

Retrospektive Expositionsermittlung für kristallines Siliciumdioxid im internationalen Vergleich

D. Dahmann

Zusammenfassung Für die qualifizierte Bearbeitung von humanbasierten Studien werden Daten zur Exposition der untersuchten Kollektive benötigt und solche über die jeweiligen medizinischen Endpunkte. Die Qualitätsanforderungen an beide Datenkollektive sind gleich hoch. Dieser Artikel beschreibt allgemein, welche Aspekte für die retrospektive Expositionsbeurteilung wichtig sind und wie man zu qualitativ hochwertigen Datenkollektiven gelangt. Am Beispiel des kristallinen Siliciumdioxids wird auch der internationale Forschungsstand im Hinblick auf diese Anforderungen kritisch betrachtet. Nur bei Kenntnis der Unsicherheit der Expositionsdaten und ihrer Einbeziehung in das epidemiologische Rechenmodell lässt sich eine valide und international übertragbare Dosis-Wirkungs-Beziehung für die untersuchten Komponenten ableiten.

Retrospectively determining exposure to crystalline silicon dioxide: an international comparison

Abstract Processing human-based studies in a qualified fashion requires data on exposure among the collective studied and data on the respective medical end points. The quality standards for both data collectives are equally high. This article generally describes which aspects are important to the retrospective exposure assessment and how researchers can arrive at high-quality data collectives. Using the example of crystalline silicon dioxide, the current state of international research is also examined critically with regard to the standards named here. Only knowledge of the uncertainty inherent to the exposure data and its inclusion in the epidemiological computing model will permit a valid, internationally comparable dose-response relationship to be derived for the studied components.

1 Einleitung

Kristallines Siliciumdioxid in der alveolengängigen Staubfraktion ist von der International Agency for Research on Cancer (IARC) als humankarzinogen eingestuft worden [1], wenn eine entsprechende Exposition am Arbeitsplatz auftritt. Auch in Deutschland wurde zwischenzeitlich eine vergleichbare Bewertung vorgenommen [2]. Die Datenlage ist für die Modifikationen Quarz und Cristobalit eindeutig, für Tridymit liegen keine ausreichenden Informationen vor und Steinkohlengrubenstaub wurde, obwohl auch er Quarz enthält, sowohl international als auch in Deutschland zunächst von dieser Bewertung ausgenommen.

Für Komponenten wie das kristalline Siliciumdioxid, das aufgrund seiner hohen Gehalte in der Erdkruste und seiner vielfältigen Verwendung im industriellen Bereich universell verbreitet ist, besteht immer eine gewisse Grundexposition, die prinzipiell unvermeidbar ist. Gerade deshalb ist die Quantifizierung einerseits niedriger Expositionshöhen und andererseits des mit dieser „Bagatellexposition“ verbundenen Risikos unbedingt erforderlich. Wegen der analytischen

Schwierigkeiten in diesen Expositionsbereichen [3] ist sie jedoch außerordentlich schwierig und problematisch. Die IARC hat mit dem Ziel der Quantifizierung des Lungenkrebsrisikos im Sinne einer Dosis-Wirkungs-Beziehung eine gepoolte Analyse von Kohorten aus verschiedenen Industrien und Ländern vorgenommen [4]. Dementsprechend wurden die retrospektiven Expositionsbewertungen in den verschiedenen Studien ebenfalls gemeinsam betrachtet [5]. Obwohl kristallines Siliciumdioxid zunächst als gut messbare Substanz erscheint, wurde es in den verschiedenen Ländern, Industriezweigen und historischen Zusammenhängen auf sehr unterschiedliche Art und Weise erfasst. Um von diesen verschiedenen Ausgangspunkten zu einer gemeinsamen Bewertung der Exposition zu gelangen, ist eine Reihe von wichtigen Einzelpunkten zu beachten, auf die im Folgenden eingegangen wird¹⁾. Dabei soll der zu betrachtende Endpunkt, Lungenkrebs oder Silikose, nicht diskutiert werden.

