

Ausgabe: April 2014

Stand: November 2013

Allgemeiner Staubgrenzwert

A-Staub

Die Ableitung des Allgemeinen Staubgrenzwertes basiert auf der entsprechenden DFG MAK-Begründung von 2012. Dort sind die zugrunde gelegten Publikationen ausführlich dargelegt. Insbesondere die Daten zum Wirkmechanismus sind dort beschrieben. Die Ableitung eines Grenzwertes wird auf Basis des Endpunkts chronische Entzündung durchgeführt. Ziel ist die Vermeidung von chronischen, partikelbedingten Entzündungsprozessen in der Lunge, womit auch gleichzeitig hieran gekoppelte pathologische Veränderungen, wie z. B. Fibrosen und die im Tierexperiment an Ratten beobachtete Entstehung von Lungentumoren verhindert werden („schwellenartiger“ Wirkmechanismus).

Die Ableitung des Grenzwertes (A-Fraktion) basiert auf den Ergebnissen von Tierversuchen, da derzeit keine Humandaten mit den erforderlichen Informationen zur Dosis-Wirkungs-Beziehung verfügbar sind.

Die Übertragung der Ergebnisse aus dem Tierversuch auf die Situation beim Menschen erfolgt über die Anwendung von Extrapolationsmodellen mit spezies-spezifischen Extrapolationsfaktoren. Hierfür gibt es derzeit keine national oder international abgestimmte standardisierte Vorgehensweise. In der MAK-Begründung sind zwei Wege für die Ableitung eines Grenzwertes für die partikelbedingte Entzündung ausgeführt (Verfahren „A“ und „B“, u.a. unter Verwendung des MPPD-Modells V2.0 zur Berechnung der Partikeldeposition in der Lunge), darüber hinaus wurden alternative Modelle berechnet (gemäß HEC-MPPD nach BekGS910 und Methode entsprechend BekGS 901).

Alle Extrapolationsmodelle sind mit Unsicherheiten verbunden. Diese Unsicherheiten betreffen zum Beispiel das beste Maß für die Normalisierung der Daten, z.B. aufgrund der limitierten und nicht völlig konsistenten Datenlage zu den Referenzwerten für die Größe der Alveolaroberfläche, die Anzahl der Alveolarmakrophagen, das Volumen der Makrophagen und die Halbwertszeit, mit der die Partikel aus der Lunge heraustransportiert werden. Eine weitere Unsicherheit resultiert aus der aktuellen Annahme in allen vorliegenden Berechnungen, dass Ratte und Mensch bezüglich der partikelbedingten Entzündung gleich empfindlich reagieren (gleiche dichte-korrigierte retinierte Dosis pro Flächeneinheit oder pro Makrophagenvolumen – gleiche Wirkung). Es wurde im UAIII aber angesprochen, dass es spezies-spezifische Unterschiede gibt; wie Hamster und Maus könnte auch der Mensch weniger empfindlich reagieren als die Ratte. Diese Frage konnte wegen fehlender Daten aber nicht abschließend bewertet werden, so dass dies eine offene fachliche Frage ist.

Auf dieser Grundlage sind die Ergebnisse der betrachteten Berechnungen (Einzelwerte 0,1 – 0,5 mg/m³ bezogen auf Dichte 1) als gesundheitsbasierte Werte anzusehen und daher alle fachlich als Referenzwert für den ASGW verwendbar.

Im AGS wurde auf dieser Grundlage ein Allgemeiner Staubgrenzwertes (ASGW) für den A-Staub unter Berücksichtigung einer arbeitsplatztypischen Staubbichte von 2,5 g/cm³ von 1,25 mg/m³ beschlossen*.

Hinweis: Stoffe mit einer Löslichkeit/Bioverfügbarkeit, die sich im Bereich von Calciumsulfat (Gips) befindet, liegen außerhalb des Geltungsbereiches des Allgemeinen Staubgrenzwertes.

* Errechnet aus den 0,5 mg/m³ für eine Dichte von 1 g/cm³ multipliziert mit einem Dichtefaktor, der dem Wert der in g/cm³ am Arbeitsplatz gemessenen Dichte entspricht ($0,5 \text{ mg/m}^3 \times 2,5 = 1,25 \text{ mg/m}^3$).

Ausgabe: September 2001

Stand: Mai 2001

Allgemeiner Staubgrenzwert ^{})**

Einleitung

Mit dem Allgemeinen Staubgrenzwert für die alveolengängige Fraktion (A) und die einatembare Fraktion (E) soll unspezifischen Wirkungen auf die Atmungsorgane, die alle unlöslichen Stäube zeigen können, vorgebeugt werden.

Vorkommen

Entsprechend dem definierten Geltungsbereich des Allgemeinen Staubgrenzwertes sind davon alle Arbeitsplätze betroffen, an denen solche unlöslichen Stäube beim Umgang mit staubenden oder staubförmigen Produkten freigesetzt werden oder beim Umgang, wie z.B. bei mechanischer Bearbeitung, entstehen. Solche Arbeitsplätze gibt es praktisch in allen Branchen und Industriezweigen der Volkswirtschaft. Obwohl keine exakten Angaben über der Zahl der Exponierten vorliegen, wird abgeschätzt, dass es sich um mehrere Millionen Arbeitsplätze handelt. Vor diesem Hintergrund sind auch die Ergebnisse der Arbeitsbereichsmessungen zu sehen, die einerseits nur einen begrenzten Überblick geben können, zum anderen jedoch sehr viele typischen und vor allem kritischen Bereiche der Exposition gegenüber solchen Stäuben beinhalten (siehe auch Tabelle 1). Als Beispiele für Bereiche/Branchen, bei denen die Staubexposition an den Arbeitsplätzen vorwiegend durch den Umgang mit staubenden oder staubförmigen Materialien hervorgerufen wird, sind zu nennen: Bauindustrie, Bergbau, Naturstein-, Kies-, Sand-, Kalk-, Gips-Industrie, keramische und Glas-Industrie, Gießereiindustrie u.a.. Bereiche /Branchen, bei denen die Stäube häufig oder überwiegend erst durch den Umgang entstehen, sind: Holz- und Kunststoff-Industrie sowie Handwerk, Textilindustrie, Papierindustrie und die Tätigkeiten Mahlen, mechanische Bearbeitung, Abbrucharbeiten u.a.. In den meisten Bereichen und Branchen gibt es einen mehr oder weniger großen Anteil von Tätigkeiten/Arbeitsbereichen, wo beide Mechanismen der Staubemission parallel zur Wirkung kommen.

Toxikologische Erfahrungen

Die arbeitsmedizinisch-toxikologische Ableitung des Allgemeinen Staubgrenzwertes beruht auf der MAK-Begründung [35]. Der Beraterkreis Toxikologie des AGS leitet auf dieser Datenlage folgende gesundheitsbasierte Luftkonzentrationen für Stäube

****)** Hinweis: Die Begründung Ausgabe 2001 ist hinsichtlich A-Staub gegenstandslos, hier gilt Ausgabe 2014.

ab:

Einatembare Fraktion (E-Staub): 4 mg/m³ (Jahresmittelwert)

Alveolengängige Fraktion (A-Staub): 3 mg/m³ (Schichtmittelwert; abgeleitet auf Basis einer mittleren Staub-Dichte von 2,5 g/cm³; nähere Angaben siehe unten)

Unter arbeitsmedizinisch-toxikologischen Gesichtspunkten empfiehlt der Beraterkreis Toxikologie, dass Expositionsspitzenkonzentrationen nicht mehr als das Doppelte des Luftgrenzwertes betragen sollten bei einer Gesamtüberschreitungsdauer von 15 Minuten pro Schicht.

Diese Luftkonzentrationen für Stäube am Arbeitsplatz sollen unspezifische Wirkungen auf die Atemorgane verhindern und sind in jedem Fall in Ergänzung stoffspezifischer Grenzwerte einzuhalten. Sie sind anzuwenden für schwerlösliche oder unlösliche Stäube, die nicht anderweitig reguliert sind, oder für Mischstäube.

