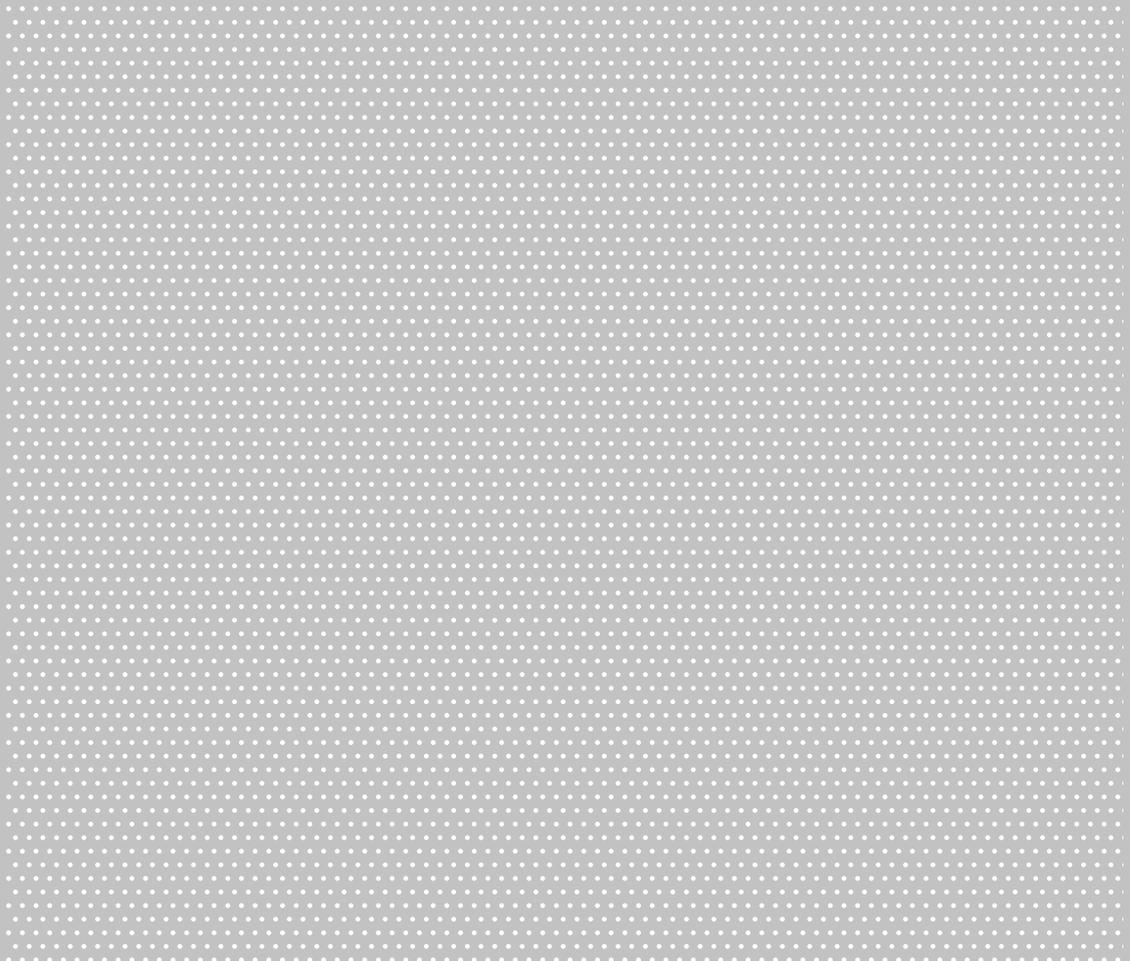


1/2021

BK-Report

Nickel und seine Verbindungen



Verfasst von: siehe Autorenverzeichnis auf S. 125

Herausgeber: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)
Glinkastr. 40
10117 Berlin
Telefon: 030 13001-0
Telefax: 030 13001-9876
Internet: www.dguv.de
E-Mail: info@dguv.de

– November 2021 –

Publikationsdatenbank: www.dguv.de/publikationen

ISBN (Online): 978-3-948657-38-3
ISSN: 2190-7994

Kurzfassung

Nickel und seine Verbindungen

Dieser Report soll Hilfestellungen für die Bearbeitung von angezeigten Berufskrankheiten (BK) leisten, die mit einer Exposition gegenüber Nickel und seinen Verbindungen begründet werden.

Der Report richtet sich vorrangig an BK-Ermittler der Unfallversicherungsträger (UVT) und liefert Informationen über die Entwicklung gesetzlicher Regelungen zur Einstufung von Nickel und seinen Verbindungen, zur Grenzwertfestsetzung sowie über chemische Analyseverfahren. Der BK-Report bezieht sich nicht ausschließlich auf Schweißarbeitsplätze, sondern liefert Informationen über nickelhaltige Produkte sowie Arbeitsverfahrensbeschreibungen zu verschiedenen Tätigkeiten mit möglicher Nিকেexposition. Für solche Tätigkeiten werden Expositionsdaten genannt, die größtenteils durch die

messtechnischen Dienste der UVT an Arbeitsplätzen der betreffenden Branchen messtechnisch ermittelt werden konnten. Schweißarbeitsplätze stellen Sonderfälle dar, weil hier häufig gleichzeitige Expositionen gegenüber Nickel und Chrom(VI) auftreten und somit auch die BK-Nr. 1103 „Erkrankungen durch Chrom und seine Verbindungen“ der Anlage 1 zur Berufskrankheitenverordnung (BKV) zu berücksichtigen ist [1].

Einheitliche Qualitätsstandards und allgemeine Werkzeuge für die Ermittlung der schädigenden Expositionen im BK-Verfahren beschreibt die Handlungsempfehlung der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) zur Ermittlung und Bewertung der Einwirkung im BK-Verfahren [2].

Abstract

Nickel and its compounds

This report is intended to serve as an aid for assessing occupational disease claims based on exposure to nickel and its compounds.

The report is primarily intended for occupational disease investigators employed by accident insurance institutions and provides information on the development of legal regulations for the classification of nickel and its compounds and the determination of occupational exposure limits as well as regarding chemical analysis procedures. The occupational disease report does not relate exclusively to welding workstations. It also provides information on products containing nickel as well as work descriptions for various professional activities with potential nickel exposure. For such activities, exposure data is cited which for the most part was found through tests and measurements conducted by the metrological services of the acci-

dent insurance institutions on workstations in the affected industries. Welding workstations constitute special cases, because such work often involves simultaneous exposure to both nickel and chromium(VI), meaning that consideration must also be given to occupational disease no. 1103 "Diseases caused by chromium and its compounds" in Annex 1 to the Ordinance on Occupational Diseases (BKV) [1].

Consistent quality standards and general tools for determining harmful exposure in the assessment of occupational disease claims are described in the guidelines of the DGUV (German Social Accident Insurance) on the investigation and evaluation of exposure in the assessment of occupational disease claims [2].

Résumé

Le nickel et ses composés

Ce rapport est destiné à faciliter le traitement des maladies professionnelles (MP) déclarées et attribuées à l'exposition au nickel et à ses composés.

Il s'adresse principalement aux enquêteurs des organismes d'assurance allemands contre les accidents et contient des informations sur la mise en place de réglementations légales portant sur la classification du nickel et de ses composés, sur la fixation de valeurs limites et sur les méthodes d'analyse chimique. Il ne traite pas exclusivement des postes de soudage, mais présente également des informations sur les produits contenant du nickel, ainsi que les descriptions des processus de travail de diverses activités présentant un risque d'exposition au nickel. On y trouvera les valeurs d'exposition correspondant à ces activités, dont la plupart ont pu être mesurées aux postes de travail des secteurs concernés par

les services de métrologie des organismes d'assurance allemands contre les accidents. Les postes de soudage constituent des cas particuliers, en raison de l'exposition simultanée au nickel et au chrome(VI) à laquelle ils donnent souvent lieu. Les MP de la catégorie n° 1103 « Maladies causées par le chrome et ses composés » de l'annexe 1 du Règlement allemand sur les maladies professionnelles doivent donc également être prises en compte [1].

Afin de déterminer et d'évaluer cette exposition dans le cadre de la procédure relative aux MP, la Fédération centrale des organismes d'assurance sociale allemande des accidents du travail et des maladies professionnelles propose des normes de qualité harmonisées et des outils génériques de mesure propres à cette procédure [2].

Versión resumida

El níquel y sus compuestos

El presente informe tiene por objeto servir como orientación para el tratamiento de casos de enfermedades profesionales denotados que se justifican por la exposición al níquel y sus compuestos.

El informe se dirige principalmente a los responsables de la investigación de enfermedades profesionales de las instituciones de seguros de accidentes y ofrece información sobre el desarrollo de la normativa legal en materia de clasificación del níquel y sus compuestos, sobre la fijación de valores límite y sobre los métodos de análisis químico. El informe de enfermedades profesionales no hace referencia exclusivamente a los lugares de trabajo de soldadura, sino que proporciona información sobre los productos que contienen níquel, así como descripciones de los procesos de trabajo en los que hay una posible exposición al níquel. También ofrece datos de exposición relativos a dichas actividades, la mayoría de los cuales

podrían ser determinados por los servicios metrológicos de las instituciones de seguros de accidentes en los lugares de trabajo de los sectores en cuestión. Los lugares de trabajo de soldadura son casos especiales, ya que suele haber una exposición simultánea al níquel y al cromo (VI), por lo que también debe tenerse en cuenta la enfermedad profesional n.º 1103 «Enfermedades causadas por el cromo y sus compuestos» del anexo 1 de la Ordenanza Alemana de Enfermedades Profesionales (BKV) [1].

Las normas de calidad uniformes y las herramientas generales para analizar las exposiciones nocivas en el procedimiento de identificación de enfermedades laborales se describen en la recomendación de actuación del Seguro Social Alemán de Accidentes (DGUV) con el fin de determinar y evaluar la exposición en el procedimiento de enfermedad laboral [2].

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|--|------------|
| 1 | BK-Bearbeitungshinweise | 8 |
| 1.1 | BK-rechtliche Grundlagen..... | 8 |
| 1.2 | Gegenüberstellung der Ansätze für BK-Beurteilung und Prävention bei krebserzeugenden Stoffen..... | 8 |
| 1.3 | Verwendung der Expositionsdaten..... | 9 |
| 2 | Nickel und Nickelverbindungen | 11 |
| 2.1 | Vorkommen und chemische Charakterisierung..... | 11 |
| 3 | Gesetzliche Regelungen: Historische Entwicklung und aktueller Stand | 12 |
| 3.1 | KMR-Einstufung | 12 |
| 3.2 | Konzentrationsgrenzen | 14 |
| 3.3 | Begründungen zur Einstufung..... | 14 |
| 3.4 | Verbote und Beschränkungen..... | 14 |
| 3.5 | Grenzwerte und andere Beurteilungsmaßstäbe | 16 |
| 3.6 | Anlässe für arbeitsmedizinische Vorsorge und Vorsorgeuntersuchungen | 18 |
| 3.7 | EKA-Werte | 19 |
| 3.8 | Regelungen der ehemaligen DDR..... | 20 |
| 4 | Toxizität und Erkrankungen | 22 |
| 4.1 | Aufnahmewege und Ausscheidung..... | 22 |
| 4.2 | Innere Belastung durch Nickel..... | 22 |
| 4.3 | Nicht maligne arbeitsbedingte durch Nickel hervorgerufene Erkrankungen der oberen und unteren Atemwege | 27 |
| 4.4 | Maligne arbeitsbedingte durch Nickel hervorgerufene Erkrankungen der oberen und unteren Atemwege | 27 |
| 4.5 | Hauterkrankungen durch Exposition gegenüber Nickel..... | 31 |
| 4.6 | Arbeitsmedizinische Vorsorge | 31 |
| 4.7 | Statistische Auswertung angezeigter Erkrankungen | 32 |
| 5 | Ermittlung von Expositionsdaten | 36 |
| 5.1 | Messung von Nickel und seinen Verbindungen in der Luft an Arbeitsplätzen..... | 36 |
| 5.2 | Biomonitoring..... | 38 |
| 6 | Tätigkeiten und Expositionsdaten von Nickel und seinen Verbindungen an Arbeitsplätzen | 41 |
| 6.1 | Allgemeines..... | 41 |
| 6.2 | Grundlagen der Messdatenauswertung und Zeittrend der Nickelexposition im Überblick..... | 41 |
| 6.3 | Chemische Industrie..... | 43 |
| 6.4 | Bauwirtschaft: Gleisbau, Gleisbettreinigung..... | 45 |
| 6.5 | Herstellung von Nickel und Nickelverbindungen..... | 46 |
| 6.6 | Stahl- und Nichteisenmetall-Erzeugung sowie Walzwerke..... | 47 |
| 6.7 | Metallbearbeitung und -verarbeitung..... | 52 |
| 6.8 | Heißverarbeitung von Metallen | 56 |
| 6.9 | Schleifen, spanende und weitere abrasive Verfahren..... | 77 |
| 6.10 | Gießereien | 88 |
| 6.11 | Galvanotechnik | 94 |
| 6.12 | Herstellung von Akkumulatoren | 96 |
| 6.13 | Zahn technische Laboratorien | 96 |
| 6.14 | Recycling | 98 |
| 6.15 | Biogasanlagen..... | 100 |
| 6.16 | Hohl- und Pressglas | 101 |
| 6.17 | Keramische Industrie..... | 104 |
| 6.18 | Großhandel..... | 110 |
| 6.19 | Abfallsammlung und -entsorgung, Abfallverbrennung..... | 111 |
| 7 | Anhang | 112 |
| 8 | Abkürzungsverzeichnis | 116 |
| 9 | Literatur | 117 |
| 10 | Autorinnen und Autoren | 126 |

1 BK-Bearbeitungshinweise

1.1 BK-rechtliche Grundlagen

Arbeitsbedingte Einwirkungen durch Nickel und seine Verbindungen sind in vielen Industriezweigen anzutreffen. Dabei stehen im Berufskrankheiten (BK)-Recht die hochsensibilisierende Wirkung der Nickel-Ionen bei der Verursachung von Haut- und Atemwegserkrankungen sowie die krebserzeugende Wirkung, bezogen auf die Atemwege und die Lunge, im Vordergrund. Seit 1988 können Krebserkrankungen der Atemwege und der Lungen nach Einwirkung von Nickel und seinen Verbindungen als BK-Nr. 4109 „Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Nickel und seine Verbindungen“ [3; 4] anerkannt werden.

Hauterkrankungen nach Einwirkung von Nickel und seinen Verbindungen sind zu prüfen unter: BK-Nr. 5101 „Schwere oder wiederholt rückfällige Hauterkrankungen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können“¹ [5].

Obstruktive Atemwegserkrankungen nach Einwirkung von Nickel und seinen Verbindungen sind zu prüfen unter: BK-Nr. 4301 „Durch allergisierende Stoffe verursachte obstruktive Atemwegserkrankungen (einschließlich Rhinopathie)², die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können“³ [6].

Begutachtungsempfehlungen zu den BK der Haut bzw. zu obstruktiven Atemwegserkrankungen (BK-Nr. 1315 (ohne Alveolitis), 4301 und 4302) sind die Bamberger bzw. die Reichenhaller Empfehlung. Sie richten sich primär an Ärztinnen und Ärzte, die mit der Begutachtung der vorgenannten BK betraut sind, enthalten aber auch Hinweise

1 Die besondere versicherungsrechtliche Voraussetzung des Unterlassungszwangs entfällt mit Wirkung zum 1. Januar 2021, vgl. BGBL I, S. 1248 ff. vom 23. Juni 2020, Siebtes Gesetz zur Änderung des Vierten Buches Sozialgesetzbuch und anderer Gesetze, Artikel 7 Nr. 3 a), Artikel 24, §12, Nr. 3 a).

2 Vorbemerkung zu BK-Nr. 4301 und 4302 der Anlage 1 BKV: Der Begriff „obstruktive Atemwegserkrankungen“ umfasst verschiedene akute und chronische Krankheitsbilder. Sie sind in der Bevölkerung weit verbreitet und nur zu einem Teil durch Arbeitsstoffe bedingt. Eine Unterteilung kann nach der Krankheitsursache erfolgen. Ätiologisch sind zu unterscheiden: die obstruktiven Atemwegserkrankungen aus allergischer Ursache (BK-Nr. 4301) und die durch chemische Stoffe irritativ oder toxisch verursachten obstruktiven Atemwegserkrankungen (BK-Nr. 4302).

3 Die besondere versicherungsrechtliche Voraussetzung des Unterlassungszwangs entfällt mit Wirkung zum 1. Januar 2021, vgl. BGBL I, S. 1248 ff. vom 23. Juni 2020, Siebtes Gesetz zur Änderung des Vierten Buches Sozialgesetzbuch und anderer Gesetze, Artikel 7 Nr. 3 a), Artikel 24, §12, Nr. 3 a).

zu Tatbestandsmerkmalen, Kausalitätsgrundsätzen, Therapie- und Rehabilitationsmaßnahmen sowie Empfehlungen der Maßnahmen nach § 3 Berufskrankheiten-Verordnung (BKV). Die Begutachtungsempfehlungen stehen in der Publikationsdatenbank der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (DGUV) zum Download bereit:

- Bamberger Empfehlung [7]: <https://publikationen.dguv.de/versicherungleistungen/berufskrankheiten/2058/bamberger-empfehlung?number=SW16058>
- Reichenhaller Empfehlung [8]: <https://publikationen.dguv.de/versicherungleistungen/berufskrankheiten/1946/reichenhaller-empfehlung>

Insbesondere infolge fehlender oder nicht ausreichender technischer und persönlicher Schutzmaßnahmen können bei versicherten Personen, die beruflich Schweißarbeiten ausüben, fibrotische Lungenveränderungen auftreten, die nach BK-Nr. 4115 „Lungenfibrose durch extreme und langjährige Einwirkung von Schweißrauchen und Schweißgasen – (Siderofibrose)“ [9; 10] entschädigt werden können. Eine alleinige Siderose der Lungen bei dem Personenkreis ist nicht Gegenstand dieser BK. Die BK-Nr. 4115 ist nicht nickelspezifisch, in Schweißrauchen kann allerdings auch Nickel enthalten sein.

1.2 Gegenüberstellung der Ansätze für BK-Beurteilung und Prävention bei krebserzeugenden Stoffen

Für die Prävention werden bei krebserzeugenden Substanzen Exposition-Risiko-Beziehungen (ERB) abgeleitet. In der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 910 „Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen“ [11] wird festgestellt, dass eine generelle Übertragbarkeit der Ableitung von ERB, die für die Prävention geschaffen wurden, auf das BK-Recht nicht möglich ist. Dies soll anhand eines Beispiels erläutert werden.

Das ERB-Konzept legt stoffübergreifend Akzeptanz- und Toleranzrisiken fest. Dabei definiert der Wert von vier zusätzlichen Erkrankungen pro 1 000 Arbeitnehmenden bei 40 Jahren Exposition das Toleranzrisiko. Das Akzeptanzrisiko liegt bei vier zusätzlichen Fällen pro 10 000 entsprechend exponierten Arbeitnehmenden bzw. sollte ab 2018 auf vier pro 100 000 Exponierte abgesenkt werden. Diese Absenkung ist zurzeit ausgesetzt [11]. Die Risiken beziehen sich auf absolute Erkrankungsrisiken. Im Beispiel wird angenommen, dass die Prävalenz für eine Krebserkrankung in der Allgemeinbevölkerung – also von Nicht-Exponierten – bei etwa 6 % liegt, d. h. 60 Fälle pro 1 000 Personen. In einer Gruppe von 1 000 über 40 Jahre

in Höhe der Toleranzkonzentration Exponierten würde somit die Häufigkeit dieser Krebserkrankung von 60 auf 64 steigen.

Bei der Ableitung von Dosiswerten für die BK-Beurteilung werden im Gegensatz zur Prävention keine absoluten Werte für die Häufigkeit einer Erkrankung verwendet. Ein häufig verwendetes Konzept nutzt die Exposition oder Dosis, bei der sich die Anzahl der Erkrankten verdoppelt. Betrachtet werden hierbei relative Erkrankungsrisiken. Der so abgeleitete Dosiswert ist folglich abhängig von der Häufigkeit (Prävalenz) der Erkrankung in der Allgemeinbevölkerung. Die Verwendung dieses Konzepts für die BK-Beurteilung würde für unsere Beispielerkrankung eine Erhöhung der Anzahl der Erkrankungen von 60 auf 120 bedeuten. Die Höhe der Exposition, die zu einer BK-relevanten Dosis führt, liegt damit in einer anderen Größenordnung als die Exposition, die eine Erhöhung der Erkrankungszahlen von 60 auf 64 bewirkt (Toleranzkonzentration). Außerdem müssen für die Ableitung von Dosiswerten für die BK-Bearbeitung epidemiologische Daten vorliegen, während sich die Ableitung von ERB auch auf Tierversuchsdaten stützen kann.

Zu den Unterschieden zwischen den Ansätzen für BK-Beurteilung und Prävention bei krebserzeugenden Stoffen führt die TRGS 910 aus [11]:

„Die Methodik dieses Leitfadens ist nicht dafür vorgesehen, tatsächliche Häufigkeiten von Krebserkrankungen für eine reale Arbeitsplatzsituation vorherzusagen oder entsprechende Hochrechnungen auf Erkrankungshäufigkeiten in der exponierten Bevölkerung vorzunehmen. Es soll ausdrücklich vermieden werden, dass die Risikoquantifizierungen missbräuchlich verwendet werden (z. B. um die Anzahl von expositionsbedingten Sterbefällen hochzurechnen). Die Expositions-Risiko-Modellierung, die Extrapolation auf niedrige Risiken und das unterstellte Expositionsszenario, basiert auf bestimmten für eine harmonisierte Vorgehensweise in dem gegebenen Regulationsrahmen erforderlichen Konventionen, die jedoch nicht notwendigerweise für andere Zwecke adäquat sind. So müssen die nach diesem Leitfaden ermittelten Risikoquantifizierungen z. B. für die Berechnung eines Kompensationsanspruchs nach der Berufskrankheiten-Verordnung nicht geeignet sein.“ Erläutert werden diese Unterschiede von Nies et al. [12].

1.3 Verwendung der Expositionsdaten

1.3.1 Rangfolge der Datenquellen im BK-Fall

Die Art, Dauer und Intensität der Exposition durch die versicherte Tätigkeit muss im Feststellungsverfahren gezielt,

z. B. durch Befragung der versicherten Person, aber auch von Zeugen oder des Arbeitgebenden etc. ermittelt werden. Seit dem 1. Januar 2005 sind Arbeitgebende nach § 14 Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) verpflichtet, ein Expositionsverzeichnis der gegenüber krebserzeugenden Nickelverbindungen gefährdend exponierten Beschäftigten zu führen. Dies kann hausintern oder alternativ durch Nutzung des DGUV Angebots in der Datenbank zur zentralen Erfassung gegenüber krebserzeugenden Stoffen exponierter Beschäftigter – Zentrale Expositionsdatenbank (ZED) [13] geschehen. Expositionsdaten zur versicherten Person aus der ZED oder dem hausinternen Expositionsverzeichnis sollten im BK-Ermittlungsverfahren auf jeden Fall herangezogen werden. Sie geben Auskunft über Dauer und Häufigkeit der Tätigkeit der versicherten Person und enthalten im Idealfall auch quantitative Angaben zur Expositionshöhe.

Unternehmen haben jederzeit Zugriff auf die von ihnen erfassten Daten in der ZED. Da Versicherte oft aber nicht nur bei einem Unternehmen gearbeitet haben, können sie im BK-Ermittlungsverfahren schriftlich einen Auszug über ihre gesamte Expositionshistorie bei der ZED anfordern und diese dem UVT weitergeben. Sie können außerdem im BK-Ermittlungsverfahren einer Weitergabe ihrer Daten zustimmen. Liegt die Zustimmung vor, kann der UVT die Daten zu dieser versicherten Person direkt bei der ZED anfordern.

Für die Ermittlung der Expositionshöhe im BK-Fall gilt damit folgende Rangfolge der Datenquellen:

1. Messungen an betroffenen oder an vergleichbaren Arbeitsplätzen und Daten aus dem Expositionsverzeichnis (ZED [13] oder hausintern) zu Dauer und Häufigkeit der Tätigkeit, ggf. zur Expositionshöhe,
2. Auswertung aus der Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ (MEGA) zu vergleichbaren Arbeitsplätzen,
3. Literaturangaben, insbesondere der vorliegende BK-Report Nickel.