2 Kritische Aspekte der Expositionsbestimmung

2.1 Mineralogische Typen des kristallinen Siliciumdioxids

Wie schon vorab ausgeführt, ist es auch beim kristallinen Siliciumdioxid besonders wichtig zu unterscheiden, welche der verschiedenen Spezies an den historisch untersuchten Arbeitsplätzen vorgelegen haben. Kristallines Siliciumdioxid ist eine Grundkomponente der Erdkruste. Einzelheiten zu Stoffeigenschaften und Herkunft sind ausführlich in der Literatur [7] dargestellt. Auch die sekundäre Bildung von kristallinen Siliciumdioxid Spezies ist u. U. ein bedeutender Faktor für die Expositionshöhe. Ein gutes Beispiel dafür findet sich in der Diatomeenerdeindustrie [8], einer früher auch in Deutschland blühenden Sparte. Diatomeen sind ursprünglich amorphe Skelette von fossilen Kieselalgen. Sie müssen, bevor es zu einem industriellen Einsatz etwa als Filtermedium kommen kann, von – vor allen Dingen organischen – Verunreinigungen gereinigt werden. Dies geschieht im Wesentlichen thermisch durch Erhitzen in Größenordnungen von ca. 1 000 °C. Bei diesen Temperaturen kommt es jedoch zu einer sekundären Bildung von Cristobalit. Gerade an Arbeitsplätzen in der Diatomeenerdegewinnung und -behandlung sind deshalb Untersuchungen der real in der Atemluft vorkommenden Siliciumdioxid Spezies besonders wichtig. Wie in einer früheren Veröffentlichung bereits erwähnt, können die Diatomeen selbst auch arbeitsschutzrelevante Eigenschaften aufweisen [9]. In einem Beispiel aus Deutschland wurden auch faserartige Strukturen vorgefunden [10], die bei genügender Biopersistenz durchaus die Frage nach ihrer biologischen Wirksamkeit in den Atemwegen aufwerfen können.

Ein weiteres wichtiges Beispiel sekundärer Cristobalitbildung ist unlängst [11] gefunden worden. Beim Rückbau thermisch belasteter Hochtemperaturglasfasern, die ihrerseits

¹⁾ Für eine ausführliche Betrachtung siehe [6].

Dr. rer. nat. Dirk Dahmann,

Institut für Gefahrstoff-Forschung, Bergbau-Berufsgenossenschaft, Bochum.

Tabelle 1. Charakteristik typischer Staubsammelgeräte aus internationalen Quarzstudien [5; 15].

Gerät	Einsatzprinzip	Messgröße	Zeitbasis der Probenahme
Impinger	Abscheidung in Flüssigkeit, Partikelzählung mit Lichtmikroskopie	Millionen Partikeln per Kubikfuß (mppcf) und vergleichbare Einheiten	Minuten bis Stunden
Konimeter	Abscheidung durch Impaktion auf beschichtete Glasplatte, Partikelzählung mit Lichtmikroskopie	Partikeln pro cm ³ und vergleichbare Einheiten	Sekundenbruchteil („Schuss“); Momentprobenahme
Thermalpräzipitator	Abscheidung durch thermische Bewegung auf Glasplatte, Partikelzählung oder optische Oberflächenauswertung mit Lichtmikroskopie	z. B. Partikeln pro cm ³ und vergleichbare Einheiten	meist Stunden, Schichtmessung
Personengetragener Sammler	Gravimetrie, gewöhnlich mit offenen Filterkassetten	mg/m ³	meist Stunden, Schichtmessung
Stationärer „Gesamtstaubsammler“	Gravimetrie mit offenen Filterkassetten, manuelle Flussregelung	mg/m ³	10 bis 20 Minuten, Tätigkeitsbezug
Zyklonvorabscheider	Gravimetrie, A-Staub-Probenahme	mg/m ³ A-Staub	meist Stunden, Schichtmessung
Elutriator (Johannesburger Konvention)	Gravimetrie, A-Staub-Probenahme	mg/m ³ A-Staub	meist Stunden, Schichtmessung

ein wichtiges Ersatzmaterial für Keramikfasern sein können, kann es aufgrund der Einsatzbedingungen ebenfalls zur Cristobalitbildung kommen.

Beim kristallinen Siliciumdioxid wird nach wie vor auch die Frage diskutiert, ob neben der mineralogischen Spezies auch andere Faktoren eine gesundheitsrelevante Rolle spielen können. Dabei werden seit vielen Jahren Begleitminerale oder -elemente diskutiert, aber auch das Vorhandensein oder die Abwesenheit frischer Bruchkanten [12]. Neuere Untersuchungen bestätigen die Relevanz dieser Hypothese [13].

2.2 Beschreibung der Expositionsszenarien

Nach verschiedenen Schätzungen kann angenommen werden, dass mehrere Millionen Arbeitnehmer in den Vereinigten Staaten von Amerika und der Europäischen Union gegenüber kristallinem Siliciumdioxid in A-Staub-Fraktion exponiert sind und zwar oberhalb eines nicht näher quantifizierten Hintergrundniveaus [14]. Immer ist eine A-Staub-Exposition Ausgangspunkt dieser Situation. Der Gehalt an kristallinem Siliciumdioxid im A-Staub variiert über die verschiedenen Industriesparten außerordentlich stark von sehr geringen Gehalten bis in hohe zweistellige Prozentzahlen. Für die chinesischen Wolframgruben wurden Quarzgehalte von knapp 48 % angegeben und solche von gut 10 % für die Eisen-Kupfer-Gruben [15]. Die Autoren gaben allerdings nicht an, ob die entsprechenden Gehalte aus realen Staubproben bestimmt wurden, ob sie aus dem Erz oder dem Begleitgestein herrühren, oder ob sie evtl. in Liegestaub bestimmt wurden. Die Gehaltsangaben von kristallinem Siliciumdioxid im A-Staub sind daher ebenfalls immer bedeutsam. Dies muss deshalb betont werden, weil inzwischen auch die kanzerogene Wirkung von schwer löslichen Partikeln allgemein, also solcher, die gar kein kristallines Siliciumdioxid enthalten, diskutiert wird [16]. Zur Angabe der Expositionshöhe von kristallinem Siliciumdioxid muss daher auch diejenige der A-Staub-Belastung insgesamt hinzukommen.