Aus epidemiologischen Untersuchungen ist eine Erhöhung der Grundprävalenz der chronischen Bronchitis und des Lungenemphysems um 5 % bei einer A-Staub-Konzentration von 1,7 mg/m³ ableitbar. Aus den epidemiologischen Untersuchungen ist jedoch keine Angabe zur Dichteabhängigkeit der Staubwirkung zu entnehmen. In tierexperimentellen Untersuchungen ergab sich eine Einschränkung der alveolären Clearance-Funktion in Abhängigkeit von Expositionshöhe und Staubdichte. Die MAK-Kommission hat daraus einen MAK-Wert von 1,5 mg/m³ für A-Stäube einer Dichte zwischen 1 und 2 g/cm³ abgeleitet.

In der MAK - Begründung für den Allgemeinen Staubgrenzwert war aus tierexperimentellen Studien eine Grenzkonzentration c von

$$c = \text{Dichte} \times 1,2 \text{ [mg/m}^3\text{]}$$

für den A-Staub abgeleitet worden.

Der Beraterkreises Toxikologie des AGS hat daraus unter Zugrundelegung einer arbeitsplatztypischen Staubdichte von 2,5 g/cm³ eine gesundheitsbasierte Luftkonzentration für den A-Staub von 3 mg/m³ abgeleitet.

Für A-Stäube mit einer geringeren Dichte (< 2,5 g/cm³) ergibt sich eine entsprechend niedrigere gesundheitsbasierte Luftkonzentration.

Für A-Stäube mit einer Dichte von > 2,5 g/cm³ wird derzeit kein höherer Luftgrenzwert empfohlen.

Zu kurzfristigen Expositionsspitzen lagen der MAK-Kommission keine Daten vor. Aus allgemeinen toxikologisch-arbeitsmedizinischen Gesichtspunkten (Vermeidung einer zu schnellen Aufnahme von größeren Mengen unlöslichen Staubes in die Atemwege) sollten hinsichtlich der Expositionsspitzen sowohl bei der alveolengängigen Fraktion als auch bei der einatembaren Fraktion Konzentrationen am Arbeitsplatz von nicht mehr als dem Doppelten des jeweiligen Luftgrenzwertes angestrebt werden bei einer Gesamtüberschreitungsdauer von maximal 15 Minuten pro Schicht.

Arbeitsmedizinische Erfahrungen

1. Biologische Wirkung von Staubpartikeln

Die mit der Atemluft aufgenommenen Staubpartikel erreichen in Abhängigkeit von ihrem aerodynamischen Durchmesser unterschiedliche Abschnitte der Atemwege und werden dort deponiert. Während die in den Bronchien abgedehnten Partikel meist relativ rasch (Stunden) wieder mundwärts transportiert und durch Verschlucken bzw. Aushusten beseitigt werden, bleiben die in die Alveolen gelangten Partikel, sofern sie unlöslich sind, dort Monate bis Jahre liegen (Halbwertszeit bis zu 400 Tage). Die entscheidende Rolle bei der Eliminierung alveolar deponierter Partikel spielen die Makrophagen, die diese Partikel aufnehmen und via Bronchialsystem, Lymphsystem oder Blutgefäße abtransportieren. In der Auseinandersetzung der Makrophagen mit den Partikeln werden sogenannte Mediatoren freigesetzt, die unter anderem Entzündungszellen anlocken. Aber auch Bronchial-Epithelzellen setzen nach Einwirkung von Fremdstoffen derartige Mediatoren frei. Bei Einwirkung über Jahre bis Jahrzehnte und Überforderung der bronchoalveolären Clearancekapazität kann so das Bild einer chronischen Entzündung in den peripheren und zentralen Atemwegen entstehen. Dies ist histologisch durch den Einstrom von Leukozyten in die Schleimhaut, Vermehrung der schleimbildenden Drüsen und Fibrosierung der Bronchialwände charakterisiert. Klinisch kommt es dabei zu Husten, Auswurf und im weiteren Verlauf auch zu Atemnot. Diese Form von Atemnot ist lungenfunktionsdiagnostisch durch Messung von Parametern der obstruktiven Ventilationsstörung, der Verteilungsstörung und/oder der Diffusionsstörung objektivierbar.

Wird das Gleichgewicht zwischen Partikelaufnahme und Elimination (Clearance) längere Zeit im Sinne einer erhöhten Aufnahme gestört, kann es zum sogenannten Overload-Phänomen kommen, was tierexperimentell gut belegt ist. Da es für verschiedene Kleinsäuger (Ratte, Hamster u.a.) zutreffend ist, gilt es als wahrscheinlich, dass ähnliche Mechanismen auch beim Menschen gegeben sind. Man versteht unter dem Overload-Phänomen, dass ab einer bestimmten Beladung der Makrophagen mit Partikeln die Clearance des alveolar deponierten Staubes reduziert wird und bei einer Überladung (60 % des Makrophagenvolumens mit Partikeln ausgefüllt) völlig zum Stillstand kommt. Damit verbunden ist dann, dass die Entzündungsprozesse intensiver werden. Beim Nagetier werden auf diese Weise sogar Tumor bildende Prozesse in Gang gesetzt. Letzteres ist für den Menschen bisher noch nicht hinreichend belegt.

Die Entzündung der unteren Atemwege nennt man Bronchitis. In der Terminologie der internationalen Klassifikation der Krankheiten unterscheidet man drei Hauptformen: „einfache chronische Bronchitis“ (Nummer nach der Internationalen Klassifikation der Krankheiten (ICD-Nr. 491.1)), „schleimig-eitrige chronische Bronchitis“ (ICD-Nr. 491.2) und „chronische obstruktive Bronchitis“ (ICD-Nr. 491.3). Die Entwicklungszeit der chronischen Bronchitis unter Staubeinfluss beträgt Jahre bis Jahrzehnte. Während die am Anfang stehenden Veränderungen der Lungenclearance subjektiv überhaupt nicht wahrgenommen werden, sind die ersten feststellbaren Beanspruchungszeichen in Husten und Auswurf zu sehen. Auch diese Beschwerden werden von den Betroffenen oft nicht als Krankheitszeichen gewertet (z.B. beim sogenannten Raucherhusten). Erst das Auftreten von Atemnot (anfangs unter körperlicher Be-

lastung) bzw. die Feststellung einer obstruktiven Ventilationsstörung ist stets mit einer Einschränkung der Leistungsfähigkeit der Betroffenen verknüpft.

2. Relevanz obstruktiver Lungenkrankheiten und ihrer arbeitsbedingten Anteile

Die chronische Bronchitis gehört zu den sogenannten Volkskrankheiten (NOLTE, 1994; LAUBER, 1996). Neben der Staubeinwirkung am Arbeitsplatz kommen insbesondere die Rauchgewohnheiten der Bevölkerung, wiederholte Virusinfekte der Atemwege, die allgemeine Luftverschmutzung und bestimmte dispositionelle Faktoren als ursächliche Teilfaktoren in Betracht. Die Häufigkeit der manifesten, behandlungsbedürftigen obstruktiven Lungenkrankheit liegt in der nicht inhalativ belasteten, arbeitenden Bevölkerung im Alter von 20 Jahren bei etwa 2 %, im Alter von 60 Jahren bei etwa 4 % (BRÄUNLICH u.a., 1993 b). Die Atemnot infolge obstruktiver chronischer Bronchitis kann Anlass zur Frühberentung werden. In der Todesursachenstatistik der Bundesrepublik nehmen die nicht-malignen Lungenkrankheiten, wenn auch mit großem Abstand, die dritte Position nach den Herz-Kreislauf-Krankheiten und den bösartigen Tumoren ein. Dabei ist zu beachten, dass nach pathologisch-anatomischen Erhebungen die Diagnose chronischer Lungenkrankheiten als Todesursache im Gegensatz zu den häufig angenommenen Herz-Kreislauf-Krankheiten eher zu selten erfolgt.