1.3.2 Unterschiedliche Bewertung von metallischem Nickel und Nickeloxiden

Nickelverbindungen und metallisches Nickel sind hinsichtlich ihrer krebserzeugenden Wirkung unterschiedlich eingestuft. Deshalb sollte in der Ergebnisdarstellung zwischen metallischem Nickel und Nickelverbindungen (jeweils als $xx \mu\text{g Ni}/\text{m}^3 \times \text{Jahre}$) unterschieden werden.

In Schleifstäuben liegt Nickel überwiegend als Metall oder als Legierungsbestandteil vor (Oxidationsstufe 0). In

Abhängigkeit des Energieeintrags beim Schleifen, Bürsten oder Polieren kann es jedoch zu oberflächigen Oxidationsprozessen kommen. Insbesondere bei intensiven Schleif- und Trennarbeiten mit Funkenflug sind solche Oberflächenoxidationen zu befürchten. Die entstandenen Nickelmetall-/Nickeloxid-Gemische sind in diesem Fall zur Vereinfachung wie Oxide zu behandeln. Fehlt dieser deutlich sichtbare Funkenflug, so sollte die berechnete rein metallische Dosis getrennt ausgewiesen werden. Auch in der TRGS 900 [14] findet sich hierzu ein Hinweis:

„Sofern bei Tätigkeiten nickelhaltige Stäube entstehen, bei denen nur eine Oberflächenoxidation zu unterstellen ist, sind diese wie nickelmetallhaltige Gemische zu behandeln. Bei Anwendung von thermischen Verfahren in Gegenwart von Luftsauerstoff ist grundsätzlich eine Bildung von oxidischen Nickelverbindungen anzunehmen. Dies ist beispielsweise beim Schweißen (Elektroden oder Draht) und thermischen Schneiden mit bzw. von Legierungen, beim Metallspritzen von Legierungen, beim Schmelzen und Gießen von Legierungen und beim Schleifen und Trennen von Legierungen mit „Funkenbildung“ der Fall. Weitere Empfehlungen sowie Beispiele für Arbeitsverfahren, bei denen der AGW bzw. die ERB zur Beurteilung herangezogen werden können, enthält die IFA-Arbeitsmappe (Kennzahl 0537).“ Auszug aus der TRGS 900 (Fassung vom 27.10.2020, Anmerkung 24).

1.3.3 BK-Nr. 4109 „Hinweise zur Abschätzung einer Nickel-Dosis“

Die BK-Nr. 4109 ist nach BKV keine Dosis-BK. Wenn eine Dosis berechnet wird, ist das nur eine Hilfe für die Gutachtenden, es gibt jedoch kein Abschneidekriterium. Wichtig ist außerdem die Unterscheidung zwischen Nickelverbindungen und Nickelmetall.

Bei Krebserkrankungen, bei denen nach aktuellem Kenntnisstand keine anerkannten Dosis-Wirkungs-Modelle existieren, ist eine Quantifizierung nur in Einzelfällen möglich. Anzugeben ist eine ausführliche Beschreibung der Einwirkung.

In den Fällen, in denen eine Berechnung aufgrund der guten Datenlage möglich ist, kann jedoch die quantitative Abschätzung der beruflich kumulierten Nিকেlexposition zur Unterstützung der ärztlichen Begutachtenden sinnvoll sein. Dies gilt insbesondere bei Lungenkrebsdiagnosen.

Werden Ermittlungen zu einer Lungenkrebserkrankung durchgeführt, sind neben Nickel weitere mögliche Einwirkungen zu berücksichtigen, wie Hartmetall (vorwiegend Wolframcarbid, Kobalt, Sintermetall), Chrom(VI), Asbest, Cadmium, PAK und Quarz/Cristobalit. Da für die BK-Nr. 4109 bisher kein Dosismaßstab festgelegt wurde, bleibt die Schwierigkeit bestehen, den berechneten Dosiswert zu beurteilen. Eine zuverlässige Ableitung einer Dosis-Wirkungsbeziehung erscheint nicht sicher möglich [15; 16].

Eine früher häufig zugrunde gelegte Einschätzung von *Norpoth* und *Popp* [17] – die Anerkennung von Lungenkrebs bei kumulativen Ni-Dosen ab 5 000 µg/m³ × Jahre – erscheint nicht mehr haltbar, da sie hauptsächlich auf die damals geltende Technische Richtkonzentration (TRK) abzielte, und sollte im Ermittlungsverfahren nicht mehr zugrunde gelegt werden.

In jüngerer Zeit hat das Institut für Prävention und Arbeitsmedizin der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, Institut der Ruhr-Universität Bochum (IPA) zur Vorbereitung einer Harmonisierung der Anerkennungskriterien eine eingehende interne Literaturrecherche durchgeführt. Hiernach wird ersichtlich, dass bei Exposition gegenüber kanzerogenen Nickelverbindungen, wie insbesondere Ni-Oxid, Ni-sulfidischen Verbindungen oder wasserlöslichen Nickelverbindungen, eine wesentliche Risikoerhöhung für Lungenkarzinome (Lungenkrebs) auftreten kann. Eine Aussage dazu, ab welcher Dosis in der Regel von einer wesentlichen Risikoerhöhung und damit von einer beruflichen Verursachung der Erkrankung ausgegangen werden kann, ist erst nach Abschluss der Bewertung der recherchierten Literatur möglich, so dass im Moment eine Einzelfallentscheidung nötig ist. Eine Konsensbildung innerhalb der DGUV wird baldmöglichst angestrebt.

Auch für andere Karzinome – vor allem Plattenepithelkarzinome der inneren Nasenhaupt- und Nasennebenhöhlen sowie ggf. anderer Organe wie Kehlkopf oder Rachen – können zurzeit keine Hinweise zu einer anerkanntsfähigen Dosis gegeben werden. In diesen Fällen ist immer eine Einzelfallbewertung erforderlich.

Aus der wissenschaftlichen Literatur wird abgeleitet, dass eine Exposition gegenüber metallischem Nickel grundsätzlich nicht zu einer BK-relevanten Risikoerhöhung für Lungenkrebs oder andere Karzinome führt.

2 Nickel und Nickelverbindungen

2.1 Vorkommen und chemische Charakterisierung

Nickel besitzt etwa einen Anteil von 0,01 % an der Erdkruste und kommt damit häufiger als Kupfer, Zink oder Blei vor. In der Natur tritt es hauptsächlich in mineralischer Form bzw. als Erz mit hohem Nickelgehalt auf, z. B. als Nickelmagnetkies oder Garnierit. Nickelmagnetkies enthält bis zu 3 % Nickel und ist ein Gemenge aus Pentlandit $(\text{Ni, Fe})_9\text{S}_8$, Pyrrhotin Fe_1-xS und Chalkopyrit CuFeS_2 . Bei Garnierit handelt es sich um ein grünes Nickelerz, das aus einem oder mehreren Mineralen der Schichtsilikate Serpentin, Talk, Smektit, Chlorit oder Sepiolith besteht, in denen ein hoher Anteil des Magnesiums durch Nickel substituiert ist, z. B. Willemseit $(\text{Ni, Mg})_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ und Népouit $(\text{Ni, Mg})_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$. Die Nickelgehalte liegen zwischen 20 und 45 %. Bereits ab einem Gehalt von 0,5 % sind Nickelerze wirtschaftlich abbaubar. Bei Callenberg (Landkreis Zwickau in Sachsen) befindet sich die größte Nickelerzlagerstätte (hydrosilikatische Nickelerze) Mitteleuropas. Von 1960 bis 1990 wurde hier Nickelerz im Tagebau abgebaut und in der Nickelhütte St. Egidien verarbeitet.

Nickel lässt sich durch verschiedene Prozesse mit einer Reinheit von bis zu 99,99 % darstellen (siehe Abschnitt 6.5.1). Metallisches Nickel (Schmelzpunkt 1 455 °C, Siedepunkt 2 730 °C) ist ein verformbares, geschmeidiges, silbrig-weißes Metall. Es ist relativ hart, magnetisch und leitfähig. Nickel wird durch eine dünne Oxidschicht passiviert und ist so gegenüber Luft und Wasser beständig. Von technischer und wirtschaftlicher Bedeutung ist Nickel als Legierungsbestandteil bei der Herstellung von Edelstählen und anderer rostfreier Legierungen. Das Metall lässt sich mit Eisen, Kupfer, Chrom oder Beryllium gut legieren. 40 bis 65 % der weltweiten jährlichen Nickelproduktion fließen in diesen Bereich.

Ungefähr 20 Nickelverbindungen sind von größerer technischer Bedeutung. Die meisten davon sind in Mineralsäuren oder bereits in Wasser löslich. Nickel liegt in Verbindungen nahezu ausschließlich in der Oxidationsstufe +2 vor. In einigen Verbindungen kann Nickel auch in anderen Oxidationsstufen wie +3 und +4 vorkommen, z. B. in Nickel(III)- und Nickel(IV)-Oxo-Systemen oder in Komplexen. Nickel kann farbintensive Chelatkomplexe bilden.

Wirtschaftlich wichtige Nickel(II)-Verbindungen sind:

- Nickelhydroxid (in Batterien, Akkus, Münzen, zur Herstellung von Nickelsalzen),
- Nickelnitrat (Farbstoff-, Katalysatorherstellung, Vernickeln, Pigment in der Keramikindustrie),
- Nickelsulfat (Herstellung von Nickelverbindungen, Katalysatorherstellung, Schwärzungsmittel),
- Nickel(II)-sulfat und Nickel(II)-chlorid (in der Galvanik zum Vernickeln),
- Nickel(II)-oxid (Haftmittel, Färbemittel in der Keramik- und Glasindustrie, bei der Emailleherstellung und bei der Elektrodenherstellung).

2.1.1 Nickeltetracarbonyl

Nickeltetracarbonyl ist akut toxisch und nimmt daher unter den Nickelverbindungen eine Sonderstellung ein. Es wird nicht unter der Begrifflichkeit „Nickel und seine Verbindungen“ subsummiert und verfügte lange Zeit über einen eigenen Grenzwert. In Tierversuchen erwies sich Nickeltetracarbonyl als krebserzeugend (K 2). Nickeltetracarbonyl ist eine farblose Flüssigkeit mit einem sehr niedrigen Siedepunkt von ca. 42 °C. Diese Eigenschaft erfordert bei Probenahme und Analyse eine gänzlich andere Vorgehensweise als bei den übrigen Nickelverbindungen.

Industrielle Anwendung findet Nickeltetracarbonyl bei der Herstellung von Reinstnickel nach dem Mond-Verfahren (thermische Zersetzung von Nickeltetracarbonyl zu Nickel und Kohlenmonoxid, siehe Abschnitt 6.5.1), häufig als Katalysator und Ausgangsprodukt für andere metallorganische Nickelverbindungen. An der Luft kann es sich selbst entzünden.

3 Gesetzliche Regelungen: Historische Entwicklung und aktueller Stand

3.1 KMR-Einstufung

Nickelmetall und zahlreiche Nickelverbindungen sind als krebserzeugend, keimzellmutagen (erbgutverändernd) und reproduktionstoxisch (fortpflanzungsgefährdend) (KMR) sowie als haut- und atemwegssensibilisierend eingestuft. 1970 wurde die erste Liste mit krebserzeugenden Stoffen als Nr. 5 des Anhangs zur Werte-Liste der Maximalen Arbeitsplatz Konzentration (MAK) [18] veröffentlicht. In den Vorbemerkungen wurde darauf hingewiesen, dass die Liste Stoffe enthält, die a) beim Menschen erfahrungsgemäß Krebs zu verursachen vermögen oder b) sich im Tierversuch als krebserzeugend erwiesen haben.

Eine Unterteilung der Liste in a)- und b)-Stoffe erfolgte erstmals 1971, jetzt als Nr. 6 des Anhangs [19]. Seit 1973 wurde die Liste als Abschnitt III mit der Unterteilung in a) und b) geführt [20] und 1976 um die Krebsverdachtsstoffe [21] erweitert. Die neue Einteilung lautete:

- III A1: Stoffe, die beim Menschen erfahrungsgemäß bösartige Geschwülste zu verursachen vermögen,
- III A2: Stoffe, die bislang im Tierversuch sich nach Meinung der Kommission als krebserzeugend erwiesen haben,
- III B: Stoffe mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potenzial.

1981 erschien die Liste erstmals als Teil der Technischen Regel für gefährliche Arbeitsstoffe (TRgA) 900 „MAK-Werte 1981“, die seit 1986 unter der Bezeichnung TRGS 900 fortgeführt wurde. Mit Einführung des Einstufungssystems der Europäischen Union (EU) 1993 wurde die Liste der krebserzeugenden Stoffe zunächst als Anlage 3 der TRGS 500 und ab Juni 1994 als eigenständige TRGS 905 veröffentlicht. 1997 wurden hieraus alle Stoffe herausgenommen, deren EU-Einstufung nach Anhang I der Richtlinie 67/548/EWG identisch mit der nationalen Bewertung war sowie Stoffe, die im § 35 GefStoffV namentlich aufgeführt waren – sogenannte legal eingestufte Stoffe. Die nationale Gültigkeit der EU-Einstufungen ergibt sich aus einem gleitenden Verweis in der GefStoffV. Seit 1997 ist die TRGS 905 als nationale Ergänzung der verbindlichen EU-Einstufungen anzusehen und ist bei der Festlegung von Arbeitsschutzmaßnahmen zu beachten. Die Kategorien nach Anhang VI der Richtlinie 67/548/EWG lauteten:

- K 1: Stoffe, die auf den Menschen bekanntermaßen krebserzeugend wirken. Der Kausalzusammenhang zwischen der Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff und der Entstehung von Krebs ist ausreichend nachgewiesen.
- K 2: Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen angesehen werden sollten. Es bestehen hinreichende Anhaltspunkte zu der Annahme, dass die Exposition eines Menschen gegenüber dem Stoff Krebs erzeugen kann. Diese Annahme beruht im Allgemeinen auf geeigneten Langzeit-Tierversuchen oder sonstigen relevanten Informationen.
- K 3: Stoffe, die wegen möglicher krebserregender Wirkung beim Menschen Anlass zur Besorgnis geben, über die jedoch ungenügend Informationen für eine befriedigende Beurteilung vorliegen. Aus geeigneten Tierversuchen liegen einige Anhaltspunkte vor, die jedoch nicht ausreichen, um einen Stoff in Kategorie 2 einzustufen.

Anfang 2009 wurde der Anhang I der Richtlinie 67/548/EWG aufgehoben und durch den Anhang VI der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 (CLP-Verordnung, CLP: Classification, Labelling and Packaging) ersetzt [22]. Die Regelungen der Verordnung zur Einstufung von Stoffen und Gemischen gelten seit dem 1. Juni 2015 vollständig.

- Kategorie 1A: Stoffe, die bekanntermaßen beim Menschen karzinogen sind; die Einstufung erfolgt überwiegend aufgrund von Nachweisen beim Menschen.
- Kategorie 1B: Stoffe, die wahrscheinlich beim Menschen karzinogen sind; die Einstufung erfolgt überwiegend aufgrund von Nachweisen bei Tieren.
- Kategorie 2: Verdacht auf karzinogene Wirkung beim Menschen.

Tabelle 1 zeigt die historische Entwicklung der KMR-Einstufungen für Nickel und seine Verbindungen. Die aktuellen Einstufungen der verschiedenen Nickelverbindungen nach Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 [22] und nach TRGS 905 [23] sowie TRGS 907 [24] können der GESTIS-Stoffdatenbank unter www.dguv.de/ifa/Gestis/GESTIS-Stoffdatenbank/index.jsp, der Gefahrstoffliste des Instituts für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA) unter www.dguv.de/ifa/publikationen/reports-download/reports-2020/ifa-report-2-2020/index.jsp oder der KMR-Liste unter www.dguv.de/ifa/Fachinfos/KMR-Liste/index.jsp entnommen werden.

Tabelle 1:

Nickel und seine Verbindungen – Einstufung als krebserzeugend, keimzellmutagen und reproduktionstoxisch

| Jahr | Historische Entwicklung | |
|---|---|--|
| | Einstufung ¹ – Abschnitt | Quelle ² |
| Nickel und seine Verbindungen | | |
| 1971 | Anhang Nr. 6a (Nickel, metallisch, und seine anorganischen Verbindungen) | AS 1971, S. 255 |
| 1972 | Anhang Nr. 6a (Nickel in Form von atembaren Stäuben von Nickelmetall, Nickelsulfid und sulfidischer Erze, Nickeloxid und Nickelcarbonat, wie sie bei der Herstellung und Weiterverarbeitung auftreten können) | AS 1972, S. 387 |
| 1973 | III a | AS 1973, S. 372 |
| 1976 | III A1 | AS 1976, S. 369 |
| 1993 | Nickeloxid, -dioxid, -sulfid: K1 Nickelmetall, -carbonat, -dihydroxid, -sulfat: K3 | Bundesanzeiger (1993) Nr. 229a ³ |
| 1999 | Zusätzlich Nickelacetat, -chlorid, -sulfat und lösliche Nickelsalze: K1 | TRGS 905 BArbBl. (1999) Nr. 9, S. 62 |
| 2008 | Zahlreiche Nickelverbindungen werden in K1 eingestuft, viele davon zusätzlich in M3 und R _E 2 | Richtlinie 2008/58/EG ⁴ , ABl. EG (2008) L 246, S. 1 Richtlinie 2009/2/EG ⁴ , ABl. EG (2009) L 11, S. 6 |
| 2009 | Ab 2009 werden die neuen Bezeichnungen K1A bzw. M2 und R ₀ 1B nach der CLP-Verordnung eingeführt. Nickelmetall ist seitdem in die neue Kategorie K2 eingestuft; Nickelverbindungen sind in die neue Kategorie K1A und ggf. zusätzlich noch in M2 und RD1B eingestuft. ⁶ | ABl. EG (2008) L 353, S. 1 Verordnung (EG) 1272/2008 ABl. EG (2009) L 235, S. 1 Verordnung (EG) 790/2009 ⁵ |
| Nickeltetracarbonyl (Nickelcarbonyl) | | |
| 1971 | Anhang Nr. 6b | AS 1971, S. 255 |
| 1973 | III b | AS 1973, S. 372 |
| 1976 | III A2 | AS 1976, S. 369 |
| 1993 | K3, R _E 2 | Bundesanzeiger (1993) Nr. 229a ³ |
| 2009 | K2, R ₀ 1B | ABl. EG (2009) L 235, S. 1 Verordnung (EG) 790/2009 ⁵ |
| Nickelverfahren | | |
| 1990 | Als karzinogen sind eingestuft: Arbeiten, bei denen die betreffenden Arbeitnehmer Staub, Rauch oder Nebel beim Rösten oder bei der elektrolytischen Raffination von Nickelmatte ausgesetzt sind. | Richtlinie 90/394/EWG; ABl. EG (1990) L 196, S. 1 ab 2004; Richtlinie 2004/37/EG; ABl. EG (2004) L 158, S. 50 |
| 1993 | | GefStoffV § 35; BGBl. (1993) I Nr. 57, S. 1782 |
| 2005 | Tätigkeiten oder Verfahren, bei denen Beschäftigte Staub, Rauch oder Nebel beim Rösten oder bei der elektrolytischen Raffination von Nickelmatte ausgesetzt sind. | ab 2005 nur noch TRGS 906; BArbBl. (2005) Nr. 7, S. 79 |

1 K: krebserzeugend; M: keimzellmutagen, früher: erbgutverändernd; R_E: reproduktionstoxisch (entwicklungsschädigend), früher: fruchtschädigend; R₀: reproduktionstoxisch (entwicklungsschädigend)

2 AS: Bundesarbeitsblatt, Beilage Arbeitsschutz

3 Bekanntmachung nach § 4a GefStoffV: Bekanntmachung der Liste der gefährlichen Stoffe und Zubereitungen nach § 4a der GefStoffV. Hierdurch erfolgte bis 1997 die Übernahme von EU-Einstufungen in das nationale Recht.

4 30. und 31. Anpassung der Stoffrichtlinie 67/548/EWG

5 Anpassungsverordnung zur Verordnung (EG) 1272/2008 (CLP)

6 Eine komplette Zusammenstellung der Nickelverbindungen mit ihren EU-Einstufungen findet sich in Verordnung 2018/669: Anhang VI der CLP-Verordnung oder in [26] und [27].

Aufgrund der Einstufung von Nickelverbindungen als krebserzeugend in die Kategorie 1A sind Arbeitgebende nach § 14 GefStoffV verpflichtet, ein Verzeichnis der gegenüber krebserzeugenden Nickelverbindungen exponierten Beschäftigten zu führen, sofern die Gefährdungsbeurteilung nach § 6 GefStoffV eine Gefährdung der Gesundheit oder der Sicherheit der Beschäftigten ergibt. Das Nähere regelt Abschnitt 4 der TRGS 410 [25]. Das Verzeichnis muss Angaben zur Höhe und Dauer der Exposition enthalten und 40 Jahre aufbewahrt werden. Weitere Hinweise zur Umsetzung der Bestimmungen in der Praxis enthält die TRGS 410 [25]. Alternativ können Arbeitgebende auf das Angebot der DGUV zurückgreifen und das Verzeichnis in der Expositionsdatenbank ZED [13] führen.

3.2 Konzentrationsgrenzen

1980 wurde im Anhang II Nr. 1 der Arbeitsstoffverordnung eine Liste mit krebserzeugenden Arbeitsstoffen aufgenommen, für die besondere Vorschriften galten. In Abhängigkeit vom krebserzeugenden Potenzial der Stoffe erfolgte die Zuordnung von Gemischen (Zubereitungen) unter Angabe von stoffabhängigen Konzentrationsgrenzen in Gewichtsprozent (Gew.-%) zu folgenden drei Gruppen:

- Gruppe I: sehr stark gefährdend
- Gruppe II: stark gefährdend
- Gruppe III: gefährdend

Nickeltetracarbonyl war in dieser Verordnung mit einer Konzentrationsgrenze von ≥ 1 Gew.-% in die Gruppe II und mit 0,1 bis < 1 Gew.-% in Gruppe III eingeordnet. Nickel in Form atembare Stäube von Nickelmetall, Nickelsulfid und sulfidischen Erzen, Nickeloxid und Nickelcarbonat sowie Nickelverbindungen in Form atembare Tröpfchen wurden mit einer Konzentrationsgrenze von ≥ 5 Gew.-% in die Gruppe II und mit 0,5 bis < 5 Gew.-% in Gruppe III eingeordnet. Ergänzungen des Anhangs II der Arbeitsstoffverordnung erfolgten ab November 1983 über die TRGS 910 „Begründungen für die Einstufung der krebserzeugenden Arbeitsstoffe in die Gruppen I, II oder III der Liste des Anhangs II Nr. 1.1.1 Arbeitsstoffverordnung“ bzw. entsprechende Bekanntmachungen des Ministeriums. Ab März 1988 wurde die Liste in der TRGS 500 „Schutzmaßnahmen beim Umgang mit krebserzeugenden Gefahrstoffen, die nicht im Anhang II der Gefahrstoffverordnung aufgeführt sind – Zuordnung zu den Gefährdungsgruppen“

ergänzend zur TRGS 910 fortgeführt. Mit der neu gefassten Gefahrstoffverordnung von 1993 trat das Einstufungssystem der Richtlinie 67/548/EWG in Kraft, das zu einer Aufhebung der Gefährdungsgruppen führte. Die Aufhebung der TRGS 500 erfolgte im Juni 1994.

Für Gemische, die als K1 bzw. K1A eingestufte Nickelverbindungen enthalten, gilt seit 1993 für eine Einstufung als krebserzeugend nach Richtlinie 67/548/EWG bzw. CLP-Verordnung [22] die allgemeine Konzentrationsgrenze von 0,1 Gew.-%. Für metallisches Nickel, Nickellegierungen und die ebenfalls in K2 eingestuften Nickelverbindungen gilt die allgemeine Konzentrationsgrenze von ≥ 1 Gew.-%.

3.3 Begründungen zur Einstufung

Bis 1983 beruhten die Einstufungen auf Empfehlungen der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsgefährlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und die entsprechenden Begründungen konnten in der Loseblattsammlung „Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe. Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten“ nachgelesen werden. Danach erstellten der Ausschuss für gefährliche Arbeitsstoffe (AgA) und später der Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) im Auftrag des zuständigen Ministeriums eigenständige Begründungen für die Einstufung und veröffentlichten diese im technischen Regelwerk. Für Nickeltetracarbonyl, Nickel (in Form atembare Stäube von Nickelmetall, Nickelsulfid und sulfidischen Erzen, Nickeloxid und Nickelcarbonat) sowie Nickelverbindungen in Form atembare Tröpfchen erschien 1983 eine Begründung Nr. 26 (BArbBl. (1983) Nr. 11, S. 33-47) in der TRGS 910 „Begründungen für die Einstufung der krebserzeugenden Gefahrstoffe in die Gruppen I, II oder III der Liste des Anhangs II Nr. 1.1 Gefahrstoffverordnung“ im Bundesarbeitsblatt, die 2001 aufgehoben wurde.

