



IFA Report 3/2022

## Quarzexpositionen am Arbeitsplatz

Arbeitsbedingte Exposition gegenüber Quarz  
(Siliziumdioxid kristallin) in der alveolengängigen  
Staubfraktion

Verfasst von: Autorinnen und Autoren siehe Seite 150

Herausgeben von: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV)  
Glinkastr. 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)

– September 2022 –

Publikationsdatenbank: [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen)

ISBN (print): 978-3-948657-50-5

ISBN (online): 978-3-948657-51-2

ISSN: 2190-7994

## Kurzfassung

### **Quarzexpositionen am Arbeitsplatz – Arbeitsbedingte Exposition gegenüber Quarz (Siliziumdioxid kristallin) in der alveolengängigen Staubfraktion**

Quarz wird in einer Fülle von Arbeitsverfahren als Arbeitsstoff eingesetzt bzw. als Quarzstaub freigesetzt. Die Belastung mit alveolengängigem Quarzstaub an Arbeitsplätzen spielt trotz technischen Wandels und erheblicher Anstrengungen zur Minderung der Staubbelastung auch heute noch eine bedeutende Rolle. Dokumentiert wird dies durch die Zahl der Quarzstaubmessungen im Rahmen des Messsystems Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger – MGU mit aktuell ca. 1 200 Messungen pro Jahr in 600 verschiedenen Arbeitsbereichen. 2006 wurden für den BGIA Report 8/2006 „Quarzexpositionen am Arbeitsplatz“ ca. 100 000 Messwerte zu quarzhaltigem A-Staub statistisch ausgewertet.

Diese Neuauflage des BGIA Reports 8/2006 stellt eine synoptische Darstellung zur arbeitsbedingten Exposition gegenüber quarzhaltigem A-Staub dar. Hierzu wurden

über 15 100 im MGU durchgeführte Messungen zu Quarz aus dem Zeitraum von Januar 2005 bis Dezember 2016, die in der IFA Expositionsdatenbank MEGA (Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz) dokumentiert wurden, nach Branchen und Arbeitsbereichen differenziert und statistisch ausgewertet. Die Daten wurden durch Erläuterungen zu exponierten Tätigkeiten, zu Arbeitsverfahren, zur Umsetzung von Schutzmaßnahmen und zum Stand der Technik ergänzt. Der IFA Report 4/2022 „Quarzexpositionen am Arbeitsplatz“ kann als Grundlage zur Lenkung präventiver Maßnahmen, der Expositionsüberwachung und zur Ermittlung zurückliegender Quarzstaubbelastungen bei Berufskrankheiten-Verdachtsanzeigen, aber auch als Beitrag für die Diskussion von Fachgremien im Rahmen der Weiterentwicklung des technischen Regelwerkes zu Gefahrstoffen dienen.

## Abstract

### **Exposure to quartz at the workplace – Work-related exposure to quartz (crystalline silicon dioxide) from the respirable dust fraction**

Quartz is used as an agent or is released, in the form of quartz dust, in a wide range of work processes. Despite technical progress and considerable efforts to reduce exposure to dust, exposure to respirable quartz dust at workplaces remains an important issue. This is evidenced by the number of quartz dust measurements conducted as part of the MGU measurement system for exposure assessment of the German Social Accident Insurance Institutions, which currently stands at around 1,200 measurements per year in 600 different work areas. In 2006, around 100,000 measured values for respirable dust containing quartz were statistically evaluated for BGIA Report 8/2006 “Exposure to quartz at the workplace”.

This new edition of BGIA Report 8/2006 provides a synopsis representation of occupational exposure to respirable dust containing quartz. For this purpose, over 15,100 quartz measurements carried out within the MGU measurement system from January 2005 to December 2016

– which were documented in the MEGA exposure database of the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance, IFA (MEGA stands for Measurement data relating to workplace exposure to hazardous substances) – were sorted into different industries and work areas and statistically evaluated. The data are supplemented with explanations about activities that are subject to exposure, about work processes, about the implementation of protective measures and about the state of the art. IFA Report 4/2022 “Exposure to quartz at the workplace” can be used as a basis for guiding preventative measures, for exposure monitoring and for determining quartz dust exposures during the process of reporting suspected occupational diseases. However, it also makes an important contribution to the discussion among expert committees within the context of the further development of the technical rules for hazardous substances.

## Résumé

### **Expositions au quartz sur le lieu de travail – Exposition en milieu professionnel au quartz (silice cristalline) présent dans la fraction alvéolaire de la poussière**

Le quartz est un matériau largement utilisé ou rejeté sous forme de poussière de quartz par une multitude de procédés industriels. Malgré les progrès technologiques et les efforts considérables déployés pour la minimiser, l'exposition à la poussière alvéolaire de quartz sur le lieu de travail demeure significative. C'est ce dont témoignent les mesures de poussière de quartz effectuées par le système d'évaluation des risques de l'Organisme d'assurance sociale allemand des accidents du travail et des maladies professionnelles, qui en effectue actuellement environ 1200 par an dans 600 secteurs d'activité différents. Quelques 100 000 mesures de poussière alvéolaire de quartz ont été statistiquement analysées en 2006 dans le cadre du rapport 8/2006 de l'Institut allemand de prévention des accidents du travail, intitulé « Expositions au quartz sur le lieu de travail ».

Cette réédition du rapport 8/2006 de l'Institut allemand de prévention des accidents du travail présente une vue synoptique de l'exposition à la poussière alvéolaire de quartz sur le lieu de travail. Pour ce faire, plus de 15 100 mesures de quartz ont été effectuées par le système

d'évaluation des risques de l'Organisme d'assurance sociale allemand des accidents du travail et des maladies professionnelles entre janvier 2005 et décembre 2016, puis consignées dans la base de données MEGA (acronyme de « données de mesure d'exposition aux substances dangereuses sur le lieu de travail ») de l'Institut allemand de santé et de sécurité au travail, classées par secteur et par domaine d'activité, et enfin statistiquement analysées. Ces données sont venues compléter les informations sur les activités exposées, les procédés industriels, l'application des mesures de protection et l'état de l'art. Le rapport 4/2022 de l'Institut allemand de santé et de sécurité au travail intitulé « Expositions au quartz sur le lieu de travail » peut servir de base pour orienter les mesures préventives, la surveillance de l'exposition et la détermination des expositions passées à la poussière de quartz dans le cas d'une déclaration de présomption de maladie professionnelle, mais aussi de contribution à la discussion des comités d'experts en vue du développement de la réglementation technique sur les substances dangereuses.

## Resumen

### **Exposiciones al cuarzo en el lugar de trabajo – Exposición al cuarzo relacionada con el trabajo (dióxido de silicio cristalino) en la fracción de polvo respirable.**

El cuarzo se utiliza como agente en numerosos procesos de trabajo o bien se libera en forma de polvo de cuarzo: la carga de polvo de cuarzo respirable en los lugares de trabajo sigue siendo relevante hoy en día pese a la transformación tecnológica y a los considerables esfuerzos para reducir la carga de polvo. Esto queda documentado mediante el número de mediciones de polvo de cuarzo en el contexto del sistema de medición para la determinación de peligros del Organismo de Seguro Social Alemán de Accidentes de Trabajo (MGU) con unas 1200 mediciones anuales en 600 áreas de trabajo distintas. En 2006 se evaluaron estadísticamente cerca de 100 000 valores de medición de polvo respirable con cuarzo para el informe del Instituto BGIA 8/2006 "Exposiciones al cuarzo en el lugar de trabajo".

Esta nueva edición del informe del Instituto BGIA 8/2006 es una representación sinóptica de la exposición al polvo respirable con contenido en cuarzo. A tal fin se evaluaron

estadística y diferenciadamente más de 15 100 mediciones de cuarzo realizadas por el instituto para la seguridad en el trabajo del organismo MGU del periodo entre enero de 2005 a diciembre de 2016, que se registraron en la base de datos de exposición MEGA (siglas de: datos de medición de la exposición a sustancias peligrosas en el lugar de trabajo). Los datos se completaron mediante notas aclaratorias sobre las actividades sensibles, los procedimientos de trabajo, la implementación de medidas de protección y el estado de la técnica. El informe 4/2022 del instituto para la seguridad en el trabajo del organismo MGU "Exposiciones al cuarzo en el lugar de trabajo" puede servir como base para dirigir medidas preventivas, monitorizar la exposición y determinar antecedentes de cargas de polvo de cuarzo en casos de denuncias por enfermedades laborales, pero también puede contribuir al debate entre los sectores especializados en el contexto de la evolución de los códigos técnicos sobre las sustancias peligrosas.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Stoffinformationen zu Quarz (inkl. Cristobalit und Tridymit)</b> .....	<b>11</b>
2.1	Identifikation.....	11
2.2	Eigenschaften .....	12
2.3	Gesundheitsgefahren .....	18
<b>3</b>	<b>Grenzwerte und Vorschriften</b> .....	<b>20</b>
3.1	Grenzwerte und Grenzwertentwicklung (ab 2005) .....	20
3.2	Vorschriften .....	20
<b>4</b>	<b>Messverfahren</b> .....	<b>21</b>
4.1	Probenahmeverfahren .....	21
4.2	Analysenverfahren.....	22
4.3	Erläuterungen zur Messstrategie und Beurteilung der Messergebnisse .....	25
<b>5</b>	<b>Vorkommen</b> .....	<b>27</b>
5.1	Natürliches Vorkommen.....	27
5.2	Synthetisch hergestellte kristalline SiO <sub>2</sub> -Modifikationen .....	28
<b>6</b>	<b>Verwendung und Auftreten</b> .....	<b>29</b>
6.1	Quarz .....	29
6.2	Cristobalit.....	32
6.3	Tridymit.....	32
<b>7</b>	<b>Datenlage und Auswertestrategie</b> .....	<b>33</b>
7.1	Selektionskriterien für die statistischen Auswertungen .....	33
7.2	Datenlage .....	33
7.3	Auswertestrategie.....	34
7.4	Ergebnistabellen, Abkürzungen und Fußnoten.....	34
7.5	Quarz und Cristobalit in denselben Arbeitsbereichen .....	36
<b>8</b>	<b>Gewinnung und Verarbeitungen von Steinen, Erden und Rohstoffen</b> .....	<b>37</b>
8.1	Gewinnung und Aufbereitung von Kalkstein und Dolomit .....	37
8.2	Bergbau .....	38
8.3	Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand .....	39
8.4	Gewinnung und Aufbereitung von Naturstein und sonstigen Rohstoffen.....	42
8.5	Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei.....	46
8.6	Mineralmahlwerke (Farberden) .....	51
8.7	Herstellung von Gipszeugnissen, Dämm- und Leichtbauplatten .....	52
8.8	Asphaltemischanlagen.....	53
8.9	Herstellung von Zement und Kalk.....	54
8.10	Herstellung von Trockenbaustoffen .....	55
8.11	Betonindustrie (stationärer Betrieb).....	57
<b>9</b>	<b>Keramische und Glasindustrie</b> .....	<b>63</b>
9.1	Glas, Herstellung und Verarbeitung .....	63
9.2	Glasfasern, Mineralfasern, Herstellung und Verarbeitung .....	66
9.3	Quarzglas (einschließlich Kristallzüchtung), Herstellung und Verarbeitung.....	68
9.4	Ton und Kaolin, Gewinnung .....	69
9.5	Feuerfeste Waren, Herstellung .....	70
9.6	Kalksandstein, Herstellung.....	77
9.7	Porzellan und Keramik (industriell), Herstellung .....	78

9.8	Sanitärkeramik, Herstellung.....	82
9.9	Technische Keramik, Herstellung.....	85
9.10	Wand- und Bodenfliesen, Herstellung.....	88
9.11	Baukeramik, Herstellung.....	91
9.12	Ofenkacheln, Herstellung.....	93
9.13	Schleifkörper, Herstellung.....	94
9.14	Ziegeleierzeugnisse, Herstellung.....	96
<b>10</b>	<b>Chemische, pharmazeutische, Gummi- und Kunststoffindustrie .....</b>	<b>100</b>
10.1	Chemische und pharmazeutische Industrie, Anstrichmittel.....	100
10.2	Dachpappen- und Bitumenbahnen, Herstellung.....	103
10.3	Gießereihilfsmittel, Herstellung.....	103
10.4	Gummiwaren, Herstellung und Verarbeitung.....	104
10.5	Kunststoffe, Herstellung und Verarbeitung.....	104
<b>11</b>	<b>Holz-, Papierindustrie.....</b>	<b>106</b>
11.1	Holzverarbeitung.....	106
11.2	Papier und Pappe, Herstellung und Verarbeitung.....	106
<b>12</b>	<b>Gießereien, Metallerzeugung .....</b>	<b>107</b>
12.1	Gießereien.....	107
12.2	Metallerzeugung.....	117
<b>13</b>	<b>Metallbe- und -verarbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Werkstätten, Lackierereien .....</b>	<b>118</b>
13.1	Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien.....	118
13.2	Reparatur, Wartung, Werkstattarbeiten in weiteren Branchen.....	123
<b>14</b>	<b>Elektrotechnische und feinmechanische Industrie und Handwerke.....</b>	<b>125</b>
14.1	Elektrotechnik.....	125
14.2	Schmuckwaren, Herstellung und Verarbeitung.....	126
14.3	Dentallabor.....	127
14.4	Elektroinstallationsarbeiten auf Baustellen.....	128
14.5	Reibbeläge.....	128
<b>15</b>	<b>Forschungseinrichtungen, Bildungseinrichtungen, Energiegewinnung, Transport .....</b>	<b>129</b>
15.1	Forschungs- und Untersuchungs-institute, -labors, Konstruktionsbüros.....	129
15.2	Berufsschulen und Ausbildungsstätten für das Bauhandwerk.....	130
15.3	Transport.....	130
15.4	Energiegewinnung.....	131
<b>16</b>	<b>Groß- und Einzelhandel, Getränkeherstellung .....</b>	<b>132</b>
16.1	Groß- und Einzelhandel, mit verschiedenen Baustoffen.....	132
16.2	Großhandel mit chemischen Produkten.....	133
16.3	Brauereien und Getränkehersteller, Filtration.....	134
<b>17</b>	<b>Entsorgung, Recycling .....</b>	<b>137</b>
17.1	Abfallsammlung, -entsorgung, -verbrennung und -recycling (ohne Glasrecycling); Abwasserentsorgung.....	137
17.2	Elektronikschrottreycling.....	137
17.3	Glasrecycling.....	138
17.4	Baustoffrecycling- und Sortieranlagen.....	139

<b>18</b>	<b>Bauwirtschaft</b> .....	<b>141</b>
18.1	Mauerwerks- und Klinkerbau.....	141
18.2	Putzarbeiten.....	141
18.3	Abbrucharbeiten.....	142
18.4	Erd-, Planier-, Verdichtungs- und Pflasterarbeiten.....	142
18.5	Kachelofen-, Schornstein- Feuerungs- und Industrieofenbau .....	143
18.6	Dachdeckerarbeiten .....	143
18.7	Betonbau .....	143
18.8	Baustellenreinigung .....	143
18.9	Strahlarbeiten .....	144
18.10	Straßenbau.....	145
18.11	Tunnelbauarbeiten .....	146
18.12	Weitere Tätigkeiten in der Bauwirtschaft .....	147
	<b>Literatur</b> .....	<b>148</b>

# 1 Einleitung

Quarz wird in einer Fülle von Arbeitsverfahren als Arbeitsstoff eingesetzt bzw. als Quarzstaub freigesetzt. Haupteinsatzgebiete von Quarz sind seine Nutzung als Füllstoff in der Gummi-, Kunststoff- und Farbindustrie, in der Glasindustrie als Glasschmelzsand, in der Gießereindustrie als Gießereisand und als Bestandteil von verschiedenen Rohstoffen und Produkten in der Bauindustrie. Ferner wird Quarz als Rohstoff in der chemischen, keramischen und Glasindustrie sowie als Filtersand in der Abwasserreinigung, in der chemischen Industrie und bei der Getränkeherstellung verwendet. In der Schmucksteinverarbeitung werden verschiedene Varietäten von Quarz als Schmuck- und Halbedelsteine bearbeitet. Darüber hinaus findet Quarz vereinzelt auch als Schleif-, Polier- und Abrasivmittel Verwendung.

Die Belastung mit alveolengängigem Quarzstaub (quarzhaltiger A-Staub) an Arbeitsplätzen spielt trotz technischen Wandels und erheblicher Anstrengungen zur Minderung der Staubbelastung auch heute noch eine bedeutende Rolle. Seit den 1950er-Jahren haben die Berufsgenossenschaften umfangreiche Messserien zur Quarzbelastung in verschiedenen Branchen durchgeführt. Dokumentiert wird dies durch die Zahl der Quarzstaubmessungen im Rahmen des Messsystems Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (MGU) mit aktuell ca. 1 200 Messungen pro Jahr in 600 verschiedenen Arbeitsbereichen. Die heute anerkannten Analyseverfahren zur Quarzbestimmung sind seit Anfang der 1970er-Jahre etabliert.

Vor diesem Hintergrund besteht Bedarf an einer synoptischen Darstellung über Quarz als Grundlage zur Lenkung präventiver Maßnahmen, der Expositionsüberwachung und zur Ermittlung zurückliegender Quarzstaubbelastungen bei Berufskrankheiten-Verdachtsanzeigen, aber auch als Beitrag für die Diskussion von Fachgremien im Rahmen der Weiterentwicklung des technischen Regelwerkes zu Gefahrstoffen.

Die Zahl der Silikosen, die als Berufskrankheit anerkannt und durch Quarzstaubeinwirkung verursacht wurden, hat aufgrund der Präventionserfolge in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich abgenommen. Quarz ist inzwischen von der International Agency for Research on Cancer (IARC) und der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) – der MAK-Kommission – als krebserzeugender Stoff eingestuft. Der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) hat Quarz und Cristobalit (alveolengängiger Staubanteil) im Jahr 2002 als krebserzeugend beim Menschen bewertet. Seitdem können Lungenkrebsfälle als Berufskrankheit Nr. 4112 der Berufskrankheiten-Verordnung anerkannt werden, wenn eine Silikose bzw. Silikotuberkulose vorliegt. Mit Erscheinen der Technischen Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 906 „Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten und Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV“ im Juli 2005 sind Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte alveolengängigen Quarz- oder Cristobalitstäuben ausgesetzt sind, als krebserzeugend geführt.

## 2 Stoffinformationen zu Quarz (inkl. Cristobalit und Tridymit)

### 2.1 Identifikation

Bei den im allgemeinen Sprachgebrauch und auch in den Regelwerken vereinfachend als Quarz, Cristobalit und Tridymit bezeichneten Siliciumdioxid-Modifikationen ( $\text{SiO}_2$ -Modifikationen) handelt es sich um die jeweiligen Tieftemperaturmodifikationen Tiefquarz, Tiefcristobalit und Tieftridymit (vgl. Abschnitt 2.2), auf die sich die Angaben in **Tabellen 1** und **2** beziehen. Diese Modifikationen sind in Arbeitsbereichen anzutreffen.

Tabelle 1:  
Kenndaten von Quarz, Cristobalit und Tridymit; Daten aus [1]

Gebrauchsname	Quarz	Cristobalit	Tridymit
EWG-/EINECS-Nummer <sup>1</sup>	238-878-4	238-455-4	239-487-1
CAS-Bezeichnung <sup>2</sup>	Quarz	Cristobalit	Tridymit
CAS-Nummer <sup>2</sup>	14808-60-7	14464-46-1	15468-32-3
MGU-Gefahrstoffcode <sup>3</sup>	1262	12621	12622
ZVG-Nummer <sup>4</sup>	4410	570103	570262
Summenformel	$\text{SiO}_2$	$\text{SiO}_2$	$\text{SiO}_2$

1 Registriernummer des „European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances“

2 Registriernummer des „Chemical Abstracts Service“

3 Gefahrstoffschlüssel im MGU

4 Identifikationsnummer der GESTIS-Stoffdatenbank

Tabelle 2:  
Physikalische Eigenschaften von Tiefquarz, -cristobalit und -tridymit; Daten aus [1; 4]

Gebrauchsname	Quarz	Cristobalit	Tridymit
Phasenbezeichnung	Tiefquarz	Tiefcristobalit	Tieftridymit
Schmelztemperatur in °C	1 610	1 713	-
Dichte (bei 20 °C) in g/cm <sup>3</sup>	2,65	2,33	2,27
Kristallstruktur	trigonal	tetragonal	monoklin
Brechungsindizes	$n_o = 1,553$ $n_E = 1,544$	$n_o = 1,484$ $n_E = 1,487$	$n_x = 1,470$ $n_y = 1,474$
Molmasse in g/mol	60	60	60

## 2.2 Eigenschaften

Die allgemein verwendete Bezeichnung „kristalline Kieselsäure“ als Oberbegriff für die verschiedenen kristallinen SiO<sub>2</sub>-Modifikationen ist irreführend. Das Oxid SiO<sub>2</sub> wird erst gelöst in wässriger Lösung zur Orthokieselsäure (SiO<sub>2</sub> + 2 H<sub>2</sub>O → H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>) [2]. Im Folgenden wird deshalb in Bezug auf kristalline SiO<sub>2</sub>-Phasen konsequent der Begriff „SiO<sub>2</sub>-Modifikationen“ verwendet. Unter Normalbedingungen existieren fünf stabile SiO<sub>2</sub>-Modifikationen: Tiefquarz, -tridymit, -cristobalit, Coesit und Stishovit. Die Stabilitätsbereiche dieser Phasen sind in **Abbildung 1** dargestellt.

In technischen Datenblättern oder auch Sicherheitsdatenblättern wird häufig der Bestandteil SiO<sub>2</sub> genannt. Hierbei

ist zu unterscheiden, ob es sich um die kristalline Phase SiO<sub>2</sub> (also Quarz, Cristobalit oder Tridymit) oder um die als Oxid ausgewiesene Komponente Siliciumdioxid einer chemischen Elementanalyse handelt (es wird Silicium bestimmt und als SiO<sub>2</sub> dargestellt). Im zweiten Fall gibt der Wert für SiO<sub>2</sub> nicht den Quarzanteil wieder (siehe **Tabelle 3** und **Abbildung 2**). Die im englischsprachigen Raum verwendete Bezeichnung „silica“ bezieht sich in der Regel nicht auf das Ergebnis einer chemischen Analyse, sondern auf den Stoffbestand, zumeist Quarz. Allerdings ist erst durch weitere Zusätze eindeutig zu erkennen, ob es sich um den Anteil von Quarz, Cristobalit oder Tridymit (crystalline silica) oder den Anteil amorpher Kieselsäure (amorphous silica) handelt.

Abbildung 1: Phasendiagramm von SiO<sub>2</sub> [3]; durchgezogene Kurven: experimentell bestimmte Phasengrenzen; gestrichelte Kurven: extrapolierte Phasengrenzen; strichpunktierte Kurven: berechnete Phasengrenzen. Quelle: IFA

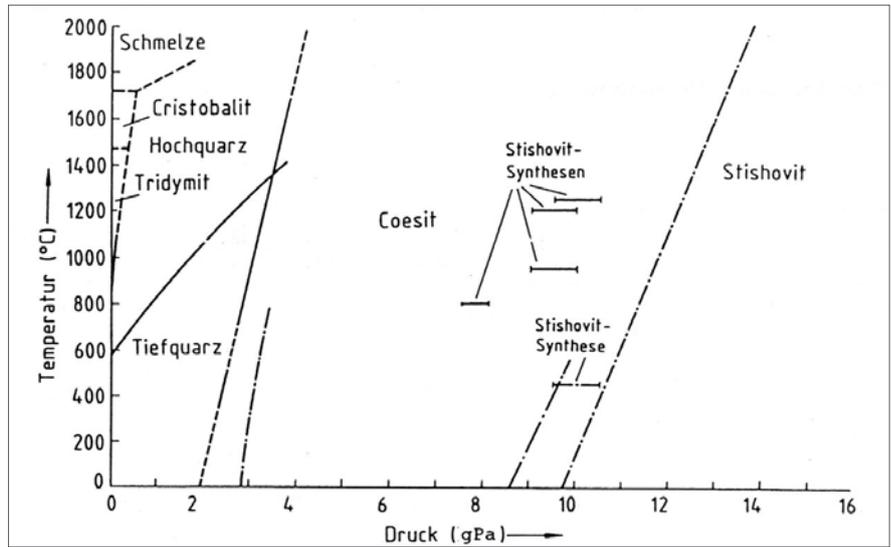


Tabelle 3: Beispiele für die Elementzusammensetzung und den Phasenbestand von unterschiedlichen Materialien (vereinfacht, nur relevante Hauptbestandteile, Angaben in Masse-%)

Material	Elementzusammensetzung ermittelt durch chemische Analyse	Phasenbestand (auch: Stoffbestand, Modalbestand) ermittelt durch Phasenanalyse
Basalt	SiO <sub>2</sub> : 52,4 %, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 15,9 %, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 4,0 %, FeO: 3,0 %, MgO: 9,8 %, CaO: 8,3 %, Na <sub>2</sub> O: 2,6 %	Quarz: 0 %, Plagioklas (Feldspat): 56 %, Klinopyroxen: 26 %, Olivin: 12 %, Fe-Ti-Erze: 4 %
Granit	SiO <sub>2</sub> : 72,0 %, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 14,8 %, Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 1,1 %, FeO: 0,7 %, Na <sub>2</sub> O: 3,6 %, K <sub>2</sub> O: 5,0 %	Quarz: 34 %, Kalifeldspat: 33 %, Plagioklas: 24 %, Glimmer: 8 %
Wollastonit	SiO <sub>2</sub> : 51,7 %, CaO: 48,3 %	Quarz: 0 %, Wollastonit: 100 %
Talkum	SiO <sub>2</sub> : 60,5 %, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : 1,4 %, FeO: 0,5 %, MgO: 31,2 %	Quarz: < 1 %, Talk: 95 %, Chlorit: 4 %

Tiefquarz wandelt sich, in Abhängigkeit vom Druck, bei Temperaturen von  $\geq 573\text{ °C}$  reversibel in Hochquarz um (**Abbildung 3**). Dabei handelt es sich um eine displazive Umwandlung, das heißt, es kommt lediglich zu einer Verschiebung der Atomlagen im Kristallgitter und damit auch zu einer Veränderung der Si-O-Si-Bindungswinkel. Diese wird bei Unterschreiten der Umwandlungstemperatur wieder rückgängig gemacht. Somit tritt in Stäuben aus

Arbeitsbereichen grundsätzlich nur Tiefquarz auf. Dies ist vor allem dann zu beachten, wenn für Tiefquarz und Hochquarz die Bezeichnungen -Quarz und -Quarz verwendet werden. Die Zuordnung dieser Synonyme wird international nicht einheitlich verwendet. Werden quarzhaltige Materialien auf nicht mehr als etwa  $850\text{ °C}$  erhitzt, bleibt nach Abkühlung Quarz bestehen (z. B. beim Glühen von Proben im Rahmen der Aufbereitung für die Analyse).

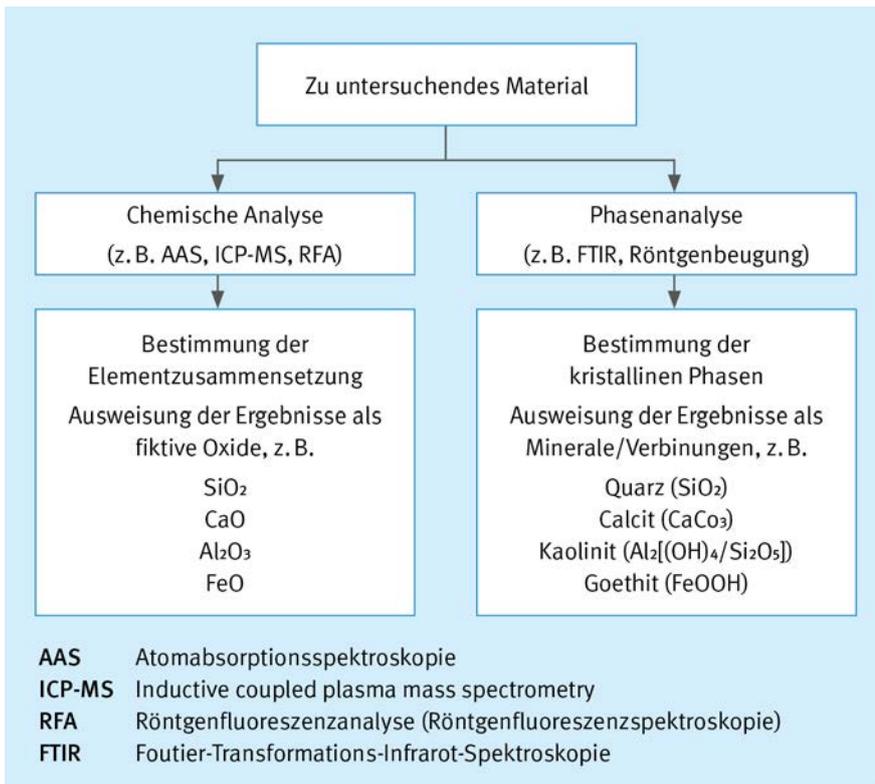


Abbildung 2:  
Schema der Analyse anorganischer  
Materialien. Quelle: IFA

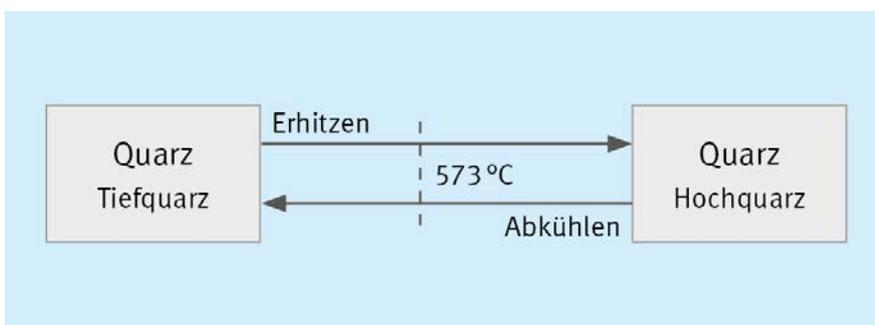


Abbildung 3:  
Reversible Umwandlung von  
Quarz (schematische Darstellung).  
Quelle: IFA

Bei niedrigen Drücken entstehen aus Hochquarz durch weitere Aufheizung bei 870 °C Hochtridymit und daraus bei 1 470 °C Hochcristobalit [2] (**Abbildung 4**). Diese Umbildung vollzieht sich z. B. bei der Herstellung bzw. Verwendung von Silikasteinen für den Ofenbau. Bei Temperaturen von > 1 730 °C entsteht SiO<sub>2</sub>-Schmelze. Die Umwandlungen von Hochquarz in Hochtridymit und Hochcristobalit finden unter starker Verzögerung statt.

Der bei hohen Temperaturen entstandene Hochtridymit bzw. -cristobalit wird bei Abkühlung auf < 250 bzw. 270 °C displaziv in die entsprechende Tieftemperaturmodifikation umgewandelt [4].

Bei schneller Aufheizung kann Hochquarz daher ohne vorherige Phasenumwandlung in den Schmelzzustand überführt werden. Im umgekehrten Fall wird infolge schneller Abkühlung einer SiO<sub>2</sub>-Schmelze amorphes Quarzglas entstehen (**Abbildung 5**). Die hohe Viskosität der Schmelze hat in diesem Fall eine Kristallisation verhindert.

Bei der Herstellung von Silicium durch Reduktion des Oxids SiO<sub>2</sub> entstehen Rauche, die zum Großteil aus amorpher Kieselsäure (Kieselrauch) bestehen (siehe Abschnitt 6.1).

Bei sehr hohen Drücken von > 2 gPa entsteht aus Quarz die Hochdruckmodifikation Coesit, die bei Drücken von > 8 gPa in Stishovit übergeht (**Abbildung 1**). In der Natur entstehen Coesit und Stishovit nur bei Meteoriteneinschlägen.

Als weitere kristalline SiO<sub>2</sub>-Modifikationen sind Keatit (bisher nur synthetisch hergestellt), Melanophlogit (bisher nur in sizilianischen Schwefellagerstätten beobachtet) und faseriges SiO<sub>2</sub> (zersetzt sich an der Luft bei Gegenwart von Wasser unter Normalbedingungen rasch zu Kieselgel) zu nennen.

Ein weiterer Prozess zur Bildung von kristallinen SiO<sub>2</sub>-Modifikationen ist die Rekristallisation aus amorphen Phasen. So wird z. B. die amorphe Kieselsäure der Kieselguren/Diatomeenerden (Kieselalgenskelette aus Opal) durch Erhitzen bzw. Kalzinieren bei Temperaturen zwischen 600 und ca. 1 200 °C größtenteils in Cristobalit umgewandelt (**Abbildung 6**).

Aus Aluminiumsilikatfasern und Hochtemperaturglasfasern (AES) kann sich ebenfalls Cristobalit bilden. Werden die amorphen Fasern, die aus einer silikatischen Schmelze hergestellt wurden, z. B. durch Verwendung in einem Industrieofen dauerhaft auf hohe Temperaturen von ca. 1 000 bis 1 400 °C erhitzt, entsteht in den Fasern Cristobalit.

Bei der arbeitshygienischen Beurteilung von alveolengängigen Stäuben in der Luft am Arbeitsplatz sind von den genannten nur die SiO<sub>2</sub>-Modifikationen Tiefquarz, -cristobalit und -tridymit von Interesse. Die anderen kristallinen Phasen haben praktisch keine Bedeutung.

Die Grundbausteine in der Nahordnung der kristallinen SiO<sub>2</sub>-Modifikationen sind SiO<sub>4</sub>-Tetraeder. Im Zentrum eines von O-Atomen aufgespannten Tetraeders befindet sich ein Si-Atom. Jedes der O-Atome verknüpft zwei Tetraeder miteinander (Sauerstoffbrücken). Jeweils vier halbe O-Atome sind demnach formal einem Si-Atom zuzuordnen. Daraus folgt die Bruttoformel der Verbindung: SiO<sub>2</sub>. Erfolgt die Verknüpfung der Tetraeder systematisch, entsprechend einer bestimmten Symmetrie, entsteht eine Fernordnung der Grundbausteine und damit auch eine Kristallstruktur. Ist eine Fernordnung nicht festzustellen, sind die SiO<sub>4</sub>-Tetraeder also wahllos miteinander verknüpft, liegt eine amorphe SiO<sub>2</sub>-Modifikation vor. Als Überbegriff aller amorphen SiO<sub>2</sub>-Modifikationen wird allgemein die Bezeichnung „amorphe Kieselsäure“ verwendet. Man unterscheidet zwischen wasserfreier und wasserhaltiger amorpher Kieselsäure. Einen Überblick über die Vielfalt kristalliner und amorpher SiO<sub>2</sub>-Modifikation zeigt **Abbildung 7**.

Wichtig in diesem Zusammenhang ist auch die Abgrenzung der amorphen Kieselsäuren von anderen amorphen Stoffen. So enthalten z. B. Fenstergläser hohe Anteile von SiO<sub>2</sub>. Daneben weisen solche Stoffe aber auch weitere oxidische Bestandteile auf (z. B. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>O). Der in solchen Materialien enthaltene Anteil von SiO<sub>2</sub> wird nicht als amorphe Kieselsäure bezeichnet. Dies ist vor allem im Vorfeld von Analysen an Luft- oder Materialproben zu beachten. Wesentlich für die Feststellung, dass amorphe Kieselsäuren vorliegen und für deren Konzentration, ist die Kenntnis des im Arbeitsbereich verwendeten bzw. entstehenden Materials (z. B. Informationen aus dem Sicherheitsdatenblatt [5]).

Abbildung 4:  
Umwandlung von Quarz durch langsames Erhitzen (schematische Darstellung). Quelle: IFA

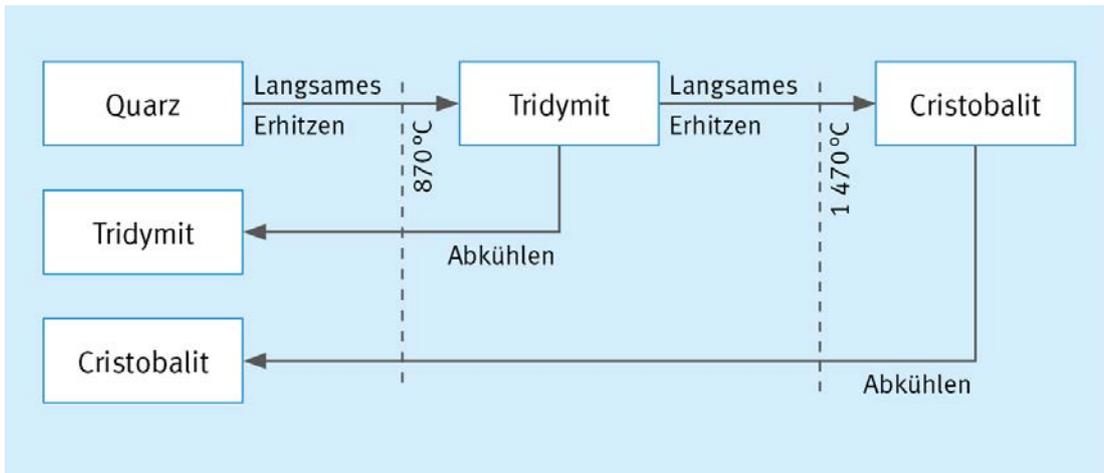


Abbildung 5:  
Umwandlung von Quarz durch schnelles Erhitzen/Schmelzen (schematische Darstellung). Quelle: IFA

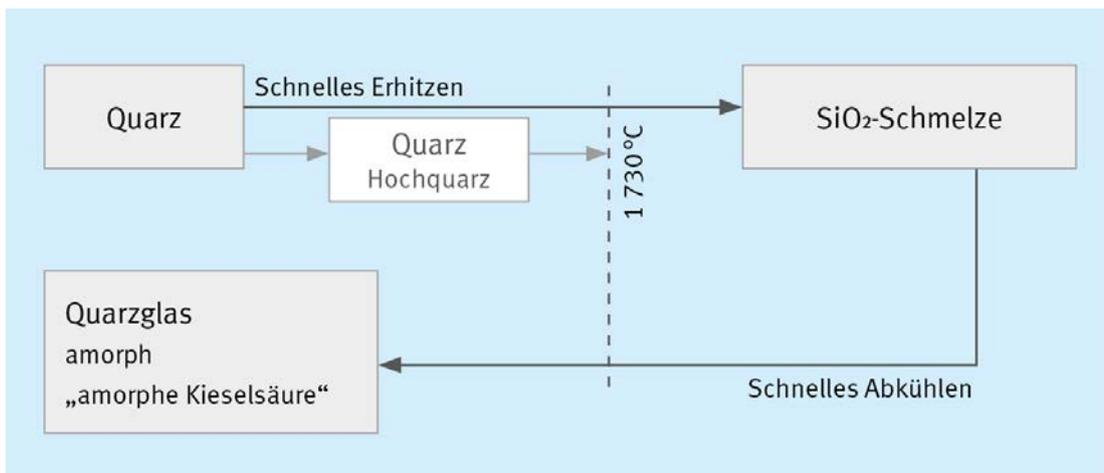


Abbildung 6:  
Umwandlung amorpher Kieselsäure durch Glühen/Kalzinieren (schematische Darstellung). Quelle: IFA

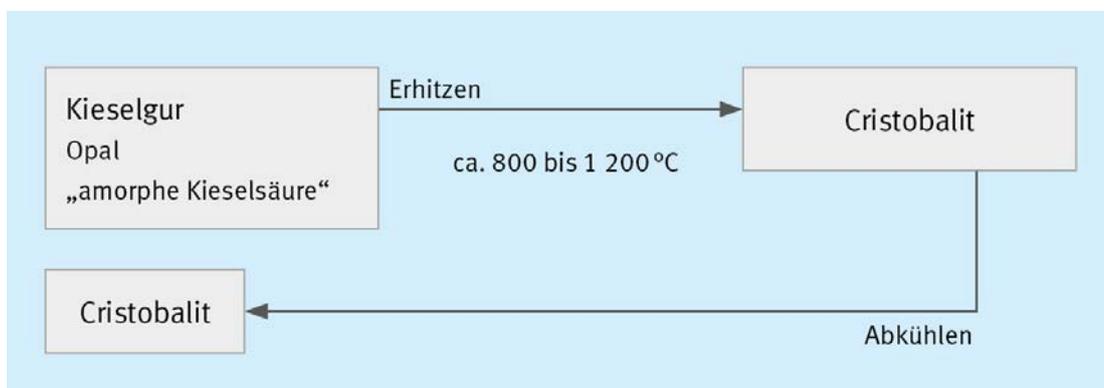
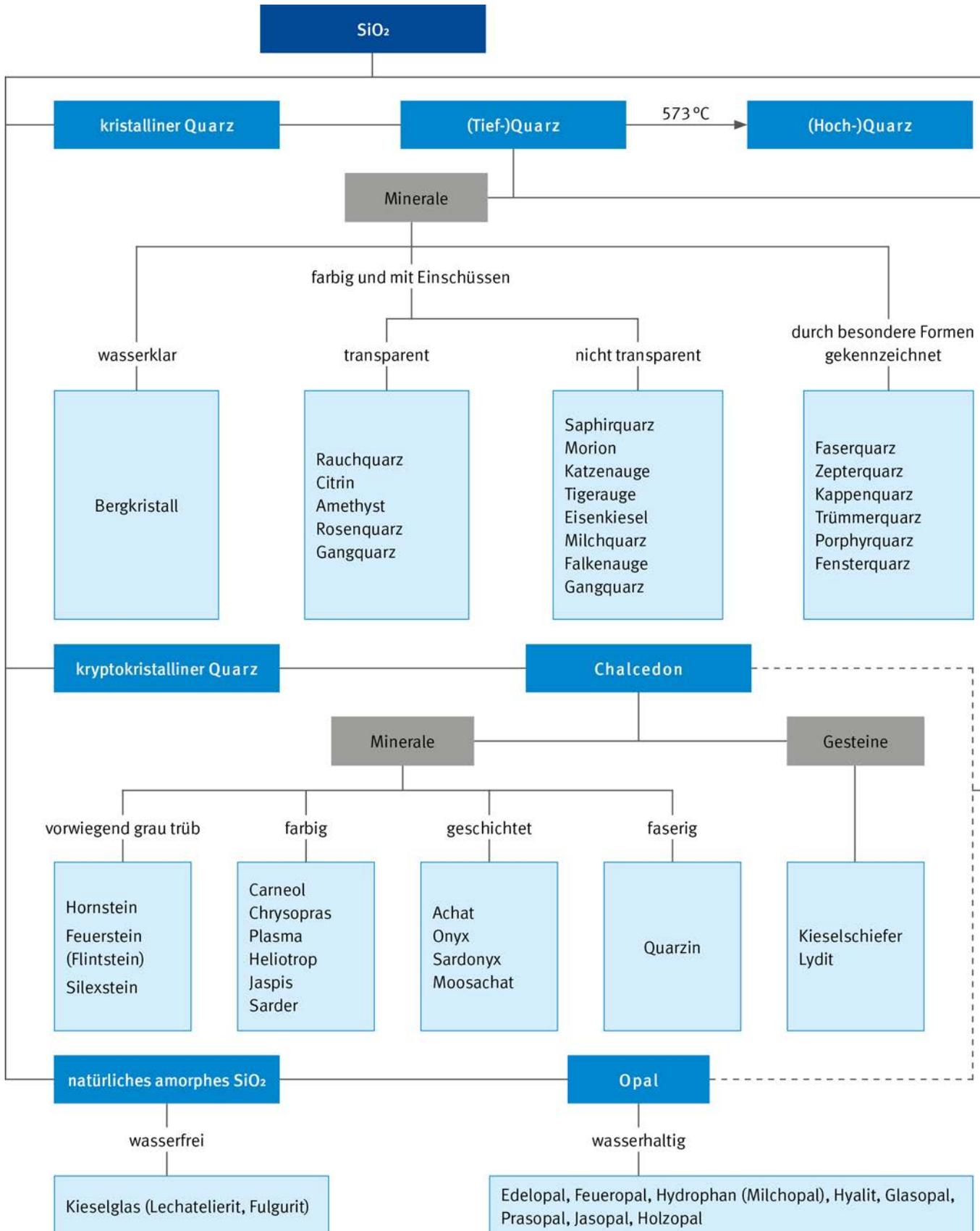
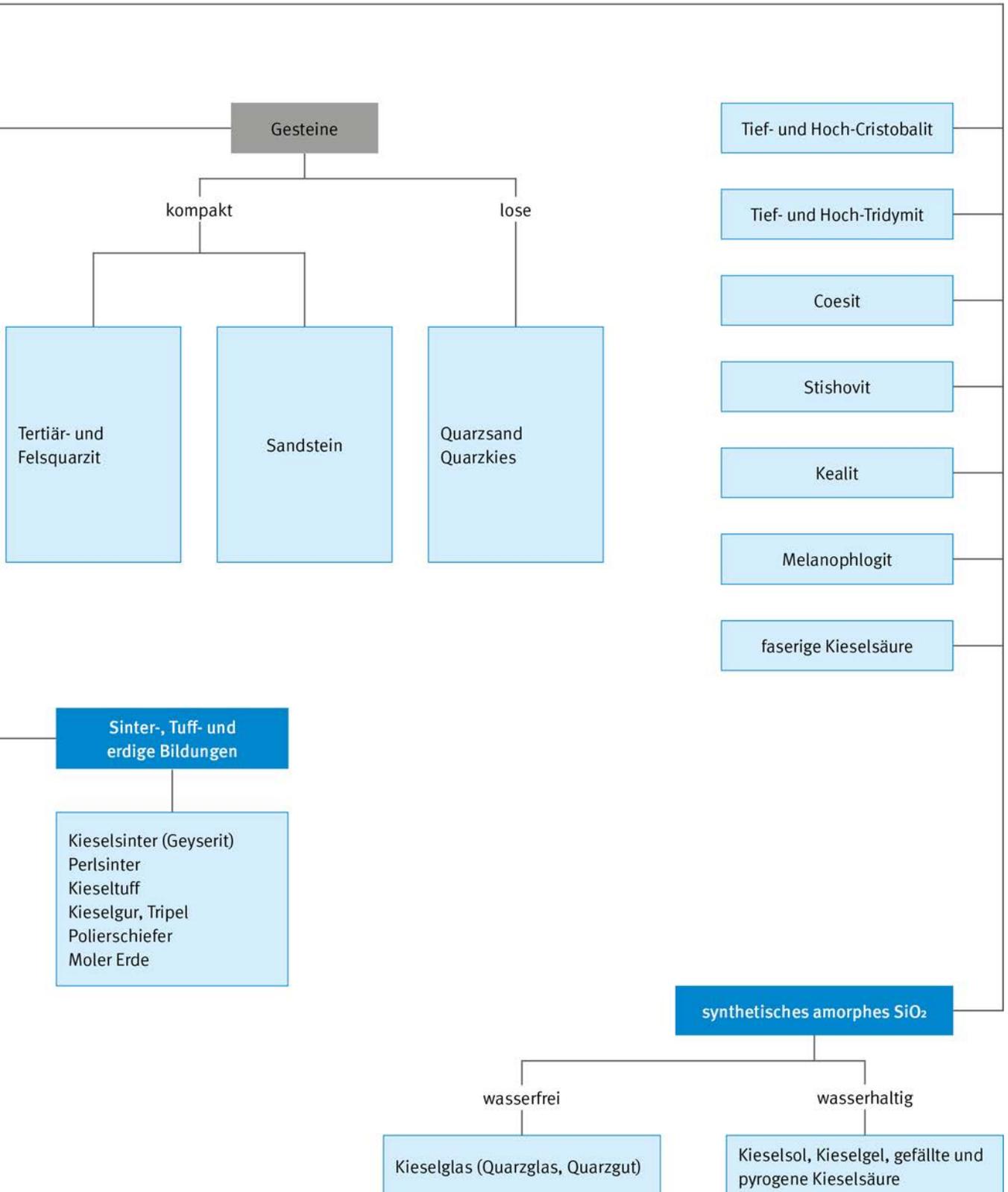


Abbildung 7:  
Ausbildungsformen (Varietäten und Modifikationen) des SiO<sub>2</sub>; Quelle: aus [4] nach [6]. Quelle: IFA





## 2.3 Gesundheitsgefahren

Dauerhafte (chronische) Expositionen gegenüber kristallinem Siliziumdioxid (kurz: kS; umfasst Quarz, Cristobalit und Tridymit) haben im Vergleich zu schwerlöslichen und unlöslichen (biobeständigen) Stäuben ohne stoffspezifische Toxizität im Geltungsbereich des Allgemeinen Staubgrenzwerts (ASGW) [7], chronische gesundheitsschädliche Wirkungen auf die Lunge, die wesentlich schwerwiegender sind und schon bei erheblich geringeren Luftkonzentrationen auftreten. Dabei handelt es sich um chronisch-entzündliche Atemwegserkrankungen (chronic obstructive pulmonary disease, COPD), Silikose (Quarzstaublungenerkrankung), auch in Verbindung mit Lungentuberkulose (Siliko-Tuberkulose), sowie Lungenkrebs. Krankhafte Veränderungen der Lunge durch Einatmung von Staub werden unter dem Begriff „Pneumokoniosen“ (Staublungen) zusammengefasst. Der Zeitraum zwischen Beginn der Exposition und dem Auftreten (Latenzzeit) einer Pneumokoniose ist lang. Für Silikose liegt die Latenzzeit im Mittel bei 35 Jahren in einem Bereich von 18 bis 50 Jahren, für Lungenkrebs ist sie noch länger. Allerdings kann sich bei sehr hohen Expositionen (ca.  $75 \text{ mg/m}^3$  in der einatembaren Staubfraktion), wie sie bei türkischen Sandstrahlern von Jeans ermittelt wurden, schon nach kurzer Zeit (wenige Monate) eine akute Silikose einstellen. Erste Symptome für Atemwegserkrankungen bei Quarzexposition können Husten, Auswurf und gelegentlicher Brustschmerz sowie chronische Bronchitis sein. Eine frühe Diagnostik dieser Krankheitsbilder ist wichtig, da sie schon in frühen Stadien nicht mehr heilbar, sondern nur noch hinsichtlich ihres Schweregrads behandelbar sind.

