

# Arbeitsbedingte Expositionen gegenüber der einatembaren und alveolengängigen Staubfraktion

M. Arnone, S. Gabriel, M. Mattenklott, M. Koob, K. Guldner, M. Poppe, H.-P. Fröhlich

**ZUSAMMENFASSUNG** Stäube sind an fast allen Arbeitsplätzen gegenwärtig und können durch übermäßige inhalative Belastungen zu schwerwiegenden Atemwegserkrankungen führen. Daher ist es geboten, Arbeitsplätze mit erhöhten Staubexpositionen zu identifizieren, damit zielgerichtete und geeignete Maßnahmen zum Schutz der Beschäftigten ergriffen werden können. Um einen aktuellen Überblick über die Staub-situation in verschiedenen Branchen zu gewinnen, wurden jeweils über 35 000 Expositionsdaten zur alveolengängigen und einatembaren Staubfraktion (A- und E-Staub) statistisch ausgewertet und beschrieben. Sie stammen aus dem Datenzeitraum 2005 bis 2016 und sind in der Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ (MEGA) beim Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) dokumentiert. Die kompletten Ergebnisse sind im IFA Report 6/2020 (Staubreport) [1] dargestellt. In diesem Artikel werden die durchgeführten statistischen Auswertungen vorgestellt. Zusätzlich ist die Datenlage zu den Stäuben in ausgewählten Branchengruppen im betrachteten Datenzeitraum dargestellt, die als Grundlage für den Staubreport dient.

## 1 Einleitung

Stäube sind feinste feste Partikel verschiedener Größe und verschiedenen Ursprungs, die einen gewissen Zeitraum in Gasen, insbesondere in der Luft, suspendiert bleiben können [2]. Die Technische Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 900 [3] definiert Stäube als „disperse Verteilung fester Stoffe in Luft, entstanden durch mechanische Prozesse oder durch Aufwirbelung“. Sie sind sowohl in der gesamten Umwelt („ubiquitär“) als auch in Arbeitsbereichen zu finden.

## 2 Gesundheitsgefahren durch Stäube

Die Größe der Staubpartikel beeinflusst entscheidend, ob sie inhaliert werden können und wo sie in den Atemwegen deponiert werden. Partikel mit einem Durchmesser von überwiegend < 5 µm gelangen von der Luftröhre über die Bronchien und Bronchiolen bis in die Lungenbläschen (Alveolen), die das Ende der verzweigten Lungengänge bilden. Sie werden als die alveolengängige Fraktion (A-Staub) bezeichnet. Die einatembare Fraktion (E-Staub) umfasst dagegen den gesamten durch Mund und Nase eingeatmeten Staub (Durchmesser bis ca. 150 µm).

Schwerlösliche bzw. unlösliche Stäube, die nicht anderweitig reguliert sind, werden auch als granuläre biobeständige Stäube ohne bekannte stoffspezifische Toxizität (GBS) bezeichnet. Für

## Occupational exposure to inhalable and respirable dust fractions

**ABSTRACT** Dusts are found at virtually all workplaces, and excessive inhalative exposure to them may lead to serious diseases of the respiratory tract. It is therefore imperative that workplaces associated with elevated dust exposure be identified in order for suitable and effective measures to be taken to protect workers. To provide an up-to-date picture of the dust situation in various industries, over 35,000 individual items of exposure data for each dust fraction (respirable and inhalable) were evaluated statistically and described. The data were recorded in the period from 2005 to 2016 and are documented in the MEGA database of measurement data relating to exposure to hazardous substances at the workplace, which is maintained at the Institute for Occupational Safety and Health of the German Social Accident Insurance (IFA). The results are presented in full in IFA Report 6/2020 (Dust Report) [1]. This article presents the statistical analyses that were conducted. It also describes the data situation for dusts in selected industry groups in the period in which the data were recorded, upon which the Dust Report is based.

diese gilt in Deutschland der Allgemeine Staubgrenzwert (ASGW), der bei 10 mg/m<sup>3</sup> als Schichtmittelwert für E-Staub und 1,25 mg/m<sup>3</sup> für A-Staub liegt [3]. Der ASGW soll die Beeinträchtigung der Funktion der Atmungsorgane infolge einer allgemeinen Staubwirkung verhindern. Zusätzlich sind Beschäftigte bei Einhaltung des ASGW für A-Staub vor entzündlichen Reaktionen der Lunge und damit auch vor einem sich daraus entwickelnden, fortschreitenden Krankheitsverlauf geschützt, der zu chronischen Atemwegsbeschwerden, Lungenfibrose, -emphysem und wahrscheinlich auch zu Lungenkrebs führen kann.

## 3 Der Staubreport

Der Staubreport des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) (**Bild 1**) stellt im ersten Teil grundlegende Daten zu physikalischen Eigenschaften, Stoffdaten, Gesundheitsgefahren und Grenzwerten bereit [1]. Er beinhaltet darüber hinaus auch Informationen zur Ableitung des ASGW und zu Vorschriften, die beim Auftreten von A- oder E-Staub an Arbeitsplätzen zu beachten sind. Abgerundet wird der erste Teil durch die Darstellung von Probenahme- und Analyseverfahren.

Mit dem Staubreport wird eine zusammenfassende Übersicht zu arbeitsbedingten Expositionen von Stäuben im Geltungsbereich des ASGW vorgelegt. Als Schwerpunkt enthält er Expositi-



Bild 1 Titelseite des aktuellen IFA Staubreports. Quelle: IFA

onsdaten zu Arbeitsplatzmessungen aus dem „Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger“ (MGU). Die Messergebnisse werden nach Branchen und Arbeitsbereichen aufgeschlüsselt. Im Staubreport finden sich Expositionsdaten zu Branchen und Arbeitsbereichen aus den Gewerbebranchen:

- Gewinnung und Verarbeitung von Steinen, Erden und Rohstoffen,
- Keramische und Glasindustrie,
- Chemische, pharmazeutische, Gummi- und Kunststoffindustrie,
- Holz-, Leder-, Papier- und Textilindustrie,
- Gießereien, Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten, Oberflächenbehandlung,
- Elektrotechnische und feinmechanische Industrie und Handwerke,

Tabelle 1 Nachweisgrenzen für A- und E-Staub in Abhängigkeit vom Probenahmesystem und bei zweistündiger Probenahme.

Probenahmesystem	GSP	FSP-2	FSP-10/GSP-10	PM4F/PM4G	VC25F/VC25G
<b>Probenahmeort</b>	überwiegend an der Person			stationär	
Probenträger-Durchmesser in mm	37	37	37	70	150
Volumenstrom in l/min	3,5	2	10	66,666	375
Volumenstrom in m³/h	0,21	0,12	0,6	4	22,5
Probenahmedauer in h	2	2	2	2	2
Probenluftvolumen m³	0,42	0,24	1,2	8	45
<b>Nachweisgrenzen mg/m³ [9]</b>					
A-Staub [10]	–	1,25	0,25	0,075	0,18
E-Staub [11]	0,71	–	0,25	0,075	0,067

- Dienstleistung, Transport, Energiegewinnung und Bildungseinrichtungen,
- Landwirtschaft (Tierzucht), Nahrungsmittel- und Futtermittelherstellung,
- Groß-, Einzelhandel und Lagerwirtschaft,
- Entsorgung und Recycling.

Weitere Differenzierungen der statistischen Kollektive betreffen die Messstrategie – die Unterscheidung zwischen Messungen „an der Person“ und Messungen mit „stationär“ aufgestellten Probenahmesystemen in den Arbeitsbereichen. In einigen Bereichen konnten die statistischen Kollektive zusätzlich dahingehend differenziert werden, ob bei Messungen an der Person eine Erfassung (Absaugung) der Stäube im Arbeitsbereich vorlag oder nicht. Die Expositionsdaten sind durch Erläuterungen zum Arbeitsverfahren, zu exponierten Tätigkeiten oder zu Schutzmaßnahmen ergänzt. Hierdurch wird ein Arbeitsbereichskataster für die Prävention und für retrospektive Betrachtungen zur Verfügung gestellt.