Aktuelle MAK-Begründungen sind kostenlos online erhältlich unter: <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/3527600418/topics>

3.4 Verbote und Beschränkungen

Verbote und Beschränkungen für Nickelverbindungen sind in **Tabelle 2** aufgeführt.

Tabelle 2:
Verbote und Beschränkungen für Nickel und seine Verbindungen

| Vorschrift/Regel | Bemerkungen |
|---|---|
| 1994 | |
| Richtlinie 94/27/EG Anpassung der Richtlinie 76/769/EWG Anhang Nr. 28 | Nickel und seine Verbindungen sind nicht zugelassen: <ol style="list-style-type: none"> 1. in Stäben, die während der Epithelisation der beim Durchstechen verursachten Wunde in durchstochene Ohren oder andere durchstochene Körperteile eingeführt werden, und zwar unabhängig davon, ob die Stäbe später wieder entfernt werden; ausgenommen sind Stäbe, die homogen sind und deren Nickelkonzentration – ausgedrückt als Masse Nickel der Gesamtmasse – unter 0,05 % liegt 2. in Produkten, die unmittelbar und länger mit der Haut in Berührung kommen, wie Ohr-ringen, Halsketten, Armbändern und Ketten, Fußringen und Fingerringen, Armbanduhre-häusen, Uhrarmbändern und Spannern, Nietknöpfen, Spangen, Nieten, Reißverschlüssen und Metallmarkierungen, wenn sie in Kleidungsstücken verwendet werden, sofern die Nickelfreisetzung von den Teilen dieser Produkte, die unmittelbar und länger mit der Haut in Berührung kommen, 0,5 µg/cm²/Woche übersteigt 3. in Produkten wie unter Nummer 2 aufgeführt, die eine Nichtnickelbeschichtung haben, es sei denn, diese Beschichtung reicht aus, um sicherzustellen, dass die Nickelfreisetzung von den Teilen solcher Produkte, die unmittelbar und länger mit der Haut in Berührung kommen, 0,5 µg/cm²/Woche für einen Zeitraum von mindestens zwei Jahren normaler Verwendung des Produkts nicht übersteigen Ferner dürfen Produkte, für die die Nummern 1, 2 und 3 gelten, nicht in Verkehr gebracht werden, wenn sie nicht den Bestimmungen dieser Nummern entsprechen |
| 2004 | |
| Richtlinie 2004/96/EG Anpassung der Richtlinie 76/769/EWG | Nummer 1 erhält folgende Fassung: in allen Erststeckern, die in durchstochene Ohren oder andere durchstochene Körperteile eingeführt werden, sofern nicht die Rate der Nickelabgabe aus solchen Erststeckern weniger als 0,2 µg/cm ² /Woche (Freisetzungsgrenzwert) beträgt |
| 2006 | |
| Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (REACH) Anhang XVII Nr. 27 | Die Verordnung ist unmittelbar geltendes Recht und bedarf keiner nationalen Umsetzung. <ol style="list-style-type: none"> 1. Nickel und seine Verbindungen dürfen nicht verwendet werden: <ol style="list-style-type: none"> a) in sämtlichen Stäben, die in durchstochene Ohren oder andere durchstochene Körperteile eingeführt werden, außer wenn die Nickelabgabe aus solchen Stäben unter 0,2 µg/cm²/Woche liegt (Migrationslimit), b) in Erzeugnissen, die unmittelbar und länger mit der Haut in Berührung kommen, wie zum Beispiel: Ohr-ringen, Halsketten, Armbändern und Ketten, Fußringen und Fingerringen, Armbanduhre-häusen, Uhrarmbändern und Spannern, Nietknöpfen, Spangen, Nieten, Reißverschlüssen und Metallmarkierungen, wenn sie in Kleidungsstücken verwendet werden, sofern die Nickelfreisetzung von den Teilen dieser Erzeugnisse, die unmittelbar und länger mit der Haut in Berührung kommen, 0,5 µg/cm²/Woche übersteigt, c) in den in Buchstabe b aufgeführten Erzeugnissen, die eine Nichtnickelbeschichtung haben, es sei denn, diese Beschichtung reicht aus, um sicherzustellen, dass die Nickel-freisetzung von den Teilen solcher Erzeugnisse, die unmittelbar und länger mit der Haut in Berührung kommen, 0,5 µg/cm²/Woche für einen Zeitraum von mindestens zwei Jahren normaler Verwendung des Erzeugnisses nicht übersteigen. 2. Erzeugnisse, für die Absatz 1 gilt, dürfen nicht in Verkehr gebracht werden, wenn sie nicht den Bestimmungen dieses Absatzes entsprechen. 3. Zum Nachweis der Vereinbarkeit der Erzeugnisse mit Absatz 1 und 2 sind als Test-methoden die vom Europäischen Komitee für Normung (CEN) verabschiedeten Normen zu verwenden. |

3.5 Grenzwerte und andere Beurteilungsmaßstäbe

3.5.1 MAK und TRK

Bereits die erste Liste mit MAK-Werten von 1958 [28] enthielt einen MAK-Wert für Nickeltetracarbonyl in Höhe von $0,7 \text{ mg/m}^3$ ($0,1 \text{ ml/m}^3$). Dieser wurde 1980 ausgesetzt. Ab 1983 galt bis zu ihrer Aufhebung 1995 eine TRK in gleicher Höhe. Die Aufhebung erfolgte nach einer Überprüfung der TRK mit dem Ergebnis, dass der Stoff nur noch eine geringe technische Bedeutung hatte. Nickeltetracarbonyl fiel nur noch in einem Betrieb als Nebenprodukt bei der Herstellung von Eisencarbonyl an. Dort wurde es nicht mehr isoliert und abgefüllt, sondern direkt in der Anlage im geschlossenen System in einem Reaktor zu Nickel zerlegt [29].

Die erste TRK für Nickel und seine Verbindungen (ausgenommen Nickeltetracarbonyl) wurde 1977 festgelegt [30]. Die in den nachfolgenden Jahren erfolgten Änderungen im Geltungsbereich des Grenzwertes können **Tabelle 3** entnommen werden. TRK erschienen zunächst in der TRgA (später TRGS) 102 „Technische Richtkonzentrationen (TRK) für gefährliche Arbeitsstoffe“ und ab 1997 ausschließlich in der TRGS 900 „Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz – Luftgrenzwerte“. Die entsprechenden Begründungen wurden im Anhang zur TRGS 102 und ab 1997 in der TRGS 901 „Begründungen und Erläuterungen zu Grenzwerten in der Luft am Arbeitsplatz“ veröffentlicht [31].

Hinsichtlich der Anwendung des Nickelgrenzwertes bei Tätigkeiten mit Nickellegierungen wurde 1997 folgende Vorgehensweise in einem Erläuterungspapier (Nr. 78 „Nickelkonvention“) [32] zur TRGS 901 festgelegt:

„Bis zum Vorliegen neuer Erkenntnisse wird hinsichtlich einer einheitlichen Vorgehensweise bei der Beurteilung von Arbeitsplätzen mit einer Exposition gegenüber Nickel und/oder Nickeloxiden bei der Herstellung, Be- und Verarbeitung von Nickellegierungen folgende Vorgehensweise empfohlen: Für folgende Arbeitsverfahren ist der MAK-Wert

von $0,5 \text{ mg/m}^3$ für Nickelmetall zur Beurteilung heranzuziehen.

- *Schleifen und Polieren von Legierungen mit Ni-Gehalt $\leq 80 \%$*
- *Walzen von Legierungen mit Ni-Gehalt $\leq 80 \%$*
- *Schmelzen und Gießen von Legierungen mit Ni-Gehalt $\leq 80 \%$*

Werden Legierungen mit einem höheren Ni-Gehalt eingesetzt, ist das Messergebnis mit der TRK von $0,5 \text{ mg/m}^3$ für Nickeloxid (als Ni berechnet) zu beurteilen. Darüber hinaus gelten die Vorschriften des 6. Abschnittes der GefStoffV. Auch nickelmetallhaltige Überzüge und Beschichtungen sind wie Legierungen mit einem Ni-Gehalt $> 80 \%$ zu behandeln. Für folgende Arbeitsverfahren ist der TRK-Wert von $0,5 \text{ mg/m}^3$ für Nickeloxid (als Ni berechnet) zur Beurteilung heranzuziehen:

- *Schweißen (Elektroden oder Draht) und thermisches Schneiden mit bzw. von Legierungen mit Ni-Gehalt $\leq 5 \%$*
- *Metallspritzen von Legierungen mit Ni-Gehalt $\leq 5 \%$*

Bei Legierungen mit einem Nickelgehalt $< 5 \%$ ist die MAK von $0,5 \text{ mg/m}^3$ für Nickelmetall heranzuziehen.“

TRK wurden zunächst als Jahresmittelwerte festgelegt [30]. Bei der Messung von Stoffen mit TRK war die in der TRgA 401 Blatt 1 beschriebene Messstrategie heranzuziehen [33]. 1986 erfolgte über die TRGS 402 eine Umstellung auf 8-Stunden-Mittelwerte und somit eine Angleichung an die Vorgehensweise der Europäischen Kommission (Aufhebung der TRgA 401 Blatt 1) [34].

Die TRK-Werte (**Tabelle 3**) für Nickel und seine Verbindungen galten bis Ende 2004. Mit Inkrafttreten der neu gefassten Gefahrstoffverordnung vom 1. Januar 2005 und der Einführung von Arbeitsplatzgrenzwerten (AGW) wurde den technikbasierten Grenzwerten nach dem TRK-Konzept die rechtliche Grundlage entzogen [31]. Für Nickel oder Nickelverbindungen waren zwischen 2005 und 2015 bzw. 2017 keine Luftgrenzwerte festgelegt.

Tabelle 3:
Beurteilungsmaßstäbe für Nickel und seine Verbindungen

| Geltungsbereich | Wert in mg/m ³ | Jahr, Art | Quelle MAK-Werte/TRgA/TRGS 102/900 |
|--|---|--------------------------|---|
| Nickel und seine Verbindungen (Ausnahme Nickeltriacarbonyl) | | | |
| Nickelelektrolyse und galvanische Bäder (im Gesamtstaub) | 0,05 ¹ | 1977, TRK | BArbBl. Arbeitsschutz (1977), S. 128 |
| im Übrigen (im Gesamtstaub) | 0,5 ¹ | | |
| in Form atembare Stäube und Rauche (im Gesamtstaub) | 0,5 ¹ | 1985, TRK | BArbBl. (1985) Nr. 10, S. 68 |
| in Form atembare Tröpfchen | 0,05 ^{1,2} | | |
| Nickel als | | | |
| Nickelmetall, -sulfid und sulfidische Erze, Nickel- oxid und -carbonat | 0,5 E ¹ | 1987, TRK | BArbBl. (1987) Nr. 9, S. 41 |
| Nickelverbindungen in Form atembare Tröpfchen | 0,05 E ¹ | | |
| Nickelmetall und -carbonat | 0,5 E ¹ | 1994, MAK | BArbBl. (1994) Nr. 6, S. 49 |
| Nickeloxid, -sulfid und sulfidische Erze | 0,5 E ¹ | TRK | Erläuterung Nr. 78 zur „Anwendung der Luftgrenzwerte bei Herstellung, Be- und Verarbeitung von Nickellegierungen“ |
| Nickelverbindungen in Form atembare Tröpfchen | 0,05 E ¹ | TRK | BArbBl. (1997) Nr. 4, S. 53 |
| Nickelmetall und -carbonat | aufgehoben | 2004 | |
| Nickeloxid, -sulfid und sulfidische Erze | | | |
| Nickelverbindungen in Form atembare Tröpfchen | | | |
| Nickelmetall | 0,006 A ¹ 0,03 E ¹ | 2015, AGW | GMBL. (2015) Nr. 60, S. 1187 |
| | | 2018, AGW | GMBL. (2018) Nr. 28, S. 542 |
| Nickelverbindungen, die als krebserzeugend K 1A oder K 1B eingestuft sind | 0,006 A ¹ | 2017, AK/TK ³ | GMBL. (2017) Nr. 43, S. 782 |
| Nickelverbindungen | 0,03 E ¹ | 2018, AGW | GMBL. (2018) Nr. 28, S. 542 |
| Nickeltriacarbonyl | | | |
| Nickeltriacarbonyl | 0,7 | 1958, MAK | BArbBl. Arbeitsschutz (1958), S. 223, gül- tig bis 1980: BArbBl. (1980) Nr. 11, S. 92 |
| Nickeltriacarbonyl | 0,7 | 1983, TRK | BArbBl. (1983) Nr. 3, S. 62, Begründung (Nr. 7): BArbBl. (1983) Nr. 3, S. 62 |
| Nickeltriacarbonyl | aufgehoben | 1995 | BArbBl. (1995) Nr. 5, S. 35, Erläuterung (Nr. 7): BArbBl. (1995) Nr. 5, S. 35 |

1 Die Konzentration des Grenzwerts bezieht sich auf den Elementgehalt: E steht für die einatembare Fraktion (alte Bezeichnung „Gesamtstaub“), A steht für die alveolengängige Fraktion (alte Bezeichnung „Feinstaub“)

2 Bezogen auf den gesamten atembaren Anteil

3 AK = Akzeptanzkonzentration, TK = Toleranzkonzentration

3.5.2 AGW, Akzeptanz- und Toleranzkonzentration

Für Nickelmetall wurde 2015 ein AGW von 6 µg/m³ erstmals in der alveolengängigen Fraktion (A-Fraktion) und 2018 zusätzlich ein AGW von 30 µg/m³ in der einatembaren Fraktion (E-Fraktion) in der TRGS 900 [35] veröffentlicht (siehe Tabelle 3). Seit 2018 gilt für Nickelverbindungen nach TRGS 900 ein AGW von 30 µg/m³ (E-Fraktion). Für die krebserzeugenden Nickelverbindungen wurden in der „Begründung zu Nickelverbindungen in der TRGS 910“

ein AGW-analoger Wert (Entzündungswirkung) von 6 µg/m³ (A-Fraktion) und aus der ERB nach TRGS 910 eine Akzeptanzkonzentration (Risiko 4:10 000) von derzeit ebenfalls 6 µg/m³ (A-Fraktion) abgeleitet [36]. Aufgrund der zu berücksichtigenden nicht-krebserzeugenden Wirkungen wurde die Toleranzkonzentration ebenfalls auf 6 µg/m³ (A-Fraktion) festgelegt [36]. Hinweise zur Ermittlung und Beurteilung der Exposition sowie zu Maßnahmen werden in der TRGS 561 [37] gegeben. Die TRGS 900 [35] und 561 [37] enthalten Empfehlungen hinsichtlich einer einheitlichen Vorgehensweise bei der Beurteilung

von Arbeitsplätzen mit einer Exposition gegenüber Nickelmetall und/oder oxidischen Nickelverbindungen bei der Herstellung, Be- und Verarbeitung von Nickellegierungen:

a) Arbeitsverfahren und Tätigkeiten, bei denen der AGW von $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (A-Fraktion) für Nickelmetall zur Beurteilung herangezogen werden kann, da nickelhaltige Stäube entstehen, bei denen nur eine Oberflächenoxidation zu unterstellen ist, sind beispielsweise:

- Nichtmaschinelles Handschleifen oder Nassschleifen von Legierungen ohne „Funkenbildung“,
- Walzen von Legierungen,
- Bohren, Drehen, Fräsen, Bürsten, Polieren, Sägen und mechanisches Schneiden von Legierungen.

Weiterhin ist der AGW für Nickelmetall zur Beurteilung heranzuziehen, wenn durch geeignete Untersuchungen – z. B. Röntgendiffraktion oder negativen Glyoximtest – oder auf Basis einer Literaturrecherche Untersuchungsergebnisse dafür vorgelegt werden können, dass bei der Herstellung sowie der Ver- und Bearbeitung von metallischem Nickel und Nickellegierungen keine als krebserzeugend eingestuft Nickelverbindungen gebildet werden.

b) Arbeitsverfahren, bei denen die Akzeptanzkonzentration von $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (A-Fraktion) für krebserzeugende Nickelverbindungen (als Ni bestimmt) zur Beurteilung herangezogen werden kann, sind beispielsweise:

- Schweißen (Elektroden oder Draht) und thermisches Schneiden mit bzw. von Legierungen,
- Metallspritzen von Legierungen,
- Schmelzen und Gießen von Legierungen,
- Schleifen und Trennen von Legierungen mit „Funkenbildung“.

Diese Empfehlung berücksichtigt die analytischen Möglichkeiten sowie die unterschiedlichen Beurteilungsmethoden und Maßnahmen für Stoffe mit AGW oder Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen nach TRGS 402 [38].

3.5.3 Kurzzeitwerte

Um die Höhe von Konzentrationsschwankungen vom Mittelwert nach oben zu begrenzen, gelten Kurzzeitwerte, die am Arbeitsplatz einzuhalten sind. In der TRGA 102 wurde 1977 ein Überschreitungsfaktor von 3 für die Dauer von maximal einer Stunde pro Schicht für Stoffe mit TRK festgelegt [30]. Mit Erscheinen der TRGA 401 Blatt 1 erfolgte eine Umstellung auf vier Kurzzeitwerte in Abhängigkeit von der Expositionsdauer mit den Faktoren von 2,6 für 1 Stunde, 2,0 für 2 Stunden, 1,7 für 3 Stunden und 1,5 für

4 Stunden [33]. Nach Erscheinen der TRGS 402 im Jahr 1986 hatten TRK zunächst keine spezielle Spitzenbegrenzung; es galt die TRGS 402 Abschnitt 3.10 „Verkürzte Exposition“. Bei Expositionen < 1 Stunde durfte das Achtfache des Grenzwertes nicht überschritten werden. Im Zeitraum von Juni 1994 bis September 1996 lag der Überschreitungsfaktor dann bei $5 \times \text{TRK}$ über 15 Minuten (fünfmal pro Schicht) und von Oktober 1996 bis zur Aufhebung im Dezember 2004 bei $4 \times \text{TRK}$ als Mittelwert über 15 Minuten, wobei die Dauer der erhöhten Exposition während der Schicht eine Stunde nicht übersteigen durfte.

Der AGW für Nickelmetall (E- und A-Fraktion) wurde zur Begrenzung von Expositionsspitzen mit einem Überschreitungsfaktor von 8 (II) belegt. Dies gilt auch für den AGW für Nickelverbindungen in der E-Fraktion [35]. Die betriebliche Überwachung soll durch messtechnische Mittelwertbildung über 15 Minuten erfolgen, z. B. durch eine 15-minütige Probenahme. Bei Stoffen der Kurzzeitwert-Kategorie II sind auch längere Überschreitungsdauern zulässig. Das Produkt aus stoffspezifischem Überschreitungsfaktor und der Basisüberschreitungsdauer (8×15 Minuten) stellt in diesem Fall den Maximalwert dar, der am Arbeitsplatz eingehalten werden muss. Ausgehend von diesem Maximalwert können dann die höchstzulässigen individuellen Überschreitungsfaktoren für verschiedene Kurzzeitwertphasen ermittelt werden. Für die Intervalle zwischen den Perioden mit einer Konzentration als 15-Minuten-Mittelwert oberhalb des Grenzwertes (Kurzzeitwertphase) ist ein Zeitraum von einer Stunde anzustreben. Insgesamt sind vier Kurzzeitwertphasen innerhalb einer Schicht zulässig.

Für die 2017 veröffentlichte Toleranzkonzentration von $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (A-Fraktion) gilt zur Begrenzung von Expositionsspitzen ein Überschreitungsfaktor von 8. Die Beurteilung von Expositionsspitzen erfolgt entsprechend Kurzzeitwert-Kategorie II der TRGS 900. Ein Mindestzeitraum zwischen den Kurzzeitwertphasen wurde nicht festgelegt. Die vier Kurzzeitwertphasen können also auch direkt aufeinander folgen. Die Akzeptanzkonzentration für krebserzeugende Nickelverbindungen ist ausschließlich als Schichtmittelwert festgelegt. Konzentrationswerte für die Beurteilung von Expositionsspitzen in der Luft am Arbeitsplatz sind aus Sicht des AGS fachlich nicht notwendig und werden daher nicht festgelegt.

3.6 Anlässe für arbeitsmedizinische Vorsorge und Vorsorgeuntersuchungen

1982 veröffentlichte das BMA in der Bekanntmachung BArbBl. (1982) Nr. 9, S. 99 folgende Werte für die Auslösung von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen:

- Nickel in Form atembare Stäube von Nickelmetall, -sulfid und sulfidischen Erzen, Nickeloxid und -carbonat: 0,25 mg/m³ E (als Ni),
- Nickelverbindungen in Form atembare Tröpfchen: 0,05 mg/m³ E (als Ni).

Diese wurden im April 1986 (BArbBl. 1986 Nr. 4, S. 72) durch die TRgA 134 „Auslöseschwelle für Nickel und seine Verbindungen (ausgenommen Nickeltetracarbonyl)“ mit folgenden Werten für die Auslöseschwelle abgelöst:

Exposition über die Schicht:

- in Form atembare Stäube und Rauche: 0,25 mg/m³ E (als Ni),
- in Form atembare Tröpfchen: 0,025 mg/m³ E (als Ni für den gesamten atembaren Anteil).

Kurzzeitige Exposition (bis 0,5 h):

- in Form atembare Stäube und Rauche: 1,5 mg/m³ E (als Ni),
- in Form atembare Tröpfchen: 0,15 mg/m³ E (als Ni für den gesamten atembaren Anteil).

Die angegebenen Konzentrationen durften als alleiniges Beurteilungskriterium nur dann herangezogen werden, wenn keine Gesundheitsgefährdung durch Aufnahme über die Haut bestand. Die TRgA 134 galt bis zum März 1990. Bereits im November 1986 wurden jedoch die stoffspezifischen Konzentrationswerte der TRgA 134 wieder aufgehoben und durch die Bestimmungen der TRGS 100 „Auslöseschwelle für gefährliche Stoffe“ von November 1986 ersetzt. Diese enthielt folgende Regelungen für krebserzeugende Stoffe:

- Bei krebserzeugenden Stoffen ist die Auslöseschwelle überschritten, wenn der TRK-Wert nicht dauerhaft sicher eingehalten⁴ ist.
- Für krebserzeugende Stoffe der Gruppe I, für die kein TRK-Wert festgesetzt ist, ist die Auslöseschwelle überschritten, wenn eine Exposition nicht sicher ausgeschlossen werden kann.

Die Regelung zur Auslöseschwelle wurde im Juli 1995 durch die TRGS 101 „Begriffsbestimmungen“ neu gefasst und die TRGS 100 wurde aufgehoben. Die Überschreitung der Auslöseschwelle war nun an die Überschreitung des

Grenzwertes gebunden, bei gesplitteten Grenzwerten an den unteren Wert. Mit der GefStoffV in der Fassung Dezember 2004 entfiel die Auslöseschwelle. Von 2005 bis 2013 waren arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen durchzuführen, wenn ein AGW nicht eingehalten wurde oder, soweit die genannten Gefahrstoffe hautresorptiv sind, eine Gesundheitsgefährdung durch direkten Hautkontakt bestand. Sie waren anzubieten, wenn eine Exposition vorlag. Die Regelungen wurden Ende 2008 in dieser Form von der GefStoffV in die Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) überführt [39]. Seitdem wurde nach zu veranlassenden Vorsorgeuntersuchungen, ohne die die gefährdende Tätigkeit nicht ausgeübt werden darf (Pflichtuntersuchungen), und nach Anlässen für das Angebot von Vorsorgeuntersuchungen (Angebotsuntersuchungen) unterschieden. Seit der Novellierung der ArbMedVV im Jahr 2013 sind lediglich noch Kriterien für die Veranlassung einer Vorsorge (Pflichtvorsorge) und für das Angebot einer Vorsorge (Angebotsvorsorge) festgelegt. Die Vorsorge beinhaltet als Voraussetzung für eine entsprechende Bescheinigung obligat die arbeitsmedizinische Erhebung der Krankheits- und Arbeitsanamnese sowie eine ärztliche Beratung des Versicherten. Die Durchführung von Untersuchungen einschließlich Biomonitoring kann vom Beschäftigten abgelehnt werden (siehe Abschnitt 4.6) [39].