Umfangreiche epidemiologische Untersuchungen, die sowohl bevölkerungsbezogen als auch in bestimmten Berufsgruppen durchgeführt worden sind, gestatten eine Abschätzung der Anteile der ursächlichen Faktoren in der Verursachung dieser Krankheitsgruppe: Bereits in den 70er Jahren war in umfangreichen epidemiologischen Studien in West- und Ostdeutschland die Mitwirkung arbeitsbedingter Stäube an der Verursachung chronischer obstruktiver Lungenkrankheiten aufgezeigt worden (DFG 1975; HERRMANN, 1976; DFG, 1981). SELIG hat 1985 publiziert, dass von den Fällen mit obstruktiver Lungenkrankheit bei Wismutbergarbeitern je die Hälfte durch das Zigarettenrauchen bzw. durch die arbeitsplatzbedingte Staubbelastung hervorgerufen wurde. Ähnliche Risikorate hat BRÄUNLICH (1993a u. b) für sämtliche arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen in Ostdeutschland (1982 bis 1990) aufgezeigt. Eine Berechnung der sogenannten ätiologischen Anteile unter Berücksichtigung der Häufigkeit bestimmter Berufsgruppen in der Bevölkerung hat im gleichen Datenmaterial ergeben, dass von in der Gesamtbevölkerung der ehemaligen DDR zu erwartenden chronischen obstruktiven Atemwegskrankheiten etwa 8 % durch berufliche Einflüsse, 30 % durch Zigarettenrauchen und der Rest durch in dieser Methodik nicht näher erfasste Einflüsse wie frühkindliche Atemwegskrankheiten, gehäufte Infekte, dispositionelle Faktoren u.a. zu erklären waren (ENDERLEIN, 1998). Im Vergleich der verschiedenen beruflichen Einflüsse untereinander scheinen Staubbelastungen in der Pathogenese von chronischen obstruktiven Lungenkrankheiten von größerer Bedeutung zu sein als chemische Irritantien und Gase (BURGE, 1999).

Wie die zitierten deutschen Daten belegt auch eine Reihe populations- bzw. berufsgruppenbezogener epidemiologischer Studien der internationalen Literatur die Mitwirkung arbeitsbedingter Staubbelastung an der Verursachung obstruktiver Lungenkrankheiten (Übersichten dazu finden sich unter anderem bei BECKLAKE, 1985;

OXMAN u.a., 1993; BURGE, 1994; GARSHICK u.a., 1996). Leider gestatten diese Massenscreenings in der Regel keine hinreichend präzisen Aussagen über Dosis-Wirkungs-Beziehungen.

3. Dosis-Wirkungs-Beziehungen zwischen Staubbelastung und chronischer obstruktiver Lungenkrankheiten

Da die Entwicklung chronischer obstruktiver Lungenkrankheiten unter Staubeinfluss ein Prozess ist, der Jahre bis Jahrzehnte dauert, können zur Ermittlung von Dosis-Wirkungs-Beziehungen nur Längsschnittuntersuchungen gut definierter Kohorten herangezogen werden. Derartige Studien liegen bisher nur für wenige Staubqualitäten wie Gruben- bzw. Gießereistäube vor. Einige Ergebnisse dieser Studien sind in der Tabelle zusammengefasst. Als Zielkriterium wurde dabei das FEV₁ (forciertes Expirationsvolumen in der 1. Sekunde, Atemstoßtest) gewählt, weil dies ein klinisch relevanter, gut reproduzierbarer und mit relativ einfachen Mitteln messbarer Parameter ist.

Tabelle 1

Autor/Jahr	ml/Jahr pro 1 mg/m ³	Bemerkungen
LOVE u. MILLER, 1982	- 0,39	Follow-up über 11 Jahre
SOUTAR u. HURLEY, 1986	- 0,82 - 2,16	Alle Suszeptible Untergruppe
MARINE, 1988	- 1,08	
COLLINS, 1988	- 1,73	
ATTFIELD, 1992	- 1,3	
HNIZDO, 1992	- 9,8 pro <u>0,3</u> mg/m ³	Mittlerer Wert für 50-jährige Goldbergleute mit 24 Jahren Untergrundarbeit; 30 % Quarzanteil im Staub!
SOUTAR, 1993	- 1,7 - 1,3 - 2,7 - 1,6	Wales 88 Wales Follow-up Yorkshire Tyne
SEIXAS, 1993	- 5,5	Jüngere Bergleute
CARTA, 1996	- 7,6	Jüngere Bergleute (28,9 ± 5,6 J.) Geometrische Mittel für versch. Jobs: 1,73 bis 3,05 mg/m ³
HENNEBERGER u. ATTFIELD, 1996	- 1,2	Ältere Bergleute, nur 51 % noch exponiert (49,9 ± 7,2 J.). A im Follow-up: 0,9 ± 0,44 mg/m ³ (vorher 3,4 ± 1,38 mg/m ³)
MORFELD u. PIEKARSKI, 1996	- 6,9	Vorläufige Daten

Die überwiegend aus dem Kohlenbergbau stammenden Daten zeigen eine beträchtliche Spannweite der Funktionsminderung pro mg/m^3 alveolengängigen Staubes zwischen den Studien. Die Kenntnis der Ursachen der Schwankungsbreite dieser Daten wäre für die Ableitung eines Grenzwertes oder anderer konkreter Maßnahmen der Prävention nützlich. Leider geben die Studien bisher dazu nur wenige Anhaltspunkte. Die in Tabelle 1 zitierten Daten von SEIXAS und CARTA sprechen für stärkere Reaktionen bei jüngeren Bergleuten im Vergleich zu älteren. In der 20-jährigen Verlaufsbeobachtung einer Gruppe von Gießereiarbeitern war aber keine Abschwächung der FEV_1 -Minderung im Vergleich der vier aufeinanderfolgenden 5-Jahresperioden festzustellen. Vermutlich stehen hinter diesen Differenzen *vor allem* unterschiedliche Selektionsprozesse. Kein Zweifel besteht daran, dass neben dem Partikeleffekt vorhandene toxische Eigenschaften (z.B. Quarzanteil des Staubes, Endotoxingehalt) die Wirkung im Sinne obstruktiver Atemwegserkrankungen verstärken (BRÄUNLICH, 1993b; MORFELD und PIEKARSKI, 1996).

Zusammen mit umweltmedizinischen Daten, die einen Einfluss von Staubpartikeln sogar im Mikrogramm-Konzentrationsbereich (z.B. EULER u.a., 1987; KÜNZLI u.a., 2000) auf die herzkreislauf- und lungenbedingte Morbidität und Mortalität anzeigen, sprechen die in arbeitsmedizinischen Untersuchungen gewonnenen Informationen dafür, dass auch sehr niedrige Staubbelastungen nicht vernachlässigbare Effekte hervorrufen können (s. dazu auch MORFELD u. PIEKARSKI, 1998a, Kap. 4.3.3.1). Für den Kohlenbergbau ist das verfügbare Datenmaterial in Übersichten (MORFELD und PIEKARSKI, 1998; BAUR u.a., 1994) ausführlich zusammengestellt worden. Unter der Annahme, dass keine Grenzkonzentration im Sinne eines No-effect-levels existiert und alle Vorgänge über das ganze Berufsleben linear verlaufen, ließe sich aus der Verdopplungsdosis von $100 \text{ mg}/\text{m}^3$ und gesetzten 40 Arbeitsjahren eine mittlere Langzeitkonzentration von $2,5 \text{ mg}/\text{m}^3$ alveolengängiger Staub rückrechnen. Verdopplungsdosis bzw. -konzentration bedeutet auch, dass ein auf sichere Prävention orientierter Wert im Jahresmittel deutlich darunter liegen sollte. Die zulässige Überschreitungshöhe und -häufigkeit des Mittelwertes pro Schicht gegenüber diesem Jahresmittelwert wären in Abhängigkeit von der tatsächlichen Schwankungsbreite der Messwerte festzulegen (s. DFG 1996; BOCHMANN, 1997; BIA-Arbeitsmappe, 1998). Einschränkend muss angemerkt werden, dass sich diese vereinfachende Abschätzung auf die zur Zeit gültige Konvention zur BK 4111 gründet und nicht direkt die Ergebnisse der epidemiologischen Studien reflektiert.

4. Stellungnahme aus arbeitsmedizinischer Sicht:

Der Ableitung des MAK-Wertes der DFG-Kommission liegen zugrunde:

- die LOAEL sensitiver Zielkriterien (5 % Zunahme chronischer bronchialer Reaktionen, signifikante Änderung einzelner Parameter der Obstruktion) in epidemiologischen Studien an Beschäftigten mit Staubbelastung in metallurgischen Betrieben, d.h. Stäuben, die mit hoher Wahrscheinlichkeit quarzhaltig waren und auch andere toxische Komponenten enthalten haben können

- die Daten zur Hemmung der alveolären Clearance in Langzeitexperimenten an Nagetieren durch unterschiedliche, darunter auch sogenannte „inerte“ Stäube wie z.B. Titandioxid.

