellten anorganischen Fasern – auch als künstliche Mineralfasern (KMF) bezeichnet – sind glasige (amorphe) Fasern wie Mineralwollen (Glas-, Stein-, Schlackenwollen).

In Schulen finden sich häufig künstliche Mineralfasern („Mineralwolle“) als Filze, Matten oder Platten sowie als lose Wolle. Wie alle Mineralfaserprodukte

geben auch die aus Mineralwolle gefertigten Produkte Faserstäube ab, aufgrund der besonderen Materialeigenschaften jedoch weit weniger als zum Beispiel Asbestprodukte. Asbestprodukte hatten überdies andere Einsatzbereiche (zum Beispiel Brandschutz).

Zu Schallschutzzwecken in abgehängten Deckenkonstruktionen oder in Form von Akustikdeckenplatten eingebaute Mineralfasern haben insbesondere in Schulen häufiger zur Besorgnis einer möglichen Freisetzung von Fasern in die Raumluft geführt. Ein Erklärung hierfür ist, dass die Deckenkonstruktionen, um einen wirksamen Schallschutz zu gewährleisten, raumseitig perforiert sein müssen und die Mineralwolle nur lose aufliegt, so dass einzelne Fasern leicht durch die Perforation in den darunter liegenden Raum gelangen können.

Umfangreiche Messungen in verschiedenen Gebäuden, die Anfang der 1990er Jahre durchgeführt wurden, haben gezeigt, dass dort, wo Dämmstoffe aus Mineralfasern vorschriftsgemäß verbaut wurden, in der Regel keine Konzentrationen an kritischen künstlichen Mineralfasern gemessen wurden, die über der normalen Hintergrundkonzentration in der Außenluft liegen [1].

2.2 Feinstaub in der Innenraumluft

Nach ihrer Korngröße unterscheidet man verschiedene Schwebstaubfraktionen, wobei es sich nicht um eine scharfe Trennung handelt. Als PM₁₀ (PM, englisch „particulate matter“) bezeichnet man Partikel, die einen Größen selektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist. Mit abnehmender Wahrscheinlichkeit werden somit auch noch Partikel > 10 µm, bis hin zu ca. 20 µm abgeschieden. Die Definition von PM_{2,5} oder anderen PM-Fraktionen ist entsprechend. Unter

„Feinstaub“ verstand man früher PM₁₀. Grobstaub war entsprechend der größere Anteil des Gesamt-Schwebstaubes (TSP, englisch „total suspended particulate matter“). Die Staubfraktionen haben teilweise unterschiedliche Quellen. PM₁₀ stammt eher aus mechanischen Prozessen wie Bauarbeiten, Resuspension abgelagerter Partikel oder Erosion, während PM_{2,5} und kleinere Partikelfraktionen eher mit Verbrennungsprozessen (Autoabgase, Holz- und Kohlebrand, Tabakrauch) in Zusammenhang stehen [10].

¹ Anmerkung: oft auch als „WHO-Fasern“ bezeichnet

3 Bewertung von künstlichen Mineralfasern in Gebäuden

Die Staatliche Arbeitsschutzbehörde an der Unfallkasse Nord schreibt hierzu: „Die Konzentration kritischer Produktfasern ist bei Verwendung von Mineralwolle-Erzeugnissen in Gebäuden durch Faserfreisetzung in der **Nutzungsphase**

- in der Regel nicht erhöht, wenn folgende ordnungsgemäß durchgeführte Wärmedämmungen vorliegen: Dämmstoffe an der Außenwand; zweischaliges Mauerwerk mit innen liegender Dämmschicht; Anwendung im Innenraum beziehungsweise Dachbereich hinter einer dichten Verkleidung, z. B. aus Gipskarton, aus Dampfsperre und Holzpaneel oder vergleichbare Konstruktionen.
- in der Regel mäßig erhöht, wenn die Mineralwolle-Erzeugnisse so eingebaut sind, dass sie im Luftaustausch mit dem Innenraum stehen. Dieser Fall liegt vornehmlich bei abgehängten Decken ohne einen funktionsfähigen Rieselschutz vor.
- im Einzelfall deutlich erhöht, bis zu einigen 1.000 Fasern je m³, bei bautechnischen Mängeln beziehungsweise Konstruktionen, die nicht dem Stand der Technik entsprechen.

Konsequenzen:

Aufgrund der Krebsgefährdung hat der Gesetzgeber für diverse KMF ein Herstellungs- und Verwendungsverbot erlassen. Im Hochbau zu Zwecken der Wärme- und Schalldämmung sowie bei technischen Isolierungen besteht z. B. Verwendungsverbot. Die Hersteller selber hatten bereits vor einigen Jahren damit begonnen, ihre Rezepturen zu ändern und „unbedenkliche“ KMF zu produzieren.

„Unbedenkliche“ KMF sind frei vom Krebsverdacht und fallen nicht unter das Verwendungsverbot. Sie sind am RAL-Gütezeichen zu erkennen. [2]

Das Umweltbundesamt führt weiter aus: „Künstliche Mineralfasern werden nach der Gefahrstoffverordnung seit 1998 über ihre stoffliche Zusammensetzung anhand des Karzinogenitätsindex (KI-Index)¹ eingestuft in:

- KI-Wert ≤ 30: K2 – Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten.
- 30 < KI-Wert < 40: K3 – Stoffe, die wegen möglicher krebserzeugender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben.

- KI-Wert ≥ 40: keine Einstufung als krebserzeugend².

Fasern mit einem KI > 40 gelten nach heutigem Kenntnisstand als frei von Krebsverdacht, da ihre Biobeständigkeit nur noch ca. 30-40 Tage beträgt.

Etwa seit Ende der 1990er Jahre sind in Deutschland nur entsprechend geprüfte, biolösliche KMF-Dämmstoffe im Handel. Von diesen Materialien geht kein signifikantes Gesundheitsrisiko aus. Bei früher eingebauten KMF-Produkten (bis ca. 1998) sollen notwendige Sanierungsmaßnahmen, bei denen Fasern frei gesetzt werden können, mit Bedacht und nur bei guter Lüftung während der Arbeiten vorgenommen werden. Die TRGS 521 beschreibt die Schutzmaßnahmen, die bei Abbruch, Sanierungs- und Instandhaltungsarbeiten mit alter Mineralwolle ergriffen werden müssen.

Künstliche Mineralfasern sind also weitaus ungefährlicher als Asbestfasern einzustufen. Bisher gibt es keine Studie, die einen klaren Zusammenhang zwischen Krebs beim Menschen und einer Belastung mit KMF belegt. Folgende Gründe dürften dafür maßgebend sein:

- Mineralwolle-Dämmstoffe entwickeln weniger Faserstaub als vergleichbare Asbestmaterialien. Dies zeigt sich sowohl am Arbeitsplatz als auch bei Untersuchungen im Innenraum. Ein faserbedingtes Krebsrisiko konnte in der Mineralwolle-Dämmstoffindustrie nicht nachgewiesen werden, während es in der ehemaligen Asbestindustrie als nachgewiesen gilt.
- Die bei Asbest beobachtete Längsspaltung der Fasern, die ihre Gefährlichkeit erhöht, ist bei künstlichen Mineralfasern nicht zu befürchten.
- Die so genannte Biobeständigkeit (d.h. die Zeit, die eine Faser im Körper bis zur ihrer Auflösung braucht) wurde bei KMF in den letzten Jahren durch geeignete Materialzusammensetzung immer weiter verkürzt.

¹ Der KI- Wert ergibt sich aus der Differenz der Massegehalte der Oxide der Elemente Na, K, B, Mg, Ca, Ba und dem Zweifachen des Al-Oxid- Gehaltes

² Neben dem KI-Wert kann auch der Nachweis einer kurzen Biobeständigkeit als Kriterium der Einstufung dienen.

Künstliche Mineralfasern können aber eine Reizwirkung ausüben. So können zum Beispiel aus Schallschutzdecken freigesetzte künstliche Mineralfasern zu Irritationen der Augen und der oberen Atemwege bei Personen führen, die sich längere Zeit in dem belasteten Raum aufhalten. Bei Deckenkonstruktionen lässt sich dies durch Anbringen eines Rieselschutzes weitgehend vermeiden.“ [1]

Auch beim Umgang mit Mineralwolle-Dämmstoffen können durch die Fasern mechanische Hautreizungen auftreten. Hierfür sind gröbere Fasern (Durchmesser über 5 µm) verantwortlich, die sich aufgrund ihrer Steifheit in die Haut einspießen und einen unangenehmen Juckreiz hervorrufen können. Bereits

bestehende Hautprobleme können sich durch Exposition gegenüber Mineralwolle-Produkten verstärken [8].

Mit der hier vorgestellten Studie wird die Freisetzung kritischer Fasern aus vorschriftsmäßig eingebauten „alten“ KMF-Dämmstoffen überprüft. Weiterhin werden zwei verschiedene Techniken zur Probenahme von sedimentierten Fasern getestet: Leit-Tabs als Sedimentationssammler und als Abtupfproben-Sammler. (Anmerkung: „Abtupfproben“ werden in der VDI 3877 [5] auch als „Abdruckproben“ bezeichnet).

4 Materialien und Geräte

4.1 Geräte für die Luftprobenahme

- Goldbedampfter Kernporenfilter (Fa. APC):
Porenweite 0,80 μm
Goldschichtdicke: 40 plus 20 nm
- Pumpen: Fa. APC und Fa. Tecora



(Foto: Walker)

4.2 Geräte für die Staubprobenahme

- Leit-Tab, 12 mm, Typ G 3348
(Fa. Plano)
- Petrischale, 90 mm (Fa. Greiner)
- Teflon Folie



(Foto: Walker)

4.3 Feinstaubmessung (Partikelmassenkonzentration) in der Raumluft

- AEROCET GT 531 Partikelmonitor
(Fa. Met One Instruments Inc.)