3.7 EKA-Werte

Die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG hat für Nickel und seine Verbindungen EKA-Korrelationen (EKA: Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe) aufgestellt (Tabelle 4 und Tabelle 5).

Tabelle 4:

EKA-Korrelation für Expositionen gegenüber leichtlöslichen Nickelverbindungen (wie Nickelacetat und vergleichbare lösliche Salze, Nickelchlorid, Nickelsulfat). Quelle: DFG, MAK- und BAT-Werte-Liste 2019, 2020 zurückgezogen [42]

| Nickelkonzentration in der Luft, gemessen in der E-Fraktion in µg/m ³ | Nickelkonzentration im Urin in µg/l* |
|--|--------------------------------------|
| 25 | 25 |
| 50 | 40 |
| 100 | 70 |

* Probenahmezeitpunkt: Bei Langzeitexposition nach mehreren vorangegangenen Schichten

⁴ Der Begriff „dauerhaft sichere Grenzwerteinhaltung“ war in früheren Fassungen der TRGS 402 definiert. Diese war gegeben, wenn das Messergebnis einer Gefahrstoffmessung kleiner als 1/10 des Gefahrstoffgrenzwertes war oder die Messwerte aus mindestens drei Messungen jeweils unter 1/4 des Grenzwertes lagen.

Tabelle 5:

EKA-Korrelation für Expositionen gegenüber schwerlöslichen Nickelverbindungen (Nickelmetall, -oxid, -carbonat, -sulfid, sulfidische Erze). Quelle: DFG, MAK- und BAT-Werte-Liste 2020 [42]

| Nickelkonzentration in der Luft, gemessen in der E-Fraktion in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ | Nickelkonzentration im Urin in $\mu\text{g}/\text{l}^*$ |
|---|---|
| 100 | 15 |
| 300 | 30 |
| 500 | 45 |

* Probenahmezeitpunkt: Bei Langzeitexposition nach mehreren vorangegangenen Schichten

Diese beschreiben Beziehungen zwischen der Konzentration in der Luft am Arbeitsplatz und der Konzentration im Urin [40; 41]. Die EKA-Werte wurden bis 1993 in der damaligen TRGS 900 veröffentlicht. Aktuelle EKA-Werte findet man in der Liste der MAK- und BAT-Werte (BAT: Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte) unter <https://series.publisso.de/en/pgseries/overview/mak/lmbv/curlssue>. Während die in Tabelle 5 genannten Korrelationen für Expositionen gegenüber schwerlöslichen Nickelverbindungen weiterhin gültig sind, wurden die in Tabelle 4 genannten Werte für leichtlösliche Nickelverbindungen 2020 von der DFG zurückgezogen [42].

3.8 Regelungen der ehemaligen DDR

3.8.1 Grenzwerte und Einstufungen

In der ehemaligen DDR hatten krebserzeugende Stoffe einen arbeitsmedizinisch begründeten MAK-Wert sowohl für die Dauerkonzentration (MAK_D) über 8 $\frac{3}{4}$ Stunden als auch für die Kurzzeitkonzentration (MAK_K) über 30 Minuten. Heute würde man MAK_D als Schichtwert und MAK_K als Kurzzeitwert bezeichnen.

Die Grenzwerte der ehemaligen DDR für Nickel und seine Verbindungen seit 1977 mit den Hinweisen auf eine krebserzeugende Wirkung sind in **Tabelle 6** genannt.

3.8.2 Regelungen zum Umgang mit krebserzeugenden Arbeitsstoffen

In den DDR-Standard TGL 32610/01 [43] (TGL: Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen) ist im Abschnitt 3 „Forderungen für den Umgang mit Stoffen der Wirkungsqualitäten C1 und C2“ Folgendes ausgeführt:

„3.1. Die Verwendung von Stoffen der Wirkungsqualitäten C1 und C2 nach TGL 32610/02 ist soweit wie möglich einzuschränken. Für die Arbeit mit diesen Stoffen sind Bedingungen anzustreben, die eine Exposition von Werktätigen vollständig ausschließen.“

3.2. Der Betriebsleiter hat den Nachweis zu erbringen, dass die Herstellung oder Verwendung von Stoffen der Wirkungsqualität C1 aus technischen oder technologischen Gründen notwendig und ein Ersatz durch andere, weniger gefährliche Stoffe nicht möglich ist. Der Nachweis ist dem Inspektionsorgan in Abständen von zwei Jahren vorzulegen, soweit nicht andere Fristen vom Inspektionsorgan festgelegt werden. Die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Anwendung von Stoffen der Wirkungsqualität C1 oder Zubereitungen daraus mit einem Massegehalt von $\geq 1\%$ bedürfen der Zustimmung durch das Inspektionsorgan.

3.3. Die Herstellung, das Inverkehrbringen und die Anwendung von Stoffen der Wirkungsqualität C2 oder Zubereitungen daraus mit einem Massegehalt $\geq 1\%$ sind dem Inspektionsorgan zu melden.

3.4. Behältnisse, in denen Stoffe der Wirkungsqualität C1 bzw. C2 oder Zubereitungen daraus mit einem Massegehalt von $\geq 1\%$ in Verkehr gebracht werden, sind mit der Aufschrift „Enthält ... (Bezeichnung des Stoffes, bei Zubereitungen auch Massegehalt des Stoffes in Prozent), Wirkungsqualität C1 bzw. C2 nach TGL 32610/02“ zu kennzeichnen.

3.5. Die Melde- und Zustimmungspflicht entfällt für die Anwendung von Stoffen der Wirkungsqualität C1 und C2 für medizinische Zwecke, für wissenschaftliche Forschungen sowie für analytische Arbeiten in Laboratorien, ausgenommen ständig wiederkehrende Untersuchungen.“

3.8.3 Sonstige Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen

Für nickelhaltige Produkte lagen in der ehemaligen DDR die in **Tabelle 7** genannten TGL vor. Die Tabelle enthält die TGL, in denen Nickel im Titel genannt wird. Möglicherweise gibt es weitere TGL, die nickelbelastete Tätigkeiten beschreiben. Eine Übersicht aller in der ehemaligen DDR gültig gewesenen TGL ist bei der Bauhaus-Universität Weimar einsehbar unter: www.uni-weimar.de/cms/uni-versitaet/zentrale-einrichtungen/universitaetsbibliothek/recherche/normen/tgl-verzeichnis.html

Tabelle 6:
MAK-Werte für Nickelverbindungen in der ehemaligen DDR von 1977 bis 1990

| Rechtsnorm, Jahr | | Grenzwert | | |
|--|---|---------------------------|------------------|--|
| | | Höhe in mg/m ³ | Typ | Bemerkungen |
| TGL 22310/01, Dezember 1977 verbindlich ab 1. Januar 1979 | Nickeloxide (als NiO) | 0,5 | MAK _D | |
| | | 1,0 | MAK _K | |
| TGL 32610/02, April 1981 verbindlich ab 1. Januar 1982 | Nickel und seine Verbindungen, mit Ausnahme von Nickeltetra- carbonyl (als NiO) | 0,25 | MAK _D | C = Stoff ist krebserzeu- gend oder wahrscheinlich krebserzeugend für den Menschen entsprechend der Internationalen Agentur für Krebsforschung der Weltge- sundheitsorganisation |
| | | 0,5 | MAK _K | |
| | Nickeltetracarbonyl | 0,01 | MAK _D | |
| | | 0,03 | MAK _K | |
| TGL 32610/02, Juli 1989 verbindlich ab 1. März 1990 | Nickel (Staub) und Nickelver- bindungen, mit Ausnahme von Nickeltetracarbonyl (als NiO) | 0,5 | MAK _D | C1 = krebserzeugende Wir- kung auf den Menschen |
| | | 1,0 | MAK _K | |
| | Nickeltetracarbonyl | 0,01 | MAK _D | |
| | | 0,03 | MAK _K | |

Tabelle 7:
Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen (TGL)

| Nr. der TGL | | Titel der TGL |
|--------------|------------|--|
| TGL 6782 | 1958-10-00 | Ferrolegerungen, Technische Güte- und Lieferbedingungen |
| TGL 3355/01 | 1989-04-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und Batterien geschlossener Bauart. Technische Bedingungen |
| TGL 3355/02 | 1979-12-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und Batterien geschlossener Bauart. Prüfung |
| TGL 3355/03 | 1980-12-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und Batterien geschlossener Bauart. Lieferung |
| TGL 3355/04 | 1977-12-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und Batterien geschlossener Bauart. Zellen mit Plastgefäß. Abmessungen und Kennwerte |
| TGL 3355/05 | 1980-12-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und Batterien geschlossener Bauart. Zellen mit Stahlgefäßen über 100Ah. Maße. Kennwerte |
| TGL 3355/07 | 1981-09-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und Batterien geschlossener Bauart. Batterien mit Zellträgern. Maße und Kennwerte |
| TGL 3355/09 | 1978-07-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und Batterien geschlossener Bauart. Zellen mit Stahlgehäuse bis 100Ah. Maße. Kennwerte |
| TGL 14793 | 1981-03-00 | Weichmagnetische Sonderwerkstoffe. Bänder und Streifen aus Eisen-Nickel-Legierungen mit niedriger Curietemperatur |
| TGL 22807/01 | 1984-12-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und -Batterien gasdicht. Technische Bedingungen |
| TGL 22807/03 | 1984-12-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und -Batterien gasdicht. Kennzeichnung, Verpackung, Transport, Lagerung |
| TGL 22807/06 | 1982-10-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und -Batterien gasdicht. Rechteckzellen. Maße und Kennwerte |
| TGL 22807/07 | 1982-10-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und -Batterien gasdicht. Batterien aus Knopfzellen. Maße und Kennwerte |
| TGL 22807/08 | 1982-10-00 | Galvanische Elemente. Nickel-Kadmium-Zellen und -Batterien gasdicht. Batterien aus Rechteck- und Rundzellen. Maße und Kennwerte |
| TGL 32611/05 | 1981-08-00 | Arbeitshygiene. Photometrische Verfahren zur Bestimmung gesundheitsgefährdender Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz. Nickel und seine Verbindungen |
| TGL 32613/05 | 1984-08-00 | Arbeitshygiene. Atomabsorptionsspektrometrische Verfahren zur Bestimmung gesundheitsgefährdender Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz. Nickel und seine Verbindungen |

4 Toxizität und Erkrankungen

4.1 Aufnahmewege und Ausscheidung

Nickel und seine Verbindungen können über den Atemtrakt, mit der Nahrung oder über die Haut aufgenommen werden.

Die Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes (UBA) hat die Aufnahme von Nickel aus verschiedenen Quellen abgeschätzt [44]. Die Allgemeinbevölkerung nimmt Nickel hauptsächlich über die Nahrung auf. Täglich werden im Durchschnitt ca. 90 µg oral aufgenommen, davon etwa 20 µg durch Getränke. Durch besonders nickelhaltige Produkte, wie Schokolade und Nüsse, kann sich die tägliche Dosis auf 1 mg Nickel erhöhen. Eine zusätzliche gastrointestinale Absorption von Nickel könnte bei Nahrungsaufnahme am Arbeitsplatz durch ungenügende Handhygiene möglich sein.

Die inhalative Belastung ist für die nicht arbeitsbedingt exponierte Bevölkerung gering. Die tägliche inhalative Aufnahme von nichtrauchenden Personen liegt in der Allgemeinbevölkerung bei 0,2 bis 1 µg. Bei Rauchern werden zusätzlich etwa 4 µg pro Packung aufgenommen.

Für arbeitsbedingt exponierte Personen ist die Aufnahme über den Atemtrakt meist der Hauptpfad. Zwar sind nach inhalativer Aufnahme beim Menschen (außer bei Nickel-tetracarbonyl) keine akut toxischen Effekte zu erwarten, jedoch können nach längerer Exposition insbesondere lungentoxische und nierentoxische Effekte auftreten. Auch fruchtschädigende und atemwegssensibilisierende Effekte wurden beobachtet. Als besonders kritisch ist die Erhöhung des Lungenkrebsrisikos bei arbeitsbedingter inhalativer Belastung anzusehen. Weitere Zielorgane können die Nasenhaupt- und Nasennebenhöhlen sowie der Kehlkopf sein.

Ein zusätzlicher Weg der Absorption ist die dermale Aufnahme. Besonders schnell durchdringen lösliche Nickelverbindungen an Schweißdrüsen und Haarfollikeln die Haut. Da diese aber nur einen kleinen Teil der Hautoberfläche einnehmen, spielt die Penetration durch die Hornschicht quantitativ die größere Rolle [45].

Wenn aufgenommenes Nickel ins Blut übergetreten ist, erfolgt die Ausscheidung hauptsächlich (zu etwa 90 %) über die Nieren. Die Ausscheidungsgeschwindigkeit hängt dabei von der Löslichkeit der Nickelverbindung (schneller bei löslichen Verbindungen) und von der Partikelverteilung (schneller bei kleinen Partikeln) ab. Die Kommission „Human-Biomonitoring“ des UBA geht bei

leichtlöslichen Nickelverbindungen von einer Halbwertszeit der Elimination von 1 bis 1,5 Tagen aus [44].

Es wird vermutet, dass auch die Ausscheidung über den Schweiß eine Rolle spielen kann [46; 47], da die Konzentrationen im Schweiß relativ höher sind als im Urin [48 bis 50]. Außerdem kann Nickel auch über die Haare eliminiert werden. Nicht absorbierte Nickelverbindungen und metallisches Nickel werden zusätzlich auch über den Kot ausgeschieden. Dazu kommen noch die Anteile der inhalierten Partikel, die über die mukoziliäre Clearance (Selbstreinigung der Bronchien) zum Rachen transportiert und abgehustet oder verschluckt werden.

4.2 Innere Belastung durch Nickel

Zur routinemäßigen Bestimmung der inneren Nickelbelastung ist die Analyse im Urin üblich, obwohl für nicht lösliche Nickelverbindungen keine enge Korrelation mit der Luftbelastung am Arbeitsplatz besteht. Blut weist vergleichsweise geringe Nickelkonzentrationen auf. Neben der Bestimmung von Nickel in verschiedenen Körperflüssigkeiten kann Nickel heute auch im Atemexhalat und Sputum analysiert werden, die dem Zielorgan Lunge näher sind als Blut oder Urin. Diese Untersuchungen sind jedoch noch nicht ausreichend verbreitet.

Zur Analyse wird vornehmlich die Atomabsorptions-Spektrometrie (AAS) eingesetzt, aber zunehmend auch inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS), die wegen einer geringeren Nachweisgrenze als Analyseverfahren besser geeignet ist.

4.2.1 Hintergrundbelastung der Allgemeinbevölkerung

In der Allgemeinbevölkerung liegt die mittlere Nickelbelastung niedriger als in arbeitsbedingt belasteten Kollektiven und beträgt etwa 1 bis 3 µg/l Urin [51; 52].

Die Kommission „Human-Biomonitoring“ des UBA leitete im Jahr 2001 für Nickel im Urin auf der Basis von Literaturdaten einen Referenzwert von 3 µg/l ab [44]. Der Biologische Arbeitsstoff-Referenzwert (BAR) der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG liegt ebenfalls bei 3 µg/l Urin [53]. Er beschreibt die Hintergrundbelastung mit dem Arbeitsstoff, die zu einem bestimmten Zeitpunkt in einer Referenzpopulation aus nicht bei der Arbeit exponierten Personen im erwerbsfähigen Alter besteht.

4.2.2 Arbeitsbedingte innere Nickelbelastung

Bei der arbeitsbedingten Exposition werden Nickelverbindungen vorwiegend inhalativ als Stäube bzw. Aerosole aufgenommen. Determinanten für die innere Belastung mit Nickel sind:

- die chemische Verbindungsform von Nickel, insbesondere die Wasserlöslichkeit der Nickelverbindung,
- die Verteilung der aerodynamischen Partikelgrößen in Staub oder Aerosolen und die darin enthaltene Nickelkonzentration,
- die Raumbelüftung und Nutzung persönlicher Schutzmaßnahmen,
- das Atemminutenvolumen der beschäftigten Person und die Bevorzugung von nasaler oder oronasaler Atmung.

Während der Arbeit geht man von einem mittleren Atemvolumen von 10 m³ in 8 Stunden aus. Bei dem früheren TRK-Wert von 0,5 mg/m³ sollte eine beschäftigte Person mit maximal 5 mg Nickel pro Schicht belastet werden. Schätzungen der durchschnittlichen inhalativen Aufnahme von Nickel durch arbeitsbedingte Exposition liegen bei 0,1 bis 0,25 mg/Tag (vgl. www.nipera.org). Die leichtlöslichen Nickelverbindungen werden innerhalb eines Tages zum großen Teil wieder ausgeschieden. Bei Exposition gegenüber unlöslichen Verbindungen finden sich noch längerfristig erhöhte Werte. Schwerlösliche Verbindungen, wie Nickeloxid und metallisches Nickel, können im Bronchialsystem kumulieren. *Colli et al.* [54] haben über einen Zeitraum von zwei Wochen Urinproben

von schweißenden Beschäftigten gesammelt und mit den Belastungsdaten verglichen. Danach wurde eine Halbwertszeit von etwa 60 Stunden unter fortgesetzter Belastung (werktags) und 96 Stunden ohne weitere Belastung (post exposure) ermittelt [41; 55].

Bei 318 zufällig ausgewählten Beschäftigten der Falconbridge-Raffinerie in Kristiansand, Norwegen, wurden relativ hohe Werte von durchschnittlich 50 µg/l in Urinproben bestimmt [56]. Dagegen liegen die mittleren Nickelbelastungen bei schweißenden Beschäftigten heute bei etwa 3 bis 4 µg/l [57; 58]. Wichtige Determinanten der im Urin gemessenen Nickelkonzentrationen sind Schweißverfahren und Werkstoffe. Eine finnische Biomonitoring-Datenbank dokumentiert Konzentrationen von 1 795 Urinproben aus den Jahren 1980 bis 1989 [59]. Die Nickelkonzentrationen überschritten in der Regel nicht den damaligen finnischen biomonitoring action level (BAL-Wert) in Höhe von 1,3 µmol/l (76,3 µg/l) für leichtlösliche Nickelsalze.

Tabelle 8 gibt eine Übersicht zu den Verteilungen der Messwerte für Nickel im Urin bei Personen mit den beruflichen Tätigkeiten Schweißen und Galvanisieren nach Zeitperioden für Finnland.

In Deutschland wurden 103 Beschäftigte untersucht, deren Nickelgehalte im Urin abhängig vom Schweißverfahren im Vergleich zu einer Referenzgruppe in **Tabelle 9** dargestellt sind [60]. Bei Beschäftigten in Norwegen wurden beim Edelstahl-Schweißen Nickelkonzentrationen im Urin zwischen 1,6 und 3,3 µg/l bestimmt [61]. Bei Beschäftigten, die Edelstahl geschliffen haben, lagen die Werte mit bis zu 4,3 µg/l etwas höher [62].

Tabelle 8:

Nickelkonzentrationen in Urinproben von finnischen Beschäftigten beim Schweißen und Galvanisieren in den Jahren 1980 bis 1989 [59]

| Tätigkeit | Zeitraum | N | Min in µg/l | Median in µg/l | 75. Perzentil in µg/l | Max in µg/l |
|----------------------|---------------|-----|----------------|-------------------|--------------------------|----------------|
| Schweißen | | | | | | |
| | 1980 bis 1982 | 61 | 1,76 | 6,5 | 12,9 | 92,7 |
| | 1983 bis 1985 | 117 | 1,76 | 8,8 | 12,3 | 38,2 |
| | 1986 bis 1989 | 285 | 0,59 | 10,0 | 14,7 | 92,7 |
| Galvanisieren | | | | | | |
| | 1980 bis 1982 | 133 | 0,59 | 11,7 | 23,5 | 173,1 |
| | 1983 bis 1985 | 171 | 0,59 | 12,3 | 19,4 | 123,3 |
| | 1986 bis 1989 | 199 | 1,76 | 13,5 | 20,0 | 139,1 |

Tabelle 9:

Nickelgehalt im Urin in Abhängigkeit vom angewandten Schweißverfahren bei Beschäftigten in Deutschland [60]

| Verfahren | N | Mittelwert in µg/l | Median in µg/l | Range in µg/l |
|---------------------------------|------------|--------------------|----------------|------------------|
| Lichtbogenhandschweißen | 39 | 13 | 6 | 1 bis 165 |
| Metallinertgasschweißen (MIG) | 14 | 27 | 11 | 1 bis 209 |
| Lichtbogenhandschweißen und MIG | 50 | 20 | 15 | 0 bis 85 |
| insgesamt | 103 | 19 | 10 | 0 bis 209 |
| Referenzgruppe | 123 | 1 | 1 | 0 bis 13 |

4.2.3 Studien zur äußeren und inneren Nickelbelastung bei schweißenden Beschäftigten

Gerin et al. [63] haben aus Daten einer großen multizentrischen Studie an Schweißern durchschnittliche Nickelkonzentrationen im Atembereich von Schweißern bei der Bearbeitung von hochlegierten Stählen (stainless steel, SS) mit ganzschichtiger Messung wie folgt abgeleitet:

- Lichtbogenhandschweißen: 30 µg/m³
- Schutzgasschweißen (MAG, MIG): 150 µg/m³
- Wolfram-Inertgasschweißen (WIG-Schweißen): 10 µg/m³

Ende der 1980er-Jahre haben Emmerling et al. eine umfangreiche Studie zur Exposition beim Edstahlschweißen, bei dem ausschließlich hoch legierte Stähle bearbeitet wurden, durchgeführt [64; 65]. An Beschäftigten, die am Untersuchungstag lediglich ein Schweißverfahren anwandten, wurden die Luftkonzentrationen im Atembereich hinter der Schweißerschutzhaube über die

gesamte Schicht gemessen. Zur Erfassung der inneren Nickelbelastung wurde Nickel in Spontanurinproben vor und nach der Schicht bestimmt. Die Ergebnisse sind in **Tabelle 10** dargestellt.

Die sogenannte WELDOX-Studie ist eine der umfangreichsten Querschnittstudien an Schweißern, für die 243 Personen aus 23 Betrieben unterschiedlicher Branchen in den Jahren 2007 bis 2009 in Deutschland rekrutiert wurden. Die Ergebnisse zur äußeren und inneren Belastung mit Nickel sind in **Tabelle 11** dargestellt. Die hier genannten Werte spiegeln die unter den Randbedingungen der Studie aufgetretenen Belastungen (z. B. teilweise Schweißen in engen Räumen/Behältern) wider. Zudem ist zu berücksichtigen, dass in der untersuchten Gruppe in erheblichem Umfang auch Arbeitssituationen erfasst wurden, in denen keine nickelhaltigen Werkstoffe geschweißt wurden. Die Werte dienen deshalb nicht der Expositionsermittlung im Sinne dieses Reports. Für die technische Stellungnahme sind die Expositionsdaten nach Abschnitt 6 heranzuziehen.