Die Reaktion des menschlichen Organismus auf Stäube, die über Atemwege aufgenommen werden (Partikelgröße bis ca.  $150 \mu\text{m}$ ), ist unter anderem abhängig von der Größe, Form und chemischen Zusammensetzung der Partikel. Eingeatmete Teilchen, die nicht bereits in der Nasenhöhle abgelagert werden, können mit der Atemluft über den Kehlkopf zur Luftröhre und von dort in die sich verzweigenden Bronchien und Bronchiolen gelangen. Je kleiner die Partikel sind, desto tiefer dringen sie in die Lunge. Dort können kS – wie auch andere biobeständige Stäube – nicht abgebaut oder gelöst werden.

Grundsätzlich besitzt die Lunge verschiedene Reinigungsmechanismen, um in ihr deponierte Partikel aus den unterschiedlichen Bereichen zu entfernen. Die mukoziliäre Clearance (Reinigung) transportiert die Partikel, die sich in den Bronchien und Bronchiolen abscheiden, durch koordinierte Bewegungen der Flimmerhärchen (Zilien) zurück in den Rachenraum. Die kleinsten Partikel (Durchmesser  $< 5 \mu\text{m}$ ) gelangen bis in die Lungenbläschen

(Alveolen). Dort erfolgt eine Phagozytose (Aufnahme in das Zellinnere) der deponierten Partikel durch Alveolarmakrophagen, die zu den Fresszellen (Phagozyten) zählen. Die beladenen Alveolarmakrophagen wandern dann zu den Bronchien. Dieser Vorgang wird auch alveoläre bzw. makrophagenvermittelte Clearance genannt. Durch mukoziliäre Clearance werden sie – zusammen mit schon in den Bronchien abgelagerten größeren Partikel – schließlich aus der Lunge entfernt und verschluckt oder abgehustet. Es ist jedoch auch möglich, dass Partikel nicht abtransportiert werden, sondern in das Stützgewebe zwischen den Lungenbläschen gelangen, das sogenannte Lungeninterstitium, wo sie wiederum von Makrophagen „gefressen“ (phagozytiert) werden können. kS-Feinstaubpartikel stören jedoch diesen Prozess, indem sie über die reaktiven Gruppen an der Partikeloberfläche mit Zellmembranen oder anderen Zellkomponenten der die Lunge auskleidenden Zellen (Epithelzellen) und Immunzellen wechselwirken. Es kommt auch zum Absterben der Makrophagen. Dadurch erhöht sich die Verweildauer der Partikel und als Folge davon entstehen entzündliche Reaktionen. Nach derzeitigem Kenntnisstand entstehen bei dauerhafter Exposition von kS chronisch-entzündliche Reaktionen, die als Vorläufereffekte ursächlich für COPD, Silikose und Lungentumore sind.

Liegt eine Entzündung der Atemwege vor, reagiert die Lunge zunächst mit starker Schleimbildung (Bronchitis), was zur Verengung der Atemwege führt. Bei andauernder Exposition kann es auch zur Überdehnung des Lungengewebes insbesondere in den Alveolen kommen (Lungenemphysem), die dadurch geschädigt und schließlich auch zerstört werden. Dieses Krankheitsbild wird unter der Bezeichnung COPD zusammengefasst. Charakteristisch für Silikose ist die Ausbildung von Fibrosen in den Alveolen infolge einer komplexen Reaktionskette, die durch die Wechselwirkung von kS-Partikeln mit den Alveolarmakrophagen und nachfolgender Freisetzung von Botenstoffen initiiert wird. Als Folge treten entzündliche Reaktionen auf, die zur Entwicklung von Fibrosen beitragen. Fibrosen entstehen durch vermehrtes Wachstum von unelastischem (fibrösem) Bindegewebe im Lungeninterstitium, das eine Versteifung der Lunge verursacht und so zu einer Einschränkung der Lungenfunktion führen kann. Eine Silikose kann auch nach Beendigung der Exposition fortschreiten, da absterbende Makrophagen phagozytiertes kS wieder freisetzen und so die Reaktionskette in Gang gehalten wird. Silikose-Erkrankte sind anfälliger für Tuberkulose, was auf die verminderte Makrophagenaktivität zurückgeführt wird. Als Mechanismus für die Entstehung von Lungentumoren durch kS-Exposition wird ein Zusammenhang zwischen den hervorgerufenen chronisch-entzündlichen Reaktionen und vermehrtem

Wachstum (Proliferation) der epithelialen Lungenzellen als wahrscheinlich angesehen. Aber auch eine direkte Wechselwirkung von reaktiven funktionellen Gruppen an der Oberfläche der kS-Partikel mit Epithelzellen wird als Ursache der Krebsentstehung nicht ausgeschlossen. Epidemiologische Studien deuten darauf hin, dass das Vorliegen einer Silikose das Risiko erhöht, an Lungenkrebs zu erkranken.

### 2.3.1 Ableitung des Beurteilungsmaßstabs für Quarz

Als Grundlage der Ableitung des Beurteilungsmaßstabs (BM) für Expositionen gegenüber alveolengängigem Quarz und Cristobalit [8] dienen Humandaten (epidemiologische Studien), wobei nicht-karzinogene und karzinogene Effekte berücksichtigt wurden. Obwohl die Datenlage bezüglich der gesundheitsschädigenden Eigenschaften bei der inhalativen Aufnahme von kS-Stäuben äußerst umfangreich ist, war es aus verschiedenen Gründen nicht möglich, einen Luftgrenzwert festzulegen, der den Kriterien des AGS zur Ableitung von Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW), AGW-analogen Werten bzw. risikobasierten Luftgrenzwerten genügt. So sind die zahlreichen Studien hinsichtlich der gesundheitsschädigenden Wirkstärke von kS-Partikeln nicht eindeutig. Begründbar sind diese Wirkstärkeunterschiede mit der Annahme, dass der auslösende Faktor für die verschiedenen krebserzeugenden und nicht-krebserzeugenden Wirkmechanismen jeweils die direkte Wechselwirkung der Quarzoberfläche mit Zellmembranen oder anderen Lungenbestandteilen ist. Frisch gebrochene Oberflächen von kS werden durch Verwitterung oder unterschiedliche Oberflächenbehandlungen (Erhitzen, Ätzen, Mahlen) bei der Verarbeitung modifiziert. Diese Modifikationen haben Auswirkungen auf die Oberflächenreaktivität, was sich in variierenden Wirkstärken ausdrückt. Der AGS sah sich außerstande, aus diesen Kenntnissen heraus eine Systematik zur gezielten Regu-

lation abzuleiten. Darüber hinaus erschwerten relevante Unsicherheiten bei den Expositionsabschätzungen, der Berücksichtigung von störenden Einflussgrößen (Confounder) wie Rauchen und dem Befund der Krankheitsbilder die quantitative Ableitung eines verbindlichen BM aus den Daten der einzelnen Studien.

Bei der Ableitung eines BM wurden die Daten zum Auftreten von Silikose und Lungenkrebs durch inhalative kS-Expositionen ausführlich diskutiert und gegenübergestellt. Eine einzelne Studie zu COPD, die in einen AGW-analogen Wert von etwa  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  münden würde, wurde dagegen allein als nicht ausreichend angesehen. Im Mittelpunkt der Diskussionen stand die Identifizierung eines Schwellenwerts zur Vermeidung von entzündlichen Effekten in der Lunge, die als Vorläufereffekt für die schwerwiegenden Folgeerkrankungen angesehen werden müssen. Die Unterschreitung dieses Schwellenwerts bedeutet somit einen umfassenden Schutz vor Schädigungen der Lunge durch Quarzstäube. Allerdings war die Interpretation der Daten in Bezug auf die genaue Lage dieses Schwellenwerts nicht sicher möglich. Diskutiert wurden Werte, aus denen sich ein Luftgrenzwert – je nach Studie und Sichtweise – zwischen  $10$  und  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ableiten ließe. Als bestmögliche Schätzung wurde ein BM von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  festgelegt. Dieser Wert basiert auf einer epidemiologischen Studie, aus der ein erhöhtes Risiko für das Auftreten von Silikose bei Luftkonzentrationen ab  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  abgeleitet wurde. Zur Abschätzung eines Werts ohne schädigende Wirkung wurde ein Sicherheitsfaktor von 3 angewandt. Aufgrund der Unsicherheiten bei der Ableitung ist nach derzeitigem Stand der Wissenschaft auch bei Einhaltung des BM nicht zwingend das gleiche Schutzniveau wie bei Einhaltung eines AGW vorauszusetzen. Entsprechend ist eine weitere Minimierung der Exposition auch bei Einhaltung des BM gemäß TRGS 559 [9] anzustreben.

## 3 Grenzwerte und Vorschriften

### 3.1 Grenzwerte und Grenzwertentwicklung (ab 2005)

Informationen über Grenzwerte zu Quarz, Cristobalit und Tridymit und deren Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland und ehemaligen Deutschen Demokratischen Republik (DDR) vor 2005 finden sich in der 2. Auflage des IFA Quarzreports [10].

Die Europäische Union hat in der Richtlinie 2019/130/EU „über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit“ einen verbindlichen Grenzwert für die berufsbedingte Exposition von 0,1 mg/m<sup>3</sup> für alveolengängiges kristallines Siliziumdioxid (Quarzfeinstaub) als 8-Stunden Mittelwert festgelegt [11]. In Deutschland gilt der vom AGS beschlossene und 2016 veröffentlichte BM zu quarzhaltigem A-Staub von 0,05 mg/m<sup>3</sup> als Schichtmittelwert mit einem Überschreitungsfaktor von maximal 8 (abhängig von der Expositionsdauer bei verkürzter Exposition) [12]. Dieser wurde 2020 im Rahmen der Neufassung der stoffspezifischen TRGS 559 „Quarzhaltiger Staub“ [9] ins Technische Regelwerk übernommen. Er ist bei der Gefährdungsbeurteilung und zur Kontrolle der Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen zu berücksichtigen und einzuhalten. Auch wenn der BM unterschritten ist, kann nach dem derzeitigen Stand der Wissenschaft ein Krebsrisiko nicht ausgeschlossen werden. Daher ist auch bei Unterschreitung des BM die Exposition im Sinne der Begründung des BM weiter zu minimieren.

### 3.2 Vorschriften

Bei beruflichen Tätigkeiten mit Quarz oder Cristobalit müssen in Deutschland, zusätzlich zu den allgemeingültigen Regeln, folgende Vorschriften und Regelwerke zum Schutz der Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten beachtet werden:

- Verordnung zum Schutz vor gefährlichen Stoffen (Gefahrstoffverordnung – GefStoffV) [13], insbesondere der Anhang I Nr. 2.3 GefStoffV „Ergänzende Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit Exposition gegenüber einatembaren Stäuben,

- TRGS 559 – Quarzhaltiger Staub [9],
- TRGS 500 – Schutzmaßnahmen [14] mit einem ausführlichen Abschnitt 9 „Schutzmaßnahmen bei Tätigkeiten mit Exposition gegenüber Staub“,
- TRGS 906 – Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV [15]; Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte alveolengängigen Stäuben aus kristallinem Siliziumdioxid in Form von Quarz und Cristobalit ausgesetzt sind (ausgenommen Steinkohlengrubenstaub), sind krebserzeugende Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV.

Neben diesen gesetzlichen Regelungen gibt es auch eine Reihe DGUV Informationen der Unfallversicherungsträger, die bei Tätigkeiten mit Quarz als Hilfestellungen zur Gefährdungsbeurteilung herangezogen werden können:

- DGUV Information 240-011 „Handlungsanleitung für die arbeitsmedizinische Vorsorge nach dem Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz G 1.1 Mineralischer Staub, Teil 1: Quarzhaltiger Staub“ (in Überarbeitung),
- DGUV Information 213-730 „Mineralische Stäube beim Ein-, Ausbetten und Strahlen in Dentallaboratorien – Empfehlungen Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger (EGU) nach der Gefahrstoffverordnung“ [16],
- DGUV Information 213-111 „Quarzhaltiger Staub in der Keramischen Industrie“ [17].

Weitere im Publikationsportal der DGUV gelistete Publikationen des Sachgebiets „Gesundheitsgefährlicher mineralischer Staub“ beinhalten Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung und zum Schutz der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Quarz: <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/publikationen-nach-fachbereich/rohstoffe-und-chemische-industrie/gesundheitsgefaehrlicher-mineralischer-staub/>

## 4 Messverfahren

### 4.1 Probenahmeverfahren

#### 4.1.1 A-Staub, Definition und Probenahmesysteme

Die gesundheitsschädliche Wirkung von Quarzstaub an Arbeitsplätzen geht von Quarz in der alveolengängigen Staubfraktion (A-Staub) aus. Die Beurteilung der Quarzbelastung erfolgt deshalb aus dieser Staubfraktion. Bis 1993 wurde A-Staub als sogenannter Feinstaub erfasst. Dieser ist gemäß der Johannesburger Konvention von 1959 definiert. Theoretisch entspricht dieses Partikelspektrum einem Staubkollektiv, das hinter einem Abscheidesystem mit der Trennfunktion eines Sedimentationsabscheiders erhalten wird. Der Durchlassgrad eines solchen Vorabscheiders gemäß der Johannesburger Konvention ist für bestimmte aerodynamische Durchmesser in **Tabelle 4** zusammengestellt und in **Abbildung 8** dargestellt.

Seit 1994 wird in der TRGS 900 als Grundlage der Definition für die alveolengängige Fraktion die europäische Norm DIN EN 481 [18] genannt. Beide Konventionen sind nicht deckungsgleich, die Unterschiede fallen aber bei den praktisch vorkommenden Staubpartikelverteilungen relativ gering aus.

Die früher eingesetzten Probenahmegeräte zur Feinstaubmessung konnten auch weiterhin verwendet werden, da deren Vorabscheider Abscheidefunktionen aufweisen, die nur geringe Abweichungen von der Sollfunktion der Norm DIN EN 481 zeigen [18]. Die im MGU eingesetzten Probenahmesysteme sind in **Tabelle 5** zusammengestellt.

Die in DIN EN 481 enthaltenen Definitionen der einatembaren und alveolengängigen Fraktion wurden inhaltlich identisch auch in der 1996 als deutsche Norm übernommenen DIN ISO 7708 wiedergegeben [19].

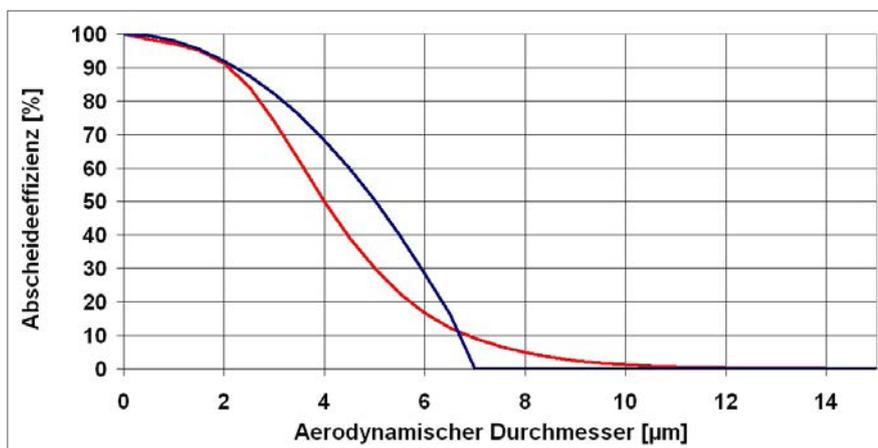


Abbildung 8: Abscheidefunktion für die alveolengängige Staubfraktion gemäß der Johannesburger Konvention („Feinstaub“, blaue Linie) und der DIN EN 481 („A-Staub“, rote Linie). Quelle: IFA

Tabelle 4: Durchlassgrad von Vorabscheidern gemäß der Johannesburger Konvention und DIN EN 481

Johannesburger Konvention (1959)		DIN EN 481 (1993)	
Aerodynamischer Durchmesser von Staubpartikeln der Dichte 1 g/cm <sup>3</sup> in µm	Durchlassgrad in %	Aerodynamischer Durchmesser von Staubpartikeln der Dichte 1 g/cm <sup>3</sup> in µm	Durchlassgrad in %
1,5	95	1	97,1
3,5	75	3	73,9
5,0	50	4	50,0
7,1	0	16	0

Tabelle 5:  
Aktuell eingesetzte Probenahmesysteme für die alveolengängige Staubfraktion  
mit Angabe des Luftvolumenstromes

Probenahmesystem	Luftvolumenstrom in m <sup>3</sup> /h
<b>Personengetragen</b>	
FSP-10, mit 10-l-Zyklon und Pumpe SG 10	0,60
<b>Stationär</b>	
PM 4F Zyklonvorabscheider	4,0
VC 25F, Vorabscheidung durch Impaktion	22,5

## 4.2 Analysenverfahren

Alle in Tabelle 5 aufgeführten Probenahmesysteme scheiden die alveolengängigen Stäube auf Membranfiltern ab. Ausgehend von diesen beaufschlagten Filtern und dem bekannten Durchsatz des Probeluftvolumens ist neben der A-Staubfraktion auch die quarzhaltige A-Staubkonzentration zu ermitteln. Hierzu stehen im Prinzip röntgenografische, infrarotspektrografische und untergeordnet phasenkontrastmikroskopische (Abschätzung des Massenanteils von quarzhaltigem A-Staub) Analysenverfahren zur Verfügung. Bei der röntgenografischen Analyse werden neben Quarz auch nachweisbare Cristobalitanteile im Staub direkt erkannt, da die Peaklage der Hauptinterferenz des Cristobalits in der Nähe einer der für die Quarzbestimmung ausgewerteten Interferenzen liegt. Die Bestimmung der A-Staubkonzentration von Cristobalit geschieht analog zu dem für Quarz beschriebenen röntgenografischen Verfahren. Die Bestimmung von Cristobalit mittels Infrarotspektroskopie (IR-Spektroskopie) ist problematischer, da die relevante Extinktionsbande von Cristobalit eine der Extinktionsbanden von Quarz überlagert. Die röntgendiffraktometrischen und infrarotspektroskopischen Analysenverfahren für Quarz und Cristobalit wurden in der DGUV Information 213-582 veröffentlicht [20]. Für die Bestimmung von Tridymit kann ein röntgenografisches Verfahren in Anlehnung an das Verfahren zur Quarzbestimmung eingesetzt werden. Da Tridymit eine polytype Substanz ist, sollte eine Kalibrierprobe aus dem betreffenden Arbeitsbereich verwendet werden.

Weltweit werden sowohl für die röntgendiffraktometrische als auch die infrarotspektroskopische Analyse unterschiedliche Kalibrierstandards verwendet (im IFA: Quarzfeinmehl SF600). In Abhängigkeit vom Probenahmesystem und der verwendeten Analytik ergeben sich die in **Tabelle 6** dargestellten Nachweisgrenzen quarzhaltigen A-Staubes für die eingesetzten Probenahmesysteme.

### 4.2.1 Röntgendiffraktometrie

Der mit der A-Staubfraktion beaufschlagte Membranfilter wird nach Überschichtung mit 1,3-Butandiol in einem Porzellantiegel bei 550 °C geglüht, anschließend mit Salzsäure behandelt und die Rückstände werden mittels Vakuumfiltration auf Silbermembranfilter übertragen. Die Detektion und Quantifizierung des Quarzanteils erfolgt über Röntgenbeugung anhand der drei charakteristischen Interferenzen bei  $d = 0,426 \text{ nm}$ ,  $d = 0,334 \text{ nm}$  und  $d = 0,182 \text{ nm}$ .

Ausgehend von einer definierten A-Staubmasse auf den Membranfiltern wird ein mit bis zu 2 mg Substanzmenge belegter Teilausschnitt des Filters zur Quarzanalyse herangezogen. Durch Verglühen der Membranfiltersubstanz in Porzellantiegeln bei maximal 650 °C und anschließender Salzsäurebehandlung des Glührückstandes im Ultraschallbad gehen die salzsäurelöslichen Komponenten wie Carbonate und Eisenoxide in Lösung. Die verbleibende Suspension wird mittels Vakuumfiltration auf Silberfilter übertragen, wobei auf diesem Filter eine dünne homogene Feinstaubschicht entsteht, die dann röntgendiffraktometrisch analysiert wird. Für die quantitative Quarzbestimmung bietet sich zunächst die stärkste Interferenz bei  $d = 0,334 \text{ nm}$  an. Diese kann jedoch z. B. bei Anwesenheit von Glimmern erheblich gestört werden. Auch die zweitstärkste Interferenz von  $d = 0,426 \text{ nm}$  und die drittstärkste Interferenz von  $d = 0,182 \text{ nm}$  werden ausgewertet. Letztere erwies sich als weitgehend störungsfrei. Bei hinreichend dünnen Schichten auf dem Silberfilter, gegeben bei  $\leq 2 \text{ mg}$  Substanzmenge, lässt sich die Masse des Quarzfeinstaubes direkt aus der Interferenzintensität auf dem Silberfilter ermitteln – und zwar ohne Berücksichtigung der Massenschwächungskoeffizienten im vorliegenden Mineralgemenge. Bei dicken Schichten ist diese Vernachlässigung nicht mehr zulässig. Eine ausführliche Beschreibung des Analysenverfahrens findet sich in der DGUV Information 213-582 [20] (grundlegende Hinweise auch in [21]). Bei schwach belegten Filtern mit

Staubmassen  $< 2$  mg bietet sich alternativ die IR-Spektroskopie wegen der dann günstigeren Nachweisgrenze an.

#### 4.2.2 IR-Spektroskopie

Der mit der A-Staubfraktion beaufschlagte Membranfilter wird mit 1,3-Butandiol getränkt und bei  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  verascht. Die Rückstände werden mit Kaliumbromid im Verhältnis 1 zu 250 gemischt und homogenisiert. Daraus wird eine Teilmenge von 250 mg entnommen und ein Pressling erstellt. Die maximal eingesetzte Staubmenge beträgt demnach 1 mg.

Die quantitative Auswertung erfolgt anhand der für Quarz typischen Absorptions-Doppelbande bei den Wellenzahlen  $779$  und  $798\text{ cm}^{-1}$ . Bei hohen Quarzanteilen lässt sich auch die schwächere Bande bei  $695\text{ cm}^{-1}$  zur Auswertung heranziehen [22].

#### 4.2.3 Phasenkontrastmikroskopie (kein aktuelles Standardverfahren)

Bei der Phasenkontrastmikroskopischen Quarzanalyse werden die Stäube auf einen Objektträger gegeben, mit einer Einbettungsflüssigkeit versetzt, die den Brechungsindizes von Quarz sehr nahekommen (z. B. Eugenol:  $n_D = 1,542$ ), mit einem Deckglas abgedeckt und untersucht. Stäube auf Membranfiltern lassen sich als Suspension in der Einbettungsflüssigkeit mit einer Lanzette leicht vom Membranfilter auf das Deckglas überführen. Der Quarz hebt sich dann im positiven Phasenkontrast (weißes Licht) durch eine spezielle optische Anfärbung von allen übrigen Partikeln ab, die unterschiedliche Brechungsindizes aufweisen und farblos erscheinen. Eine Abschätzung des Quarzgehaltes kann nach Durchmusterung von ca. 100 Gesichtsfeldern vorgenommen werden. Die Betrachtung bei gekreuzten Polarisatoren erlaubt weiterhin eine Differenzierung zwischen isotropen und doppelbrechenden Mineralkomponenten [23]. Diese Methode wird standardmäßig nicht eingesetzt, bietet sich aber an, wenn man sich kurzfristig einen Anhaltspunkt über die Größenordnung des Quarzgehaltes verschaffen will.

#### 4.2.4 Auftreten amorpher Kieselsäuren

Zur Bestimmung des Anteils amorpher Kieselsäure in Stäuben wird ein infrarotspektroskopisches Verfahren eingesetzt. Anhand des Analysenverfahrens ist es aber nicht möglich, die Art der amorphen Kieselsäure in der Probe zu identifizieren. Auch die Unterscheidung einer amorphen Kieselsäure von einem anderen amorphen Material mit hohem  $\text{SiO}_2$ -Gehalt (z. B. Fensterglas) ist nicht möglich. Entscheidend für die Bestimmung der

Konzentration amorpher Kieselsäure im Arbeitsbereich sind daher Vorkenntnisse über eingesetzte bzw. auftretende Materialien. Im Vorfeld ist zu ermitteln, ob bei einem bestimmten Arbeitsprozess amorphe Kieselsäuren verwendet werden und um welche Art amorpher Kieselsäure es sich handelt. Daneben ist zu bedenken, dass bei bestimmten Prozessen amorphe Kieselsäuren entstehen können, z. B. beim Schmelzen von Quarzsand (Quarzglas/Kieselglas) oder der Herstellung von Silicium (Kieselrauch) (siehe Abschnitt 2.2). Amorphe Kieselsäuren können auch Anteile kristalliner  $\text{SiO}_2$ -Modifikationen enthalten; von besonderer Bedeutung sind Kieselguren. Dabei handelt es sich um einen natürlichen Rohstoff, der aus abgelagerten Kieselalgenskeletten besteht. Je nach Lagerstätte können ungebrannte Kieselguren Anteile von Quarz aufweisen. Werden Kieselguren gebrannt (kalziniert), entsteht Cristobalit, dessen Anteil üblicherweise zwischen etwa 50 und 80 Masse-% liegt. In solchen Fällen sind amorphe und kristalline  $\text{SiO}_2$ -Modifikationen getrennt zu ermitteln und bewerten.

#### 4.2.5 Nachweisgrenzen und Einfluss der Staubkonzentration

Im günstigsten Fall – keine hohen Staubkonzentrationen oder keine Störungen durch Querempfindlichkeiten anderer Staubkomponenten – können mit den verschiedenen Probenahmesystemen die in Tabelle 6 aufgeführten Nachweisgrenzen erreicht werden.

Da bei der Bestimmung von Quarz die erreichbare relative Nachweisgrenze entscheidend von der Staubbelegung der beaufschlagten Filter abhängt, ist hier besonders auf den Einfluss der A-Staubkonzentration im zu beurteilenden Arbeitsbereich zu achten. Zur analytischen Bestimmung kann nur eine begrenzte Menge des Staubes vom Filter eingesetzt werden (maximal 2 mg bei Röntgendiffraktion bzw. 1 mg bei IR-Spektroskopie). Deshalb steigt die Nachweisgrenze mit zunehmender A-Staubkonzentration. Für die ortsfeste Probenahme mit dem PM4F und die personengetragene Probenahme mit dem FSP-10 ist der Einfluss der A-Staubkonzentration auf die relative Nachweisgrenze für Quarz in **Tabelle 7** dargestellt. Die Tabelle zeigt die relativen Nachweisgrenzen für die Bestimmung von quarzhaltigen A-Staub in Luftproben für verschiedene A-Staubkonzentrationen im Vergleich. Deutlich zu erkennen ist, dass die Nachweisgrenze bei einer bestimmten Staubkonzentration im Arbeitsbereich durch Verlängerung der Probenahmedauer nicht mehr zu verbessern ist. Als einfache Faustregel kann festgehalten werden: Die relative Nachweisgrenze der quarzhaltigen A-Staubkonzentration bei Luftmessungen kann nicht niedriger sein als ein Hundertstel der A-Staubkonzentration im zu beurteilenden Arbeitsbereich. Das heißt,

wenn in einem Arbeitsbereich die A-Staubkonzentration z. B. 2,5 mg/m<sup>3</sup> beträgt, kann die Nachweisgrenze der Quarzbestimmung den Wert von 0,025 mg/m<sup>3</sup> nicht unterschreiten – unabhängig davon, welches Probenahme-

gerät verwendet, welche Probenahmedauer festgelegt und welches Analysenverfahren eingesetzt wird. Dieser Zusammenhang ist auch in **Abbildung 9** dargestellt.

Tabelle 6:

Relative Nachweisgrenzen für die Bestimmung der quarzhaltigen A-Staubkonzentration in Abhängigkeit vom Probenahmesystem und der Probenahmedauer im günstigsten Fall

Probenahmedauer in h	Relative Nachweisgrenze in mg/m <sup>3</sup> bei Verwendung des Probenahmesystems		
	VC 25F oder VC 25I	PM 4F	FSP-10
0,25	0,014	0,040	0,067
0,5	0,007	0,020	0,033
1	0,004	0,010	0,017
2	0,002	0,005	0,008
4	0,0009	0,003	0,004
6	0,0006	0,002	0,003
8	0,0004	0,001	0,002

Tabelle 7:

Relative Nachweisgrenzen für Quarz-A-Staub bei ortsfester (PM4F) und personengetragener Probenahme (FSP-10) in Abhängigkeit von der A-Staubkonzentration und der Probenahmedauer

Probenahmedauer in h	Probenahme mit PM4F					Probenahme mit FSP-10				
	A-Staubkonzentration in mg/m <sup>3</sup>					A-Staubkonzentration in mg/m <sup>3</sup>				
	nur Quarz	0,3	1,5	3,0	6,0	nur Quarz	0,3	1,5	3,0	6,0
0,25	0,040	0,040	0,040	0,040	0,060	0,067	0,067	0,067	0,067	0,067
0,5	0,020	0,020	0,020	0,030		0,033	0,033	0,033	0,033	0,060
1	0,010	0,010	0,015			0,017	0,017	0,017	0,030	
2	0,005	0,005				0,0083	0,0083	0,015		
4	0,0025	0,003				0,0042	0,0042			
6	0,0017					0,0028	0,0030			
8	0,0013					0,0021				

nur Quarz: auf dem Filter befindet sich reiner Quarzstaub

Probenahme mit PM4F: hier Analysenverfahren Röntgendiffraktion (absolute Nachweisgrenze: 0,04 mg)

Probenahme mit FSP-10: hier Analysenverfahren IR-Spektroskopie (absolute Nachweisgrenze: 0,01 mg)

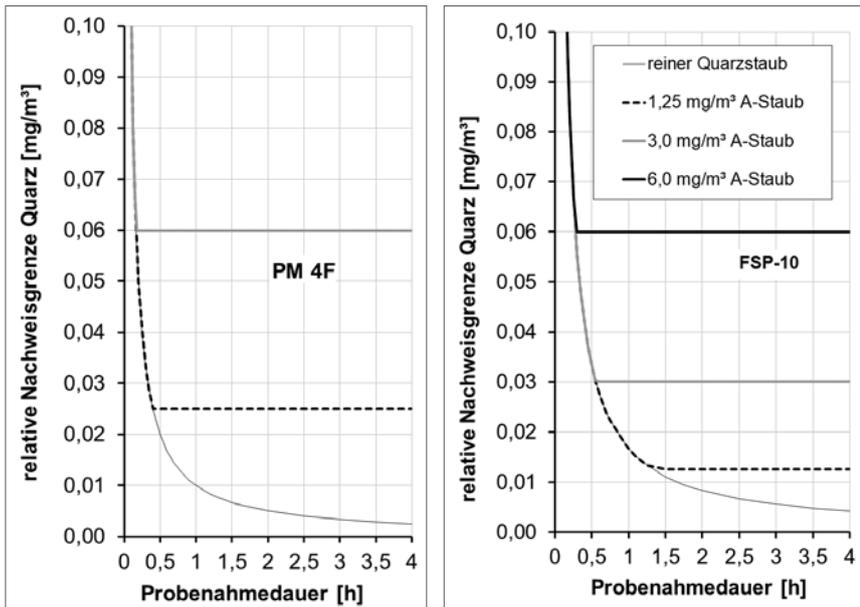


Abbildung 9:  
Relative Nachweisgrenzen für die Bestimmung der quarzhaltigen A-Staubkonzentration von Luftproben in Abhängigkeit von der A-Staubkonzentration und der Probenahmedauer am Beispiel der Probenahmesysteme PM4F und FSP-10. Quelle: IFA

### 4.3 Erläuterungen zur Messstrategie und Beurteilung der Messergebnisse

Die Messstrategie im MGU folgt der TRGS 402 – Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition. Entsprechend dieser TRGS und der Zielsetzung des MGU, valide Expositionsdaten zu ermitteln und zu dokumentieren, werden der Arbeitsbereich, die Expositionsbedingungen und die Messstrategie detailliert beschrieben.

#### Probenahmeart

Messungen an der Person erfolgen mit personengetragenen Probenahmesystemen. Die so ermittelten Messergebnisse können bevorzugt für eine individuelle Expositionsabschätzung herangezogen werden.

Messungen mit stationär aufgestellten Probenahmesystemen werden im MGU ebenfalls eingesetzt. Zum einen erfolgen die stationären Messungen in Atemhöhe und in unmittelbarer Nähe der beschäftigten Person, zum anderen aber auch am Ort höheren Risikos direkt an der Emissionsquelle. Die Messstrategien, z. B. der Abstand des Probenahmesystems zur Emissionsquelle oder zum Exponierten, können sich bei stationären Messungen je nach Branche und bemessenem Arbeitsbereich stark unterscheiden. Daher können diese stationären Messungen ohne weitere Zusatzinformationen über den Abstand des Probenahmesystems zur Emissionsquelle oder zur exponierten Person nicht zur individuellen Expositionsabschätzung herangezogen werden.

#### Probenahmedauer

Zur Feststellung des Schichtmittelwertes besonders geeignet ist die messtechnische Mittelung über die gesamte Expositionsdauer während einer Schicht. Ist die Probenahmedauer kürzer als die Schichtlänge, so orientiert sich die Mindestanzahl der erforderlichen Messungen, die über die Schichtlänge verteilt sind, an Tabelle 2 aus Anlage 3 der TRGS 402. Bei einer Probenahmedauer von  $\geq 2$  h ist eine Probenzahl von  $\geq 1$  zu wählen.

Messwerte mit Probenahmedauern von  $\geq 2$  h, die überwiegend im MGU praktiziert werden, können als vergleichbar mit der Exposition während einer ganzen Schicht angesehen und mit dem AGW verglichen werden.

Messwerte mit Probenahmedauern von  $< 2$  h können zum einen zur Bestimmung der Exposition während der bemessenen Tätigkeit ermittelt worden sein. Zum anderen können – speziell bei Staubmessungen – aber auch hohe Staubkonzentrationen dazu geführt haben, dass die Probenahmepumpe vorzeitig abschaltet und die Messung beendet wurde. Sowohl die Beschränkung auf eine Probenahme nur während der Tätigkeit als auch das Abschalten der Pumpe aufgrund sehr hoher Staubkonzentrationen können dazu beitragen, dass die Messergebnisse bei Messungen mit kürzeren Probenahmedauern im Allgemeinen höher sind als bei Messungen mit Probenahmedauern von  $\geq 2$  h.

### **Erfassungseinrichtung**

Erfassungseinrichtungen wie Absaugungen sollen die Konzentration von Gefahrstoffen in Arbeitsbereichen absenken. Bei Messergebnissen mit Erfassung (Erf = ja) wird der durch das Arbeitsverfahren oder die Tätigkeit freiwerdende Staub mit einer Absaugung in der Nähe der Emissionsquelle erfasst und abgeführt. Über den Effektivitätsgrad der Erfassungseinrichtungen an den bemessenen Arbeitsplätzen liegen im MGU keine Angaben vor. Bei Messergebnissen ohne Erfassung (Erf = nein) hat keine Erfassung des durch das Arbeitsverfahren freiwerdenden Staubes stattgefunden.

Wird aufgrund der Tätigkeit oder des Arbeitsverfahrens kein oder nur sehr wenig Staub erwartet, ist häufig keine Erfassungseinrichtung für Staub an diesen Arbeitsplätzen notwendig. Stark staubende Arbeitsbereiche hingegen sind – soweit möglich – mit Erfassungseinrichtungen für den Staub ausgestattet. Weil diese meist nur an stark staubenden Arbeitsplätzen eingerichtet werden, dort aber auch nicht die ganze Staubexposition verhindern können, können Messwerte mit dokumentierter Erfassungseinrichtung höher sein als Messwerte ohne Erfassungseinrichtung an praktisch staubfreien oder staubarmen Arbeitsplätzen.

# 5 Vorkommen

## 5.1 Natürliches Vorkommen

### 5.1.1 Quarz

Quarz ist nach den Feldspäten das häufigste Mineral der Erdkruste. Er kommt in verschiedenen Bildungsbereichen vor (Tabelle 8).

In sauren Magmatiten, sowohl in Intrusivals auch in Effusivgesteinen (z. B. Granit, Rhyolith), ist Quarz ein Hauptbestandteil. Granite enthalten zwischen etwa 10 und 50 Masse-% Quarz. Je basischer die Gesteine sind, umso geringer ist der Quarzgehalt. Basalte bzw. Gabbros weisen in der Regel keine oder nur sehr geringe Quarzgehalte auf. In pegmatitischen Gesteinen stellt Quarz, häufig in besonders großen Kristallen ausgebildet, einen Hauptbestandteil dar.

In hydrothermalen Bildungen tritt Quarz als Durchläufer zumeist in Paragenese mit zahlreichen Erzmineralen auf. Bei günstigen Bildungsbedingungen entstehen die sehr reinen Bergkristalle.

Die infolge von Erosionsprozessen entstehenden Sedimentgesteine haben teilweise sehr hohe Quarzgehalte. Aufgrund der besonderen Verwitterungsresistenz des Quarzes können fast reine Sandsteine entstehen. Je nach Anteil zusätzlicher Bestandteile (Feldspäte, Schichtsilikate, Carbonate etc.) sind fließende Übergänge zu Grauwacken, Arkosen und Kalksandsteinen ausgebildet. In Tonsteinen (Siltsteinen) ist Quarz in der Regel mit Masseanteilen von ca. 20 bis 40 % enthalten [24].

Tabelle 8:  
Typische Quarzgehalte verschiedener Gesteine [25]

Gestein	Quarzgehalt in Masse-%
<b>Magmatische Gesteine</b>	
<b>Plutonite (Tiefengesteine)</b>	
Silexite, Peracidite	> 50
Granit, Granodiorit, Tonalit, Quarzdiorit	10 bis 50
Quarzsyenit, Granosyenit, Quarzmonzonit, Quarzdiorit	< 10
Syenit, Monzonit, Diorit, Gabbro, Anorthosit, Peridotit, Essexit, Theralit, Basanit, Phonolith, Tephrit, Pyroxenit, Hornblendit, Dunit, Foidolit, Nephelinit, Fojait, Leucitit, Melilith	üblicherweise quarzfrei
<b>Vulkanite (Eruptivgesteine)</b>	
Rhyolith, Rhyodazit, Dazit, Quarzkeratophyr, Quarzporphyr, Quarzporphyrit	10 bis 50
Quarztrachyt, Quarzlatit, Quarzandesit, Keratophyr, Porphyry, Porphyrit	< 10
Trachyt, Latit, Andesit, Basalt, Foidit, Porphyrit, Melaphyr, Diabas, Pikrit	üblicherweise quarzfrei
<b>Metamorphe Gesteine</b>	
Quarzit, Glimmerquarzit, Quarzitischer Gneis, Quarzphyllit, Quarzglimmerschiefer	> 50
Gneis, Phyllit, Glimmerschiefer, Chloritschiefer	< 50
Talkschiefer, Amphibolit, Eklogit, Marmor, Dolomitmarmor	quarzfrei bis < 10
<b>Sedimentgesteine</b>	
Sandstein, Quarzsandstein, Feldspatsandstein, Phyllosandstein, Kalksandstein*, Kiesel-schiefer	> 50
Quarzgrauwacke, (quarzarme) Grauwacke, Arkose, Quarzarkose, Feldspatarkose, Kieselkalk, Kiesel-schiefer	10 bis 70
Tone, Tonschiefer, Schiefer, Schieferton	< 50
Kalke, Kalkstein, Kalkschiefer, Kreide, Mergel, Gips, Dolomit	quarzfrei bis < 10

\*natürlich entstandener Kalksandstein (zu technisch hergestelltem Kalksandstein siehe Abschnitt 9.6)

Auch in Kalksteinen können Quarzanteile vorkommen. Weiterhin kann Quarz auch Bestandteil von biogenen Sedimentgesteinen sein. Aus abgelagerten Opalskeletten von Diatomeen, Radiolarien oder Kieselalgen entstehen lockere, fein poröse oder auch massige Gesteine (Kieselgur, Tripel, Kieselschiefer, Radiolarite), in denen bei nachträglichen Umkristallisationen neben Cristobalit auch kryptokristalliner Quarz entstehen kann.