Unter dem Aspekt des präventiven Gesundheitsschutzes am Arbeitsplatz soll der allgemeine Staubgrenzwert für die A- und E-Fraktion nach der neuen Definition angewandt werden für (Misch-)Stäube, die nicht anderweitig geregelt sind. Ultrafeine Stäube sind wegen einer über diese allgemeine Staubwirkung hinausgehende Wirksamkeit ausdrücklich ausgenommen.

Bei der Anwendung in der Praxis des Arbeitsschutzes sind folgende Aspekte zu berücksichtigen:

1. Die zugrunde liegenden epidemiologischen Daten stammen überwiegend von Kollektiven mit Exposition gegenüber quarzhaltigen Stäuben. Die Quarzanteile erhöhen die Toxizität eines Staubes. Liegen im konkreten Fall Stäube ohne Anteile von Quarz oder anderen toxischen Teilkomponenten vor, kann davon ausgegangen werden, dass das Risiko der chronischen bronchialen Reaktion geringer ist. Zur Aufklärung des tatsächlichen Risikos werden für diese Anwendungsbereiche dringend arbeitsmedizinische Längsschnittbeobachtungen unter Kontrolle der Selektion empfohlen, um für diese Staubarten spezifische Grenzwerte begründen zu können.
2. Sowohl die epidemiologisch als auch die tierexperimentell erfassten Dosis-Wirkungs-Beziehungen betreffen Langzeiteffekte der Staubpartikel. Sichere Erhöhungen der Prävalenz obstruktiver Lungenkrankheiten finden sich erst nach etwa 20-jähriger Staubbelastung. Die Halbwertszeit der alveolären Clearance beim Menschen liegt in der Größenordnung eines Jahres. Daraus folgt, dass die darauf basierenden Luftgrenzwerte aus biologischer Sicht nur in längeren Zeiträumen einzuhalten sind. Kurzfristige Überschreitungen in einzelnen Schichten und bis zur Höhe eines bestimmten Überschreitungsfaktors lassen wesentliche Gesundheitsstörungen nicht erwarten (DFG 1996).
3. Unter Berücksichtigung vorliegender Messerfahrungen zur Überschreitungshäufigkeit (95%-Perzentil) und zur geometrischen Standardabweichung wird der Faktor 2 für die Überschreitungshöhe in einer Schichtmessung empfohlen, falls keine qualifizierten betriebsspezifischen Verteilungsdaten zur Ableitung eines möglicherweise größeren Überschreitungsfaktors vorliegen (s. dazu DFG 1996; BOCHMANN u.a., 1997; BIA-Arbeitsmappe IV/98: Allgemeine Staubgrenzwerte, 0412/4; MAK- und BAT-Werte-Liste 1998).
4. Die zugrunde liegenden Dosis-Wirkungs-Beziehungen beruhen auf Studien mit stationärer Probenahmetechnik. Bei personengetragener Probenahme werden an Staubarbeitsplätzen überwiegend höhere Schichtwerte ermittelt als bei stationärer Messung. Da dies stark von der Aufstellung der Messgeräte, der Technologie und der Kontrolle der Messbedingungen abhängt, kann ein allgemein gültiger Korrekturfaktor dafür nicht angegeben werden. Sofern in Arbeitsbereichsanalysen jetzt personengetragene Messtechnik benutzt wird und für die jeweilige Technologie Beziehungen zwischen Messergebnissen stationärer und personengetragener Probenahme bekannt sind, können entsprechende Korrekturen vorgenommen werden.

5. Die relevanten biologischen Wirkungen der Staubpartikel bestehen in einer sich langsam, über Jahrzehnte entwickelnden chronischen Entzündung der Atemwege. Insbesondere in den Anfangsstadien sind diese Prozesse reversibel. Das eröffnet der arbeitsmedizinischen Vorsorge Möglichkeiten einer gezielten Sekundärprävention durch Früherkennung beginnender Krankheitsstadien unter Berücksichtigung auch der individuellen Disposition zur Verhütung späterer leistungsbeeinträchtigender Krankheitsformen wie der schleimig-eitrigen Bronchitis (ICD-Nr. 491.2), der chronisch obstruktiven Bronchitis (ICD-Nr. 491.3) der respiratorischen Insuffizienz sowie des chronischen Cor pulmonale.

Bei den zur chronischen obstruktiven Bronchitis neigenden Beschäftigten ist dem Betriebsarzt eine Früherkennung mittels gezielter Anamnese (bezüglich Husten, Auswurf und Atemnot), ärztlicher Untersuchung der Lungen und Lungenfunktionsmessungen möglich. Insbesondere die regelmäßige Kontrolle der Lungenfunktion kann sensitiv und objektiv den Beginn der obstruktiven Atemwegserkrankung anzeigen. Eine individuelle Sekundärprävention kann z.B. durch Arbeitseinsatzlenkung nach dem Modell des Steinkohlenbergbaus (BAUER, 1997), durch Beratung bezüglich der Rauchgewohnheiten, durch medikamentöse Therapie oder frühe stationäre Rehabilitationsmaßnahmen in Kliniken mit speziellen Erfahrungen zu arbeitsbedingten Lungenkrankheiten erfolgen.

Die zur Früherkennung notwendige Messtechnik (eichbare und Registrierkurven dokumentierende Spirometer) ist heute Standardausstattung in Einrichtungen der Arbeitsmedizin. Für eine sensitive Bewertung darf das Ergebnis der Lungenfunktionsprüfung allerdings nicht erst dann Veranlassung zur Intervention geben, wenn die Sollgrenzwerte (Referenzwert minus 1,64-faches der Standardabweichung im sogenannten Normalkollektiv) unterschritten werden. Bei solchem Vorgehen müssen Personen mit hohen individuellen Ausgangswerten hohe Funktionsverluste erleiden, ehe sie als krank („normabweichend“) diagnostiziert werden. Vielmehr muss jede Person mit ihrer eigenen Ausgangsnorm betrachtet und die Änderung der Messwerte pro Jahr (bei individuell gestalteten Messabständen zwischen 1 und 3 Jahren) bewertet werden. Die Messung des FEV₁ ist intraindividuell nur mit einer Variabilität von $\pm 3\text{-}5\%$ verknüpft. Man könnte also eine Abweichung von -10% ausreichend sicher feststellen. Da eine solche Abweichung aber in der Regel subjektiv noch nicht mit Beschwerden einhergeht, wird die Diagnose „Obstruktion“ in der kurativen Medizin bisher erst bei Abweichungen von -20% gestellt. Das Warten auf diesen Zeitpunkt bedeutet aber, den Eintritt einer Krankheit im Sinne der Internationalen Klassifikation der Krankheiten und oft auch bereits eine „Minderung der Erwerbsfähigkeit“ hinzunehmen. Mit dem oben empfohlenen Vorgehen können dagegen Interventionen im Sinne der individuellen sekundären Prävention vor subjektiv beeinträchtigenden Krankheitsformen eingeleitet werden.

Die Wirksamkeit der Expositionsunterbrechung ist am Beispiel des Rauchens durch prospektive Follow-up-Studien gut belegt. So zeigte sich z.B. in der „Lung Health Study“ eine bis zum 5. Beobachtungsjahr zunehmende Differenz der Lungenfunktion zwischen weiter rauchenden Personen und anhaltend Nicht-mehr-Rauchern (ANTHONISEN u.a., 1994). Für arbeitsbedingte Expositionen liegen Studien dieser Qualität bisher nicht vor. Arbeitsmedizinisch gibt es aber Anhaltspunkte für grundsätzlich gleiche Effekte, unter anderem aus Längsschnittuntersuchungen an Schweißern. Andererseits ist aber darauf hinzuweisen, dass weitere arbeitsmedizini-

sche Längsschnittuntersuchungen zur Effizienz rehabilitativer Maßnahmen (einzeln und in Kombination) bei Beschäftigten mit Staubbelastung notwendig sind, um alle Anforderungen der Qualitätssicherung in der arbeitsmedizinischen Vorsorgepraxis zu erfüllen.

Arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen bei Staubexpositionen

Nach den epidemiologischen Untersuchungen und arbeitsmedizinischen Erkenntnissen besteht die Notwendigkeit, Beschäftigte, die regelmäßig Staubkonzentrationen oberhalb von 3 mg/m^3 (A-Staub, als Schichtmittelwert) ausgesetzt sind, arbeitsmedizinisch zu untersuchen. Der Arbeitgeber hat deshalb dafür Sorge zu tragen, dass die betroffenen ArbeitnehmerInnen vor Aufnahme einer solchen Tätigkeit und dann in regelmäßigen Abständen arbeitsmedizinisch untersucht werden.