Tabelle 10:

Nickelkonzentrationen in der Luft und im Urin in Abhängigkeit vom angewandten Schweißverfahren [64; 65]

| Verfahren | N | Schweißrauch in mg/m ³ | Ni im Schweißrauch in µg/m ³ | Ni (Urin) in µg/g Kreatinin | |
|--|----|--------------------------------------|--|------------------------------------|-------------------------------------|
| | | Median 68 %-Bereich | Median 68 %-Bereich | Median 68 %-Bereich vor Schicht | Median 68 %-Bereich nach Schicht |
| LBH-Schweißen, umhüllte Stabelektrode | 61 | 2,70 1,40 bis 9,20 | 24,0 7,4 bis 52,7 | 4,7 2,1 bis 10,1 | 5,4 2,1 bis 13,1 |
| MAG-Schweißen | 46 | 5,34 1,61 bis 8,17 | 68,6 22,1 bis 238,7 | 9,6 3,6 bis 20,4 | 11,2 3,7 bis 26,6 |
| WIG-Schweißen | 16 | 1,50 0,67 bis 2,44 | 8,0 2,1 bis 20,3 | 3,2 1,6 bis 8,3 | 4,3 1,3 bis 9,5 |

Tabelle 11: Nickelkonzentrationen im Schweißbrauch (Messung an der Person) und im Urin in Abhängigkeit vom angewandten Schweißverfahren [57]

| | Alle Schweißverfahren | | | | Metall-Inert- und Aktivgas-schweißen (MIG/MAG) | | | | Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) | | | | Lichtbogenhandschweißen | | | |
|--|-----------------------|--------|--------------|-----------|--|----------------|-----------|--------|---------------------------------|-----------|-----------|---------------|-------------------------|--------|---------------|--|
| | Massivdraht | | Fülldraht | | Massivdraht | | Fülldraht | | Massivdraht | | Fülldraht | | Massivdraht | | Fülldraht | |
| | N (N<LOQ) | Median | IQR | N (N<LOQ) | Median | IQR | N (N<LOQ) | Median | IQR | N (N<LOQ) | Median | IQR | N (N<LOQ) | Median | IQR | |
| Nickel A-Fraktion (µg/m³) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| alle | 241 (78) | <3,09 | (1,50; 16,0) | 95 (22) | 7,20 | (2,00; 35,0) | 47 (20) | <2,60 | (1,50; 15,00) | 66 (25) | <1,50 | (1,00; 4,90) | 20 (11) | <1,90 | (1,50; 19,50) | |
| ohne Atemschutz | 215 (71) | <2,90 | (1,50; 22,0) | 78 (20) | 11,50 | (2,00; 42,0) | 42 (15) | <2,50 | (1,50; 22,00) | 66 (25) | <1,50 | (1,00; 4,90) | 17 (11) | <1,90 | (1,50; 31,00) | |
| ohne Atemschutz; Cr oder Ni > 5% | 124 (33) | <4,80 | (1,40; 38,0) | 25 (0) | 48,00 | (24,00; 170,0) | 10 (0) | 88,00 | (57,00; 102,0) | 62 (23) | <1,45 | (1,00; 4,70) | 16 (10) | <1,90 | (1,50; 34,0) | |
| Nickel E-Fraktion (µg/m³) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| alle | 228 (44) | 5,80 | (2,40; 27,0) | 91 (18) | 11,00 | (2,60; 55,0) | 46 (14) | <4,30 | (2,40; 11,00) | 64 (9) | <5,10 | (1,90; 13,50) | 20 (3) | 4,00 | (1,80; 32,00) | |
| ohne Atemschutz | 202 (38) | 6,05 | (2,40; 31,0) | 74 (16) | 15,50 | (2,50; 81,0) | 41 (10) | 4,50 | (2,40; 29,00) | 64 (9) | <5,10 | (1,90; 13,50) | 17 (3) | 3,80 | (1,60; 51,00) | |
| ohne Atemschutz; Cr oder Ni > 5% | 111 (10) | 12,00 | (3,20; 51,0) | 21 (0) | 102,00 | (27,0; 350,0) | 9 (0) | 123,0 | (55,00; 155,0) | 60 (8) | <5,10 | (2,00; 13,50) | 16 (2) | 3,85 | (1,80; 59,50) | |
| Nickel im Urin (µg/l) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| alle | 241 (72) | 2,87 | (1,50; 5,97) | 95 (18) | 3,76 | (1,82; 8,31) | 47 (7) | 2,83 | (1,83; 6,10) | 66 (38) | <1,50 | (1,50; 3,36) | 20 (8) | 1,98 | (1,50; 3,32) | |
| ohne Atemschutz | 215 (63) | 2,83 | (1,50; 5,35) | 78 (14) | 3,36 | (1,82; 6,86) | 42 (5) | 3,27 | (1,96; 7,34) | 66 (38) | <1,50 | (1,50; 3,36) | 17 (6) | 2,35 | (1,50; 3,17) | |
| ohne Atemschutz; Cr oder Ni > 5% | 124 (44) | 3,12 | (1,50; 6,39) | 25 (1) | 6,25 | (3,44; 12,96) | 10 (0) | 8,54 | (7,34; 10,20) | 62 (37) | <1,50 | (1,50; 3,36) | 16 (6) | 1,98 | (1,50; 3,55) | |
| Nickel im Urin (µg/g Kreatinin) | | | | | | | | | | | | | | | | |
| alle | 241 (72) | <2,56 | (1,37; 4,39) | 95 (18) | <3,30 | (1,67; 5,16) | 47 (7) | <2,42 | (1,23; 3,35) | 66 (38) | <2,15 | (1,39; 4,36) | 20 (8) | <1,37 | (1,09; 2,16) | |
| ohne Atemschutz | 215 (63) | <2,47 | (1,37; 4,36) | 78 (14) | <3,06 | (1,61; 4,82) | 42 (5) | <2,44 | (1,25; 3,40) | 66 (38) | <2,15 | (1,39; 4,36) | 17 (6) | <1,28 | (1,09; 2,16) | |
| ohne Atemschutz; Cr oder Ni > 5% | 124 (44) | <2,80 | (1,47; 4,88) | 25 (1) | 3,84 | (2,86; 10,31) | 10 (0) | 3,51 | (2,79; 4,85) | 62 (37) | <2,15 | (1,36; 4,36) | 16 (6) | <1,37 | (1,09; 2,16) | |

LOQ: Limit of quantification (Bestimmungsgrenze); IQR: Interquartil-Bereich (25. bis 75. Perzentil)

Ohne Atemschutz: Ohne Tragen von fremdbelüfteten Schweißhelmen

Cr oder Ni > 5%: Material (Elektrode oder Schweißgut) mit einem Nickel- oder Chromgehalt oberhalb von 5%

4.2.4 Assoziation zwischen Nickel in der Atemluft und im Urin

Zur Prävention von nickelbedingten Erkrankungen kann Nickel in der Luft am Arbeitsplatz und im Urin der exponierten Beschäftigten überwacht werden. Für die mögliche Beziehung zwischen äußerer und innerer Belastung wurden für schwerlösliche Nickelverbindungen sogenannte EKA anhand von publizierten Studien aus den 1980er-Jahren aufgestellt (siehe Abschnitt 3.7) [41; 55], die einen statistischen (linearen) Zusammenhang zwischen der Nickelkonzentration in der E-Fraktion im Bereich zwischen 100 und 500 µg/m³ und den dabei im Urin beobachteten Konzentrationen beschreiben.

Verschiedene Studien zeigten bei Schweißstätigkeiten zumeist nur einen vergleichsweise schwachen oder keinen Zusammenhang zwischen (schwerlöslichem) Nickel in der Luft und im Urin der untersuchten Personen. Mögliche Ursachen dafür sind die geringe Löslichkeit der inhalierten Nickeloxide oder des metallischen Nickels und die damit einhergehende verzögerte Eliminationskinetik. In der WELDOX-Studie fanden sich hingegen statistisch signifikante Assoziationen zwischen den Nickelkon-

zentrationen in der Arbeitsplatzluft und im Urin (siehe Tabelle 11) [57], die gut mit der EKA-Korrelation (blaue Gerade in **Abbildung 1**) für schwerlösliche Nickelverbindungen übereinstimmen, wenn man diese linear in den für Schweißen in der WELDOX-Studie relevanten Konzentrationsbereich extrapoliert. Gleichwohl streuten die Messwerte im entsprechenden Konzentrationsbereich deutlich.

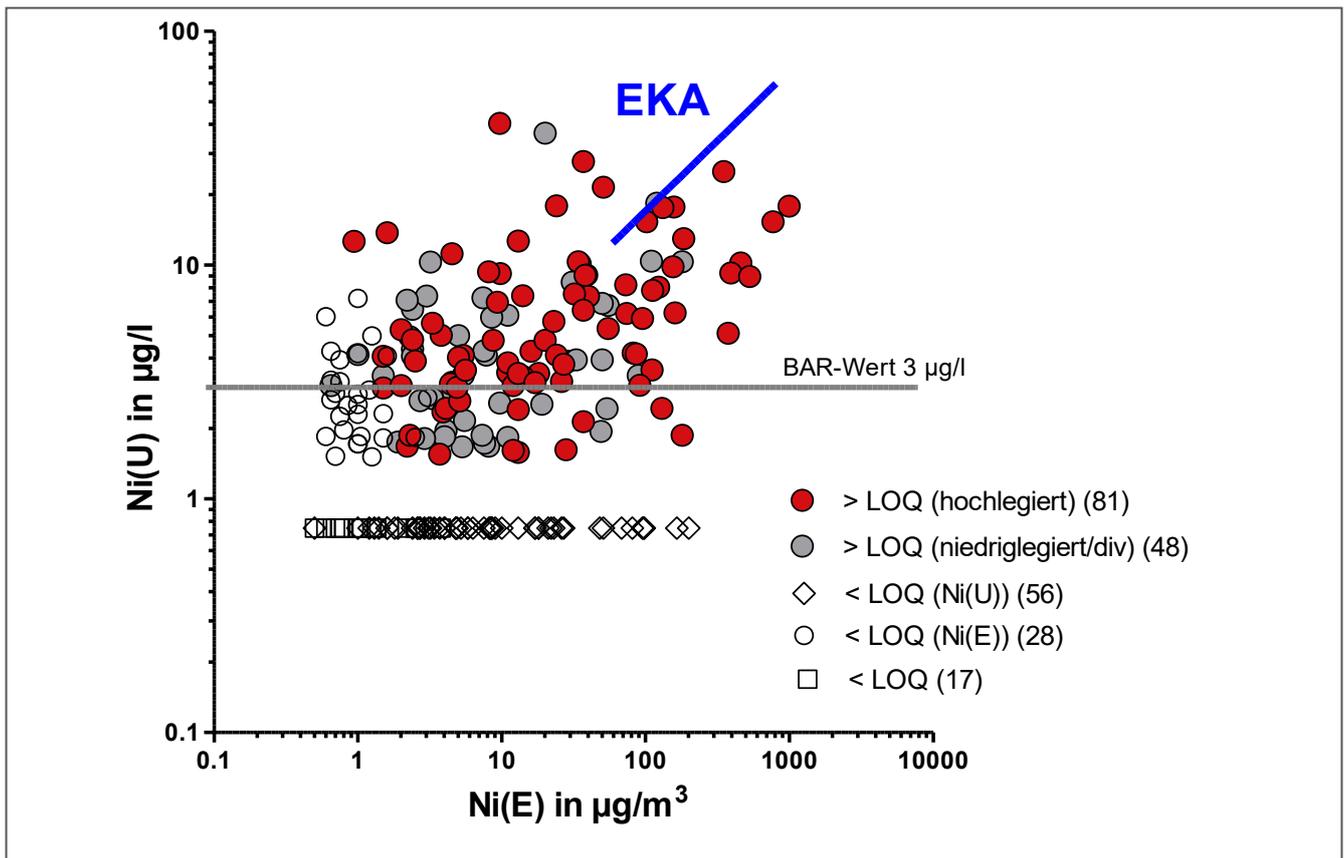
Ebenso konnten *Emmerling et al.* [64] eine hohe Korrelation für Schichtmittelkonzentrationen von Nickel in der Luft mit den Nickel-Urinkonzentrationen nach der Schicht bei Schweißern, die ausschließlich hochlegierte Stähle bearbeitet hatten, nachweisen. Anhand der abgeleiteten Korrelationsgeraden von

$$Ni\ Urin = Ni\ Luft \times 0,077 + 10$$

liegt quantitativ ebenfalls ein Zusammenhang im Bereich der EKA-Ableitung vor. Die gute Korrelierbarkeit in diesem Fall ist möglicherweise in der Tatsache begründet, dass in dieser Studie ausschließlich hoch mit Nickel legierte Werkstoffe und Zusatzwerkstoffe (Elektroden) zum Einsatz kamen und im Vergleich zu anderen Studien vergleichsweise hohe Nickelkonzentrationen in der Luft vorlagen.

Abbildung 1:

Zusammenhang zwischen äußerer Exposition (E-Fraktion) und innerer Belastung im Urin bei Schweißern aus der WELDOX-Studie und EKA-Korrelation für schwerlösliche Nickelverbindungen (Ni(U) = Nickel im Urin, Ni(E) = Nickel in der E-Fraktion des Schweißrauchs, LOQ = Bestimmungsgrenze, BAR = Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert, EKA= Expositionsäquivalent für krebserzeugende Arbeitsstoffe) [66]



4.3 Nicht maligne arbeitsbedingte durch Nickel hervorgerufene Erkrankungen der oberen und unteren Atemwege

4.3.1 Atemwegserkrankungen durch Nickel im Schweißrauch

Schweißrauch kann akute und chronische Atemwegserkrankungen hervorrufen, die jedoch, mit Ausnahme von Krebs, nicht direkt oder ausschließlich der Wirkung von Nickel zugeschrieben werden können. Nach der „Leitlinie zur Diagnostik und Therapie von Patienten mit chronisch obstruktiver Bronchitis und Lungenemphysem (COPD)“ [67] kann Schweißrauchexposition bei prädisponierten Personen zu einer Atemwegsobstruktion und zu einer Verschlimmerung der bestehenden Erkrankung führen. In der TRGS 528 [68] und im Übersichtswerk von *Spiegel-Ciobanu* [69] werden im Schweißrauch enthaltene Gefahrstoffe nach Verfahren bewertet und entsprechende Präventionsmaßnahmen genannt.

4.3.2 Allergische Reaktionen der Atemwege

Es liegen vereinzelte Fallberichte über eine atemwegssensibilisierende Wirkung von Nickelverbindungen vor [70]. Der Nachweis von spezifischem Immunglobulin E (IgE) und positive Befunde beim inhalativen Provokationstest mit Nickelsulfat sind Indizien für eine solche Wirkung. Wasserlösliche Nickelverbindungen sind in der TRGS 907 (einschließlich Begründung zu Nickelverbindungen) als atemwegssensibilisierend (Sa) gekennzeichnet [24]. Nickel und seine Verbindungen sind in der CLP-Verordnung als hautsensibilisierend und in der Liste der MAK- und BAT-Werte als haut- und atemwegssensibilisierend mit „Sah“ markiert. Es besteht also die Gefahr einer Sensibilisierung der Atemwege und der Haut, wobei eine Atemwegssensibilisierung mit dem Auftreten von expositionsbezogenem Asthma eine Rarität darstellt; in diesen Fällen kann eine BK-Nr. 4301 in Betracht gezogen werden.

4.3.3 Entzündliche Effekte an den Atemwegen und der Lunge

In Tierversuchen werden Entzündungen an den Atemwegen und der Lunge durch metallisches Nickel und verschiedene Nickelverbindungen nachgewiesen (Begründung zu Nickelverbindungen in der TRGS 910 [36]). Besonders starke irritative Wirkungen beim Menschen besitzt Nickel-tetracarbonyl, das insbesondere bei der Nickelreindarstellung nach dem Mond-Verfahren entsteht; in Einzelfällen kann hierbei eine BK-Nr. 4302 in Betracht kommen.

4.4 Maligne arbeitsbedingte durch Nickel hervorgerufenen Erkrankungen der oberen und unteren Atemwege

Die ersten Hinweise darauf, dass Nickel und seine Verbindungen Krebs erzeugen können, ergaben sich vor mehr als 50 Jahren durch ein vermehrtes Auftreten von Lungenkrebs bei Beschäftigten in der Falconbridge-Nickelraffinerie in Norwegen. Dort wurde ein Zusammenhang zwischen löslichen Nickelverbindungen und Lungenkrebs vermutet [71]. In Deutschland findet eine Exposition insbesondere gegenüber schwerlöslichem Nickel und dies vorwiegend durch die Weiterverarbeitung von Nickel statt, vor allem beim Schweißen in Form oxidischer Nickelverbindungen, aber auch beim Schleifen in Form von metallischem Nickel.

4.4.1 Krebsentstehung

Beim kanzerogenen Potenzial von Nickel wird die Rolle der Löslichkeit kontrovers diskutiert. Eine Zusammenfassung der Befunde aus epidemiologischen Studien, Tierexperimenten und Zellversuchen geben *Seilkop* und *Oller* [72]. Epidemiologische Befunde geben Hinweise auf eine höhere Lungenkrebssterblichkeit bei Beschäftigten in der Nickelraffination, die insbesondere gegenüber löslichen Verbindungen exponiert waren. Experimentelle Befunde konnten eine stärkere Wirkung wasserlöslicher Verbindungen bisher nicht bestätigen [73].

Nickelionen haben eine hohe Affinität zu Aminosäuren. Vermutlich sind daher Peptide und Proteine bevorzugte Ziele der Nickelwirkung. Dabei wird auch die Bindung an Heterochromatin diskutiert [74 bis 76]. Dies könnte in der Folge zur Inaktivierung von Genen, insbesondere von Tumorsuppressorgenen, führen [77 bis 80].

An der nickelinduzierten Krebsentstehung ist nach heutigem Kenntnisstand eine Vielzahl molekularer Mechanismen beteiligt [81; 82]. Nickelverbindungen sind nur relativ schwache Mutagene [83]. Als ein genereller Mechanismus der Wirkung von Metallen wird deren Redoxpotenzial in Verbindung mit oxidativem Stress und der Bildung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) angesehen. Dabei spielt die Fenton-Reaktion eine wichtige Rolle [84]. Aufgrund der relativ schwachen Redoxaktivität von Ni^{2+} wird allerdings kritisch diskutiert, ob Nickel im Gegensatz zu Chrom, Eisen oder Kupfer ausreichend schädigende Mengen an reaktiven Sauerstoffradikalen bilden kann [76; 85; 86]. Indirekt können ROS durch die Überladung von Makrophagen mit nickelhaltigen Partikeln und dem daraus folgenden „oxidativen Burst“ entstehen [87; 88].

Da Nickel sehr leicht an Peptide und Proteine bindet, wird insbesondere auch die Bildung von Nickel-Peptid/Protein-Komplexen bei der Krebsentstehung diskutiert. Eine große Zahl von Nickel-Protein-Komplexen wurde bereits strukturell charakterisiert [89]. Gentoxische Effekte werden dagegen nicht mehr als wichtigster Wirkungsmechanismus betrachtet [86]. Durch Bindung von Nickel an Chromatin könnten auch die DNA-Konformation und in der Folge die Genexpression verändert werden [74]. Für Nickel wird auch eine Hemmung der DNA-Reparatur oxidativer Schäden diskutiert [90]. Darüber hinaus reguliert Nickel das Tumorsuppressorgen p53 herunter, aktiviert das Protoonkogen c-Myc und induziert den AP-1 Transkriptionsfaktor, was zu einer gesteigerten zellulären Proliferation und letztlich zur Krebsentstehung beiträgt [82]. Da eine Nickelexposition oftmals zusammen mit einer Belastung gegenüber anderen Metallen – z. B. mit Eisen und Chrom im Schweißrauch oder mit Kupfer im Erz – einhergeht, sind synergistische Wirkungen möglich.

4.4.2 Epidemiologische Evidenz für die Entstehung von Lungenkrebs und Krebs der inneren Nase bei der Nickelgewinnung

Im Jahr 1990 hat das International Committee on Nickel Carcinogenesis in Man (ICNCM) die bis dahin wichtigsten Kohortenstudien bei der Nickelgewinnung und Herstellung von Legierungen zusammengestellt.

Tabelle 12 beschreibt diese Kohorten und die für Lungenkrebs geschätzten Risiken als altersstandardisierte Mortalitätsratio (Standardized Mortality Ratio, SMR) sowie die Bezugsgruppen, die für die Erwartungswerte zugrunde gelegt wurden. Das Rauchverhalten wurde in der Regel nicht berücksichtigt. Die Fallzahlen sind in einzelnen Betriebsbereichen klein und führen zu breiten Konfidenzintervallen für die Risikoschätzer. Belastungen gegenüber Quarz und anderen Metallen sind bei der Nickelgewinnung zu berücksichtigen.

Insgesamt wurde eine erhöhte Lungenkrebssterblichkeit bei der Raffination beobachtet, nicht jedoch im Bergbau oder beim Schmelzen des Erzes oder bei der Herstellung von Legierungen. Für lösliches Nickel wurde von den Autoren gefolgert, dass ab 1 mg/m^3 mit einem erhöhten Lungenkrebsrisiko gerechnet werden müsse. Für sonstige Nickelverbindungen gehen die Autoren von einer Risikoerhöhung ab 10 mg/m^3 aus. Dagegen fanden sich in dieser Studie keine Hinweise darauf, dass metallisches Nickel krebserzeugend wirkt. Die statistischen Methoden der Meta-Analyse wurden bei dieser Auswertung nicht angewendet. In der norwegischen Falconbridge-Raffinerie wurde eine der epidemiologisch am besten untersuchten Kohorten nach Verlängerung der Beobachtungsdauer analysiert. Die Exposition der Beschäftigten gegenüber Nickel und seinen Verbindungen, von der Eröffnung des Werkes im Jahr 1910 bis 1994, wurde von *Grimsrud et al.* [92]

Tabelle 12:

Wichtigste historische Kohortenstudien in der Nickelgewinnung und Herstellung von Legierungen [91]

| Industriezweig, Region | Follow-up | Umfang der Kohorte Einschlusskriterium | Lungenkrebsfälle Referenzpopulation | SMR (95 % Confidence Interval) |
|---|---------------|--|---|---|
| MOND/INCO Refinery Clydach, United Kingdom | 1907 bis 1984 | 2 521 Beschäftigte ≥ 5 Jahre beschäftigt | 216 Fälle England/Wales | 2,73 (2,38 bis 3,13) |
| Falconbridge Refinery Kristiansand, Norwegen | 1953 bis 1984 | 3 250 Beschäftigte ≥ 1 Jahr beschäftigt | 77 Fälle Norwegen | 2,62 (2,07 bis 3,27) |
| Bergbau und Schmelzen Falconbridge Nickel Mines, Ontario, Kanada | 1950 bis 1984 | 11 594 Beschäftigte ≥ 0,5 Jahre beschäftigt | 114 Fälle Ontario | 1,35 (1,11 bis 1,62) |
| Bergbau, Aufbereitung, Raffinerie INCO Ontario, Kanada | 1950 bis 1984 | 54 746 Beschäftigte Nicht definiert bzw. ≥ 0,5 Jahre beschäftigt | Nicht insgesamt angegeben Ontario | SMR nach Betriebsberei- chen 1,11 (1,01 bis 1,21) bis 3,07 (2,38 bis 396) |
| Hanna Nickel Mining and Smelting Co. Oregon, USA | 1954 bis 1983 | 1 510 Beschäftigte ≥ 0,5 Jahre beschäftigt | 27 Fälle Oregon | 1,47 (0,97 bis 2,13) |
| Herstellung von Legierungen Huntington Alloys West Virginia, USA | 1948 bis 1982 | 1 855 Beschäftigte vor 1947, 1 353 Beschäftigte ab 1947 ≥ 1 Jahr beschäftigt | 72 Fälle 19 Fälle Lokal (County) | 0,97 (0,76 bis 1,22) 0,98 (0,59 bis 1,53) |
| Herstellung von Legierungen Henry Wiggin Alloy Co. Hereford, U.K. | 1953 bis 1978 | 1 907 Beschäftigte ≥ 5 Jahre beschäftigt | 30 Fälle England/Wales; lokal | 0,98 (0,57 bis 1,21) |

ausführlich beschrieben. Im Zeitverlauf haben die Nickelbelastungen erheblich abgenommen. *Grimsrud et al.* haben in der Falconbridge-Raffinerie einen Inzidenz-Survey von 1953 bis 2000 durchgeführt [93]. Darin wurden 5 297 Beschäftigte, die zwischen 1910 und 1989 mindestens ein Jahr beschäftigt gewesen waren, eingeschlossen. Die Lungenkrebsinzidenz war insgesamt 2,6-fach erhöht (95 % Konfidenzintervall 2,3 bis 2,9) mit einem besonders hohen Risiko bei Beschäftigten, die dort bereits vor 1929 angestellt waren (Standardised Incidence Ratio (SIR) 4,8; 95 % Konfidenzintervall 2,8 bis 7,6). Das Lungenkrebsrisiko in Abhängigkeit von der Höhe der Exposition gegenüber verschiedenen Nickelverbindungen kann **Tabelle 13**

entnommen werden, die die Ergebnisse einer genesteten Fall-Kontroll-Studie wiedergibt.

Wenngleich diese Studie deutliche Hinweise auf ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko in der Nickelraffinerie liefert [93; 94], sind die Expositions-Risiko-Beziehungen wenig zuverlässig: So lagen bis 1973 keine personenbezogenen Messdaten vor. Nach 1973 wurde nur die Gesamt-Nickelkonzentration gemessen und der Anteil unterschiedlicher Nickelverbindungen aus anderen Literaturquellen geschätzt (was eine Differenzierung der Effekte der einzelnen Nickelverbindungen erschwert). Zusätzlich ist (residuelles) Confounding durch andere Expositionen am Arbeitsplatz nicht auszuschließen.