Metamorphe Gesteine bilden sich durch nachträgliche Umwandlungsprozesse sowohl aus magmatischen als auch aus sedimentären Gesteinen. Die Quarzgehalte in Metamorphiten hängen deshalb von den Ausgangsgesteinen der Metamorphose ab. Durch Metamorphose entstehen beispielsweise Quarzite aus reinen Sandsteinen und Gneise aus Graniten.

Ein Überblick über die Quarzgehalte verschiedener Gesteinstypen findet sich in [25]. Eine Verwitterung von Gesteinen führt zur Bodenbildung. Hierbei wird ein Teil der gesteinsbildenden Minerale umgewandelt. Der relativ resistente Quarz bleibt jedoch in den Verwitterungsschichten weitgehend erhalten. Durch Windabtragung und anschließende Ablagerung dieses Materials entstehen z. B. die intensiv landwirtschaftlich genutzten Lössböden. In Böden können, abhängig vom verwitterten Gesteinstyp und den jeweiligen Prozessen der Bodenbildung, unterschiedliche Quarzanteile enthalten sein [26].

Opale bestehen aus amorpher Kieselsäure. Chalcedon in seinen verschiedenen Varietäten (z. B. Achat, Onyx; siehe Abbildung 7) besteht aus einer Mischung kryptokristallinen Quarzes und amorpher Kieselsäure.

In den USA besteht neben den Grenzwerten für Quarz, Cristobalit und Tridymit ein weiterer Grenzwert für die Quarzfeinstaubkonzentration in Tripoli. In Deutschland wird es als Tripel, früher auch als „terra tripolitana“ bezeichnet [27]. In der TLV-Liste (TLV: Threshold Limit Values) wird Tripoli ebenfalls unter der Kategorie der kristallinen Form des  $\text{SiO}_2$  geführt. Aus mineralogischer Sicht wird der Begriff Tripel allerdings als Synonym für Kieselerde benutzt, die aus sedimentierten Skeletten von Radiolarien und Diatomeen besteht und damit eine Varietät des Opals ( $\text{SiO}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ , amorph) ist [26]. Der zur Oberflächenbehandlung als Schleifmittel verwendete amerikanische Tripel wird in [27] als amorphe Kieselsäure ohne kristallines  $\text{SiO}_2$  beschrieben, wobei neben  $\text{SiO}_2$  ca. 8 % andere Komponenten im Produkt enthalten sind (Eisen, Aluminium, untergeordnet auch Magnesium, Mangan, Titan etc.).

### 5.1.2 Cristobalit

Cristobalit kommt in den Hohlräumen saurer bis intermediärer Effusivgesteine wie Trachyten und Andesiten vor. Vereinzelt tritt Cristobalit auch in der Grundmasse von Trachyten auf [2]. Weiterhin ist Cristobalit in vielen Achaten und in Einzelfällen in Bentonit (Vorkommen in Wyoming, USA) enthalten. Auch in biogenen Sedimenten aus Kieselorganismen kann durch nachträgliche Kristallisation Cristobalit entstehen.

### 5.1.3 Tridymit

Natürlicher Tridymit enthält meist geringe Anteile an Alkalien. Er kommt vereinzelt und zumeist auch nur in geringen Mengenanteilen in den Hohlräumen saurer bis intermediärer Effusivgesteine (Trachyt, Andesit) vor.

## 5.2 Synthetisch hergestellte kristalline $\text{SiO}_2$ -Modifikationen

### 5.2.1 Quarz

Die synthetische Herstellung von Tiefquarz geschieht durch Hydrothermalsynthese. Die Kristallisation des Quarzes vollzieht sich im Autoklaven. Aus einer  $\text{SiO}_2$ -gesättigten wässrigen Lösung kristallisiert der Quarz im Temperaturgradienten auf Impfkristallplatten (ausführliche Beschreibung in [28]). Die Weltjahresproduktion betrug 1982 ca. 300 000 t.

### 5.2.2 Cristobalit

Ausgangsprodukt der synthetischen Herstellung von Cristobalit sind Quarzsande. Diese werden in einem Drehofen unter Katalysatorzusatz (Alkaliverbindungen) bei ca. 1500 °C behandelt. Die gewonnenen Cristobalitsande weisen Cristobalitgehalte von 85 bis 90 Masse-% auf (röntgenografisch bestimmt), daneben enthalten sie  $\text{SiO}_2$ -Glasphase [4]. Cristobalit kann auch in Silikasteinen von Martinöfen enthalten sein und als Entglasungsprodukt von Quarzgläsern auftreten. Gebrannte Kieselguren können hohe Cristobalitanteile aufweisen.

### 5.2.3 Tridymit

Cristobalit kann durch rekonstruktive Umwandlung in Tridymit überführt werden. Dieser Vorgang läuft nur bei sehr hohen Temperaturen ab und erfordert eine hohe Aktivierungsenergie [4]. Die synthetische Tridymitherstellung ist für die Industrie ohne Bedeutung. Tridymit kann außerdem in Silikasteinen von Martinöfen, in Koksofensteinen und als Entglasungsprodukt von Quarzgläsern vorkommen.

## 6 Verwendung und Auftreten

### 6.1 Quarz

#### 6.1.1 Gewinnung von quarzhaltigen Kiesen und Sanden

Die in der Natur in Form von Verwitterungsprodukten kristalliner Gesteine auftretenden Quarzkiese und Quarzsande sind wichtige Rohstoffe für die gewerbliche Wirtschaft. Sie werden in den sedimentären Lagerstätten gewonnen und durch Wasch-, Sieb-, Brech-, Mahl-, Sortier- und Klassierprozesse sowie ggf. durch Trocknungsanlagen aufgearbeitet.

Kiese werden als Verkaufsprodukte meist mit einer Körnung von 2 bis 48 mm angeboten.

Sande finden im feuchten oder trockenen Zustand mit definierten Reinheits- und Feinheitsgraden mit diversen Körnungen Verwendung. Sie werden als Roh-, Form-, Hilfs- und Abrasivstoffe eingesetzt. Durch eine chemische Modifikation ihrer Oberfläche können verbesserte Vernetzungen und Verbindungen mit anderen Stoffen erreicht werden.

Quarzmehle werden aus sehr reinem Quarzsand durch eisenfreies Vermahlen und Trennprozesse gewonnen. Dabei kann man Fraktionen mit Korndurchmessern von wenigen  $\mu\text{m}$  erhalten.

#### 6.1.2 Gießereiindustrie (Gießereisande)

Aufgrund seiner physikalischen und chemischen Eigenschaften sowie seiner Feuerbeständigkeit eignet sich Quarz als Formgrundstoff für die Gießereiindustrie [29]. Der Sinterbeginn von Quarzsanden, die zu mehr als 99 % aus  $\text{SiO}_2$  bestehen, liegt bei über 1 500 °C [4]. Der Kornanteil  $< 20 \mu\text{m}$  Durchmesser sollte möglichst gering sein. Bevorzugt werden Sande mit kantengerundeten (Naturkorn) monomineralischen Körnern.

#### 6.1.3 Chemische Industrie

Quarzsand ist der Rohstoff für die Herstellung einer Reihe von Chemikalien, die wiederum Ausgangsbasis für die Synthese einer Vielzahl von Verbindungen sind.

Wasserglas (Natrium- und Kaliumsilikate) wird durch Erhitzen von Gemischen aus Quarzsand (Körnung: 0,1 bis 0,5 mm) und Alkalicarbonaten bei 1 600 °C erhalten. Ein großer Teil der Alkalisilikate wird zur Wasch- und Reinigungsmittelherstellung verwendet. Weiterhin werden daraus z. B. Füllstoffe, Katalysatoren, Kieselsole und -gele oder Wasserglasfarben hergestellt.

Siliciumcarbid entsteht im elektrischen Widerstandsofen bei der Umsetzung von Quarzsand und Petrolkoks. Es ist ein wichtiges Schleifmittel sowie ein Werkstoff für Feuerfestwaren oder elektrisch leitfähige Heizelemente und dient z. B. auch zur Erhöhung der Verschleiß- oder Rutschfestigkeit von Bodenbelägen.

Siliciumtetrachlorid wird aus Quarzsand, Siliciumcarbid und Koks durch Behandlung mit Chlor im Fließbettreaktor hergestellt. Aus Siliciumtetrachlorid kann man durch thermische Spaltung Reinstsilicium erhalten. Durch Verbrennung wird hoch disperse Kieselsäure produziert.

Organosilane, organische Siliciumverbindungen werden ausgehend von reinem Silicium, Siliciumtetrachlorid oder anderen Halogensilanen synthetisiert. Diorganodichlorsilane sind die Ausgangsstoffe für die technisch sehr wichtigen Silikone.

Silicium als Element wird zunächst als Rohsilicium karbothermisch durch die Reduktion von Quarzsand mit Koks (oder Aluminium) gewonnen und zu hoch reinem Silicium für Solarzellen oder Computerchips aufgearbeitet. Der Weg über das Silicium wird auch zur Synthese sehr reiner Siliciumhalogenide eingeschlagen [4].

Quarzmehl und -sand eignen sich sehr gut als Füllstoff für Gießharze, Press- und Gießmassen. Der Vorteil von Quarz als Füller in Gießharz liegt darin, dass er die Eigenschaften des Gießharzes, z. B. die Topfzeiten, nicht beeinträchtigt.

Ein weiteres Feld ist der Einsatz von Quarzsand oder -mehl in Beschichtungsstoffen wie Lacken, Farben oder Spachtelmassen, in Klebstoffen sowie in Reinigungs- und Pflegemitteln. Große Mengen finden auch in technischen Gummiwaren, Reifen und Kunststoffen Verwendung.

In vielen Fällen wird für die beschriebenen Verwendungen auch amorphes Siliciumdioxid, das aus Quarzsand hergestellt wird, als Füllstoff verwendet.

Mit Pigmentosol-Farbstoffen oder Oxidfarben eingefärbte Quarzkörner (sogenannte Colorfraktionen) können z. B. als Zuschlagstoffe in Dekorputzen oder Gießharzen für eine dekorative Oberflächengestaltung eingesetzt werden.

#### 6.1.4 Keramische Industrie

Als Grundkomponente sowohl für die Fein- als auch Grobkeramik dienen tonige Rohstoffe, aber auch verschiedene silikatische- und nichtsilikatische Mineralien. Ton bzw. Kaolin ist ein feinkörniges Sediment, das durch Verwitterung von feldspathaltigen Gesteinen entstanden ist. Als natürliche Verunreinigung findet man im Ton immer

freien Quarz. In der Mineralanalyse liegt der Quarzgehalt zwischen 5 % bei hoch bildsamen Tonen und 70 % bei Klebsanden. Quarzsand und Quarzmehl wird aber auch als Zuschlagstoff oder Magerungsmittel in keramischen Massen verwendet.

In Glasuren, mit denen die meisten keramischen Produkte im letzten Schritt veredelt werden, dient Quarz als Netzwerkbildner und bei hohen Temperaturen wirkt er als aggressives Flussmittel. In Abhängigkeit von der Korngröße und begleitenden Verunreinigungen kann sich aus der Quarzschmelze Cristobalit bilden.

Typische keramische Produkte der Grobkeramik sind Ziegel, Kalksandsteine und baukeramische Erzeugnisse wie Großsteinzeug (Steinzeugrohre). In feuerfesten keramischen Erzeugnissen ist in der Schamotte, die als Rohstoff eingesetzt wird, und in Silikasteinen auch Cristobalit enthalten. Als wichtigste Vertreter der Feinkeramik sind Fliesen, Töpferwaren, Sanitärkeramik, Porzellan und technische Keramik zu nennen.

### 6.1.5 Glasindustrie (Glasschmelzsande)

Quarzsand macht mit 50 bis 80 % den Hauptanteil der Ausgangssubstanzen für industriell hergestellte Gläser aus. Darunter fallen Artikel aus Flachglas (Fenster- und Autoscheiben), Hohlglas (Flaschen, Trinkgläser, Glühlampen, Bildschirme) und andere Produkte wie Laborgeräteglas oder Glasfasern.

Sehr reiner Quarz wie Bergkristall oder Gangquarz ist geeignet für die Herstellung von Quarzglas oder optischen Gläsern. Weitere Rohstoffe für die Glasherstellung sind Soda, Kalkstein, Marmor oder Kalkmergel bzw. spezielle Oxide, z. B. Bleioxide für die Herstellung von Bleikristallglas. Die Korngröße der Rohstoffe liegt im Größenbereich von 0,05 bis 0,5 mm.

Eine Möglichkeit der Exposition gegenüber Quarz besteht beim Mischen der Rohstoffe, beim Einwiegen des Gemenges in die Schmelzwanne und beim eigentlichen Schmelzprozess. Nach dem Erschmelzen liegt  $\text{SiO}_2$  in amorpher Form (Glas) vor.

### 6.1.6 Filtersand und -kies

Filter aus Quarzsand werden zur Filterung von Gebrauchswässern und getrübbten Lösungen verwendet. Je nach Einsatzgebiet werden Quarzfilter mit unterschiedlichen Korngrößen, spezifischen Porenweiten und in verschiedenen Filterbetthöhen angeboten. Ein wichtiges Anwendungsgebiet sind z. B. die Filterstufen in Anlagen zur Enteisung, -manganung und -karbonatisierung.

### 6.1.7 Elektrotechnik

Quarz und quarzhaltige Stoffe werden in unterschiedlichen Produktionsprozessen der elektrotechnischen Fertigung eingesetzt, z. B. als Zuschlagstoff bei der Produktion von Kabeln oder Isolatoren sowie elektrischer und elektronischer Bauteile. Bei der Montage solcher Bauteile findet in der Regel eine mechanische Nachbearbeitung statt, bei der Quarzstäube freigesetzt werden können.

### 6.1.8 Elektroinstallation

Quarzhaltige Stäube entstehen im Elektroinstallationshandwerk aus den bearbeiteten Baumaterialien beim Schlitzeln von Stegen für Elektroleitungen, beim Setzen von Löchern für Schalter und Verteilerdosen, beim Bohren von Dübellöchern sowie bei Stemmarbeiten. In Abhängigkeit von den bearbeiteten Gesteinsarten wurden unterschiedlich hohe Quarzanteile ermittelt.

### 6.1.9 Feinmechanik – Zahntechnik

In zahntechnischen Labors werden Einbettmassen verarbeitet, die einen Quarz- und Cristobalitanteil von bis zu 50 % enthalten. Quarz- und Cristobalitstäube können somit beim Ein- und Ausbetten bzw. bei Umfüll- und Portioniervorgängen sowie beim Strahlen der Modelle auftreten.

### 6.1.10 Baustoffindustrie, Bauwirtschaft

Natürliche mineralische Rohstoffe werden sowohl als Locker- als auch als Festgesteine in großem Umfang technisch genutzt.

Sande und Kiese werden unter anderem im Straßen- und Wegebau sowie als Zuschlagstoffe zur Herstellung von Beton verwendet. Sande sind ferner ein wichtiger Bestandteil zur Herstellung von Mörtelmassen und künstlich hergestellten mineralischen Baustoffen wie Bausteine, Platten, Formelemente oder Feuerfestmaterialien. Zudem werden sie als Rohstoffe für die Gewinnung möglichst reiner Quarzfraktionen bis hin zu Quarzmehlen genutzt.

Festgesteine werden überwiegend in der Baustoffindustrie [30] zu Schotter, Splitten, Edelsplitten, Brechsanden und Gesteinsmehlen verarbeitet. Die Materialien werden im Straßen- und Wegebau, aber auch als Zuschlagstoffe in der Betonindustrie und zur Herstellung bituminösen Mischguts (z. B. Asphalt Herstellung) verwendet.

Aus Naturwerksteinen werden unter anderem Fassadenbekleidungen, Werksteine, Treppen, Platten, Pflaster, Rand- und auch Grabsteine hergestellt. Die Quarzgehalte der wichtigsten Gesteinstypen sind in *Heidermanns* [25] zusammengestellt (siehe Tabelle 8).

Für Spezialbetone, -mörtel, -estriche und Putze werden Quarzsande verwendet. Bei der Kalksandsteinherstellung kommen Mischungen aus Sand und Kalk zum Einsatz. Zur Herstellung von Leichtkalksandstein bzw. Porenbeton wird mehlfine gemahlener Sand verwendet. Bei Tiefbohrungen der Erdöl- und Erdgasindustrie werden quarzhaltige Zementschlämme eingesetzt.

Neben der Nutzung mineralischer Rohstoffe in Produkten spielt auch der Ausbau und die Bewegung von Gesteinen und Erdmaterial eine große Rolle. Sowohl im Tunnelbau als auch im Erdbau werden große Mengen mineralischen Materials ausgebaut, bewegt und an anderer Stelle wieder eingebaut. Weiterhin werden beim Rückbau/Umbau baulicher Anlagen, die mit mineralischen Bauprodukten errichtet wurden, Quarzstäube freigesetzt.

### 6.1.11 Schmucksteinverarbeitung

In der Schmucksteinindustrie werden eine Reihe von Varietäten des Quarzes und kryptokristallinen Quarzes als Schmuck- und Halbedelsteine verwendet. Hierzu zählen z. B. Amethyst, Rauchquarz, Citrin, Rosenquarz, Chrysopas, Achat und Onyx [2]. Der Kristallisationsgrad der Schmucksteine kann unterschiedlich ausgeprägt sein. Somit muss beim Schleifen neben dem Auftreten von kristallinen Fraktionen auch mit amorphen Siliciumverbindungen (amorphe Kieselsäure) gerechnet werden.

### 6.1.12 Schleif-, Polier- und Abrasivmittel

Quarz eignet sich aufgrund der großen Härte und Scharfkantigkeit (mechanisch zerkleinerter Quarz) vorzugsweise zum groben Schleifen, findet hier jedoch kaum Anwendung [27]. Als Schleifmittel dominieren heute andere Substanzen wie Siliciumcarbid oder Korund. Quarzmehle werden z. B. in Trommeln oder zum Nassbimsen benutzt [27] oder in flüssigen und pastösen Scheuer- und Reinigungsmitteln verwendet. Quarz wird bei der Herstellung von Siliciumcarbid eingesetzt.

### 6.1.13 Strahlmittel

Bis zum Zweiten Weltkrieg wurden als Strahlmittel fast ausschließlich Quarzsande benutzt [31]. Aufgrund des hohen Silikoserisikos der Strahlarbeiter wurden dann zunehmend Ersatzstoffe für die silikogenen Strahlmittel eingesetzt [32]. Heute ist die Verwendung silikogener

Strahlmittel bis auf wenige Ausnahmen untersagt. Entsprechend Abschnitt 4.2.1(3) der TRGS 559 „Quarzhaltiger Staub“ sind diese als silikogenfreie Strahlmittel definiert, die nicht mehr als 2 % (Masseanteile) Quarz – einschließlich Cristobalit und Tridymit – enthalten.

### 6.1.14 Weitere Anwendungen

Quarzsande finden weiterhin Verwendung als Inertmaterial für zirkulierende Wirbelschichtanlagen (Müllverbrennung), Vogelsand, Dachpappenabstreuung, in Handwaschpasten, beim Golfplatzbau, als Spielsand für Sandkästen und beim Beach-Volleyball, für Schleifpapier, Trinkwasserfilter und als Bremsand für Schienenfahrzeuge.

### 6.1.15 Weiteres Auftreten und unbeabsichtigte Verwendung

#### Landwirtschaft und Gartenbau

In Böden, die landwirtschaftlich genutzt werden, können unterschiedlich hohe Quarzanteile enthalten sein. Ein Teil davon kann auch in der alveolengängigen Fraktion auftreten. Untersuchungen an Böden haben gezeigt, dass in deren einatembaren Fraktion (rund 0,01 bis 0,2 Masse-% des Bodens) Quarzanteile von 1,6 bis 3,4 % in lehmigen Böden bzw. von 10,5 bis 44,5 % in sandigen Böden enthalten sind [33].

Neben der landwirtschaftlichen Bodenbearbeitung und anderen Erdarbeiten kann es auch bei der Sortierung von Kartoffeln, Zwiebeln und anderen Agrarprodukten, an denen Erde anhaftet, zu einer Exposition gegenüber Quarz kommen.

#### Straßen- und Baustellenverkehr

Der sich auf Straßen bzw. versiegelten Flächen in Städten sammelnde Staub kann je nach Herkunft Quarzanteile aufweisen. Dieser Staub wird durch den Verkehr aufgewirbelt, aber auch bei der Straßenreinigung, z. B. beim Betrieb von Straßenkehrsaugfahrzeugen. Besonders auf unbefestigten Straßen, wie sie zum Teil auf Baustellen angetroffen werden, können durch den Fahrzeugverkehr auf trockenen Oberflächen hohe Staubaufwirbelungen verursacht werden.

#### Kraftwerke und Müllverbrennungsanlagen

In Rost-/Kesselaschen aus Kraftwerken und ggf. aus Müllverbrennungsanlagen und in deren Flugaschen (Filterstäube) können Anteile von Quarz enthalten sein. In Schlacken wurden vereinzelt Cristobalitanteile festgestellt. Diese mineralischen Abfälle werden z. B. im Straßenbau und in Bergwerken (Versatz) verwertet.

### **Einsatz von Baustoffen und mineralischen Rohstoffen**

In technisch eingesetzten natürlichen mineralischen Rohstoffen kann Quarz in unterschiedlichen Anteilen enthalten sein. Dies betrifft z. B. Füllstoffe im Allgemeinen, Talkumpuder, Kalkmehle, Tonmehle, Bentonit und Kaoline. So wurde z. B. in verschiedenen Kaolinen Quarzanteile zwischen < 1 und 25 % festgestellt.

## **6.2 Cristobalit**

Cristobalit wird durch thermische Behandlung aus Quarz gewonnen und als Füllstoff in Straßenmarkierungsfarben bzw. -massen und Fassadenfarben, in Beschichtungen und Kunststoffputzen sowie in Silikonkautschuk, Modellabdruckmassen, Kunstharzlacken, Klebstoffen und Gießharzen eingesetzt. Spezielle Anwendungen für Cristobalit sind weiterhin dessen Verwendung in Abrasivstoffen (Scheuer- und Reinigungsmittel auf flüssiger oder pastöser Grundlage), zur Herstellung von Vogelsand, als Zusatz zu hellen Baustoffen, um helle klare Farbtöne zu erhalten, und der Einsatz von Mischungen aus Cristobalit und Quarz bzw. Quarzglas in Einbettmassen (Dental-, Schmuck- und anderer Präzisionsguss).

Wird Kieselgur (Diatomeenerde) kalziniert, so wandelt sich beim Brennen ein mehr oder weniger großer Anteil der amorphen Kieselsäure in die kristalline Form um, vor allem in Cristobalit. Auch in Bentonit kann herstellungsbedingt Cristobalit enthalten sein.

Kieselguren werden als Filterhilfsmittel vor allem in der Getränkeindustrie eingesetzt. Im Jahr 2014 wurden beispielsweise ca. 70 000 t Kieselgur in Deutschland verbraucht.

### **6.2.1 Cristobalit aus Fasern**

In der Ofenindustrie werden Aluminiumsilikat- und Hochtemperaturglasfasern zur Isolierung eingesetzt. Beide Faserarten bilden bei der thermischen Behandlung oberhalb von 900 °C durch Rekristallisation beim Abkühlen Cristobalit. Bei Aluminiumsilikatfasern entsteht ca. 10 %, bei Hochtemperaturglasfasern bis zu 40 % Cristobalit. Eine Exposition entsteht beim Entfernen der Isolierung [34]. Da Hochtemperaturwollen nicht nur im Ofenbau, sondern z. B. auch an Ofenwagen der keramischen Industrie eingesetzt werden, sind Expositionen auch beim Betrieb und Reparaturen an diesen Einrichtungen festzustellen.

### **6.2.2 Weiteres Auftreten und unbeabsichtigte Verwendung**

Die Bildung von Cristobalit aus Quarz oder anderen Si-haltigen Stoffen bei thermischen Prozessen führt auch in anderen Bereichen zu Cristobalit-Expositionen.

Beispielhaft ist das Auftreten von Cristobalit in Gießereien zu nennen: Die mehrfache Verwendung von Sanden führt zum Auftreten von Cristobalit bei Putzereiarbeiten. Auch der Einsatz von Kieselguren als Hilfsstoff kann Cristobalit freisetzen. Das Ausbrechen von Gießpfannen führt zur Freisetzung von Cristobalit aus Schamotte.

Bei der Herstellung von keramischen Erzeugnissen wie z. B. Schleifscheiben wird gelegentlich Quarzsand zum Bestreuen von Ofenwagen eingesetzt, um ein Anbacken der Werkstücke zu verhindern. Durch den wiederholten Einsatz dieser Sande wird Cristobalit gebildet. Darüber hinaus tritt Cristobalit auch als Bestandteil von Schamotte auf. Diese wird zum Beispiel in keramischen Massen zur Herstellung feuerfester keramischer Produkte eingesetzt.

## **6.3 Tridymit**

Tridymit hat auf dem Markt keine Bedeutung. Diese kristalline SiO<sub>2</sub>-Modifikation kann jedoch in Feuerfestbaustoffen (z. B. Silikasteine von Martinöfen, Koksofensteine) enthalten sein bzw. entstehen und als Entglasungsprodukt von Quarzgläsern auftreten.

## 7 Datenlage und Auswertestrategie

Für Quarz (Siliziumdioxid kristallin) in der alveolengängigen Staubfraktion liegt in Deutschland ein BM von 0,05 mg/m<sup>3</sup> nach TRGS 559 vor.

### 7.1 Selektionskriterien für die statistischen Auswertungen

- Gefahrstoff: Quarz (Siliziumdioxid kristallin)
- BM: 0,05 mg/m<sup>3</sup>
- Datenzeitraum: Januar 2005 bis Dezember 2016
- Luftproben mit Expositionsbezug
- Arbeitsplatzmessungen

- Probenahmesysteme für die alveolengängige Staubfraktion (MGU-Standardverfahren)
- Probenahme repräsentativ für die Expositionsdauer
- übliche betriebliche Situationen (Normalzustand, Aufbau-, Abbau-, Anfahrvorgänge, Vorbereitungen, Rüstarbeiten) und ungünstige, aber realistische Bedingungen

### 7.2 Datenlage

Im Datenzeitraum von Januar 2005 bis Dezember 2016 ergab sich nach den in Abschnitt 7.1 dargestellten Selektionskriterien die in **Tabelle 9** zusammengefasste Datenlage für Quarzmessungen.

Tabelle 9:  
Datenlage zu den für den Report ausgewerteten Quarzmessungen

Allgemeine Beschreibung	Anzahl Messwerte und (%)
Insgesamt	15 104
<b>Probenahmeart</b>	
an der Person	6 832 (45,2 %)
stationär	
alte Codierung	6 397 (42,3 %)
Personenbezogen zur Expositionsbeurteilung	1 001 (6,6 %)
Grundlast zur Expositionsbeurteilung	853 (5,6 %)
<b>Grenzwertbezug</b>	
Anzahl Daten > BM	3 387 (22,4 %)
Anzahl Daten BM nicht beurteilbar	183 (1,2 %)
<b>Probenahmedauer</b>	
≥ 2 h	12 492 (82,7 %)
< 2 h	2 612 (17,3 %)
<b>Erfassungseinrichtung</b>	
ohne Erfassung	4 799 (31,8 %)
mit Erfassung	7 311 (48,4 %)
keine Angaben	2 994 (19,8 %)

### 7.3 Auswertestrategie

- Differenzierung nach Probenahmeart:
  - an der Person
  - stationär
- Differenzierung nach Probenahmedauer:
  - $\geq 2$  h
  - $< 2$  h
- Falls Kollektive mit mehr als 40 personengetragenen Messungen Grenzwertüberschreitungen im 95. Perzentil aufweisen, gegebenenfalls Differenzierung der Messungen nach:
  - Erf = ja
  - Erf = nein
- Die statistischen Auswertungen erfolgen für:
  - Arbeitsbereichsgruppen in verschiedenen Branchengruppen
  - branchenübergreifende Arbeitsbereichsgruppen
- Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen analytischen Nachweisgrenze (NWG), dann geht der Wert der halben NWG in die Statistik ein.

- Kollektive mit weniger als fünf Messdaten werden nicht ausgewertet und nicht dargestellt.
- Für Kollektive mit fünf bis neun Messwerten werden im Fall von Messwerten mit Grenzwertüberschreitungen der minimale und der maximale =-Wert (Messwerte oberhalb der jeweiligen NWG) dargestellt.
- Kollektive aus der Arbeitsbereichsgruppe der sonstigen, nicht einer anderen Gruppe zuordenbaren Arbeitsbereiche (Sonstige Arbeitsbereiche) werden nicht dargestellt.

### 7.4 Ergebnistabellen, Abkürzungen und Fußnoten

Allgemeiner Hinweis: In Kollektiven mit wenigen Messwerten (Anzahl Messwerte  $< 40$ ) können schon einzelne Extremwerte den 90- und 95-%-Wert stark beeinflussen.

#### 7.4.1 Abkürzungen und Fußnoten in den Ergebnistabellen

In den Ergebnistabellen werden folgende Abkürzungen und Fußnotenkommentare verwendet (Tabelle 10).

Tabelle 10:  
Abkürzungen und Fußnotenkommentare in den Ergebnistabellen der folgenden Kapitel

Abkürzung	Erklärung
NWG	analytische Nachweisgrenze
Werte $<$ NWG	Anzahl und Prozentsatz der Messwerte, die unterhalb der Nachweisgrenze im Kollektiv liegen
Höchste NWG	Höchste Nachweisgrenze im Kollektiv: Die NWG ist bei geringerem Probenluftvolumen höher als die in der Einleitung genannte NWG des Standardverfahrens. Das Probenluftvolumen ist das Produkt aus der Probenahmedauer und dem Volumenstrom.
k. A.	Keine Angaben möglich
*	Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen NWG, dann geht der Wert der halben NWG in die Statistik ein.
**	Die Daten von weniger als fünf Betrieben sind möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.
***	Das Kollektiv enthält zwischen fünf und zehn Messwerte. Im Fall von Grenzwertüberschreitungen werden der minimale und der maximale Messwert ausgegeben.
+	Der Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten NWG im Datenkollektiv.
!	Die Anzahl der Messwerte unterhalb der NWG ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch dieses Perzentil repräsentiert werden. Daher wird für dieses Perzentil keine Konzentration angegeben.

## 7.4.2 Standardisierte Ergebnistabelle

Tabelle 11:  
Standardisierte Tabelle zur Darstellung der Quarzexpositionsdaten der folgenden Kapitel

Spalte 1	Spalte 2	Spalte 3	Spalte 4	Spalte 5	Spalte 6	Spalte 7	Spalte 8	Spalte 9	Spalte 10	Spalte 11	Spalte 12
Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
Probenahmedauer											

**Spalte 1:** Probenahmeart

Die Art der Probenahme bei den Messungen (an der Person; stationär)

**Spalte 2:** Anzahl Messwerte

Anzahl der Messwerte

**Spalte 3:** Anzahl Betriebe

Anzahl der Betriebe

**Spalte 4:** Anzahl Werte < NWG\*

Anzahl der Werte unterhalb der Nachweisgrenze des jeweiligen Messverfahrens

**Spalte 5:** Werte < NWG\* in %

Prozentsatz der Werte unterhalb der Nachweisgrenze des jeweiligen Messverfahrens

**Spalte 6:** Höchste NWG\* in mg/m<sup>3</sup>

Angabe der größten Nachweisgrenze im Datenkollektiv

**Spalten 7 und 8:** ≤ BM in % und > BM in %

Prozentsatz der Messwerte unterhalb bzw. oberhalb des BM

**Spalte 9:** BM n. b. in %

Prozentsatz der Messwerte, die nicht beurteilbar (n. b.) in Bezug auf den BM sind

**Spalte 10:** 50. Perzentil\* in mg/m<sup>3</sup>

Für diesen Wert gilt, dass 50 % der vorhandenen Konzentrationswerte unterhalb, die restlichen 50 % oberhalb dieses Wertes liegen. Liegt der Verteilungswert unterhalb der größten NWG im Datenkollektiv, wird der Wert mit einem + gekennzeichnet.

**Spalte 11:** 90. Perzentil\* in mg/m<sup>3</sup>

Für diesen Wert gilt, dass 90 % der vorhandenen Konzentrationswerte unterhalb, die restlichen 10 % oberhalb dieses Wertes liegen. Liegt der Verteilungswert unterhalb der größten NWG im Datenkollektiv, wird der Wert mit einem + gekennzeichnet.

**Spalte 12:** 95. Perzentil\* in mg/m<sup>3</sup>

Für diesen Wert gilt, dass 95 % der vorhandenen Konzentrationswerte unterhalb, die restlichen 5 % oberhalb dieses Wertes liegen. Liegt der Verteilungswert unterhalb der größten NWG im Datenkollektiv, wird der Wert mit einem + gekennzeichnet.

**Probenahmedauer:**

Probenahmedauer der Messungen (≥ 2 h; < 2 h) zu den darunter dargestellten statistischen Ergebnissen

## 7.5 Quarz und Cristobalit in denselben Arbeitsbereichen

In manchen Arbeitsbereichen einzelner Branchen kann neben Quarz auch Cristobalit in der A-Fraktion auftreten und nachgewiesen werden.

### 7.5.1 Statistische Auswertungen

Zur Auswertung von Messwerten aus Arbeitsbereichen, in denen neben Quarz auch noch Cristobalit nachgewiesen werden konnte, wurden die folgenden Statistiken berechnet.

#### Quarz

Statistik über alle Quarz-Messwerte in dem jeweiligen Arbeitsbereich, die den Selektionskriterien entsprechen

#### Cristobalit

Statistik über alle Cristobalit-Messwerte in dem jeweiligen Arbeitsbereich, die den Selektionskriterien entsprechen

#### Quarz und Cristobalit – Paare aufsummiert

Statistik über die Summe der Quarz- und Cristobalitmesswerte in relevanten Arbeitsbereichen, in denen neben Quarz auch Cristobalit nachgewiesen wurde. Für Quarz-Messwerte, zu denen es auch einen Messwert zu Cristo-

balit aus derselben Probe gibt (Paare), wurde die Summe der beiden Messwerte für die statistische Beurteilung herangezogen. Die Messwerte wurden dabei nach den folgenden Regeln aufsummiert (**Tabelle 12**).

In den Ergebnistabellen können aufgrund der unterschiedlichen NWG für Quarz und Cristobalit keine Angaben zur Anzahl und Prozent der Messwerte < NWG sowie der größten NWG im Datenkollektiv für diese statistischen Auswertungen gemacht werden.

Diese Daten stellen die Summe der silikogenen Komponenten dar und können daher mit dem BM für Quarz verglichen werden, da die Bewertung nicht separat für Quarz und Cristobalit erfolgt.

#### Quarz mit Cristobalitwerten

Statistik über die Quarz-Messwerte in dem jeweiligen Arbeitsbereich, zu denen es auch einen Messwert zu Cristobalit aus derselben Probe gibt

Diese Daten sind hilfreich, um festzustellen, welche Exposition an silikogenen Komponenten (Quarz + Cristobalit) zu erwarten ist, wenn beide Komponenten im Staub nachgewiesen werden können.

Tabelle 12:  
Regeln zur Aufsummierung von Quarz- und Cristobalitmesswerten im selben Arbeitsbereich

Vorzeichen der Einzel-MW	Summe der Einzel-MW	Vorzeichen der Summe der MW
Beide MW sind =-Werte:	$MW_{\text{Quarz}} + MW_{\text{Cristobalit}}$	=-Vorzeichen
Ein MW ist ein <-Wert:	=-Wert + $\frac{1}{2}$ <-Wert	=-Vorzeichen
Beide MW sind <-Werte	$MW_{\text{Quarz}} + MW_{\text{Cristobalit}}$	<-Vorzeichen

# 8 Gewinnung und Verarbeitungen von Steinen, Erden und Rohstoffen

## 8.1 Gewinnung und Aufbereitung von Kalkstein und Dolomit

### Branche

Kalkstein, Gewinnung und Aufbereitung

Kalkstein, Gewinnung

Gips, Kreide, Gewinnung

Dolomit, Gewinnung

Bei der Gewinnung und Aufbereitung von Kalkstein, Gips, Kreide und Dolomit kommen Arbeitsverfahren mit Einzeltätigkeiten zum Einsatz, wie sie im Abschnitt 8.4 beschrieben sind. Die dort getroffenen Aussagen gelten hier entsprechend. Bei der Aufbereitung dominieren trockene Verfahren. Neben dem Zerkleinerungsgrad ist der deutlich geringere Quarzgehalt dieser verarbeiteten mineralischen Rohstoffe zu berücksichtigen. Bei einigen wenigen Kalksteinvorkommen wurden Quarzgehalte im A-Staub von über 10 % gegenüber üblicherweise weniger als 5 % festgestellt, die das Ergebnis der Auswertungen entsprechend beeinflusst haben. Der zeitliche Verlauf der Messwerte für den Zeitraum seit 1972 (vgl. BGIA-Report 08/2006 [10]) zeigt für die gesamte Branche einen erheblichen Rückgang der Staubbelastung, der durch

Anwendung und Verbesserung der Entstaubungsmaßnahmen erzielt werden konnte.

Folgende Arbeitsplätze mit Staubexposition sind anzutreffen:

- im Gewinnungsbetrieb bei Bohrarbeiten zur Herstellung der Sprenganlage und auf Förder- und Ladegeräten (Bagger, Radlader, Schwerlastkraftwagen) mit Kabinen ohne Überdruckbelüftungsanlagen,
- in der Materialaufbereitung innerhalb offener und eingehauster Anlagen,
- in der Verladung der Fertigprodukte.

Die Messwerte für den Zeitraum 2005 bis 2016 zeigen für die gesamte Branche Staubbelastungen, die personenbezogen (Geräteführer, Anlagenschlosser, Prüflabortätigkeiten) den BM für Quarz unterschreiten. Hohe Expositionen können auftreten, wenn Fahrzeuge mit geöffneten Fenstern betrieben werden. Stationäre Messungen, die häufig in nicht ständig belegten Arbeitsbereichen mechanischer Materialbeanspruchung (Brecher, Siebanlagen) platziert sind, weisen hingegen vereinzelt höhere Konzentrationen in Höhe des BM nach.

Tabelle 13:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Gewinnung und Aufbereitung von Kalkstein und Dolomit

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	19	13	16	84,2	0,021	94,7	5,3	0	NWG !	0,0148 +	0,0245
stationär	14	11	6	42,9	0,047	85,7	14,3	0	0,017 +	0,0518	0,0599

## 8.2 Bergbau

Branche
Braunkohlegewinnung und -verarbeitung
Steinkohlegewinnung und -verarbeitung
Erzgewinnung und -verarbeitung
Mineralgewinnung und -verarbeitung, sonstige

Das Datenkollektiv umfasst die Gewinnung, Förderung und Aufbereitung von Rohstoffen in Bergbaubetrieben unter und über Tage. Auch Nebenarbeiten in Leitständen, die Qualitätskontrolle und ggf. die Verpackung der Produkte, die in der Regel jedoch aufgehaltete lose Massenprodukte darstellen, fließen in diese Auswertung ein.

In Bergbaubetrieben unter und über Tage kommen die im Abschnitt 8.4 genannten Gewinnungs- und Aufbereitungsverfahren zur Anwendung. Bei Tiefbaubetrieben dominieren Aufbereitungsanlagen, die in geschlossenen Räumen – häufig wegen der Lärm- und Staubimmissionen auch unter Tage – unter besonderen

Belüftungsbedingungen betrieben werden. Die fortschreitende Gewinnung erfordert eine robuste mobile Technik auch für die Entstaubung. Während unter Tage (bis auf die Bohrtätigkeiten mit dosierter Wasserzugabe) und in der Lockergesteinsgewinnung meist trockene Verfahren zur Anwendung kommen, werden bei der Aufbereitung von Festgesteinen über Tage trockene und nasse Verfahren eingesetzt. Somit können insbesondere unter Tage höhere Staubexpositionen bei Gewinnungs- und Aufbereitungstätigkeiten, z. B. bei der Zerkleinerung, auftreten. Davon sind häufig Anlagenbediener, beispielsweise von Bohr- und Fräsgeräten, sowie Betriebsschlosser betroffen, während bei Führung von Förderfahrzeugen überdruckbelüftete und klimatisierte Kabinen Stand der Technik sind. Auch die Steuerung stationärer Anlagen erfolgt in der Regel in klimatisierten Leitständen.

Obwohl die ASGW überwiegend unterschritten werden (vgl. IFA Report 6/2020 [35]), kommt es aufgrund der in Lagerstätten typischen hohen Quarzgehalte bestimmter Rohstoffe, vor allem im Erzbergbau durch ggf. hohe Quarzgehalte des Nebengesteins, bei trockenen Verfahrensschritten zu deutlichen Überschreitungen des BM.

Tabelle 14:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Bergbau

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	37	12	8	21,6	0,029	70,3	29,7	0	0,0215 +	0,13	0,191
stationär	28	11	6	21,4	0,009	82,1	17,9	0	0,0045 +	0,0668	0,111

### 8.3 Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand

#### Branche

Kies- und Schotterwerke

Sand, Gewinnung und Aufbereitung

Kies und Sand (außer Bims und Quarzsand), Gewinnung

Quarzsand, Gewinnung

Kies und Sand, Aufbereitung

Kies und Sand, Gewinnung

Die im Trocken- oder Nassgewinnungsverfahren abgebauten Kiese und Sande werden in Sieb-, Wasch-, Brech-, Sortier-, Klassier- und ggf. Mahl- und Trocknungsanlagen zu Produkten unterschiedlicher Kornfraktionen aufbereitet und in Silos oder auf Freihalden gelagert. Spezialsande werden nach der Trocknung auch in Säcke oder Bigbags (flexible Schüttgutbehälter) abgepackt. Neben den automatisierten Betriebsabläufen in heutigen Kies- und Sandwerken führen Mitarbeiter im Wesentlichen Kontroll- und Überwachungstätigkeiten sowie Instandhaltungsarbeiten in den Anlagen zur Aufrechterhaltung des laufenden Betriebes durch. Eine staubtechnische Abgrenzung der einzelnen Anlagenbereiche in der Rohmaterialaufbereitung lässt sich in den seltensten Fällen vornehmen, da die Anlagen miteinander verkettet und räumlich nicht getrennt sind. Die Messungen wurden sowohl in offenen als auch in eingehausten Anlagen durchgeführt.

Quarzsande werden zusätzlich bis hin zu Quarzmehlen weiterverarbeitet. Sowohl bei der Gewinnung als auch bei der Aufbereitung von Quarzsanden bestehen Expositionen gegenüber quarzhaltigem A-Staub an allen Arbeitsplätzen. Maßgebliche Einflussfaktoren für die Höhe der Exposition sind dabei insbesondere der Gehalt an freier kristalliner Kieselsäure im mineralischen Rohstoff und das Staubfreisetzungspotenzial in der betreffenden Verarbeitungsstufe. Daher stellt z. B. die Absackung von Materialien mit hohem Quarzgehalt eine anspruchsvolle Aufgabe für die technische Staubbekämpfung dar, weil nur die Kombination vieler Einzelmaßnahmen zum Erfolg führt. Dabei sind die Auswahl staubdichter Verpackungsmaterialien, die Materialförderung in geschlossenen Transportsystemen, die Absaugung von Materialübergabestellen, z. B. an Füllrichtungen von Verpackungsmaschinen, die Führung und Entstaubung der Verdrängungsluft und die Implementierung geeigneter Verfahren zur Reinhaltung der Arbeitsplätze (Staubsauger) besonders zu nennen.

Gegenüber den dokumentierten Zeiträumen seit 1972 (vgl. BGIA-Report 08/2006 [10]) sind die Quarzexpositionen meist erheblich gesunken, liegen aber dennoch für verschiedene Aufbereitungsschritte noch deutlich über dem BM, obwohl die Automatisierung von Betriebsabläufen und die Staubminimierung von Fahrzeugkabinen, aber auch auf die Anwendung verbesserter und in ihrer Auswirkung weniger staubintensiver Herstellungsverfahren vielfach umgesetzt wurden.

Die aktuellen Datenkollektive weisen aus, dass insbesondere das Zerkleinern (Brechen, Mahlen) weiterhin mit den höchsten Expositionen verbunden ist. Zu beachten ist, dass ein längerer Aufenthalt im Bereich von laufenden Brecheranlagen nicht notwendig ist, da diese Anlagen vollautomatisch betrieben werden; der Aufenthalt verbietet sich vor allem auch aus Lärmschutzgründen. Die tatsächliche Aufenthaltsdauer, z. B. während der Kontrollgänge, ist für die Exposition zu berücksichtigen. Massive Staubprobleme treten auf, wenn Brecher oder Mühlen in geschlossenen Aufbereitungsanlagen und nicht separat eingehaust betrieben werden. Staubabsaugungen mit der erforderlichen Wirksamkeit lassen sich jedoch in den wenigsten Fällen realisieren.