#### 4 Statistische Auswertung der MEGA Expositionsdatenbank

Die für den Staubreport aufgeführten Messwerte zum A- und E-Staub wurden im Rahmen des nach der Norm DIN EN ISO 9001 qualitätsgesicherten MGU branchen- und arbeitsbereichsspezifisch ermittelt und in der IFA Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ (MEGA) gespeichert [4 bis 8].

Zur Bestimmung der in der Luft am Arbeitsplatz enthaltenen Stäube wurde mittels einer Probenahmepumpe über einen Vorabscheider ein definiertes Luftvolumen durch einen gewogenen Membran- oder Glasfaserfilter gesaugt. A- und E-Staub wurden nach zweitägiger Konditionierung bei 23° C und 50 % relativer Luftfeuchte durch Wägung bestimmt. In Abhängigkeit vom Probenahmesystem ergeben sich die in **Tabelle 1** dargestellten Nachweisgrenzen für A- und E-Staub für die am häufigsten eingesetzten Probenahmesysteme.

Die Messungen erfolgten nach der Messstrategie der TRGS 402 [12]. Die Messungen wurden in rund 9700 Betrieben durchgeführt; die gravimetrische Bestimmung erfolgte im IFA. Die Prüflaboratorien werden gemäß DIN EN ISO 17025 „Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien“ betrieben.

Die in MEGA dokumentierten Expositionsdaten wurden mit der vom IFA entwickelten MEGA<sup>Pro</sup>-Auswertesoftware nach unterschiedlichen Selektionskriterien statistisch ausgewertet. Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen analytischen Nachweisgrenze (NWG) der Probe, dann geht der Wert der halben NWG in die Statistik ein.

**Tabelle 2** Anzahl der im MGU nach den Selektionskriterien ermittelten Messwerten für A- und E-Staub sowie die Anzahl der Branchen (Teilbetriebsarten im MGU) und Arbeitsbereiche, in denen von 2005 bis 2016 Staubmessungen von den UVT vorgenommen wurden.

Allgemeine Beschreibung	Anzahl und (%)	
	E-Staub	A-Staub
Insgesamt	36 158	37 253
<b>Probenahmeart:</b> an der Person stationär	17 505 (48,4 %) 18 585 (51,6 %)	17 459 (46,9 %) 19 449 (53,1 %)
<b>Anzahl Daten &gt; Grenzwert</b>	3 049 (8,4 %)	5 520 (14,8 %)
<b>Probenahmedauer:</b> ≥ 2 Stunden < 2 Stunden	30 995 (85,7 %) 5 163 (14,3 %)	31 563 (84,7 %) 5 690 (15,3 %)
<b>Erfassungseinrichtung:</b> ohne Erfassung mit Erfassung keine Angaben	10 958 (30,3 %) 18 006 (49,8 %) 6 439 (17,8 %)	11 981 (32,2 %) 17 847 (47,9 %) 6 617 (17,8 %)
<b>Messorte:</b> Branchen/Teilbetriebsarten Arbeitsbereiche	530 2 199	558 2 175

#### 4.1 Selektionskriterien und Auswertestrategie für die statistischen Auswertungen

Für den Report wurden Expositionsdaten aus Arbeitsplatzmessungen im Datenzeitraum 2005 bis 2016 ausgewertet. Es standen Daten aus 37 253 Analysen zum A-Staub und 36 158 Analysen zum E-Staub zur Verfügung. Die Messungen zu den Staubkonzentrationen wurden an Arbeitsplätzen unter betriebsüblichen Bedingungen oder unter ungünstigen, aber realistischen Bedingungen und mit Probenahmedauern durchgeführt, die repräsentativ für die dokumentierte Expositionsdauer sind.

Differenzierungen nach der Probenahmedauer in die beiden Gruppen ≥ 2 Stunden und < 2 Stunden sowie nach stationären Messungen und personengetragenen Messungen wurden zur Auswertung vorgenommen. Eine weitere Differenzierung nach dem Vorhandensein lokaler Erfassungseinrichtungen wurde im Fall von Grenzwertüberschreitungen beim 95. Perzentil bei personengetragenen Messungen durchgeführt.

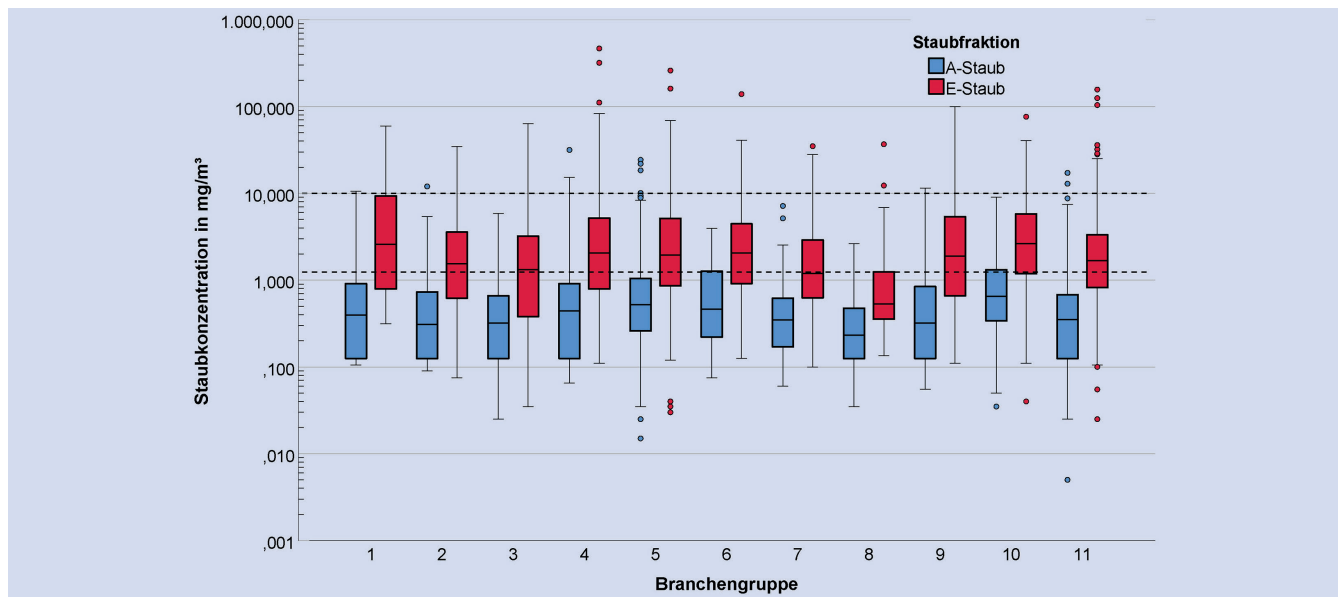
Mit der Selektion von Messwerten nach der hier dargestellten Auswertestrategie ergibt sich die Datenlage für die Messwerte des A- und E-Staubes von 2005 bis 2016, die in **Tabelle 2** dargestellt ist.

**Tabelle 3** Überblick über die ermittelten A- bzw. E-Staubkonzentrationen in den Branchengruppen bei der Gewinnung und Verarbeitung von Steinen, Erden und Rohstoffen.