Tabelle 13:

Lungenkrebsrisiko durch kumulative Exposition gegenüber Nickelverbindungen in der Falconbridge Nickelraffinerie adjustiert nach Rauchgewohnheiten, basierend auf einer genesteten Fall-Kontroll-Studie [93]

| Expositionsgrad | Mittlere Exposition (mg/m ³ Ni × Jahre) | Fälle | Kontrollen | Odds Ratio | 95 % Confidence Interval |
|--|--|-------|------------|------------|--------------------------|
| Wasserlösliche Nickelverbindungen | | | | | |
| Nicht exponiert | | 9 | 53 | 1,0 | |
| Wenig | 0,05 | 27 | 94 | 1,3 | 0,5 bis 3,5 |
| Wenig bis mittel | 0,28 | 33 | 94 | 1,8 | 0,7 bis 4,5 |
| Mittel | 0,63 | 36 | 95 | 1,9 | 0,8 bis 4,6 |
| Mittel bis hoch | 1,60 | 42 | 94 | 2,5 | 1,0 bis 6,0 |
| Hoch | 4,93 | 66 | 95 | 3,8 | 1,6 bis 9,0 |
| Nickelsulfide | | | | | |
| Nicht exponiert | | 10 | 57 | 1,0 | |
| Wenig | 0,02 | 27 | 93 | 1,6 | 0,6 bis 4,2 |
| Wenig bis mittel | 0,06 | 48 | 95 | 2,8 | 1,1 bis 6,9 |
| Mittel | 0,16 | 42 | 92 | 2,5 | 1,0 bis 6,3 |
| Mittel bis hoch | 0,41 | 40 | 94 | 2,3 | 0,9 bis 5,5 |
| Hoch | 1,43 | 46 | 94 | 2,8 | 1,1 bis 6,7 |
| Nickeloxide | | | | | |
| Nicht exponiert | | 9 | 53 | 1,0 | |
| Wenig | 0,02 | 29 | 95 | 1,7 | 0,7 bis 4,2 |
| Wenig bis mittel | 0,10 | 42 | 94 | 2,3 | 0,9 bis 5,8 |
| Mittel | 0,36 | 47 | 94 | 2,7 | 1,1 bis 6,6 |
| Mittel bis hoch | 1,67 | 45 | 95 | 2,3 | 1,0 bis 5,7 |
| Hoch | 12,6 | 41 | 94 | 2,2 | 0,9 bis 5,4 |
| Metallisches Nickel | | | | | |
| Nicht exponiert | | 14 | 60 | 1,0 | |
| Wenig | 0,01 | 31 | 93 | 1,4 | 0,6 bis 3,3 |
| Wenig bis mittel | 0,03 | 37 | 93 | 1,3 | 0,6 bis 3,0 |
| Mittel | 0,13 | 28 | 93 | 1,3 | 0,6 bis 3,0 |
| Mittel bis hoch | 0,35 | 46 | 93 | 1,7 | 0,8 bis 3,8 |
| Hoch | 2,32 | 57 | 93 | 2,4 | 1,1 bis 5,3 |

Neben erhöhten Risiken für Lungenkarzinome werden in der Literatur auch erhöhte Risiken für Karzinome der inneren Nase (Plattenepithelkarzinome der Nasenhaupt- und Nasennebenhöhlen) nachgewiesen. Wie auch bei Lungenkarzinomen stammen diese Daten aus dem Bereich von Nickelraffinerien unter vergleichsweise hohen Expositionen gegenüber verschiedenen Nickelverbindungen [51; 95 bis 97].

4.4.3 Epidemiologische Evidenz für die Entstehung von Lungenkrebs durch Nickel in Schweißrauch

Beschäftigte, die hoch legierte nickelhaltige Stähle und andere Legierungen wie Nickelbasiswerkstoffe schweißen, können – in Abhängigkeit von den eingesetzten Verfahren und den arbeitshygienischen Randbedingungen – hohen Nickerexpositionen ausgesetzt sein (siehe Abschnitt 6). Einzelheiten über die unterschiedlichen Emissionen finden sich auch in *Spiegel-Ciobanu* [69] und der TRGS 528 „Schweißtechnische Verfahren“ [68].

Unter Präventionsgesichtspunkten sind die Nickerexpositionen in Schweißrauch als kanzerogen zu betrachten. Es gelten deshalb die entsprechenden Beurteilungsmaßstäbe nach GefStoffV (Akzeptanz- und Toleranzkonzentration) sowie die diesbezüglichen Regelungen für die Arbeitsmedizinische Vorsorge.

Im Unterschied zu den meisten anderen Tätigkeitsbereichen liegen die Nickelverbindungen in Schweißrauch überwiegend in Form von Spinellen vor [98]. Diese metalloxidischen Mischverbindungen sind vergleichsweise stabil. Inwieweit sie wie andere schwerlösliche Nickelverbindungen (z. B. Nickeloxide, Nickelsulfide), die sich als gesichert humankanzerogen erwiesen haben, ein gleichartiges kanzerogenes Potenzial besitzen, ist nicht sicher einschätzbar.

4.4.3.1 Lungenkrebs und Schweißen

Es liegen mittlerweile rund 60 Humanstudien vor, die ein im Durchschnitt leicht erhöhtes Lungenkrebsrisiko bei Schweißern von durchschnittlich etwa 20 bis 40 % zeigen, nach langjähriger Exposition in Einzelstudien auch bis zu 100 % [99]. Hierbei führen die Kohortenstudien wie auch die Fall-Kontroll-Studien im Wesentlichen zu gleichen Ergebnissen [99 bis 101]. Soweit die Studien entsprechend differenzieren konnten, fanden sich höhere Risiken bei Vollzeit- im Vergleich zu Teilzeitschweißern [102]. Etliche Studien konnten nach dem Rauchverhalten differenzieren bzw. entsprechend adjustieren. In etlichen Studien konnten Abschätzungen zur Asbestexposition als möglichem beruflichen Confounder vorgenommen bzw. diese als gering eingeschätzt werden.

Insgesamt ergibt sich, dass Tabakrauchen, eine Asbestexposition oder andere bekannte Confounder die Risikoerhöhung nicht bzw. nicht vollständig erklären. Darüber hinaus gibt es sowohl im Tierversuch als auch beim Menschen Hinweise auf eine immunsuppressive wie auch entzündungsfördernde Wirkung von Schweißrauch.

Die Risikoerhöhungen wurden sowohl bei Schweißern, die ausschließlich un- oder niedriglegierte Stähle schweißten, als auch bei Schweißern, die langjährig hochlegierte Stähle schweißten und hierbei sowohl gegenüber Nickel- als auch Chrom(VI)-Verbindungen exponiert waren, in etwa gleichem Ausmaß nachgewiesen [99 bis 101; 103 bis 105]. Eine wesentliche Rolle von Nickel im Schweißrauch bei der Krebsentstehung wurde auch von *Langard* bezweifelt [106].

Erhöhte Lungenkrebsrisiken wurden auch bei Schweißern, die ausschließlich Autogenverfahren wie Gas-schweißen [107] durchführten, nachgewiesen. Aus diesen Gründen hat die International Agency for Research on Cancer (IARC) Schweißrauche (Welding Fumes), ungeachtet deren Zusammensetzung und des eingesetzten schweißtechnischen Verfahrens, als humankanzerogen (Gruppe 1) eingestuft [99].

4.4.3.2 Lungenkrebs als Berufskrankheit bei Schweißern

In der EU ebenso wie in Deutschland sind Schweißrauche derzeit nicht als kanzerogen eingestuft. Es liegt auch kein BK-Tatbestand für Schweißrauch in der Anlage 1 (BK-Liste) der BK-Verordnung vor. Lungenkrebs durch Schweißrauche kann deshalb derzeit – ungeachtet der epidemiologischen Datenlage – nur beim Nachweis entsprechend hoher Expositionen gegenüber Inhaltsstoffen von Schweißrauch, die als kanzerogen eingestuft werden, als BK anerkannt werden. Dies betrifft insbesondere nickeloxidische Verbindungen im Sinne der BK 4109 [4], Chrom(VI)-Verbindungen im Sinne der BK 1103 [108; 109] oder ggf. andere kanzerogene Metalle und deren Oxide, z. B. Cadmium [110], Beryllium [111], Thorium: DGUV-Information 209-049 [112; 113].

4.4.4 BK 4109 „Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Nickel oder seine Verbindungen“

Die BK 4109 wurde in Deutschland am 1. April 1988 in die Liste der Berufskrankheiten aufgenommen [4; 114]. Zwischen der Wirkung der einzelnen Nickelverbindungen wurde nicht näher differenziert. Grundsätzlich können durch Nickel und seine Verbindungen alle Typen von Lungenkarzinomen verursacht werden. Im Bereich der inne-

ren Nase (Nasenhaupt- und Nasennebenhöhlen) werden Plattenepithelkarzinome verursacht (im Unterschied zu Adenokarzinomen durch Harthölzer). Nähere Hinweise gibt das Merkblatt zur BK 4109 [4]. In Einzelfällen können auch Karzinome der übrigen Atemwege als ursächlich in Betracht gezogen werden [114].

4.5 Hauterkrankungen durch Exposition gegenüber Nickel

Nickel ist ein starkes Kontaktallergen. Zweiwertige Nickelionen können über die Haut aufgenommen werden und zu einer Kontaktallergie führen. Sie zählen zu den häufigsten Auslösern einer Kontaktallergie, da Nickel in Münzen, Modeschmuck oder auch künstlichen Gelenken vorkommen kann. Das Allergen löst Hautreaktionen wie Rötung, Juckreiz oder Schuppung aus. Dazu muss es mit den Hautstellen in direkten Kontakt gekommen sein. Sobald die Haut nicht mehr mit Nickel in Kontakt kommt, heilen die Hautveränderungen wieder ab. Bei fortgesetztem Nickelkontakt kann es zu bleibenden Hautveränderungen kommen. Man spricht dann von einem chronischen allergischen Kontaktekzem. Aus Präventionsgründen ist in Anhang XVII der REACH-Verordnung und in der Bedarfsgegenständeverordnung [115] für die Nickelfreisetzung aus Erzeugnissen mit direktem und längerem Hautkontakt ein Grenzwert von $0,5\mu\text{g}/\text{cm}^2/\text{Woche}$ als Migrationslimit durch die Haut festgelegt, da bei dessen Einhaltung nicht mit einer Sensibilisierung zu rechnen ist. Nickelallergien der Haut sind häufig mit Hautallergien auf Cobalt und Chrom vergesellschaftet.

4.5.1 Allergien der Haut in der Allgemeinbevölkerung

Umfangreiche Übersichtsarbeiten wurden unter anderem von *Diepgen* et al. [116] veröffentlicht. Der Bundesgesundheitsurvey 2000 ermittelte eine Prävalenz aller allergischen Kontaktekzeme von 7 % (www.bfr.bund.de/cd/8230). Die Nickelsensibilisierung ist bei jungen Frauen weit verbreitet, jedoch rückläufig aufgrund der gesetzlichen Regelungen zu Nickel. Für die Auslösung der Reaktion ist eine reduzierte Integrität der Barrierefunktion der Haut von Bedeutung [117].

4.5.2 BK 5101 „Arbeitsbedingte Allergien der Haut“

Nickelallergien entstehen nur selten bei arbeitsbedingter Exposition [118]. Unter BK-Nr. 5101 können schwere und wiederholt rückfällige Hauterkrankungen als arbeitsbedingt anerkannt werden, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, für die die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit

ursächlich waren oder sein können. Eine solche Gefährdung kann durch Hautkontakt mit Metallionen, darunter Nickel, gegeben sein [5]. Zu den Arbeitsfeldern, für die eine arbeitsbedingte Nickelallergie in Betracht kommen kann, zählen vorrangig Galvanisieren, Metallbearbeitung und Löten. Auch Beschäftigte in der Elektronik [119] und im Friseurberuf könnten für eine arbeitsbedingte Nickelallergie in Betracht kommen, jedoch ist die heute damit verbundene Gefährdung als eher gering anzusehen [116]. Die Gefährdung wird insbesondere durch Feuchtarbeit erhöht.

Die Schwere der Erkrankung wird aufgrund der klinischen Symptomatik bewertet. Allergien wie solche auf Nickel werden wegen der ihnen zugrundeliegenden Sensibilisierung allerdings grundsätzlich als „schwer“ eingeschätzt. Als wiederholt rückfällig wird ein Erkrankter bewertet, wenn mindestens drei Krankheitsschübe vorliegen. Auch bei Vorliegen der medizinischen Voraussetzungen zur Anerkennung einer BK können Beschäftigte mit Nickelallergien der Haut unter Einsatz geeigneter Schutzmaßnahmen (z. B. im Rahmen des Hautarztverfahrens) häufig in der Tätigkeit verbleiben, sodass sie wegen des Fehlens sozialrechtlicher Voraussetzungen (Aufgabe der ursächlichen Tätigkeit) dann nicht in den BK-Statistiken der anerkannten Fälle registriert werden. Empfehlungen zur Begutachtung von Berufsdermatosen geben z. B. *Skudlik* et al. [120] oder die Bamberger Empfehlung [7] (<https://publikationen.dguv.de/versicherungleistungen/berufskrankheiten/2058/bamberger-empfehlung?number=SW16058>).

4.6 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Arbeitgebende haben entsprechend den Vorgaben der ArbMedVV arbeitsmedizinische Vorsorge zu veranlassen (Pflichtvorsorge) oder anzubieten (Angebotsvorsorge), wenn die Kriterien des Anhangs Teil 1 Abs. 1, Nr. 1 bzw. Abs. 2 Nr. 1 ArbMedVV erfüllt sind [39]. Demzufolge gilt bei Tätigkeiten mit Exposition gegenüber metallischem Nickel eine Pflichtvorsorge, wenn der AGW nicht eingehalten ist; bei dessen Einhaltung gilt eine Angebotsvorsorge.

Nach Verordnung (EG) 1272/2008 (CLP-Verordnung) Anhang VI, Tabelle 3 sind nickeloxidische Verbindungen als Carc. 1A kategorisiert (entsprechend der bisherigen Einstufung nach GefStoffV K1) [121]. Dies gilt im Rahmen der Prävention auch für oxidische Nickelverbindungen in Schweißrauch. Für diese Verbindungen gilt nach Anhang Teil 1 Abs. 1, Nr. 1 ArbMedVV Pflichtvorsorge, wenn eine wiederholte Exposition – ungeachtet deren Dauer und der Konzentration am Arbeitsplatz – möglich ist [39]. Der AGW für die nicht-krebserzeugenden Wirkungen findet in diesem Fall keine Anwendung.

Hiervon kann in Verbindung mit Abschnitt 3.3 der TRGS 561 [37] und Abschnitt 3.2 Abs. 1 der Arbeitsmedizinischen Regel (AMR) 11.1 abgewichen werden, wenn die Akzeptanzkonzentration für Nickelverbindungen eingehalten ist [122]. Voraussetzung ist der ausreichende Nachweis aus Biomonitoring-Untersuchungen entsprechend Abschnitt 3.1, Nr. 5 der AMR 11.1, dass der BAR für Nickel unterschritten ist. Von der Pflichtvorsorge kann entsprechend Abschnitt 3.2 Abs. 1 Nr. 5 der AMR 11.1 auch dann abgewichen werden, wenn die Gefährdungsbeurteilung eine nur geringe Gefährdung entsprechend § 6 Abs. 13 der GefStoffV in Verbindung mit Abschnitt 6.2 der TRGS 400 [123] ergibt. Voraussetzung ist in jedem Fall, dass die Abweichung von der Regelvorsorge entsprechend Abschnitt 3.2 Abs. 2 der AMR 11.1 in der Gefährdungsbeurteilung begründet wird und die Beschäftigten ausdrücklich auf das Recht der Wunschvorsorge hingewiesen werden.

Nach Ausscheiden aus der gefährdenden Tätigkeit haben Arbeitgebende entsprechend § 5 Abs. 3 in Verbindung mit dem Anhang Teil 1, Abs. 3, Nr. 1 a) der ArbMedVV nachgehende Vorsorge anzubieten [39]. Hierzu übertragen Arbeitgebende am Ende des Beschäftigungsverhältnisses diese Verpflichtung auf den zuständigen gesetzlichen UVT und überlassen ihm die erforderlichen Unterlagen in Kopie, sofern der oder die Beschäftigte eingewilligt hat. Dies erfolgt durch eine Meldung an den Organisationsdienst für nachgehende Untersuchungen (ODIN). Diese Meldung kann auch im Rahmen der Meldung der Exposition gegenüber krebserzeugenden Stoffen an die ZED [13] erfolgen.

Als Anhaltspunkte für die arbeitsmedizinische Beratung und ggf. Durchführung von Untersuchungen der versicherten Personen können z. B. die Handlungsanleitung der

DGUV zur Durchführung arbeitsmedizinischer Vorsorge bei niclexponierten versicherten Personen, DGUV Information 240-380 [124], und der DGUV Grundsatz G 38 für arbeitsmedizinische Beratungen und Untersuchungen herangezogen werden [124].

Beim Tragen von Atemschutzgeräten der Gruppen 2 und 3 (z. B. zum Schutz vor nickelhaltigen Schweißrauch) ist nach Anhang Teil 4 Abs. 1, Nr. 1 ArbMedVV eine Pflichtvorsorge zu veranlassen, bei Geräten der Gruppe 1 nach Anhang Teil 4 Abs. 2, Nr. 2 ArbMedVV eine Angebotsvorsorge anzubieten [39]. Zur Durchführung kann der DGUV Grundsatz G 26 „Atemschutzgeräte“ herangezogen werden [125].

Es ist zu berücksichtigen, dass die innere Exposition durch biologisches Monitoring (Nickelbestimmung im Urin, nach Möglichkeit gegen Ende einer durchgehenden Arbeitswoche nach der Schicht) erfasst werden kann. Weitere Informationen finden sich in:

- AMR 2.1 „Fristen für die Veranlassung/das Angebot arbeitsmedizinischer Vorsorge“ [126]
- AMR 5.1 „Anforderungen an das Angebot von arbeitsmedizinischer Vorsorge“ [127]
- AMR 6.2 „Biomonitoring“ [128]

4.7 Statistische Auswertung angezeigter Erkrankungen

Die DGUV dokumentiert in der BK-Dokumentation (BK-DOK) alle Anzeigen der UVT auf Verdacht einer BK mit der gesamten Entwicklung des Falles. Für durch Nickel oder seine Verbindungen verursachte Krebserkrankungen liegen für den Zeitraum 1989 bis 2018 statistische Zahlen über BK-Fälle vor (**Tabelle 14 bis 16, Abbildung 2**).

Tabelle 14:

BK-Nr. 4109 „Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Nickel oder seine Verbindungen“: Anzeigen auf Verdacht, Anerkennungen, Neue BK-Renten und Todesfälle im Zeitraum 1989 bis 2018

| BK-Nr. 4109 | | | | |
|---------------|--------------------------------|---------------|--------------------------|--|
| Datenzeitraum | Anzeigen auf Verdacht einer BK | Anerkannte BK | | Todesfälle Berufserkrankter infolge der BK |
| | | Insgesamt | darunter: Neue BK-Renten | |
| 1989 bis 1994 | 105 | 29 | 29 | 19 |
| 1995 bis 1999 | 126 | 56 | 56 | 44 |
| 2000 bis 2004 | 119 | 23 | 23 | 28 |
| 2005 bis 2009 | 190 | 24 | 23 | 22 |
| 2010 bis 2014 | 201 | 21 | 20 | 11 |
| 2015 bis 2018 | 243 | 18 | 4 | 12 |
| gesamt | 984 | 171 | 155 | 136 |

© DGUV Referat Statistik; erstellt am 15. Juni 2020; Quelle: Geschäfts- und Rechnungsergebnisse der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Die Anerkennungen liegen in den Geschäfts- und Rechnungsergebnissen für die UVT der öffentlichen Hand erst ab 1995 vor. Um eine einheitliche Datenbasis abzubilden, werden nur die gewerblichen Berufsgenossenschaften ausgewiesen.

Tabelle 15:

Anerkannte Berufskrankheitenfälle der BK-Nr. 4109 „Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Nickel oder seine Verbindungen“ im Zeitraum 1989 bis 2018; Differenzierung nach UVT

| Datenzeitraum BK-Nr. 4109 | | | | | | | |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|
| UVT | 1989 bis 1994 | 1995 bis 1999 | 2000 bis 2004 | 2005 bis 2009 | 2010 bis 2014 | 2015 bis 2018 | Gesamt |
| BG RCI | 5 | 12 | 3 | 7 | 5 | 2 | 34 |
| BGHM | 15 | 34 | 11 | 12 | 10 | 7 | 89 |
| BG ETEM | 5 | 4 | 4 | 3 | 4 | 7 | 27 |
| BG BAU | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| BGN | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| BGHW | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 5 |
| BG Verkehr | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| VBG | 3 | 5 | 2 | 2 | 0 | 0 | 12 |
| BGW | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| gesamt | 29 | 56 | 23 | 24 | 21 | 17 | 170 |

© DGUV Referat Statistik; erstellt am 15. Juni 2020; Quelle: Geschäfts- und Rechnungsergebnisse der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Die Anerkennungen liegen in den Geschäfts- und Rechnungsergebnissen für die UVT der öffentlichen Hand erst ab 1995 vor. Um eine einheitliche Datenbasis abzubilden, werden nur die gewerblichen Berufsgenossenschaften ausgewiesen.

Tabelle 16:

Anerkannte BK-Fälle der BK-Nr. 4109 „Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Nickel oder seine Verbindungen“ im Zeitraum 1989 bis 2018; Differenzierung nach Einwirkungsdauer

| BK-Nr. 4109 | |
|-----------------------|---------------|
| Einwirkungsdauer | Anerkannte BK |
| < 1/2 Jahr | 3 |
| 1 bis unter 2 Jahre | 7 |
| 2 bis unter 5 Jahre | 2 |
| 5 bis unter 10 Jahre | 15 |
| 10 bis unter 15 Jahre | 13 |
| 15 bis unter 20 Jahre | 26 |
| 20 bis unter 25 Jahre | 32 |
| 25 bis unter 30 Jahre | 25 |
| 30 bis unter 35 Jahre | 16 |
| 35 bis unter 40 Jahre | 10 |
| 40 bis unter 45 Jahre | 11 |
| 45 bis unter 50 Jahre | 3 |
| keine Angabe | 8 |
| Gesamt | 171 |

© DGUV Referat Statistik; erstellt am 15. Juni 2020; Quelle: Geschäfts- und Rechnungsergebnisse der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Die Anerkennungen liegen in den Geschäfts- und Rechnungsergebnissen für die UVT der öffentlichen Hand erst ab 1995 vor. Um eine einheitliche Datenbasis abzubilden, werden nur die gewerblichen Berufsgenossenschaften ausgewiesen.

Abbildung 2:

Anerkannte BK-Fälle der BK-Nr. 4109 „Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Nickel oder seine Verbindungen“ im Zeitraum 1989 bis 2018, Differenzierung nach Einwirkungsdauer. Die Anerkennungen liegen in den Geschäfts- und Rechnungsergebnissen für die UVT der öffentlichen Hand erst ab 1995 vor. Um eine einheitliche Datenbasis abzubilden, werden nur die gewerblichen Berufsgenossenschaften ausgewiesen.

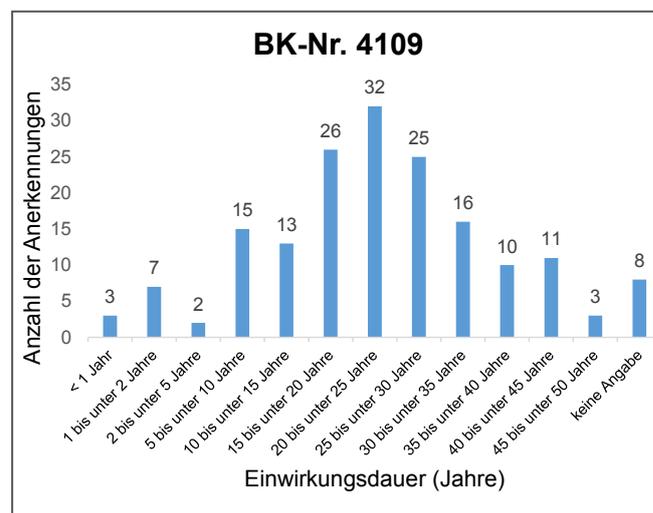


Tabelle 17:

Anerkannte BK-Fälle der BK-Nr. 4109 im Zeitraum 2005 bis 2018; Differenzierung nach Primärdiagnose

| BK-Nr. 4109 | |
|--|---------------|
| Primärkrankheit | Anerkannte BK |
| Bösartige Neubildung Nasenhöhle | 4 |
| Bösartige Neubildung des Larynx | 3 |
| Bösartige Neubildung der Bronchien und der Lunge | 54 |
| keine Angabe | 2 |
| gesamt | 63 |

© DGUV Referat Statistik; erstellt am 15. Juni 2020; Quelle: Geschäfts- und Rechnungsergebnisse (GuR) der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Die Anerkennungen liegen in den Geschäfts- und Rechnungsergebnissen für die UVT der öffentlichen Hand erst ab 1995 vor. Um eine einheitliche Datenbasis abzubilden, werden nur die gewerblichen Berufsgenossenschaften ausgewiesen.