Relativ hohe Quarzkonzentrationen liegen auch für die Aufbereitungsschritte Klassieren und Mischen/Trocknen vor. Gemessen wurde hier vorwiegend in Trockensieb- anlagen, in denen die Staubfreisetzung höher ist als in nass betriebenen Anlagen. Bei der Sandtrocknung und beim Mischen verschiedener Kornfraktionen werden heute Maßnahmen getroffen, mit denen eine ausreichende Entstaubungswirkung erreicht wird.

Obwohl Arbeitsplätze an Abfüll- und Verpackungsmaschinen für Sand in der Regel nach dem Stand der Technik abgesaugt werden, geht aus den Daten hervor, dass im Schichtbetrieb häufig – insbesondere bei hohen Quarzgehalten – hohe Expositionen auftreten können, z. B. infolge mangelhafter Wartung, staubreduzierender Feineinstellung und Instandhaltung. Auch die Einhaltung des ASGW für die A-Staubfraktion (vgl. IFA Report 6/2020 [35]) ist nicht immer gegeben, wenn es sich bei manuellen oder teilmanuellen Abfülltätigkeiten um Anlagentechnik handelt, bei der z. B. Verdrängungsluft im Atembereich des Mitarbeiters frei wird und regelmäßig Reinigungsarbeiten (Produktwechsel) erforderlich werden.

### 8.3.1 Gewinnung: Fördern, Transportieren

Tabelle 15:

Gewinnung: Fördern, Transportieren – Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	43	28	19	44,2	0,026	83,7	16,3	0	0,008 +	0,059	0,0639
stationär	33	10	17	51,5	0,024	84,8	15,2	0	NWG !	0,0678	0,0929

Tabelle 15a:

Erfassung – Gewinnung: Fördern, Transportieren – Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = nein	28	20	15	53,6	0,011	85,7	14,3	0	NWG !	0,0528	0,0618

### 8.3.2 Aufbereitung: Klassieren (Sieben)

Tabelle 16:

Aufbereitung: Klassieren (Sieben) – Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	22	18	6	27,3	0,011	40,9	59,1	0	0,057	0,108	0,146
stationär	22	15	0		k. A.	59,1	40,9	0	0,038	0,586	0,872

### 8.3.3 Aufbereitung: Mischen, Trocknen

Tabelle 17:

Aufbereitung: Mischen, Trocknen – Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	34	22	6	17,6	0,0125	52,9	47,1	0	0,042	0,196	0,333
stationär	23	14	0		k. A.	73,9	26,1	0	0,03	0,161	0,238
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	7 ***	2 **	1	14,3	0,003	28,6	71,4	0	=-Werte: 0,01 bis 0,58		

### 8.3.4 Aufbereitung: Zerkleinern (Brechen/Mahlen)

Tabelle 18:

Aufbereitung: Zerkleinern (Brechen/Mahlen) – Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	21	15	6	28,6	0,011	47,6	52,4	0	0,053	0,235	0,335
stationär	28	21	3	10,7	0,008	39,3	60,7	0	0,089	0,78	1,491
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	12	3 **	0		k. A.	0	100	0	0,25	0,558	0,896

### 8.3.5 Abfüllen und Verpacken

Tabelle 19:

Abfüllen und Verpacken – Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	29	16	2	6,9	0,009	48,3	51,7	0	0,058	0,185	0,29
stationär	29	16	4	13,8	0,009	69	31	0	0,0285	0,111	0,164

## 8.4 Gewinnung und Aufbereitung von Naturstein und sonstigen Rohstoffen

Branche
Steine und Erden, Gewinnung (z. B. Naturstein, Rohton)
Naturstein (außer Kalkstein, Gips, Kreide, Schiefer), Gewinnung
Schiefer, Gewinnung
Steine und Erden (sonstige), Gewinnung
Fluss-Spat, Feldspat, Schwerspat, Kieselerde, Gewinnung
Naturstein, allgemeine Aufbereitung
Mineralien (sonstige), Aufbereitung
Naturstein, Gewinnung

Das aus dem Gebirgsverband durch Sprengung oder Abgrabung gelöste Gestein wird in Brech- und Klassieranlagen in mehreren Aufbereitungsstufen zu den Endprodukten Schotter, Splitt und Gesteismehl verarbeitet. Im Vorkrecher wird das Material zunächst vorzerkleinert, wobei die groben Fraktionen abgetrennt werden. In den anschließenden Nachzerkleinerungs- und Siebstufen werden die verschiedenen Kornfraktionen hergestellt, die danach entweder auf Freihalde oder in Siloanlagen gelagert oder als Sackware bzw. Bigbags abgefüllt werden. Je größer der Zerkleinerungsgrad des mineralischen Rohstoffes ist, umso höher ist in der Regel das Staubaufkommen. Die Aufbereitung erfolgt in Steinbruchbetrieben vorwiegend im Trockenverfahren. Viele Anlagen sind deshalb aus Gründen des Immissionsschutzes vollständig eingehaust und z. B. an Bandübergaben und Bandabwurfstellen sowie an Brechern und Siebmaschinen mit aufwändigen Staubabsaugungen ausgestattet. Wasser kann zur Staubbekämpfung oft nur begrenzt eingesetzt werden, z. B. zur Bedüsung am Brechereinlauf, zur Beregnung von Lagerhalden und Fahrwegen oder an Übergabestellen in der Verladung. Splitte werden nur in wenigen Betrieben gewaschen.

Folgende Arbeitsplätze mit Staubexposition sind anzutreffen:

- im Gewinnungsbetrieb bei Bohrarbeiten zur Herstellung der Sprenganlage und auf Förder- und Ladergeräten (Bagger, Radlader, Schwerlastkraftwagen) mit Kabinen ohne Überdruckbelüftungsanlagen,
- in der Materialaufbereitung innerhalb offener und eingehauster Anlagen,
- in der Steinbearbeitung mit den Arbeitsverfahren für Natursteinprodukte,
- in der Verladung der Fertigprodukte (Schüttgüter).

Der zeitliche Verlauf der Messwerte für die Zeiträume seit 1972 (vgl. BGIA-Report 08/2006 [10]) lässt erkennen, dass durch Anwendung und Verbesserung von Entstaubungsmaßnahmen an den Arbeitsplätzen ein deutlicher Rückgang der Staubbelastung erreicht werden konnte. Dennoch können gerade bei Tätigkeiten innerhalb eingehauster Aufbereitungsanlagen trotz getroffener Entstaubungsmaßnahmen hohe Staub- und Quarzkonzentrationen auftreten. Ohne wirksame Erfassungseinrichtungen (**Tabelle 21a**) treten noch deutlich höhere Quarzkonzentrationen im A-Staub auf. Dabei handelt es sich in der Regel jedoch um nicht ständig belegte Arbeitsplätze.

Bei der Bewertung der Messdaten sind die Einflüsse des Quarzgehaltes des verarbeiteten mineralischen Rohstoffes und des Arbeitsverfahrens auf die Höhe der ermittelten quarzhaltige A-Staubkonzentration zu berücksichtigen. So führen fein zerkleinernde Verarbeitungsverfahren, z. B. Kegel- und Prallbrecher, tendenziell zu höheren quarzhaltigen A-Staubkonzentrationen als grob zerkleinernde Verfahren wie Backenbrecher. Je höher der Quarzgehalt im Material, desto höher ist bei Anwendung gleicher Verfahren die in die Atemluft freigesetzte Menge an quarzhaltigem A-Staub.

### 8.4.1 Gewinnung

Tätigkeiten im Steinbruch, die im Zusammenhang mit dem Gewinnungsbetrieb stehen, z. B. das Herstellen der Sprenglöcher für die Gewinnungssprengungen mit mobilen Großbohrgeräten, das Bohren der Knäpper und der Betrieb der Gewinnungs- und Fördergeräte wie Bagger, Radlader und Schwerlastkraftwagen, können mit hohen Staubbelastungen verbunden sein. Der Einsatz von Druckluftwerkzeugen zum Bohren, Knäppern und Spalten kann Probleme verursachen, da Entstaubungs-

einrichtungen an mobilen Arbeitsplätzen – z. B. vor Ort im Steinbruch – nur mit Schwierigkeiten nachgeführt werden können. Mobile Hydraulikbohrgeräte zur Herstellung von Sprengbohrlöchern sind nach dem Stand der Technik entstaubt, sodass der ASGW und der BM zumeist eingehalten werden kann. Auch für die Fördergeräte sind in der Regel Überdruckanlagen in den Kabinen erforderlich, die nur bei geschlossenen Fenstern und Türen wirksam sind. Abgesehen vom Gewinnungsbetrieb sind die Abläufe in einem Steinbruchbetrieb heute weitestgehend automatisiert.

Tabelle 20:  
Gewinnung – Gewinnung und Aufbereitung von Naturstein und sonstigen Rohstoffen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	84	49	41	48,8	0,012	82,1	17,9	0	0,009 +	0,18	0,392
stationär	19	11	7	36,8	0,009	68,4	31,6	0	0,0155	0,141	0,15
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	7 ***	5	4	57,1	0,028	85,7	14,3	0	=Werte: 0,019 bis 0,24		

### 8.4.2 Aufbereitung

Hierunter ist das Zerkleinern mineralischer Rohstoffe in Brecher- und Mahlanlagen, das Klassieren in die gewünschten Kornfraktionen sowie das ggf. erforderliche Waschen und Trocknen des Materials zusammengefasst. Das Zerkleinern (Brechen, Mahlen) ist meist mit massiver A- und E-Staubentwicklung verbunden, wodurch im laufenden Betrieb – ohne geeignete Schutzmaßnahmen – unzulässige Staubbelastungen für dort Beschäftigte entstehen können. Somit werden häufig die ASGW überschritten, womit in der A-Staubfraktion bei höheren Quarzgehalten auch Überschreitungen des BM auftreten.

Innerhalb der Aufbereitungsanlagen werden im Wesentlichen Kontroll- und Überwachungstätigkeiten sowie

Instandhaltungsarbeiten zur Aufrechterhaltung des laufenden Betriebes durchgeführt. Hohe Expositionen treten insbesondere dann auf, wenn sich das Personal über einen längeren Zeitraum zur Anlagenkontrolle und Störungsbeseitigung in geschlossenen Aufbereitungsanlagen aufhält. Die Einhaltung des BM ist bei der Verarbeitung von höher quarzhaltigem Material nahezu nicht zu erreichen. Der Aufenthalt von Personen innerhalb solcher Anlagen ist nur mit geeignetem Atemschutz möglich und entsprechend der DGUV Regel 112-190 [36] auf das Notwendigste zu beschränken. Auch Brecherwärter im Leitstand oder in einer Kabine können hohen Quarzkonzentrationen im A-Staub ausgesetzt sein, wenn die Lüftungsverhältnisse dort unzureichend sind.

Tabelle 21:  
Aufbereitung – Gewinnung und Aufbereitung von Naturstein und sonstigen Rohstoffen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	73	46	26	35,6	0,052	64,4	34,2	1,4	0,0235 +	0,284	0,657
stationär	65	42	22	33,8	0,19	77	21,5	1,5	0,0105 +	0,11 +	0,198
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	13	5	1	7,7	0,011	30,8	69,2	0	0,14	0,24	0,352

Tabelle 21a:  
Erfassung – Aufbereitung – Gewinnung und Aufbereitung von Naturstein und sonstigen Rohstoffen

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	29	22	10	34,5	0,022	65,5	34,5	0	0,02 +	0,204	0,245
Erf = nein	25	17	8	32	0,052	52	44	4	0,043 +	0,43	0,825

### 8.4.3 Abfüllen, Lagern, Verpacken und Wiegen

Diese Arbeitsbereiche umfassen das Lagern der Fertigprodukte im Silo oder auf Halde im Freien sowie das Abwiegen und Verladen auf Transportmittel. Bei der Aufbereitung von Naturstein fallen aus der Feinabsiebung und aus Filteranlagen Gesteinsmehle an, die – sofern sie nicht direkt aus dem Silo in Silofahrzeuge verladen werden – in Säcke oder Bigbags abgefüllt werden. Die Befüll- und Verpackungsanlagen sind mit den Einrichtungen in der Zement- und Kalkindustrie vergleichbar und können ähnliche gerätetypische Staubemissionen verursachen. Die Verladeanlagen weisen dabei sehr unterschiedliche Bauweisen (Verladeband, Verladerüssel, Verladung im freien Fall, mit oder ohne Staubabsaugung oder Wasserbenetzung) und mögliche Staubfreisetzungen auf.

Das Bedienpersonal von Siloverladeanlagen, die häufig in die Aufbereitungsanlagen integriert sind und von Straßenlastkraftwagen unterfahren werden, ist beim Steuern und Überwachen des Beladevorgangs bei Aufenthalt außerhalb der geschlossenen Steuerkabine staubexponiert, z. B. innerhalb der Anlage zu Kontrollgängen, im Bereich der Beladestelle und in der Silodurchfahrt. Messergebnisse beziehen sich zum überwiegenden Teil auf diese Anlagen. Niedrige Messwerte werden bei wirksam abgesaugten oder wasserbenetzten Verladungen ermittelt. Das Verladen von auf Freiflächen aufgehaldeten Produkten mittels Radlader ist demgegenüber für den Verlader mit einer erheblich geringeren Staubbelastung verbunden, wenn dieser sich in der geschlossenen, überdruckbelüfteten Kabine des Ladegerätes aufhält und die Fenster und Türen geschlossen hält.

Tabelle 22:

Abfüllen, Lagern, Verpacken und Wiegen – Gewinnung und Aufbereitung von Naturstein und sonstigen Rohstoffen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	23	16	11	47,8	0,052	87	8,7	4,3	0,0105 +	0,0316 +	0,0485 +
stationär	28	22	13	46,4	0,014	92,9	7,1	0	0,0045 +	0,0344	0,0588
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	5 ***	5	2	40	0,019	80	20	0	=Werte: 0,017 bis 0,22		
stationär	10	5	5	50	0,05	80	20	0	0,016 +	0,054	0,076

## 8.5 Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei

### Branche

Steine und Erden (ohne Grobkeramik, ohne Herstellung von Schleifmitteln), Verarbeitung

Naturstein, Verarbeitung

Natur(werk)stein (ohne Steinbildhauerei und Steinmetzerei), Verarbeitung

Naturwerkstein, Herstellung

Steinbildhauerei, Steinmetzerei

Schiefer sowie Steine und Erden, Verarbeitung

Naturstein, Be- und Verarbeitung

In Steinbrüchen abgebaute Rohsteinblöcke werden bereits im Steinbruch oder im Natursteinwerk in kleinere Einheiten bis hin zu Mauer- und Pflastersteinen aufgespalten oder auf Steintrennmaschinen zu Platten oder quaderförmigen Halbzeugen zugeschnitten. Die weitere Formgebung und Oberflächenbearbeitung zur Herstellung der Endprodukte erfolgt meistens in spezialisierten Steinbearbeitungsbetrieben. Bei der Steinbearbeitung werden sowohl Nass- als auch Trockenbearbeitungsverfahren eingesetzt.

Nassbearbeitung erfolgt hauptsächlich auf Steinbearbeitungsmaschinen wie Steintrenn-, Steinschleif- und Steinfräsmaschinen, deren in der Regel diamantbesetzte Werkzeuge mit Wasser gekühlt werden. Hierdurch verringert sich gleichzeitig die Staubbefreiung.

Demgegenüber werden Bearbeitungsverfahren wie Meißeln, Bossieren, Scharrieren oder Steinspalten mit Drucklufthandhämmern oder Trennschleifen und das Schleifen von Oberflächen mit Elektrohandwerkzeugen wie Winkelschleifern trocken durchgeführt. Einfluss auf die Höhe der Konzentration an quarzhaltigen A-Staub haben einerseits

der Quarzgehalt des verarbeiteten Materials, andererseits die Art des Bearbeitungsverfahrens. Hohe Konzentrationen in bzw. bei einzelnen Arbeitsbereichen und Tätigkeiten erklären sich häufig durch hohe Quarzgehalte der Materialien (z. B. bei Fensterbänken und Natursteinbelägen aus Granit mit bis zu 35 % Quarz). Zu beachten ist weiterhin, dass fein zerkleinernde Verfahren mittels schnellumlaufender Werkzeuge, z. B. Trennschleifen, Polieren und Stocken, mit einer starken Zertrümmerung des Quarzkorns verbunden sind und damit zu höheren Quarzstaubkonzentrationen führen als grob zerkleinernde Handverfahren wie das Meißeln von Hand.

### 8.5.1 Bossieren, Scharrieren und Stocken

Diese Arbeitsverfahren dienen zur Oberflächen- und Kantenbearbeitung von Werkstücken im Trockenverfahren. Sowohl druckluftbetriebene Handmaschinen als auch ortsfeste Bearbeitungsmaschinen kommen zum Einsatz. Auf den bearbeiteten Oberflächen kommt es beim Stocken und Scharrieren zu starker Kornzertrümmerung, bei der große Staubmengen freigesetzt werden. Weniger staubintensiv ist das Bossieren, da lediglich Teilbereiche wie die Kanten vom Werkstück abgeschlagen werden. Die eingesetzten Maschinen sind heute überwiegend nach dem Stand der Technik abgesaugt. Die Stauberfassungseinrichtungen unterliegen einem sehr hohen Verschleiß, sodass die Absaugwirkung bei unzulänglicher Instandhaltung herabgesetzt wird.

Laut **Tabelle 23** ist die Einhaltung des zulässigen BM beim 90%-Wert (auch bei Auswertung der ASGW) beim Stocken und Scharrieren nicht gewährleistet. Da im Betrachtungszeitraum von 2005 bis 2016 weder wesentlich verbesserte Geräte noch optimierte Entstäubungstechnik gegenüber den ersten Auswertungen von 1974 bis 2004 (vgl. BGIA-Report 08/2006 [10]) eingesetzt wurden, lassen sich die hohen 90%-Werte damit erklären, dass aktuell primär an Arbeitsplätzen gemessen wird, an denen die Staubverhältnisse als erkennbar ungünstig auffallen.

Tabelle 23:

Bossieren, Scharrieren und Stocken – Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	16	12	3	18,8	0,023	31,2	68,8	0	0,062	1,05	1,6
stationär	6 ***	6	0		k. A.	50	50	0	=Werte: 0,007 bis 0,26		

### 8.5.2 Sägen, Fräsen und Trennen

Beim Sägen und Fräsen wird zur Kühlung der Schneidsegmente Wasser an die Bearbeitungsstelle herangeführt. Dieses Wasser bewirkt gleichzeitig eine Reduzierung der Staubemission durch Staubbinding und -niederschlag. Durch die schnell laufenden Bearbeitungswerkzeuge werden Spritzwasser und Aerosol gebildet, die alveolengängige Quarzstaubpartikel enthalten, die vom Maschinenbediener eingeatmet werden können. Die Höhe der Quarzkonzentration im A-Staub ist dabei – neben dem Quarzgehalt des Werksteins – von der Güte der Aufbereitung des Kreislaufwassers und vom Ausmaß der Aerosol- und Spritzwasserbildung abhängig. Einrichtungen an den Maschinen zum Auffangen und Niederschlagen des Spritzwassers und der Aerosole sowie die Wasserreinigung bis zur Frischwasserqualität sind heute Stand der Technik. Wie schon die Auswertungen der Messwerte der letzten Jahrzehnte (vgl. BGIA-Report 08/2006 [10]) liefern auch die aktuellen Daten verfahrensbedingt unverändert hohe Quarzkonzentrationen im A-Staub bei Tätigkeiten mit quarzhaltigen Naturwerk-

steinen, wobei jedoch die ASGW eingehalten werden (vgl. IFA Report 6/2020 [35]).

### 8.5.3 Bearbeitung im Steinbruch: Steinspalten, Brechen und Keillochmachen

Hohe Staubkonzentrationen treten beim manuellen Steinspalten mit Drucklufthämmern auf, obwohl in der Regel am Werkzeug eine Staubabsaugung installiert ist. Die verwendeten Gummitüllen am Meißel zum Herstellen der Keillöcher unterliegen einem sehr hohen Verschleiß, sodass die Absaugwirkung bei unzulänglicher Instandhaltung herabgesetzt wird. Weniger schwierig ist die wirksame Entstaubung von ortsfesten Steinspaltmaschinen. Der Staub wird hier über Erfassungselemente am Obermesser oder durch Saugöffnungen im Maschinenständer abgesaugt.

Die Messergebnisse für Spaltarbeiten, die in witterungsbedingten Einhausungen mit in der Regel fehlender Staubminimierung ermittelt wurden, fallen deutlich höher aus als die in Räumen oder im Freien ausgeübten.

Tabelle 24:

Sägen, Fräsen und Trennen – Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	89	48	25	28,1	0,023	75,3	24,7	0	0,019 +	0,163	0,404
stationär	60	43	5	8,3	0,009	63,3	36,7	0	0,023	0,23	0,28

Tabelle 25:

Bearbeitung im Steinbruch: Steinspalten, Brechen und Keillochmachen – Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	125	37	16	12,8	0,052	48,8	50,4	0,8	0,0505 +	0,5	0,627
stationär	37	24	3	8,1	0,01	67,6	32,4	0	0,019	0,0986	0,166

### 8.5.4 Meißeln und Stemmen

Bei diesen Arbeitsverfahren werden sowohl druckluftbetriebene als auch elektrische Handmaschinen eingesetzt. Der bei der manuellen Bearbeitung entstehende Staub wird mit Arbeitsplatzabsaugungen verschiedener Ausführungen (positionierbare Absaugtrichter, Absaugwände) erfasst, deren Ausführung und Instandhaltung jedoch häufig noch zu optimieren ist. Bei hohen Quarzgehalten erweist sich die Wirksamkeit von Wasserwänden als unzulänglich, ebenso die der Absaugwände ohne geeignete Filtermedien zur Reinfluftrückführung. Denn trotz Arbeitsplatzabsaugungen treten Quarzkonzentrationen im A-Staub bei den 90%-Werten auf, die deutlich über dem BM liegen (analog beim ASGW; vgl. IFA Report 6/2020 [35]). Somit wird zusätzlich häufig geeigneter partikelfiltrierender Atemschutz gemäß DGUV Regel 112-190 [36] erforderlich. Da weder die Geräte- noch die Entstaubungstechnik in den letzten Jahrzehnten wesentlich verbessert wurden, wird bevorzugt in ent-

sprechenden Arbeitsbereichen gemessen, an denen die Staubverhältnisse erkennbar ungünstig sind.

### 8.5.5 Strahlen

Das Strahlen von quarzhaltigen Naturwerksteinoberflächen mit abgesaugten Strahlmaschinen, z. B. bei der Oberflächenbearbeitung von Natursteinplatten, führt gegenüber dem konventionellen Trocken- und Freistahlverfahren zu deutlich niedrigeren Staubkonzentrationen. Dennoch überschreiten die A- und E-Staubbelastungen häufig den BM für quarzhaltigen A-Staub und die ASGW (vgl. IFA Report 6/2020 [35]) derart, dass neben Stauberfassungseinrichtungen nach dem Stand der Technik ggf. partikelfiltrierende Atemschutzgeräte erforderlich werden. Die großen Differenzen zwischen den 90- und 50%-Werten bestätigen die Unterschiede zwischen den genannten Verfahren, die in den Datenkollektiven zusammengefasst wurden (Tabelle 27).

Tabelle 26:

Meißeln und Stemmen – Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	86	47	14	16,3	0,046	41,9	58,1	0	0,065	0,902	2,07
stationär	41	29	8	19,5	0,02	65,9	34,1	0	0,0145 +	0,213	0,24
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	12	7	3	25	0,16	25	66,7	8,3	0,15 +	0,54	1,702

Tabelle 26a:

Erfassung – Meißeln und Stemmen - Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	61	33	11	18	0,046	41	59	0	0,0675	0,499	0,676
Erf = nein	22	14	3	13,6	0,009	45,5	54,5	0	0,056	1,8	2,08

Tabelle 27:

Strahlen – Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	16	11	4	25	0,009	62,5	37,5	0	0,014	0,692	0,768
stationär	11	8	0		k. A.	63,6	36,4	0	0,0325	0,0998	0,397

### 8.5.6 Schleifen, manuell

In den drei Datenkollektiven wird zwischen manuellem Schleifen, maschinellem Schleifen und Misch Tätigkeiten unterschieden. Manuelles Schleifen wird in der Regel mit elektrisch oder mittels Druckluft angetriebenen, schnelllaufenden Handmaschinen (Winkelschleifern) durchgeführt. Maschinelles Schleifen erfolgt auf ortsfesten Schleifmaschinen oder Bearbeitungszentren. Die Oberflächenbearbeitung von plattenförmigen Materialien erfolgt vorwiegend im Nassverfahren, das eine geringere Quarzstaubexposition gegenüber dem Trockenverfahren bewirkt. Aber auch beim Nassschleifen können aufgrund der Aerosolbildung hohe Staubkonzentrationen auftreten. Für die Aufbereitung des Umlaufwassers gelten dieselben Kriterien wie beim Sägen und Fräsen (Abschnitt 8.5.2).

Trockene Arbeiten mit Winkelschleifern führen zu extrem hohen Staubbelastungen. Der zeitliche Verlauf der Staubkonzentrationen zeigt einen stetigen Rückgang der Staubbelastung bei Tätigkeiten mit diesen Arbeitsgeräten (vgl. BGIA-Report 08/2006 [10]). Zurückzuführen ist dies auf den verstärkten Einsatz von Entstaubungseinrichtungen in Form von Maschinen- und Arbeitsplatzabsaugungen verschiedener Ausführungen. Absaugungen an diesen Geräten werden jedoch bei nicht stationären Einsätzen nur selten angetroffen. Somit überschreiten hierbei die ermittelten personenbezogenen Staubbelastungen in der Regel den BM und die ASGW derart, dass einerseits Stauberfassungseinrichtungen (Stand der Technik) und andererseits partikelfiltrierende Atemschutzgeräte gemäß DGUV Regel 112-190 [36] erforderlich werden.

Tabelle 28:

Schleifen, manuell – Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	50	30	18	36	0,12	62	34	4	0,028 +	0,17	0,83
stationär	23	19	3	13	0,016	87	13	0	0,016 +	0,0675	0,0907
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	7 ***	5	4	57,1	0,036	71,4	28,6	0	=-Werte: 0,026 bis 1,2		
stationär	6 ***	4 **	1	16,7	0,014	66,7	33,3	0	=-Werte: 0,02 bis 0,11		

### 8.5.7 Schleifen, maschinell

Tabelle 29:

Schleifen, maschinell – Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	28	20	4	14,3	0,016	60,7	39,3	0	0,038	0,17	0,344
stationär	22	20	3	13,6	0,015	59,1	40,9	0	0,03	0,156	0,169
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	6 ***	2 **	0		k. A.	16,7	83,3	0	=-Werte: von 0,014 bis 0,59		

### 8.5.8 Schleifen, weitere

Zusammengefasst sind hier ergänzend sowohl Misch-tätigkeiten mit Anwendung mehrerer Bearbeitungsverfahren, wie sie z. B. in einer Steinhauerei vorkommen, als auch Einzel-tätigkeiten, die nicht den zuvor aufgeführten Arbeitsbereichen bzw. Tätigkeiten zugeordnet

werden können, wie Spachtelarbeiten und Polieren, aber auch Datensätze nicht differenzierter Schleifarbeiten. Erkennbar ist in **Tabelle 30** wiederum die sehr hohe Staubbelastung bei diesen Tätigkeiten, die darauf zurückzuführen ist, dass häufig wirksame Entstaubungsmaßnahmen aufgrund der Arbeitsbedingungen nicht getroffen werden können.

Tabelle 30:

Schleifen, weitere – Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	28	17	2	7,1	0,009	25	75	0	0,1	0,608	1,32
stationär	10	9	0		k. A.	60	40	0	0,041	0,22	0,38
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	5 ***	2 **	1	20	0,017	20	80	0	=-Werte: 0,092 bis 2,3		

## 8.6 Mineralmahlwerke (Farberden)

### Branche

Mineralmahlwerke (Farberden)

Emaile, Herstellung

Natürliche Minerale wie Bauxite, Chromerze, Eisenerze, Magnesite und Feldspäte werden in Brecher-, Sieb-, Trocknungs- und Mahlanlagen zu Produkten mit einer Korngröße von  $< 10 \mu\text{m}$  aufgearbeitet. Sie werden unter anderem zur Herstellung feuerfester Materialien, in der Eisen- und Stahlindustrie, in Gießereien, der Glasindustrie und der chemischen Industrie eingesetzt. Beim Vorhandensein quarzhaltiger Anteile im Rohmaterial können insbesondere an Brechern und Mahlanlagen

sowie bei der Absackung Quarzkonzentrationen auftreten. Bei der Aufbereitung dieser mineralischen Rohstoffe kommen Arbeitsverfahren mit Einzeltätigkeiten zum Einsatz, wie sie im Abschnitt 3.4 beschrieben sind. Die dort getroffenen Aussagen gelten hier entsprechend. Die Arbeitsbereiche Mischen, Abfüllen und Verpacken sind hinsichtlich der Anlagentechnik und Arbeitsabläufe vergleichbar mit denen in der Zement- und Kalkindustrie. Der zeitliche Verlauf der Messwerte für die Zeiträume seit 1972 (vgl. BGIA-Report 08/2006 [10]) zeigt einen erheblichen Rückgang der Staubbelastung für die gesamte Branche, der durch Anwendung und Verbesserung der Entstaubungsmaßnahmen erzielt werden konnte. Der Trend konnte jedoch für den Zeitraum dieser Auswertung (2005 bis 2016) nicht fortgesetzt werden; es wurden vereinzelt Überschreitungen des BM ermittelt.

Tabelle 31:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Mineralmahlwerke (Farberden)

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte $<$ NWG*	Werte $<$ in % NWG*	Höchste NWG* in $\text{mg}/\text{m}^3$	$\leq$ BM in %	$>$ BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in $\text{mg}/\text{m}^3$	90. Perzentil* in $\text{mg}/\text{m}^3$	95. Perzentil* in $\text{mg}/\text{m}^3$
<b><math>\geq 2 \text{ h}</math></b>											
an der Person	31	13	16	51,6	0,032	87,1	12,9	0	NWG !	0,0625	0,1
stationär	19	7	4	21,1	0,006	73,7	26,3	0	0,0035 +	0,0894	0,12

## 8.7 Herstellung von Gipszeugnissen, Dämm- und Leichtbauplatten

### Branche

Gipszeugnisse (z. B. Gipskartonplatten), Herstellung

Dämm- und Leichtbauplatten (mineralisch gebunden), Herstellung

Gips als Rohstoff wird vorwiegend bergmännisch als Gipsstein (Naturgips) über und unter Tage gewonnen, fällt aber auch als Nebenprodukt bei der Rauchgasentschwefelung (Rauchgasgips) und bei der Herstellung von Fluorwasserstoffsäure an. Gipszeugnisse finden unter anderem in der Bauindustrie als Putze bzw. Trockenestriche, Grundierung, Brandschutz, Füllmittel und Gipskartonplatten Verwendung. Diese Datenkollektive schließen die bergmännische Gipsgewinnung selbst aus (siehe Kapitel 8.2).

Nach der Zerkleinerung mit Prall- oder Hammermühlen auf definierte Korngrößen und Sieblinienverteilungen wird der Gipsstein in Drehrohröfen, Trägertgas-Brennanlagen, Rostbandöfen, Gipskochern und Mahlbrennanlagen zu verschiedenen Baustoffgipsen gebrannt (Kalzinieren) und produktspezifisch veredelt. Auch Autoklaven dienen der Herstellung spezifischer Gipsprodukte. Die mit chemischen Zusätzen versehenen Produkte (Gips-Trockenmörtel) werden in der Regel mit vollautomatisch laufenden Dosier- und Verpackungsanlagen, abhängig von der Füllmenge, in Gebinde als Sackware bzw. in transportable Baustellensilos als lose Ware abgefüllt.

Als Bauelemente im Innenausbau dienen Gips(karton)-platten, Gipsfaserplatten und Gips-Wandbauplatten. Gipsplatten werden auf endlosen Bändern mit Trocknung gefertigt und bestehen aus einem Gipskern und einer daran fest haftenden Ummantelung aus Karton. Gipsfaserplatten bestehen aus Gips und Papierfasern, die gleichmäßig im Gefüge verteilt und in einem Recyclingverfahren aus Papier gewonnen werden. Massive Gips-Wandbauplatten werden in Edelstahlformkästen hergestellt. Sie bestehen homogen aus Gips, ohne Unterkonstruktion von Gipsplatten.

Staubbelastungen treten bei Zerkleinerungs- und Reinigungsprozessen sowie bei der Absackung auf, bevorzugt bei teilautomatisierter Ventilsack-Absackung mit einem oder mehreren Stutzen, auch beim Chargenwechsel. Während Tätigkeiten an Absackanlagen eher stationär erfolgen, bewegen sich Beschäftigte bei der Herstellung von Gipszeugnissen in der Regel mit Mischexposition in allen Produktionsabschnitten, z. B. als Kontrollgänger oder Betriebsschlosser. Die Datenkollektive mit personenbezogenen Expositionen unterschreiten bei Schichtbezug die ASGW, in der Regel mit Mischexposition. An nicht ständig belegten Betriebspunkten können höhere Quarzstaubbelastungen auftreten, was die Datenkollektive stationärer Messungen dokumentieren. Einzeltätigkeiten wie die Handzugaben ohne Unterdruckvorrichtungen weisen sichtbar ungünstige Staubbefreiungen auf.

Tabelle 32:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Herstellung von Gipszeugnissen, Dämm- und Leichtbauplatten

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	18	9	13	72,2	0,01	88,9	11,1	0	NWG !	0,0396	0,131
stationär	28	9	18	64,3	0,047	85,7	14,3	0	NWG !	0,0588	0,117

## 8.8 Asphaltmischanlagen

### Branche

Asphaltmischanlagen

Bituminöses Mischgut, Herstellung (in Asphaltmischanlagen)

Asphalt wird durch Mischen von vorgetrocknetem Mineralstoffgemisch mit Bitumen als Bindemittel und weiteren Zusatzstoffen (unter anderem Asphaltrecyclat) in einer Mischmaschine hergestellt. Die Zugabe der Mischungskomponenten und der Mischvorgang finden in einem weitgehend geschlossenen System statt und sind automatisiert. Der Mischvorgang wird aus einem in räumlicher Entfernung zur Anlage angeordneten Leitstand gesteuert. Während des Herstellungsprozesses ist der Einsatz von Personal in der Anlage nicht notwendig. Ausgenommen hiervon sind:

- Manuelle Zugabe von Zusatzstoffen,
- Kontrollgänge,
- die Beseitigung plötzlich auftretender Betriebsstörungen.

Der Aufenthalt innerhalb des geschlossenen Mischturms während der Produktion ist mit hoher Staubexposition verbunden. Staubquellen sind unter anderem Siebmaschinen und die Übergaben der Mineralstoffdosierung. Die Aufenthaltsdauer beträgt für Kontrollgänge in der Regel weniger als eine Stunde pro Arbeitsschicht, sodass sich die Exposition damit auf ein Achtel der ausgewiesenen Werte relativiert. Demgegenüber finden Transporte und Materialbeschickung der Doseure mit dem Radlader auf dem Betriebsgelände während der gesamten Arbeitsschicht statt. Die Mineralstoffe werden mit Ausnahme der feinkörnigen Füllstoffe aufgehaldet auf dem Betriebsgelände gelagert. Der Radladerfahrer befindet sich während der Transporte und Beschickungsvorgänge in der in der Regel geschlossenen Kabine des Radladers.

Eingehauste Mischanlagen mit vollständig geschlossenem Mischturn und zentraler Staubabsaugung zur Beseitigung von Staubablagerungen sind Stand der Technik. Bis in die 1980er-Jahre dominierten noch offene Anlagen mit hohen Staubfreisetzungen auf dem gesamten Werksgelände. Die personenbezogenen Messergebnisse dokumentieren heute die Einhaltung des BM bei der Herstellung.

Tabelle 33:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Asphaltmischanlagen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	29	17	23	79,3	0,044	93,1	6,9	0	NWG !	0,0319 +	0,051
stationär	19	13	8	42,1	0,017	89,5	10,5	0	0,0043 +	0,0345	0,123

## 8.9 Herstellung von Zement und Kalk

### Branche

Zement und zementähnliche Bindemittel, Herstellung

Zement, Herstellung

Zementwerk

Zementmahlwerk

Kalk, Herstellung

Düngekalk, Herstellung

Im Steinbruch abgebauter Kalkstein wird in Brechanlagen zerkleinert und gelangt nach Zwischenlagerung in die Rohaufbereitung, wo er getrocknet, in Kugelmühlen zu Rohmehl gemahlen und ggf. granuliert wird. In Drehrohröfen wird das Rohmaterial – Rohmehl oder Rohmehlgranulat – erhitzt und zu Zementklinker gebrannt. Der abgekühlte Klinker wird in einem weiteren Mahlvorgang in Kugelmühlen unter Beigabe bestimmter Zusatzstoffe zu verschiedenen Zementsorten vermahlen und in Vorratsilos gelagert. Der fertige Zement wird zu einem großen Teil lose in Silozüge verladen, der andere Teil wird auf Absackmaschinen in Papiersäcke verpackt und in Bigbags abgefüllt. Gegenüber der Zementherstellung erfolgt das Brennen von Kalkstein in der Regel in Ringschachtöfen, in denen der grob zerkleinerte Kalkstein lediglich so weit erhitzt wird, dass das in ihm gebundene Kohlendioxid ausgetrieben wird. Die weiteren Produktionsschritte sind vergleichbar mit denen bei der Zementherstellung.

Bestimmte Kalksteinvorkommen können Quarzgehalte im A-Staub von 5 % und mehr besitzen. Auch quarzhaltige Stoffe wie Sand, die sowohl bei der Rohmehlherstellung als auch bei der Vermahlung des Zementklinkers zur Beeinflussung der Zementeigenschaften zugegeben werden, können sich auf die Quarzkonzentrationen im A-Staub auswirken.

Die Betriebsabläufe in heutigen Zement- und Kalkwerken sind weitgehend automatisiert, sodass lediglich Überwachungstätigkeiten sowie Wartungs- und Reparaturarbeiten zur Störungsbeseitigung durchzuführen sind. Rohstoffaufbereitung, Brenn- und Mahlbetrieb werden aus einem klimatisierten Leitstand gesteuert. Als staubexponiert gelten Kontrollgänger, das Instandhaltungspersonal und Anlagenbediener in bestimmten, nicht vom Leitstand aus gesteuerten Anlagenteilen wie in der Zementabsackung und in der Verladung. Zement- und Kalkwerke verfügen in der Regel über wirksame Entstaubungseinrichtungen (siehe **Tabelle 34a**). Staubintensive Anlagenteile (z. B. Zementmühlen) befinden sich überwiegend in geschlossenen Gebäuden oder sind an den Aufgabe-, Übergabe- und Abzugsstellen mit wirksamen Staubabsaugungen nach dem Stand der Technik versehen. Drehrohröfen und Ringschachtöfen sind in der Regel über Elektrofilteranlagen entstaubt. Abgesaugte Füllstutzen verbessern zusätzlich die Entstaubung an Absackmaschinen für Zement. Die Expositionsdaten präsentieren die Einhaltung des BM für quarzhaltigen A-Staub, sofern der Stand der Technik umgesetzt ist, während die ASGW häufig überschritten werden (vgl. IFA Report 6/2020 [35]).

**Tabelle 34:**  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Herstellung von Zement und Kalk

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	103	36	73	70,9	0,05	88,3	11,7	0	NWG !	0,0534	0,123
stationär	88	30	58	65,9	0,046	97,7	2,3	0	NWG !	0,023 +	0,0276 +
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	10	8	5	50	0,036	90	10	0	0,018 +	0,046	0,051

Tabelle 34a:

Erfassung – Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Herstellung von Zement und Kalk

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	16	14	13	81,3	0,024	93,7	6,3	0	NWG !	0,0266	0,0516
Erf = nein	25	12	15	60	0,05	80	20	0	NWG !	0,0705	0,155

## 8.10 Herstellung von Trockenbaustoffen

### Branche

Mörtel, Herstellung

Edelputz, Herstellung

Fertigmörtel, Herstellung

Sondermörtel, Herstellung

Gips, gebrannt, Herstellung

Perlit (geblät), Herstellung

Trockenmörtel und Edelputze, z. B. Vergussmörtel, Betonspachtel sowie Innen- und Außenputze, werden auf der Basis von Zement, Kalk, Gips, Sand und Zusätzen wie organischen Polymeren, Quellstoffen und Fasern hergestellt, die bestimmte Produkteigenschaften erzielen. Aufgrund des Quarzgehalts der verwendeten Mineralstoffe kommt es bei der Sandtrocknung, Trockenmischvorgängen – insbesondere beim Befüllen und Entleeren der Mischer – sowie der Handzugabe von Mischungskomponenten zur Bildung quarzhaltiger Stäube. Staubexpositionen treten außerdem an Arbeitsplätzen auf, an denen Fertigprodukte in Säcke oder andere Verpackungen abgefüllt werden, sowie bei Reinigungsarbeiten (Produktwechsel).

Tabelle 35:

Dosieren, Mischen, Trocknen – Herstellung von Trockenbaustoffen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	34	23	18	52,9	0,037	70,6	29,4	0	NWG !	0,126	0,221
stationär	21	13	5	23,8	0,009	71,4	28,6	0	0,0135	0,067	0,108

Der zeitliche Verlauf der Messwerte für den A-Staub und die Quarzexposition (vgl. BIA-Report 08/2006 [10] und IFA Report 6/2020 [35]) lässt erkennen, dass durch Anwendung und Verbesserung der Entstaubungsmaßnahmen in den Werken ein deutlicher Rückgang der Staubbelastung erzielt wurde. Diese stagniert jedoch seit Jahren auf einem hohen Niveau, obwohl die Produktionsanlagen nach dem Stand der Technik über zentrale Absauganlagen entstaubt sind und zur lokalen Arbeitsplatz- und Anlagenreinigung zusätzlich Industriestaubsauger zur Verfügung stehen.

### 8.10.1 Dosieren, Mischen, Trocknen

Durch häufigen Produktwechsel (Trockenmischvorgänge) mit entsprechendem Reinigungsbedarf – besonders beim Befüllen und Entleeren der Mischer – und die Handzugabe von Mischungskomponenten mit Eingriff in den Materialfluss kann Staub freigesetzt werden. Auch bei der Sandtrocknung kommt es häufig zu Staubbelastungen. Unterdruckbelüftete Entstaubungstechnik bei der Handzugabe und teilgeschlossene Fördersysteme sind Stand der Technik. Die Quarzstaubexpositionen überschreiten den BM bei diesen Arbeitsvorgängen dennoch deutlich, wobei zu berücksichtigen ist, dass bevorzugt in staubtechnisch optimierbaren Anlagenbereichen gemessen wurde.

### 8.10.2 Abfüllen, Verpacken

Das Abfüllen und Verpacken der Fertigprodukte erfolgt mit Rotorpackmaschinen und handbedienten bzw. automatisierten Absackmaschinen. Staubexpositionen treten bei der Herstellung von Trockenmörtel und Edelputzen an Arbeitsplätzen auf, an denen Fertigprodukte manuell und teilautomatisiert in Säcke oder andere Verpackungen abgefüllt werden, sowie bei Reinigungsarbeiten. Trotz kontinuierlicher Verbesserungen in den Vorjahren zeigen besonders die personengetragenen Expositionsdaten aus dem IFA Report 6/2020 [35] noch deutliche Überschreitungen des ASGW für die A-Staubfraktion – vor allem bei der teilautomatisierten Absackung. Daten-

kollektive für die Quarzexpositionen können in Höhe des BM für Quarz auftreten.

### 8.10.3 Lagern, Transportieren, Verladen

In den Tätigkeitsbereichen Kommissionierung, Palettierung, Transport (Stapler) und Verladung wurden überwiegend Misch Tätigkeiten im Lagerbereich gemessen, da diese Produktionsabläufe eng miteinander verknüpft sind. Bei der Loseverladung in Silozüge wird im Regelbetrieb kein Staub freigesetzt. Diese Misch Tätigkeiten loser und verpackter Produkte zeigen an einzelnen Arbeitsplätzen deutliche Überschreitungen des BM und des ASGW für die A-Staubfraktion (vgl. IFA Report 6/2020 [35]).