Nach derzeitigem Stand der Erkenntnisse verbleiben offene wissenschaftliche Fragestellungen, die in den nächsten Jahren beantwortet werden sollen. Bei künftigen Überprüfungen des Allgemeinen Staubgrenzwertes ist deshalb vorgesehen, die aus arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen gewonnenen Erkenntnisse zu nutzen. Die grundsätzlichen Mängel der epidemiologischen Studien sind an mehreren Stellen im Begründungspapier der MAK-Kommission vermerkt, eine bewertende Stellungnahme findet sich im Gutachten des International Epidemiology Institute (Rockville, Maryland, USA, Verfasser: Dr. Joseph K. McLaughlin). Die vorliegenden arbeitsmedizinischen Befunde resultieren ausschließlich aus Langzeiteffekten, somit sind die Staubgrenzwerte der MAK-Kommission primär als Langzeitwerte abgeleitet worden.

Mess- und Analysenverfahren

Es können alle Messverfahren angewendet werden, die den Kriterien zur Messung der einatembaren und alveolengängigen Fraktion nach DIN EN 481 [33] genügen.

Diese Norm enthält Festlegungen für die Probenahme dieser beiden Partikelfraktionen. Geeignete Probenahme- und Analysensysteme werden z.B. in der BIA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“ [34], Kennzahl 0210, 3010, 3020, 7490, 7552 beschrieben.

Hinweis: Der Nachweis einer relevanten Konzentration an ultrafeinen oder grobdispersen Partikeln muss in der Regel nicht durch Messungen erbracht werden, sondern es können z.B. die Informationen der BIA-Arbeitsmappe (Kennzahl 0412) hierzu genutzt werden. Ebenfalls in der BIA-Arbeitsmappe werden Arbeitsbereiche, in denen lösliche Stäube auftreten können genannt und es wird ein Konventionsverfahren zur Ermittlung der Löslichkeitsbestimmung beschrieben.

Ergebnisse von Arbeitsbereichsmessungen

Eine Übersicht über die Branchen und Industriezweige, in denen in der Regel im größeren Umfang Expositionsmessungen vorliegen, zeigt Tabelle 1.

Es werden vorwiegend neuere Messergebnisse und so weit möglich primär solche, die mit personengetragenen Messgeräten gewonnen wurden, dargestellt. Sie beinhalten z.T. aber auch stationäre und personenbezogene (-getragene) Messergebnisse. In Abhängigkeit von der Branche und Art der Tätigkeit wurden einige Messreihen sowohl an Arbeitsplätzen gewonnen, die dem Stand der Technik entsprechend als auch an solchen, bei denen der Stand der Technik nicht erreicht wurde. Messergebnisse von Arbeitsbereichen und Tätigkeiten mit speziellen Bedingungen, wie z.B. Reinigungsarbeiten innerhalb von Anlagen, wurden in der Regel bei der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt.

Nachstehend wird ein Überblick über die Arbeitsbereichsmessungen der in Tabelle 1 aufgeführten Branchen, Industriezweige und Tätigkeiten gegeben.

Bauwirtschaft

Das Messdatenkollektiv umfasst die in Tabelle 1 angeführten Industrie- und Gewerbebranche bzw. Tätigkeiten mit Ausnahme des Tunnelbaus. Ausgewertet wurden 298 Messungen (A-Staub und E-Staub jeweils 149) des Jahres 1998. Es ergeben sich für alle Arbeitsbereiche nachstehende Ergebnisse (Messwerte – keine Schichtmittelwerte, da vorwiegend nichtstationäre Arbeitsplätze).

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	2,0	12,2
Der 80 % Wert betrug:	8,5	81,9
Der 90 % Wert betrug:	14,5	124,8

Für den Tunnelbau (222 Messungen, A-Staub: 111, E-Staub: 111) wurden auf der Basis der Messwerte folgende Ergebnisse erhalten:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	8,8	55,9
Der 80 % Wert betrug:	14,7	119,8
Der 90 % Wert betrug:	20,7	175,7

Es ergaben sich auf der Basis von Messwerten folgende arbeitsbereichs- bzw. tätigkeitsbezogene Ergebnisse:

Trockenbau (A-Staub und E-Staub jeweils 26 Messwerte):

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	3,0	17,9
Der 80 % Wert betrug:	12,1	95,3
Der 90 % Wert betrug:	35,7	148,3

Abbrucharbeiten (A-Staub und E-Staub jeweils 48 Messwerte):

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	2,9	23,1
Der 80 % Wert betrug:	10,3	98,6
Der 90 % Wert betrug:	12,7	163,0

Bergbau

Das Messdatenkollektiv umfasst die in Tabelle 1 aufgeführten obertägigen Arbeitsbereiche und Tätigkeiten. Ausgewertet wurden 340 Messergebnisse (A-Staub: 117, E-Staub: 223) des Zeitraumes 1996 – 1999. Es ergaben sich folgende Werte:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,2	0,3
Der 75 % Wert betrug:	0,3	0,7
Der 90 % Wert betrug:	0,5	1,5
Der 95 % Wert betrug:	0,6	2,1

Chemische Industrie

Das Messdatenkollektiv umfasst die in Tabelle 1 angeführten Bereiche. Auswertet wurden Messergebnisse (A-Staub: 1163, E-Staub: 1324) des Zeitraumes 1994 – 1998. Es ergeben sich für alle Arbeitsbereiche nachstehende Resultate:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,5	1,2
Der 80 % Wert betrug:	1,4	5,2
Der 90 % Wert betrug:	2,3	11,3
Der 95 % Wert betrug:	3,6	21,3

Kunststoffherstellung

Für diesen Bereich (Einfüllung, Abfüllung) liegen 80 Messergebnisse vor (A-Staub: 37, E-Staub: 43). Es ergeben sich nachstehende Werte:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,7	2,9
Der 80 % Wert betrug:	3,0	8,1
Der 90 % Wert betrug:	5,6	21,2

Betrieb der Großchemie

Für diesen Betrieb mit vielen typischen Tätigkeiten in der chemischen Industrie wurden 15019 Messergebnisse ausgewertet (A-Staub: 6554, E-Staub: 8465) und nachstehende Häufigkeitsverteilungen erhalten:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,4	3,1
Der 90 % Wert betrug:	1,6	11,4
Der 95 % Wert betrug:	2,9	18,4

Gießereien

Das Messdatenkollektiv umfasst die in Tabelle 1 ausgeführten Arbeitsbereiche. Insgesamt wurden 722 Messungen (A-Staub (1990 – 1998): 517, E-Staub (1996 – 1998): 205) ausgewertet. Es ergaben sich für alle Arbeitsbereiche (Messwerte, vorwiegend Ergebnisse stationärer Messungen):

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,8	2,7
Der 80 % Wert betrug:	1,5	7,2
Der 90 % Wert betrug:	2,4	11,2
Der 95 % Wert betrug:	3,6	14,9

Es ergeben sich folgende arbeitsbereichsbezogene Resultate:

Kernmacherei

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,4	0,8
Der 80 % Wert betrug:	1,0	1,3
Der 90 % Wert betrug:	1,1	3,9

Formerei/Gießerei

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	1,0	2,6
Der 80 % Wert betrug:	1,9	6,3
Der 90 % Wert betrug:	2,5	10,3

Schmelzerei

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	1,1	3,6
Der 80 % Wert betrug:	2,2	6,7
Der 90 % Wert betrug:	3,1	9,9

Putzerei

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,8	3,2
Der 80 % Wert betrug:	1,9	11,0
Der 90 % Wert betrug:	2,8	16,2

Holz- und Kunststoffindustrie/Handwerk

Das Messdatenkollektiv umfasst insbesondere die in Tabelle 1 angeführten Bereiche. Auswertet wurden 1355 Messungen (A-Staub: 1271, E-Staub: 84) – keine Holzstaubmessungen. Es wurden nachstehende Werte ermittelt:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,3	4,4
Der 70 % Wert betrug:	0,7	10,0
Der 90 % Wert betrug:	2,0	28,4
Der 95 % Wert betrug:	3,3	34,8