Die genaue Beschreibung der Arbeitsvorgänge, die zur Entwicklung der Exposition gegenüber kristallinem Siliciumdioxid geführt haben, ist von eminenter Bedeutung. Es sollte in der Literatur keine Expositionsangaben mehr geben, die nicht mit genauen Expositionsbeschreibungen im Zusammenhang stehen [6]. Die Entwicklung der Staubexpositionen ist eng verknüpft mit der Einführung neuer Staubbinderungstechnologien. Eindrucksvoll gezeigt werden konnte dies für die Beschäftigten im ostdeutschen Uranerzbergbau [17]: Hier wurden durch den Ersatz des Trockenbohrens durch nasse Verfahren die Expositionen dramatisch gesenkt. Einen gleich hohen Einfluss hat die verwendete Bewetterungstechnologie. Eine rückwirkende Betrachtung von Expositionsverhältnissen ist ohne die Betrachtung der verwendeten Technik unvollständig. In gleicher Weise muss darauf hingewiesen werden, dass durch Daten belegte Änderungen im Niveau der Exposition immer auf ihre Plausibilität im Hinblick auf gleichzeitig stattfindende Änderungen des technischen Verfahrensablaufes hin überprüft werden sollten. In den Kontext der Beschreibung der technischen Arbeitsvorgänge gehört auch, dass ggf. vorliegende Zusatzexpositionen durch andere relevante Gefahrstoffe (Confounder) mit betrachtet werden müssen [18].

2.3 Probenahmeverfahren

Es besteht inzwischen uneingeschränkter internationaler Konsens darüber, dass bei der Bewertung des kristallinen Siliciumdioxids immer nur die alveolengängige Staubfraktion relevant sein sollte. Während heute im Rahmen der internationalen Normung die Probenahmekonvention für diese Staubfraktion klar geregelt sind [19; 20], war dies in früheren Zeiten durchaus nicht so. Erst mit der so genannten Johannesburger Konvention ist es Ende der 1950er Jahre gelungen, gravimetrische Verfahren in die Bewertung der Staubexposition einzuführen. Vorher und noch lange Zeit danach wurden parallel ganz andere Verfahren verwendet. In **Tabelle 1** sind die wichtigsten Staubprobenahmetechniken der IARC-Studien dargestellt.

Die Johannesburger Konvention weicht geringfügig von der jetzt aktuellen Definition der A-Staub-Fraktion nach DIN EN 481 ab. Diese geringe Abweichung führt im Zweifelsfall aber immer zu einer Überbewertung der gewonnenen Staubmassen und wird deshalb in DIN EN 481 uneingeschränkt als äquivalent akzeptiert. Neuere Untersuchungen nach der aktuellen Prüfnorm DIN EN 15205 [21] haben erneut diese Gleichwertigkeit von „modernen“ und solchen Geräten nachgewiesen, die nach der Johannesburger Konvention arbeiten [22].

Auch wenn heute grundsätzliche Bedingungen der A-Staub-Probenahme in Normen geregelt sind, verbleibt dennoch eine Unsicherheit bei historischen Messungen. Immer ist die Qualität der Probenahme, aber auch der später zu beschreibenden Analytik, von der individuellen Fähigkeit und dem Willen des Staubprobenahmeexperten zur Anwendung der Norm (Compliance) abhängig [23]. Zwar können wir heute historische Daten kritisch betrachten, doch inwieweit die damaligen Staubprobenahmen den heutigen Qualitätsanforderungen genügt haben, ist oftmals nur noch abzuschätzen.

Vielfach bleibt einem Sachverständigen, der versucht, historische Daten aufgrund der in Tabelle 1 genannten Probenahmetechniken in aktuelle A-Staub-Daten umzuwandeln, nur der Versuch, an möglichst authentischen Arbeitsplätzen durch Parallelmessungen in genügender Anzahl und Qualität Umrechnungsfunktionen für historische Werte in moderne zu gewinnen. Dabei muss nicht nur die Technik der Staubprobenahme in Betracht gezogen werden, sondern auch die der historischen Arbeitsplätze (siehe Abschn. 2.2). Alle Aspekte der historischen Messplanung müssen beachtet und mit der modernen in Korrelation gebracht werden. Insbesondere ist dabei – wenn möglich – die Einbeziehung lokaler Experten sinnvoll, die historisch angewendete Prozesse aus eigener Anschauung kennen sollten. Die wichtigste Rolle dabei spielt aber die vollständige Dokumentation der Untersuchungen [17].