Tabelle 36:  
Abfüllen, Verpacken – Herstellung von Trockenbaustoffen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	99	54	66	66,7	0,055	85,9	11,1	3	NWG !	0,0519 +	0,0714
stationär	69	44	26	37,7	0,04	95,7	4,3	0	0,0055 +	0,027 +	0,0406

Tabelle 36a:  
Erfassung – Abfüllen, Verpacken – Herstellung von Trockenbaustoffen

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	96	51	65	67,7	0,055	87,5	9,4	3,1	NWG !	0,039 +	0,0686

Tabelle 37:  
Lagern, Transportieren, Verladen – Herstellung von Trockenbaustoffen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	29	21	17	58,6	0,033	86,2	13,8	0	NWG !	0,0725	0,334
stationär	12	11	4	33,3	0,009	66,7	33,3	0	0,009 +	0,222	0,344
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	10	7	8	80	0,036	80	20	0	NWG !	0,086	0,543

## 8.11 Betonindustrie (stationärer Betrieb)

Branche
Betonzeugnisse (ohne Fertigteilbauten), Herstellung
Betonzeugnisse, Herstellung und Bearbeitung
Betonwerkstein, Herstellung
Betonplatten, Herstellung
Betonsteine, Herstellung
Betonrohre und -schächte, Herstellung
Dachsteine, Herstellung
Betonfertigteile, Herstellung
Leichtbauplatten (zementgebundene), Herstellung
Porenbetonsteine, Herstellung
Fertigbauteile aus Beton für den Hochbau (großformatige), Herstellung
Decken- und Wandelemente, Herstellung
Fertigaragen u. ä., Herstellung
Transportbeton und -mörtel, Herstellung
Betonwerkstein, Be- und Verarbeitung

Beton wird unter Verwendung von Kies, Sand, Zement, Wasser, bestimmten Zusätzen zur Beeinflussung des Fließ- und Erstarrungsverhaltens sowie ggf. Farbstoffen in Mischanlagen hergestellt. Je nach Art der Weiterverarbeitung ist seine Konsistenz erdfeucht bis flüssig. Die Formgebung des Betons zum Endprodukt erfolgt in Betonsteinfertigern oder auf Rütteltischen zu Betonwaren, z. B. Pflastersteinen, Bordsteinen, Platten, Rohren, Schachtringen und Spaltenböden, bzw. in Schalformen aus Holz oder Stahl zu großformatigen Betonelementen wie Stützen, Bindern, Wandelementen und Filigrandecken. Der Beton wird durch Rütteln, Pressen oder Stampfen verdichtet. Zur Erhöhung der Zugfestigkeit und Stabilität bestimmter Betonzeugnisse werden diese mit Stahlarmierungen versehen, die vor dem Betonieren in die Schalform eingelegt werden.

Insbesondere beim Rütteln und Stampfen der erdfeuchten Betonmischung kann durch Zerkleinerung der quarzhaltigen Mineralstoffe Quarzstaub freigesetzt werden. Zum Teil hohe Staubexpositionen gegenüber quarzhaltigem A-Staub bestehen weiterhin bei der Nach-

bearbeitung der ausgehärteten Betonzeugnisse, wenn Grate oder Fehlstellen trocken ab- bzw. ausgeschliffen, Oberflächen geglättet oder Aussparungen durch Bohren, Sägen, Fräsen oder Meißeln hergestellt werden. Die Staubbelastung in einem Betonwerk hängt maßgeblich von der regelmäßigen Reinigung der Fertigungsbereiche ab, d.h. der Beseitigung von Streuresten und Staubablagerungen. Werden diese nicht beseitigt, kommt es in diesen Bereichen wiederholt zu Staubaufwirbelungen.

Für Transportbetonanlagen gelten die Aussagen für Mischanlagen in Betonwerken, da dort dieselbe Technologie zum Einsatz kommt. Arbeitsvorgänge beim Reinigen des Mixers, wie das Entfernen von Beton- oder Zementablagerungen und das Ausstemmen von abgebundenen Betonresten mit dem Druckluft- oder Elektrohammer, gehören zu den Misch Tätigkeiten des Anlagenfahrers (Disponent), wobei es sich in der Regel um gelegentliche, nur kurz andauernde Tätigkeiten handelt. Hierbei können hohe Staubkonzentrationen auftreten, die das Tragen von partikelfiltrierendem Atemschutz gemäß DGUV Regel 112-190 [36] erforderlich machen. Für die stationären Arbeitsbereiche der Betonindustrie liegt nachfolgend eine Differenzierung der Messdatenkollektive nach einzelnen Tätigkeiten oder Arbeitsbereichen vor.

### 8.11.1 Mischen von Beton

Stationäre Mischer sind in geschlossener Bauweise ausgeführt und werden automatisch gesteuert, sodass sich im Aufstellraum kein ständiger Arbeitsplatz befindet. Sie sind abgesaugt oder zur Entlüftung der beim Befüllvorgang auftretenden Verdrängungsluft an Staubfilter verschiedener Bauweise angeschlossen. Die Datenkollektive beinhalten Messergebnisse von teilautomatisierten bis vollautomatisch betriebenen Mixern. Gemessen wurden vorwiegend entstaubte Mischer und Tätigkeiten, die mit der Herstellung der Betonmischung zusammenhängen, z. B. die Handzugabe von Betonzusätzen, sowie bei Kontrollgängen in Mischanlagen, ggf. mit Reinigungstätigkeiten. Die Perzentilwerte der Messdaten des IFA Reports 6/2020 [35] zeigen vereinzelt deutliche Überschreitungen des ASGW für die A-Staubfraktion, wobei analog auch erhebliche Überschreitungen des BM für Quarz bei Messungen an der Person auftreten können. Es ist zu berücksichtigen, dass im Sinne der Prävention bevorzugt in entsprechenden Arbeitsbereichen gemessen wird, an denen die Staubverhältnisse erkennbar ungünstig sind.

Tabelle 38:  
Mischen von Beton – Betonindustrie (stationärer Betrieb)

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	16	13	6	37,5	0,009	87,5	12,5	0	0,012	0,103	0,248
stationär	42	24	16	38,1	0,059	85,7	11,9	2,4	0,005 +	0,0562 +	0,0677

### 8.11.2 Herstellung von Betonwaren und Betonfertigteilen

Mit erhöhten Staubbelastungen, ggf. der Überschreitung des BM für Quarz in der A-Staubfraktion, ist zu rechnen bei der Herstellung von:

- Betonplatten mit älteren Drehtischpressen mit Stampfwerk (Stampfwerke sind in der Regel gekapselt und abgesaugt),
- Betonwaren auf Rütteltischen oder Rüttelböcken, auf denen die Form lose aufliegt.

Absaugungen sind an Plattenpressen mit Stampfwerk Stand der Technik, jedoch nicht an den anderen Maschinenarten. Brettfertiger sind aus Lärmschutzgründen in der überwiegenden Zahl eingehaust, was gleichzeitig der Staubausbreitung entgegenwirkt. Die Fertigungseinrichtung „Rütteltisch“ führt zur Kornzerkleinerung mit A-Staubentwicklung. Eine Entstaubung durch Absaugen ist kaum möglich. Die Fertigung – Einbringen und/oder Verteilen der Betonmischung in die Formen – erfolgt im Wesentlichen manuell. Die Herstellung von Schächten und Ringen, Rohren mit Rohrfertigern, Betonwaren mit Schiebetischfertigern, Betonwaren mit Brettfertigern, Betonwaren mit Bodenfertigern und Betonfertigteilen wie Decken- und Wandelemente, Stützen und Binder verursacht niedrigere Staubexpositionen. Betondachsteine werden in Ringanlagen auf Stützformen, sogenannten Pellets, gefertigt. Die Betonmischung wird

in herkömmlichen Betonmischanlagen hergestellt. Zu Staubexpositionen kann es bei den Misch Tätigkeiten kommen:

- im Bereich der Mischanlage,
- beim Entschalen der erhärteten Dachsteine,
- beim Reinigen der Stützformen (Pelletreiniger).

Seit dem Fortfall der Besandung von Dachsteinen etwa Mitte der 1980er-Jahre, den verbesserten Entstaubungsmaßnahmen nach dem Stand der Technik (z. B. Absaugung am Betonmischer) und dem druckluftlosen Aufbringen des Oberflächenbeschichtungsmittels konnte eine Abnahme der Staubbelastung an den betreffenden Arbeitsplätzen ermittelt werden. Trotzdem treten häufig kurzzeitig extreme Staubkonzentrationen bei Tätigkeiten mit schnelllaufenden Werkzeugen auf. Dabei sind die gemessenen A-Staubkonzentrationen umso höher, je intensiver die Zerkleinerung der Kies- und Sandkörnung bei der „Betonkosmetik“ bzw. bei der Betonverdichtung erfolgt. Bei Schichtbezug bestätigt sich die Wirksamkeit sowohl verschiedener Staubschutzmaßnahmen in den Betrieben als auch der Automatisierung der Fertigungsabläufe, da der BM meist unterschritten wird. Die niedrigen Differenzen zwischen vorhandenen und nicht vorhandenen Erfassungseinrichtungen deuten auf auffällige Mängel bei der Wirksamkeit bei der Stauberfassung einzelner Anlagen hin.

Tabelle 39:  
Herstellung von Betonwaren und Betonfertigteilen – Betonindustrie (stationärer Betrieb)

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	130	75	63	48,5	0,033	86,9	13,1	0	0,009 +	0,056	0,0985
stationär	106	64	35	33	0,015	93,4	6,6	0	0,007 +	0,034	0,0656
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	12	8	8	66,7	0,052	83,4	8,3	8,3	NWG !	0,0436 +	0,173

Tabelle 39a:  
Erfassung – Herstellung von Betonwaren und Betonfertigteilen – Betonindustrie (stationärer Betrieb)

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	34	17	13	38,2	0,015	82,4	17,6	0	0,013 +	0,0622	0,0989
Erf = nein	78	49	38	48,7	0,023	87,2	12,8	0	0,009 +	0,0692	0,11

### 8.11.3 Be- und Nachbearbeitung von Betonprodukten: Strahlen

Beim Strahlen von Betonoberflächen handelt es sich um die Oberflächenbearbeitung von Betonergebnissen, z. B. Platten und Pflastersteinen, nach dem Stand der Technik in geschlossenen, automatisierten Anlagen mit

Staubabsaugung und Aufbereitung des im Kreislauf verwendeten nicht silikogenen Strahlmittels. Trotz Einhausung weisen an der Person ermittelte Messwerte auf vereinzelte Überschreitungen des BM hin, wobei auch Überschreitungen des ASGW (vgl. IFA Report 6/2020 [35]) ermittelt wurden.

Tabelle 40:  
Be- und Nachbearbeitung von Betonprodukten: Strahlen – Betonindustrie (stationärer Betrieb)

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	16	10	7	43,8	0,009	81,2	18,8	0	0,008 +	0,092	0,24
stationär	19	16	4	21,1	0,009	84,2	15,8	0	0,012	0,15	0,171

### 8.11.4 Be- und Nachbearbeitung von Betonprodukten: mechanisch

Mit hohen Staubkonzentrationen ist beim Bohren, Sägen, Fräsen, Schneiden und Schleifen zu rechnen – insbesondere im Trockenschnitt. Das Trockenschleifen mit Winkelschleifern und Topfschleifmaschinen im Bereich der „Betonkosmetik“ dient zur Reparatur schadhafter Ecken und Kanten, zum Glätten von Betonoberflächen sowie zum Entfernen von Graten und der nachträglichen Herstellung von Anschlüssen an Betonschächten, Betonrohren und Aussparungen. Mobile und stationäre Entstaubungsanlagen sind Stand der Technik – ihre Wirksamkeit ist wesentlich von der Leistungsfähigkeit (z. B. sind stationäre Absauganlagen mit Nassabscheidern gegenüber quarzhaltigem A-Staub nur bedingt nutzbar) und der Instandhaltung abhängig. Häufig werden ergänzend geeignete partikelfiltrierende Atemschutzgeräte gemäß DGUV Regel 112-190 [36] eingesetzt.

Kurzzeitige, vielfach mobile Tätigkeiten mit hohen Expositionen kennzeichnen die mechanische „Betonkosmetik“. Eine wirksame Erfassungstechnik und nasse Arbeitsverfahren können zu niedrigeren Staubexpositionen führen. Werden die Tätigkeiten jedoch nicht separiert mit leistungsfähiger Entstaubungstechnik durchgeführt, können in geschlossenen Räumen auch

erhebliche Staubbelastungen in benachbarten Arbeitsbereichen auftreten. Neben der Überschreitung des ASGW (vgl. IFA Report 6/2020 [35]) ist für die A-Staubfraktion auch mit der Überschreitung des BM für Quarz zu rechnen beim:

- Sägen – sowohl trocken als auch nass (gegenüber dem Nasssägen treten jedoch beim Trockensägen mit Absaugung um mehr als 50 % geringere A-Staubkonzentrationen auf),
- Trockenschleifen ohne Absaugtechnik,
- Stocken von Betonoberflächen ohne Absaugtechnik,
- Ausmauern von Schächten, insbesondere beim Zuschnitt der Hartbrandklinker.

Bei der Nachbearbeitung von Betonoberflächen erweisen sich Nassschleifen und Stocken in abgesaugten, automatisierten Stockanlagen als Stand der Technik. Durch Arbeiten mit Wasserbenetzung kann das Freiwerden von Staub jedoch nur zum Teil unterdrückt werden, denn die Höhe der Staubkonzentration beim Nasssägen wird maßgeblich von der Aerosolbildung und Wasserbeschaffenheit (Umlaufwasser/Frischwasser) beeinflusst.

Tabelle 41:

Be- und Nachbearbeitung von Betonprodukten: mechanisch – Betonindustrie (stationärer Betrieb)

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	58	44	20	34,5	0,015	72,4	27,6	0	0,016	0,102	0,175
stationär	60	45	7	11,7	0,008	83,3	16,7	0	0,014	0,11	0,17
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	9 ***	3 **	3	33,3	0,05	33,3	66,7	0	=Werte: 0,06 bis 0,75		
stationär	14	7	3	21,4	0,018	50	50	0	0,039	0,22	1,26

Tabelle 41a:

Erfassung – Be- und Nachbearbeitung von Betonprodukten: mechanisch – Betonindustrie (stationärer Betrieb)

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	21	15	7	33,3	0,01	85,7	14,3	0	0,013	0,0553	0,0836
Erf = nein	31	29	11	35,5	0,015	61,3	38,7	0	0,026	0,119	0,193

### 8.11.5 Be- und Nachbearbeitung von Betonprodukten: allgemein, Beschichten, Härten, Qualitätskontrolle

Die zusammengefassten Datenkollektive kennzeichnen Mischexpositionen verschiedener, nicht den aufgelisteten Differenzierungen zuzuordnenden Tätigkeiten bei der

Be- und Nachbearbeitung von Betonprodukten, die bei Beschäftigten hohe Staubexpositionen verursachen können. Einzelne Tätigkeiten können zu erheblichen Überschreitungen des BM führen. Es ist entsprechend der ergänzenden **Tabelle 42a** davon auszugehen, dass in diesen Fällen die Wirksamkeit der Erfassungseinrichtungen nicht gegeben ist.

Tabelle 42:

Be- und Nachbearbeitung von Betonprodukten: allgemein, Beschichten, Härten, Qualitätskontrolle – Betonindustrie (stationärer Betrieb)

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	63	40	24	38,1	0,016	68,3	31,7	0	0,013 +	0,363	0,674
stationär	70	40	23	32,9	0,011	88,6	11,4	0	0,006 +	0,052	0,09
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	8 ***	5	3	37,5	0,037	37,5	62,5	0	=Werte: 0,077 bis 2,1		

Tabelle 42a:

Erfassung – Be- und Nachbearbeitung von Betonprodukten: allgemein, Beschichten, Härten, Qualitätskontrolle – Betonindustrie (stationärer Betrieb)

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	15	10	1	6,7	0,009	46,7	53,3	0	0,052	0,32	0,565
Erf = nein	36	25	17	47,2	0,016	77,8	22,2	0	0,008 +	0,276	0,936

### 8.11.6 Transportieren, Verladen und Verpacken von Betonprodukten

Messungen wurden hier im Wesentlichen bei der Bündelung und Verpackung von Betonpflastersteinen, beim Auslagern der Produkte aus den Fertigungshallen und Einlagern im Außenlager sowie bei der Verladung auf Lkw zum Abtransport durchgeführt. Die Arbeitsplätze und

Verpackungsanlagen befinden sich häufig in der Nähe oder innerhalb staubemittlerender Produktionsbereiche, sodass von dorthin Staub übertragen wird. Erhöhte Expositionen gegenüber quarzhaltigen Stäuben sind bei regelmäßiger Reinigung der Lager- bzw. Umschlagplätze vermeidbar. Dazu zählt auch die staubarme Entsorgung zerrissener Gebinde. Die Expositionsdaten zeigen, dass der BM meistens eingehalten werden kann.

Tabelle 43:

Transportieren, Verladen und Verpacken von Betonprodukten – Betonindustrie (stationärer Betrieb)

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	35	22	16	45,7	0,014	91,4	8,6	0	0,01 +	0,0485	0,0722
stationär	26	20	7	26,9	0,01	92,3	7,7	0	0,006 +	0,0488	0,0521

## 9 Keramische und Glasindustrie

### 9.1 Glas, Herstellung und Verarbeitung

#### Branche

Flachglas, Herstellung und Verarbeitung

Hohlglas, Herstellung und Verarbeitung

Hohl-/Pressglas, Herstellung und Verarbeitung

Technisches Glas (einschl. Labor- und optisches Glas),  
Herstellung und Verarbeitung

Spezialglas, Herstellung und Verarbeitung

Perlit (gebläht), Herstellung

Zur Herstellung von Glas werden mineralische Rohstoffe – darunter vor allem Quarzsand, Soda, Alkalicarbonate, Erdalkalioxide sowie spezielle Zusätze – nach Rezeptur dosiert und in Mischern homogenisiert. Dieses Gemenge wird meist in kontinuierlich arbeitenden Wannen (**Abbildung 10**) bei Temperaturen von etwa 1 400 °C zu einer glühflüssigen Masse geschmolzen, die nach dem Formgebungsprozess zu einer amorphen, glasigen Masse erstarrt. Je nach Produkt erfolgt die Formung durch Pressen, Blasen, Schleudern, Walzen oder Ziehen.

Beispiele für die hauptsächlich durch Blas- oder Pressverfahren hergestellten Hohlglasprodukte sind zum Beispiel Wirtschaftsgläser wie Trinkgläser oder Schalen und Behältergläser, z. B. Flaschen und Einmachgläser. Aber auch Spezialprodukte wie Glasbausteine, Fernsehschirme, Weihnachtskugeln und Rohrglas für Ampullen werden zu dieser Gruppe gezählt.

Flachglas wird hauptsächlich im Floatverfahren hergestellt, bei dem das geschmolzene Glas auf ein Bad aus flüssigem Zinn aufschwimmt und so auf die gewünschte Dicke ausgezogen werden kann. Es kann aber auch nach

verschiedenen älteren Verfahren gezogen, gewalzt oder gegossen werden.

Daneben gibt es noch eine ganze Reihe von Gläsern für spezielle Anwendungen wie optische Gläser, technische Gläser, Gläser für die Lichttechnik oder Glaskeramik.

Relevante Staubentwicklung im Bereich der Glasindustrie findet sich bei der Gemengeherstellung (Aufbereitung), beim Einlegen des Gemenges in die Wanne oder den Hafenofer und bei der mechanischen Be- und Nachbearbeitung des fertigen Glases durch Schleifen, Sägen, Bohren, Zuschneiden oder Strahlen.

In den meisten Bereichen liegen die 90-%-Werte für quarzhaltigen A-Staub unterhalb des BM. Im Bereich der Gemengeherstellung gibt es, vor allem in älteren Anlagen, noch erhöhte Expositionen. Allerdings halten sich die Beschäftigten dort einen Teil der Schicht in fremdbelüfteten Schaltwarten auf. Die in den **Tabellen 44 bis 46** ausgewiesenen Werte sind daher in der Regel mit einem Faktor für verkürzte Exposition zu belegen. Bei der mechanischen Be- und Nachbearbeitung des fertigen Glases liegen die Messergebnisse für quarzhaltigen A-Staub um eine Größenordnung unter dem BM, da das Siliziumdioxid nach dem Erstarren des Glases im amorphen Zustand vorliegt. Der Energieeintrag bei der mechanischen Bearbeitung des Glases führt zur örtlichen Erhitzung an der Bearbeitungsstelle und im abgetragenen Glasstaub. Hier kann es, in Abhängigkeit vom Energieeintrag, bei genügend hoher Temperatur zur Teil-Rekristallisierung im Glasstaub und damit zum Nachweis von quarzhaltigen A-Staub kommen. Außerdem kann durch möglicherweise quarzhaltige Materialien, die beim Polieren, Schleifen oder Strahlen verwendet werden, Quarz im A-Staub entstehen.



Abbildung 10:  
Einlegen des Gemenges in  
die Wanne. Quelle: IFA

### 9.1.1 Gemengeherstellung

Tabelle 44:  
Gemengeherstellung – Glas, Herstellung und Verarbeitung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	90	48	56	62,2	0,026	92,2	7,8	0	NWG !	0,034	0,0625
stationär	211	73	81	38,4	0,023	98,1	1,9	0	0,003 +	0,0178 +	0,0333
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	19	15	12	63,2	0,11	73,6	21,1	5,3	NWG !	0,11	0,716
stationär	78	31	55	70,5	0,049	97,4	2,6	0	NWG !	0,0226 +	0,0286 +

### 9.1.2 Schmelzen, Ofen

Tabelle 45:  
Schmelzen, Ofen – Glas, Herstellung und Verarbeitung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	19	13	14	73,7	0,015	100	0	0	NWG !	0,0194	0,0323
stationär	30	13	15	50	0,015	100	0	0	0,002 +	0,0075 +	0,008 +

### 9.1.3 Formen: Blasen, Pressen

Tabelle 46:  
Formen: Blasen, Pressen – Glas, Herstellung und Verarbeitung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	13	8	13	100	0,009	100	0	0	NWG !	NWG !	NWG !
stationär	47	23	34	72,3	0,014	100	0	0	NWG !	0,0042 +	0,0135 +

### 9.1.4 Formenwerkstatt

Tabelle 47:  
Formenwerkstatt – Glas, Herstellung und Verarbeitung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	10	6	8	80	0,009	100	0	0	NWG !	0,007 +	0,0095
stationär	20	12	8	40	0,005	100	0	0	0,001 +	0,004 +	0,009

### 9.1.5 Glasverarbeitung, Lagern, Verpacken

Tabelle 48:  
Glasverarbeitung, Lagern, Verpacken – Glas, Herstellung und Verarbeitung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	22	16	14	63,6	0,006	100	0	0	NWG !	0,002 +	0,0029 +

### 9.1.6 Oberflächenbehandlung, Oberflächenbeschichtung

Tabelle 49:  
Oberflächenbehandlung, Oberflächenbeschichtung – Glas, Herstellung und Verarbeitung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	10	8	5	50	0,002	100	0	0	0,001 +	0,003	0,005

### 9.1.7 Mechanische Bearbeitung und Nachbearbeitung: Polieren, Schleifen, Strahlen, Zuschneiden

Tabelle 50: Mechanische Bearbeitung und Nachbearbeitung: Polieren, Schleifen, Strahlen, Zuschneiden – Glas, Herstellung und Verarbeitung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	32	20	27	84,4	0,015	100	0	0	NWG !	0,0073 +	0,0132 +
stationär	62	34	33	53,2	0,021	100	0	0	NWG !	0,0058 +	0,01 +

Abbildung 11: Feuerpolieren von Hohlglasartikeln. Quelle: VBG



### 9.1.8 Cristobalit bei der Glasherstellung und -verarbeitung

Cristobalitexpositionen sind bei der Glasherstellung nicht festzustellen. Lediglich bei der Weiterverarbeitung von Spezialglas mit hohem SiO<sub>2</sub>-Gehalt, z. B. zu Strahlperlen, tritt Cristobalit auf. Bei Abfüll- und Umfüllprozessen von Strahlperlen sind Cristobalitbelastungen mit mehrfacher Überschreitung des BM für Quarz zu beobachten.

### 9.2 Glasfasern, Mineralfasern, Herstellung und Verarbeitung

Branche
Künstliche Mineralfasern, Verarbeitung
Natürliche und künstliche Mineralfasern, Verarbeitung
Keramikfasern, Herstellung
Keramikfasern, Verarbeitung
Steinwolle, Herstellung
Steinwolle, Verarbeitung
Glasfasern, Herstellung und Verarbeitung

Zur Herstellung von künstlichen Mineralfasern (Glas-, Schlacken- oder Steinwolle) werden mineralische Rohstoffe wie Kalkstein, Feldspat, Dolomit, Basalt, Sand und Zement oder auch Altglas mechanisch zerkleinert, gemischt und dosiert. Dieses Gemenge wird meist in kontinuierlich arbeitenden Schmelzaggregaten, z. B. Wannen oder Schachtöfen bei Temperaturen von ca. 1300 bis 1500 °C zu einer glühflüssigen Masse geschmolzen (Glasschmelze). Aus dieser Schmelze werden je nach Verfahren durch Zentrifugieren, Schleudern, Zerblasen oder Düsenziehen künstliche Mineralfasern (feine Fäden) geformt (Formgebung). Beim Zerfaserungsprozess wird auf die Fasern ein Gemisch aus Kunstharz-Vorpolymerisaten (Phenol, Harnstoff und Formaldehyd), Staubbindern (Öl) und weiteren Zusätzen aufgesprüht. Die Fasern kühlen schnell ab, erstarren glasig und werden zu einem Faservlies verdichtet. Das Vorpolymerisat wird anschließend in einem Tunnelofen bei ca. 250 °C ausgehärtet, wodurch die Faserprodukte ihre Strukturstabilität erhalten. In der Nachbearbeitung werden aus dem Endlosband die Konfektionsmaße geschnitten.

Bei der Herstellung von Hochtemperaturfasern werden meist sehr reine Rohstoffe aus Silizium-, Aluminium-, Bor- und Zirkonoxid in einem ersten Aufbereitungsschritt zerkleinert, gemischt und dosiert. Das Verspinnen kann durch Schmelz- oder Trockenspinnen unter Verwendung von Sol-Gel-Polymerlösungen erfolgen. Unter hohem Druck wird die Suspension durch feinste Düsen gedrückt, wobei Fadenbildung eintritt. Durch den freien Fall in einem beheizten Spinnstichtrocknen die Fasern. In einem nächsten Schritt werden die Grünfasern in einem Tunnelofen bei ca. 1 000 bis 1 200 °C pyrolysiert und dadurch zu polykristallinen oder amorphen keramischen Fasern umgewandelt. In der folgenden Nachbearbeitung werden die Fasermatten durch Zuschneiden konfektioni-ert.

Quarzhaltige Stäube entstehen im Bereich der Auf- bereitungsanlagen. In den meisten Bereichen liegen die 90-%-Werte für quarzhaltigen A-Staub unterhalb des BM. Im Bereich der Rohstoffaufbereitung und Dosierung gibt es, vor allem in älteren Anlagen, noch erhöhte Expositionen. Die Anlagen sind hoch automatisiert, so dass sich die Beschäftigten dort einen Teil der Schicht in fremdbelüfteten Schaltwarten aufhalten.

Abbildung 12: Produkte aus Hochtemperaturfasern. Quelle: VBG



Abbildung 13: Erzeugnisse aus Mineralwolle-Dämmstoffen. Quelle: VBG



Tabelle 51:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Glasfasern, Mineralfasern, Herstellung und Verarbeitung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	21	9	18	85,7	0,041	100	0	0	NWG !	0,0158 +	0,0203 +
stationär	48	16	25	52,1	0,029	100	0	0	NWG !	0,0086 +	0,0136 +
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	12	6	5	41,7	0,035	75	25	0	0,0175 +	0,0848	0,147

### 9.3 Quarzglas (einschließlich Kristallzucht- ung), Herstellung und Verarbeitung

#### Branche

Quarzglas (einschl. Kristallzucht-  
ung),  
Herstellung und Verarbeitung

Quarzglas besteht aus reinem SiO<sub>2</sub> und enthält im Gegen-  
satz zu den üblichen Glassorten keine weiteren Kom-  
ponenten wie Kalk oder Soda. Sogenanntes natürliches  
Quarzglas wird durch Aufschmelzen von hochreinem  
Quarz oder anderen Mineralien gewonnen, die SiO<sub>2</sub>  
enthalten. Alternativ dazu kann das Ausgangsmaterial  
SiO<sub>2</sub> auch durch Oxidation von flüchtigen Siliciumver-

bindungen wie SiCl<sub>4</sub> mit Sauerstoff gewonnen werden.  
Aufgrund des im Gegensatz zu kristallinem Quarz  
amorphen Gefüges wird Quarzglas auch als Kieselglas  
(fused silica) bezeichnet. Seine besonderen Werkstoff-  
eigenschaften wie optische Durchlässigkeit, chemische  
Beständigkeit und hohe Temperaturwechselbeständigkeit  
machen Quarzglas zu einem wichtigen Rohstoff für eine  
breite Palette technischer Anwendungen.

Die Herstellungsprozesse sind in der Regel hochtech-  
nisiert und entsprechen in der Regel dem Stand der Tech-  
nik. Daher liegt trotz der bei der Herstellung verwendeten  
hochreinen Quarzmaterialien der 95%-Wert deutlich  
unter dem BM für quarzhaltigen A-Staub.

Tabelle 52:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Quarzglas (einschließlich Kristallzucht-  
ung), Herstellung und  
Verarbeitung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	15	9	8	53,3	0,017	100	0	0	NWG !	0,0295	0,037
stationär	28	11	14	50	0,01	100	0	0	0,001 +	0,0052 +	0,0066 +
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	10	5	9	90	0,018	100	0	0	NWG !	0,006 +	0,0075 +

## 9.4 Ton und Kaolin, Gewinnung

### Branche

Schiefer, Ton und Kaolin, Gewinnung

Ton und Kaolin, Gewinnung

Tone und Kaoline werden überwiegend im Tagebau selektiv mit Baggern gewonnen. Der Rohstoff wird über Bandstraßen, Lkw oder Dumper in Zwischenlager transportiert, ggf. in Brechern zerkleinert und grob vorgemischt. Da Kaolin meist mit Quarz, Glimmer und Feldspat verunreinigt ist, muss der Kaolin durch Trennverfahren separiert werden. Feinkaolin ist ein wichtiger Rohstoff für die Porzellan- und Papierindustrie. Sande und Feldspate werden klassiert und teilweise gemahlen. Die dabei anfallenden Quarzsande finden unter anderem Anwendung als Rohstoff für die Herstellung von Glas und bei der Produktion von hochwertigen Bauprodukten wie Edelputze.

Der Schwerpunkt der Belastung durch quarzhaltigen A-Staub bei der Gewinnung von Ton und Kaolin liegt auf den Aufbereitungsprozessen, bei denen die meist im Tagebau gewonnenen Materialien zerkleinert, gemahlen, klassiert, gemischt und abgesackt werden. Die dabei entstehenden Stäube weisen oft einen überdurchschnittlich hohen Anteil an quarzhaltigem A-Staub auf. Diese Arbeitsvorgänge sind in **Tabelle 53** nicht separat ausgewiesen.

Abbildung 14:  
Gewinnung von Kaolin im Tagebau. Quelle: VBG



Tabelle 53:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Ton, Kaolin, Gewinnung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	17	7	6	35,3	0,01	76,5	23,5	0	0,0185	0,198	0,313
stationär	13	4 **	2	15,4	0,002	84,6	15,4	0	0,009	0,0531	0,0795

## 9.5 Feuerfeste Waren, Herstellung

### Branche

Feuerfeste Waren, Herstellung

Feuerfeste Materialien bestehen aus keramischen Werkstoffen, deren Erweichungspunkt unter Temperatureinwirkung oberhalb von 1 500 °C liegt. Je nach Anwendungs- und Einsatzzweck halten feuerfeste Erzeugnisse Temperaturen bis zu 2 500 °C stand. Als Rohstoffe werden, neben feuerfestem Ton und Schamotte, sowohl oxidische als auch nichtoxidische keramische Stoffe eingesetzt. Beispiele dafür sind Siliziumcarbid (SiC), Steatit ( $\text{MgSiO}_3$ ), Aluminiumoxid ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) und die verschiedensten Metalloxide (Zr, Ti, Ni, Cr und andere). Die Zugabe von Graphitstaub fördert die Wärmeumwandlung. Bei der Herstellung dieser Materialien werden in der Aufbereitung die Rohstoffe klassiert, dosiert und gemischt.

Vor der Formgebung werden oft chemische Binder wie Harze, Teer, Zement, Magnesiumsalze und Phosphate zugesetzt. Je nach Anforderung werden die Erzeugnisse durch (halb-)plastische Formgebung, Trockenpressen oder Stampfen aus pulverförmigen Massen hergestellt. Der anschließende Brand verleiht den feuerfesten Materialien durch Stoffwandlung die unterschiedlichen physikalischen, chemischen und thermischen Eigenschaften. Einsatzgebiet von feuerfesten Materialien und Werkstoffen sind in erster Linie Hochtemperaturprozesse in der Metall-, Keramik- und Glasindustrie.

Stäube entstehen hauptsächlich im Bereich der Materialaufbereitung. Dort werden die keramischen Rohstoffe, oft in trockenem Zustand, zerkleinert, gemahlen, gewogen, gemischt und transportiert. Die 90-%-Werte liegen in diesen Bereichen deutlich über dem BM für quarzhaltigen A-Staub. Allerdings halten sich die dort Beschäftigten einen Teil der Schicht in fremdbelüfteten Schaltwarten auf. Die in den Tabellen 54 bis 59 ausgewiesenen Werte, insbesondere die stationären, sind daher in der Regel mit einem Faktor für verkürzte Exposition zu belegen. Bei Formgebung, Brand und Nachbearbeitung der feuerfesten Erzeugnisse treten erhöhte Expositionen vor allem bei trockenen Be- und Verarbeitungsprozessen sowie beim Handling der getrockneten und gebrannten Erzeugnisse auf. Die Erfassung der freiwerdenden Stäube und Abfälle ist bei diesen Prozessen noch verbesserungsbedürftig.

Abbildung 15:  
Feuerfestprodukte. Quelle: VBG



### 9.5.1 Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren

Tabelle 54:

Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	109	38	48	44	0,11	61,5	27,5	11	0,0238 +	0,21	0,37
stationär	203	40	37	18,2	0,057	86,2	13,3	0,5	0,013 +	0,0594	0,1
<b>&lt; 2 h</b>											
stationär	89	21	4	4,5	0,023	42,7	57,3	0	0,0695	1,22	2,2

Tabelle 54a:

Erfassung – Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren – Feuerfeste Waren, Herstellung

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	84	35	39	46,4	0,11	63,1	26,2	10,7	0,023 +	0,176	0,312
Erf = nein	10	7	5	50	0,051	70	20	10	0,012 +	0,16	0,29

Tabelle 55:

Cristobalit – Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	33	11	26	78,8	0,06	69,7	9,1	21,2	NWG !	0,0349 +	0,134
stationär	89	13	62	69,7	0,057	93,3	5,6	1,1	NWG !	0,0371 +	0,0524 +
<b>&lt; 2 h</b>											
stationär	34	11	16	47,1	0,022	70,6	29,4	0	+0,011	0,0936	0,266

## Quarz und Cristobalit – Paare aufsummiert

Cristobalit tritt im Bereich der Aufbereitung als Bestandteil von Schamotte auf, die bestimmten Rohstoffmischungen zugesetzt wird. Im Bereich Aufbereitung (Mischen, Sieben, Transportieren) lag bei personengetragenen bzw. stationären Messungen nur in etwa 10 bzw. 15 % der Fälle eine nachweisbare Cristobalitetexposition vor. Insgesamt ist jedoch festzustellen, dass bei Berücksichtigung der Summe von Quarz und Cristobalit die 90%-Werte der Exposition um etwa ein Drittel

höher liegen als bei alleiniger Betrachtung von Quarz (siehe **Tabelle 56**). Die Höhe der Cristobalitetexpositionen ist in **Tabelle 55** dargestellt. Obwohl in dem Datenkollektiv für Cristobalit ein erheblicher Teil der Messwerte unter der NWG liegt, ist die Anhebung der Exposition von silikogenen Komponenten durch Cristobalit doch signifikant.

Die auffällig hohen 90%-Werte der stationären Messungen mit Dauer < 2 h gehen auf Messsituationen zurück, die überwiegend emissions- und tätigkeitsbezogen waren.

Tabelle 56:

Quarz und Cristobalit (Paare aufsummiert) – Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte #	Anzahl Betriebe	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>								
an der Person	109	38	57,8	28,4	13,8	0,027 +	0,284	0,4065
stationär	203	40	81,3	18,2	0,5	0,014 +	0,0865 +	0,1385
<b>&lt; 2 h</b>								
stationär	89	21	36,0	64,0	0	0,0755	1,438	2,2

# Werte, die als Summe aus einem Quarz- und einem Cristobalitmesswert vom selben Probenträger in die Statistik eingehen, wurden als ein Messwert gezählt

Tabelle 57:

Quarz mit Cristobalitwerten – Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	33	11	18	54,5	0,11	39,4	33,3	27,3	NWG !	0,107 +	0,177
stationär	89	13	16	18,0	0,057	86,5	1,1	12,4	0,013 +	0,0525 +	0,0837
<b>&lt; 2 h</b>											
stationär	34	11	1	2,9	0,02	47,1	52,9	0	0,051	0,268	0,671

## 9.5.2 Aufbereitung: Zerkleinern und Mahlen

Tabelle 58:  
Aufbereitung: Zerkleinern und Mahlen – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	25	8	14	56	0,14	52	32	16	NWG !	0,23	0,278
stationär	14	8	5	35,7	0,01	92,9	7,1	0	0,005 +	0,0312	0,445
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	15	6	1	6,7	0,038	40	60	0	0,175	0,8	0,95

### Quarz und Cristobalit – Paare aufsummiert

Auch für diesen Bereich sind höhere Expositionen bei der gemeinsamen Betrachtung von Quarz und Cristobalit zu verzeichnen. Der Unterschied ist jedoch nicht so groß wie im vorhergehenden Bereich Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren.

Tabelle 59:  
Quarz und Cristobalit (Paare aufsummiert) – Aufbereitung: Zerkleinern und Mahlen – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte #	Anzahl Betriebe	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>								
an der Person	25	8	52	32	16	NWG !	0,2433	0,3083
stationär	13	8	92,9	7,1	0	0,005 +	0,0336	0,4452
<b>&lt; 2h</b>								
stationär	15	6	33,3	66,7	0	0,2685	0,86	0,9553

# Werte, die als Summe aus einem Quarz- und einem Cristobalitmesswert vom selben Probenträger in die Statistik eingehen, wurden als ein Messwert gezählt

### 9.5.3 Formgebung

Tabelle 60:  
Formgebung – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	29	18	17	58,6	0,046	89,7	10,3	0	NWG !	0,0508	0,104
stationär	217	30	46	21,2	0,01	98,6	1,4	0	0,005 +	0,0183	0,024
<b>&lt; 2 h</b>											
stationär	10	3 **	4	40	0,015	90	10	0	0,006 +	0,034	0,0635

#### Cristobalit

Eine relevante Anhebung der Exposition gegenüber silikogenen Komponenten durch Cristobalit ist nicht festzustellen. Von 98 Cristobalit-Messwerten (stationäre Messungen) sind nur 20 % nachweisbare Expositionen, die zudem unter 1/10 des BM liegen.

Tabelle 61:  
Cristobalit – Formgebung – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	98	12	76	77,6	0,008	100	0	0	NWG !	0,0036 +	0,005 +

### 9.5.4 Fertigmachen zum Brand



Abbildung 16:  
Setzen von Feuerfeststeinen  
auf Ofenwagen. Quelle: VBG

Tabelle 62:  
Fertigmachen zum Brand – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	14	6	3	21,4	0,001	100	0	0	0,002	0,01	0,0181

### 9.5.5 Brand

Tabelle 63:  
Brand – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	24	11	13	54,2	0,021	91,7	8,3	0	NWG !	0,0374	0,0558
stationär	44	15	2	4,5	0,01	95,5	4,5	0	0,009 +	0,0298	0,0454

### 9.5.6 Nachbearbeitung

Tabelle 64:  
Nachbearbeitung – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	31	16	19	61,3	0,015	93,5	6,5	0	NWG !	0,0377	0,0552
stationär	59	25	14	23,7	0,019	98,3	1,7	0	0,005 +	0,018 +	0,0255

Tabelle 65:  
Cristobalit – Nachbearbeitung – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	21	14	5	23,8	0,007	95,2	4,8	0	0,012	0,0389	0,0428

#### Quarz und Cristobalit – Paare aufsummiert

Für das Kollektiv der stationären Messungen ist erkennbar, dass die Cristobalitetexposition die silikogenen Expositionen anhebt (Faktor 2). Für die personenge-tragenen Messungen ist jedoch kein derartiger Effekt

zu beobachten (Tabelle 66). Eine Anhebung der Expositionen bei Berücksichtigung von Cristobalit im gleichen Maße würde im 90%-Wert zu einer deutlichen Überschreitung des BM führen. Ob dies tatsächlich der Fall ist, sollte zukünftig durch Expositionsmessungen an der Person überprüft werden.

Tabelle 66:  
Quarz und Cristobalit (Paare aufsummiert) – Nachbearbeitung – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probenahme- art	Anzahl Messwerte #	Anzahl Betriebe	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>								
an der Person	31	16	93,5	6,5	0	NWG !	0,0377	0,0552
stationär	59	25	96,6	3,4	0	0,006 +	0,035	0,0441

# Werte, die als Summe aus einem Quarz- und einem Cristobalitmesswert vom selben Proben-träger in die Statistik eingehen, wurden als ein Messwert gezählt

### 9.5.7 Verpackung, Qualitätskontrolle

Tabelle 67:  
Verpackung, Qualitätskontrolle – Feuerfeste Waren, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	14	7	0		k. A.	100	0	0	0,004	0,0146	0,0168

### 9.6 Kalksandstein, Herstellung

#### Branche

Kalksandsteine, Herstellung

Sand und Branntkalk werden miteinander gemischt und über Förderanlagen in einen Reaktor geführt. Dort löscht der Branntkalk unter Zugabe von Wasser exotherm zu Kalkhydrat (Ca(OH)<sub>2</sub>) ab. Durch weiteres Anfeuchten wird die optimale Pressfeuchte erreicht. Mit hydraulischen Pressen werden die Steine geformt. In Steinhärtekesseln erfolgt dann das Härten der Rohlinge bei Temperaturen von ca. 200° C unter Sattedampfdruck. Die beim Herstellungsprozess gebildeten Kalksilikathydrat-Phasen verleihen dem Steinrohling seine Festigkeit.

Überschreitungen des BM für quarzhaltigen A-Staub finden sich vor allem bei der Nachbearbeitung der fertigen Kalksandsteine und teilweise im Bereich Aufbereitung. Bei der Nachbearbeitung werden die Steine mit spanenden Verfahren bearbeitet bzw. auf Maß gebracht. Diese Bearbeitungsvorgänge, bei denen z. B. die Steine zum Vermauern in Dünnbettmörtel plangeschliffen, die Kanten gefast oder Sichtflächen bossiert oder gebrochen werden, haben in den letzten Jahren stark zugenommen.

Abbildung 17:  
Ausfahrt von Steinhärtekesseln für Kalksandsteine.  
Quelle: VBG



#### 9.6.1 Aufbereitung

Tabelle 68:  
Aufbereitung – Kalksandstein, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	5 ***	5	1	20	0,01	80	20	0	=-Werte: 0,003 bis 0,063		
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	15	7	1	6,7	0,034	20	80	0	0,11	3,35	3,475

## 9.6.2 Formgebung

Tabelle 69:  
Formgebung – Kalksandstein, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	35	25	17	48,6	0,017	97,1	2,9	0	0,0085 +	0,0305	0,0335
stationär	41	25	6	14,6	0,011	95,1	4,9	0	0,0125	0,0399	0,0467
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	32	11	2	6,3	0,036	43,7	56,3	0	0,052	0,108	0,152

## 9.6.3 Nachbearbeitung

Tabelle 70:  
Nachbearbeitung – Kalksandstein, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	17	15	9	52,9	0,011	82,4	17,6	0	NWG !	0,0771	0,112
stationär	23	15	0		k. A.	87	13	0	0,008	0,054	0,0838

## 9.7 Porzellan und Keramik (industriell), Herstellung

### Branche

Porzellan und feinkeramische Massen, Herstellung

Porzellan und Geschirrkemik, Herstellung

Gebrauchs-, Zier- und Kunstkeramik (industriell), Herstellung

Als Einheitsersatz für Porzellanmasse kann eine Mischung von 50 % Kaolin, 25 % Quarz und 25 % Feldspat angesehen werden. Die Hartstoffe Quarz und Feldspat werden in Trommelmühlen feinstgemahlen und der Kaolinschlämme beigemischt. Das Kaolin wird in Bottichen mithilfe von Quirlen in Wasser suspendiert. Der so entstandene Schlicker wird entweder direkt verarbeitet oder in Filterpressen entwässert. Ein weiteres Verfahren ist die Herstellung von Granulat durch Eindrüsen des Schlickers in einen Sprühturm. Seit Mitte der

1970er-Jahre sind die Porzellanfabriken immer mehr dazu übergegangen, fertige Masse von Rohstoffherstellern zu beziehen, statt sie selbst aufzubereiten. Die Staubbelastung in den Porzellanbetrieben hat sich dadurch deutlich verringert. Beim Formgebungsprozess werden rotationssymmetrische Artikel auf Maschinen (ein-)gedreht oder überrollert. Beim Gießen wird Schlicker in Gipsformen gefüllt, wobei an der Grenzschicht durch die wassersaugende Eigenschaft des Gipses ein Scherben entsteht. Der überschüssige Schlicker wird ausgegossen und der Rohling entformt. Seit Ende der 1980er-Jahre werden Großserien durch isostatisches Verpressen von Sprühkorn hergestellt. Nähte und Grate an den getrockneten Rohlingen werden abgekratzt und anschließend mit feuchten Schwämmen geglättet. Der Biskuitbrand verleiht dem Rohling die nötige Festigkeit, um ihn anschließend glasieren zu können. Danach findet der Glattbrand und eventuell noch ein Dekorbrand statt. In einem letzten Arbeitsgang, der Nachbearbeitung, werden die Standflächen der Porzellanartikel glattgeschliffen.