Keramische und Glas-Industrie

Das Messdatenkollektiv umfasst die in Tabelle 1 angeführten Industrie- und Gewerbebezweige. Auswertet wurden insgesamt 1261 Messergebnisse (A-Staub: 591, E-Staub: 670) des Jahres 1998. Es wurden nachstehende Werte für alle Arbeitsbereiche ermittelt (hier nur 324 personenbezogene Messdaten):

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,6	1,3
Der 75 % Wert betrug:	0,9	2,2
Der 90 % Wert betrug:	1,3	4,7
Der 95 % Wert betrug:	2,0	6,7

Es ergeben sich folgende arbeitsbereichsbezogene Resultate:

Aufbereitung

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,6	1,6
Der 75 % Wert betrug:	1,2	4,5
Der 90 % Wert betrug:	2,3	9,7
Der 95 % Wert betrug:	3,0	14,3

Formgebung

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,3	1,0
Der 75 % Wert betrug:	0,6	2,2
Der 90 % Wert betrug:	1,1	6,0
Der 95 % Wert betrug:	1,7	6,4

Oberflächenbearbeitung/Farbgebung

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,2	0,6
Der 75 % Wert betrug:	0,6	1,5
Der 90 % Wert betrug:	0,8	3,0
Der 95 % Wert betrug:	1,2	3,7

Brand

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,2	0,4
Der 75 % Wert betrug:	0,4	0,7
Der 90 % Wert betrug:	0,9	1,8
Der 95 % Wert betrug:	0,9	8,4

Nachbearbeitung

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,2	0,5
Der 75 % Wert betrug:	0,4	1,1
Der 90 % Wert betrug:	0,7	2,8
Der 95 % Wert betrug:	1,1	4,0

Für die einzelnen Branchen wurden folgende Ergebnisse erhalten:

Fliesen/Baukeramik

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,7	1,9
Der 75 % Wert betrug:	1,2	5,9
Der 90 % Wert betrug:	2,1	9,6
Der 95 % Wert betrug:	2,8	14,5

Kalksandsteinindustrie

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,5	1,4
Der 75 % Wert betrug:	0,9	6,3
Der 90 % Wert betrug:	1,6	12,2
Der 95 % Wert betrug:	2,8	16,7

Ziegelindustrie

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,4	1,1
Der 75 % Wert betrug:	0,9	4,0
Der 90 % Wert betrug:	1,3	9,1
Der 95 % Wert betrug:	3,0	10,1

Glasindustrie

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,4	1,0
Der 75 % Wert betrug:	0,6	2,5
Der 90 % Wert betrug:	1,2	6,7
Der 95 % Wert betrug:	1,4	10,5

Kraftwerke

Das Messdatenkollektiv umfasst die in Tabelle 1 aufgeführten Bereiche. Auswertet wurden 38 personenbezogene Messungen der Jahre 1997/1998, wobei die Messungen der A- und E-Staubkonzentrationen in unterschiedlichen Arbeitsbereichen erfolgte. Es ergeben sich nachstehende Ergebnisse:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	5,2	2,6
Der 70 % Wert betrug:	10,2	12,2
Der 90 % Wert betrug:	19,7	21,4

Lederindustrie

Die 56 Messergebnisse (A-Staub: 21, E-Staub: 35) wurden in verschiedenen Arbeitsbereichen dieses Industriezweiges ermittelt. Es ergaben sich folgende Werte:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,2	1,3
Der 80 % Wert betrug:	0,7	6,9
Der 90 % Wert betrug:	0,9	13,6
Der 95 % Wert betrug:	1,8	15,9

Nahrungsmittelindustrie

Das Messdatenkollektiv umfasst die in Tabelle 1 aufgeführten Gewerbebezüge. Ausgewertet wurden 48 Messergebnisse (A-Staub: 17, E-Staub: 31) des Zeitraumes 1994 – 1998. Es ergeben sich für alle Arbeitsbereiche nachstehende Ergebnisse:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,3	3,3
Der 75 % Wert betrug:	0,8	11,2
Der 90 % Wert betrug:	1,0	15,5

Papierindustrie

Die 209 Messergebnisse (A-Staub: 46, E-Staub: 163) wurden zwischen 1996 und 1998 in Tissuebetrieben (Branche mit den höchsten Staubkonzentrationen) ermittelt.

Es ergeben sich nachstehende Resultate:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	< 1,0	4,2
Der 80 % Wert betrug:	< 1,0	10,3
Der 90 % Wert betrug:	< 1,0	15,4
Der 95 % Wert betrug:	< 1,0	21,1

Reibbelagindustrie

Die 90 Messergebnisse (A-Staub: 48, E-Staub: 42) des Zeitraumes 1996 bis 1998 wurden in den Bereichen Presserei, Mischerei und Fertigbearbeitung ermittelt. Es ergaben sich folgende Werte:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,4	1,2
Der 75 % Wert betrug:	0,7	1,9
Der 90 % Wert betrug:	1,3	3,7
Der 95 % Wert betrug:	1,8	4,7

Das Staubkonzentrationsniveau in den einzelnen Bereichen differenziert nicht wesentlich.

Steine-Erden-Industrie

Das Messdatenkollektiv umfasst die in Tabelle 1 angeführten Industrie- und Gewerbebezüge. Ausgewertet wurden 1086 Messergebnisse (A-Staub: 903, E-Staub: 183)

des Zeitraumes 1995 - 1998. Damit ergeben sich für alle Arbeitsbereich nachstehende Werte:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,7	2,1
Der 80 % Wert betrug:	1,8	8,6
Der 90 % Wert betrug:	3,0	18,7
Der 95 % Wert betrug:	4,7	34,9

Für die einzelnen Industrie- und Gewerbebezweige bzw. Arbeitsbereiche wurden nachstehende Konzentrationen gefunden:

Gewinnung, Aufbereitung und Verarbeitung von Naturstein 165 Messergebnisse (A-Staub: 155, E-Staub: 10):

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,6	4,3
Der 80 % Wert betrug:	2,2	58
Der 90 % Wert betrug:	3,8	125
Der 95 % Wert betrug:	5,4	270

Betonindustrie 238 Messergebnisse (A-Staub: 183, E-Staub: 55):

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,8	2,9
Der 80 % Wert betrug:	1,6	7,6
Der 90 % Wert betrug:	2,4	20,0
Der 95 % Wert betrug:	3,7	29,2

Gewinnung und Aufbereitung von Kies und Sand 106 Messergebnisse (A-Staub: 85, E-Staub: 21):

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,3	1,3
Der 80 % Wert betrug:	1,1	3,1
Der 90 % Wert betrug:	1,8	9,9
Der 95 % Wert betrug:	2,8	11,7

Herstellung von Mörtel und Edelputz 77 Messergebnisse (A-Staub: 52, E-Staub: 25)

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	1,1	6,6
Der 80 % Wert betrug:	2,1	18,8
Der 90 % Wert betrug:	3,5	37,3
Der 95 % Wert betrug:	4,6	39,3

Herstellung von Zement, Kalk, Gips 60 Messergebnisse (A-Staub: 18, E-Staub: 42)

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,9	2,1
Der 80 % Wert betrug:	1,7	5,7
Der 90 % Wert betrug:	2,6	11,9
Der 95 % Wert betrug:	4,1	16,1

Textilindustrie

Die 224 Messergebnisse (A-Staub: 94, E-Staub: 130) des Zeitraumes 1996 bis 1998 wurden vorwiegend in den Bereichen Baumwollspinnerei, Weberei und Vliesstoffherstellung ermittelt. Es ergaben sich folgende Werte:

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,2	0,4
Der 80 % Wert betrug:	0,5	1,2
Der 90 % Wert betrug:	0,7	2,1
Der 95 % Wert betrug:	1,0	3,2

Im Einzelnen wurden nachstehende Konzentrationen gefunden:

Baumwollspinnerei – Vorwerk

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,2	0,4
Der 90 % Wert betrug:	1,1	3,6
Der 95 % Wert betrug:	1,5	4,2

Baumwollspinnerei – sonstige Bereiche

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,2	0,4
Der 90 % Wert betrug:	0,4	2,1
Der 95 % Wert betrug:	0,6	2,2

Weberei

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,2	0,7
Der 90 % Wert betrug:	0,6	2,2
Der 95 % Wert betrug:	2,2	2,4

Vliesstoffherstellung

	A-Staub (mg/m ³)	E-Staub (mg/m ³)
Der 50 % Wert betrug:	0,4	0,7
Der 90 % Wert betrug:	0,5	0,7
Der 95 % Wert betrug:	0,7	1,0

Sonstige Branchen/Arbeitsbereiche

Dem UA V lagen zahlreiche weitere Messergebnisse insbesondere für einzelne Arbeitsbereiche oder Betriebe vor, die bei der Grenzwertdiskussion Berücksichtigung fanden, jedoch aus den unterschiedlichsten Gründen (vorwiegend Messwerte für eine Fraktion, nicht typisch für die gesamte Branche, keine Angaben zum Stand der Technik, nur stationäre Messungen, statistische Aufbereitung z.B. wegen ungenügender Anzahl von Messwerten nicht möglich u.v.a.) in diesem Papier nicht dargestellt werden. Auch diese Messergebnisse spiegeln zum einen die sehr unterschiedlichen Konzentrationsniveaus und die große Spannweite wider und stützen zum anderen die dargestellten Messergebnisse.