2.4 Analytische Quarzbestimmung

Heute stehen im Wesentlichen zwei analytische Verfahren zur Bestimmung von Quarz oder Cristobalit in Materialien, also auch in A-Staub-Proben, zur Verfügung. Dabei handelt es sich um die Infrarotspektroskopie, vorzugsweise in Fourier-Transform-Technik, und die Röntgendiffraktometrie. Beide Verfahren sind noch nicht international genormt, doch befindet sich diese Normung auf einem guten Weg. Es besteht keine prinzipielle Bevorzugung hinsichtlich der Qualität einer der beiden Verfahren. Allerdings erfordert die Analyse von Quarz bzw. Cristobalit in A-Staub-Proben nach wie vor große Erfahrung und Sorgfalt [5].

Nur in den seltensten Fällen wird man bei historischen Daten die Anwendung der genannten modernen Methoden vorfinden. Vielfach wurde früher nasschemisch auf kristallines Siliciumdioxid analysiert [24], in der Regel jedoch nicht für Luftstaubproben, sondern nur für Materialproben. In Einzelfällen wurde dann die Analyse der Materialien 1 : 1 auf die an den entsprechenden Arbeitsplätzen gesammelten A-Staub-Probenahmeprodukte transferiert [25]. In anderen Fällen wurde auf eine Quarzbestimmung in den einzelnen Expositionsproben völlig verzichtet und ein einheitlicher Quarzgehalt pauschal für alle gesammelten Proben angenommen [26].

Wie bereits im Abschnitt über die Staubprobenahme ausgeführt, muss insbesondere bei der analytischen Bestimmung von Quarz auf die hohe Bedeutung der Erfahrung und der individuellen Ausführung der Analysen verwiesen werden. Internationale und nationale Ringversuche zeigen hier immer wieder Defizite [25].

2.5 Messstrategie

Wenn die Probenahmetechnik bei der analytischen Bestimmung und alle übrigen messtechnischen Details für die Staubprobenahme geklärt sind, verbleibt als letzter und mindestens ebenso wichtiger Punkt die Klärung der Frage, unter welchen messtrategischen Aspekten historische Messungen erfolgten. Die Annahme, dass vorliegende Daten ohne Weiteres in epidemiologische Studien übernommen werden können, ohne dass man ihre Genese im Detail diskutiert, erweist sich häufig als trügerisch. Immer dann, wenn Expositionsdaten für die Überwachung von Grenzwerten oder für andere „Legalzwecke“ verwendet wurden, besteht eine Tendenz dazu, dass diese Daten nicht die repräsentativen Bedingungen am Arbeitsplatz widerspiegeln. Entsprechende Phänomene sind z. B. für den US-amerikanischen Steinkohlebergbau beschrieben [27]. Es ist im Übrigen ausgesprochen selten, dass große Datenkollektive für bestimmte Branchen lediglich zum Zwecke der repräsentativen Expositionsermittlung erhoben wurden. Wegen des großen finanziellen Aufwandes, den solche Kampagnen erfordern, stellen sie die Ausnahme dar. Das heißt nicht, dass „Überwachungsmessungen“ nicht auch ihren Wert haben und für epidemiologische Zwecke genutzt werden können. Ein gutes Beispiel dafür ist das in Deutschland von den Berufsgenossenschaften erhobene Datenkollektiv, das in der Datenbank MEGA des Hauptverbands der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG) zusammengefasst ist. Viele dieser Daten wurden im Verlauf der Überwachung der Betriebe durch die Technischen Aufsichtsbeamten erhoben. Aus Ökonomiegründen ist man dabei im Sinne von Worst-case-Messungen vorgegangen und hat insbesondere für kleine und mittlere Betriebe lediglich an Arbeitsplätzen gemessen, von denen man aus Erfahrung wusste, dass dort besonders hohe Expositionen vorgelegen haben. Die resultierenden Datenkollektive zeigen in vielen Fällen eine deutliche Unterrepräsentierung niedrig exponierter Mitarbeiter in den entsprechenden Betrieben. Dies spielt dann keine Rolle, wenn die sich aus diesen Datenkollektiven ergebenden Dosis-Wirkungs-Beziehungen zur Ableitung von Grenzwerten herangezogen werden, die ihrerseits wieder mit derselben Strategie überwacht werden. Besteht diese Äquivalenz jedoch nicht, d. h. beruht die Genese von Grenzwerten und die spätere Grenzwertüberwachung auf unterschiedlichen Messdatenkollektiven, kommt es zu einer Schiefelage. Ein anderer Aspekt der verwendeten Messstrategie ist die immer wieder diskutierte Präferenz für personenbezogene Messungen bei der Überwachung von Arbeitsplatzexpositionen. Während zweifellos a priori eine personenbezogene Messung, möglichst mit einem personengetragenen Gerät, einer Raummessung vorzuziehen ist, müssen doch immer die einzelnen Aspekte, die zur Gewinnung solcher Daten geführt haben, mit betrachtet werden. Ein gutes Beispiel dafür ist die im deutschen Steinkohlebergbau verwendete Messstrategie, die im Strebbetrieb seit vielen Jahren mit stationären Geräten an vorher festgelegten Messorten arbeitet. Vergleichsmessungen im amerikanischen Steinkohlebergbau

Tabelle 2. Expositionsniveaus in ähnlichen Industriezweigen nach [5].