Staubfraktion	Anzahl Messwerte	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	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>Branchengruppe:</b>						
<b>1 Gewinnung und Aufbereitung von Kalkstein und Dolomit</b>						
E-Staub	35	17,1	0,71	2,55	22,70	28,10
A-Staub	36	30,6	0,25	0,37	2,26	2,93
<b>2 Bergbau</b>						
E-Staub	65	9,2	0,71	1,52	7,89	16,98
A-Staub	70	30	0,25	0,31	1,21	3,43
<b>3 Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand</b>						
E-Staub	353	17,6	0,71	1,32	6,77	12,40
A-Staub	369	32	1,25	0,32 +	1,33	1,92
<b>4 Gewinnung und Aufbereitung von Naturstein und sonstigen Rohstoffen</b>						
E-Staub	368	12,8	0,74	2,04	14,26	32,52
A-Staub	373	27,9	1,3	0,44 +	1,88	3,01
<b>5 Naturwerksteinindustrie – Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein, Steinmetzerei</b>						
E-Staub	653	9,5	0,71	1,94	13,17	21,10
A-Staub	688	15,6	1,25	0,52 +	2,27	4,10
<b>6 Mineralmahlwerke (Farberden)</b>						
E-Staub	63	4,8	0,71	2,02	10,05	14,62
A-Staub	62	19,4	0,25	0,44	1,75	2,26
<b>7 Herstellung von Gipszeugnissen, Dämm- und Leichtbauplatten</b>						
E-Staub	79	6,3	0,71	1,19	7,44	10,32
A-Staub	78	25,6	1,23	0,34 +	1,58	1,73
<b>8 Asphaltmischanlagen</b>						
E-Staub	44	22,7	0,71	0,53 +	5,82	6,77
A-Staub	48	41,7	1,23	0,23	0,78	1,29
<b>9 Herstellung von Zement und Kalk</b>						
E-Staub	238	16	0,71	1,87	15,44	27,85
A-Staub	232	32,3	0,25	0,23 +	2,07	3,43
<b>10 Herstellung von Trockenbaustoffen</b>						
E-Staub	292	3,8	0,71	2,62	10,88	14,72
A-Staub	313	10,5	1,11	0,65 +	2,20	3,02
<b>11 Betonindustrie (stationärer Betrieb)</b>						
E-Staub	662	8,2	0,71	1,68	7,09	11,17
A-Staub	734	25,2	0,88	0,35 +	1,30	2,11

\* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen NWG, dann geht der Wert der halben NWG in die Statistik ein.

+ Der Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten NWG im Datenkollektiv.



**Bild 2** A- und E-Staub-Exposition bei der Gewinnung und Verarbeitung von Steinen, Erden und Rohstoffen. Die Nummerierung der Branchengruppen auf der X-Achse entspricht den Ziffern in Tabelle 3. Die gestrichelten Linien entsprechen dem ASGW für E-Staub von 10 mg/m<sup>3</sup> und für A-Staub von 1,25 mg/m<sup>3</sup>.  
Quelle: Autoren

Die im Zeitraum von 2005 bis 2016 von den Unfallversicherungsträgern (UVT) durchgeführten Messungen wurden in 530 Branchen (Teilbetriebsarten im MGU) für die A-Fraktion und in 558 Branchen für die E-Fraktion durchgeführt. Hierbei wurden fast 2 200 unterschiedliche Arbeitsbereiche bemessen und beurteilt (Tabelle 2). Aus diesen Messungen wurden zur Erstellung des Staubreports Datenkollektive zu Arbeitsbereichsgruppen in verschiedenen Branchengruppen oder zu branchenübergreifenden Arbeitsbereichsgruppen gebildet. Auf diese Weise wurden Messwerte zu vergleichbaren Branchen und Arbeitsbereichen zusammengefasst. Das für die Branchen verwendete Schlüsselverzeichnis basiert auf dem Verzeichnis „Systematik der Wirtschaftszweige mit Betriebs- und ähnlichen Benennungen“ vom Statistischen Bundesamt (StBA) [13].

## 5 Übersicht der Messwerte zu Branchengruppen ausgewählter Gewerbebezüge

Die einzelnen Branchen wurden im Staubreport zu 86 Branchengruppen mit 210 Arbeitsbereichsgruppen zusammengefasst. Nachfolgend werden exemplarisch die im Staubreport betrachteten Branchengruppen aus den Gewerbebezügen vorgestellt:

- Gewinnung und Verarbeitung von Steinen, Erden und Rohstoffen,
- Keramische und Glasindustrie,
- Gießereien, Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten und Oberflächenbehandlung,
- Groß-, Einzelhandel und Lagerwirtschaft.

Detaillierte Beschreibungen der Branchengruppen und Arbeitsbereiche aus allen Gewerbebezügen finden sich im Staubreport.

Die Tabellen und Grafiken betrachten zur Übersicht ausschließlich die Expositionsdaten mit Schichtbezug und einer Probenahmedauer von 2 Stunden. In dieser Veröffentlichung wurden die Ergebnisse der personengetragenen und stationär durchgeführten Probenahmen ohne weitere Differenzierung nach Ar-

beitsbereichen in den Branchengruppen zusammengefasst. Im Staubreport sind die dargestellten Expositionsdaten nach Arbeitsbereichsgruppen und der Probenahmeart differenziert. Zusätzlich werden auch Expositionsdaten mit Probenahmedauern < 2 Stunden dargestellt.

Die Übersicht über die Datenlage zu A- und E-Stäuben erfolgt in Bild 2 bis 5 durch Boxplots, in denen die Summenhäufigkeitsverteilung der Messwerte grafisch dargestellt wird. Die Box stellt hierbei den mittleren Bereich der Messwerte zwischen dem 25. (1. Quartil) und dem 75. Perzentil (3. Quartil) der Verteilung dar. Der waagerechte Strich in der Box markiert den Median der Expositionsverteilung. Ein Maß für die Streuung der Messwerte stellen die Whisker (senkrechte Linien oben und unten an der Box) dar, die eine Länge vom 1,5-fachen der Box aufweisen. Ober- und unterhalb der Whisker finden sich noch die Ausreißer in den Verteilungen. Diese sind mit einem Kreis (milde Ausreißer: 1,5- bis 3-fache Boxlänge Abstand zur Box) oder einer Raute (extreme Ausreißer: Abstand zur Box > 3-fache Boxlänge) markiert.

### 5.1 Gewinnung und Verarbeitung von Steinen, Erden und Rohstoffen

Bei der Gewinnung und Verarbeitung von Steinen, Erden und Rohstoffen wurden Industriezweige zusammengefasst, in denen hauptsächlich mineralische Rohstoffe wie Naturstein, Sand oder Kies abgebaut oder zu Rohprodukten wie Zement, Trockenbaustoffen oder Betonfertigteilen verarbeitet werden. Einen Überblick über die Staubexposition in dieser Gruppe findet sich in **Tabelle 3** und **Bild 2**. Bei Bearbeitungen von Steinen können auch Quarzexpositionen auftreten. Diese sind umfassend im Quarzreport [14; 15] dargestellt.

In den letzten Jahrzehnten konnten nicht alle Branchen der Gewinnung und Verarbeitung von Steinen, Erden und Rohstoffen Expositions-minderungen erreichen. Statistisch lässt sich aus den Boxplots (Bild 2) ableiten, dass in den entsprechenden Branchen durch die Spannweite der Messergebnisse die ASGW für A- und

Tabelle 4 Überblick über die ermittelten A- bzw. E-Staubkonzentrationen in den Branchengruppen der keramischen und Glasindustrie.