Tabelle 1: Branchen, Industriezweige und Tätigkeiten mit vorgelegten Ergebnissen der Arbeitsbereichsmessungen

Bereich/Industriezweig/Tätigkeit	Bemerkungen
Bauwirtschaft	Beton (Herstellung, Be- und Verarbeitung), Trockenbau, Mauerwerks-/Klinkerbau, Gerüstbau, Innenausbau (Putz- und Stuckarbeiten), Abbrucharbeiten, Reinigen, Erd-, Planier- und Verdichtungsarbeiten, Pflasterarbeiten, Putz- und Fugarbeiten (außen), Tiefbau (Tunnelbau); (Messwerte)
Bergbau	obertätig
Chemische Industrie	Kunststoffverarbeitung; Herstellen von Beschichtungsmitteln, Reinsilizium, Dachbahnen, Gummiartikel; Mineralmahlwerke, Bauchemikalien, Waschmittel; sonstige Arbeitsbereiche
Gießereien	Kernmacherei, Schmelzerei, Formerei (Gießerei, Putzerei)
Holz- und Kunststoffind./Handw.	Möbelherstellung, Innenausbau/Trockenausbau, Fertighauserstellung, GFK-Herstellung, PVC-Verarbeitung, Modell- und Formenbau (ohne Holzstaub)
Hüttenindustrie	diverse Arbeitsbereiche
Keramische und Glas-Industrie	Kalksandsteinindustrie, Rohstoffgewinnung, Feuerfestindustrie, Mineralfaserindustrie, Fliesen/Baukeramik, Ziegelindustrie, Flachglasindustrie, Technische Keramik, Hohlglas, Schleifmittel, Porzellanindustrie, Ofenkacheln, Sanitärkeramik, Bimsbaustoffe; (primär neuere Arbeitsbereiche)
Kraftwerke	Wärme- und Stromkraftwerke, Arbeitsplätze außerhalb der Anlagenteile (Kesselhaus, Bekohlung, Entaschung)
Lederindustrie	diverse Arbeitsbereiche
Nahrungs- und Genussmittelindustrie	Herstellung von Süßwaren/Schokolade, Zuckerwaren, Dauerbackwaren, Konserven, Nahrungsmittel, Senf/Gewürz, Futtermittel, Zigaretten; (ohne Reinigungsprozesse)
Papierindustrie	Tissueherstellung

Bereich/Industriezweig/Tätigkeit	Bemerkungen
Reibbelagindustrie	Mischerei, Presserei, Fertigbearbeitung
Stahlindustrie	Hochofen, O-Stahlwerk, E-Stahlwerk, Walzwerk, Instandhaltung, Nebenbetriebe
Steine Erden-Industrie	Natursteinindustrie, Kies- und Sand-Industrie, Zement-, Kalk-, Gips-Industrie, Beton-Industrie, sonstige Gewerbebezüge
Textilindustrie	Spinnerei, Weberei, Vliesstoffherstellung

Weitere Hinweise

Im Folgenden werden im Sinne einer Übersicht Faktoren beschrieben, die auf die wissenschaftliche Grenzwertableitung Einfluss haben.

Der allgemeine Staubgrenzwert wird als Schichtmittelwert festgelegt. Vor dem Hintergrund des internationalen Trends, auch für Stoffe mit Dosis-Wirkungsbeziehungen den Schichtmittelwert zur Bewertung heranzuziehen, sind es vor allem messtechnische und messstrategische Gesichtspunkte, die zu dieser Festlegung führten. Die epidemiologisch und tierexperimentell abgeleiteten Werte beruhen allerdings auf Langzeiteffekten (s.a. Teil „Arbeitsmedizinische Erfahrungen“). Für die meisten Tätigkeiten/ Arbeitsbereiche kann der Langzeitwert in einen Schichtmittelwert überführt werden [1 bis 3]. Nach den betrieblichen Erfahrungen und den statistischen Auswertungen ergeben sich Umrechnungsfaktoren von in der Regel zumindest 2, meist sogar noch höher [2, Kennzahl 0412].

Die Expositionsermittlung für die wissenschaftlich begründete Grenzwertableitung erfolgte ausschließlich auf der Grundlage von stationären Messergebnissen. Dem Begründungspapier zu Grunde liegen in der Regel jedoch Messergebnisse auf der Basis von personengetragenen Messgeräten und der Grenzwert ist nur in Verbindung mit personenbezogenen Messungen anzuwenden. Die DFG schätzt deshalb ein, dass „tendenziell zu niedrige Konzentrationen“ für die Grenzwertableitung angesetzt wurden, d.h. die beobachteten Effekte traten tatsächlich erst bei höheren Arbeitsplatzkonzentrationen auf. Das Verhältnis zwischen den ermittelten Arbeitsplatzkonzentrationen bei Anwendung von personengetragen Messsystemen zu denen mit stationärer Probenahme kann größer und kleiner 1 sein, ist in der Regel aber größer als 2 [1, 2].

Die tierexperimentell abgeleiteten Werte für den A-Staub sind eine Funktion der Dichte. Somit ergibt sich unter Zugrundelegung einer arbeitsplatztypischen Staubbichte von $2,5 \text{ g/cm}^3$ ein gesundheitsbasierter Luftgrenzwert für den A-Staub von 3 mg/m^3 .

Wesentlich für den Geltungsbereich des allgemeinen Staubgrenzwertes ist die Festlegung, dass er nicht für lösliche Stäube sowie ultrafeine und grobdisperse Partikelfraktionen gilt. Kriterien aus arbeitsmedizinisch-toxikologischer Sicht bezüglich der Definition der Löslichkeit sind z.Z. nicht bekannt. Die messtechnischen Ansätze zur Berücksichtigung der Löslichkeit [2, Kennzahl 0412] stellen deshalb nur einen ersten Ansatz für eine Konvention dar. In der Praxis findet die Löslichkeit der Stäube meist

keine besondere Berücksichtigung, so dass man damit auf der sicheren Seite bei der Arbeitsplatzbeurteilung liegt. Ungeachtet dessen sind weitere Vorgaben von Seiten der Arbeitsmedizin und Toxikologie sowie Konventionen für die messtechnische Umsetzung unerlässlich.

Ultrafeine Stäube liegen ubiquitär an staubexponierten Arbeitsplätzen vor. Ab welcher Konzentration eine besondere Berücksichtigung der ultrafeinen Stäube erfolgen muss, ist zur Zeit nicht bekannt. Es ist dabei zu beachten, dass an den Arbeitsplätzen in den epidemiologischen Studien ebenfalls ultrafeine Stäube in unbekannter Konzentration vorhanden waren.

In der Praxis erfolgt im allgemeinen keine Berücksichtigung der grobdispersen Partikeln, was zu einer Überbewertung der Staubkonzentration führen kann. Die messtechnische Vorgehensweise nach [2, Kennzahl 0412] bei Stäuben mit außergewöhnlich hohem Anteil grobdisperser Partikeln stellt deshalb ebenfalls nur einen ersten Ansatz dar.