Die Angaben in den **Tabellen 17 und 18** beziehen sich nur auf den Datenzeitraum 2005 bis 2018, da die beiden Merkmale Diagnose und Beruf jeweils einen Strukturbruch im Jahr 2002 aufweisen. Die Codierung und Bezeichnung der Berufe in Tabelle 18 entspricht dem DGUV ISCO-Schlüssel (ISCO: International Standard Classification of Occupations).

Die Verteilung der anerkannten und bestätigten BK-Fälle mit Nিকেleinwirkung nach den BK-Nr. 4301 „Durch allergisierende Stoffe verursachte obstruktive Atemwegserkrankungen (einschließlich Rhinopathie), die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können“⁵ und BK-Nr. 5101 „Schwere oder wiederholt rückfällige Hauterkrankungen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können“⁶ im Zeitraum 2005 bis 2018 enthält **Tabelle 19**. Bei der Meldung einer Anzeige auf Verdacht einer BK an die BK-DOK wird der BK-auslösende Gegenstand nicht erfasst. Daher können die Anzeigen auf Verdacht der BK-Nr. 4301 und 5101 nicht nach Nickel-Einwirkung ausgewertet werden.

⁵ Die besondere versicherungsrechtliche Voraussetzung des Unterlassungszwangs entfällt mit Wirkung zum 1. Januar 2021, vgl. BGBL I, S. 1248 ff. vom 23. Juni 2020, Siebtes Gesetz zur Änderung des Vierten Buches Sozialgesetzbuch und anderer Gesetze, Artikel 7 Nr. 3 a), Artikel 24, §12, Nr. 3 a).

⁶ Die besondere versicherungsrechtliche Voraussetzung des Unterlassungszwangs entfällt mit Wirkung zum 1. Januar 2021, vgl. BGBL I, S. 1248 ff. vom 23. Juni 2020, Siebtes Gesetz zur Änderung des Vierten Buches Sozialgesetzbuch und anderer Gesetze, Artikel 7 Nr. 3 a), Artikel 24, §12, Nr. 3 a).

Tabelle 18:

Anerkannte BK-Fälle der BK-Nr. 4109 im Zeitraum 2005 bis 2018“; Differenzierung nach Berufsgruppe

| BK-Nr. 4109 | |
|---|---------------|
| Berufsgruppe | Anerkannte BK |
| Technische und sonstige Fachkräfte | 3 |
| Mineralgewinnungs- und Bauberufe | 4 |
| Metallarbeiter, Mechaniker und verwandte Berufe; darunter: 18 Brennschneider, Schweißer, Lötter | 38 |
| Bediener stationärer und verwandter Anlagen | 5 |
| Maschinenbediener und Montierer | 7 |
| Anderweitige Berufe, Unbekannt | 6 |
| gesamt | 63 |

© DGUV Referat Statistik; erstellt am 15. Juni 2020; Quelle: Geschäfts- und Rechnungsergebnisse (GuR) der gewerblichen Berufsgenossenschaften. Die Anerkennungen liegen in den Geschäfts- und Rechnungsergebnissen für die UVT der öffentlichen Hand erst ab 1995 vor. Um eine einheitliche Datenbasis abzubilden, werden nur die gewerblichen Berufsgenossenschaften ausgewiesen.

Tabelle 19:

Anerkannte und bestätigte BK-Fälle mit Nickeleinwirkung der BK-Nr. 4301 und der BK-Nr. 5101 im Zeitraum 2005 bis 2018; Differenzierung nach UVT

| UVT | BK-Nr. 4301 mit Nickel-Einwirkung | | BK-Nr. 5101 mit Nickeleinwirkung | | | |
|---------------|--|--|----------------------------------|---------------|--------------|------------|
| | Bestätigte ¹ BK | Anerkannte BK | Bestätigte ¹ BK | Anerkannte BK | | |
| BG RCI | aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht separat ausgewiesen | aus datenschutzrechtlichen Gründen nicht separat ausgewiesen | 87 | 6 | | |
| BGHM | | | 508 | 47 | | |
| BG ETEM | | | 442 | 32 | | |
| BG BAU | | | 310 | 19 | | |
| BGN | | | 98 | 4 | | |
| BGHW | | | 1 357 | 20 | | |
| BG Verkehr | | | 9 | 2 | | |
| VBG | | | 209 | 5 | | |
| BGW | | | 1 353 | 55 | | |
| UVTöH | | | 118 | 11 | | |
| gesamt | | | 12 | 5 | 4 491 | 201 |

© DGUV Referat Statistik; erstellt am 15. Juni 2020; Quelle: Geschäfts- und Rechnungsergebnisse (GuR) der gewerblichen Berufsgenossenschaften.

1 Die bestätigten Fälle umfassen neben den anerkannten BK auch die Fälle, in denen die berufliche Verursachung festgestellt wurde, besondere versicherungsrechtliche Voraussetzungen jedoch nicht erfüllt waren, wie die Aufgabe der Tätigkeit.

5 Ermittlung von Expositionsdaten

5.1 Messung von Nickel und seinen Verbindungen in der Luft an Arbeitsplätzen

Zur Quantifizierung von Expositionen gegenüber Nickel und seinen anorganischen Verbindungen steht eine Reihe von Messverfahren zur Verfügung, die jedoch in der Regel keine Unterscheidung von Nickelverbindungen oder Oxidationsstufen zulassen. Gleichwohl ist mit diesen Verfahren eine Überwachung von Arbeitsplätzen auf Einhaltung von stoffspezifischen Nickelgrenzwerten möglich, da analytisch das gesamte Nickel und seine Verbindungen erfasst werden.

5.1.1 Probenahme

Zur messtechnischen Ermittlung von Gefahrstoffexpositionen werden üblicherweise Luftproben im Arbeitsbereich der Exponierten genommen. Die Probenahme erfolgt mit stationären oder personengetragenen Probenahmesystemen (**Tabelle 20**), die in der Regel die E- oder A-Fraktion erfassen. Die Konzentration nickelhaltiger Aerosole wurde überwiegend in der E-Fraktion bestimmt. Bei der Probenahme werden die Aerosole auf Filtern abgeschieden. Dazu werden hauptsächlich Membran-, aber auch Quarzfaserfilter verwendet. Bis ca. Mitte der 1990er-Jahre waren auch Glasfaserfilter in Gebrauch (**Tabelle 21**).

Tabelle 20:

Zeitverlauf der Verwendung unterschiedlicher Probenahmesysteme für Nickel und seine Verbindungen sowie Nickelverbindungen in Form atembare Tröpfchen in der E-Fraktion

| Probenahmesystem | Anzahl Proben | | | | | Summe |
|-----------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1975 bis 1979 | 1980 bis 1989 | 1990 bis 1999 | 2000 bis 2009 | 2010 bis 2016 | |
| VC-25 G | 597 | 6 230 | 3 322 | 1 488 | 514 | 12 151 |
| PAS G-Viellochkopf, 2 l/min | | 1 003 | 16 | | | 1 019 |
| PM4 G | | 40 | 49 | 73 | 94 | 256 |
| PAS-Pumpe, GSP | | 185 | 5 749 | 5 705 | 3 908 | 15 547 |
| PAS-Pumpe, GSP-10 | | | 2 | 881 | 1 511 | 2 394 |
| Summe | 597 | 7 458 | 9 138 | 8 147 | 6 027 | 31 367 |

Tabelle 21:

Zeitverlauf der Verwendung unterschiedlicher Filtertypen

| Filtertyp | Anzahl Proben | | | | | Summe |
|------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1975 bis 1979 | 1980 bis 1989 | 1990 bis 1999 | 2000 bis 2009 | 2010 bis 2016 | |
| Keine Angaben | 597 | 269 | | | | 866 |
| Glasfaserfilter | | 6 878 | 3 698 | 152 | | 10 728 |
| Membranfilter | | 311 | 4 237 | 6 837 | 5 420 | 16 805 |
| Quarzfaserfilter | | | 301 | 24 | | 325 |
| Quarzfaserdoppelfilter | | | 902 | 1 134 | 607 | 2 643 |
| Summe | 597 | 7 458 | 9 138 | 8 147 | 6 027 | 31 367 |

5.1.2 Analytik

5.1.2.1 Aufschluss der Proben

Heute werden luftgetragene Stäube in der Regel auf Membranfiltern abgeschieden. Diese sind – im Gegensatz zu Glasfaserfiltern – blindwertarm und lösen sich bei den folgenden Aufschlussprozeduren auf. Die sich dem Aufschluss anschließenden Analysenverfahren setzen zur quantitativen Bestimmung eine gelöste Probe voraus, d. h., dass das auf dem Filter im abgeschiedenen

Staub vorhandene Nickel in Lösung gebracht werden muss. Dabei werden praxiserprobte und weitgehend standardisierte Aufschlussbedingungen gewählt, wie sie in den „Analytischen Methoden zur Prüfung gesundheitlicher Arbeitsstoffe“ der DFG empfohlen werden [129]. Das Extraktionsgemisch für Stäube zur Bestimmung des „Gesamtmetallgehalts“ setzt sich aus konzentrierter Salzsäure (25 %) und konzentrierter Salpetersäure (65 %) im Volumenverhältnis 1 : 2 zusammen und stellt – in Bezug auf die im Körper vorherrschenden Bedingungen – extreme Löslichkeitsbedingungen dar. Wegen der feinen Ver-

teilung der Stäube auf dem Filter und der häufig geringen Partikelgrößen lassen sich auch schwerlösliche Verbindungen unter den beschriebenen Bedingungen in Lösung bringen. Die nach dem Aufschluss erhaltenen Lösungen lassen sich aufgrund der hohen Salzkonzentrationen nicht ohne Matrixanpassungen für die nachfolgenden Analysenverfahren verwenden und müssen verdünnt werden.

5.1.2.2 Analyse der Proben

Aufgrund der kanzerogenen Wirkung der meisten Nickelverbindungen (als K 1A und K 1B eingestuft) und der niedrigen Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen (jeweils $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in der A-Fraktion) können nur noch empfindliche Analysenverfahren, wie die Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS), zur Bestimmung von Nickel herangezogen werden. Hierbei erfolgt die Bestimmung auf Basis des Nickelisotops mit der Masse 60.

Beim Einsatz eines sequentiellen ICP-Massenspektrometers können bei der Masse 60 für die Nickelbestimmung hohe Konzentrationen anderer Elemente und Verbindungen Interferenzen hervorrufen, die ein falsch positives Ergebnis verursachen können, beispielsweise durch $^{43}\text{Ca}^{16}\text{O}^+\text{H}$, $^{44}\text{Ca}^{16}\text{O}$ und $^{23}\text{Na}^{37}\text{Cl}$. Bei den grundsätzlich unbekanntem Proben müssen die Messwerte auf mögliche Interferenzen geprüft und gegebenenfalls ein weiterer geeigneter Verdünnungsschritt zur Erzielung eines validen Ergebnisses gewählt werden. Eine primäre Verdünnung von 1 : 5 wird grundsätzlich empfohlen. Durch eine geeignete Verdünnung erreicht man eine Reduzierung von nicht spektralen Interferenzen und Matrixeffekten.

Eine Vielzahl polyatomarer Interferenzen kann durch den Einsatz unterschiedlicher Zelltechniken minimiert werden, beispielsweise bei der Messung von Nickel im Kollisionsmodus mit Helium oder im Zellmodus mit Ammoniak.

In der ICP-MS wird bei der Berechnung des Analyseergebnisses ein interner Standard eingesetzt. Beispielsweise können Rubidium und Terbium eingesetzt werden. Die Intensitäten der internen Standards sollten in einer Größenordnung liegen, bei denen ihre Signalstreuungen möglichst klein sind. Gleichzeitig sollten sie selbst nicht Ursache für Interferenzen und unerwünschte Matrixeffekte sein. Zusätzlich sollten die internen Standards so gewählt werden, dass sie nach aktuellem Kenntnisstand kein Bestandteil der Proben sind. Diese Forderung muss bei unbekanntem Proben geprüft werden, z. B. auf der Basis der absoluten Intensitäten oder durch Vergleichsrechnungen mehrerer interner Standards. Die weitergehenden Forderungen an interne Standards in der ICP-MS – wie Nähe zur Masse der Analyten bei gleichzeitiger

Ähnlichkeit der Ionisierungspotentiale – lassen sich bei realen unbekanntem Proben in der Auftragsanalytik nicht realisieren. Durch den Einsatz von Multielementstandards bei der Kalibrierung können neben Nickel weitere Elemente in geringen Konzentrationen erfasst werden. Eine ausführliche Beschreibung eines Multielementverfahrens zur Bestimmung von Nickel und seinen Verbindungen und weiteren Elementen wird in der IFA-Arbeitsmappe Kennziffer 7808 beschrieben [130].

Eine weitere sehr empfindliche Methode ist die flammenlose Atomabsorptionsspektroskopie (Graphitrohrentechnik, GF-AAS). Nickel wird bei einer Wellenlänge von 232,0 nm untersucht. Eine ausführliche Beschreibung der Methode findet sich in der DGUV Information 213-510 [131]. Die GF-AAS beschreibt allerdings ein Einzелеlementverfahren; eine simultane Bestimmung mehrerer Elemente einer Messlösung ist nicht möglich.

Für bestimmte Fragestellungen sind jedoch andere Verfahren wie die totalreflektierende Röntgenfluoreszenz (TXRF, TRFA) geeignet. Die Bestimmungsgrenzen dieser Methode liegen in ähnlichen Größenordnungen wie bei der Flammen-AAS. Die Probenvorbereitung unterscheidet sich von den oben genannten Verfahren dadurch, dass die Zugabe von drei internen Standards zum Säuregemisch (Aufschlussmittel) notwendig ist. Auf Verdünnungen der Aufschlusslösungen kann verzichtet werden. Teilmengen dieser Lösung werden auf Quarzglasprobenträgern getrocknet und analysiert (Anregung mit Mo- oder W-Röhre). Auch hierbei können weitere Elemente gegenüber dem Nickel bestimmt werden. Die TXRF-Methode ermöglicht die Analyse auch schwer- bzw. unlöslicher Nickelverbindungen. Hierzu werden Suspensionen mithilfe von Aceton hergestellt und untersucht. Zudem ermöglicht auch diese Methode die simultane Untersuchung der Probe auf weitere gesundheitlich bedenkliche Elemente (Screening).

Weitere geeignete Analysenverfahren zur Bestimmung der Nickelkonzentration in der Luft an Arbeitsplätzen sind die ICP-OES (Multielementverfahren) und die Flammen-AAS (Acetylen/Luft-Flamme, Einzелеlementverfahren). Beide Methoden, die in früheren Jahrzehnten zum Einsatz kamen, sind jedoch relativ unempfindlich und sollten heute nur noch in Bereichen eingesetzt werden, in denen mit hohen Konzentrationen zu rechnen ist. Der zeitliche Verlauf des Einsatzes der unterschiedlichen Analysensysteme ist in **Tabelle 22** dargestellt.

Tabelle 22:

Zeitverlauf der Verwendung unterschiedlicher Analysensysteme für Nickel und seine Verbindungen sowie Nickelverbindungen in Form atembare Tröpfchen in der E-Fraktion

| Analysensystem | Anzahl Proben | | | | | Summe |
|---------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1975 bis 1979 | 1980 bis 1989 | 1990 bis 1999 | 2000 bis 2009 | 2010 bis 2016 | |
| AAS, Flammentechnik | 597 | 7 116 | 5 175 | 2 040 | 2 | 14 930 |
| AAS, Graphitrohrtechnik | | 149 | 3 036 | 2 240 | 72 | 5 497 |
| Röntgenfluoreszenzspektrometrie | | 192 | 585 | 1 468 | 1 132 | 3 377 |
| ICP-Massenspektrometrie | | 1 | 342 | 1 273 | 4 509 | 6 125 |
| ICP-Emissionsspektrometrie | | | | 1 126 | 312 | 1 438 |
| Summe | 597 | 7 458 | 9 138 | 8 147 | 6 027 | 31 367 |

Für alle oben genannten Analysenverfahren gilt, dass sowohl das eingesetzte Verfahren als auch das Probenahmesystem (Probenahmeluftvolumen) sowie die verwendete Filterart und Größe primär Einfluss auf die Bestimmungsgrenze einer Expositionsermittlung nehmen.

Allgemein ist die Bestimmungsgrenze umso niedriger, je höher das Probenahmeluftvolumen ist. Weitere Einflussfaktoren auf die Höhe der Bestimmungsgrenze sind Reagenzien und Gerätschaften, die hohe Metall-Blindwerte enthalten oder abgeben und dadurch die analytischen Messungen beeinflussen. Außerdem sind Matrixeffekte relevant, die durch unbekannte Inhaltstoffe des gesammelten Staubes zustande kommen können.

Probenahme und Analysenverfahren werden im Messsystem Gefährdungsermittlung der UVT (MGU) in der Regel so entwickelt, dass bei einer Standardprobenahmedauer (in den meisten Fällen zwei Stunden) die Bestimmungsgrenze bei einem Zehntel des jeweils gültigen Grenzwertes liegt.

Bei Stoffen mit Akzeptanz- und Toleranzkonzentrationen kann diese Anforderung jedoch in einigen Fällen mangels geeigneter Analysenverfahren für so niedrige Konzentrationen nicht erreicht werden. Hier sind die Anforderungen nach TRGS 402 Anlage 3 zu erfüllen [38]. Bei geeigneten Verfahren für die Überwachung der Akzeptanz- und Toleranzkonzentration beträgt die Anforderung an die Bestimmungsgrenze des Messverfahrens kleiner oder gleich 1/5 der Akzeptanzkonzentration. Für die Überwachung der Toleranzkonzentration muss die Bestimmungsgrenze kleiner oder gleich der Akzeptanzkonzentration sein. Bei bedingt geeigneten Messverfahren ist mindestens die Anforderung zu erfüllen, dass die Bestimmungsgrenze kleiner oder gleich der Akzeptanz- bzw. Toleranzkonzentration ist.

Werden kürzere Probenahmedauern gewählt, z. B. 15 Minuten statt zwei Stunden, steigt die Bestimmungsgrenze an.

Im Beispiel einer Probenahmedauer von 15 Minuten liegt die Bestimmungsgrenze beim bis zu achtfachen des Wertes für eine zweistündige Probenahmedauer. Dies erklärt die teilweise relativ hohen Bestimmungsgrenzen in den Auswertekollektiven in Abschnitt 6.

5.1.3 Bewertung von Messwerten

Bei der Bewertung von Messergebnissen muss beachtet werden, dass mit den beschriebenen Methoden zwar geringste Nickelkonzentrationen in der Luft an Arbeitsplätzen quantitativ nachgewiesen werden können, eine Unterscheidung nach Verbindungsart oder Oxidationsstufe des Metalls aber nicht möglich ist. Daher sollte generell der auf Nickel bezogene Messwert (Nickelverbindungen als K 1A, K 1B eingestuft) als Anhaltspunkt für zu treffende Schutzmaßnahmen herangezogen werden (vgl. TRGS 402, Kapitel 5) [38]. Wenn ausschließlich von Nickelmetall am Arbeitsplatz ausgegangen werden kann, kann zur Beurteilung der AGW von $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Nickelmetall) in der A-Fraktion herangezogen werden (siehe Abschnitt 3.5.2).

5.2 Biomonitoring

Nickel wird ubiquitär über die Nahrung und das Trinkwasser aufgenommen, wobei von einer täglichen Aufnahme von rund $90 \mu\text{g}$ ausgegangen wird [44]. Besonders nickelhaltig sind Nüsse, verschiedene Getreidearten, Hülsenfrüchte, Samen, Schokolade, Meeresfrüchte und tierische Innereien [132]. Keinen Einfluss haben hingegen nickelhaltige Küchenutensilien. Zwischen 3 und 6 % des über die Nahrung aufgenommenen Nickels werden resorbiert und über die Niere ausgeschieden. Für leichtlösliche Nickelverbindungen wurde bei leerem Magen eine Resorption von bis zu 50 % beobachtet [133; 134]. Der Großteil des aufgenommenen Nickels wird jedoch über den Stuhl ausgeschieden. Die inhalative Aufnahme liegt für die Allgemeinbevölkerung bei $20 \text{ ng}/\text{m}^3$ und ist

damit deutlich geringer im Vergleich zur täglichen Aufnahme über die Nahrung. Anders verhält es sich für die Nickelexposition an Arbeitsplätzen – hier ist die inhalative Aufnahme von entscheidender Bedeutung [134], wobei rund 35 % der aufgenommenen Nickelmenge resorbiert werden [133]. Dabei hängt die Geschwindigkeit der Resorption von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der jeweiligen Nickelverbindung ab, leichtlösliche Nickelverbindungen werden schneller resorbiert. Der Nickeltransport im Körper findet überwiegend im Plasma statt, wobei Nickel an Albumin und α 2-Makroglobulin sowie an ultrafiltrierbare Bestandteile gebunden sein kann [134].

5.2.1 Hintergrundbelastungen

Im Urin ist die Nickelkonzentration etwa acht- bis zehnmal höher als im Blut. Daraus ergibt sich für die Urinanalytik eine höhere diagnostische Empfindlichkeit [134]. Dennoch eignen sich sowohl Urin als auch Blut (Vollblut oder Blutplasma) für das Biomonitoring von Nickel. *Heitland* und *Köster* haben in einer Studie mit 87 bei der Arbeit nicht belasteten Personen aus Norddeutschland Nickelkonzentrationen zwischen $< 0,032$ und $7,2 \mu\text{g/l}$ bestimmt (Mittelwert $0,76 \mu\text{g/l}$, 95. Perzentil $2,5 \mu\text{g/l}$) [132; 135]. Raucher weisen im Vergleich zu Nichtrauchern signifikant höhere Nickelkonzentrationen im Urin und Blut auf (Beispiel Urin: Raucher: $< 0,01$ bis $8,2 \mu\text{g/l}$, Median $1,2 \mu\text{g/l}$, Nichtraucher: $< 0,01$ bis $4,6 \mu\text{g/l}$, Median $0,5 \mu\text{g/l}$) [136]. Der BAR liegt ebenso wie der Referenzwert der Kommission Humanbiomonitoring des Umweltbundesamtes bei $3,0 \mu\text{g/l}$ Urin.

Die Hintergrundbelastungen für Nickel im Blut liegen in der Allgemeinbevölkerung (Studie mit 130 Norddeutschen) zwischen $< 0,025$ bis $0,8 \mu\text{g/l}$ mit einem Mittelwert von $0,11 \mu\text{g/l}$ [137].

Der über die Jahre hinweg beobachtete Abfall der bestimmten Nickelkonzentrationen in der Literatur ist auf den Einsatz verbesserter Analysenverfahren zurückzuführen.

5.2.2 Probenahme und Probenlagerung

Bei der Probengewinnung und dem Probentransport zur Bestimmung von Nickel in Urin oder Blut ist eine Kontamination zu vermeiden. Beispielsweise sollte die Probenahme von Urin bei Beschäftigten nicht in der Arbeitskleidung, sondern nach Schichtende in Straßenkleidung erfolgen [132]. Zudem sollten die Probenbehälter nickelfrei sein. Dazu werden die Probengefäße für Urin meist mehrfach mit 1 M Salpetersäure und anschließend mit bidestilliertem Wasser gespült [138]. Die Urinproben können eine Woche bei $+4^\circ\text{C}$ gelagert werden, für eine

längere Lagerung sollten die Proben bei ca. -20°C eingefroren werden.