Zum Teil noch deutliche Überschreitungen des BM für quarzhaltigen A-Staub finden sich hauptsächlich im Bereich Aufbereitung, aber auch beim Brand und beim Putzen. Im Bereich Brand wird durch die starke Thermik der Staub lange Zeit in Schwebelage gehalten, das Putzen (Entfernen von Graten und Unebenheiten) erfolgt vorwiegend manuell. Im Bereich der Nachbearbeitung kann mithilfe von gut angepassten stationären Absauganlagen der BM für quarzhaltigen A-Staub in der Regel eingehalten werden. Die Porzellanindustrie ist ein Beispiel dafür, wie die Staubsituation im Laufe der Jahre durch Modernisierung der Produktionstechnik und damit einhergehende Optimierung vor allem der technischen Staubschutzmaßnahmen deutlich verbessert werden konnte. Überdies wurde der Bereich der Masseaufbereitung mittlerweile zum großen Teil an externe Dienstleister ausgelagert. Diese Betriebe sind bei der Auswertung in den Abschnitten 9.4 und 9.7.1 miterfasst.

Abbildung 18:  
Staubarmes Entnehmen von Kaolin aus einer Materialbox mittels Saugschlauch. Quelle: VBG



### 9.7.1 Aufbereitung

Tabelle 71:  
Aufbereitung – Porzellan und Keramik (industriell), Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	23	13	5	21,7	0,009	69,6	30,4	0	0,028	0,0931	0,1
stationär	36	16	1	2,8	0,001	69,4	30,6	0	0,007	0,104	0,134
<b>&lt; 2 h</b>											
stationär	25	11	4	16	0,038	52	48	0	0,041	0,39	0,838

### 9.7.2 Formgebung



Abbildung 19: Staubarme Formgebung von Porzellangeschirr durch Druckgussverfahren. Quelle: VBG

Tabelle 72: Formgebung – Porzellan und Keramik (industriell), Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	28	18	12	42,9	0,01	89,3	10,7	0	0,009 +	0,0388	0,0594
stationär	57	29	4	7	0,009	100	0	0	0,007 +	0,0223	0,0243

### 9.7.3 Dekoration, Druck, Brand



Abbildung 20: Tunnelofenausfahrt nach dem Brand. Quelle: VBG

Tabelle 73: Dekoration, Druck, Brand – Porzellan und Keramik (industriell), Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	24	13	11	45,8	0,012	75	25	0	0,006 +	0,0952	0,118
stationär	57	26	7	12,3	0,006	96,5	3,5	0	0,003 +	0,0159	0,0221

### 9.7.4 Putzen

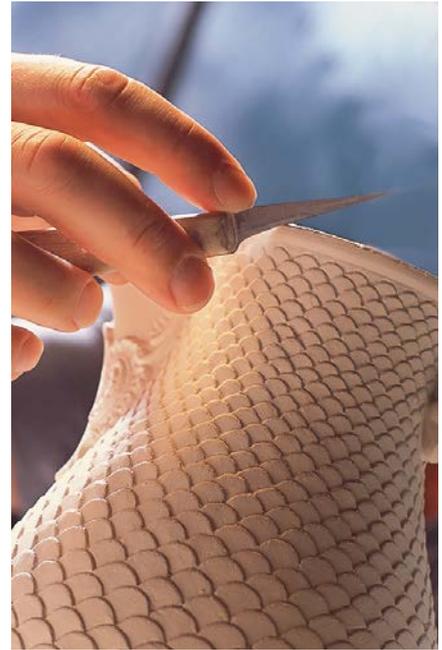


Abbildung 21:  
Manueller Weißputz von  
Porzellan. Quelle: VBG

Tabelle 74:  
Putzen – Porzellan und Keramik (industriell), Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	21	13	9	42,9	0,009	85,7	14,3	0	0,0095	0,103	0,119
stationär	42	18	0		k. A.	97,6	2,4	0	0,004	0,0198	0,0288

### 9.7.5 Nachbearbeitung

Tabelle 75:  
Nachbearbeitung – Porzellan und Keramik (industriell), Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	20	11	15	75	0,017	95	5	0	NWG!	0,028	0,029
stationär	30	14	5	16,7	0,015	93,3	6,7	0	0,002 +	0,014 +	0,0495

## 9.8 Sanitärkeramik, Herstellung

### Branche

Sanitärkeramik, Herstellung

Bei der Sanitärkeramik handelt es sich um eine besonders dichte Art von Porzellan (Vitreous China) mit hoher mechanischer Festigkeit. Typische Produkte sind Waschbecken, Waschtische, Spülbecken, Klosetts und Urinale. Bei ihrer Herstellung werden die Rohstoffe Quarz, Feldspat, Kaolin und Ton in Trommelmühlen gemahlen. Der entstehende Schlicker wird in Gipsformen gegossen, wobei an der Grenzschicht durch die wassersaugende Eigenschaft des Gipses der sogenannte Scherben entsteht. Der überschüssige Schlicker wird ausgegossen und der Rohling entformt. Seit einigen Jahren wird zur Formgebung zunehmend das Druckgussverfahren mit Kunststoffformen genutzt.

Nach der Formgebung und Trocknung werden die Keramikteile im Weißputzbereich manuell nachbearbeitet. Mit Schleifpapier oder -geweben werden die

Sanitärteile von Formgebungsnahten der mehrteiligen Formen und anderen Oberflächenfehlern durch schleifende Tätigkeiten gesäubert. Die Oberflächen werden abschließend mit feuchten Schwämmen geglättet. Für das nachfolgende Glasieren mit der keramischen Glasur wird eine staubfreie Oberfläche benötigt. Die Sanitärteile werden deshalb mittels Druckluft in abgesaugten Kabinen durch Abblasen gereinigt. Die Glasurschicht wird meist im Spritzverfahren aufgebracht. Anschließend wird der Formling gebrannt. Hochwertige Sanitärkeramik wird seit Mitte der 1980er-Jahre durch Schleifen oder Aufmaßsägen veredelt.

Die Expositionssituation ist mit der im Abschnitt 9.7 beschriebenen vergleichbar. Problematisch ist die Stauberfassung besonders bei der trockenen, überwiegend manuellen Bearbeitung von großformatigen Produkten (Fertigmachen zum Brand) wie Waschtischen oder WCs. Eine direkte und vollständige Stauberfassung an der Putzstelle ist aufgrund der Größe und der sehr unterschiedlichen Formen und Konturen nur mit Absaugkabinen möglich, die mit speziell konstruierten Absaugelementen ausgerüstet sind.

### 9.8.1 Aufbereitung

Tabelle 76:  
Aufbereitung – Sanitärkeramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	12	7	4	33,3	0,009	83,3	16,7	0	0,029	0,106	0,124
stationär	8 ***	5	1	12,5	0,001	62,5	37,5	0	=Werte: 0,01 bis 0,12		

## 9.8.2 Formgebung



Abbildung 22:  
WC-Becken nach der  
Formgebung. Quelle: VBG

Tabelle 77:  
Formgebung – Sanitärkeramik, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	11	5	3	27,3	0,009	54,5	45,5	0	0,0425	0,167	0,242
stationär	28	7	1	3,6	0,011	89,3	10,7	0	0,019	0,0508	0,063
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	9 ***	5	0		k. A.	55,6	44,4	0	=-Werte: 0,004 bis 0,2		

### 9.8.3 Fertigmachen zum Brand

Tabelle 78:  
Fertigmachen zum Brand – Sanitärkeramik, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	66	11	13	19,7	0,026	50	50	0	0,046	0,294	0,338
stationär	45	12	1	2,2	0,011	93,3	6,7	0	0,008 +	0,022	0,0522
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	15	6	2	13,3	0,017	20	80	0	0,15	0,535	0,92
stationär	13	7	0		k. A.	46,2	53,8	0	0,044	0,714	0,738

Tabelle 78a:  
Erfassung – Fertigmachen zum Brand – Sanitärkeramik, Herstellung

Erfassung	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	65	11	12	18,5	0,026	49,2	50,8	0	0,0495	0,295	0,34

### 9.8.4 Nachbearbeitung



Abbildung 23:  
Weißputz an WC-Becken in einer  
Weißputzkabine. Quelle: VBG

Tabelle 79:  
Nachbearbeitung – Sanitärkeramik, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	11	6	2	18,2	0,009	63,6	36,4	0	0,017	0,0958	0,343
stationär	9 ***	5	0		k. A.	77,8	22,2	0	=Werte: 0,004 bis 0,14		

## 9.9 Technische Keramik, Herstellung

### Branche

Technische Keramik, Herstellung

Sonderkeramik, Herstellung

Technische Keramik ist eine Sammelbezeichnung für Erzeugnisse, die im technischen Bereich (z. B. Elektronik und Elektrotechnik, Chemie, Labor, Medizintechnik oder Maschinen- und Automobilbau) vielfältigste Anwendung finden. Ihre Eigenschaften werden gezielt auf bestimmte technische Anwendungen hin optimiert. Neben normalen Porzellanrohstoffen werden bei der Herstellung hauptsächlich Werkstoffe wie Steatit, Cordierit, Aluminiumoxid, Zirkonoxid und Silikatkeramik, aber auch nicht-oxidische Materialien wie Carbide oder Nitride eingesetzt. Aufbereitung, Formgebung und Brand sind auf den jeweiligen Rohstoff abgestimmt. Bei der Produktion kommen häufig spezielle Formgebungs- und Brennverfahren zum Einsatz, z. B. heißisostatisches Pressen und Brennen unter reduzierender Atmosphäre.

Nach der Formgebung und Trocknung werden die Formlinge manuell nachbearbeitet. Mit Schleifpapier oder -geweben werden die Teile von Formgebungsnahten und anderen Oberflächenfehlern gesäubert. Die Oberflächen werden abschließend mit feuchten Schwämmen geglättet.

Durch den Einsatz von überwiegend quarzfreien Rohstoffen und Materialien wird der BM für quarzhaltigen A-Staub in den meisten Arbeitsbereichen eingehalten. Im Bereich der Gemengeaufbereitung liegen insbesondere die an der Person gemessenen 90%-Werte für quarzhaltigen A-Staub etwas oberhalb des BM. In den nachgeschalteten Produktionsschritten befinden sich die Maßnahmen zum Staubschutz üblicherweise auf einem hohen technischen Niveau, was sich in der vorliegenden Auswertung widerspiegelt. Im Bereich Fertigmachen zum Brand zeigen sich ebenfalls erhöhte personenbezogene Messwerte für quarzhaltigen A-Staub. Ursache dafür sind manuelle Bearbeitungsvorgänge beim Putzen der Teile sowie die gelegentliche Verwendung quarzhaltiger Brennhilfsmittel.

Abbildung 24:  
Pressen von Keramikartikeln für technische Anwendungen. Quelle: VBG



### 9.9.1 Aufbereitung: Mischen, Sieben und Transportieren

Tabelle 80:

Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren – Technische Keramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	45	21	22	48,9	0,022	84,4	15,6	0	0,0075 +	0,066	0,0783
stationär	58	19	6	10,3	0,018	96,6	3,4	0	0,007 +	0,0232	0,0329
<b>&lt; 2 h</b>											
stationär	19	8	6	31,6	0,023	63,2	36,8	0	0,0138 +	0,189	0,271

Tabelle 80a:

Erfassung – Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren – Technische Keramik, Herstellung

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf=ja	32	15	14	43,8	0,019	84,4	15,6	0	0,008 +	0,0642	0,0758

### 9.9.2 Aufbereitung: Zerkleinern, Mahlen

Tabelle 81:

Aufbereitung: Zerkleinern, Mahlen – Technische Keramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	18	15	8	44,4	0,019	88,9	11,1	0	0,01 +	0,0558	0,0965
stationär	19	12	3	15,8	0,004	94,7	5,3	0	0,007	0,0441	0,0454
<b>&lt; 2 h</b>											
stationär	9 ***	6	4	44,4	0,052	55,6	33,3	11,1	=Werte: 0,006 bis 0,37		

### 9.9.3 Formgebung

Tabelle 82:

Formgebung – Technische Keramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	38	21	24	63,2	0,01	92,1	7,9	0	NWG !	0,0384	0,0593
stationär	94	33	16	17	0,01	92,6	7,4	0	0,004 +	0,035	0,0612

### 9.9.4 Fertigmachen zum Brand

Tabelle 83:  
Fertigmachen zum Brand – Technische Keramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	33	17	14	42,4	0,013	84,8	15,2	0	0,0065 +	0,071	0,389
stationär	42	20	15	35,7	0,006	90,5	9,5	0	0,002 +	0,0376	0,0866

### 9.9.5 Brand

Tabelle 84:  
Brand – Technische Keramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	11	8	8	72,7	0,034	90,9	9,1	0	NWG !	0,035	0,0491
stationär	29	16	13	44,8	0,009	100	0	0	0,003 +	0,0147	0,0271

### 9.9.6 Nachbearbeitung

Tabelle 85:  
Nachbearbeitung – Technische Keramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	29	14	24	82,8	0,022	96,6	3,4	0	NWG !	0,0243	0,0286
stationär	65	26	15	23,1	0,005	96,9	3,1	0	0,0025 +	0,0155	0,0215
<b>&lt; 2 h</b>											
stationär	11	7	3	27,3	0,062	81,8	9,1	9,1	0,003 +	0,0288 +	0,0512 +

### 9.9.7 Verpackung, Qualitätskontrolle

Tabelle 86:  
Verpackung, Qualitätskontrolle – Technische Keramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	12	5	10	83,3	0,009	91,7	8,3	0	NWG !	0,0081 +	0,113
stationär	12	5	2	16,7	0,002	91,7	8,3	0	0,001 +	0,0038	0,0332

### 9.10 Wand- und Bodenfliesen, Herstellung

**Branche**

Wand- und Bodenfliesen, Herstellung

Die Masse für die Herstellung von Fliesen besteht aus Ton, Kaolin und mineralischen Zuschlagstoffen wie Feldspat, Dolomit und Schamotte. Die Rohstoffe werden in Trommelmühlen gemahlen und anschließend in Wasser suspendiert. Der so gewonnene Schlicker wird in einen beheizten Sprühturm eingedüst und zu einem Sprühgranulat getrocknet. Diese sogenannte Trockenpressmasse wird unter hohem Druck mit hydraulischen Pressen zu Fliesen geformt. Fliesen werden entweder im Einbrandverfahren gebrannt, oder die Glasur kann separat in einem Zweitbrand aufgeschmolzen werden. Ofenkacheln werden aus mit Schamotte gemagerter, plastischer Tonmasse gepresst, komplizierte Formen auch gegossen. Der Glasurauftrag geschieht durch Tauchen, Übergießen, Spritzen oder Malen.

Deutliche Überschreitungen des BM für quarzhaltigen A-Staub finden sich hauptsächlich in den Bereichen Aufbereitung und Formgebung. In der Gemengeaufbereitung mit Mahl-, Sieb- und Mischvorgängen sowie mit der für die Fliesenindustrie typischen Sprühtrocknung liegen die 90-%-Werte deutlich oberhalb des BM. Vor allem in den moderneren Anlagen halten sich die Beschäftigten in der Aufbereitung einen Teil der Schicht in fremdbelüfteten Schaltwarten auf. Die in **Tabelle 87** ausgewiesenen Werte sind daher in der Regel mit einem Faktor für verkürzte Exposition zu belegen. Verbesserungspotenzial gibt es außerdem im Bereich Formgebung bzw. Pressen. Staubemissionen entstehen beim Pressen unter hohem Druck, wenn durch den Pressdruck das Granulat aufgebrochen wird und die Verdrängungsluft den fein aufgebrochenen Rohstoff mitreißt. Problematisch und optimierungsbedürftig ist nach wie vor die Staub- und Abfallerfassung an

den Pressen und an den direkt nachgeschalteten Arbeits- und Transportvorgängen. Eine weitere Staubquelle ist der häufige Wechsel der Pressformen.

Abbildung 25:  
Trommelmühlen für die Rohstoffzerkleinerung in der Fliesenindustrie. Quelle: VBG



Abbildung 26:  
Staubarme Rohstoffaufgabe mittels Bigbag. Quelle: VBG



### 9.10.1 Aufbereitung: Mahlen, Mischen, Sieben, Transportieren und Zerkleinern

Tabelle 87:

Aufbereitung: Mahlen, Mischen, Sieben, Transportieren und Zerkleinern – Wand- und Bodenfliesen, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	35	15	5	14,3	0,009	65,7	34,3	0	0,0265	0,14	0,215
stationär	53	18	0		k. A.	67,9	32,1	0	0,0345	0,0948	0,1235
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	20	8	2	10	0,023	25	75	0	0,13	0,52	0,52

### 9.10.2 Formgebung



Abbildung 27:  
Hydraulische Fliesenpresse.  
Quelle: VBG

Tabelle 88:

Formgebung – Wand- und Bodenfliesen, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	24	14	2	8,3	0,009	66,7	33,3	0	0,041	0,126	0,138
stationär	35	18	0		k. A.	54,3	45,7	0	0,04535	0,091	0,1325
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	13	8	0		k. A.	15,4	84,6	0	0,14	0,405	0,462

9.10.3 Fertigmachen zum Brand, Brand



Abbildung 28:  
Fliesenentnahme hinter einem  
Schnellbrandtunnelofen.  
Quelle: VBG

Tabelle 89  
Fertigmachen zum Brand, Brand – Wand- und Bodenfliesen, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	53	19	0		k. A.	84,9	15,1	0	0,019	0,0632	0,0999

9.10.4 Nachbearbeitung, Qualitätskontrolle,  
Verpackung



Abbildung 29:  
Spritzglasieren von Fliesen.  
Quelle: VBG

Tabelle 90:  
Nachbearbeitung, Qualitätskontrolle, Verpackung – Wand- und Bodenfliesen, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	22	12	1	4,5	0,003	100	0	0	0,01	0,027	0,0433

## 9.11 Baukeramik, Herstellung

### Branche

Baukeramik, Herstellung

Die sehr heterogene Gruppe der Baukeramik umfasst keramische Erzeugnisse, die für spezielle Anwendungen im Baubereich hergestellt werden. Dabei handelt es sich vorwiegend um Großsteinzeug (Steinzeugrohre), um keramische Fassadenelemente in verschiedenen Formaten und Formen (Platten, Riemchen) sowie um Kaminrohre und Spaltplatten. Bei der Herstellung von Großsteinzeug wird der Rohmasse auch cristobalithaltige Schamotte zugesetzt. Ein gemeinsames Merkmal des Produktionsprozesses ist, dass bei der Formgebung feuchte, tonartige Massen verwendet werden. Die verschiedenen Formen werden durch Strangpressen mit anschließendem Ab- bzw. Zuschneiden oder durch Stanzen gefertigt und dann getrocknet und gebrannt. Im Bereich der Formgebung wird daher der BM für quarzhaltigen A-Staub in den meisten Fällen eingehalten. In der Rohstoffaufbereitung und bei der Nachbearbeitung liegen deutliche Überschreitungen

des BM vor. Bei der spanenden Nachbearbeitung der gebrannten Artikel durch Sägen oder Schleifen werden oft nasse und trockene Verfahren parallel verwendet. Es sollte konsequent darauf geachtet werden, mit Nassverfahren zu arbeiten und/oder Absaugungen mit wirksamer Stauberfassung einzusetzen.

Unter den Messwerten für die Teilbranche Baukeramik ist auch eine signifikante Anzahl von Cristobalit-Werten zu finden. Dort werden in einigen Bereichen keramische Massen verarbeitet, denen Schamotte zugesetzt wird, die mehr oder weniger hohe Anteile an Cristobalit enthalten kann. Dies führt insbesondere bei den stationären Messungen mit Probenahmedauern von < 2 h zu erhöhten Werten für die silikogenen Komponenten Quarz und Cristobalit (Paare aufsummiert).

Von Bedeutung ist dies hauptsächlich für Betriebe, die Großsteinzeug (Steinzeugrohre) herstellen. Dort werden auch die Schichtmittelwerte (Probenahmedauer > 2 h) in der Aufbereitung und bei der Bearbeitung der gebrannten Artikel, zum Beispiel durch Sägen oder Schleifen, durch den Cristobalit-Anteil deutlich angehoben.

### 9.11.1 Aufbereitung: Mahlen, Mischen, Sieben, Transportieren und Zerkleinern

Tabelle 91:

Aufbereitung: Mahlen, Mischen, Sieben, Transportieren und Zerkleinern – Baukeramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	22	9	6	27,3	0,009	45,5	54,5	0	0,064	0,302	0,401
stationär	24	10	2	8,3	0,002	75	25	0	0,02	0,0858	0,1066
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	20	7	0	0	k. A.	5	95	0	0,21	0,5	0,51

## Quarz und Cristobalit – Paare aufsummiert

Tabelle 92:

Quarz und Cristobalit (Paare aufsummiert) – Aufbereitung: Mahlen, Mischen, Sieben, Transportieren und Zerkleinern – Baukeramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte #	Anzahl Betriebe	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>								
an der Person	22	9	45,5	54,5	0	0,064	0,374	0,4145
stationär	24	10	75	25	0	0,02	0,0858	0,1066
<b>&lt; 2 h</b>								
stationär	20	7	5	95	0	0,213	0,81	0,84

# Werte, die als Summe aus einem Quarz- und einem Cristobalitmesswert vom selben Probenträger in die Statistik eingehen, wurden als ein Messwert gezählt

### 9.11.2 Formgebung

Tabelle 93:

Formgebung – Baukeramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	15	9	0		k. A.	0,085	93,3	6,7	0	0,015	0,033

### 9.11.3 Fertigmachen zum Brand, Brand

Tabelle 94:

Fertigmachen zum Brand, Brand – Baukeramik, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	10	7	5	50	0,009	90	10	0	0,008 +	0,045	0,0665
stationär	27	11	1	3,7	0,001	92,6	7,4	0	0,0125	0,0379	0,0764

### 9.11.4 Nachbearbeitung, Verpackung, Qualitätskontrolle



Abbildung 30:  
Nassschleifen von Steinzeug-  
rohren. Quelle: VBG

Tabelle 95:  
Nachbearbeitung, Verpackung, Qualitätskontrolle – Baukeramik, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	15	5	0		k. A.	93,3	6,7	0	0,007	0,032	0,056

### 9.12 Ofenkacheln, Herstellung

Branche

Ofenkacheln, Herstellung

Es erfolgte keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen.

Tabelle 96:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Ofenkacheln, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	12	7	4	33,3	0,017	83,3	16,7	0	0,009 +	0,0774	0,11
stationär	29	14	0		k. A.	93,1	6,9	0	0,016	0,0409	0,0826

## 9.13 Schleifkörper, Herstellung

### Branche

Schleifkörper und -mittel, Herstellung

Schleif-, Trenn- und Schrappscheiben, Honsteine, Sensensteine und sonstige Schleifkörper werden zur spanabhebenden Bearbeitung unterschiedlicher Werkstoffe eingesetzt. Sie bestehen aus einem Schleifmittel (Schleifkorn) wie Korund, Siliciumcarbid oder Diamant, das als Verbundwerkstoff in eine Matrix eingebettet wird. Dies geschieht entweder in keramischer oder organischer Bindung, z. B. durch mineralische Massen oder Glas bzw. durch Kunstharz oder Bakelit. Korn und Binder werden gemischt und verpresst. Die Mischungen für Schleifkorn und Bindemittel werden in der Regel manuell angesetzt. Schleifkörper mit keramischer Bindung werden gebrannt, Schleifkörper mit organischer Bindung ausgehärtet.

Deutliche Überschreitungen des BM für Quarz im A-Staub finden sich in der Rohstoffaufbereitung aber auch in weiteren Bereichen. Für die Arbeitsschritte Formgebung, Brand und Nachbearbeitung liegen die 90-%-Werte zum großen Teil unterhalb des BM für Quarz im A-Staub. Problematische Arbeitsbereiche sind auf die besondere Struktur der Branche zurückzuführen, d. h. in Einzelfällen sind der Stand der Technik oder die branchenüblichen Betriebs- und Verfahrensweisen nicht umgesetzt. Zudem wird vor dem Brand manchmal Quarzsand als Brennhilfsmittel auf die Ofenwagen gestreut, um ein Festbacken der Produkte zu verhindern. Dabei entstehen in nicht unerheblicher Menge Staubemissionen, die Quarz und auch Cristobalit enthalten. Letzterer wird durch wiederholte Brennzyklen aus dem eingestreuten Quarzsand gebildet. Eine wesentliche Verbesserung bringt hier der Ersatz von Quarzsand durch quarzfreie Einstreumittel.

### 9.13.1 Aufbereitung

Tabelle 97:

Aufbereitung – Schleifkörper, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	43	24	16	37,2	0,015	79,1	20,9	0	0,014 +	0,12	0,182
stationär	44	18	8	18,2	0,007	97,7	2,3	0	0,004 +	0,0302	0,0398
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	12	6	4	33,3	0,021	91,7	8,3	0	0,003 +	0,0208 +	0,182

### 9.13.2 Formgebung

Tabelle 98:  
Formgebung – Schleifkörper, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	15	8	11	73,3	0,045	93,3	6,7	0	NWG !	0,0302 +	0,139
stationär	43	15	4	9,3	0,009	97,7	2,3	0	0,0043 +	0,0237	0,0307

### 9.13.3 Brand

Tabelle 99:  
Brand – Schleifkörper, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	23	9	6	26,1	0,015	60,9	39,1	0	0,03	0,131	0,242
stationär	17	9	1	5,9	0,011	88,2	11,8	0	0,021	0,0577	0,0917

### 9.13.4 Nachbearbeitung

Tabelle 100:  
Nachbearbeitung – Schleifkörper, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	18	11	12	66,7	0,015	88,9	11,1	0	NWG !	0,0494	0,0589
stationär	15	8	1	6,7	0,006	100	0	0	0,0035 +	0,0065	0,00775

## 9.14 Ziegeleierzeugnisse, Herstellung

### Branche

Ziegeleierzeugnisse, Herstellung

Die gebräuchlichsten Vertreter in der Gruppe der Ziegel sind Hintermauerziegel, Vormauerziegel (Klinker) und Dachziegel (Biber- oder Pfannenziegel). Für den Produktionsprozess werden die tonigen Rohstoffe in Kastenbeschickern dosiert und anschließend in Brechern und im Koller zerkleinert und gemischt. Im letzten Aufbereitungsschritt kommen Feinwalzwerke zum Einsatz, die seit den 1980er-Jahren mit immer kleineren Spaltweiten von  $< 0,5$  mm arbeiten. Für eine gute Homogenisierung wird die Masse im Sumpfhaut gemaukt (zur Einstellung des Feuchtegehaltes feucht gelagert). Zur Herstellung von Hintermauerziegeln werden der Tonmasse Porosierungsmittel wie Styropor oder Papierfangstoffe beigemischt. Die mit Wasser oder Dampf plastifizierte Masse wird in Vakuumpressen zu einem Endlosstrang gezogen, von dem die einzelnen Mauer- oder Dachziegel abgeschnitten werden. Dachziegel mit Falzen und komplizierteren Formen werden auf Revolver- oder Tischpressen gepresst. Anschließend wird die Ware getrocknet. Dachziegel werden vor dem Brand meist engobiert oder glasiert. Seit den

1990er-Jahren werden Hintermauerziegel nach dem Brand an den Stirnseiten vermehrt plangeschliffen.

Im Bereich Aufbereitung (Zerkleinern, Mahlen, Mischen, Sieben und Transportieren) ist eine deutliche Überschreitung des BM für quarzhaltigen A-Staub festzustellen. Allerdings kann hier eine verkürzte Exposition vorliegen, die bei der Expositionsbeurteilung zu berücksichtigen ist. Bei den Arbeitsvorgängen für das Fertigmachen zum Brand (Setzen und Entladen von Ziegelprodukten auf Ofenwagen am Brennofen bzw. in der Produktion vor und nach dem Brand) und für den Brand selbst ergibt die Auswertung 90%-Werte oberhalb des BM für quarzhaltigen A-Staub. Problematisch ist hier der Abrieb von getrockneten und gebrannten Ziegelprodukten bei verschiedenen Handlingprozessen. Die Erfassung des dabei entstehenden Staubes und das Auffangen von herabfallendem Material ist dabei oft nur punktuell umgesetzt. Zur Herstellung von Klinkern wird zum Einstreuen der Ofenwagen außerdem häufig Quarzsand benutzt, der zusätzliche quarzhaltige A-Staubemissionen verursacht. Bei der Nachbearbeitung der gebrannten Erzeugnisse (Sägen, Schleifen) hat sich der Stand der Technik (unter anderem geschlossene Systeme, optimale Stauberfassung) noch nicht vollständig durchgesetzt. Zudem sind die bestehenden Anlagen aufgrund des robusten Betriebes einem hohen Verschleiß ausgesetzt.

### 9.14.1 Aufbereitung: Zerkleinern, Mahlen

Tabelle 101:

Aufbereitung: Zerkleinern, Mahlen – Ziegeleierzeugnisse, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte $<$ NWG*	Werte $<$ NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	$\leq$ BM in %	$>$ BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b><math>\geq 2</math> h</b>											
an der Person	37	29	4	10,8	0,009	45,9	54,1	0	0,051	0,223	0,383
stationär	74	47	0		k. A.	44,6	55,4	0	0,056	0,126	0,156
<b><math>&lt; 2</math> h</b>											
stationär	65	27	0		k. A.	15,4	84,6	0	0,145	0,615	0,775

### 9.14.2 Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren

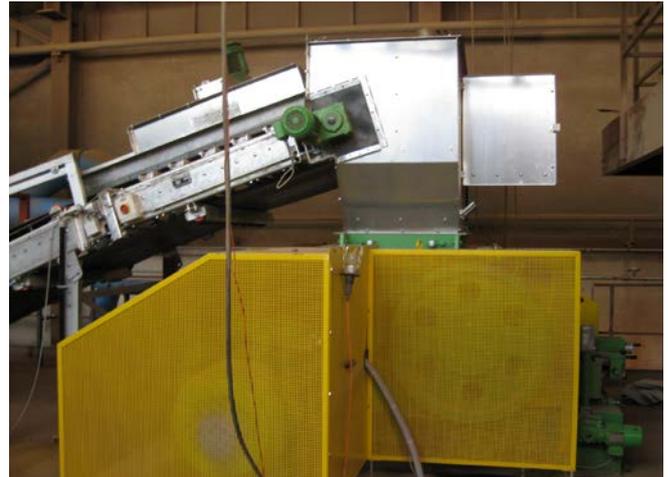


Abbildung 31:  
Staubarme Materialaufgabe durch  
Einhausung. Quelle: VBG

Tabelle 102:  
Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren – Ziegeleierzeugnisse, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	85	71	17	20	0,01	76,5	23,5	0	0,0275	0,165	0,25
stationär	76	48	1	1,3	0,017	76,3	23,7	0	0,029	0,0858	0,13
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	35	13	0		k. A.	11,4	88,6	0	0,13	0,63	0,745

Tabelle 102a:  
Erfassung – Aufbereitung: Mischen, Sieben, Transportieren – Ziegeleierzeugnisse, Herstellung

Erfassung	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	40	34	7	17,5	0,01	72,5	27,5	0	0,029	0,19	0,27
Erf = nein	17	16	5	29,4	0,009	64,7	35,3	0	0,0255	0,176	0,201

### 9.14.3 Formgebung



Abbildung 32:  
Dachpfannenziegel nach dem  
Pressvorgang an einer Revolver-  
presse. Quelle: VBG

Tabelle 103:  
Formgebung – Ziegeleierzeugnisse, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	33	29	18	54,5	0,01	87,9	12,1	0	NWG !	0,0609	0,09
stationär	149	85	4	2,7	0,009	92,6	7,4	0	0,007 +	0,0311	0,0762
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	15	5	0		k. A.	13,3	86,7	0	0,115	0,805	1,075

### 9.14.4 Fertigmachen zum Brand



Abbildung 33:  
Hintermauerziegel auf einer auto-  
matischen Transportvorrichtung.  
Quelle: VBG

Tabelle 104:  
Fertigmachen zum Brand – Ziegeleierzeugnisse, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	16	13	12	75	0,01	87,5	12,5	0	NWG !	0,0412	0,0874
stationär	64	34	2	3,1	0,011	93,7	6,3	0	0,007 +	0,0366	0,0558
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	10	4 **	1	10	0,13	50	40	10	0,047 +	0,17	0,195

### 9.14.5 Brand

Tabelle 105:  
Brand – Ziegeleierzeugnisse, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	32	23	10	31,3	0,012	78,1	21,9	0	0,018	0,138	0,232
stationär	153	86	6	3,9	0,03	86,3	13,7	0	0,0085 +	0,0787	0,134
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	17	8	1	5,9	0,018	58,8	41,2	0	0,0135 +	0,273	0,429

### 9.14.6 Nachbearbeitung

Tabelle 106:  
Nachbearbeitung – Ziegeleierzeugnisse, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	22	19	9	40,9	0,009	59,1	40,9	0	0,022	0,226	0,385
stationär	81	54	3	3,7	0,001	84	16	0	0,009	0,0689	0,148
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	10	4 **	1	10	0,002	60	40	0	0,003	1	1,15

### 9.14.7 Verpackung, Qualitätskontrolle

Tabelle 107:  
Verpackung, Qualitätskontrolle – Ziegeleierzeugnisse, Herstellung

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	10	9	8	80	0,01	90	10	0	NWG !	0,016	0,043
stationär	40	30	1	2,5	0,001	92,5	7,5	0	0,007	0,026	0,11

# 10 Chemische, pharmazeutische, Gummi- und Kunststoffindustrie

## 10.1 Chemische und pharmazeutische Industrie, Anstrichmittel

Branche
Chemische Industrie
Schleif- und Poliermittel (trocken), Herstellung
Anstrich-, Klebemittel und Fug-Spachtelmassen, Herstellung/Verarbeitung
Pharmazeutische Produkte, Herstellung
Kosmetische Produkte, Herstellung
Reinigungs- und Sanitärprodukte
Spachtelmassen, Herstellung
Anstrichmittel, Herstellung (lösemittelhaltig)
Anstrichmittel, Herstellung (Dispersionsfarben und Putze)
Anstrichmittel, Herstellung und Verarbeitung (Pulverlacke)

In der chemischen Industrie werden quarzhaltige Stoffe einer Vielzahl von Produkten und Erzeugnissen zugesetzt, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen oder deren Eigenschaften zu verbessern. Meist werden die quarzhaltigen Stoffe als Füll- oder Verdickungsmittel zugesetzt. Sie können jedoch auch zum Erzeugen bestimmter Eigenschaften, z. B. der Abrasion, genutzt werden. Weiterhin

können aus Quarz durch chemische Prozesse höherwertige Verbindungen wie beispielsweise Reinsilicium oder Siliciumcarbid hergestellt werden. Quarz ist zudem häufig als Verunreinigung in diversen Verbindungen, z. B. Talkum, enthalten. Quarz kann teilweise durch amorphe Kieselsäure ersetzt werden. Hierdurch sowie durch technische Verbesserungen an den Anlagen und Arbeitsplätzen ist in den letzten Jahrzehnten die Quarzbelastung deutlich zurückgegangen.

### 10.1.1 Einwiegen

Einwiegevorgänge können sowohl vollautomatisch als auch manuell erfolgen. Bei der manuellen Einwaage werden Quarz bzw. quarzhaltige Feststoffe z. B. aus Trommeln, Eimern oder Säcken mit einer Schaufel entnommen und offen auf einer Waage abgewogen. Die Abwiegeplätze sind hierbei oft mit einer Absaugeinrichtung versehen.

### 10.1.2 Ansetzen flüssiger Mischungen

Bei der Herstellung von Beschichtungsstoffen oder Klebmitteln werden Quarz bzw. quarzhaltige Feststoffe entweder vollautomatisch aus Silos oder Bigbags bzw. manuell aus Trommeln, Eimern oder Säcken in Vorlage- oder Rührbehältnisse gefüllt. Entsprechend gegebenen Stoffeigenschaften, Mengen und Absaugeinrichtungen treten hierbei unterschiedliche Quarzstaubbelastungen auf.

Tabelle 108:  
Einwiegen – Chemische und pharmazeutische Industrie, Anstrichmittel

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	14	13	11	78,6	0,071	92,9	0	7,1	NWG !	0,0258 +	0,0295 +
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	11	5	7	63,6	0,11	63,6	18,2	18,2	NWG !	0,0546 +	0,0798 +

Tabelle 109:

## Ansetzen flüssiger Mischungen – Chemische und pharmazeutische Industrie, Anstrichmittel

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	14	10	10	71,4	0,012	78,6	21,4	0	NWG !	0,128	0,246
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	11	7	9	81,8	0,072	63,6	18,2	18,2	NWG !	0,0693 +	1,345
stationär	5 ***	3 **	1	20	0,023	20	80	0	=-Werte: 0,07 bis 1,1		

**10.1.3 Ansetzen trockener Mischungen**

Spachtelmassen, Kleber oder Farben werden durch Mischen verschiedener Feststoffe sowie weiterer Zuschlagstoffe hergestellt. Beim Zugeben von Quarz, Cristobalit sowie weiteren quarzhaltigen Zuschlagstoffen

in die Vorlagen und Mischer sind entsprechende Quarzstaubbelastungen möglich.

Die vereinzelt hohen Cristobalit-Messwerte sind auf die manuelle Zumischung von Cristobalit in offenen Mischanlagen zurückzuführen.

Tabelle 110:

## Ansetzen trockener Mischungen – Chemische und pharmazeutische Industrie, Anstrichmittel

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	74	42	45	60,8	0,047	82,4	17,6	0	NWG !	0,073	0,129
stationär	15	12	10	66,7	0,046	86,7	13,3	0	NWG !	0,0395 +	0,057
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	28	19	18	64,3	0,042	82,1	17,9	0	NWG !	0,232	0,706
stationär	11	6	6	54,5	0,076	45,4	36,4	18,2	NWG !	0,276	0,341

Tabelle 111:

Cristobalit – Ansetzen trockener Mischungen – Chemische und pharmazeutische Industrie, Anstrichmittel

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>Keine Differenzierung</b>											
an der Person	14	6	3	21,4	0,014	57,1	42,9	0	0,047	0,706	1,021

#### 10.1.4 Abfüllen und Verpacken

Nach der Herstellung von Produkten, meist durch Mischprozesse, müssen diese in unterschiedliche Verpackungen, z. B. Bigbags, Säcke, Trommeln, Eimer oder Schachteln, abgefüllt werden. Hierbei kann es je nach Art des Produkts, Menge und verwendeter Abfülltechnologie zu unterschiedlicher Quarzstaubentwicklung kommen.

#### 10.1.5 Produktion, Reaktionsanlagen

Viele Produktionsanlagen sind weitgehend geschlossen, sodass hierbei eher geringere Quarzstaubbelastungen auftreten. Bei offenen Produktionsanlagen, z. B. offenen Mischern oder Siebanlagen, können auch höhere Staubbelastungen auftreten.

Tabelle 112:

Abfüllen und Verpacken – Chemische und pharmazeutische Industrie, Anstrichmittel

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	48	23	39	81,3	0,046	95,8	4,2	0	NWG !	0,0222 +	0,047
stationär	19	13	13	68,4	0,009	89,5	10,5	0	NWG !	0,0425	0,204

Tabelle 113:

Produktion, Reaktionsanlagen – Chemische und pharmazeutische Industrie, Anstrichmittel

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	23	14	21	91,3	0,078	91,4	4,3	4,3	NWG !	NWG !	0,035 +
stationär	5 ***	5	3	60	0,012	80	20	0	=Werte: 0,01 bis 0,13		
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	16	11	12	75	5,1	62,5	12,5	25	NWG !	1,122 +	10,44

## 10.2 Dachpappen- und Bitumenbahnen, Herstellung

### Branche

Dachpappe und Bitumendachbahnen, Herstellung

Dachpappen- und Bitumenbahnen werden aus unterschiedlichen Materialien hergestellt. Es können Pappen, Kunststofffolien, Gummifolien, Glasfasergewebe, Polyester- oder Jutebahnen verwendet werden. Für bestimmte Einsatzzwecke werden die Dachpappen- und Bitumenbahnen mit Kies, Schiefersplinter oder Quarzsand bestreut. Die höchsten Expositionen gegenüber quarzhaltigen Stäuben entstehen hierbei an den Bestreuungseinheiten. Üblicherweise befinden sich dort jedoch keine ständigen Arbeitsplätze.

Tabelle 114:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Dachpappen- und Bitumenbahnen, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	9 ***	6	0		k. A.	44,4	55,6	0	==Werte: 0,014 bis 1		
stationär	11	7	2	18,2	0,026	63,6	36,4	0	0,031	0,887	0,989

Tabelle 115:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Gießereihilfsmittel, Herstellung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	28	10	7	25	0,016	60,7	39,3	0	0,02	0,216	0,352

## 10.3 Gießereihilfsmittel, Herstellung

### Branche

Gießereihilfsmittel, Herstellung

Für die Herstellung von Formsanden für die Gießereiindustrie werden Sand und weitere Mineralien wie Aluminosilikate, Schamotte oder Magnesit eingesetzt. Weiterhin werden Bindemittel wie Tone, Wasserglas oder Zement benötigt. Zu entsprechenden Quarzstaubbelastungen kommt es z. B. beim Einfüllen, Mischen, Trocknen und Abfüllen der Produkte sowie bei der Reinigung der Anlagen.

## 10.4 Gummiwaren, Herstellung und Verarbeitung

Branche
Gummiwaren, Herstellung und Verarbeitung
Reifen, Herstellung und Runderneuerung
Gummiartikel (technische), Herstellung
Feingummiartikel (Latexprodukte u. ä.)

In Gummimischungen werden eine Vielzahl von Roh- und Hilfsstoffen verarbeitet. Beispiele sind Kautschuk, Ruß, Alterungsschutzmittel, Vulkanisationshilfsmittel, Trennmittel und sonstige Zuschlagstoffe, die auch quarzhaltig sein können. Die Prozesse zur Herstellung von Gummiwaren sind Mischen, Kneten, Konfektionieren und Vulkanisieren sowie ggf. die Nach- und Weiterverarbeitung. Die höchsten Quarzstaubbelastungen treten dabei beim Einwiegen und in der Mischerei auf.

## 10.5 Kunststoffe, Herstellung und Verarbeitung

Branche
Kunststoffdach- und Schweißbahnen, Herstellung
Kunststoff und Kunststoffschaum, Verarbeitung
Kunststoffformteile, Herstellung
Kunststoffspritzerei
Kunststofffolien, Herstellung
Kunststoffhalbzeuge, Herstellung
Kunststoff und Kunststoffschaum, Herstellung
Glasfaserverstärkte Kunststoffe, Herstellung
Dichtungen, Herstellung
Fahrzeuginnenausstattung, Herstellung
Säurebau, Kunststoff- und Behälterbau
Säurebau

Bei der Herstellung bzw. Bearbeitung von Kunststoff- und Kunststoffprodukten werden quarzhaltige Mineralien für sehr unterschiedliche Zwecke eingesetzt. Entsprechende Stoffe finden sich beispielsweise in Dentalmaterialien oder in Mineralguss. Quarzsand oder -mehl wird unter anderem bei der Herstellung von Fassadenplatten, Fußböden oder glasfaserverstärkten Kunststoffrohren und -formteilen verwendet. Quarzstaubbelastungen treten z. B. beim Mischen oder Extrudieren sowie in der Nachbearbeitung wie Bohren, Sägen oder Schleifen auf.