Literatur

- [1] Allgemeine Staubgrenzwerte 0412/4: Umrechnung von Langzeitgrenzwerten auf schichtbezogene Grenzwerte für Stoffe mit langsamem Wirkungseintritt, z.B. Quarzfeinstaub. BIA-Arbeitsmappe 20. Lfg. IV/98, 1-3
- [2] Attfield, M.D.; Hodous, T.K.: Pulmonary function of U.S. coal miners related to dust exposure estimates. *Am. Rev. Respir. Dis.* 145 (1992) 605-609
- [3] Bauer, H.-D.: Maßnahmen des Steinkohlenbergbaus zur Sicherung eines effektiven Gesundheitsschutzes bei Exposition gegenüber fibrogenen Grubenstäuben. *Zbl Arbeitsmedizin* 47 (1997) 402-409
- [4] Baur, X.; Hillenbach, C.; Degens, P.: Literaturstudie "Chronische Bronchitis und Emphysem - eine Berufskrankheit der Bergleute?" Eigendruck BGFA, Bochum (1994)
- [5] Becklake, M.R.: Chronic airflow limitation: Its relationship to work in dusty occupations. *Chest* 88 (1985) Nr. 4, 608-617
- [6] Bochmann, F.; Blome, H.; Rödelisperger, K.; Woitowitz, H.-J.; Morfeld, P.; Piekarski, C.: Umrechnung von Langzeitgrenzwerten auf schichtbezogene Grenzwerte für Stoffe mit langsamem Wirkungseintritt wie z.B. Quarzfeinstaub. *Gefahrst. Reinh. Luft* 57 (1997) 441-444
- [7] Bräunlich, A.; Enderlein, G.; Heuchert, G.; Schneider, W. D.; Wolke, P.: Fahnung nach betriebsärztlichen Möglichkeiten zur Prävention chronisch obstruktiver Lungenkrankheiten - Alters- und Geschlechtsspezifität bei Beschäftigten mit Atemtraktbelastungen. *Zent.bl. Arb.med. Arb.schutz Ergonom.* 43 (1993) Nr. 1, 5-12 (a)
- [8] Bräunlich, A.; Enderlein, G.; Heuchert, G.; Kersten, N.; Schneider, W. D.: Betriebsärztliche Möglichkeiten zur Prävention chronisch obstruktiver Lungenkrankheiten - Einfluß von Stäuben und chemischen Atemtraktirritantien. *Zent.bl. Arb.med. Arb.schutz Ergonom.* 43 (1993) Nr. 7, 214-223 (b)

- [9] Burge, P.S.: Occupation and chronic obstructive pulmonary disease (COPD). Eur. Respir. J. 7 (1994) 1032-1034
- [10] Burge, P.S.: Occupational chronic obstructive pulmonary disease. Eur. Respir. Mon. 4 (1999) Nr. 11, 242-254
- [11] Carta, P.; Aru, G.; Barbieri, M.T.; Avataneo, G.; Casula, D.: Dust exposure, respiratory symptoms, and longitudinal decline of lung function in young coal miners. Occup. Environ. Med. 53 (1996) 312-319
- [12] DFG: Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten: Ableitungen von schichtbezogenen MAK-Werten für Stäube aus Langzeitgrenzwerten. Loseblattsammlung, 23. Lfg. Wiley-VCH (1996) 1-22
- [13] Enderlein, G.; Kersten, N.: Weiterentwicklung und Erprobung von Verfahren zur Risikoabschätzung in der arbeitsmedizinischen Epidemiologie, BAuA-Projekt 03.011 (Unveröffentlichter Bericht)
- [14] Euler, G.L.; Abbey, D.E.; Magie, A.R.; Hodgkin, J.E.: Chronic obstructive pulmonary disease symptom effects of long-term cumulative exposure to ambient levels of total suspended particulates and sulfur dioxide in California seventh-day adventist residents. Arch. Environ. Health 42 (1987) Nr. 4, 213-222
- [15] Forschungsbericht chronische Bronchitis und Staubbelastung am Arbeitsplatz. Teil 1. Arbeitsmedizinische Querschnittsuntersuchungen zur Bedeutung chronisch-inhalativer Belastungen für das bronchopulmonale System. Boldt Verlag, Boppard 1975, Deutsche Forschungsgemeinschaft
- [16] Forschungsbericht chronische Bronchitis und Staubbelastung am Arbeitsplatz. Teil 2. Arbeitsmedizinische Längsschnittuntersuchung zu den Auswirkungen inhalativer Noxen am Arbeitsplatz. Boppard: Boldt 1981, Deutsche Forschungsgemeinschaft
- [17] Garshick, E.; Schenker, M.B.; Dosman, J.A.: Occupationally induced airways obstruction. Med. Clin. North America 80 (1996) Nr. 4, 851-878
- [18] Henneberger, P.K.; Attfield, M.D.: Coal mine dust exposure and spirometry in experienced miners. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 153 (1996) 1560-1566
- [19] Herrmann, H.: Die Häufigkeit der chronischen Bronchitis - Ergebnisse der epidemiologischen Forschung in der DDR. Z. Erkrank. Atm.org. 145 (1976) Nr. 2, 14-25
- [20] Hnizdo, E.: Loss of lung function associated with exposure to silica dust and with smoking and its relation to disability and mortality in South African gold miners. Br. J. Ind. Med. 49 (1992) 472-479
- [21] Lauber, B.: Sozialmedizinische Daten zu chronisch obstruktiven Atemwegserkrankungen in der Bundesrepublik Deutschland. Atemw.-Lungenkrkh. 22 (1996) Nr. 1, 63-72
- [22] Love, R.G.; Miller, B.G.: Longitudinal study of lung function in coal-miners. Thorax 37 (1982) 193-197

- [23] MAK- und BAT-Werte-Liste. Hrsg. Deutsche Forschungsgemeinschaft. - Weinheim: Wiley-VCH 1998, S. 159
- [24] Morfeld, P.; Piekarski, C. (a): Epidemiologie der Pneumokoniose und der Chronischen Bronchitis im Steinkohlenbergbau. Bremerhaven: Wirtschaftsverl. NW 1998. (Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin: Sonderschrift; S. 45)
- [25] Morfeld, P.; Piekarski, C. (b): Schätzung einer Wirkungsschwelle für Kohlengrubenstaub zur Herleitung eines Grenzwertes am Arbeitsplatz. 38. Jahrestagung der DGAUM (Hrsg.: E. Hallier, J. Bünger). Fulda: Rindt 1998, 103-107
- [26] Nolte, D.: Chronische Bronchitis - eine Volkskrankheit multifaktorieller Genese. Atemw.-Lungenkrkh. 20 (1994) Nr. 5, 260-267
- [27] Oxman, A.D.; Muir, D.C.F.; Shannon, H.S.; Stock, S.R.; Hnizdo, E.; Lange, H.J.: Occupational dust exposure and chronic obstructive pulmonary disease. Am. Rev. Respir. Dis. 148 (1993) 38-48
- [28] Schneider, W.D.; Karsten, H.; Gierke, E.: Long-term dust exposure in foundry workers may lead to impaired lung function.
- [29] In: Toxic and carcinogenic effects of solid particles in the respiratory tract (Ed.: Mohr, U.; Dungworth, D. L.; Mauderly, J. L.; Oberdörster, G.) Washington: ILSI Press 1994, 491-494
- [30] Seixas; N. S.; Robins, T. G.; Attfield, M. D.; Moulton, L. H.: Longitudinal and cross sectional analyses of exposure to coal mine dust and pulmonary function in new miners. Br. J. Ind. Med. 50 (1993) 929-937
- [31] Selig, R.; Nestler, K.: Zur Epidemiologie der chronischen Bronchitis unter arbeitsmedizinischem Aspekt. Z. Erkrank. Atm.org. 164 (1985) 273-276
- [32] Soutar, C.; Campbell, S.; Gurr, D.; LLoyd, M.; Love, R.; Cowie, H.; Seaton, A.: Important deficits of lung function in three modern colliery populations. Am. Rev. Respir. Dis. 147 (1993) 797-803
- [33] DIN EN 481: Arbeitsplatzatmosphäre: Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikeln. Beuth-Verlag, Berlin (September 1993)
- [34] BIA-Arbeitsmappe „Messung von Gefahrstoffen“, 19. Lfg. XV/97, Hrsg.: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit - BIA, Sankt Augustin. Bielefeld: Erich Schmidt Verlag - Losebl.-Ausgabe 1989
- [35] Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe: Allgemeiner Staubgrenzwert. Nachtrag 1997. In: Greim, H. (Hrsg.): Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten. Verlag WILEY-VCH, Weinheim (1997) S. 1-32