Staubfraktion	Anzahl Messwerte	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	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>Branchengruppe</b>						
<b>1 Glasfasern, Mineralfasern, Herstellung und Verarbeitung</b>						
E-Staub	230	10,9	0,71	0,71 +	5,23	7,09
A-Staub	205	58	1,25	NWG !	0,715 +	1,1 +
<b>2 Glas, Herstellung und Verarbeitung</b>						
E-Staub	1 122	18,1	0,71	0,37 +	3,35	6,646
A-Staub	882	50,3	0,31	NWG !	0,88	1,35
<b>3 Quarzglas (einschl. Kristallzüchtung), Herstellung und Verarbeitung</b>						
E-Staub	64	28,1	0,71	0,17 +	1,348	1,97
A-Staub	66	56,1	0,25	NWG !	0,448	0,585
<b>4 Feuerfeste Waren, Herstellung</b>						
E-Staub	936	1,9	0,71	1,86	10,3	15,46
A-Staub	986	23,7	1,25	0,47 +	1,814	2,737
<b>5 Ton, Kaolin, Gewinnung</b>						
E-Staub	33	3	0,71	0,905	4,46	8,203
A-Staub	31	32,3	0,25	0,245 +	1,347	2,317
<b>6 Kalksandstein, Herstellung</b>						
E-Staub	138	2,2	0,71	2,9	14,86	22,78
A-Staub	132	21,2	0,25	0,42	1,408	1,734
<b>7 Porzellan, Keramik (industriell)</b>						
E-Staub	389	21,6	0,71	0,355 +	1,952	3,501
A-Staub	366	54,4	1,2	NWG !	0,604 +	0,938 +
<b>8 Sanitärkeramik, Herstellung</b>						
E-Staub	188	4,3	0,71	1	9,452	22,12
A-Staub	201	36,3	0,25	0,29	1,554	2,463
<b>9 Technische Keramik, Herstellung</b>						
E-Staub	651	11,7	0,71	0,72	5,191	9,621
A-Staub	675	40,7	0,35	0,21 +	0,95	1,36
<b>10 Wand- und Bodenfliesen, Ofenkacheln und Baukeramik, Herstellung</b>						
E-Staub	406	2,5	0,74	0,99	5,764	8,117
A-Staub	413	25,7	0,25	0,355	1,037	1,46
<b>11 Schleifkörper, Herstellung</b>						
E-Staub	339	11,8	0,71	1,005	6,976	13,7
A-Staub	330	45,2	1,25	0,24 +	1,05 +	1,72
<b>12 Ziegeleierzeugnisse, Herstellung</b>						
E-Staub	893	5	0,71	0,91	5,894	8,841
A-Staub	923	36,1	0,75	0,26 +	1,18	1,679

\* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen NWG, dann geht der Wert der halben NWG in die Statistik ein.

+ Der Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten NWG im Datenkollektiv.

NWG ! Die Anzahl der Messwerte unterhalb der analytischen NWG ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert werden. Daher wird für diesen Summenhäufigkeitswert keine Konzentration angegeben.

E-Staub jeweils nur mit dem 3. Quartil eingehalten werden, vereinzelt sogar grenzwertig – z. B. Kalkstein und Dolomit (stationär) oder Trockenbaustoffe (personengetragen). Das bedeutet dann auch, dass oberhalb der Boxenwerte neben Ausreißern die Maxima der Verteilung in der Regel die Luftgrenzwerte überschreiten, woraus sich statistisch weiterer Handlungsbedarf zur Expositionsminimierung bzw. zur Verbesserung der Staubprävention ableiten lässt. Eine detailliertere Betrachtung einzelner Tätigkeiten erlaubt der Staubreport.

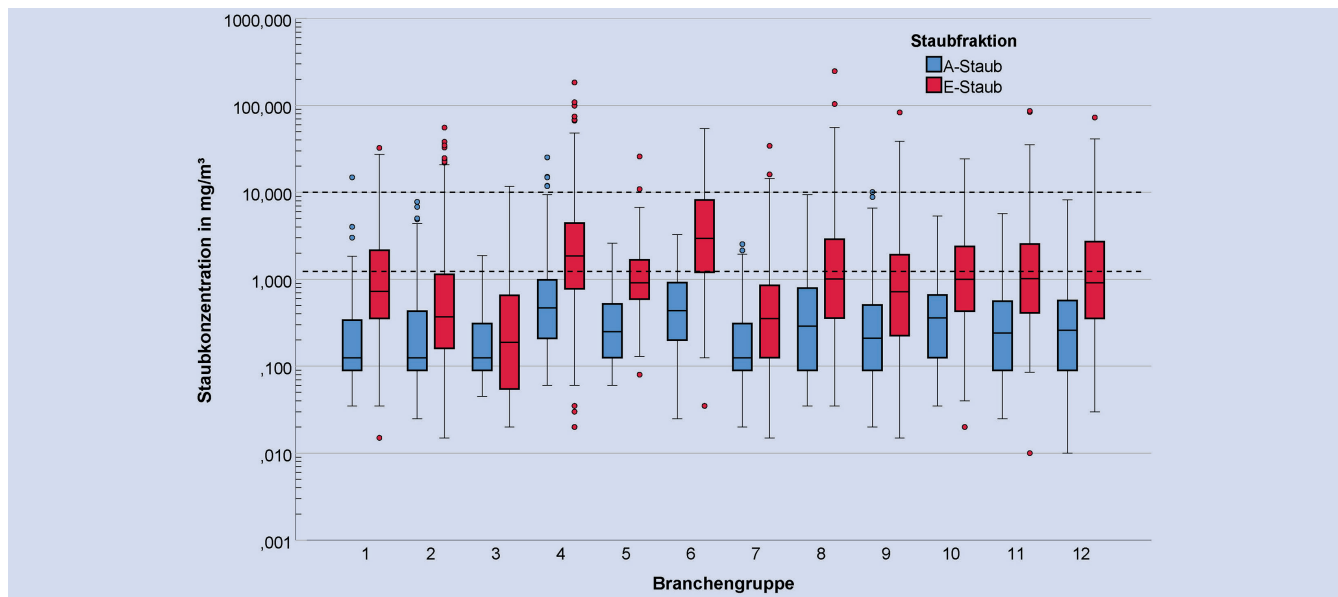
Die Messwerte zeigen für die Gewinnung und Aufbereitung von Kalkstein und Dolomit Staubbelastungen, die personenbezogen (Geräteführer, Anlagenschlosser, Prüflabortätigkeiten) die ASGW unterschreiten. Stationäre Messungen, die häufig in nicht ständig belegten Arbeitsbereichen mit mechanischer Materialbeanspruchung (Brecher, Siebanlagen) platziert sind, weisen hingegen höhere Konzentrationen oberhalb der ASGW nach.

Im Bergbau können insbesondere unter Tage höhere Staubexpositionen bei Gewinnungs- und Aufbereitungstätigkeiten, z. B.

bei der Zerkleinerung, auftreten. Davon sind häufig Anlagenbediener, beispielsweise von Bohr- und Fräsgewerken, sowie Betriebschlosser betroffen, während bei der Führung von Förderfahrzeugen überdruckbelüftete und klimatisierte Kabinen Stand der Technik sind. A- und E-Staubbelastungen unterschreiten überwiegend die ASGW.

Der zeitliche Verlauf der Messdaten seit 1972 bei der Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand lässt generell einen erheblichen Rückgang der Staubbelastung bei Förderung, Transport und Klassieren erkennen, der größtenteils auf die Automatisierung von Betriebsabläufen und die Staubminimierung in Fahrzeugkabinen zurückzuführen ist. Beim Zerkleinern, bei (teil-)manuellen Abfülltätigkeiten, bei der Sandtrocknung und beim Mischen können jedoch Expositionen oberhalb der ASGW auftreten.