Das Gerät misst die Partikelkonzentration laseroptisch, die Messungen sind mit Referenzmethoden vergleichbar.



4.4 Rasterelektronenmikroskopie

- REM der Hochschule Emden/Leer (Fa. JEOL, Typ: T300)
- Bildfeldgröße 67 x 52 μm ~ 0,0035 mm²
- Vergrößerung 350-, 1000-, 2000-fach

5 Durchführung

5.1 Vorbereitung der Probenahme für die Studie

Die Monitore für die Luftprobenahme wurden den beteiligten Gesundheitsbehörden in Schleswig-Holstein vom LASD zur Verfügung gestellt.

Die Leit-Tabs (Stempel, Klebefolie und Klarsichtröhrchen) wurden von der Hochschule Emden/Leer manuell zum fertigen Probenahme-Set vorbereitet. Sämtliche Gerätschaften, Probenahmeutensilien und Probenträger wurden den Ämtern zusammen mit entsprechenden Instruktionen und Fragebögen zur Verfügung gestellt. Die Anleitungen zur Durchführung

der Probenahmen (s. Anlage 2) wurden gemeinsam vom LASD und der Hochschule Emden/Leer erstellt.

Alle Proben wurden an der HS Emden/Leer ausgewertet. Im Rahmen einer Vorstudie zur Qualitätssicherung mit drei Laboren (zwei kommerzielle Labore und das Labor der HS Emden/Leer) wurde gezeigt, dass die Auswertung der HS Emden/Leer mit denen der kommerziellen Labore vergleichbar und sensitiv ist und keine Unterschätzung der Faserzahlen beinhaltet.

5.2 Probenahmeorte und Durchführung der Probenahme

Die beteiligten Gesundheitsbehörden in Schleswig-Holstein benannten aus dem Bestand der Liegenschaften in ihrem Zuständigkeitsbereich 20 Schulen, Kindergärten und andere öffentliche Einrichtungen mit abgehängten Decken und Bauteilen mit künstlichen Mineralfasern. Pro Liegenschaft sollten in zwei repräsentativen Räumen die Probenahmen entsprechend der jeweiligen Arbeitsanweisungen (auf Anfrage erhältlich) durchgeführt werden, die Rahmenbedingungen in einem Fragebogen (Anlage 3) festgehalten und photographisch die Bauteile, die künstlichen Mineralfasern enthielten, dokumentiert werden.

In 15 Einrichtungen konnte in je 2 Räumen und in 5 Fällen nur in einem Raum eine Fasermessung durchgeführt werden, so dass die Gesamtzahl der Fasermessungen 35 beträgt (Anlage 1). Jeweils eine

Sedimentationsprobe (S-Tab) und eine Abtupfprobe (P-Tab) wurden in 20 Räumen genommen, in 15 Räumen war mindestens eine der beiden Proben S-Tab oder P-Tab unvollständig beziehungsweise nicht verwertbar.

Außerdem wurde mit einem kontinuierlich aufzeichnenden Partikelmessgerät der Feinstaubgehalt in der Raumluft während der Fasermessung dokumentiert.

Die Probenahme erforderte zu Beginn jeweils eine Nutzungssimulation nach VDI 3492 [3], zum Beispiel durch Betrieb von Ventilatoren, Türeenschlagen oder ähnliche Aktivitäten. Details zur Durchführung der Probenahme und Anwendung der Sammler finden sich in Anlage 2.

Beteiligt haben sich die Gesundheitsbehörden der folgenden Kreise und kreisfreien Städte:

Stadt Kiel

Hansestadt Lübeck

Stadt Flensburg

Kreis Dithmarschen

Kreis Herzogtum Lauenburg

Kreis Ostholstein

Kreis Plön

Kreis Pinneberg

Kreis Rendsburg-Eckernförde

Kreis Schleswig-Flensburg

5.3 Rasterelektronenmikroskopische Auswertung

Die Auswertung der Luftproben erfolgte gemäß VDI 3492 in Verbindung DIN EN ISO 16000-7 [3, 4].

Für die Sedimentationsproben wurden zwei Verfahren angewendet.

Zunächst wurden in Anlehnung an VDI 3492 bei 2000-facher Vergrößerung je Probe ca. 400 Bildfelder ausgewertet. Bei einer Bildfeldgröße von $67 \times 52 \mu\text{m}$ (= ca. $0,0035 \text{ mm}^2$) entspricht dies einer ausgewerteten Fläche von ca. $1,4 \text{ mm}^2$. Das Ergebnis wurde dann auf eine Fläche von 1 cm^2 umgerechnet.

Zusätzlich wurden alle Sedimentationsproben in Anlehnung an die (zum Zeitpunkt der Studie noch im Entwurf vorliegenden) VDI 3877 [4] bei zwei verschiedenen Vergrößerungen (350-fach und 1000-fach) ausgewertet.

Auch hier wurde anschließend auf eine Fläche von 1 cm^2 umgerechnet und die untere und obere Grenze der Poisson-Verteilung (95 % Vertrauensbereich) angegeben. Einer Faser auf der ausgewerteten Fläche von ca. 1 bis $1,5 \text{ mm}^2$ entsprechen somit ca. 100 Fasern pro cm^2 beziehungsweise 100 Fasern pro m^3 Raumluft.

5.4 Auswertung der Feinstaubmessungen

Die Feinstaubmessungen wurden im Intervall von 5 Minuten durchgeführt, dabei wurden die Messergebnisse für die Größen-Fractionen PM_{2,5} und PM₁₀ während 2 Minuten ermittelt und gespeichert. Ein Messzyklus betrug also 7 Minuten. Bezogen auf die Probenahmedauer der Fasermessung von ca. 8 Stunden ($3880 \text{ l Gesamtvolumen} / 8 \text{ l/Minute} = 475 \text{ Minuten}$) entspricht dies 68 Messzyklen.

Der Gehalt der Gesamtpartikel (TSP = total suspended particles) konnte nicht erfolgreich bestimmt werden, da bei mehreren Messungen dieser kleiner als der Gehalt der PM₁₀ war, was nicht plausibel ist.

Das Ergebnis der Partikelmassen über den Zeitverlauf wurde grafisch dargestellt.

Die Auswertung der Messreihen für den Vergleich der einzelnen Räume kann entweder über die Summe der Einzelwerte einer jeden Messreihe oder über die nach der Trapezmethode ermittelte Fläche unter der Kurve als Indikator für die gesamte Belastung mit der betrachteten Fraktion erfolgen. Beides führt zu einem nahezu identischen Ergebnis:

Summe: $A + B + C + D + \dots + n_i$

Fläche: $[(A + B)/2 + (B + C)/2 + (C + D)/2 + \dots + (n_{i-1} + n_i)/2] \cdot 7 \text{ min}$

$= [A/2 + B + C + D + \dots + n_i/2] \cdot 7 \text{ min}$

Der Unterschied besteht neben dem aus dem Zeitintervall zwischen den Messpunkten resultierenden Faktor 7 lediglich in $(A + n_i)/2$. Bei 68 Messpunkten je Reihe fällt dies nicht ins Gewicht, zumal der letzte

Messpunkt n_i am Ende der Abklingkurve üblicherweise den Wert 0 aufweist beziehungsweise kleiner als die Bestimmungsgrenze (BG) ist. Die Korrelation zwischen Fläche und Summe ist entsprechend stark.

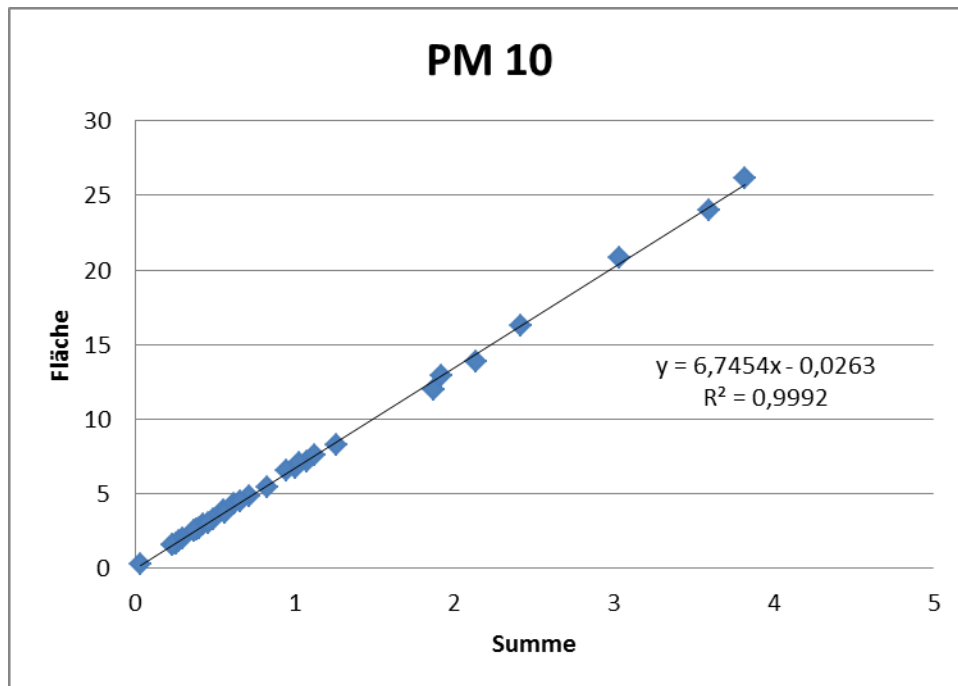


Abbildung 1: Korrelation zwischen Summe und Fläche am Beispiel PM10

5.5 Statistische Verfahren

Die Ergebnisse der Fasergehalte in der Luft und im Sedimentationsstaub werden im Anhang in den Tabellen 11 und 12 als berechnete Gehalte pro m^3 beziehungsweise Faserzahl pro cm^2 angegeben, der Poissonwert wurde nach VDI 3492 [3] angegeben.