Tabelle 116:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Gummiwaren, Herstellung und Verarbeitung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	10	7	6	60	0,047	90	10	0	NWG !	0,034 +	0,0655
stationär	18	10	13	72,2	0,016	94,4	5,6	0	NWG !	0,0174	0,0307

### 10.5.1 Kunststoffteileherstellung: Extrudieren, Gießen, Kalandrieren, Laminieren (GFK), Prepreg, Schäumen

Tabelle 117:

Kunststoffteileherstellung: Extrudieren, Gießen, Kalandrieren, Laminieren (GFK), Prepreg, Schäumen – Kunststoffe, Herstellung und Verarbeitung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	19	15	14	73,7	0,014	84,2	15,8	0	NWG !	0,0543	0,0702
stationär	12	11	7	58,3	0,015	91,7	8,3	0	NWG !	0,0143 +	0,0324
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	8 ***	4 **	3	37,5	0,062	50	37,5	14,5	=Werte: 0,024 bis 8,9		

### 10.5.2 Vorbereitung: Fördern, Füllen, Mischen, Wiegen, Zerkleinern

Tabelle 118:

Vorbereitung: Fördern, Füllen, Mischen, Wiegen, Zerkleinern – Kunststoffe, Herstellung und Verarbeitung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	19	12	15	78,9	0,047	94,7	5,3	0	NWG !	0,0255 +	0,0748

### 10.5.3 Verarbeitung und Nachbearbeitung von Kunststoffartikeln

Tabelle 119:

Verarbeitung und Nachbearbeitung von Kunststoffartikeln – Kunststoffe, Herstellung und Verarbeitung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	31	14	20	64,5	0,019	87,1	12,9	0	NWG !	0,0532	0,109

# 11 Holz-, Papierindustrie

## 11.1 Holzverarbeitung

Branche
Büromöbel, Herstellung
Holzfasern und Holzspanplattenwerk
Holzbe- und -verarbeitung
Schreib- und Zeichengerätherstellung
Zimmerei, Holzbau

Bei den hier aufgeführten Messwerten handelt es sich unter anderem um quarzhaltige Stäube, die bei der Be- und Verarbeitung von Holzersatz- oder Verbundwerkstoffen mit geringem Holzanteil freigesetzt wurden und bei der Probenahme vor Ort nicht eindeutig als Holzstaub im Sinne der TRGS 553 „Holzstaub“ zugeordnet werden konnten.

Es erfolgte keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen.

Tabelle 120:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Holzverarbeitung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	10	6	5	50	0,045	100	0	0	0,012 +	0,028 +	0,0295 +
stationär	8 ***	3 **	5	62,5	0,014	62,5	37,5	0	=Werte: 0,051 bis 0,84		

Tabelle 121:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Papier und Pappe, Herstellung und Verarbeitung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	22	8	7	31,8	0,005	100	0	0	0,002 +	0,0156	0,016

## 11.2 Papier und Pappe, Herstellung und Verarbeitung

Branche
Papier und Pappe, Herstellung und Verarbeitung
Druckerei

Es erfolgte keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen.

## 12 Gießereien, Metallerzeugung

### 12.1 Gießereien

Branche
Eisen- und Stahlgießerei, gemischte
Eisengießerei
Stahlgießerei
NE-Metallgießerei, gemischte
Leichtmetallgießerei
Schwermetallgießerei
Eisen- oder Stahl- und NE-Metallgießerei, gemischte
Zulieferer für die Gießereiindustrie
Servicearbeiten für die Gießereiindustrie

Gießen ist ein Fertigungsverfahren, bei dem flüssiges Metall in Formen gegossen wird. Man unterscheidet je nach Gießverfahren zwischen Sand-, Masken-, Kokillen-, Druck- oder Schleuder-Stranggießerei sowie Kunst- und

Feingießerei. Je nach Werkstoffgruppe wird zwischen Eisen- und Stahlgießereien sowie Metallgießereien für Nichteisenmetalle (NE) unterschieden. Gießereien ermöglichen für eine große Produktpalette den kürzesten und direkten Weg der Formgebung metallischer Erzeugnisse.

#### 12.1.1 Kernmacherei

Um Aussparungen oder verzweigte Hohlräume im Gussstück herzustellen, werden sogenannte Kerne benötigt. Man unterscheidet zwischen zerstörbaren Kernen wie Sandkernen, die nur für einen einzigen Abguss dienen und beim Ausleeren des Gussstückes aus der Form entfernt werden, und sogenannten Dauerkernen aus metallischen Werkstoffen, die wiederholt verwendbar sind. Seit 1990 sind die meisten Maschinen zur Kernfertigung eingehaust bzw. abgesaugt. Die angeschlossenen Sandmischer wurden ebenfalls gekapselt.

Der 90%-Wert für Quarz liegt, unabhängig von der Probenahmeart und -dauer, deutlich oberhalb des BM.

Tabelle 122:  
Kernmacherei – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	175	91	75	42,9	0,05	73,7	26,3	0	0,02 +	0,13	0,175
stationär	126	69	23	18,3	0,046	72,2	27,8	0	0,0215 +	0,154	0,217
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	11	5	1	9,1	0,078	9,1	81,8	9,1	0,18	0,259	0,548

Tabelle 122a:  
Erfassung – Kernmacherei – Gießereien

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	116	61	58	50	0,047	78,4	21,6	0	0,0145 +	0,114	0,152
Erf = nein	52	36	15	28,8	0,05	65,4	34,6	0	0,025 +	0,138	0,164

### 12.1.2 Formerei

Bei der Herstellung von Gießformen, speziell Sandformen, unterscheidet man zwischen Hand- und Maschinenformen. Beim Handformen werden Formkästen mit Formsand gefüllt. Anschließend wird dieser von Hand oder mit einem Druckluftstamper verfestigt. Beim Maschinenformen werden einzelne bis alle Teilschritte des Handformens maschinell durchgeführt. Hierbei kommen Formmaschinen mit Modellplatten zum Einsatz. Der 90%-Wert für Quarz liegt, unabhängig von der Probenahmeart und -dauer, deutlich oberhalb des BM.

Tabelle 123:  
Formerei – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	285	130	74	26	0,047	68,4	31,6	0	0,03 +	0,11	0,16
stationär	177	93	37	20,9	0,048	75,1	24,9	0	0,026 +	0,103	0,14
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	15	12	3	20	0,046	60	40	0	0,0365 +	0,11	0,117
stationär	51	19	11	21,6	0,08	74,5	23,5	2	0,024 +	0,109	0,138

Tabelle 123a:  
Erfassung – Formerei – Gießereien

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	84	58	25	29,8	0,046	71,4	28,6	0	0,024 +	0,0964	0,158
Erf = nein	176	90	40	22,7	0,045	66,5	33,5	0	0,031 +	0,128	0,162

### 12.1.3 Schmelzerei

Metalle und ihre Legierungselemente werden durch Schmelzen in den flüssigen Zustand gebracht. Bedingt durch die hohen Temperaturen während der Schmelzphase entsteht eine Vielzahl von Reaktionen, die zeitweise zu großen Mengen an aufsteigendem Rauch führen können. Der Rauch besteht weitestgehend aus Partikeln der A-Fraktion. In der Schmelzerei selbst wird kein Quarzsand verwendet, d. h. dort vorhandene Quarzstäube werden aus angrenzenden Bereichen der Gießerei und Formerei luftgetragen verbreitet.

Der 90-%-Wert für Quarz liegt bei den Messungen an der Person knapp unterhalb und bei den stationären Messungen knapp oberhalb des BM.

Tabelle 124:  
Schmelzerei – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	81	52	34	42	0,05	90,1	9,9	0	0,0205 +	0,0489 +	0,0609
stationär	73	38	21	28,8	0,034	86,3	13,7	0	0,0143 +	0,0551	0,0754
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	44	13	2	4,5	0,024	59,1	40,9	0	0,041	0,14	0,168

Tabelle 124a:  
Erfassung – Schmelzerei – Gießereien

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	59	42	24	40,7	0,047	91,5	8,5	0	0,02 +	0,0481	0,06
Erf = nein	16	9	10	62,5	0,05	87,5	12,5	0	NWG !	0,0402 +	0,106

### 12.1.4 Gießhalle, allgemeiner Betrieb

In der Gießhalle werden einerseits vorbereitende Tätigkeiten wie die Herstellung der Gießformen und das Schmelzen der Werkstoffe durchgeführt, andererseits der eigentliche Abguss, also das Füllen der Formen und das Erstarren der Schmelze. Des Weiteren kann hier auch die Nachbehandlung der Gussteile, wie das Entformen (Auspacken) und das Gussputzen, stattfinden. Darüber hinaus werden hier in der Regel auch die Gussrohlinge ein- und ausgelagert.

Der 90-%-Wert für Quarz liegt, unabhängig von der Probenahmeart und -dauer, deutlich oberhalb des BM.

Tabelle 125:  
Gießhalle, allgemeiner Betrieb – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	155	98	35	22,6	0,062	60	38,7	1,3	0,033 +	0,215	0,297
stationär	123	68	22	17,9	0,045	61	39	0	0,031 +	0,168	0,229
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	21	11	6	28,6	0,077	42,9	47,6	9,5	0,0423 +	0,279	0,289
stationär	61	19	2	3,3	0,031	16,4	83,6	0	0,12	0,33	0,558

Tabelle 125a:  
Erfassung – Gießhalle, allgemeiner Betrieb – Gießereien

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	82	60	14	17,1	0,038	57,3	42,7	0	0,038 +	0,198	0,276
Erf = nein	59	42	19	32,2	0,062	66,1	30,5	3,4	0,0253 +	0,158	0,326

### 12.1.5 Gießbetrieb

Gießen ist das Einbringen eines flüssigen Werkstoffs in eine Form. Unter dem Einfluss der Schwerkraft, der Fliehkraft oder unter Druck wird die entsprechende Form gefüllt. Der flüssige Werkstoff erstarrt und es entsteht das gewünschte Fertigerzeugnis. Das Einfüllen der Schmelze in die Form wird als Abguss bezeichnet. Durch die Zersetzung der Bindemittel und die Verbrennung von Gießgasen können beim Gießen und Abkühlen größere Mengen an rauchförmigen Gefahrstoffen (auch Quarzpartikeln) entstehen und in erhöhte Hallenbereiche gelangen.

Der 90-%-Wert für Quarz liegt, unabhängig von der Probenahmeart, knapp oberhalb des BM.

Tabelle 126:  
Gießbetrieb – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	123	69	52	42,3	0,27	86,2	13	0,8	0,0177 +	0,0657 +	0,165 +
stationär	169	85	66	39,1	0,057	86,4	13	0,6	0,013 +	0,0651	0,111
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	11	8	6	54,5	0,18	54,5	18,2	27,3	NWG !	0,117 +	0,183
stationär	20	9	6	30	0,013	85	15	0	0,017	0,055	0,12

Tabelle 126a:  
Erfassung – Gießbetrieb – Gießereien

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	67	37	26	38,8	0,046	83,6	16,4	0	0,0185 +	0,079	0,156
Erf = nein	44	31	21	47,7	0,27	86,3	11,4	2,3	0,017 +	0,0628 +	0,163 +

### 12.1.6 Putzen, mechanisch

Im Bereich der Gussnachbehandlung werden das Anschnittsystem und die Speiser abgetrennt; der Grat wird entfernt und die Trennstellen werden geglättet. Das Putzen erfolgt überwiegend mithilfe eines Winkelschleifers. Die beim Putzen freiwerdenden Partikel besitzen eine hohe kinetische Energie. Eine Absaugung kann sie nur dann erfassen, wenn der Partikelstrahl weitestgehend in Richtung der Erfassungseinrichtung gerichtet werden kann.

Der 90%-Wert für Quarz liegt, unabhängig von der Probenahmeart und -dauer, deutlich oberhalb des BM.

Tabelle 127:  
Putzen, mechanisch – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	306	140	62	20,3	0,12	50	49,3	0,7	0,047 +	0,244	0,37
stationär	162	75	36	22,2	0,054	66,7	32,1	1,2	0,0225 +	0,16	0,289
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	26	14	7	26,9	0,14	23,1	61,5	15,4	0,072 +	0,644	0,895
stationär	45	16	3	6,7	0,038	35,6	64,4	0	0,0665	0,475	0,833

Tabelle 127a:  
Erfassung – Putzen, mechanisch – Gießereien

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	217	112	40	18,4	0,12	48,9	50,2	0,9	0,051 +	0,24	0,349
Erf = nein	77	48	18	23,4	0,031	51,9	48,1	0	0,0435	0,303	0,382

### 12.1.7 Putzen, Strahlen

Die Oberfläche der Gussstücke wird durch Strahlen von anhaftenden Form- und Kornsandresten befreit. Die Gussteile können von Hand oder mit Strahlmaschinen gestrahlt werden. Beim manuellen Strahlen werden die Gussteile in einer Strahlkabine gereinigt. Eingesetzt werden hierzu Strahlmittel aus Metall, NE-Metall, Korund oder Kunststoffen, die auf die Gusswerkstücke geblasen oder geschleudert werden. Durch Zerstörung von Formsandresten und quarzhaltigen Schichtbildungen kann hierbei quarzhaltiger Feinstaub erzeugt werden.

Der 90%-Wert für Quarz liegt, vor allem bei den personengetragenen Messungen, deutlich oberhalb des BM.

Tabelle 128:  
Putzen, Strahlen – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	65	37	15	23,1	0,033	47,7	52,3	0	0,054	0,255	0,357
stationär	47	28	9	19,1	0,019	59,6	40,4	0	0,0375	0,106	0,133
<b>&lt; 2 h</b>											
stationär	15	6	2	13,3	0,028	53,3	46,7	0	0,042	0,165	0,25

Tabelle 128a:  
Erfassung - Putzen, Strahlen – Gießereien

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	50	29	12	24	0,033	50	50	0	0,043	0,22	0,32
Erf = nein	14	10	2	14,3	0,009	35,7	64,3	0	0,078	0,348	0,372

### 12.1.8 Sandaufbereitung

Die Sandaufbereitung ist die Herstellung eines Formsands für die Sand- oder Maskenformerei bzw. Kernmacherei. Im Bereich der Sandgießerei dient im Allgemeinen der beim Ausleeren der Gussstücke anfallende Altsand als Basissand für den Fertigsand. Der Altsand wird hierbei entsprechend aufbereitet (unerwünschte Bestandteile werden abgeschieden) und wiederverwertet. Der Alt-

sandanteil, der an Sieb- und Absaugeinrichtungen ausgeschieden oder mit Gussstücken ausgetragen wird, muss durch einen entsprechenden Neusandzusatz ergänzt werden. Im Bereich der Sandaufbereitung werden verschiedene Aggregate wie Brecher, Mischer, Metallabscheider und Siebe eingesetzt.

Der 90%-Wert für Quarz liegt, unabhängig von der Probenahmeart und -dauer, deutlich oberhalb des BM.

Tabelle 129:  
Sandaufbereitung – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	54	35	11	20,4	0,046	61,1	38,9	0	0,043 +	0,172	0,288
stationär	30	21	5	16,7	0,044	73,3	26,7	0	0,032 +	0,11	0,13

Tabelle 129a:  
Erfassung – Sandaufbereitung – Gießereien

Erfassung	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h (an der Person)</b>											
Erf = ja	31	22	5	16,1	0,031	74,2	25,8	0	0,032	0,0804	0,109
Erf = nein	15	11	6	40	0,046	60	40	0	0,0375 +	0,6	0,76

### 12.1.9 Bohren, Drehen, Hobeln

Tabelle 130:  
Bohren, Drehen, Hobeln – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	7 ***	5	4	57,1	0,046	71,4	28,6	0	=-Werte: 0,05 bis 0,11		
stationär	7 ***	3 **	2	28,6	0,037	71,4	28,6	0	=-Werte: 0,014 bis 0,075		

### 12.1.10 Flurförderzeuge, Transport, Lagerarbeiten

Tabelle 131:

Flurförderzeuge, Transport, Lagerarbeiten – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	11	7	6	54,5	0,019	100	0	0	NWG!	0,0262	0,0355
stationär	9 ***	9	3	33,3	0,009	66,7	33,3	0	=-Werte: 0,001 bis 0,21		

### 12.1.11 Kontrolle, Prüfstände

Tabelle 132:

Kontrolle, Prüfstände – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	7 ***	6	3	42,9	0,011	57,1	42,9	0	=-Werte: 0,037 bis 0,11		
stationär	15	12	6	40	0,044	80	20	0	0,0105 +	0,067	0,085

### 12.1.12 Feingießerei

Tabelle 133:

Feingießerei – Gießereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	13	9	4	30,8	0,013	84,6	15,4	0	0,0245	0,0533	0,0588

## 12.1.13 Cristobalit in Gießereien

Es erfolgte keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen.

Tabelle 134:  
Cristobalit in Gießereien

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	27	15	7	25,9	0,012	77,8	22,2	0	0,014	0,102	0,189

Tabelle 135:  
Quarz mit Cristobalitwerten – Cristobalit in Gießereien

Probe- nahme- art	Anzahl Mess- werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per- zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	27	15	3	11,1	0,024	55,6	44,4	0	0,0435	0,219	0,375

## 12.2 Metallherzeugung

Branche
Hochofen-, Stahl- und Warmwalzwerke
E-Stahlwerk
Blasstahlwerke (AOD, OBM)
Walzwerke, allgemein
Drahtwalzwerk
Blechwalzwerk
Rohrwalzwerk
Profilwalzwerk
Warmwalzwerk
NE-Metallherzeugung (außer Blei)

Das Eisenerz wird aufbereitet und im Hochofen zu Roh-eisen umgewandelt. Unter Zugabe von Metallschrott und Legierungselementen entsteht Stahl. Die Verfahren zur Herstellung von NE-Legierungen laufen ähnlich ab. Mit Expositionen gegenüber Stäuben ist in der Ofen- und Gießhalle, an den Kokillen und in der Putzerei zu rechnen. Weitere Expositionen treten beim Umgang mit Schlacken, bei Instandhaltungsarbeiten an Tiegeln und Öfen sowie beim Ausbrechen und Ausmauern mit feuerfesten Materialien auf.

Der 90%-Wert für Quarz liegt, unabhängig von der Probenahmeart, deutlich unterhalb des BM.

Tabelle 136:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Metallherzeugung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	18	10	13	72,2	0,066	88,8	5,6	5,6	NWG!	0,0274 +	0,0367 +
stationär	70	15	58	82,9	0,052	97,2	1,4	1,4	NWG!	0,011 +	0,02 +
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	24	5	15	62,5	0,074	79,2	8,3	12,5	NWG!	0,0418 +	0,0806

# 13 Metallbe- und -verarbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Werkstätten, Lackierereien

## 13.1 Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien

Mit zahlreichen Bearbeitungsverfahren werden Metalle umgeformt, getrennt und gefügt oder Stoffeigenschaften geändert und somit Werkstücke hergestellt. Zum Trennen gehört die spanende Bearbeitung mit geometrisch bestimmten Schneiden, z. B. Drehen, Bohren, Hobeln, Sägen, Fräsen und Feilen, sowie mit geometrisch unbestimmten Schneiden, z. B. Schleifen, Honen, Lappen, Polieren und Strahlen. Zu den Fügetechniken gehören die unterschiedlichen Schweiß-, Löt- und Klebverfahren. Die Stoffeigenschaften eines Metalls werden unter anderem durch Härten oder Anlassen verändert. Die umfangreichen Verbesserungen in den Absaugeinrichtungen und in der Lüftungstechnik sowie die Modernisierung der Bearbeitungsverfahren und -maschinen führten in der Summe zu einer Verminderung der Staubbelastung.

Branche
Hartmetalle, Eisenpulver, Herstellung und Verarbeitung
Oberflächenveredelung und Härtung
Pulverbeschichtung, -kaschieren, Beflocken
Galvanik
Pulverbeschichten
Verarbeiten von flüssigen Beschichtungsstoffen (Flüssiglackbeschichtung)
Galvanik, automatische Gestell-/Trommelanlage
Galvanik, halbautomatische, handgeführte Gestell-/Trommelanlage
Metallbe- und -verarbeitung, allgemein
Gesenkschmiede
Formgebungsverfahren, sonstige
Rohrherstellung, allgemein

Branche
Schleiferei (von Metallwaren)
Schlosserei
Stahl- und Leichtmetallbau
Stahlbau
Herstellung von Fenstern, Türen, Fassadenelementen (Metall)
Maschinen- und Fahrzeugbau, allgemein
Maschinenbau
Werkzeugbau
Fahrzeugbau
Landmaschinenbau
Apparatebau
Armaturen, Herstellung
Anlagenbau, Herstellung von Anlagen
Umwelttechnik, Herstellung
Herstellung von Teilen für Kraftwagen und -motoren (Automobilzulieferung)
Herstellung von Fahrzeugaufbauten
Flugzeugbau
Reparaturwerkstatt, Kraftfahrzeuge
Reparaturwerkstatt, Maschinen
Reparaturwerkstatt, Eisenbahnen
Elektromaschinenbau
Reparaturwerkstatt, elektrische Geräte
Behälterbau
Anlagen- und Gerätebau (Metall)
Maler- und Lackiererei
Autolackiererei
Großhandel mit Fahrzeugen, Maschinen, maschinellen Einrichtungen und zugehörigem technischen Bedarf (außer Reifen und Gummiartikeln)

### 13.1.1 Spanende Bearbeitungsverfahren (inkl. CNC, ohne Schleifen)

Bei den CNC-Bearbeitungsmaschinen (CNC: Computerized Numerical Control) handelt es sich um stationäre Anlagen, die eingehaust sind und abgesaugt werden. Die Bearbeitung erfolgt weitestgehend im Nassverfahren unter Einsatz eines Kühlschmierstoffes. Die Tätigkeiten der Beschäftigten beschränken sich auf die Aufgabe und Abnahme der Werkstücke sowie die Bedienung und Überwachung der Anlage.

Der 90%-Wert für Quarz liegt, vor allem bei den personengetragenen Messungen, deutlich unterhalb des BM.

### 13.1.2 Trockenschleifen

Klein- bis großformatige Werkstücke können durch Trockenschleifen bearbeitet werden. Primär kommen handgeführte Schleifwerkzeuge zum Einsatz. Grundsätzlich ist das Trockenschleifen eine staubintensive Tätigkeit. Die eingesetzten Schleifscheiben enthalten kein Quarz. Lediglich bei keramisch gebundenen Schleifscheiben kann Quarz enthalten sein, das jedoch nur beim Abrichten der Schleifscheiben kurzzeitig freigesetzt wird.

Der erhöhte 90%-Wert für Quarz lässt sich aufgrund der hohen Anzahl an Branchen nicht unmittelbar erklären.

Tabelle 137:

Spanende Bearbeitungsverfahren (inkl. CNC, ohne Schleifen) – Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	28	17	20	71,4	0,036	96,4	3,6	0	NWG !	0,0274 +	0,0372
stationär	22	12	8	36,4	0,068	86,4	9,1	4,5	0,0045 +	0,0452 +	0,0561 +

Tabelle 138:

Trockenschleifen – Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	30	24	19	63,3	0,11	63,3	30	6,7	NWG !	0,13	0,21
stationär	21	15	13	61,9	0,045	85,7	14,3	0	NWG !	0,362	0,675
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	17	6	7	41,2	0,19	41,2	41,2	17,6	0,052 +	0,503	1,06

### 13.1.3 Nassschleifen, Entgraten, Feilen, Polieren, allgemeine Schleifarbeiten

Beim Nassschleifen werden durch Verwendung eines Kühlschmierstoffs die beim Schleifen entstehende Reibungswärme vermindert und das Werkstück gekühlt.

Die beim Schleifen freigesetzten Partikel werden darüber hinaus in der Kühlflüssigkeit gebunden. Das sorgt in der Regel für geringere Expositionen am Arbeitsplatz.

Der 90%-Wert für Quarz liegt, unabhängig von der Probenahmeart, unterhalb des BM.

Tabelle 139:

Nassschleifen, Entgraten, Feilen, Polieren, allgemeine Schleifarbeiten – Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	10	7	7	70	0,01	90	10	0	NWG !	0,04	0,0685
stationär	13	9	11	84,6	0,044	100	0	0	NWG !	0,0176 +	0,022 +

### 13.1.4 Strahlen, Oberflächenbehandlung

Tabelle 140:

Strahlen, Oberflächenbehandlung – Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	66	49	62	93,9	0,06	95,5	3	1,5	NWG !	NWG !	0,0213 +
stationär	36	24	29	80,6	0,026	91,7	8,3	0	NWG !	0,0194 +	0,336

### 13.1.5 Oberflächenbeschichtung, Farbspritzern, Flammsspritzern

Tabelle 141:

Oberflächenbeschichtung, Farbspritzern, Flammsspritzern – Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	20	11	7	35	0,029	50	50	0	0,041	0,38	0,43
stationär	13	6	11	84,6	0,066	84,6	0	15,4	NWG !	0,0327 +	0,0365 +

### 13.1.6 Pulverbeschichtung, Oberflächenbeschichtung, sonstige

Tabelle 142:

Pulverbeschichtung, Oberflächenbeschichtung, sonstige – Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	16	13	13	81,3	0,017	100	0	0	NWG !	0,0308	0,0396
stationär	25	16	20	80	0,03	100	0	0	NWG !	0,0118 +	0,0165 +

### 13.1.7 Fördern, Füllen, Mischen, Sieben, Wiegen von Feststoffen

Das Abwiegen, Mischen und Abfüllen von Feststoffen kann erfahrungsgemäß sehr staubintensiv sein; Staubaufwirbelungen sollten dabei vermieden werden. Wenn nicht eingehaust bzw. gekapselt werden kann, sollte zumindest eine lokale Absaugung verwendet werden. Diese sollte nach Möglichkeit nachführbar sein, damit sie effektiv an der Entstehungsstelle positioniert werden kann.

Der 90%-Wert für Quarz liegt, sofern quarzhaltige Stoffe aufgewirbelt werden, insbesondere bei den Messungen an der Person deutlich oberhalb des BM.

Tabelle 143:

Fördern, Füllen, Mischen, Sieben, Wiegen von Feststoffen – Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	26	14	13	50	0,039	76,9	23,1	0	0,007 +	0,346	0,579
stationär	21	12	12	57,1	0,01	100	0	0	NWG !	0,011	0,0233
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	7 ***	5	2	28,6	0,12	14,3	57,1	28,6	=Werte: 0,049 bis 1,6		

### 13.1.8 Montieren, Isolieren, Verkleiden

Tabelle 144:

Montieren, Isolieren, Verkleiden – Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	11	7	10	90,9	0,033	100	0	0	NWG !	NWG !	0,0284 +

### 13.1.9 Kontrolle, Prüfstände, Labor

Tabelle 145:

Kontrolle, Prüfstände, Labor – Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten (Fahrzeuge, Maschinen), Lackierereien

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	15	9	8	53,3	0,009	86,7	13,3	0	NWG !	0,296	0,657
stationär	14	6	10	71,4	0,009	100	0	0	NWG !	0,0126	0,021

## 13.2 Reparatur, Wartung, Werkstattarbeiten in weiteren Branchen

Branche
Porzellan und Geschirrkernik, Herstellung
Kohlekraftwerk
Sand, Gewinnung und Aufbereitung
Feuerfeste Waren, Herstellung
Naturstein, außer Kalkstein, Gips, Kreide, Schiefer, Gewinnung
Elektrotechnik, allgemein
Solartechnik, Herstellung
Ziegeleierzeugnisse, Herstellung
Porzellan und feinkeramische Massen, Herstellung
Eisengießerei
Zementwerk
Mörtel, Herstellung
Fertigmörtel, Herstellung
Sanitärkeramik, Herstellung
Kunststoffformteile, Herstellung
Kies- und Schotterwerke
Schleifkörper, -mittel, Herstellung
Chemische Industrie
Steine und Erden, Gewinnung (z. B. Naturstein, Rohton)
Mineralmahlwerke (Farberden)
Zement, Herstellung
Sondermörtel, Herstellung
Betonzeugnisse, Herstellung und Bearbeitung
Naturstein, allgemeine Aufbereitung
Kies und Sand, Aufbereitung
Natur(werk)stein, ohne Steinbildhauerei und Steinmetzerei, Verarbeitung
Gebrauchs-, Zier- und Kunstkeramik (industriell), Herstellung
Flachglas, Herstellung und Verarbeitung

Branche
Hohl-/Pressglas, Herstellung und Verarbeitung
Glasfasern, Herstellung und Verarbeitung
Hochofen-, Stahl- und Warmwalzwerke
E-Stahlwerk
Leichtmetallgießerei
Eisen- oder Stahl- und NE-Metallgießerei, gemischte
Maschinen- und Fahrzeugbau, allgemein
Werkstatt für Behinderte (WfB), allgemein

Arbeitsbereiche
<b>Allgemeine Arbeitsbereiche</b>
Werkstattarbeiten, allgemein
Reparatur und Wartung, allgemein
Reparatur und Wartung, in Werkstatt
Reparatur und Wartung, in Betrieb
<b>Keramik</b>
Reinigung, Reparatur, Sonstiges, Reparieren von Tunnelofenwagen bzw. Herdofenwagen
Reparatur an den Öfen
Reparatur der Ofenwagen
<b>Hochofen</b>
Kokillenhalle, Reparatur der Kokillen
Reparatur, Instandhaltung, allgemein
<b>Gießereien</b>
Installations-, Elektro-, Reparaturarbeiten an den Anlagen
Mechanische Werkstatt, Fertigschlosserei, Elektrowerkstatt, Raum
<b>Herstellung von Mörtel und Edelputz</b>
Instandhaltung der Anbaugeräte, Baustellensilos
<b>Glas</b>
Reparaturschlosserei

Tabelle 146:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Reparatur, Wartung, Werkstattarbeiten in weiteren Branchen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	44	32	29	65,9	0,075	86,3	11,4	2,3	NWG !	0,0456 +	0,15
stationär	58	38	23	39,7	0,01	96,6	3,4	0	0,0045 +	0,0234	0,0416
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	15	6	12	80	0,03	86,7	13,3	0	NWG !	0,0595	0,0815
stationär	18	9	4	22,2	0,019	88,9	11,1	0	0,003 +	0,0462	0,0713

# 14 Elektrotechnische und feinmechanische Industrie und Handwerke

## 14.1 Elektrotechnik

### Branche

Elektrotechnik, allgemein

Im Bereich der Elektrotechnik werden vielfältige Tätigkeiten ausgeübt, bei denen quarzhaltige Stoffe eingesetzt bzw. freigesetzt werden. Die Schwerpunkte liegen in den folgenden Arbeitsbereichen:

### 14.1.1 Abfüllen, Mischen, Wiegen

Quarz und quarzhaltige Stoffe werden in unterschiedlichen Produktionsprozessen eingesetzt, z. B. als Zuschlagstoff bei der Produktion von Gummi, Kunststoffen oder Kabeln sowie in Vergussmassen zum Vergießen von elektrischen und elektronischen Bauteilen. Beim Abfüllen, Mischen und Wiegen der quarzhaltigen Stoffe können Staubexpositionen auftreten.

### 14.1.2 Polieren, Schleifen, Strahlen, weitere spanende Bearbeitungsverfahren

In der Vergangenheit wurden unter anderem quarzhaltige Zuschlagstoffe in Vergussmassen zum Vergießen elektrischer und elektronischer Bauteile wie Motoren oder Transformatoren eingesetzt. Bei der Montage solcher Bauteile findet in der Regel eine mechanische Nachbe-

arbeitung statt. Daneben ist mit Quarzstaubexpositionen bei der mechanischen Bearbeitung von keramischen Isolatoren, Kunststoffgehäusen elektrischer Geräte und im Elektro-Ofenbau zu rechnen. Darüber hinaus wurde in der Vergangenheit bei der Oberflächenbearbeitung mittels Strahlverfahren Quarzsand als Strahlmittel eingesetzt.

Nicht selten werden die hier aufgeführten Tätigkeiten kurzzeitig durchgeführt. Bei der Durchführung von Gefahrstoffmessungen kommen je nach Fragestellung und Gegebenheiten vor Ort unterschiedliche Messstrategien zum Tragen (vgl. Abschnitt 4.3).

- **Messungen mit Tätigkeitsbezug:**  
Bei dieser Messstrategie wird lediglich die reine Tätigkeit wie Polieren, Schleifen und Strahlen, die kurzzeitig stattfindet, bei den Messungen berücksichtigt (Probenahmedauer < 2h). Die ermittelten Expositionswerte liegen in der Regel über denen der Messung mit Schichtbezug.
- **Messungen mit Schichtbezug:**  
Bei dieser Messstrategie werden neben den Tätigkeiten Polieren, Schleifen und Strahlen bei den Messungen auch weitere Tätigkeiten berücksichtigt, die während einer Schicht durchgeführt werden, z. B. Vorbereitungs- und Kontrolltätigkeiten (Probenahmedauer ≥ 2h). Die ermittelten Expositionswerte liegen in der Regel unter denen der Messung mit Tätigkeitsbezug.

Tabelle 147:  
Abfüllen, Mischen, Wiegen – Elektrotechnik

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	10	6	9	90	0,009	100	0	0	NWG !	NWG !	0,0128
stationär	5 ***	4 **	2	40	0,009	60	40	0	==Werte: 0,022 bis 0,17		

Tabelle 148:

Polieren, Schleifen, Strahlen, weitere spanende Bearbeitungsverfahren – Elektrotechnik

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	24	12	20	83,3	0,034	95,8	4,2	0	NWG !	0,0188 +	0,0264 +
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	10	6	8	80	0,032	80	20	0	NWG !	0,2	0,255

## 14.2 Schmuckwaren, Herstellung und Verarbeitung

### Branche

Schmuckwaren, Herstellung und Verarbeitung

Edelsteinschleifereien

Bei der Herstellung und Verarbeitung von Schmuckwaren werden – neben Metallen und Metalllegierungen – Schmucksteine sowie Edel- und Halbedelsteine mechanisch bearbeitet. Bei Tätigkeiten wie dem Schneiden, Schleifen und Polieren, insbesondere bei der Bearbeitung ohne ausreichende Erfassung, ist mit hohen Quarzstaubexpositionen zu rechnen.

Tabelle 149:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Schmuckwaren, Herstellung und Verarbeitung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	12	6	7	58,3	0,009	66,7	33,3	0	NWG !	0,51	0,886

### 14.3 Dentallabor

#### Branche

Deantallabor

In Dentallabors werden Einbettmassen mit einem Quarz- bzw. Cristobalitanteil von bis zu 50 % verarbeitet. Quarzhaltige Stäube entstehen in der Hauptsache beim Ein- und Ausbetten sowie bei Strahlarbeiten. Beim Strahlen werden noch anhaftende Reste von Einbettmasse am Werkstück in einer Strahlbox entfernt. Dazu finden in der Regel Glasperlen- oder Edelmetallstrahlmittel (Aluminiumoxid) Verwendung.

Die genannten Tätigkeiten werden meist kurzzeitig ausgeführt. Bei der Durchführung von Gefahrstoffmessungen kommen je nach Fragestellung und Gegebenheiten vor Ort unterschiedliche Messstrategien zum Tragen (vgl. Abschnitt 4.3).

- Messungen mit Tätigkeitsbezug:  
Bei dieser Messstrategie wird lediglich die reine Tätigkeit wie das Ein- und Ausbetten sowie das Strahlen

bei den Messungen berücksichtigt. Diese Tätigkeiten finden kurzzeitig statt (Probenahmedauer < 2h). Die ermittelten Expositionswerte liegen in der Regel über denen der Messung mit Schichtbezug.

- Messungen mit Schichtbezug:  
Bei dieser Messstrategie werden bei Gefahrstoffmessungen neben den Tätigkeiten des Ein- und Ausbetzens bzw. des Strahlens auch weitere Tätigkeiten, die während einer Schicht durchgeführt werden, z. B. Vorbereitungs- und Kontrolltätigkeiten mit berücksichtigt (Probenahmedauer ≥ 2h). Die ermittelten Expositionswerte liegen in der Regel unter denen der Messung mit Tätigkeitsbezug.

Für das Ein- und Ausbetten sowie Strahlarbeiten in Dentallabors liegt eine DGUV Information 213-730 „Mineralische Stäube beim Ein-, Ausbetten und Strahlen in Dentallaboratorien“, als Verfahrens- und stoffspezifisches Kriterium nach TRGS 420 vor. Werden die dort genannten Schutzmaßnahmen angewendet, wird der BM für Quarz und Cristobalit eingehalten.

Tabelle 150:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Dentallabor

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	12	11	10	83,3	0,017	100	0	0	NWG !	0,0137 +	0,0178
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	7 ***	6	2	28,6	0,037	42,9	57,1	0	=–Werte: 0,045 bis 0,73		

## 14.4 Elektroinstallationsarbeiten auf Baustellen

### Branche

Installation, Elektroanlagen

Auf Baustellen im Elektroinstallationshandwerk werden quarzhaltige Gesteinstäube beim Stemmen, Schlitzen von Stegen für Elektroleitungen und beim Setzen von Löchern für Schalter- und Verteilerdosen freigesetzt. Je nach verwendeter Maschinenteknik und den Erfassungseinrichtungen ist mit unterschiedlichen Quarzstaubexpositionen zu rechnen.

## 14.5 Reibbeläge

### Branche

Reibbeläge (Brems- und Kupplungsbeläge) Herstellung, Bearbeitung

Bei der Herstellung von Reibbelägen werden quarzhaltige, pulverförmige Reibmittel mit einem Bindemittel – in der Regel auf Basis von Kunstharzen – gemischt und auf einer Trägerplatte aus Stahl oder Grauguss verpresst. In nachfolgenden Arbeitsschritten werden die so gefertigten Rohlinge mechanisch bearbeitet (Schleifen, Bohren).

Tabelle 151:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Elektroinstallationsarbeiten auf Baustellen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>Keine Differenzierung</b>											
an der Person	14	4 **	2	14,3	0,046	50	50	0	0,033 +	0,47	0,929
stationär	14	4 **	5	35,7	0,038	64,3	35,7	0	0,016 +	0,338	0,541

Tabelle 152:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Reibbeläge

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	10	5	7	70	0,02	100	0	0	NWG !	0,019 +	0,02 +
stationär	24	4 **	23	95,8	0,022	95,8	4,2	0	NWG !	NWG !	NWG !

# 15 Forschungseinrichtungen, Bildungseinrichtungen, Energiegewinnung, Transport

## 15.1 Forschungs- und Untersuchungsinstitute, -labors, Konstruktionsbüros

Branche
Forschungs- und Untersuchungsinstitute, -labors
Ingenieurbüro für technische Fachplanung
Umweltservice, Beratung und Prüfung

Expositionsmessungen in Forschungs- und Untersuchungsinstituten, Labors und Konstruktionsbüros fanden in den verschiedensten Bereichen statt. Besonders hohe Staubbelastungen konnten immer dann festgestellt

werden, wenn im Rahmen der Untersuchungstätigkeiten mechanische Zerkleinerungs- oder Sortier-/Siebvorgänge stattfanden. Dies ist z. B. in Baustoffprüflabors oder geologischen Forschungseinrichtungen der Fall. Eine weitere Quelle höherer Staubexpositionen ist die spanende Bearbeitung von Untersuchungsgegenständen durch Trockenschleifen, Sägen oder ähnliches.

Die hohen Werte oberhalb des BM für quarzhaltigen A-Staub treten hauptsächlich bei der spanenden Bearbeitung von Untersuchungsgegenständen durch Trockenschleifen, Sägen und Reinigen der Laboreinrichtungen durch Kehren auf.

Tabelle 153:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Forschungs- und Untersuchungsinstitute, -labors, Konstruktionsbüros

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	19	11	7	36,8	0,047	42,1	57,9	0	0,0515	0,253	0,463
stationär	19	9	6	31,6	0,01	89,5	10,5	0	0,0048 +	0,046	0,0556

## 15.2 Berufsschulen und Ausbildungsstätten für das Bauhandwerk

### Branche

Schulen der beruflichen Aus- und Fortbildung

Ausbildungsstätten

Bei der praktischen Ausbildung zu Berufen aus dem Bauhandwerk (z. B. Maurer) führen die Auszubildenden typische Tätigkeiten wie Mauer- und Betonierarbeiten durch. Die

erstellten Übungsbauwerke werden anschließend wieder abgebrochen und die Unterrichtsräume gereinigt. Diese Tätigkeiten finden in größeren geschlossenen Unterrichtsräumen oder Hallen statt und werden normalerweise von mehreren Auszubildenden gleichzeitig durchgeführt. Generell wurden relativ hohe Staubkonzentrationen vor allem bei den personengetragenen Messungen an Auszubildenden oder Lehrenden ermittelt. Die hohen Werte oberhalb des BM für quarzhaltigen A-Staub bei kurzen Probenahmedauern treten hauptsächlich beim Reinigen der Unterrichtsräume durch Kehren und beim Abbrechen der Übungsbauwerke auf.

Tabelle 154:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Berufsschulen und Ausbildungsstätten für das Bauhandwerk

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	22	10	13	59,1	0,04	90,9	9,1	0	NWG !	0,0314 +	0,237
stationär	11	6	4	36,4	0,007	100	0	0	0,0048 +	0,0157	0,0169
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	11	3 **	8	72,7	0,044	81,8	18,2	0	NWG !	0,0922	0,136
stationär	13	5	4	30,8	0,025	84,6	15,4	0	0,0123 +	0,146	0,271

## 15.3 Transport

### Branche

Transport, Spedition, Verkehrsbetriebe und dgl.

Straßenbahnverkehr

Tabelle 156:

Transport – Fahrzeughallen und Werkstätten

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	11	7	3	27,3	0,008	90,9	9,1	0	0,005 +	0,0206	0,0566
stationär	20	8	5	25	0,56	35	55	10	0,058 +	0,52 +	0,57
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	21	5	3	14,3	0,02	90,5	9,5	0	0,015 +	0,0468	0,0546
stationär	19	8	4	21,1	0,009	36,8	63,2	0	0,0815	0,329	0,423

## 15.4 Energiegewinnung

### Branche

Kohlekraftwerk

Heizkraftwerk

Heizwerk

Zur Dampferzeugung werden je nach Kraftwerkstyp unterschiedliche Brennstoffe der Verbrennung zugeführt. Neben Erdöl und Erdgas kommt unter anderem auch quarzhaltige Steinkohle als Brennstoff zum Einsatz. Mit Quarzstaubexpositionen ist bei Förder- und Transportvorgängen von Steinkohle sowie bei den bei der Verbrennung entstehenden Aschen zu rechnen. Darüber hinaus werden bei Revisionsarbeiten im Kessel neben quarzhaltigen Verbrennungsrückständen Kesselauskleidungen (Stein, Mörtel) mechanisch bearbeitet. In solchen Fällen ist mit hohen Quarzstaubexpositionen zu rechnen.

Tabelle 155:  
Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Energiegewinnung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	126	26	107	84,9	0,026	98,4	1,6	0	NWG !	0,0098 +	0,017 +
stationär	130	21	92	70,8	0,04	98,5	1,5	0	NWG !	0,017 +	0,026 +
<b>&lt; 2 h</b>											
an der Person	16	5	5	31,3	0,062	18,7	68,8	12,5	0,23	1,84	3,4

Hohe Werte bei Probenahmedauer < 2 h treten bei einer Messserie bei „Bau, Abbrucharbeiten“ (13 Messwerte) auf

# 16 Groß- und Einzelhandel, Getränkeherstellung

## 16.1 Groß- und Einzelhandel, mit verschiedenen Baustoffen

### Branche

Großhandel mit Baustoffen

Einzelhandel mit Bau- und Heimwerkerbedarf

Baumärkte sind in der Regel sehr großflächige Handelsbetriebe. Sie lassen sich grob in zwei Bereiche unterteilen: den Verkauf (Kundenbereich), dem gelegentlich ein Drive-In angegliedert ist, und das Lager mit Wareneingang.

Baumärkte weisen verschiedene Fachabteilungen auf wie Bauelemente, Baustoffe, Holz, Farben, Tapeten, Teppiche, Werkzeug, Maschinen und Garten sowie Elektroinstallation und Lampen. Insbesondere im Bereich der Baustoffe sind auch quarzhaltige Produkte wie Sande oder bestimmte Natursteine, z. B. Granit, im Sortiment zu finden.

Im Baustoffhandel werden die von Lieferanten angelieferten Baustoffe palettenweise, stückweise oder auch als Schüttgut zwischengelagert und an Bauunternehmen oder Privatkunden ausgeliefert bzw. von diesen abgeholt.

Von den Beschäftigten im Baustoffhandel werden unterschiedlichste Baustoffe für die Auslieferung oder Abholung zusammengestellt. Neben dem maschinellen Verladen von Schüttgütern und dem Transport ganzer Paletten mit Flurförderzeugen werden diese Waren auch von Hand kommissioniert – und dabei gehoben, getragen und umgesetzt.

Quarzstäube können in Bau- und Heimwerkermärkten z. B. beim Abfüllen von Produkten wie Sand entstehen. Auch undichte Säcke oder Gebinde können in diesem Zusammenhang von Bedeutung sein. Auch bei der Bearbeitung von Natursteinen wie Granit kann es zur Entstehung von quarzhaltigen Stäuben kommen.

Bei der Abfüllung bzw. Bearbeitung von quarzhaltigen Produkten ist auf eine wirkungsvolle Erfassung zu achten. Ansonsten kann es zu teils erheblichen Expositionen gegenüber Quarzstaub kommen. Insgesamt lassen sich Expositionen gegenüber Quarzstaub durch regelmäßige Reinigung entsprechender Arbeitsbereiche wirkungsvoll vermeiden. Zur Reinigung sind bevorzugt Industriestaubsauger (Staubklasse H) oder Nassverfahren einzusetzen. Ein Abblasen oder Abfegen von Oberflächen ist nicht zulässig.