Trotz Verbesserungen von Entstaubungsmaßnahmen bei der Gewinnung von Naturstein und sonstigen Rohstoffen seit 1972 werden für entsprechende Tätigkeitsbereiche, neben



**Bild 3** A- und E-Staub-Exposition in der keramischen und Glasindustrie. Die Nummerierung der Branchengruppen auf der X-Achse entspricht den Ziffern in Tabelle 4. Die gestrichelten Linien entsprechen dem ASGW für E-Staub von 10 mg/m<sup>3</sup> und für A-Staub von 1,25 mg/m<sup>3</sup>. *Quelle: Autoren*

Bohrarbeiten und Umschlagstätigkeiten im Steinbruch, bei der in der Regel trockenen Aufbereitung weiterhin höhere Expositionen – mit statistisch hoher Streuung und extremen Ausreißern – ermittelt. Zurückzuführen ist dies darauf, dass Aufbereitungsanlagen heute aus Gründen des Umweltschutzes vorwiegend eingehaust sind und dadurch innerhalb der Anlagen trotz getroffener Entstaubungsmaßnahmen hohe Staubkonzentrationen bei der Anlagenkontrolle und Störungsbeseitigung auftreten. Diese Aussagen über die Aufbereitung in der Natursteinbranche gelten, trotz Verbesserungen in den letzten Jahrzehnten, auch für Mineralmahlwerke (Farberden).

Trotz Staubabsaugung manuell geführter Steinbearbeitungsmaschinen können bei der Herstellung, Bearbeitung und Verarbeitung von Naturwerkstein bzw. der Steinmetzerei – z. B. Stocken und Scharrieren, Steinspalten mit Drucklufthämmern, Meißeln, Stemmen, Strahlen oder Schleifen – sehr hohe Staubkonzentrationen auftreten, wodurch die ASGW häufig überschritten werden (mit statistisch hoher Streuung und extremen Ausreißern). Die Stauberfassungseinrichtungen unterliegen einem sehr hohen Verschleiß und verfügen zum Teil über begrenzte Volumina, sodass die Absaugwirkung bei unzulänglicher Instandhaltung herabgesetzt wird.

In der Branche Herstellung von Gipszeugnissen, Dämm- und Leichtbauplatten treten Staubbelastungen primär bei Zerkleinerungs- und Reinigungsprozessen sowie bei der Absackung auf, bevorzugt bei teilautomatisierter Ventilsack-Absackung. Bei Tätigkeiten zur Herstellung von Gipszeugnissen liegen in der Regel Mischexpositionen mehrerer Produktionsabschnitte vor, wobei an nicht ständig belegten Betriebspunkten höhere Staubbelastungen auftreten können.

Bei Asphaltmischanlagen sind kurzzeitige Aufenthalte im geschlossenen Mischturm während der Produktion in der Regel mit hoher Staubexposition verbunden. Als Staubquellen fallen unter anderem Siebmaschinen und die Übergaben der Mineralstoffdosierung auf. Die ASGW werden bei Schichtbezug jedoch eingehalten.

Die Betriebsabläufe in heutigen Zement- und Kalkwerken sind weitgehend automatisiert, sodass lediglich Überwachungstätigkeiten sowie Wartungs- und Reparaturarbeiten zur Störungsbeseitigung mit Staubexpositionen auftreten. Dennoch zeigen die zusammengestellten Expositionsdaten, besonders personengetragen, deutliche Überschreitungen der ASGW bei einzelnen Tätigkeiten wie der Absackung.

Bei der Herstellung von Trockenbaustoffen kann durch häufigen Produktwechsel mit entsprechendem Reinigungsbedarf, beim Befüllen und Entleeren der Mischer und bei der Handzugabe von Zusätzen Staub in erhöhten Konzentrationen freigesetzt werden. Die Expositionsdaten, besonders die personengetragenen, zeigen deutliche Überschreitungen des ASGW für die A-Staub-Fraktion – vor allem bei der teilautomatisierten Absackung, aber auch bei Lagertätigkeiten.

In der Betonindustrie kann insbesondere beim Rütteln und Stampfen der erdfeuchten Betonmischung Staub freigesetzt werden. Zum Teil hohe Staubexpositionen entstehen weiterhin bei der Nachbearbeitung der ausgehärteten Betonzeugnisse (vielfach mobile Tätigkeiten mit mangelhafter Entstaubung), wenn Grate oder Fehlstellen trocken ab- bzw. ausgeschliffen (schnelllaufende Werkzeuge), Oberflächen geglättet oder Aussparungen durch Bohren, Sägen, Fräsen und Meißeln hergestellt werden. Die Staubbelastung in einem Betonwerk hängt maßgeblich von der regelmäßigen Reinigung der Fertigungsbereiche ab. Für Transportbetonanlagen gelten die Aussagen für Mischanlagen in Betonwerken. Arbeitsvorgänge beim Reinigen des Mixers, wie das Entfernen von Ablagerungen und das Ausstemmen von abgebundenen Betonresten mit dem Druckluft- oder Elektrohammer, können für den Anlagenfahrer hohe (kurzzeitige) Staubkonzentrationen verursachen.

## 5.2 Keramische und Glasindustrie

In der keramischen und der Glasindustrie werden Gläser, keramische Produkte und Baustoffe durch die Vermengung verschiedener Rohstoffe und das anschließende Brennen oder Schmelzen hergestellt. Die Staubexposition bei den verschiedenen

**Tabelle 5** Überblick über die ermittelten A- bzw. E-Staub-Konzentrationen in Gießereien, bei der Metallbearbeitung, im Maschinen- und Fahrzeugbau, in Reparaturwerkstätten und bei der Oberflächenbehandlung und -beschichtung.

Staubfraktion	Anzahl Messwerte	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	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>Branchengruppe</b>						
<b>1 Gießereien</b>						
E-Staub	2 738	8,8	0,71	2,52	10,5	16,12
A-Staub	2 912	18,6	1,25	0,69 +	2,38	3,378
<b>2 Metallherzeugung</b>						
E-Staub	430	22,1	0,71	0,86	5,21	9,305
A-Staub	425	36,9	1,25	0,295 +	1,21 +	1,982
<b>3 CNC-Bearbeitungsmaschinen für Metall (branchenübergreifend)</b>						
E-Staub	297	44,8	0,72	0,355 +	2,21	4,8
A-Staub	282	58,5	1,25	NWG !	0,629 +	1,188 +
<b>4 Hartmetallherstellung und -verarbeitung</b>						
E-Staub	437	42,1	0,72	0,385 +	3,493	5,598
A-Staub	407	72,5	1,25	NWG !	0,625 +	0,993 +
<b>5 Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau</b>						
E-Staub	6 469	36,3	0,71	0,62 +	5,882	11,455
A-Staub	6 543	52,9	1,25	NWG !	1,12 +	1,83
<b>6 Reparatur, Wartung von Straßen- und Schienenfahrzeugen</b>						
E-Staub	137	37,2	0,71	0,34 +	4,381	8,102
A-Staub	459	64,7	1,25	NWG !	0,391 +	0,625 +
<b>7 Reparatur, Wartung, Werkstattarbeiten in weiteren Branchen</b>						
E-Staub	418	28	0,72	0,76	7,884	12,1
A-Staub	453	46,8	1,25	0,13 +	1,564	2,127
<b>8 Galvanik</b>						
E-Staub	305	68,5	0,73	NWG !	1,065	2,235
A-Staub	167	70,1	1,11	NWG !	0,473 +	0,778 +
<b>9 Feuerverzinkerei</b>						
E-Staub	188	13,3	0,71	0,84	2,704	3,94
A-Staub	191	41,4	1,24	0,29 +	1,057 +	1,847
<b>10 Oberflächenbeschichtung</b>						
E-Staub	201	33,8	0,72	0,93	11,942	21,356
A-Staub	168	58,9	1,25	NWG !	1,044 +	1,958

\* Liegen Analysenergebnisse unterhalb der jeweiligen NWG, dann geht der Wert der halben NWG in die Statistik ein.

+ Der Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten NWG im Datenkollektiv.