Studie	Durchschnittlicher Median der Quarz-A-Staub-Exposition in mg/m ³	Median der kumulativen Dosis in mg/m ³ x Jahre
US, Granitgewinnung	0,05	0,71
Finnland, Granitgewinnung	0,59	4,63
US, Goldbergbau	0,05	0,23
Australien, Goldbergbau	0,43	11,37

[28] mit personengetragener und stationärer Messtechnik nach den in den jeweiligen Staaten gültigen Normen haben ergeben, dass – vielleicht im Gegensatz zur Erwartung – die gravimetrische Staubbelastung, die mit den personengetragenen Sammlern nach US-amerikanischem Modell gewonnen wurden, deutlich niedriger ausgefallen ist als die nach deutschem Modell mit stationärem Sammler. Aus Platzgründen kann auf Einzelheiten dieser interessanten Untersuchung nicht eingegangen werden, die Ergebnisse sind jedoch bei Betrachtung aller Aspekte der Arbeitsplätze im Hinblick auf die Einzelbelastung der dort arbeitenden Personen durchaus plausibel.

Letztlich muss noch auf die Frage der Zeitbasis der historischen Werte hingewiesen werden. Während heute generell der Schichtmittelwert für dosisabhängige Effekte von Gefahrstoffen international als Basis dient, war dies früher eher die Ausnahme. Sowohl Kurzzeitwerte bis zum Momentanwert (z. B. im Konimeter) kommen in der Literatur vor als auch die Bewertung als Jahresmittelwert, wie lange Zeit in Deutschland. Damit verbunden ist immer auch die Frage, welchen Zweck die einzelne Messung im historischen Kontext erfüllte. Kurzzeitwerte wurden vielfach für die Bewertung einzelner Staub erzeugender Arbeitsvorgänge („Tätigkeiten“) verwendet. Für die Prävention hat diese Messstrategie einen hohen Wert, kann doch im Extremfall dem Arbeiter noch vor Ort die Höhe seiner Exposition vorgeführt und eine staubärmere Vorgehensweise induziert werden. Die Umwandlung in Schichtmittelwerte ist für entsprechende Daten jedoch schwierig.

Im Lichte der modernen Wirkungsforschung wäre es sogar wünschenswert, wenn neben der Schichtmittelwertbelastung auch heute Kurzzeitwerte, allerdings nach standardisierten Verfahren, erhoben würden. Leider können derzeit die so genannten „Overload-Effekte“, also die kurzzeitige Überforderung der Selbstreinigungsfähigkeit der Lunge durch kurzfristige sehr hohe Staubbelastungen, im Rahmen epidemiologischer Studien aufgrund fehlender relevanter Expositionsdaten kaum untersucht werden.

3 Ausgewählte Beispiele für retrospektive Expositionsbestimmungen aus der Literatur

Dass alle genannten Einflussfaktoren auf die Höhe der Expositionsniveaus, die sich im Rahmen der retrospektiven Expositionsbewertung ergeben, eine Rolle spielen können, soll in **Tabelle 2** kurz angerissen werden. In dieser Tabelle sind für die Gewerke Granitgewinnung und untertägiger Goldbergbau [5] die in den wissenschaftlichen Studien verwendeten Expositionsniveaus gegenübergestellt worden. In diesen beiden Industriezweigen zeigt sich nach Ermittlung der Autoren, dass die Beschäftigten in verschiedenen Ländern

um bis zu zehnfach unterschiedliche Expositionshöhen und damit Lebensdosen an kristallinem Siliciumdioxid erfahren haben. Leider fehlen, zumindest aus der Literatur, Angaben zu Einzelheiten des industriellen Arbeitsplatzes, um beurteilen zu können, ob sich hinter diesen extrem unterschiedlichen Expositionsniveaus auch reale Unterschiede in den technischen Abläufen verbergen. Solange dies nicht geklärt ist, muss als eine mögliche Erklärung für die Unterschiede auch die unterschiedliche Datenaufbereitung in den Studien bzw. reale Unterschiede in den verschiedenen Untersuchungsländern, was die im Abschn. 2 genannten Analysen- und Probenahmetechniken betrifft, mit diskutiert werden. Ebenso ist es denkbar, dass im Hinblick auf messstrategische Aspekte, z. B. in den Vereinigten Staaten von Amerika und in Finnland, Unterschiede bestanden haben. Die Frage muss diskutiert werden, ob man in den Vereinigten Staaten ein Interesse an „niedrigen Messdaten“ gehabt haben könnte, wenn unterstellt werden kann, dass in Finnland ein Interesse an „hohen“ Werten nicht bestanden haben sollte.