Die vergleichenden Betrachtungen wurden statistisch mit dem Programm SPSS durchgeführt und als lineare Regression beziehungsweise als asymptotische Signifikanz angegeben.

6 Ergebnisse und Diskussion

6.1 Fasermessungen

6.1.1 Diskussion der Probenahmetechniken von sedimentierten Fasern

Üblicherweise werden Einschätzungen von Risiken durch Faserstäube auf der Grundlage von Luftmessungen und Materialanalysen durchgeführt. Aus Sedimentationsproben können zwar keine gesundheitlichen Bewertungen abgeleitet werden, die Untersuchung von abgelagerten Stäuben auf Flächen kann aber ergänzende Informationen liefern, beispielsweise in Hinblick auf eventuelle Emissionsquellen oder den Erfolg beziehungsweise Misserfolg von Reinigungsmaßnahmen [5].

Anders als bei Luftprobenahmen ist das Nehmen von „Abtupfproben“ (auch als „Abdruckproben“ bezeichnet [5]) von sedimentiertem Staub schon bei der Probenahme einem Zufall unterworfen, denn es kann nicht unbedingt davon ausgegangen werden, dass die Fasern völlig gleichmäßig auf einer Fläche verteilt sind. Außerdem ist die Klebefläche eines Leit-Tabs mit ca. 1 cm^2 sehr klein gegenüber der Grundfläche eines zu untersuchenden Raumes. Diesem Nachteil steht als Vorteil der relativ geringe Aufwand bei der Probenahme gegenüber. Der Aufwand der Auswertung ist dagegen dem der Auswertung einer Luftprobe nahezu vergleichbar. Die Autoren des Entwurfes zur VDI 3877 empfehlen daher, stets mehrere Proben zu nehmen und nicht ausgewertete Proben als Rückstellproben aufzubewahren. Als Mindestanzahl der ausgewerteten Proben pro Raum wird unter anderem genannt: 3 Proben bei einer Grundfläche von unter 30 m^2 , 5 Proben bei einer Grundfläche von bis zu 100 m^2 [5].

Die VDI 3877 Blatt 1 fordert für die Probengröße eine Fläche von mindestens 1 cm^2 [5]. Das ist mit einem Leit-Tab zumindest theoretisch durchaus realisierbar.

Die Betrachtung der in dieser Studie von den Probennehmern eingesandten Leit-Tabs zeigte jedoch, dass die Probenahme offensichtlich aber sehr abhängig ist von der ausführenden Person und von der beprobten Fläche. Versuche in der Hochschule mit Leit-Tabs zeigten, dass es verschiedenen Personen schwer fällt, die Klebefläche so gleichmäßig auf einem Untergrund zu platzieren, dass die Fläche vollständig und gleichmäßig beprobt wird.

6.1.2 Diskussion der rasterelektronenmikroskopischen (REM) Auswertung von Sedimentations- und Staubproben

Ausgezählt wurden jeweils die bei der REM-Auswertung gefundenen Asbestfasern (Chrysotil oder Amphibol) sowie die gefundenen Calciumsulfat- und sonstige anorganische Fasern der kritischen Größe (künstliche Mineralfasern). Nach dem Entwurf der

Häufig zu beobachten waren:

- „verkantetes“ Aufsetzen - mit der Folge von ungleichmäßiger Belegung der Klebefläche,
- starkes Anhaften der Klebefläche an ungeeigneten Oberflächen - ebenfalls mit der Folge von ungleichmäßiger Belegung der Klebefläche, teilweise sogar mit der Folge einer Beschädigung der Klebefläche.

Auch einige der von den Probennehmern dieser Studie eingesandten Leit-Tabs zeigten solche Spuren von missglückten Probenahmen. Die geforderte Mindestprobengröße von 1 cm^2 war bei solchen Proben natürlich nicht mehr gegeben. Besonders problematisch war der anfängliche Versuch, Proben von sedimentiertem Staub aus Kunststoff-Petrischalen zu entnehmen. Dieser Ansatz wurde daher schon früh verworfen und den Probennehmern eine geänderte Arbeitsanweisung gegeben, nach welcher die Petrischalen mit Teflon Folie auszulegen seien. Dieses Vorgehen scheint deutlich weniger Schwierigkeiten bereitet zu haben.

Dennoch weist das Verfahren der Abtupfprobenahme größere Unsicherheiten auf. So konnten bei zwei Probenahmen die S-Tabs und in 13 Fällen die S- und P-Tabs nicht ausgewertet werden. Die Empfehlung der VDI-Norm entsprechend mehrere Proben zu nehmen wird damit bestätigt.

ist. Um die geforderte Flächengröße einhalten zu können, muss dann die Anzahl der abgesuchten Felder vergrößert werden.

Im direkten Vergleich mit VDI 3492 hat der Modus der VDI 3877 Vorteile, da durch das Arbeiten bei unterschiedlichen Vergrößerungen die ausgewertete Fläche um circa den Faktor 8 bis 10 größer ist. Ent-

sprechend kleiner sind in Folge dessen die erreichbaren Nachweisgrenzen: Das Zählergebnis wird beim Auswerteverfahren nach VDI 3492 mit dem Faktor 100 multipliziert, um von etwa 1 mm² auf die Bezugsgröße von 1 cm² zu kommen, nach dem Entwurf der VDI 3877 geht man dagegen von circa 11 mm² aus. Der Faktor zu 1 cm² liegt somit bei etwa 9.

6.1.3 Diskussion der Ergebnisse der Luftproben

In keiner der untersuchten Luftproben dieser Studie wurden Asbestfasern (Chrysotil oder Amphibol) gefunden. Nachgewiesen wurden in den Luftproben dagegen teilweise Calciumsulfatfasern und sonstige anorganische Fasern der kritischen Größe (künstliche Mineralfasern). Der Tabellen-Anhang 1 mit den Ergebnissen der Luftproben enthält für die unterschied-

lichen Faserarten jeweils die Anzahl gefundener Fasern umgerechnet als Ergebnis pro m³ sowie die Angabe der oberen und unteren Grenze der Poisson-Verteilung (95 % Vertrauensbereich).

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Luftproben zusammengefasst:

Tabelle 1: Ergebnisse (Fasern pro m³) der Untersuchung von 35 Luftproben

Faserart	n > 0 (%)	Messwertebereich	Mittelwert*
Asbest	0 (0)	--	--
Calciumsulfat	6 (17)	30 - 248	97
Sonstige anorganische Fasern	18 (51)	21- 186	82

*: Nur Proben > 0 Fasern

Die Konzentrationen waren bei allen Faserarten der kritischen Größe jeweils unterhalb 500 Fasern/m³, demjenigen Wert, der als Zielwert für die Sanierung von Innenraumbelastungen bei Asbest gilt [6]. Zu berücksichtigen ist, dass künstliche Mineralfasern als weitaus ungefährlicher als Asbestfasern einzustufen sind [1].

Da die Konzentrationen an Fasern der kritischen Größe (künstliche Mineralfasern) in den untersuchten Räumen der für diese Studie ausgewählten Liegenschaften sogar unterhalb des Zielwertes für Asbestfasern liegen, besteht aus gesundheitlicher Sicht daher auch weiterhin kein Grund, sachgerecht eingebaute Mineralwolle-Dämmstoffe (künstliche Mineralfasern) zu entfernen.

6.1.4 Diskussion der Ergebnisse der Sedimentationsproben

Im Entwurf zur VDI 3877 wird zur Bewertung der Faserdichte auf Flächen folgendes Schema genannt (Tabelle 2) [5].

Tabelle 2: Klasseneinteilung und Bewertung

Bewertung	[Fasern/cm ²]
Keine Faserart nachgewiesen	0
Faserart nachgewiesen	1 bis 100
Oberfläche deutlich mit Faserart belastet	101 bis 500
Oberfläche stark mit Faserart belastet	> 500

Bezogen auf dieses Bewertungsschema sind alle Sedimentations- und Abtupfproben dieser Projektstudie in Bezug auf Asbestfasern in die Klasse „Keine Faserart nachgewiesen“ einzustufen (Tabelle 3).

In Bezug auf Calciumsulfat-Fasern und sonstige anorganische Fasern (jeweils der kritischen Größe) sind die meisten Proben in die Klasse „Keine Faserart

nachgewiesen“ und 11 Proben in die Klasse „Faserart nachgewiesen“ einzustufen. In 4 Fällen in denen sonstige anorganische Fasern nachgewiesen wurden, waren sowohl Sedimentations- als auch Abtupfprobe positiv, in drei Fällen nur eine der beiden Proben. Allerdings war die Anzahl mit jeweils maximal 9 Fasern/cm² sehr gering (Anlage 1, Tabelle 12).

Tabelle 3: Klasseneinteilung der Messergebnisse (Fälle)

Bewertung	Asbest Probenzahl	Calciumsulfat		Sonst. Anorg. Fasern	
		S	P	S	P
Keine Faserart nachgewiesen	42	20	22	14	17
Faserart nachgewiesen	0	0	0	6	5
Oberfläche deutlich mit Faserart belastet	0	0	0	0	0
Oberfläche stark mit Faserart belastet	0	0	0	0	0

In drei Räumen wurden Altstaubproben von sedimentiertem Staub unbekanntes Alters von Oberflächen als Abtupfproben genommen, die jeweils in die Kategorie: Faserart nachgewiesen (~ 1-100 Fasern) einzustufen sind, zwei Proben mit jeweils 9 sonstige anorganische Fasern/cm² und eine Probe von einem Fensterrahmen mit 71 Fasern/cm².