NWG ! Die Anzahl der Messwerte unterhalb der analytischen NWG ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert werden. Daher wird für diesen Summenhäufigkeitswert keine Konzentration angegeben.

Industriezweigen in dieser Gruppe ist in **Tabelle 4** zusammengefasst und in **Bild 3** grafisch dargestellt.

In den Boxplots (**Bild 3**) ist zu erkennen, dass die ASGW für A- und E-Staub in den Branchen der Glas- und Keramikindustrie jeweils mit dem 3. Quartil eingehalten werden, allerdings bei der Herstellung von Kalksandstein nur sehr knapp. Ein Blick auf die Whisker und Ausreißer sowie auf die berechneten Perzentile in **Tabelle 4** zeigt, dass die Luftgrenzwerte an manchen Arbeitsplätzen aber auch deutlich überschritten werden. Detaillierte Informationen zu den Bereichen, in denen weiterer Handlungsbedarf zur Expositionsminimierung bzw. zur Verbesserung der Staubprävention besteht, können dem Staubreport zusammen mit den Beschreibungen einzelner Tätigkeiten entnommen werden.

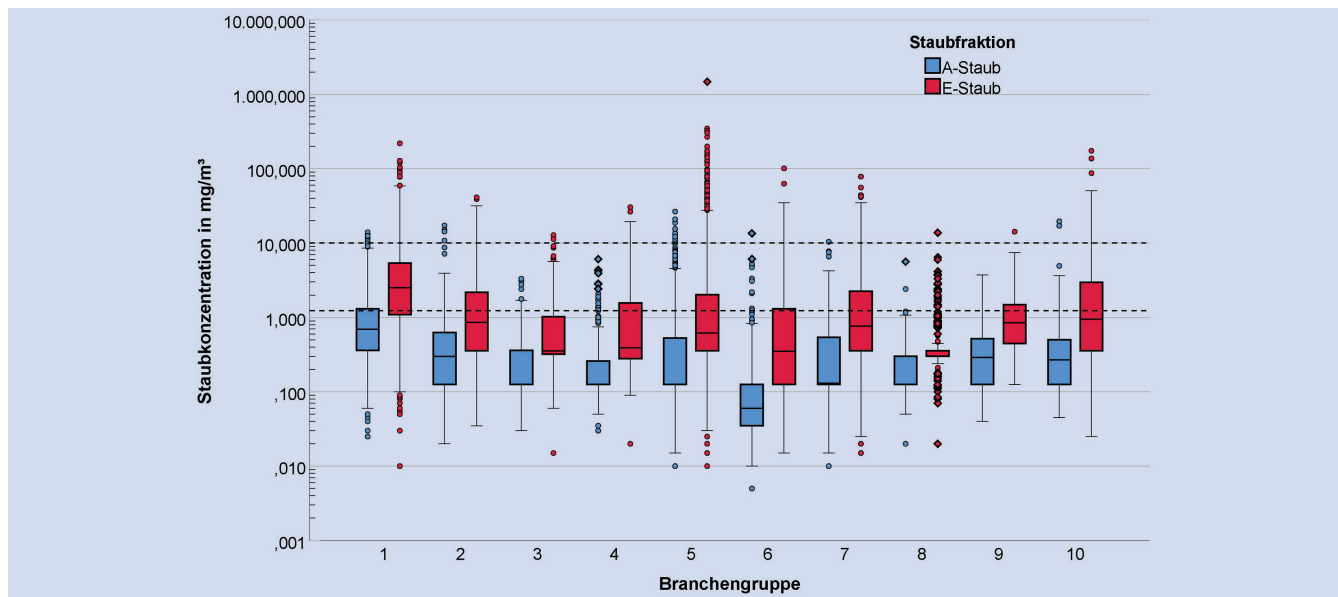
Beim Erschmelzen von Glas und insbesondere bei der Herstellung von keramischen Produkten und Erzeugnissen wird eine breite Palette mineralischer Rohstoffe eingesetzt. Die Korngröße dieser Materialien erstreckt sich dabei von fein pulvrig bis hin zu grobstückig. Beim Zerkleinern, Mischen und Fördern dieser Stoffe (Aufbereitung) kann es, je nach Art und Menge der Produkte sowie nach Aufbereitungsverfahren, zu einer erhöhten Staubexposition kommen. Dies gilt vor allem dann, wenn die Materialien in trockener Form verwendet oder verarbeitet werden. Anzustre-

ben sind für diese Verfahren möglichst geschlossene Systeme und eine regelmäßige, vorbeugende Instandhaltung für eine anhaltend wirksame Verminderung der Staubemissionen.

Geringere Staubemissionen treten in der Regel bei der Weiterverarbeitung der Rohmassen zu grob- und feinkeramischen Produkten durch Formgebung, Trocknung, Brand und Nachbearbeitung auf. Allerdings gibt es auch dort Arbeitsbereiche, in denen beim Handling der getrockneten oder gebrannten Produkte oder bei der Bearbeitung durch Sägen, Entgraten und Schleifen kritische Staubmengen freigesetzt werden können. Die Herausforderung besteht darin, die komplexen Anlagen, insbesondere die Schnittstellen der einzelnen Anlagenkomponenten, mit geeigneten Einhausungen und optimalen Stauberfassungselementen auszurüsten.

### 5.3 Gießereien, Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten und Oberflächenbehandlung

Hier sind Messungen aus Industriezweigen zusammengefasst, die entweder Metalle erzeugen oder sich mit deren Weiterverarbeitung beschäftigen wie Gießereien oder Walzwerke. Zusätzlich finden sich in **Tabelle 5** und **Bild 4** noch die Expositionsdaten



**Bild 4** A- und E-Staub-Exposition für Gießereien, Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten und Oberflächenbehandlung. Die Nummerierung der Branchengruppen auf der X-Achse entspricht den Ziffern in Tabelle 5. Die gestrichelten Linien entsprechen dem ASGW für E-Staub von 10 mg/m<sup>3</sup> und für A-Staub von 1,25 mg/m<sup>3</sup>. *Quelle: Autoren*

aus Reparaturwerkstätten in verschiedenen Branchen sowie Messungen aus Betrieben zur Oberflächenbehandlung und -beschichtung.

Aus der statistischen Betrachtung der Boxplots (Bild 4) sowie der berechneten Perzentile in Tabelle 5 lässt sich erkennen, dass in den Branchen Gießereien, Metallbearbeitung, Maschinen- und Fahrzeugbau, Reparaturwerkstätten und Oberflächenbehandlung die ASGW für A- und E-Staub jeweils mit dem 3. Quartil eingehalten werden. Es treten allerdings auch Ausreißer auf und die Maxima der Verteilung überschreiten die Luftgrenzwerte. Hieraus lässt sich weiterer Handlungsbedarf zur Expositionsminimierung bzw. zur Verbesserung der Staubprävention ableiten. Eine detailliertere Betrachtung einzelner Tätigkeiten erlaubt der Staubreport.

Im Bereich der Stahlerzeugung wird Eisenerz aufbereitet und im Hochofen zu Roheisen umgewandelt. Dieses Roheisen wird in Stahlwerken in Schmelzöfen unter Zusatz von Schrott geschmolzen und zu Stahl verarbeitet. Der bei thermischen Prozessen wie Schmelzen und Gießen entstehende Rauch besteht weitestgehend aus Partikeln der A-Fraktion. Ähnliches kann bei der Formgebung durch Gießen in Gießereien beobachtet werden. Hier müssen die Metalle und ihre Legierungen durch Schmelzen zunächst in den flüssigen Zustand gebracht werden. Beim Gießen selbst entstehen durch die Zersetzung der Bindemittel der Gießsande darüber hinaus größere Mengen rauchförmig vorliegender Gefahrstoffe. Beim Feuerverzinken (Schmelztauchverzinken) werden Überzüge aus Zink oder Zink-Eisen-Legierungen durch Eintauchen der Werkstücke aus Stahl oder Guss in eine Zinkschmelze hergestellt. Expositionen der Beschäftigten oberhalb des Grenzwerts für den A-Staub entstehen hier primär beim Arbeiten direkt am Verzinkungskessel, besonders beim manuellen Abstreifen der Zinkasche auf der Oberfläche der Zinkschmelze.