Ein weiteres Beispiel für die Konversion historischer Staubdaten in moderne massenbezogene Konzentrationsdaten für kristallines Siliciumdioxid im A-Staub bieten die chinesischen Studien aus dem untertägigen Wolfram-, Zinn-, Eisen- und Kupferbergbau sowie aus der keramischen Industrie. Hier besteht das Hauptproblem darin, dass eine große Zahl an historischen Daten als sogenannte Gesamtstaubdaten mit einem bestimmten Messgerät als Kurzzeitwerte (10 bis 20 min) tätigkeitsbezogen erhoben wurden. Die Autoren der entsprechenden Studien haben diese vielen hunderttausend Messdaten in job- und anlagenspezifische Job-Exposure-Matrices (JEM) übersetzt, die von einer sehr großen Komplexität und Feinstruktur sind [6]. In der betreffenden Literatur wird allerdings niemals diskutiert, warum im Einzelfall die großen Sprünge in den Konzentrationsniveaus, die für verschiedene Arbeitsplätze in den JEMs angenommen wurden, eingeflossen sind. Mit anderen Worten: Eine Plausibilitätsbetrachtung ist derzeit nicht möglich. Des Weiteren ist an den chinesischen JEMs problematisch, dass die höchste Belastungsklasse mit einer Konzentration von 25 mg/m³ nach oben geschlossen in die Dosisbetrachtung eingeführt wurde. Besonders hohe Staubkonzentrationen, die im Einzelfall mit Sicherheit vorgekommen sind (siehe z. B. [17]), werden für die Dosisberechnung auf diese Weise eindeutig unterschätzt.

Noch problematischer ist jedoch die Konversion der chinesischen Gesamtstaubdaten in gravimetrische Quarz-A-Staubdaten. Sie wurde aufgrund von Vergleichsmessungen vorgenommen, bei denen ein chinesisches Gesamtstaubmessgerät und ein moderner A-Staub-Zyklonsammler nebeneinander betrieben wurden. Einzelheiten dieses interessan-

ten Experimentes, das eine Reihe von Fragen aufwirft, so z. B. die, wie man tätigkeitsbezogene Kurzzeitwerte mit Schichtmittelwertdaten korreliert hat, fehlen in der Literatur [29; 30]. Aus der Korrelation der Konzentration von kristallinem Siliciumdioxid in der durch den A-Staub-Sammler gewonnenen Probe zur Gesamtstaubkonzentration, die durch den chinesischen Sammler erhoben wurde, wurde für jede Branche ein einzelner Umrechnungsfaktor (beispielsweise für den Zinnbergbau 3,6 %) ermittelt. Mit diesem Gehalt wurden anschließend sämtliche Daten des Gesamtstaubs (z. B. mehr als 100 000 Werte im Zinnbergbau) multipliziert. Ganz abgesehen davon, dass ein solches Verfahren problematisch ist, weisen die wenigen publizierten Details auch auf methodische Schwächen der Experimente hin. Im Einzelfall wurde darüber in [6] berichtet.

Es gibt auch positive Beispiele dafür, wie mit historischen Expositionsdaten umgegangen werden sollte [31]. Hier wurde für den gesamten Bereich der ostdeutschen Uranerzbeschäftigten von der Ende der 1940er Jahre beginnenden Bergbautätigkeit bis zum Ende dieser Tätigkeit im Jahr 1989 ein lückenloses Bild der Exposition entworfen. Diese Arbeiten beinhalten detaillierte Nachstellungen historischer Arbeitsvorgänge und Vergleichsmessungen mit der alten und neuen Messtechnik. Sie bieten auch ausführliche Diskussionen der Befunde mit Plausibilitätsbetrachtungen anhand der lückenlos dokumentierten technischen Veränderungen während der Zeit des Uranerzbergbaus in der DDR. Auf diese Art und Weise ließ sich dann eine Job-Exposure-Matrix für alle Beschäftigten gewinnen, die sowohl für epidemiologische Zwecke als auch für Berufskrankheitenverfahren eine gute Grundlage darstellt.

4 Zusammenfassung

Humanbasierte Studien bilden eine solide Basis für die Beantwortung der Fragen nach Dosis-Wirkungs-Beziehungen und damit für die Prävention von Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren, die durch Gefahrstoffe hervorgerufen werden. Für ihre wissenschaftlich belast-

bare Erarbeitung müssen zwei verschiedene Datensätze hinreichend genau bekannt sein: die Expositionsseite und die Seite der medizinischen Befunde. Während im Rahmen dieser Arbeit der zweite Aspekt völlig außer Acht gelassen werden musste, sollte er doch mit derselben Sorgfalt behandelt werden wie die Expositionsseite.

Die Ermittlung eines lückenlosen Expositionsprofils für epidemiologische Studien ist eine ausgesprochen anspruchsvolle Tätigkeit. Alle im Rahmen dieser Arbeit beschriebenen Einzelaspekte müssen beachtet werden, damit letztlich in einer JEM die stattgehabte Exposition für die einzelnen Beschäftigten zu einer validen Berechnung der Lebensarbeitsdosis führen kann. Die Expositionsdaten für einzelne Jobs und Zeiträume sind aber immer mit Unsicherheiten behaftet. Es sollte künftig daher zum Standard gehören, dass diese Unsicherheiten in die eigentliche epidemiologische Berechnung mit einbezogen werden. Ein gutes Beispiel dafür liefert [32]. Die Tatsache, dass durch diese zusätzlichen Unsicherheiten die Signifikanz einzelner Aussagen der Epidemiologie gefährdet werden kann, darf nicht dazu führen, dass man auf sie verzichtet.