Die Ergebnisse der Sedimentations- und Abtupfproben dieser Studie geben daher ebenfalls keinen Hinweis darauf, dass die in den untersuchten Gebäuden sachgerecht eingebaute Mineralwolle-Dämmstoffe (KMF) entfernt werden müssten.

6.1.5 Vergleich der Untersuchungsverfahren

In der hier vorgestellten Studie wurden drei unterschiedliche Techniken zur Probenahme von Asbestfasern und künstlicher Mineralfaser eingesetzt:

- Luftprobenahmen mittels Goldfilter
- „S“- Proben: Sedimentation auf einer Klebefläche über einen Zeitraum von einer Woche (Sedimentation-Passivsammler).

- „P“-Proben: Sedimentation auf eine gereinigte und staubfreie Petrischale über einen Zeitraum von einer Woche. Anschließend Probenahme mittels Abtupfen mit einer Klebefläche (aktive Probenahme aus einer Petrischale).

Die Ergebnisse der beiden Sedimentations-
Probenahmetechniken waren nahezu identisch. Zu-
mindest unter den Bedingungen dieser Studie

- saubere Oberfläche
- Probenahmen nach beziehungsweise über
einen Zeitraum von 7 Tagen
- Geringe Faserkonzentration

sind die Ergebnisse von Luftproben und Sedimentati-
onsproben vergleichbar: In allen Fällen wurden keine
oder nur sehr wenige Fasern gefunden.

Anders ausgedrückt: Wenn keine oder nur wenige
Fasern in der Luft vorhanden sind, so findet man auf
einer zuvor gereinigten Oberfläche dieses Raumes
nach 7 Tagen auch keine oder nur wenige Fasern.
Ob dieser Befund allerdings auch auf höheren Faser-
konzentrationen übertragbar ist, ist dagegen fraglich.
Auch dürften Rückschlüsse von Faser-
Luftkonzentrationen auf eine Flächenbelastung oder
umgekehrt grundsätzlich kaum möglich sein. Bei 18
Luftproben mit positivem Befund „sonstige anorgani-
sche Fasern“ war nur in drei Fällen auch mindestens
einer der S- oder P-Tabs positiv. Bei allen übrigen 15
Proben sowie bei allen 6 positiven Calciumsulfat-
Befunden waren die zugehörigen S- und P-Tabs fa-
serfrei. Ebenfalls in drei Fällen zeigten S- oder P-
Tabs positive Befunde, nicht jedoch die zugehörigen
Luftproben.

Kritisch zu hinterfragen ist auch, in wieweit das Alter
eines sedimentierten Staubes eine Rolle spielt. In
den Proben der hier vorgestellten Studie waren die
Sedimentations- und Abtupfproben jeweils eine Wo-
che alt.

6.2 Ergebnisse der Feinstaubmessungen

6.2.1 Auswertung zu PM10

Abbildung 2 zeigt die Korrelation zwischen dem

Summenwert und dem gemessenen Maximalwert der
Feinstaubbelastung aller Messungen. In der Regel
geht eine hohe Kurzzeitbelastung (Maximum) unmit-
telbar nach Aufwirbelung des Staubes einher mit
einer hohen Gesamtbelastung über die Messzeit

Es ist zu vermuten, dass bei altem, abgelagertem
Staub (zum Beispiel dicke, alte Staubschicht auf ei-
nem Schrank) eine Abtupfprobe zwar die Belastung
der beprobten Fläche anzeigt, für die Gesamtsituati-
on im Raum möglicherweise aber ein falsches, weil
nicht mehr aktuelles Bild, liefert.

Vor dem Hintergrund dieser Überlegungen ist es
bedauerlich, dass es in der VDI-Richtlinie 3877
Blatt 1 (Weissdruck, Ausgabedatum 2011-9) zwar
Ausführungen dazu gibt, wie Abdruckproben von
dicken Staubschichten zu nehmen sind, bei den
Messaufgaben 1 (Überprüfung akuter Störungen) und
5 (Kontrolle des Reinigungszustands) aber eine An-
gabe fehlt, ob oder ggf. wie eine Fläche vor einer
Probenahme zu reinigen ist und wie lang dann die
Zeit zwischen Reinigung und Probenahme sein sollte.

Nach unseren Ergebnissen sollte bei diesen Mess-
aufgaben ein definierter Zeitraum einheitlich festge-
legt werden, um die momentane Belastung einer
Fläche eines Raumes hinsichtlich der Einstufung
nach den in Tabelle 2 aufgeführten Kriterien zu ermit-
teln. Die Autoren der Richtlinie haben das Augen-
merk aber auf die Feststellung einer gegebenen Flä-
chenkontamination gelegt. Der Begriff „Frischstaub“,
der zum Beispiel bei der Entscheidung über eine
Sanierung von PAK-haltigen (polycyclische aromati-
sche Kohlenwasserstoffe) Parkettböden benutzt wird
[7], wird in der VDI 3877 Blatt 1 nicht genannt [5]. Es
wird deshalb für den weiteren Normungsprozess
empfohlen, die Norm (3877-Blatt 2) durch eine ent-
sprechende Angabe zu ergänzen und festzulegen,
welcher Zeitraum zwischen Reinigung einer Fläche
und der Abdruckprobenahme liegen sollte.

(siehe Abbildung 3). Dies liegt daran, dass der auf-
gewirbelte Staub recht schnell sedimentiert, in circa
1,5 – 2 Stunden auf rund ein Zehntel des Ausgangs-
wertes.

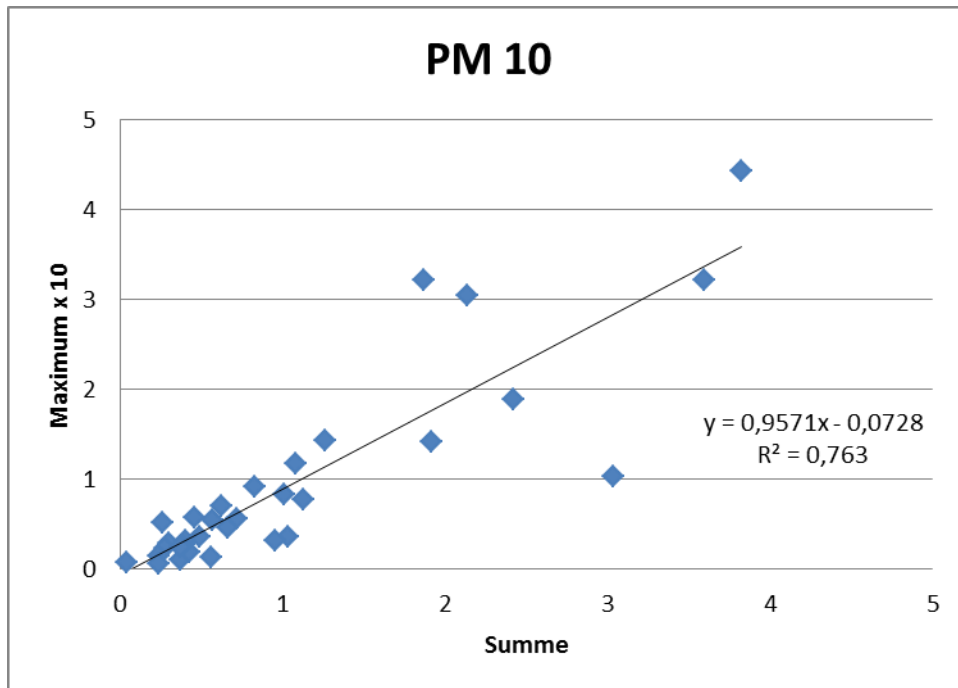


Abbildung 2: Korrelation zwischen Maximalwert und Summe, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

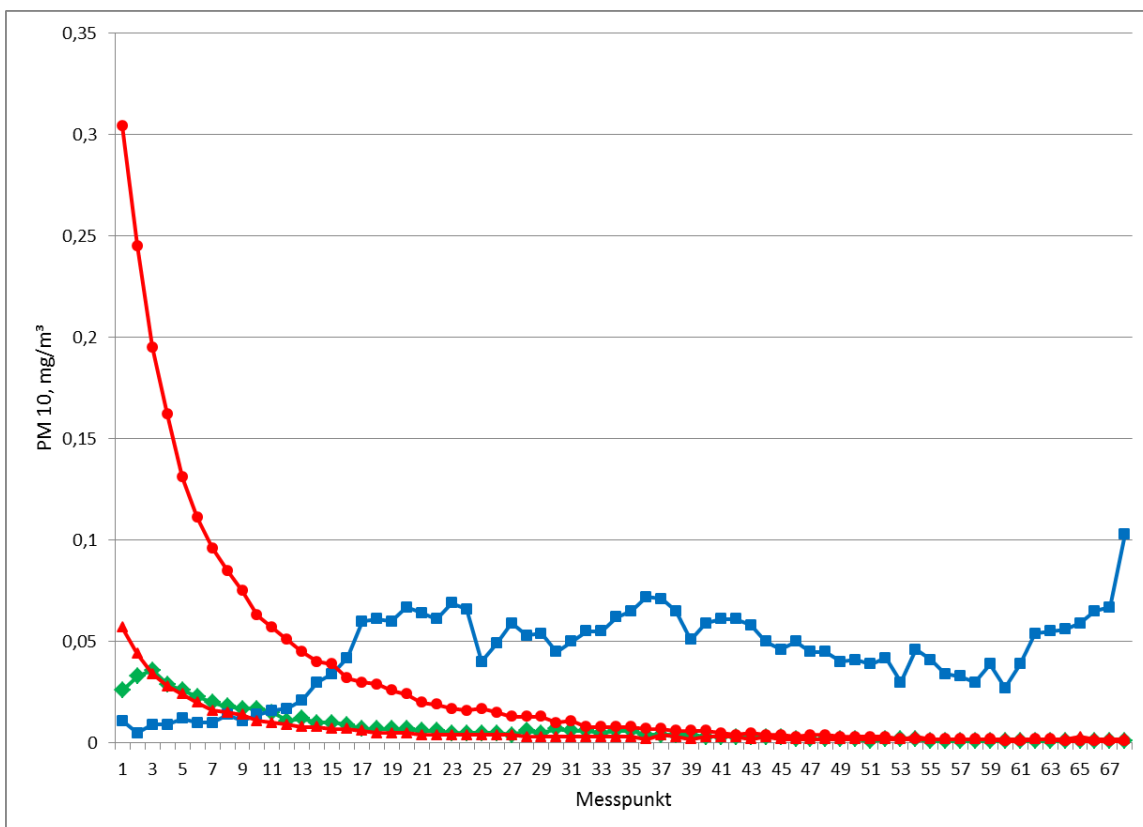


Abbildung 3: Exemplarische Kurvenverläufe (PM10) für 68 Messzyklen, entsprechend 7 Stunden 56 Minuten)

Abbildung 3 zeigt typische (rot) und untypische (blau, grün) Kurvenverläufe.