Bei der spanenden Bearbeitung mit „geometrisch bestimmter Schneide“, wie Drehen, Bohren, Hobeln, Sägen, Fräsen und Feilen, entstehen überwiegend gröbere, nicht einatembare Späne. Das Schleifen gehört dagegen – ähnlich wie das Honen und

Läppen – zu den Bearbeitungsverfahren mit „geometrisch unbestimmter Schneide“ und ist grundsätzlich eine staubintensive Tätigkeit, vor allem beim Einsatz von handgeführten Schleifwerkzeugen und bei der Bearbeitung großformatiger Werkstücke. Bei der Bearbeitung im Nassverfahren werden die freigesetzten Staubpartikel teilweise in der Kühlflüssigkeit gebunden; das sorgt in der Regel für eine geringere Staubexposition am Arbeitsplatz. Das Putzen von Gusswerkstücken erfolgt unter anderem mit einem schnell laufenden Winkelschleifer. Die hierbei freiwerdenden Partikel (Reste anhaftender Form- und Kernsande) besitzen eine hohe kinetische Energie: Eine Absaugung kann sie nur dann erfassen, wenn der Partikelstrahl weitestgehend in Richtung der Erfassungseinrichtung gerichtet wird.

Das Pulverbeschichten gehört zu den klassischen Oberflächenbeschichtungsverfahren im Bereich der Metallbearbeitung und -verarbeitung; grundsätzlich wird hierbei ein elektrisch leitfähiger Werkstoff mit Pulverlack beschichtet. Die Zerstäubung des Pulverlacks erfolgt mit einer Düse an der Lackierpistole. Vor allem beim Handauftrag muss mit einer höheren Belastung der beiden Staubfraktionen gerechnet werden.

#### 5.4 Groß-, Einzelhandel und Lagerwirtschaft

Messungen zu A- und E-Staub aus Betrieben des Groß- und Einzelhandels sowie der Lagerwirtschaft in Deutschland sind in **Tabelle 6** sowie grafisch in **Bild 5** dargestellt.

Im Handel und in der Lagerwirtschaft werden eine Vielzahl von Produkten und Waren umgeschlagen. Zudem werden an einer Vielzahl von Produkten weitere Tätigkeiten bzw. Arbeiten wie Sortierungen durchgeführt. Beispielhaft sei hier die Sortierung von landwirtschaftlichen Produkten wie Kartoffeln oder Zwiebeln angeführt. Neben dem Transport ganzer Paletten von Waren mit Flurförderzeugen werden die Waren auch von Hand kommissioniert, dabei gehoben, getragen und umgesetzt.

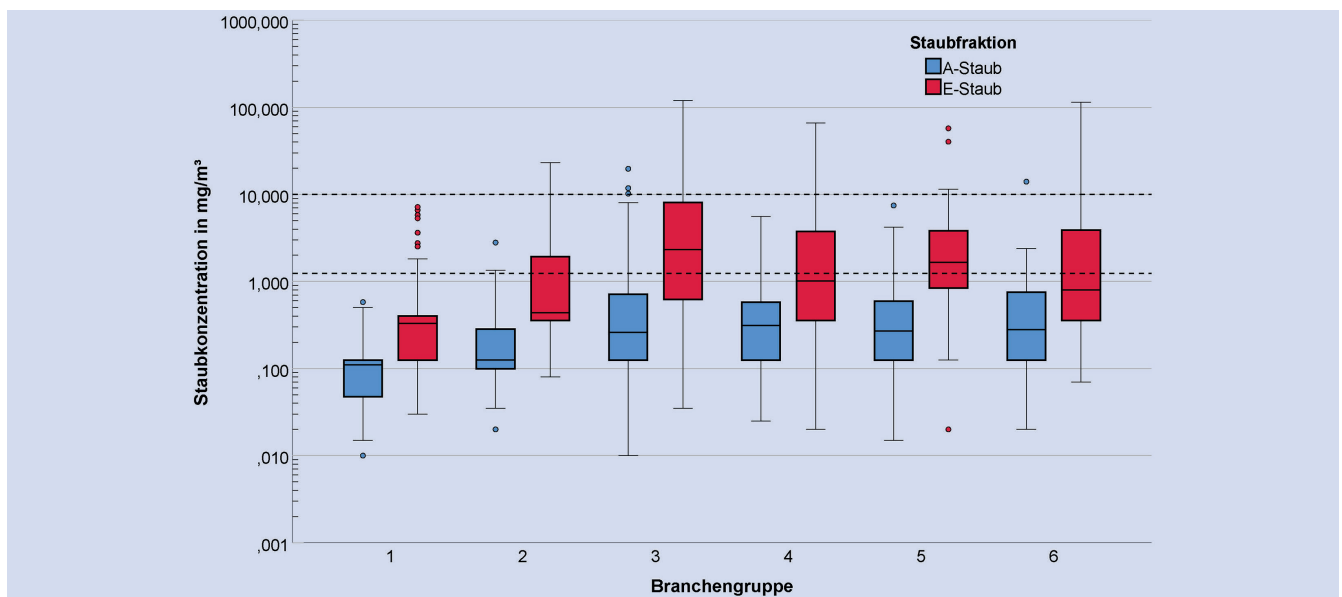
Neben allgemeinen Gefährdungen können die Beschäftigten bei Tätigkeiten mit den verschiedensten Handelsgütern – chemi-



**Tabelle 6** Überblick über die ermittelten A- bzw. E-Staub-Konzentrationen im Groß und Einzelhandel sowie bei der Lagerwirtschaft.

Staubfraktion	Anzahl Messwerte	Werte < NWG* in %	Höchste NWG* in mg/m <sup>3</sup>	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>Branchengruppe</b>						
<b>1 Lagerwirtschaft, Abfüll- und Verpackungsgewerbe</b>						
E-Staub	86	46,5	0,71	0,33 +	1,654	3,369
A-Staub	123	65	0,25	NWG !	0,234 +	0,38
<b>2 Großhandel mit Eisen, Stahl, NE-Metallen, Stahl- und NE-Metallhalbzeug</b>						
E-Staub	64	34,4	0,71	0,39 +	5,688	7,44
A-Staub	79	59,5	1,25	NWG !	0,567 +	0,825 +
<b>3 Groß- und Einzelhandel, Nahrungsmittel, Agrarerzeugnisse</b>						
E-Staub	202	15,3	0,71	2,31	17,14	30,877
A-Staub	183	33,9	1,25	0,255 +	2,201	3,382
<b>4 Groß- und Einzelhandel, mit verschiedenen Baustoffen</b>						
E-Staub	50	18	0,71	1	6,5	11,155
A-Staub	78	30,8	1,25	0,31 +	1,266	1,749
<b>5 Großhandel mit Altmaterialien, Reststoffen und Schrott</b>						
E-Staub	95	11,6	0,71	1,615	6,44	11,455
A-Staub	68	41,2	1,25	0,27 +	0,856 +	1,83
<b>6 Großhandel mit chemischen Produkten</b>						
E-Staub	77	31,2	0,71	0,785	9,746	18,715
A-Staub	95	43,2	1,25	0,275 +	1,415	1,978

\* Liegen Analyseergebnisse unterhalb der jeweiligen NWG, dann geht der Wert der halben NWG in die Statistik ein.  
 + Der Verteilungswert liegt unterhalb der höchsten NWG im Datenkollektiv.  
 NWG ! Die Anzahl der Messwerte unterhalb der analytischen NWG ist größer als die Zahl der Messwerte, die durch diesen Summenhäufigkeitswert repräsentiert werden. Daher wird für diesen Summenhäufigkeitswert keine Konzentration angegeben.