Auch im Fall des Gefahrstoffes Quarz sind nach dem Kenntnisstand des Autors in keiner relevanten Studie die Unsicherheiten der retrospektiven Expositionsbewertung angemessen einbezogen oder zumindest publiziert worden. Wenn man jedoch die Expositionshöhe nicht hinreichend genau quantifizieren kann, muss man auf die quantitative Abschätzung der Dosis-Wirkungs-Beziehung verzichten. Es bleibt dann immer noch die qualitative Aussage, dass bei genügend hoher Quarz-A-Staub-Exposition beim Menschen Lungenkrebs hervorgerufen werden kann; übrigens eine Aussage, die durch diesen Artikel in keiner Weise in Frage gestellt werden soll. Was offen ist, und bis zur Vorlage besserer Studien offen bleiben muss, ist die Höhe der Dosis.

Allerdings sollte sich die Frage grundsätzlich beantworten lassen, denn für keine andere Komponente am Arbeitsplatz ist die Datenlage so gut wie für kristallines Siliciumdioxid. Insbesondere das deutsche Datenkollektiv sollte dabei gute Dienste leisten können.

Literatur

- [1] IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risk to human, vol. 68. Silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils. Hrsg.: International Agency for Research on Cancer, Lyon 1997.
- [2] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender Tätigkeiten oder Verfahren nach § 3 Abs. 2 Nr. 3 GefStoffV. (TRGS 906). Ausg. 7/2005. BAnz. Nr. 59a vom 24. März 2006, S. 31.
- [3] *Mattenkloft, M.*: Die Nachweisbarkeit von Quarz-A-Staub bei Arbeitsplatzmessungen. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 66 (2006), S. 217-219.
- [4] *Steenland, K.; Mannetje, A.; Boffetta, P.; Stayner, L.; Attfield, M.; Chen, J.* et al.: Pooled exposure-response analyses and risk assessment for lung cancer in 10 cohorts of silica-exposed workers: an IARC multicenter study. *Cancer Causes Control* (2001) Nr. 12, S. 773-784.
- [5] *t Mannetje, A.; Steenland, K.; Checkoway, H.; Koskela, R. S.; Koponen, M.; Attfield, M.* et al.: Development of quantitative exposure data for a pooled exposure-response analysis of 10 silica cohorts. *Am. J. Ind. Med.* 42 (2002), S. 73-86.
- [6] *Dahmann, D.; Taeger, D.; Kappler, M.; Büchte, S.; Morfeld, P.; Brüning, T.; Pesch, B.*: Assessment of exposure in epidemiological studies – The example of silica dust. *Occup. Environm. Med.* (eingereicht).
- [7] Quarzexpositionen am Arbeitsplatz. BGIA-Report 8/2006. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2006 (im Druck). www.hvbg.de, Webcode 1902362
- [8] *Checkoway, H.; Heyer, N. J.; Seixas, N. S.; Welp, E. A. E.; Demers, P. A.; Hughes, J. M.* et al.: Dose-response associations of silica with non-malignant respiratory disease and lung cancer mortality in the diatomaceous earth industry. *Am. J. Epidemiol.* 145 (1997), S. 680-688.
- [9] *Dahmann, D.; Bauer, H. D.*: Bestand ein 'Faserproblem' bei der Gewinnung von Kieselgur? *Kompass* 112 (2002), S. 3-5.
- [10] *Kortner, M.; Landwehr, K.*: Bericht über Staubmessungen in den Werken der Kieselgur-Industrie im Raum der Lüneburger Heide (A 1802/62). Hrsg.: Silikoseforschungsinstitut der Bergbau-Berufsgenossenschaft. Bochum 1962.
- [11] *Binde, G.; Bolender, T.*: Rekrystallisation und Cristobalitbildung in Hochtemperaturglasfasern (AES) nach thermischer Belastung. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 62 (2002) Nr. 6, S. 273-278.
- [12] *Bauer, H.-D.; Bruckmann, E.; Reichel, G.*: Das Fehlen pathologischer Staublungenveränderungen im Bergbau des Salzgittergebietes. *Kompass* 86 (1976), S. 1-5.
- [13] *Cakmak, G. D.; Schins, R. P. F.; Shi, T. M.; Fenoglio, I.; Fubini, B.; Borm, P. J. A.*: In vitro genotoxicity assessment of commercial quartz