- Typisch: Auslösendes Ereignis sorgt für den höchsten Messwert zu Beginn der Messung, exponentieller Abfall im nicht genutzten Raum.
- Untypisch: Auslösendes Ereignis fehlt, schwankende Staubkonzentration wahrscheinlich durch Raumnutzung (blau); höchster Messwert verzögert nach auslösendem Ereignis, wahrscheinlich durch ungleichmäßige Verteilung im Raum, im Weiteren exponentieller Verlauf im nicht genutzten Raum (grün).

Rahmenbedingungen der Messungen und die Art des auslösenden Ereignisses bestimmen wesentlich den Kurvenverlauf und die Vergleichbarkeit der Messungen.

In mehreren Fällen wurde die Feinstaubkonzentration auch nach dem Ende der Faserprobenahme von 8 Stunden (68 Messpunkte) weiter gemessen, so dass hier anschließend auch Phasen mit Raumnutzung aufgezeichnet wurden.

Abbildung 4 zeigt exemplarisch einige Kurvenverläufe über einen Zeitraum von bis zu 19 Stunden, 15 Minuten. Es ist erkennbar, dass nach fast vollständigem Abklingen der Feinstaubkonzentration im nutzungs-freien Raum ein erneuter starker Anstieg zu verzeichnen war. Dies dürfte ausgelöst sein durch Nutzung des Raumes, zum Beispiel durch Unterricht oder auch durch Reinigung.

Es wird deutlich, dass bei der Nutzung der Räume im Einzelfall höhere Feinstaubkonzentrationen vorliegen können als nach dem auslösenden Ereignis für die Messung. Die Startbedingungen für die Feinstaubmessungen mit einer Staubaufwirbelung entsprechend der VDI 3492 mittels Zuschlagen der Tür, Anblasen mit Ventilator und eventuell Anheben beziehungsweise Anstoßen der Kassetten [3] stellen somit nicht immer den schlechtesten oder den ungünstigsten anzunehmenden Fall dar (worst-case-Szenario) dar.

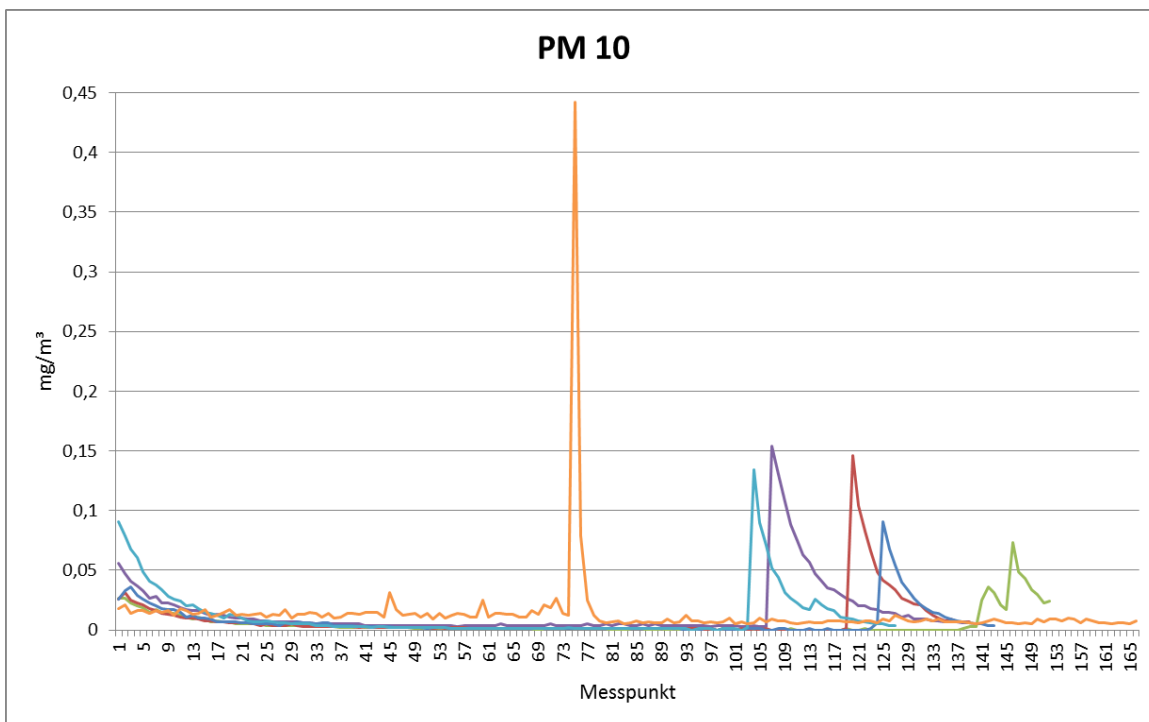


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der PM10 Konzentration ausgewählter Proben

Tabelle 4 zeigt die Verteilung der Staubkonzentrationen PM10; angegeben sind die maximal gemessene, durch das gezielte Ereignis aufgewirbelte Konzentration

(= Tagesmaximum) und die mittlere Konzentration über den Messzeitraum von 7:56 h (= Tagesmittelwert).

Tabelle 4: Statistische Kennwerte (Perzentile) für die Staubkonzentration PM10 in 33 Räumen, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	P25	P33	P50	P66	P75	P95
Tagesmaximum	26	30	51	79	103	321
Tagesmittelwert	6	6	10	15	17	48

Der Median (P 50) für ungenutzte Schulräume liegen laut Literatur [10] etwa im Bereich 10 - 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, für 24-Std.-Messungen einschließlich einer Nutzungsphase werden Tagesmittelwerte von ca. 20 - 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ berichtet. Die in der Tabelle angegebenen Werte für die vorliegenden Proben liegen in dieser Größenordnung. Das auslösende Ereignis war kurzfristig, danach der Raum ungenutzt, so dass ein solches Ergebnis zu erwarten war.

250 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen wurden, etwas erhöht. In der Literatur wird verschiedentlich darauf hingewiesen, dass die unter Nutzung erreichten Feinstaubkonzentrationen erheblichen Teils von den SchülerInnen in den Raum eingetragen und nicht (nur) vorhandene Staubpartikel aufgewirbelt werden [10]. Die hier vorliegenden Maximalwerte repräsentieren daher möglicherweise eher das Feinstaub-Potential eines Raumes, wenn eine sehr intensive Aufwirbelung vorhandenen Staubes stattfindet.

Die erreichten Maximalwerte erscheinen im Vergleich zur Literatur, wo unter Nutzung Werte bis circa

6.2.2 Auswertungen zu PM2,5

Tabelle 5 zeigt die Verteilung als Perzentile der Staubkonzentrationen PM2,5; angegeben sind die maximal gemessene, durch das gezielte Ereignis

aufgewirbelte Konzentration (= Tagesmaximum) und die mittlere Konzentration über den Messzeitraum von 7:56 h (= Tagesmittelwert).

Tabelle 5: Statistische Kennwerte für die Staubkonzentration PM2,5 in 33 Räumen, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	P25	P33	P50	P66	P75	P95
Tagesmaximum	4	4,7	7	12	15	29
Tagesmittelwert	1,5	1,9	3,1	3,7	4,3	7,7

Die Tagesmittelwerte liegen eher etwas unterhalb der Angaben in der Literatur, zum Beispiel Median der

Wochenmittelwerte 10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 24-Std-Mittelwert 9-15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [10].