Tabelle 157:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Groß- und Einzelhandel, mit verschiedenen Baustoffen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	22	17	7	31,8	0,013	86,4	13,6	0	0,019	0,146	0,17
stationär	15	11	5	33,3	0,045	80	20	0	0,0115 +	0,0785	0,0985

## 16.2 Großhandel mit chemischen Produkten

### Branche

Großhandel mit Chemikalien

Großhandel mit Anstrich-, Kleb- und Beschichtungsstoffen

Großhandel mit pharmazeutischen und kosmetischen Erzeugnissen sowie medizinischen Bedarfsartikeln

Chemikalien oder gefährliche Stoffe (Gefahrstoffe) sind in allen Wirtschafts- und Lebensbereichen präsent. Es obliegt es im Wesentlichen dem Handel – hier speziell dem Chemikalienhandel – zu gewährleisten, dass diese Stoffe überall dort verfügbar sind, wo sie eingesetzt, verarbeitet oder verbraucht werden sollen. Chemikalien werden dabei als Feststoffe (z. B. als Granulate, Pellets, Pulver etc.), Pasten, Flüssigkeiten oder auch Gase abgefüllt, verpackt, gelagert und transportiert. Insbesondere im Bereich der Bauchemikalien sind dabei auch quarzhaltige Produkte wie Putze und Grundierungen vertreten.

Neben allgemeinen Gefährdungen sind die Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Chemikalien oder bauchemischen Produkten zusätzlichen, besonderen Belastungen und Gefährdungen aufgrund der toxischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Stoffe ausgesetzt. Insofern sind beim Auftreten von Stäuben in entsprechenden Arbeitsbereichen immer auch deren spezifische Eigenschaften zu berücksichtigen – dies gilt sowohl für quarzhaltige als auch nicht quarzhaltige Stäube.

Quarzhaltige Stäube können insbesondere bei der Herstellung und Abfüllung von quarzhaltigen Produkten in Form von Pulvern, Granulaten oder Pellets auftreten. Bei diesen Tätigkeiten, die sowohl manuell als auch (halb)automatisch ausgeführt werden, ist auf eine wirkungsvolle Erfassung eventuell entstehender Stäube sowie eine regelmäßige Reinigung entsprechender Arbeitsbereiche zu achten.

Tabelle 158:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Großhandel mit chemischen Produkten

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	24	5	6	25	0,057	50	41,7	8,3	0,034 +	0,262	0,618

### 16.3 Brauereien und Getränkehersteller, Filtration

Kieselgur ist das gebräuchlichste Filterhilfsmittel in der Getränkeindustrie zur Entfernung von Trübstoffen aus Bier, Saft, Spirituosen und Wein mittels Filtration. Kieselgur (Diatomit, Diatomeenerde) besteht aus feinporigen fossilen Sedimenten einzelliger Kieselalgen (Diatomeen). Das aus Lagerstätten gewonnene Rohprodukt ist wasserhaltig und von „erdiger“ Beschaffenheit (Diatomeenerde). Der Hauptbestandteil ist reine Kieselsäure bzw. amorphes Siliciumdioxid.

Bei der Aufbereitung zur Verwendung in der Lebensmittelproduktion wird die Diatomeenerde einem Trocknungs-, Glüh- bzw. Brennprozess unterworfen. Je nach Temperatur und Einwirkdauer erhält man verschiedene Guren, die sich in ihrer Porenstruktur und damit auch in ihren Filtrationseigenschaften unterscheiden. Gleichzeitig wird durch den Prozess ein beträchtlicher Teil des amorphen Siliciumdioxids in kristallines Siliciumdioxid (Cristobalit) umgewandelt.

Hierbei lassen sich drei Verfahren unterscheiden: das Trocknen, das Kalzinieren und das Flusskalzinieren. Die Trocknung der Kieselgur bei Temperaturen von 300 bis 400 °C dient zum Austreiben der Feuchte und zum Verglühen organischer Bestandteile. Im Resultat erhält man eine Feingur. Bei der Kalzination wird die Kieselgur bei Temperaturen von 800 bis 1 000 °C behandelt. Dabei kommt es zum vollständigen Abbau aller organischen Verbindungen und zu einer Oxidation des in der Kieselgur enthaltenen Eisens. Die Porenstruktur der Kieselgur wird dadurch teilweise verschlossen. Kieselgurteilchen beginnen an ihrer Oberfläche anzuschmelzen und bilden kleinere Agglomerate. Es handelt sich im Ergebnis meist um mittelfeine bis grobe Kieselguren. Eine Erweiterung dieses Verfahrens stellt die Flusskalzinierung dar, bei der unter Zugabe von Alkaliflussmitteln die Schmelztemperatur der Kieselgur durch die Bildung von Alkalisilikaten gesenkt wird. Die Temperaturbehandlung erfolgt zwischen 800 und 1100 °C in Drehrohröfen. Durch verflüssigte Alkalisilikate werden die Oberflächenstrukturen der Kieselgur überdeckt, die Poren verschlossen und Kieselgurteilchen unter Einwirkung des Flussmittels zu größeren Agglomeraten versintert, sodass man grobe Kieselguren erhält. Je nach Zugabemenge an Alkaliflussmitteln (z. B. Natriumcarbonat) nimmt der Anteil an kristallinem Siliciumdioxid von 30 % bei reiner Kalzinierung auf 60 bis 70 % zu. Nach allen Temperaturbehandlungen wird durch Mahlen und Sichten eine gewünschte Korngrößenverteilung erreicht, um bei der Streubreite der Naturprodukte gleichbleibende Filtrateigenschaften zu erhalten. Die flusskalzinierte Kieselgur ist unter REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction

of Chemicals, Verordnung (EG) 1907/2006) registriert (CAS: 68855-54-9). Die übliche Einteilung nach Filtrationseigenschaften geschieht nach Wasserdurchlässigkeit (Permeabilität), dem sogenannten Darcy-Wert. Dieser korreliert mit der Korngrößenverteilung. Für die Bierfiltration ist Kieselgur aufgrund ihrer Inkompressibilität und ihrer sehr großen spezifischen Oberfläche von bis zu 20m<sup>2</sup>/g ideal geeignet [37].

Die Filtrationsprinzipien bei Bier sind die Anschwemm- bzw. Tiefenfiltration. Das zu filtrierende Produkt wird zunächst mit Grobgur vermischt, um eine sogenannte Stützschiicht zu bilden. Dieser Vorgang nennt sich Voranschwemmung. Zum weiteren Aufbau des Filterkuchens werden Mittel- bis Feinguren zugegeben (sogenannte laufende Dosage). Die Filtrationsschärfe steigt durch das vergrößerte Porensystem der Filterhilfsmittel an. Zumeist wird bei der laufenden Dosage eine Suspension von Feingur hinzugegeben, um eine konstante Durchlässigkeit der Oberfläche des Filterkuchens und damit der Filtrationswirkung zu gewährleisten. Die Filtration ist beendet, wenn durch den Filterkuchen aus Kieselguren und Trübstoffen der Differenzdruck zu groß wird und die Gefahr des Reißens von Filterkuchen und Stützschiicht besteht. Im Durchschnitt werden bei Bier ca. 170g Kieselgur pro Hektoliter Unfiltrat benötigt.

Filtertypen sind Rahmenfilter, Horizontal-Siebfilter, Kerzenfilter und Vakuum-Drehfilter. Der Rahmenfilter wird überwiegend in kleineren bis mittelgroßen Brauereien eingesetzt. Der Horizontal-Siebfilter ist selten und der Kerzenfilter gelegentlich in Betrieben jeder Größe anzutreffen. Der Vakuum-Drehfilter wird bei der Filtration von Saft und Wein eingesetzt [38].

**Abbildung 34:**  
Zugabe von Filtrierhilfsmitteln bei der Getränkeherstellung. Quelle: BGN



Die Zugabe der Filterhilfsmittel erfolgt in den kleinen und mittleren Betrieben in ein Dosagegefäß mittels Schaufel bzw. direkt mittels Sackware (z. B. 20 kg). Während der Zugabe wird in aller Regel eine FFP2-Maske getragen.

Die Exposition gegenüber potenziell silikogenen Stäuben geschieht ganz wesentlich beim Einfüllen der Filterhilfsmittel in das Dosagegefäß und beim anschließenden Entsorgen der Papiersäcke. Typischerweise findet die Filtration bei kleineren Brauereien lediglich einmal pro Woche statt. Anhand der Unfiltratmenge in Hektolitern kann man ungefähr auf die Masse der zugegebenen Filterhilfsmittel schließen.

Bei sehr großen Brauereien erfolgt die Zugabe typischerweise automatisiert und staubfrei im geschlossenen System aus Bigbags.

Bei der Weinherstellung ist die oben beschriebene Filtration seltener anzutreffen und die durchschnittliche Menge an Filterhilfsmittel liegt im Durchschnitt bei nur 100g/hl Unfiltrat.

Die folgenden Expositionsdaten wurden im Zeitraum von 2014 bis 2018 ermittelt und stellen Messwerte bis 4 h Messdauer dar. Unter den 29 Betrieben waren zwei Fruchtsafthersteller und 27 Brauereien.

In den meisten Fällen wird Cristobalit in der alveolen-gängigen Fraktion nachgewiesen, lediglich vier Messwerte lagen unter der NWG. Bei einem Einzeldatensatz, bei dem die Konzentration von Quarzfeinstaub größer als der BM war, konnte die Ursache nicht geklärt werden [39].

Tabelle 159:  
Quarz – Brauereien und Getränkehersteller, Filtration

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	32	29	25	78,1	0,025	96,9	3,1	0	NWG!	0,0145	0,0292
stationär	31	29	21	67,7	0,014	100	0	0	NWG!	0,0067	0,0085

Tabelle 160:  
Cristobalit – Brauereien und Getränkehersteller, Filtration

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	32	29	4	12,5	0,011	78,1	21,9	0	0,027	0,0704	0,0989
stationär	31	29	7	23	0,005	91	9	0	0,007	0,024	0,0573

## Quarz und Cristobalit – Paare aufsummiert

Tabelle 161:

Quarz und Cristobalit – Paare aufsummiert - Brauereien und Getränkehersteller, Filtration

Probe- nahmeart	Anzahl Messwerte #	Anzahl Betriebe	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>								
an der Person	32	29	68,8	31,1	0,1	0,0325	0,0988	0,1037
stationär	31	29	90,3	9,7	0	0,0098	0,0328	0,0612

# Werte die als Summe aus einem Quarz- und einem Cristobalitmesswert vom selben Probenträger in die Statistik eingehen, wurden als ein Messwert gezählt

# 17 Entsorgung, Recycling

## 17.1 Abfallsammlung, -entsorgung, -verbrennung und -recycling (ohne Glasrecycling); Abwasserentsorgung

Branche
Abfall- und Abwasserentsorgung
Abfallentsorgung
Abfallverbrennung
Deponie
Verpackungsmaterialrecycling (z. B. DSD-Wertstoffe)
Kunststoffrecycling
Abfallsortieranlage
Kompostierungsanlagen
Klärschlammrecycling
Abwasserentsorgung

Es erfolgte keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen.

Tabelle 162:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Abfallsammlung, -entsorgung, -verbrennung und -recycling (ohne Glasrecycling); Abwasserentsorgung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	12	7	9	75	0,009	100	0	0	NWG!	0,0138	0,0192
stationär	15	10	7	46,7	0,012	100	0	0	0,006 +	0,0215	0,0285

Tabelle 163:

Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Elektronikschrottreycling

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	15	4 **	11	73,3	0,019	100	0	0	NWG!	0,0098 +	0,0105 +

## 17.2 Elektronikschrottreycling

Branche
Elektronikschrottreycling

In der Vergangenheit wurden unter anderem quarzhaltige Zuschlagstoffe in Vergussmassen zum Vergießen elektrischer und elektronischer Bauteile eingesetzt. Darüber hinaus besitzen alte elektrische Widerstände und Schmelzsicherungen nicht selten eine Quarzsandfüllung. Bei der Demontage von Elektro-Altgeräten im Rahmen des Recyclingprozesses kann es insbesondere bei der Zerstörung der genannten Bauteile zu Quarzstaubexpositionen kommen.

## 17.3 Glasrecycling

### Branche

Glasrecycling

Im Bereich Glasrecycling wird das meist in öffentlichen Glascontainern gesammelte Altglas sortiert, getrennt und mechanisch aufbereitet. Im ersten Schritt erfolgt in der Regel eine manuelle Vorsortierung. Hier werden größte Verunreinigungen manuell vom Sortierband genommen. Im zweiten Schritt erfolgt die gezielte Zerkleinerung im Brecher auf eine Größe von ca. 15 mm zu möglichst einheitlichen Bruchstücken, im dritten Schritt eine automatische Sortierung nach Material und Farbe. Leichte Fremdstoffe werden mittels Siebung und Windsichtung, Metalle mit Metallabscheidern abgeschieden. Um Fehler und unerwünschte Farbänderungen in den fertigen Glasprodukten zu vermeiden, werden farbliche Glaseinmischungen und lichtundurchlässige Materialien wie Steine und Keramik in den Scherben durch elektrooptische Sortierung getrennt. Das so gewonnene Recyclingglas wird in Boxen offen gelagert und kann dann in der Glasindustrie mit einem Gemengeanteil von bis zu 90 % als wertvoller Rohstoff eingesetzt werden.

Da es sich bei allen Verarbeitungsschritten um mechanische Verfahren handelt, ist dabei mit der Entstehung von Staub zu rechnen. Das Siliziumdioxid liegt im Glas im amorphen Zustand vor. Durch die mechanische Bearbeitung der Glasscherben im Brecher kann es in dem abgetragenen Glasstaub zur Teil-Rekristallisierung und damit zum Nachweis von quarzhaltigem A-Staub kommen. Die ermittelten Messergebnisse liegen für diesen deutlich unter dem BM.

Abbildung 35: Lagerung von recycelten Glasscherben. Quelle: VBG



Tabelle 164: Keine Differenzierung nach Arbeitsbereichen – Glasrecycling

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	27	14	21	77,8	0,028	96,3	3,7	0	NWG!	0,0133 +	0,0302
stationär	30	12	9	30	0,01	100	0	0	0,004 +	0,011	0,0195

## 17.4 Baustoffrecycling- und Sortieranlagen

### Branche

Schlackenaufbereitung

Baustoffrecycling

Recycling mineralischer Baustoffe

Mineralische Bauabfälle bestehen im Wesentlichen aus Beton, Mauersteinen und Ziegeln. Auch mit Bitumen gebundener Straßenaufbruch zählt dazu. Um die Abfälle zu zerkleinern, oftmals mit einer mobilen Anlage direkt am Ort des Abbruchs, werden insbesondere Brecher, Mühlen und Siebe eingesetzt. Von der Freisetzung quarzhaltiger Stäube ist dabei auszugehen.

Maßnahmen zur Staub- und damit Quarzreduktion in der Luft am Arbeitsplatz sind insbesondere Befeuchtung des Abbruchgutes, Einsatz von Wasserverneblern, Einhausung und Absaugung staubender Aggregate, aber auch Minimierung von Fallhöhen und Verzicht auf Wurfbänder. An Zerkleinerungsanlagen dürfen sich Beschäftigte nur an den vom Hersteller vorgesehenen Plätzen aufhalten. Auch beim Verladen, Umschlagen und Transportieren der zerkleinerten Abfälle sind Staubfreisetzungen zu erwarten.

Die Sortierung des zerkleinerten Bauschutts geschieht z. B. per Lesestationen/Sortierbändern, Sichteranlagen und Magnetabscheidern. Beim manuellen Sortieren in Sortierkabinen ist ganz besonderes Augenmerk auf die Minimierung der Staubfreisetzung zu legen, da es sich hier um vollschichtige Arbeitsplätze mit unzureichender natürlicher Belüftung handeln kann.

Zu beachten sind neben der GefStoffV (Anhang I Nr. 2 „Partikelförmige Gefahrstoffe“) und der TRGS 559 „Quarzhaltiger Staub“ die DGUV Regel 101-603 „Branche Abbruch und Rückbau“ sowie die Nr. 5.2.3 „Staubförmige Emissionen bei Umschlag, Lagerung oder Bearbeitung von festen Stoffen“ der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft).

Abbildung 36:  
Staubmessungen an einem Sortierband beim Bauschuttrecycling. Quelle: VBG



### 17.4.1 Brecher, Mühle

Tabelle 165:

Brecher, Mühle – Baustoffrecycling- und Sortieranlagen

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	39	24	16	41	0,042	59	41	0	0,0208 +	0,3	0,349
stationär	25	16	5	20	0,012	56	44	0	0,0295	0,56	1,145

### 17.4.2 Fördern, Lagern, Transportieren, Verladen

Tabelle 166:

Fördern, Lagern, Transportieren, Verladen – Baustoffrecycling- und Sortieranlagen

Probe-nahme-art	Anzahl Mess-werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per-zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per-zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per-zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	37	23	31	83,8	0,017	94,6	5,4	0	NWG !	0,0226	0,0493
stationär	12	9	8	66,7	0,015	100	0	0	NWG !	0,014 +	0,0206

### 17.4.3 Klassieren, Mischen, Sieben, Sortieren

Tabelle 167:

Klassieren, Mischen, Sieben, Sortieren – Baustoffrecycling- und Sortieranlagen

Probe-nahme-art	Anzahl Mess-werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per-zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per-zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per-zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	30	22	11	36,7	0,011	83,3	16,7	0	0,01 +	0,08	0,215
stationär	17	14	4	23,5	0,014	88,2	11,8	0	0,0125 +	0,0525	0,079
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	10	3 **	0		k. A.	40	60	0	0,056	0,23	0,24

### 17.4.4 Kontrolle, Steuerkabinen, Prüfstände

Tabelle 168:

Kontrolle, Steuerkabinen, Prüfstände – Baustoffrecycling- und Sortieranlagen

Probe-nahme-art	Anzahl Mess-werte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Per-zentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Per-zentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Per-zentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	12	8	7	58,3	0,021	100	0	0	NWG !	0,0246	0,032

# 18 Bauwirtschaft

Die im folgenden aufgeführten Expositionsdaten der Bauwirtschaft sind bezüglich der zugrundeliegenden Datenkollektive an die Angaben im BGIA-Report 08/2006 [10] angelehnt. Die dortigen Anmerkungen grundsätzlicher Art zu den Arbeitsverfahren und Arbeitsumständen gelten weiterhin. In der Bauwirtschaft wurden Branchenlösungen bezüglich der Staubexpositionen in einzelnen Gewerken erarbeitet. Dort befinden sich gewerks- und tätigkeitsspezifische Angaben zu weiteren Expositionen, die laufend aktualisiert werden ([www.staub-war-gestern.de](http://www.staub-war-gestern.de)).

## 18.1 Mauerwerks- und Klinkerbau

### 18.1.1 Mauern

Bei den Expositionswerten wurden auch Tätigkeiten in geschlossenen Räumen (Ausbildungsstätten/Ofenbau) berücksichtigt. Im Freien bei Neubauarbeiten sind eher geringere Messwerte zu erwarten. Im Zusammenhang mit der Bemühung um staubarme Techniken stehen mittlerweile auch Lösungen wie der Einsatz von Mörtelpads zur Verfügung, die ein staubintensives Anrühren von Mörteln verhindern. Dies floss in den Datenzeitraum noch nicht ein. Insgesamt hat sich die Mörtelmenge durch den Einsatz von Plansteinen, die nur noch geklebt werden müssen, deutlich verringert. Dies betrifft alle tragenden Mauerwerke. Bei Verblendmauerwerk hat sich diesbezüglich keine Änderung ergeben. Tätigkeiten bei Umbau-

arbeiten sind als höher staubbelastet einzustufen, da sie zum einen häufig bei eingeschränkter Lüftung durchgeführt werden und zum anderen unter dem Einfluss einer durch andere Tätigkeiten verursachten höheren Grundbelastung stehen.

### 18.1.2 Sägen

Die folgenden Messwerte wurden im Innenraum beim trockenen Sägen von Steinen ermittelt. Die Handwerkzeuge waren mit einer Absaugung versehen, die aber nur begrenzt effektiv war. Bezüglich des üblichen Sägevorganges auf Baustellen, insbesondere bei der üblichen Anwendung von Nasssägen, wird auf den BGIA-Report 08/2006 [10] verwiesen. Bei den Nasssägen gab es keine tiefgreifenden Fortentwicklungen, sodass diese Datenkollektive weiterhin herangezogen werden können.

## 18.2 Putzarbeiten

Für Putzarbeiten (Verputzen, Glätten, Putz abschlagen) gibt es aus dem Erhebungszeitraum dieses Reports nur wenige Messdaten aus der betrieblichen Praxis. Diese liegen in der Bandbreite der im BGIA-Report 08/2006 [10] aufgeführten Messdaten. Die Arbeitsverfahren und -bedingungen sind weitgehend unverändert geblieben. Die Messdaten können auch auf die Zeit nach 2004 übertragen werden.

Tabelle 169:  
Mauern – Mauerwerks- und Klinkerbau

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	5	4	1	20	0,009	40	60	0	=Werte: 0,032 bis 0,11		

Tabelle 170:  
Sägen – Mauerwerks- und Klinkerbau

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	6	1	0		k. A.	16,7	83,3	0	=Werte: 0,025 bis 0,61		

### 18.3 Abbrucharbeiten

Für die Tätigkeiten gibt es aus dem Erhebungszeitraum dieses Reports nur wenige Messdaten aus der betrieblichen Praxis. Diese liegen in der Bandbreite der im BGIA-Report 08/2006 [10] aufgeführten Messdaten. Die Arbeitsverfahren und -bedingungen sind weitgehend unverändert geblieben. Die Messdaten können auch auf die Zeit nach 2004 übertragen werden. Für Abbrucharbeiten, Stemmen und Meißeln gibt es aus dem Erhebungszeitraum dieses Reports keine Messdaten aus der Praxis.

### 18.4 Erd-, Planier-, Verdichtungs- und Pflasterarbeiten

#### 18.4.1 Transportieren mit regelmäßiger Bewässerung oder Einsatz von Staubbindemittel

Die Messwerte resultieren aus Versuchen mit den Staubbindemitteln Calcium-Magnesium-Acetat und

Magnesiumchlorid. Weiterhin ist die Wasserbedüsung aus diesen Versuchen eingeflossen, wobei eine sehr regelmäßige Bewässerung stattfand.

#### 18.4.2 Transportieren ohne regelmäßige Bewässerung oder Einsatz von Staubbindemittel

Die Messwerte wurden überwiegend auf einer Versuchsstrecke gewonnen, die stark gegenüber dem Wind exponiert war. Dies erklärt den hohen Anteil niedriger Werte trotz hoher sichtbarer Staubemission.

#### 18.4.3 Planieren

Maßgebend für die Exposition A-Staub und Quarz bei Planierarbeiten ist die Feuchte an der Bodenoberfläche. Dies erklärt die große Streuung der Messwerte. Aufgrund der geringen Anzahl der Messwerte sollten die Daten des BGIA-Reports 08/2006 [10] verwendet werden.

Tabelle 171:

Transportieren mit regelmäßiger Bewässerung oder Einsatz von Staubbindemittel – Erd-, Planier-, Verdichtungs- und Pflasterarbeiten

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	135	3	126	93,3	0,011	100	0	0	0,010 +	0,010 +	0,0155

Tabelle 172:

Transportieren ohne regelmäßige Bewässerung oder Einsatz von Staubbindemittel – Erd-, Planier-, Verdichtungs- und Pflasterarbeiten

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	10	6	9	90	0,069	90	10	0	0,008 +	0,077	0,269

Tabelle 173:

Planieren – Erd-, Planier-, Verdichtungs- und Pflasterarbeiten

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	7	5	2	29	0,019	85,7	14,3	0	=-Werte: 0,007 bis 0,93		

## 18.5 Kachelofen-, Schornstein- Feuerungs- und Industrieofenbau

Für das Anmischen pulverförmiger Produkte gibt es aus dem Erhebungszeitraum dieses Reports keine Messdaten aus der Praxis. Die Messdaten aus dem BGIA-Report 08/2006 [10] können übernommen werden. Bei staubarmen Fliesenklebern, Trockenmörtel und Spachtelmassen ergibt sich aus dem Analogieschluss über die A-Staubexpositionen eine Absenkung der Exposition gegenüber nicht staubarmen Produkten um ungefähr den Faktor 10 ([www.bgbau.de/fileadmin/Gisbau/Anmstarm\\_Tr\\_080611.pdf](http://www.bgbau.de/fileadmin/Gisbau/Anmstarm_Tr_080611.pdf)).

## 18.6 Dachdeckerarbeiten

### 18.6.1 Trennschleifen von Dachziegeln und Betondachsteinen

Für Dachdeckerarbeiten gibt es aus dem Erhebungszeitraum dieses Reports keine Messdaten aus der Praxis. Die Messdaten aus dem BGIA-Report 08/2006 [10] können auch auf die Zeit nach 2004 übertragen werden.

## 18.7 Betonbau

Für das Ausschalen liegen aus dem Erhebungszeitraum dieses Reports nur einzelne Messdaten vor. Diese bewegen sich im Bereich der früheren Messdaten. Die

Messdaten aus dem BGIA-Report 08/2006 [10] können auch auf die Zeit nach 2004 übertragen werden. Für das Reinigen von Schalung liegen nur einzelne Messdaten vor. Diese bewegen sich weitgehend im Bereich der früheren Messdaten. Die Messdaten können übernommen werden. Bei der Aufarbeitung von Schalungen unter Verwendung nicht abgesaugter Handmaschinen (Nadelpistole, Winkelschleifer) wurden Expositionen im Bereich des BM für Quarzstaub gemessen.

### 18.7.1 Betonierarbeiten

Beim Umgang mit feuchten Massen, die verarbeitungsfertig an die Einbaustelle geliefert werden, ist nur eine untergeordnete Staubentwicklung zu beobachten. Ausgewiesen sind die Werte der stationären Messungen. Personengetragene Messungen liegen nur in geringer Anzahl vor, diese liegen unterhalb der Nachweisgrenze.

## 18.8 Baustellenreinigung

### 18.8.1 Reinigen, allgemein und mit dem Besen

Für das Reinigen mit dem Besen liegen nur einzelne Messdaten vor. Diese bewegen sich im Bereich der früheren Messdaten. Die Messdaten aus dem BGIA-Report 08/2006 [10] können auch auf die Zeit nach 2004 übertragen werden.

Tabelle 174:  
Betonierarbeiten – Betonbau

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	10	4	5	50	0,005	90	10	0	0,004 +	0,030	0,046

Tabelle 175:  
Reinigen, allgemein und mit dem Besen – Baustellenreinigung

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	6	3	4	67	0,18	50	50	0	=-Werte: 0,035 bis 0,081		

## 18.8.2 Reinigung mit der Kehrmaschine, Staubsaugen

Für den Tätigkeitsbereich liegen nur einzelne Messdaten vor. Diese bewegen sich im Bereich der früheren Messdaten. Die Messdaten aus dem BGIA-Report 08/2006 [10] können übernommen werden. Einzelne Messungen mit Kehrmaschinen nach 2016 zeigen, dass der BM für Quarzstaub überschritten werden kann, z. B. bei hoher Staubbelastung des Bodens und Verwendung des Seitenkehrbesens der Kehrmaschine. Die Erfassung des vom Seitenkehrbesen aufgewirbelten Staubes erfolgt nur unzureichend. Mittlerweile gibt es Lösungsansätze in Form einer Abdeckung des Seitenkehrbesens oder einer Wasserbedüsung auch für kleinere Geräte für den betrieblichen Alltag.

Tabelle 176:  
Strahlen feucht, nass, flüssig – Strahlarbeiten

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	8	2	4	50	0,026	87,5	12,5	0	=-Werte: 0,022 bis 0,18		
stationär	13	3	10	77	0,024	100	0	0	0,00875+	0,0127 +	0,0147 +

## 18.9 Strahlarbeiten

### 18.9.1 Strahlen, trocken

Für den Tätigkeitsbereich liegen nur einzelne Messdaten vor. Diese bewegen sich im Bereich der früheren Messdaten. Die Messdaten aus dem BGIA-Report 08/2006 [10] können auch auf die Zeit nach 2004 übertragen werden.

### 18.9.2 Strahlen feucht, nass, flüssig

Für Messungen mit einer Probenahmedauer ≥ 2 h liegen nur einzelne Messwerte vor.

## 18.10 Straßenbau

### 18.10.1 Fräsen im Straßenbau

Prinzipiell wird beim Fräsen im Straßenbau zwischen der Verwendung von Groß- und Kleinfräsen unterschieden. Bei den Messwerten im Auswertezitraum ergeben sich bezüglich der Expositionen allerdings keine signifikanten Unterschiede. Die Expositionsdaten beruhen in der großen Mehrheit auf Messungen auf Asphaltstraßen mit Wasserniederschlagung der Stäube. Ab dem Jahr 2007 erfolgte zunehmend die Verwendung einer zusätzlichen Aerosolabsaugung der Fräskammer. Insofern ist nach 2007 beim Einsatz von Großfräsen mit zusätzlicher Aerosolabsaugung in der Regel der BM für Quarzstaub bei Fräsarbeiten auf Asphalt eingehalten. Beim Einsatz von

Fräsen auf Beton ist auch bei Verwendung der Wasserniederschlagung mit einer Überschreitung zu rechnen; beim trockenen Fräsen im Rahmen von Markierungsarbeiten mit deutlicher Überschreitung.

Die Messdaten von stationären Messungen und personengetragenen Messungen unterscheiden sich bei Großfräsen deutlich. Dies ist darin begründet, dass im Jahr 2006 Messungen zur Optimierung der Stauberfassung an den Maschinen erfolgten, die Messdaten zur Staubemission lieferten. Diese stationären Messungen waren aber teilweise eher auf Reproduzierbarkeit ausgelegt, um Vergleichsdaten für die Beurteilung von Weiterentwicklungen zu haben, als auf den Bezug zur Exposition der Beschäftigten.

Tabelle 177:  
Expositionsdaten für Kleinfräsen (bis ca. 1,6 m Arbeitsbreite)

Probenaahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	12	7	2	17	0,005	83,3	16,7	0	0,019	0,054	0,182
<b>&lt; 2h</b>											
stationär	6	3	1	17	0,024	33,3	66,6	0	=-Werte: 0,014 bis 0,37		

Tabelle 178:  
Expositionsdaten für Großfräsen

Probenaahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
an der Person	21	7	0	0	k. A.	52,4	47,6	0	0,035	0,18	0,228
stationär	52	5	4	7,6	0,042	25	75	0	0,18	1,2	2,2
<b>&lt; 2h</b>											
an der Person	19	2	3	16	0,037	26,3	73,7		0,098	0,223	0,257
stationär	39	2	4	10,2	0,09	23,1	76,9	0	0,315	1,44	2,415

## 18.11 Tunnelbauarbeiten

Die Messdaten wurden ausschließlich bei den Vortriebsarbeiten, d. h. für die Ausbruchs- und Sicherungsarbeiten von Tunnelbauwerken (Infrastruktur- und Versorgungstunnel), ermittelt. Dabei wurde zwischen den beiden Vortriebsverfahren konventioneller Vortrieb (Spritzbetonsicherung) und maschineller Vortrieb (Tübbingausbau) unterschieden. Die Vortriebsarbeiten werden in den meisten Fällen im sogenannten Durchlaufbetrieb ausgeführt. Das bedeutet, es wird in Tag- und Nachtschicht sowie an Wochenenden durchgearbeitet. Die durchschnittliche tägliche Arbeitszeit betrug 10 h pro Arbeitsschicht. Für die in den nachfolgenden Tabellen aufgeführten Messwerte wurden mehrere Probenahmen zusammengefasst, um damit den gesamten Abschlag abzubilden und einen Schichtmittelwert zu erhalten.

Die Quarzkonzentration in der Atemluft der Beschäftigten steht im direkten Zusammenhang mit dem Quarzgehalt des anstehenden Gesteins. Des Weiteren hat das angewendete Ausbruchverfahren, die installierte Lüftungsleistung sowie die Umsetzung von Maßnahmen zur Staubminderung (z. B. Staubabsaugung, Wasserbenetzung, Nassspritzbeton) direkten Einfluss auf die Quarzstaubexposition.

Messdaten von möglichen Quarzkonzentrationen beim Einbau der Innenschale oder bei Gewerken des Tunnelausbaus (z. B. Gleisbau, Walzasphalteinbau, Einbau der Betriebstechnik) werden in dieser Auswertung nicht berücksichtigt.

Tabelle 179:  
Konventioneller Vortrieb – Tunnelbauarbeiten

Probenaahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	99	59	6	6,1	0,011	35,4	64,6	0	0,0780	0,2876	0,4421

### 18.11.1 Konventioneller Vortrieb

Beim konventionellen Tunnelvortrieb erfolgten der Tunnelausbruch und die Hohlraumsicherung abschlagsweise. Der Ausbruch erfolgt in Abhängigkeit von der Geologie mittels Bohr- und Sprengverfahren oder rein mechanisch durch Einsatz von Bagger oder Teilschnittmaschine. Nach dem Ausbruch wird das gelöste Gestein in der Regel mit einem Radlader in Muldenkipper geladen und mit diesen aus dem Tunnel abtransportiert. Während der Tätigkeiten, bei denen das Gestein ausgebrochen und geladen wird, entsteht die höchste Quarzexposition. Anschließend erfolgt die Sicherung des Hohlraumes mittels Baustahlmatten, Ausbaubogen und vor allem durch den Einsatz von Spritzbeton. Zur Komplettierung der Hohlraumsicherung werden im letzten Arbeitsschritt des Abschlages die Anker und Spieße gebohrt und eingebaut, bevor der nächste Abschlag erfolgt. Je nach Umfang der notwendigen Sicherungsarbeiten dauert ein Abschlag zwischen 3 und 5 h, sodass pro Arbeitsschicht zwei bis drei Abschlüsse gemacht werden.

Der 90-%-Wert für den Quarzstaub liegt bei den Messungen um ein Vielfaches über dem BM.

### 18.11.2 Maschineller Vortrieb

Beim maschinellen Tunnelvortrieb erfolgt der Tunnelausbruch durch den Einsatz einer Tunnelbohrmaschine (TBM). Die Hohlraumsicherung übernimmt der Tübbingausbau, der aus Stahlbetonfertigteilen zu einem tragfähigen Ring zusammengefügt wird. Vergleichbar mit dem Abschlag beim konventionellen Vortrieb bohrt die TBM den Tunnelquerschnitt vollflächig in der erforderlichen Tiefe ab, sodass der nächste Tübbingring montiert werden kann. Die Förderung des Ausbruchmaterials während des Bohrvorgangs erfolgt in Abhängigkeit von der Bauart der TBM. Bei den sogenannten Hydroschilden mit flüssigkeitsgestützter Ortsbrust wird das Ausbruchmaterial in einer geschlossenen Förderleitung mithilfe einer Pumpe aus dem Tunnel gepumpt, während es bei den Erddruckschilden in der Regel mit einer offenen Förderbandanlage aus dem Tunnel gefördert wird. Beim Einsatz von Hydroschilden ist daher eine Freisetzung von Quarzstäuben nicht möglich. Bei den Erddruckschilden werden nur dann Quarzstäube freigesetzt, wenn die Maschinen im sogenannten offenen Modus betrieben werden, d. h. das Ausbruchmaterial wird auf der Bandanlage abgefördert, ohne es mit Wasser und anderen Mitteln zu einem Erdbrei zu konditionieren. Aber auch in diesem Fall ist die Staubentwicklung im Vergleich zum konventionellen Vortrieb

als vergleichsweise gering zu bezeichnen. Je nach Härte des anstehenden Gesteins dauert der Bohrvorgang, um den nächsten Tübbingring einbauen zu können, unterschiedlich lange, wogegen die Zeit für den Ringbau konstant ist. Daher variiert die Anzahl der Tübbingringe, die pro Schicht eingebaut werden, sehr stark.

Der 90-%-Wert für den Quarzstaub liegt bei den Messungen unterhalb des BM.

## 18.12 Weitere Tätigkeiten in der Bauwirtschaft

### 18.12.1 Bohren in Beton, Sägen und Schleifen von Beton

Für den Tätigkeitsbereich liegen nur einzelne Messdaten vor. Diese bewegen sich im Bereich der früheren Messdaten. Die Messdaten aus dem BGIA-Report 08/2006 [10] können übernommen werden. Durch die zunehmende Verbreitung abgesaugter Maschinen ist anzunehmen, dass die Exposition der Beschäftigten sich auch in diesem Bereich verbessert hat. Unter Prüfstandsbedingungen, mit auf Vergleichbarkeit der Maschinen hin standardisierten Arbeitsaufgaben, konnten hier deutliche Fortschritte realisiert werden. Allerdings konnte dies noch nicht durch Messungen in der Praxis validiert werden.

Tabelle 180:  
Maschineller Vortrieb – Tunnelbauarbeiten

Probenahmeart	Anzahl Messwerte	Anzahl Betriebe	Anzahl Werte < NWG*	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	≤ BM in %	> BM in %	BM n. b. in %	50. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	90. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>	95. Perzentil* in mg/m <sup>3</sup>
<b>≥ 2 h</b>											
stationär	16	7	5	31,3	0,011	93,8	6,2	0	0,0130	0,0415	0,0533

# Literatur

- [1] GESTIS-Stoffdatenbank. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Berlin 2021.  
<http://www.dguv.de/ifa/stoffdatenbank/>
- [2] *Okrusch, M.; Matthes, S.*: Mineralogie. Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde. 4. Aufl. Springer-Lehrbuch. Springer, Berlin 1996
- [3] *Stoffler, D.; Arndt, J.*: Coesit und Stishovit-Hochdruckmodifikationen des Siliciumdioxids. *Naturwissenschaften* 56 (1969), S. 100-109
- [4] *Bartholomé, E.*: Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie: Schwefel bis Sprengstoffe. Bd. 21. Wiley-VCH, Weinheim 1982
- [5] *Mattenklotz, M.*: Differenzierung und Bewertung von amorphen Kieselsäuren (0512). In: IFA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“ Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Erich Schmidt Verlag, Berlin 2021
- [6] *Dinger, K.; Jebesen-Marwedel, H.*: Kieselsäure in der Natur. *Glastechn. Ber.* 30 (1957), S. 320
- [7] Begründung zum Allgemeinen Staubgrenzwert in TRGS 900 (2014) <http://www.baua.de/de/Themen-von-A-Z/Gefahrstoffe/TRGS/Arbeitsplatzgrenzwerte.html>
- [8] Begründung zum Beurteilungsmaßstab zu Quarz (2015) <https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/900/Quarz.pdf>
- [9] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Quarzhaltiger Staub (TRGS 559). *Ausg.* 4/2020. *GMBL.* (2020) Nr. 16, S. 306-319; *ber. GMBL.* (2020) Nr. 19, S. 371
- [10] *Bagschik, U.; Böckler, M.; Chromy, W.; Dahmann, D.; Gabriel, S.; Gese, H.* et al.: Quarzexposition am Arbeitsplatz (BGIA-Report) Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG). Ausschuss für Gefahrstoffe, Sankt Augustin 2006
- [11] Richtlinie (EU) 2019/130 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Januar 2019 zur Änderung der Richtlinie 2004/37/EG über den Schutz der Arbeitnehmer gegen Gefährdung durch Karzinogene oder Mutagene bei der Arbeit. (2019) *ABl. EU* Nr. L 30 (2019), S. 112-120
- [12] Beurteilungsmaßstab für Quarz (A-Staub). *GMBL.* (2016), S. 623
- [13] Gefahrstoffverordnung (GefStoffV.) *BGBl. I* (2010) Nr. 59, S. 1643-1692, *zul. geänd. BGBl. I* (2017), S. 626
- [14] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Schutzmaßnahmen (TRGS 500). *Ausg.* 2008. *GMBL.* (2019) Nr. 66/67, S. 1330-1366; *ber. GMBL.* (2020) Nr. 4, S. 88
- [15] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV (TRGS 906). *Ausg.* 7/2005. *GMBL.* (2005) S.79-80; *zul. geänd. GMBL.* (2007) Nr. 24, S. 514
- [16] DGUV Information 213-730: Mineralische Stäube beim Ein-, Ausbetten und Strahlen in Dental-laboratorien. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2018
- [17] DGUV Information 213-111: „Quarzhaltiger Staub in der Keramischen Industrie“. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2021
- [18] DIN EN 481:Arbeitsplatzatmosphäre – Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel. Beuth, Berlin 1993
- [19] DIN ISO 7708:Luftbeschaffenheit–Festlegung von Partikelgrößenverteilungen für die gesundheitsbezogene Schwebstaubprobenahme. Beuth, Berlin 1995
- [20] DGUV Information 213-582: "Verfahren zur Bestimmung von Quarz und Cristobalit – Von den Unfallversicherungsträgern anerkannte Analyseverfahren zur Festlegung der Konzentrationen krebserzeugender, keimzellmutagener und reproduktionstoxischer Stoffe in der Luft in Arbeitsbereichen". Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2020
- [21] Deutsche Forschungsgemeinschaft: Quarz, Analytische Methoden, Luftanalysen., Vol. 1, Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe. Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft, 1993

- [22] Quarz (8522). In: IFA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“, Vol. 14. Lfg. II/95. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). Erich Schmidt Verlag, Berlin 1995
- [23] *Heidermanns, G.*: Zur phasenkontrastmikroskopischen Quarzanalyse staubförmiger Proben unter besonderer Berücksichtigung schwach doppelbrechender Minerale. Staub – Reinhalt. Luft 27 (1967), S. 546-550
- [24] *Barth, T. W.; Eskola, P.*: Die Entstehung der Gesteine: ein Lehrbuch der Petrogenese. Springer-Verlag 2013
- [25] *Heidermanns, G.*: Quarzgehalte in technisch genutzten Gesteinen. Kennzahl 140 210. In: IFA-Handbuch. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). Erich Schmidt Verlag, Berlin 1985
- [26] *Rösler, H. J.*: Lehrbuch der Mineralogie. Dt. Verlag für Grundstoffindustrie, 1991
- [27] *Burkhardt, W.*: Handbuch für das Schleifen und Polieren. Saugau: Leuze Verlag (1985)
- [28] *Hofmann, H.*: Ullmanns Encyklopädie der Technischen Chemie: Korrosion bis Lacke. Bd. 15. Wiley Online Library, Weinheim 1979
- [29] *Heidermanns, G.; Mattenklott, M.*: Quarzgehalte in Arbeits- und Hilfsstoffen. Kennzahl 140 220. In: IFA-Handbuch. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). Erich Schmidt Verlag, Berlin 2007
- [30] *Vogler, H.*: Gewinnungsstätten von Festgesteinen für den Verkehrswegebau in der Bundesrepublik Deutschland. Geologisches Landesamt Nordrhein Westfalen, Krefeld 1985
- [31] *Horowitz, I.*: Oberflächenbehandlung mittels Strahlmitteln: Handbuch über Strahltechnik und Strahlanlagen. Vulkan-Verlag 1982
- [32] *Mattenklott, M.*: Ersatzstoffe für silikogene Strahlmittel – Positivliste. Kennzahl 140 250. In: IFA-Handbuch. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA). Erich Schmidt Verlag, Berlin 2021
- [33] *Stopford, C. M.; Stopford, W.*: Respirable quartz content of farm soils. Applied Occupational and Environmental Hygiene 10 (1995) Nr. 3, S. 196-199
- [34] *Binde, G.; Bolender, T.*: Rekristallisation und Cristobalitbildung in Hochtemperaturglasfasern (AES) nach thermischer Belastung. Gefahrstoffe Reinhalt. Luft 62 (2002) Nr. 6, S. 273-278
- [35] *Arnone, M.; Mattenklott, M.; Pflaumbaum, W.; Smola, T.; Stamm, R.; Steinhausen, M.; Binde, G.* et al.: Arbeitsbedingte Exposition gegenüber der einatembaren und der alveolengängigen Stauffraktion (IFA Report 6/2020). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV), Berlin 2020
- [36] DGUV Regel 112-190-Benutzung von Atemschutzgeräten. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2011
- [37] *Schmid, N. A.*: Verbesserung der filtrations-technischen Eigenschaften von Filterhilfsmitteln durch ein thermisches Verfahren. Dissertation. Technische Universität München, 2002
- [38] *Schandelmaier, B.*: Kieselgurfiltration im Klein- und Mittelbetrieb. ATW Bericht 128 (2004)
- [39] Kieselgur bei der Getränkeherstellung. Arbeitssicherheitsinformation der BGN ASI 8.02 (2021)

# Autorinnen und Autoren

## Allgemeine Informationen:

Dr. rer. nat. Markus Mattenklott, IFA, Sankt Augustin

Dr. rer. nat. Marco Steinhausen, IFA, Sankt Augustin

Dr. rer. nat. Nadja von Hahn, IFA, Sankt Augustin

## Expositionsdaten:

Dr. rer. nat. Mario Arnone, IFA, Sankt Augustin

Dr. phil. nat. Stefan Auras, BGHW, Mannheim

Dipl.-Ing. Dirk Fendler, BG ETEM, Köln

Stefan Gabriel, IFA, Sankt Augustin

Dr. rer. nat. Karlheinz Guldner, VBG, Hamburg

Dipl.-Ing. Walter Gunreben, BG Bau, Berlin

A.d.B. Dipl.-Ing. Michael Koob, BG RCI, Bochum

Dipl.-Ing. Marnix Poppe, BGHM, Köln

Dr. rer. nat. Matthias Weigl, BGN, Mannheim

Dipl.-Ing. (FH) Eckart Willer, BG Verkehr, Hamburg



**Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)