- flours in comparison to standard DQ12 quartz. *Int. J. Hyg. Environm. Health* 207 (2004), S. 105-113.
- [14] *Kauppinen, T.; Toikkanen, J.; Pedersen, D.; Young, R.; Ahrens, W.; Boffetta, P.* et al.: Occupational exposure to carcinogens in the European Union. *Occup. Environm. Med.* 57 (2000), S. 10-18.
- [15] *Dosemeci, M.; McLaughlin, J. K.; Chen, J.-Q.; Hearl, F.; Chen, R.-G.; McCawley, M.* et al.: Historical total and respirable silica dust exposure levels in mines and pottery factories in China. *Scand. J. Work Environm. Health* 21 (1995), Suppl 2, S. 39-43.
- [16] *Knaapen, A. M.; Borm, P.; Albrecht, C.; Schins, R.*: Inhaled particles and lung cancer. Part A: Mechanisms. *Int. J. Cancer* 109 (2004), S. 799-809.
- [17] *Bauer, H. D.*: Studie zur retrospektiven Analyse der Belastungssituation im Uranerzbergbau der ehemaligen SDAG Wismut mit Ausnahme der Strahlenbelastung für die Zeit von 1946 bis 1990. Hrsg.: Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin 2000.
- [18] *Chen, W.; Bochmann, F.; Sun, Y.*: Effects of work related confounders on the association between silica exposure and lung cancer: a nested case-control study among Chinese miners and pottery workers. *Int. Arch. Occup. Environm. Health* (2006) (im Druck).
- [19] DIN ISO 7708: Luftbeschaffenheit – Festlegung von Partikelgrößenverteilungen für die gesundheitsbezogene Schwebstaubprobenahme (ISO 7708:1995). Berlin: Beuth 1996.
- [20] DIN EN 481: Arbeitsplatzatmosphäre; Festlegung der Teilchengrößenverteilung zur Messung luftgetragener Partikel. Berlin: Beuth 1993.
- [21] DIN EN 13205: Arbeitsplatzatmosphäre – Bewertung der Leistungsfähigkeit von Geräten für die Messung der Konzentration luftgetragener Partikel. Berlin: Beuth 2002.
- [22] *Dahmann, D.; Plitzko, S.; Yang, L.; Hartfiel, G.-D.; Jackisch, J.; Thürmer, H.*: Comparison of sampling instruments using DIN EN 13205. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 64 (2004) Nr. 7/8, S. 345-352.
- [23] *Stacey, P. R.*: The performance of different analytical approaches. Measuring respirable quartz in the workplace. Analysis scheme for proficiency (WASP) and the precision and limit of detection of the direct On-Air-Filter analysis methods. *J. ASTM Int.* 2005;2: DOI: 10.1520/JAI12213.
- [24] *Talvitie, N. A.*: Determination of quartz in presence of silicates using phosphoric acid. *Anal. Chem.* 23 (1951), S. 623.
- [25] *Sanderson, W. T.; Steenland, K.; Deddens, J. A.*: Historical respirable quartz exposures of industrial sand workers: 1946-1996. *Am. J. Ind. Med.* 38 (2000), S. 389-398.
- [26] *Hnizdo, E.; Sluis-Cremer, G. K.*: Risk of silikosis in a cohort of white South African gold miners. *Am. J. Ind. Med.* 24 (1993), S. 447-457.
- [27] *Attfield, M. D.; Hearl, F. J.*: Application of data on compliance to epidemiological assessment of exposure-response: The case of data on exposure of United States coal miners. *Occup. Hyg.* (1996) Nr. 3, S. 177-184.
- [28] *Buechte, S. F.; Burggraf, C.; Langefeld, O.; McClure, W.; Morfeld, P.; Piekarski, C.*: Comparative dust sampling program of respirable coal mine dust concentrations taken during 2002 at US coal mines applying German and American dust sampling strategies. *Tijdschr. toegep. Arboretenschap* (2004).
- [29] *Zhuang, Z.; Hearl, F. J.; Odencrantz, J.; Chen, W.; Chen, B. T.; Chen, J. Q.* et al.: Estimating historical respirable crystalline silica exposures for Chinese pottery workers and iron/copper, tin, and tungsten miners. *Ann. Occup. Hyg.* 45 (2001), S. 631-642.
- [30] *Gao, P.; Chent, B. T.; Hearl, F. J.; McCawley, M. A.; Schwerha, D. J.; Odencrantz, J.* et al.: Estimating factors to convert Chinese 'Total Dust' measurements to ACGIH respirable concentrations in metal mines and pottery industries. *Ann. Occup. Hyg.* 44 (2000), S. 251-257.
- [31] *Bauer, H. D.; Dahmann, D.; Stoyke, G.*: Vergleichsmessungen zwischen Konimetrie und gravimetrischer Feinstaubprobenahme in Uranerz-lagerstätten von Sachsen und Thüringen. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 58 (1998) Nr. 4, S. 153-160.
- [32] *Morfeld, P.; Piekarski, C.*: Krebsmorbidität und Krebsmortalität saarländischer Steinkohlenbergleute in Abhängigkeit von Staubexposition und Pneumokonioseentwicklung (Phase IV). Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, Dortmund und Köln, 2005.