6.2.3 Korrelation PM10 und PM 2,5

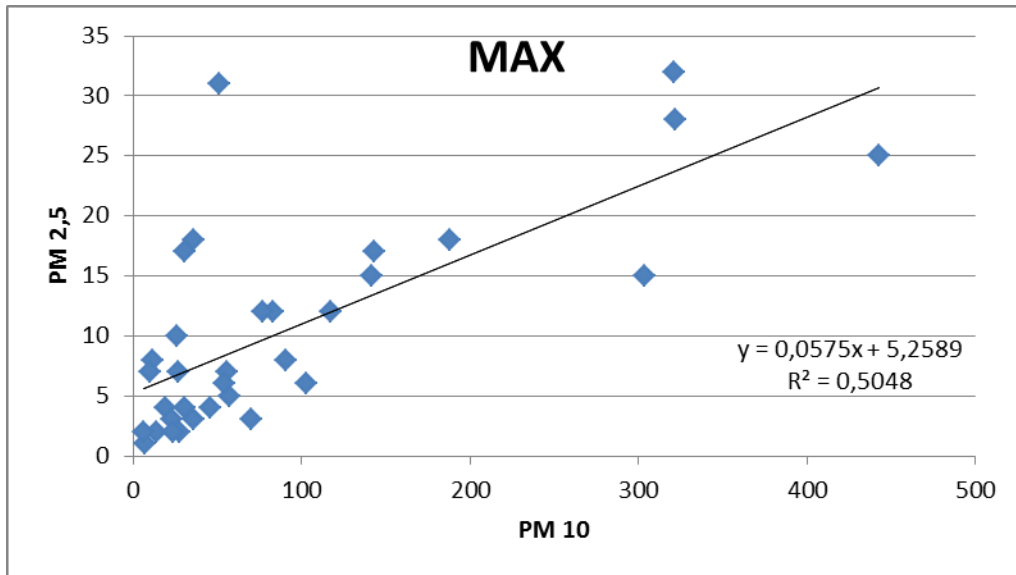


Abbildung 5: Korrelation zwischen PM10 und PM2,5, Tagesmaximum, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

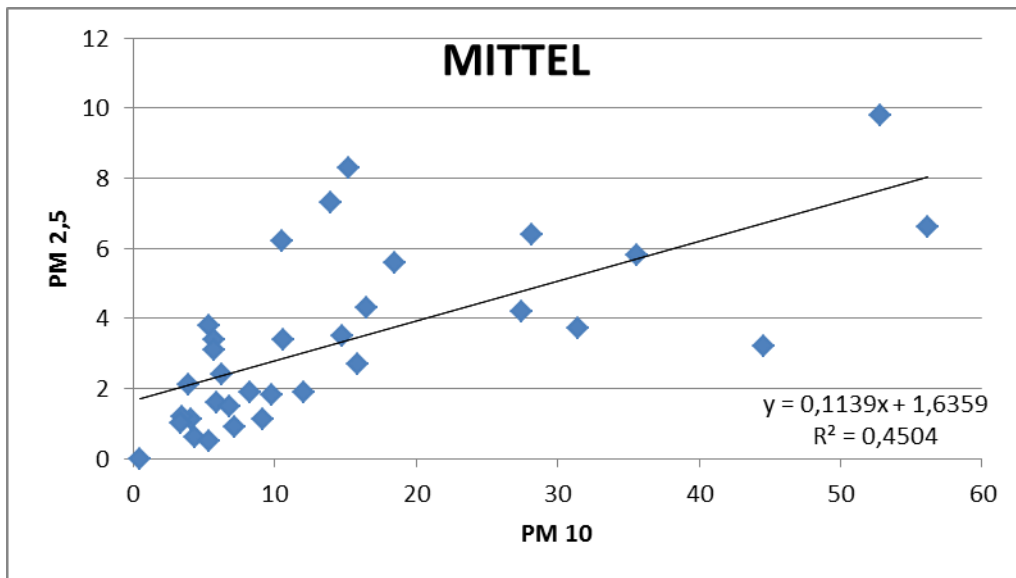


Abbildung 6: Korrelation zwischen PM10 und PM2,5, Tagesmittelwert, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

PM10 und PM2,5 korrelieren schwach miteinander. In der Literatur wird darauf verwiesen, dass für PM10 und PM2,5 unterschiedliche Quellen verantwortlich sind. PM2,5 wird wesentlich von der Außenluft beein-

flusst, PM10 wird unter anderem von den NutzerInnen in den Raum eingetragen und ist somit eher raumspezifisch [10].

6.2.4 Bewertung der Feinstaubgehalte in der Raumluft

Spezielle Richtwerte für Innenräume liegen derzeit nicht vor. Für die Außenluft schlägt die WHO auf

Basis der 99. Perzentile Zielkonzentrationen [9] vor, die als erste Orientierung dienen könnten.

Tabelle 6: WHO-Leitwerte (Außenluft), Messwerte, Basis jeweils 99. Perzentil, in $\mu\text{g}/\text{m}^3$

	Tagesmittel WHO	Jahresmittel WHO	Tagesmittel Messwerte	Maximum Messwerte
PM10	50	20	55	404
PM2,5	25	10	9	32

Die WHO-Werte für PM2,5 werden im Tagesmittel eingehalten, bei PM10 hingegen geringfügig überschritten. Die Maximalwerte liegen jeweils deutlich

darüber, können aber als Kurzzeitwerte nicht direkt mit den WHO-Leitwerten verglichen werden.

6.2.5 Einfluss bestimmter Raummerkmale auf die Feinstaubkonzentration

Der Einfluss des Reinigungszustandes wurde mit zwei Fragen abgefragt (Tabelle 7):

- Wird der Raum als staubig empfunden (j/n)?
- Sieht der Reinigungsplan feuchtes Wischen mindestens alle 2 Tage vor (j/n)?

Es wurde erfasst, ob bei abgehängten Decken ein Rieselschutz vorhanden ist oder nicht und wenn ja, ob der vorhandene Rieselschutz intakt ist (Tabelle 8).

Auch die Art des Fußbodenbelags wurde erfasst (Tabelle 9).

Tabelle 7: Reinigungszustand des Raumes

	Nein/Ja**	PM10 Max*	PM10 Mittel*	PM2,5 Max*	PM2,5 Mittel*
Staubig?	22/9	0,983	0,617	0,257	0,223
Wischen?	12/18	0,611	0,832	0,408	0,525

*Asymptotische Signifikanz; **Fallzahlen

Tabelle 8: Rieselschutz

	intakt/defekt/fehlt**	PM10 Max*	PM10 Mittel*	PM2,5 Max*	PM2,5 Mittel*
Rieselschutz	10/8/11	0,508	0,940	0,834	0,835

*Asymptotische Signifikanz; **Fallzahlen

Tabelle 9: Art des Fußbodenbelags

	Fliesen/Teppichboden/beides**	PM10 Max*	PM10 Mittel*	PM2,5 Max*	PM2,5 Mittel*
Fußboden	11/18/4	0,072	0,228	0,180	0,647

*Asymptotische Signifikanz; **Fallzahlen

Die Unterschiede sind statistisch nicht signifikant. Beim Fußboden beruhen die Werte für PM10-Maximum (0,072) auf den Räumen mit gemischtem Boden, also harter Bodenbelag wie Fliesen, PVC und so weiter, kombiniert mit Teppichen oder Teilflächen mit Teppichboden. Da dies nur in 4 Räumen vorkam, ist das Ergebnis des statistischen Tests als Zufallsbefund auf Grund geringer Fallzahlen zu interpretieren.

Es wurde untersucht, ob Unterschiede zwischen Einrichtungen in den Städten Kiel, Flensburg und Lübeck gegenüber Einrichtungen in den Kreisen bestehen. Auch hier ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Tabelle 10).

Tabelle 10: Unterschiede bei den Einrichtungen zwischen kreisfreien Städten und Kreisen

	Fallzahl	PM10 Max*	PM10 Mittel*	PM2,5 Max*	PM2,5 Mittel*
Stadt/Land	16/16	0,429	0,851	0,571	0,250

*Asymptotische Signifikanz

Insgesamt erscheint die eingesetzte Methode, den Staub gezielt aufzuwirbeln und dann das Abklingen zu messen (Vorgehen nach VDI 3492) für eine Ermittlung der Belastung im Innenraum unter Nutzungsbedingungen eher ungeeignet zu sein. Die Tagesmittelwerte müssen fast zwangsläufig zu einer Nivellierung führen, weil nach einer kurzen Phase unmittelbar im Anschluss an die Störung eine lange relative Ruheperiode gemessen und alles gemittelt wird. Im Ergebnis dominiert die lange Ruheperiode.

Der Maximalwert hängt stark von der Art und Weise ab, wie der Staub aufgewirbelt wurde. Dafür spricht die Beobachtung, dass der empfundene Reinigungszustand beziehungsweise der Reinigungsplan keinen Einfluss auf den Maximalwert haben.

Die angewandte Methode entspricht nicht einer worst-case-Messung, wie sie für VOC durchgeführt wird. Sinnvoller wäre eine kontinuierliche Messung unter normaler Raumnutzung analog zu Feinstaubmessungen im Außenbereich oder CO₂-Messungen im Innenraum. Andererseits kommt es unter Nutzungsbedingungen zu Einträgen durch die Nutzer selbst, was eine Beurteilung der Hintergrundbelastung durch den Raum selbst erschwert.

Die Beurteilung von Messwerten durch Vergleich mit anderen Ergebnissen und mit Richtwerten (zum Beispiel für Asbestfasern) muss sich allerdings auf gleiche Rahmenbedingungen der Probenahme beziehen, was in diesem Fall der Messung nach Aufwirbelung (siehe VDI 3492) mit anschließender Abklingphase entspricht, sofern die Störung hinreichend standardisiert erfolgt.

7 Zusammenfassung

In Zusammenarbeit mit der Hochschule Emden und den zuständigen Gesundheitsbehörden wurden in 20 Schulen und Kindergärten beziehungsweise Kindertagesstätten in Schleswig-Holstein Faser- und Feinstaubmessungen in der Innenraumluft durchgeführt.

Mit dieser Studie sollte überprüft werden, ob die bestehenden Empfehlungen zum Verbleib von künstlichen Mineralfasern (KMF) in Akustikdecken noch korrekt sind.

Die Faserzählung und -zuordnung erfolgte mittels Rasterelektronenmikroskop und energiedispersiver Röntgenanalyse.

Erwartungsgemäß wurden bei dieser Studie in keiner der 35 untersuchten Luft- und Sedimentationsstaubproben Asbestfasern gefunden. Nachgewiesen wurden in den Luftproben teilweise Calciumsulfatfasern und sonstige anorganische Fasern. Die Konzentrationen lagen bei allen Faserarten der kritischen Größe aber jeweils unterhalb 500 Fasern/m³, demjenigen Wert, der als Zielwert für die Sanierung von Innenraumbelastungen bei Asbest gilt [6].