**Bild 5** A- und E-Staub-Exposition bei Groß-, Einzelhandel und Lagerwirtschaft. Die Nummerierung der Branchengruppen auf der X-Achse entspricht den Ziffern in Tabelle 6. Die gestrichelten Linien entsprechen dem ASGW für E-Staub von 10 mg/m<sup>3</sup> und für A-Staub von 1,25 mg/m<sup>3</sup>. Quelle: Autoren

schen Produkten, Altmaterialien, Reststoffen, Schrott, Baustoffen oder Nahrungsmitteln – zusätzlich gegenüber A- und E-Staub exponiert sein. Hier sind zudem Belastungen und Gefährdungen aufgrund der toxischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften dieser Stäube beim Auftreten an entsprechenden Arbeitsbereichen zu berücksichtigen.

In den verschiedenen Bereichen des Handels und der Lagerwirtschaft ist die Belastung der Beschäftigten mit A- und E-Staub, wie aus den Boxplots (Bild 5) sowie den berechneten Perzentilen in Tabelle 6 hervorgeht, nicht so hoch wie in den vorher beschriebenen Branchengruppen. Die ASGW für A- bzw. E-Staub werden in der Lagerwirtschaft und dem Handel mit Metallen und

Metallhalbzeugen im 95. Perzentil eingehalten. In den Bereichen des Großhandels, in denen verstärkt manuelle Kommissionierungen und Sortierungen durchgeführt werden, kann es allerdings auch schon im 90. Perzentil zu Grenzwertüberschreitungen kommen.

Bei Tätigkeiten mit staubenden Produkten ist auf eine wirkungsvolle Erfassung der entstehenden Stäube zu achten, um einer Exposition gegenüber E- bzw. A-Staub frühzeitig entgegenzuwirken. Expositionen lassen sich ferner durch die regelmäßige Reinigung (Industriestaubsauger, Nassreinigung) entsprechender Arbeitsbereiche im Handel und der Lagerwirtschaft wirkungsvoll reduzieren.

## 6 Fazit

Mit dem Staubreport des IFA wird eine umfassende Übersicht zu arbeitsbedingten Expositionen von Stäuben im Geltungsbereich des ASGW vorgelegt. Als Schwerpunkt enthält der Report Expositionsdaten zu Arbeitsplatzmessungen aus dem MGU. Die Expositionsdaten sind durch Erläuterungen zum Arbeitsverfahren, zu Tätigkeiten mit Exposition oder zu branchenüblichen Schutzmaßnahmen ergänzt. Der Report soll als Nachschlagewerk für Expositionsdaten dienen. Hierdurch wird ein Arbeitsbereichskataster zur Lenkung präventiver Maßnahmen und zur Expositionsüberwachung sowie für retrospektive Betrachtungen bei der Ermittlung zurückliegender Staubbelastungen bei Berufskrankheiten-Verdachtsanzeigen zur Verfügung gestellt. Der Staubreport liefert aber auch einen Beitrag zur Diskussion von Fachgremien im Rahmen der Weiterentwicklung des technischen Regelwerkes zu Stäuben. Für die betriebliche Praxis bietet der Report sowohl Unterstützung bei der Gefährdungsbeurteilung von Stäuben als auch Orientierung bei der Bewertung von Staubexpositionen. Der Report kann über die Publikationsdatenbank der DGUV [16] als Druckversion bestellt oder digital heruntergeladen werden. Auch in der Publikationsdatenbank des IFA [17] ist der Report recherchiert- und abrufbar. ■

### Literatur

- [1] *Arnone, M.; Guldner, K.; Fendler, D.; Fröhlich, H.-P.; Koob, M.; Poppe, M.*: IFA Report 6/2020 – Arbeitsbedingte Exposition gegenüber der einatembaren und der alveolengängigen Staubfraktion. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2020.
- [2] DIN ISO 4225: Luftbeschaffenheit – Allgemeine Gesichtspunkte – Begriffe (10/1996). Berlin, Beuth 1996.
- [3] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). BArbBl. (2006) Nr. 1; zul. geänd. GMBI. (2019), Nr. 7, S. 117-119.
- [4] *Gabriel, S.; Koppisch, D.; Range, D.*: Das MGU – ein Monitoringsystem zur Ermittlung und Dokumentation valider Daten zur Exposition am Arbeitsplatz. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 70 (2010) Nr. 1, S. 43.
- [5] *Gabriel, S.*: The BG measurement system for hazardous substances (BGMG) and the exposure database of hazardous substances (MEGA). Int. J. Occup. Saf. Ergon. 12 (2006) Nr. 1, S. 101-104.
- [6] *Gabriel, S.; Van Gelder, R.; Stamm, R.; Koppisch, D.; Arnone, M.; Koch, U.*: Drei Millionen Datensätze in der Expositionsdatenbank MEGA. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 76 (2016) Nr. 11-12, S. 422-424.
- [7] *Gabriel, S.; Koch, U.; Koppisch, D.; Stamm, R.; Steinhausen, M.*: Neue Herausforderungen an die Ermittlung, Dokumentation und Auswertung von Expositionsdaten zu Gefahrstoffen. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 72 (2012) Nr. 1-2, S. 12-20.
- [8] Das Messsystem Gefährdungsermittlung der UV-Träger (MGU), 8. Aufl. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2013.
- [9] Nachweis- und Bestimmungsgrenzen (Kennzahl 6013). In: IFA Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Lfg. 1/2019. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2011.
- [10] Alveolengängige Fraktion (Kennzahl 6068). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Lfg. 1/2015. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2011.
- [11] Einatembare Fraktion (Kennzahl 7284). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen. Lfg. 31/2003. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2011.
- [12] Technische Regel für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). GMBI. (2016) Nr. 43, S. 843-846.
- [13] Systematik der Wirtschaftszweige mit Betriebs- und ähnlichen Benennungen Hrsg.: Statistisches Bundesamt. Kohlhammer, Wiesbaden 1997.
- [14] *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.
- [15] *Arnone, M.*: Quarzexpositionen am Arbeitsplatz – Arbeitsbedingte Exposition gegenüber Quarz (Siliziumdioxid kristallin) in der alveolengängigen Staubfraktion – Vorabveröffentlichung der MEGA-Auswertungen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin 2020. [www.dguv.de/ifa/publikationen/reports-download/reports-2020/vorabveroeffentlichung-quarzexpositionen/index.jsp](http://www.dguv.de/ifa/publikationen/reports-download/reports-2020/vorabveroeffentlichung-quarzexpositionen/index.jsp)
- [16] DGUV Publikationsdatenbank. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin. <https://publikationen.dguv.de/>
- [17] IFA Publikationsdatenbank. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV), Berlin. [www.dguv.de/ifa/publikationen/datenbank-publikationen/index.jsp/](http://www.dguv.de/ifa/publikationen/datenbank-publikationen/index.jsp/)

**Dr. rer. nat. Mario Arnone**  
**Stefan Gabriel**

**Dr. rer. nat. Markus Mattenklott**  
Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), Sankt Augustin.

**A dB Michael Koob**  
Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI), Heidelberg.

**Dr. rer. nat. Karlheinz Guldner**  
Verwaltungs-Berufsgenossenschaft (VBG), Hamburg.

**Dipl. Ing. Marnix Poppe**  
Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM), Mainz.

**Dr. rer. nat. Hans-Peter Fröhlich**  
Berufsgenossenschaft Handel und Warenlogistik (BGHW), Mannheim.