Die beiden verschiedenen Probenahmetechniken nach Sedimentation zeigten sehr ähnliche Resultate. Allerdings wird eine Aussage zur Vergleichbarkeit zwischen Sedimentations- und Luftproben dadurch eingeschränkt, dass in allen Räumen nur sehr geringe Faserkonzentrationen vorlagen.

Ergebnisse und Erfahrungen mit der Probenahme und Auswertung der Abdruckproben waren Anlass, zum Gründruck der VDI 3877 einen Einspruch zu formulieren.

Bezogen auf die im Rahmen der Projekt-Studie untersuchten Luft- und Sedimentationsproben kann die Aussage aufrechterhalten werden: „Aus gesundheitlicher Sicht besteht kein Grund, sachgerecht eingebaute alte Mineralwolle-Dämmstoffe (KMF) zu entfernen“.

Ferner wurde die Belastung der Raumluft mit Feinstaub der Fraktionen PM_{2,5} und PM₁₀ nach aktiver Aufwirbelung vor Messbeginn untersucht. Die gefundenen Konzentrationen waren im Vergleich zu Literaturwerten und den WHO-Leitwerten für die Außenluft unauffällig. Es wurde aber deutlich, dass die Messergebnisse stark von der mechanischen Staubaufwirbelung abhängig sind.

Aus diesem Grunde stellt diese Messung nach VDI 3492 nicht immer ein worst-case-Szenario dar; zum Teil können nutzungsbedingt höhere Konzentrationen auftreten. Auch ergaben sich keine Abhängigkeiten der Staubkonzentrationen von Parametern wie Reinigungszustand oder Fußbodenbelag. Einer möglichst weitgehenden Standardisierung der mechanischen Staubaufwirbelung zu Beginn oder während der Messung kommt eine sehr große Bedeutung im Hinblick auf die Vergleichbarkeit und die Bewertung von Feinstaubmessungen zu.

8 Literatur

- [1] Umweltbundesamt: Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden, UBA, Berlin, 2008, S 63- 68.
- [2] Staatliche Arbeitsschutzbehörde bei der Unfallkasse Nord (2009): Künstliche Mineralfasern (KMF) Gefahren Pflichten Kontakte.
- [3] Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL (Oktober 2004): VDI 3492, Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Messen von Immissionen - Messen anorganischer faserförmiger Partikeln - Rasterelektronenmikroskopisches Verfahren.
- [4] DIN EN ISO 16000-7: Innenraumluftverunreinigungen - Teil 7: Probenahmestrategie zur Bestimmung luftgetragener Asbestfaserkonzentrationen (ISO 16000-7:2007); Deutsche Fassung EN ISO 16000-7:2007.
- [5] Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL): VDI 3877 Blatt 1: Messen von Innenraumverunreinigungen - Messen von auf Oberflächen abgelagerten Faserstäuben - Probenahme und Analyse (REM/EDXA), Entwurf der Norm: September 2009, Ausgabedatum der Norm: 2011-09.
- [6] Land Nordrhein-Westfalen: Richtlinie für die Bewertung und Sanierung schwach gebundener Asbestprodukte in Gebäuden (Asbest-Richtlinie) - Fassung Januar 1996 - (MBI. NRW. 1997, S. 1067)
- [7] Deutsches Institut für Bautechnik (Hrsg., 2000): Hinweise für die Bewertung und Maßnahmen zur Verminderung der PAK-Belastung durch Parkettböden mit Teerklebstoffen in Gebäuden (PAK-Hinweise), DIBt Mitteilungen, S. 114-123.
- [8] BGBau / Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (2008): Umgang mit Mineralwolle-Dämmstoffen (Glaswolle, Steinwolle), Handlungsanleitung.
- [9] WHO (2006) Air quality guidelines. Global update 2005. Particulate matter. World Health Organization, Geneva. Online: http://www.euro.who.int/InformationSources/Publications/Catalogue/20070323_1.
- [10] Ad-hoc Arbeitsgruppe „Innenraumrichtwerte“ aus Mitgliedern der Innenraumlufthygienekommission (IRK) des Umweltbundesamtes sowie der Arbeitsgemeinschaft der Obersten Landesgesundheitsbehörden (AOLG). Gesundheitliche Bedeutung von Feinstaub in der Innenraumluft. PDF / 466 KB. Bundesgesundheitsbl Gesundheitsforsch Gesundheitsschutz 51 (2008), S. 1370 -1378

9 Anhang

Anlage 1: Tabellen

Tabelle 11: Ergebnisse der Fasermessungen in der Raumluft (Luftproben = LP) von 35 Räumen von Schulen und Kindertagesstätten (kritische Fasern/m³)

Auswertung nach VDI 3492 Probenbezeichnung [#]	Messwert Asbestfasern /m ³	untere und obere Poissongrenze Asbestfaser /m ³	Messwert Calciumsulfatfasern /m ³	untere und obere Poissongrenze CaSO ₄ /m ³	Messwert sonstige anorg. Fasern /m ³	untere und obere Poissongrenze sonstige anorg. Fasern /m ³
LP 1	0	0 / 275	0	0 / 275	0	0 / 275
LP 2	0	0 / 242	0	0 / 242	81	2 / 451
LP 3	0	0 / 263	0	0 / 263	0	0 / 263
LP 4	0	0 / 224	0	0 / 224	148	18 / 541
LP 5	0	0 / 209	0	0 / 209	138	17 / 504
LP 6	0	0 / 216	0	0 / 216	0	0 / 216
LP 7	0	0 / 209	91	43 / 611	61	17 / 504
LP 8	0	0 / 209	30	2 / 388	0	0 / 209
LP 9	0	0 / 216	0	0 / 216	0	0 / 216
LP 10	0	0 / 209	0	0 / 209	21	2 / 388
LP 11	0	0 / 202	0	0 / 202	22	1.7 / 375
LP 12	0	0 / 216	0	0 / 216	48	17 / 522
LP 13	0	0 / 224	30	2 / 417	0	0 / 224
LP 14	0	0 / 209	0	0 / 209	47	17 / 504
LP 15	0	0 / 191	0	0 / 191	0	0 / 191
LP 16	0	0 / 205	0	0 / 205	0	0 / 205
LP 17	0	0 / 196	0	0 / 196	0	0 / 196
LP 18	0	0 / 189	66	2 / 352	0	0 / 189
LP 19	0	0 / 172	0	0 / 172	60	1 / 320
LP 20	0	0 / 189	0	0 / 189	0	0 / 189
LP 21	0	0 / 183	0	0 / 183	64	2 / 341
LP 22	0	0 / 196	0	0 / 196	0	0 / 196
LP 23	0	0 / 183	0	0 / 183	0	0 / 183
LP 24	0	0 / 183	0	0 / 183	128	15 / 442
LP 25	0	0 / 189	0	0 / 189	66	2 / 352
LP 26	0	0 / 203	0	0 / 203	0	0 / 203
LP 27	0	0 / 183	0	0 / 183	64	2 / 341
LP 28	0	0 / 177	0	0 / 177	0	0 / 177

Tabelle 11: Ergebnisse der Fasermessungen in der Raumluft (Luftproben = LP) von 35 Räumen von Schulen und Kindertagesstätten (kritische Fasern/m³) (Fortsetzung)

Auswertung nach VDI 3492 Probebezeichnung [#]	Messwert Asbestfasern /m ³	untere und obere Poissongrenze Asbestfaser / m ³	Messwert Calciumsulfatfasern / m ³	untere und obere Poissongrenze CaSO ₄ / m ⁻³	Messwert sonstige anorg. Fasern / m ³	untere und obere Poissongrenze sonstige anorg. Fasern / m ³
LP 29	0	0 / 177	0	0 / 177	0	0 / 177
LP 30	0	0 / 183	0	0 / 183	64	2 / 341
LP 31	0	0 / 172	0	0 / 172	120	14 / 415
LP 32	0	0 / 189	0	0 / 189	0	0 / 189
LP 33	0	0 / 177	248	37 / 520	186	65 / 607
LP 34	0	0 / 167	117	14 / 403	88	14 / 403
LP 35	0	0 / 183	0	0 / 183	64	2 / 341

[#] Die Probennummern(1 - 35) im Anhang 1 und 2 beziehen sich jeweils auf denselben Raum

Tabelle 12: Ergebnisse der Fasermessungen in sedimentiertem Staub mittels Leit tabs als Sedimentations- und Abdruckproben (kritische Fasern/cm²)

Auswertung nach VDI 3877 Probenbezeichnung	Messwert Asbestfasern / cm ²	untere und obere Poissongrenze Asbestfaser / cm ²	Messwert Calciumsulfatfasern / cm ²	untere und obere Poissongrenze CaSO ₄ / cm ²	Anzahl gefundener sonstiger anorganischer Fasern	untere und obere Poissongrenze sonstige anorg. Fasern / cm ²
S-Tab 1	0	0 / 31	0	0 / 31	1	0 / 47
P-Tab 1	0	0 / 31	0	0 / 31	0	0 / 31
S-Tab 2	0	0 / 30	0	0 / 30	0	0 / 30
P-Tab 2	0	0 / 32	0	0 / 32	0	0 / 32
S-Tab 3	0	0 / 31	0	0 / 31	0	0 / 31
P-Tab 3	0	0 / 31	0	0 / 31	0	0 / 31
S-Tab 4	0	0 / 31	0	0 / 31	0	0 / 31
P-Tab 4	0	0 / 29	0	0 / 29	0	0 / 29
TP 4 alter Staub	0	0 / 30	1	0 / 44	3	7 / 67
S-Tab 5	0	0 / 31	0	0 / 31	0	0 / 31
P-Tab 5	0	0 / 30	0	0 / 30	1	0 / 44
S-Tab 6	0	0 / 30	0	0 / 30	0	0 / 30
P-Tab 6	0	0 / 30	0	0 / 30	0	0 / 30
S-Tab 7	0	0 / 28	0	0 / 28	0	0 / 28
P-Tab 7	0	0 / 26	0	0 / 26	0	0 / 26
S-Tab 8	0	0 / 28	0	0 / 28	0	0 / 28
P-Tab 8	0	0 / 28	0	0 / 28	0	0 / 28
S-Tab 9	0	0 / 29	0	0 / 29	0	0 / 29
P-Tab 9	0	0 / 30	0	0 / 30	0	0 / 30
S-Tab 10	0	0 / 27	0	0 / 27	0	0 / 27
P-Tab 10	0	0 / 25	0	0 / 25	0	0 / 25
P-Tab 13	0	0 / 28	0	0 / 28	0	0 / 28
P-Tab 14	0	0 / 28	0	0 / 28	0	0 / 28
S-Tab 15	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
P-Tab 15	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
S-Tab 16	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
P-Tab 16	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
S-Tab 17	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
P-Tab 17	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
S-Tab 18	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
P-Tab 18	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
S-Tab 19	0	0 / 36	0	0 / 36	9	0 / 36
P-Tab 19	0	0 / 36	0	0 / 36	9	0 / 36
S-Tab 20	0	0 / 36	0	0 / 36	9	0 / 36
P-Tab 20	0	0 / 36	0	0 / 36	9	0 / 36
S-Tab 21	0	0 / 36	0	0 / 36	9	0 / 36
P-Tab 21	0	0 / 36	0	0 / 36	9	0 / 36
S-Tab 22	0	0 / 36	0	0 / 36	9	0 / 36

Tabelle 12: Ergebnisse der Fasermessungen in sedimentiertem Staub mittels Leittabs als Sedimentations- und Abdruckproben (kritische Fasern/cm²) (Fortsetzung)

Auswertung nach VDI 3877 Probenbezeichnung	Messwert Asbestfasern / cm ²	untere und obere Poissongrenze Asbestfaser / cm ²	Messwert Calciumsulfatfasern / cm ²	untere und obere Poissongrenze CaSO ₄ / cm ²	Anzahl gefundener sonstiger anorganischer Fasern	untere und obere Poissongrenze sonstige anorg. Fasern / cm ²
P-Tab 22	0	0 / 36	0	0 / 36	9	0 / 36
S-Tab 24	0	0 / 36	0	0 / 36	9	0 / 54
P-Tab 24	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
S-Tab 33	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
P-Tab 33	0	0 / 36	0	0 / 36	0	0 / 36
TP 35 Fenster- rahmen	0	0 / 36	0	0 / 36	71	55 / 90
TP 35 Hoch- schrank	0	0 / 36	0	0 / 36	9	0 / 36

Erläuterung:

TP = Tupfproben von altem auf Oberflächen abgelagertem Staub unbestimmten Alters

= Die Probennummern (1 - 35) in den Tabellen 11 und 12 beziehen sich jeweils auf denselben Raum

Anlage 2:

Erläuterungen zum Ablauf der Untersuchungen und Probenahme für die Gesundheitsbehörden

A) Ziel und Methoden

Durch die Studie soll der Gehalt an KMF (kritische Fasern) in der Raumluft und im Sedimentationsstaub in Schulen und Kindergärten/-tagesstätten in Schleswig-Holstein bestimmt werden. Die Luftmessung orientiert sich an der VDI 3492 und der internationalen Norm DIN EN ISO 16000 Teil 7. Die Faserzählung und -zuordnung erfolgt im Labor mit REM/EDXA (Rasterelektronenmikroskop / energiedispersive Röntgenanalyse).

B) Rahmenbedingungen

Die Messungen sollten unter simulierten Nutzungsbedingungen, bei geschlossenen Fenstern und Türen erfolgen:

1. Mehrfaches Zuschlagen der Tür, vor Beginn der Messung
2. Anblasen mit Ventilator während der gesamten Messung
3. Bei Kassettendecken eventuell Anheben beziehungsweise Anstoßen der Kassetten

C) Fragebogen

Dreiseitiger Fragebogen zu Gebäude-, Raum- und Messcharakteristika; Rahmenbedingungen und alle Maßnahmen sind zu dokumentieren.

Der Fragebogen wurde nach Ende der Probenahme an das LAsD-Labor zusammen mit den Goldfiltern und Leit-Tabs eingeschickt.

D) Geräte und Probenahme

1. Luft-Probenahme KMF

Probenahme auf goldbedampfte Kernporenfilter (APC, Langen), mittels APC beziehungsweise Tecora Pumpe, Volumenstrom: 8 l/min; Gesamtvolumen 3800 l ~ 8 Stunden Gesamtzeit.

Aufstellen der Pumpe so dass der Goldfilter in ca. 100 - 150 cm (Kopfhöhe, sitzend) in der Raummitte beziehungsweise mindestens 1 m von der Wand entfernt positioniert ist.

2. Feinstaubmessung

AEROCET 531 Partikelmonitor im Modus der 2-Minutenmessung mit einem wiederkehrenden Messzyklus von 5 Minuten über die gesamte Zeit der Fasermessung (≥ 480 Minuten).

3. Probenahme mit Klebetupfern („Leit-Tabs“)

Die Abdruckproben werden nach 7 Tagen mit Leit-Tabs genommen, die bereits auf Probenteller für die Raster-Elektronenmikroskopie (REM) aufgeklebt sind.

Es handelt sich um beidseitig klebende und beidseitig elektrisch gut leitende, ausgestanzte Folienscheiben, die durch eine Schutzfolie abgedeckt sind.

3.1. Sedimentationsammler (S-Tab)

An einem ungestörten Platz (Schrankdecke) wird der Sedimentationsammler (S) für 7 Tage ausgelegt. Dazu wird der Deckelhalter mit dem Leit-Tab aus dem Probengefäß herausgenommen, die Schutzfolie am Stempel entfernt und dieser dort mitsamt seinem Halter (Deckel) mit der Klebefläche nach oben belassen. Nach einer Woche wird der Halter mit dem Leit-Tab in das Probengefäß (ID-Nr. S) zurücküberführt und an das LAsD-Labor geschickt.

3.2. Petrischalenstaub (P-Tab) Abtupfprobe

Eine gereinigte und staubfreie Petrischale wird an einem ungestörten Platz im Raum (Schrank) platziert und für eine Woche belassen. Anschließend erfolgt eine Probenahme mittels Abtupfen mit dem Leit-Tab-Stempel aus dem Gefäß mit der ID-Nr. P. Diese sind mit einer Teflon Folie ausgelegt, da sich in gezeigter Weise herausstellte, dass die Klebefläche der Leit-Tabs an den Plastik-Petrischalen sehr stark haftete, wodurch Probenahmen mit Leit-Tabs nicht mehr möglich waren. Die Probenahme erfolgt somit von dieser Teflon Folie. Die Schutzfolie ist vom Leit-Tab zu entfernen und danach erfolgt das Abtupfen, gleich anschließend ist der Leit-Tab in das Gefäß zu überführen, zu verschließen und an das LAsD-Labor zu versenden.

Landesamt für soziale Dienste Schleswig-Holstein
Dezernat 34: Umweltbezogener Gesundheitsschutz, Brunswiker Straße 4, 24105 Kiel

KMF-Studie // Gebäudeangaben

Gebäude ID (wird vom LAsD vergeben): /

1. Name der Einrichtung: _____

Straße: _____

PLZ: _____ Ort: _____

dortiger Ansprechpartner: _____ Telefon: _____

Träger der Einrichtung: _____

2. Zuständige Gesundheitsbehörde: Kreis _____

Ansprechpartner: _____ Telefon: _____

=====

3. Baujahr? : vor 1979 // sonst Jahreszahl: _____

Stein- / Betonhaus (Massivbau) Containerbau/Fertighaus (Leichtbauweise)

Erläuterung

Seit langem ist bekannt, dass Mineralfasern (KMF), die vor 1979 in abgehängten Decken von Schulen und Kindertagesstätten eingebaut wurden, in der Regel als krebserzeugende Fasern der Kategorie K2 einzustufen sind. Nach derzeitiger Auffassung besteht aber bei intaktem Rieselschutz kein Handlungsbedarf, da keine Fasern freigesetzt werden sollen. Durch diese Studie des Landesamtes für soziale Dienste soll die Situation in Schulen und Kindergärten messtechnisch überprüft werden und geklärt werden, ob diese Einschätzung und Empfehlung korrekt ist. Zu diesem Zweck erfolgt eine Messung der KMF-Raumluftgehalte und der KMF im Sedimentationsstaub nach VDI 3492. Die Faserzählung und -zuordnung erfolgt mit REM/EDXA (Rasterelektronenmikroskop / energiedispersive Röntgenanalyse).

Die Ergebnisse werden den Trägern der Einrichtung mitgeteilt.

KMF-Studie / Messprotokoll

Raum ID (wird vom LAsD vergeben): / /

Labornummer: _____

1. Einrichtung/Gebäude: _____

Raumbezeichnung: _____

Raumnummer: _____ Flur/Stockwerk: _____

Erstmessung

Wiederholungsmessung

2. Probenahme:

Datum der Probenahme: _____

Probenahme (Uhrzeit) von: _____ bis: _____

Gesamtzeit: _____ min Temperatur : _____ Grad Celsius

[Vorgabe: Pumpenstrom: 8 l/min + Probenvolumen: 3800 l]

([I]. // [NI] ?) Gas-Uhr Zählerstand Start-Ende

Pumpentyp: APC (LAsD): _____

APC (HL): _____

TECORA: _____

3. Sonstige Angaben:

Wird über Beschwerden (Reizungen der Haut und/oder Augen, Schleimhäute) berichtet?

NEIN JA : _____

4. Probennehmer/in :

Datum

Unterschrift