Zur Probennahme von Blut aus der Armvene wird Einmalentnahmebesteck mit Antikoagulant (z. B. K-EDTA) empfohlen [139]. Teilweise werden anstelle von medizinischen Spritzen Kunststoffkanülen verwendet, um eine Kontamination zu vermeiden [140]. Nach sofortiger Durchmischung zur Verminderung der Mikrokoagulation ist die Lagerung der Blutprobe bis zu einer Woche im Kühlschrank möglich. Bei längerer Lagerung sollten die Proben bei ca. -20°C verwahrt werden. Zur Probenvorbereitung und anschließender Analyse empfiehlt es sich, die Proben unter Verwendung eines Rollenmischers schonend auf Raumtemperatur zu bringen [139].

5.2.3 Analyse der Proben

Die Bestimmung von Nickel in Urin kann mittels GF-AAS erfolgen (Wellenlänge $232,0 \text{ nm}$, Untergrundkompensation Deuteriumlampe oder Zeemaneffekt, Rohrtyp pyrolytisch beschichtetes Graphitrohr). Dabei wird zuerst der Chelatbildner Hexamethylenammonium-hexamethylenedithiocarbamidat zur Anreicherung von Nickel der angesäuerten Urinprobe zugesetzt. Der Nickel-Chelat-Komplex wird im Anschluss mit einem Gemisch aus Diisopropylketon und Xylol aus dem Urin extrahiert und somit von den störenden Matrixbestandteilen abgetrennt. Zur Kalibrierung werden wässrige Standardlösungen eingesetzt. Die Nachweisgrenze des Verfahrens liegt bei $0,2 \mu\text{g/l}$ [138].

Nickel in Vollblut wird mittels elektrothermaler AAS bestimmt (Wellenlänge $232,0 \text{ nm}$, Untergrundkompensation Deuteriumlampe oder Zeemaneffekt, Rohrtyp pyrolytisch beschichtetes Graphitrohr). Die Probe wird mit Triton-X 100 unter Zusatz von Octanol achtfach verdünnt und im Graphitrohr einer mehrstufigen thermischen Zersetzung unterworfen. Die Bestimmung der Nickelkonzentration erfolgt mithilfe des Standardadditionsverfahrens. Die Nachweisgrenze des analytischen Verfahrens liegt bei $1 \mu\text{g/l}$ [139].

Die Bestimmung von Nickel in Blut und Urin ist auch mittels ICP-MS möglich. Dabei kann ein UV-Aufschluss als Probenvorbereitung vorangestellt werden [141]. Es ist auch möglich, die verdünnte Probe ohne weitere Probenvorbereitung zu vermessen, z. B. 1 : 5 Verdünnung von Urinproben mit 1 % Salpetersäure oder 1 : 10 Verdünnung von Blutproben mit 0,2 % Triton-X-100 und 0,5 % Ammoniaklösung [135; 137]. Bei der Analyse mittels ICP-MS werden meist Metalle, die nicht oder nur in geringsten Konzentrationen im Blut oder Urin der Allgemeinbevölkerung vorkommen, als interne Standards zugesetzt. Beispiele hierfür sind Scandium oder Rhodium. Für die Bestimmung

mittels ICP-MS wird das ^{60}Ni -Isotop zur Quantifizierung herangezogen. Dieses ist nur das zweithäufigste Isotop des Nickels, weist aber im Vergleich zum ^{58}Ni -Isotop deutlich weniger polyatomare Interferenzen auf.

Die Nachweisgrenzen für die Nickelanalytik mittels ICP-MS liegen für Blut bei $0,05\ \mu\text{g}/\text{l}$ und für Urin bei $0,032\ \mu\text{g}/\text{l}$ [135; 137].

5.2.4 Vergleich der Analysemethoden

Im Vergleich zur AAS sind für die Analytik von Nickel mittels ICP-MS einige Vorteile herauszustellen: Zum einen ist die Methode deutlich empfindlicher, sodass sich das Verfahren auch zur Bestimmung von Nickelkonzentrationen im umweltmedizinischen Bereich eignet. Zum anderen ermöglicht die ICP-MS eine simultane Bestimmung von Nickel mit anderen Metallen wie Chrom, Mangan, Cobalt, Vanadium, Molybdän und Kupfer. Dennoch ist zu beachten, dass bei der Analytik mittels ICP-MS, sofern kein

hochauflösendes Massenspektrometer verwendet wird, Interferenzen auftreten können, die zu falsch hohen Analyseergebnissen führen. So können für Nickel ^{60}Ni -Störungen auftreten, die durch $^{43}\text{Ca}^{16}\text{O}^1\text{H}$, $^{44}\text{Ca}^{16}\text{O}$ oder $^{23}\text{Na}^{37}\text{Cl}$ verursacht werden. Sofern kein hochauflösendes Massenspektrometer verwendet wird, empfiehlt sich beispielsweise der Einsatz einer Kollisionsgaszelle, in der mittels Kinetischer-Energie-Diskriminierung (KED) die interferierenden polyatomaren Spezies entfernt werden können. Der Einsatz einer Reaktionsgaszelle mit Ammoniak kann ebenfalls zur Minimierung polyatomarer Verbindungen verwendet werden.

Isobare Interferenzen sollten möglichst durch Auswahl alternativer Isotope vermieden werden. Stehen keine alternativen Isotope zur Verfügung und führt der Einsatz einer Zelltechnik nicht zu einer hinreichenden Minimierung der Interferenzen, sollten robuste Plasmabedingungen gewählt werden, um eine rechnerische Interferenzkorrektur zu ermöglichen.

6 Tätigkeiten und Expositionsdaten von Nickel und seinen Verbindungen an Arbeitsplätzen

6.1 Allgemeines

Im Hinblick auf arbeitsbedingte Erkrankungen sind sowohl Arbeitsverfahren von Bedeutung, in denen Nickelverbindungen zum Einsatz kommen oder entstehen bzw. freigesetzt werden, als auch Produkte, die Nickel und Nickelverbindungen als Verunreinigungen oder Begleitstoffe enthalten. Hierzu sind nachfolgend zahlreiche Beispiele genannt, wobei die Aufzählung nicht vollständig ist.

Arbeitsplätze (Beispiele):

- Nickelerz-Aufbereitung
- Nickelraffination
- Nickelschmelzen
- Herstellung nickelhaltiger Legierungen
- Galvanotechnik (elektrolytische Vernickelung)
- Herstellung Ni-Cd-Batterien
- Schweißen, Schneiden, Schleifen nickelhaltiger Legierungen
- Magnetherstellung
- Glas- und Keramikindustrie, Emaillierungen
- Herstellung nickelhaltiger Farben, Lacke
- Modeschmuckherstellung

Arbeitsplätze, bei denen weder Nickel oder nickelhaltige Materialien be- oder verarbeitet wurden und bei denen auch keine Prozessstoffe Nickel enthalten, stehen auch nicht im Verdacht, mit einer relevanten Nিকেlexposition in Verbindung zu stehen. Beispiel: Schweißer, die keine nickelhaltigen Grund- und Schweißzusatzwerkstoffe verwendeten, hatten keine Nিকেlexposition. Dies gilt es bei der Ermittlung zu erfragen.

Nach dem Merkblatt zur BK 4109 [4] ist auch bei folgenden Arbeiten mit einer Nিকেlexposition zu rechnen:

- Elektrolytische Abscheidung von Nickel unter Verwendung unlöslicher Anoden,
- Herstellen und Verarbeiten von Nickel und Nickelverbindungen in Pulverform,
- Thermisches Spritzen (Flamm-, Lichtbogen-, Plasmaspritzen) mit nickelhaltigen Spritzzusätzen,
- Fabrikation von nickelhaltigen Spezialstählen (z. B. Ferronickel),
- Plattieren (mechanisches Vernickeln),
- Verwendung von feinverteiltem Nickel als großtechnischer Katalysator in der organischen Chemie (z. B. bei der Fetthärtung).

6.2 Grundlagen der Messdatenauswertung und Zeittrend der Nিকেlexposition im Überblick

Die in diesem Report aufgeführten Messwerte zu „Nickel und seinen Verbindungen“ sowie zu „Nickelverbindungen in Form atembare Tröpfchen“ wurden im Rahmen des qualitätsgesicherten MGU branchen- und arbeitsbereichsspezifisch ermittelt und in MEGA gespeichert [142]. Die Messungen von Nিকেlexpositionen erfolgten nach der Messstrategie der TRGS 402 [38]. Dabei kamen die in Abschnitt 5 genannten Verfahren zum Einsatz.

Für den Report wurden Expositionsdaten im Datenzeitraum 1975 bis 2016 ausgewertet. Dabei wurden jeweils nur Daten ausgewertet, bei denen die Probenahmezeit repräsentativ für die gesamte Expositionsdauer war. Eine Differenzierung nach stationären Messungen und Messungen an der Person sowie nach mit oder ohne Erfassung der Emissionen wurde bei ausreichend großen Datenkollektiven vorgenommen. Falls an der Person ermittelte Messwerte vorliegen, sollten diese zur Beurteilung der Exposition bevorzugt herangezogen werden.

Die statistische Auswertung des MEGA-Datenbestandes erfolgte mit der im IFA entwickelten Auswertesoftware MEGAPro. Die Datenkollektive wurden nach Branchenzugehörigkeit und Arbeitsbereichen selektiert. Das für die Branchen verwendete Schlüsselverzeichnis basiert auf dem Verzeichnis „Systematik der Wirtschaftszweige mit Betriebs- und ähnlichen Benennungen“ des Statistischen Bundesamtes [143]. Auf diese Weise wurden Messwerte zu vergleichbaren Branchen und Arbeitsbereichen zusammengefasst.

Tabelle 23 gibt einen ersten Überblick zur Expositionshöhe von Nickel und seinen Verbindungen in der E-Fraktion. Zu Nickel in der A-Fraktion liegen bis 2016 nur wenige Daten vor, so dass keine repräsentative Beurteilung von Branchen und Arbeitsbereichen möglich ist. Daher werden diese im Report nicht ausgewertet.

Auswertungen zum Verhältnis von Nickel in der einatembaren und alveolengängigen Staubfraktion in verschiedenen Arbeitsbereichen liefert *Wippich* [144]. Ausgewertet wurden hierfür Nickel-Messwerte bei der Heißverarbeitung (vor allem Schweißen), bei der spanenden Bearbeitung sowie bei Füll-, Transport- und Lagertätigkeiten.

In allen Tabellen mit Auswertungen von Daten aus MEGA ist die Darstellung der statistischen Parameter standardisiert, um einen Vergleich der Tabellen zu ermöglichen (**Tabelle 24**).

Tabelle 23:

Überblick aller Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion zwischen 1975 und 2016

| Ausgewertete Probenahmesysteme | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| E-Fraktion | | | | | | |
| VC-25 G PM4 G PAS G-Viellochkopf, 2 l/min PAS-Pumpe, GSP PAS-Pumpe, GSP-10 | 31 367 | 7 507 | 9 663 (31 %) | 3,2 | 0,005 + | 0,17 + |

Tabelle 24:

Standardisierte Tabelle

| Spalte 1 | Spalte 2 | Spalte 3 | Spalte 4 | Spalte 5 | Spalte 6 | Spalte 7 |
|--------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| Beschreibung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |

Spalte 1: Beschreibung

Beschreibung des ausgewerteten Datenkollektivs, z. B. Branche oder Arbeitsbereich

Spalte 2: Anzahl Messwerte

Anzahl der Messdaten bezogen auf Nickel und seine Verbindungen

*** Das Kollektiv enthält weniger als 10 Messwerte. Daher werden keine Perzentile, sondern es wird der arithmetische Mittelwert ausgegeben. Der 90%-Wert kann dann nach *Coenen* [145, zitiert in 146] durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden. Auf dieses Vorgehen wird unter den jeweiligen Tabellen hingewiesen.

Spalte 3: Anzahl Betriebe

Anzahl der Betriebe in denen die Exposition gegenüber Nickel und seinen Verbindungen gemessen wurde

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

Spalte 4: Anzahl und (%) Werte < BG

Anzahl und Prozentsatz der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze (BG) des jeweiligen Messverfahrens

* Liegen Analyseergebnisse unterhalb der jeweiligen BG, dann geht der Wert der halben BG in die Statistik ein.

Spalte 5: Höchste BG in mg/m³

Angabe der höchsten BG im Datenkollektiv; die BG kann variieren, z. B. in Abhängigkeit von der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom

* Liegen Analyseergebnisse unterhalb der jeweiligen BG, dann geht der Wert der halben BG in die Statistik ein.

Spalte 6: 50%-Wert in mg/m³

Für diesen Wert (50. Perzentil) gilt, dass 50 % der vorhandenen Konzentrationswerte unterhalb, die restlichen 50 % oberhalb dieses Wertes liegen.

* Liegen Analyseergebnisse unterhalb der jeweiligen BG, dann geht der Wert der halben BG in die Statistik ein.

+ Liegt der Verteilungswert unterhalb der höchsten BG im Datenkollektiv wird der Wert mit einem + gekennzeichnet. Die BG kann, z. B. in Abhängigkeit von der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom, variieren.

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

Tabelle 25:

Zeittrend der Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion bei Probenahme an der Person im Vergleich zu stationärer Probenahme

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1983 bis 1989 | 1 111 | 439 | 464 (41,8 %) | 0,25 | 0,025 + | 0,43 |
| 1990 bis 1999 | 4 226 | 1 657 | 1 207 (28,6 %) | 0,13 | 0,01 + | 0,22 |
| 2000 bis 2009 | 4 478 | 1 849 | 1 129 (25,2 %) | 3,2 | 0,0066 + | 0,19 + |
| 2010 bis 2016 | 3 920 | 1 761 | 1 282 (32,7 %) | 0,055 | 0,0023 + | 0,071 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1975 bis 1979 | 597 | 147 | 26 (4,4 %) | 0,01 | 0,06 | 1,413 |
| 1980 bis 1989 | 6 347 | 1 382 | 1 683 (26,5 %) | 0,15 | 0,01 + | 0,39 |
| 1990 bis 1999 | 4 912 | 1 744 | 1 561 (31,8 %) | 0,07 | 0,0029 + | 0,093 |
| 2000 bis 2009 | 3 669 | 1 415 | 1 393 (38 %) | 0,095 | 0,0017 + | 0,038 + |
| 2010 bis 2016 | 2 107 | 976 | 918 (43,6 %) | 0,02 | 0,00085 + | 0,016 + |

Spalte 7: 90%-Wert in mg/m³

Für diesen Wert (90. Perzentil) gilt, dass 90 % der vorhandenen Konzentrationswerte unterhalb, die restlichen 10 % oberhalb dieses Wertes liegen.

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

+ Liegt der Verteilungswert unterhalb der höchsten BG im Datenkollektiv wird der Wert mit einem + gekennzeichnet. Die BG kann, z. B. in Abhängigkeit von der Probenahmedauer oder dem Volumenstrom, variieren.

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

Liegen weniger als 10 Messwerte in einem Datenkollektiv vor, wird in der Regel keine Auswertung vorgenommen. Werden diese Kollektive in Ausnahmefällen doch dargestellt, werden keine Perzentile berechnet, sondern es wird der arithmetische Mittelwert der Messwerte dargestellt. Das Zweifache des arithmetischen Mittelwertes kann dann nach *Coenen* [145, zitiert in 146] als Schätzwert für das 90. Perzentil herangezogen werden.

Zur Untersuchung des generellen Zeittrends der Höhe der Nickerexposition am Arbeitsplatz wurden alle Messdaten zu Nickel aus MEGA ausgewertet. Im Vergleich der Datenzeiträume 1975 bis 1979, 1980 bis 1989, 1990 bis 1999, 2000 bis 2009 und 2010 bis 2016 hat die Höhe der Exposition sowohl bei einer Probenahme an der Per-

son als auch bei stationärer Probenahme abgenommen (**Tabelle 25**).

Die durch die Probenahme an der Person erfasste Expositionshöhe lag in den betrachteten Datenzeiträumen über der durch stationäre Probenahme erfassten Expositionshöhe. Daher sind für die Beurteilung im BK-Fall die Daten mit Probenahme an der Person heranzuziehen. Daten mit stationärer Probenahme können hilfsweise herangezogen werden, wenn eine versicherte Person durch Tätigkeiten anderer versicherter Personen, die in der Nähe seines Arbeitsplatzes ausgeführt wurden, exponiert war (Bystander-Exposition [146]).

6.3 Chemische Industrie

In der chemischen Industrie entsteht eine Exposition gegenüber Nickel bei der Herstellung und Verarbeitung von Nickelverbindungen in Pulverform und bei der Verwendung von Nickelmetallkatalysatoren. Diese werden zur Oberflächenvergrößerung staubförmig eingesetzt und stellen beim Umfüllen bzw. Einfüllen in den Reaktionsbehälter eine mögliche Expositionsquelle dar.

Anorganische Nickelverbindungen dienen z. B. zur Herstellung von nickelhaltigen Katalysatoren, die unter anderem zur Hydrierung organischer Verbindungen eingesetzt werden können. Sie können als Farbstoff beim Herstellen von Glas und Keramik benutzt werden und dienen als Funktionsbestandteile bei Elektroden und Feldplatten. Sie dienen zur Speicherung von elektrischer Energie in Nickel-Cadmium- und anderen Nickelakkumulatoren und werden zur Galvanisierung (Vernickelung) eingesetzt.

Exponierte Arbeitsbereiche in der chemischen Industrie sind typischerweise beim Zusammenstellen von Feststoff- bzw. flüssigen Gemischen, beim Einfüllen/Umfüllen, Einwiegen und Mischen sowie bei weiteren Verarbeitungsschritten das Sieben, Filtrieren und Trocknen. Das in den meisten Fällen anschließende Abfüllen, ob manuell oder über Abfüllanlagen, stellt eine weitere Expositionsquelle dar. Innerhalb der chemischen Industrie wurden die meisten Messungen in folgenden Branchen durchgeführt: „Chemische Industrie, allgemein“, „Kunststoff und Kunststoffschäum, Verarbeitung“ sowie „Anstrich-, Klebmittel, Fug-Spachtelmassen, Herstellung/Verarbeitung“.

Tabelle 26 zeigt den Zeittrend der Expositionshöhe gegenüber Nickel und seinen Verbindungen in der Chemischen Industrie bei Messungen an der Person und bei stationären Messungen. Der sehr hohe 90-%-Wert bei stationären Messungen in den 1970er Jahren ist durch Expositionen bei der Aufgabe auf eine Mühle, beim Fördern, Schleifen, Pulverbeschichten und im Lager bedingt.

Im Folgenden werden die für die Chemische Industrie typischen Arbeitsbereiche wie Ab-, Einfüllen, Verpacken oder Mischen ausgewertet. Weitere Arbeitsbereiche, in denen gemessen wurde, sind Schweißen, Schleifen, sonstige Oberflächenbehandlung (z. B. chemisches Farbspritzen) und Oberflächenbeschichtung durch galvanische Ver-

fahren (z. B. CD-Herstellung). Diese Arbeitsbereiche, die in vielen Branchen auftreten, werden in den Abschnitten 6.8, 6.9 und 6.11 branchenübergreifend ausgewertet.

Tabelle 27 zeigt die Expositionsdaten differenziert nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum. Für nasses Mischen liegt dabei der 90-%-Wert bei Probenahme an der Person unter 0,03 mg/m³. Beim Ab-, Einfüllen und Verpacken, beim allgemeinen Mischen sowie bei der Herstellung und Verarbeitung von Katalysatoren treten hingegen sowohl bei Probenahme an der Person als auch bei stationärer Probenahme deutlich höhere Expositionen auf. Im Gegensatz zu den Messungen an der Person lagen bei stationärer Probenahme meist genug Messwerte vor, um eine zeitliche Differenzierung der Daten vorzunehmen und es zeigen sich deutlich Abnahmen der Expositionshöhe mit der Zeit. Für alle dargestellten Arbeitsbereiche liegen die 90-%-Werte der stationären Messungen in den 1970er- bis 1990er-Jahren über 1 mg/m³.

Expositionshöhen von über 1 mg/m³ bei der Herstellung und Verarbeitung von Katalysatoren finden sich beim Fördern, Umfüllen oder Schippen. Die Messungen in diesem Bereich stammen überwiegend aus den 1990er-Jahren (an der Person: 22 von 25 Werten, stationär: 22 von 30 Werten).

Tabelle 26:

Chemische Industrie: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum sowie Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|-------------|
| | | | | | 50-%-Wert * | 90-%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1983 bis 1989 | 63 | 21 | 29 (46 %) | 0,05 | 0,025 + | 0,6 |
| 1990 bis 1999 | 139 | 69 | 60 (43,2 %) | 0,03 | 0,01 + | 0,36 |
| 2000 bis 2009 | 95 | 49 | 35 (36,8 %) | 0,011 | 0,002 + | 0,054 |
| 2010 bis 2016 | 88 | 42 | 40 (45,5 %) | 0,0073 | 0,0009 + | 0,064 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1975 bis 1979 | 20 | 8 | 0 (0 %) | k.A. | 0,14 | 5,13 |
| 1980 bis 1989 | 286 | 74 | 46 (16,1 %) | 0,05 | 0,02 + | 1,4 |
| 1990 bis 1999 | 184 | 79 | 62 (33,7 %) | 0,01 | 0,003 + | 0,23 |
| 2000 bis 2009 | 76 | 34 | 39 (51,3 %) | 0,0036 | BG ! | 0,043 |
| 2010 bis 2016 | 47 | 27 | 25 (53,2 %) | 0,0041 | BG ! | 0,084 |

Tabelle 27:

Chemische Industrie: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Ab-, Einfüllen, Verpacken | | | | | | | |
| an der Person | 1986 bis 2016 | 39 | 23 | 19 (48,7 %) | 0,05 | 0,011 + | 0,51 |
| stationär | 1978 bis 1989 | 28 | 17 | 3 (10,7 %) | 0,003 | 0,04 | 2,1 |
| | 1990 bis 2013 | 24 | 19 | 6 (25 %) | 0,004 | 0,0036 + | 0,12 |
| Mischen, allgemein | | | | | | | |
| an der Person | 1989 bis 1999 | 16 | 12 | 7 (43,8 %) | 0,03 | 0,015 + | 0,78 |
| | 2000 bis 2016 | 26 | 15 | 20 (77 %) | 0,011 | BG ! | 0,017 |
| stationär | 1978 bis 1989 | 33 | 15 | 2 (6,1 %) | 0,005 | 0,11 | 5,86 |
| | 1990 bis 2007 | 19 | 9 | 6 (31,6 %) | 0,0025 | 0,01 | 0,23 |
| Mischen, nass | | | | | | | |
| an der Person | 1984 bis 2016 | 20 | 13 | 12 (60 %) | 0,05 | BG ! | 0,025 + |
| stationär | 1979 bis 1991 | 10 | 7 | 2 (20 %) | 0,005 | 0,02 | 9,3 |
| | 1993 bis 2016 | 10 | 4 ** | 8 (80 %) | 0,002 | BG ! | 0,08 |
| Herstellung/Verarbeitung von Katalysatoren | | | | | | | |
| an der Person | 1991 bis 2016 | 25 | 6 | 1 (4 %) | 0,003 | 0,05 | 1,965 |
| stationär | 1991 bis 2011 | 30 | 8 | 1 (3,3 %) | 0,00055 | 0,02 | 0,16 |

6.4 Bauwirtschaft: Gleisbau, Gleisbettreinigung

Da in der Bauwirtschaft in verschiedenen Jahren unterschiedliche Teilbetriebsarten und Arbeitsbereiche bemessen wurden, wird hier kein allgemeiner Zeittrend der Expositionen in der Bauwirtschaft dargestellt. Expositionen beim Schweißen (außer dem Schweißen von Gleisen), beim thermischen Schneiden, Löten sowie der weiteren Heißverarbeitung in der Bauwirtschaft sind anhand der branchenübergreifenden Auswertungen in Abschnitt 6.8 zu bewerten. Für Expositionen beim Schleifen, beim Abstrahlen, beim Stemmen und Meißeln sowie bei weiteren abrasiven Verfahren in der Bauwirtschaft sind die branchenübergreifenden Auswertungen aus Abschnitt 6.9 heranzuziehen.

Als spezifische Expositionen in der Bauwirtschaft wurden Tätigkeiten im Gleisbau und bei der Gleisbettreinigung ausgewertet (Tabelle 28).

Bei allgemeinen Arbeiten am Gleisbett (Schotteraushub, Schotterwechsel, Einschottern, Gleisbettreinigungsmaschine) treten hohe Staubbelastungen auf. Da es sich

jedoch nicht um Metallstäube, sondern um Schotterstaub handelt, liegen die 90%-Werte für die Nickerexposition – unabhängig davon, ob an der Person oder stationär gemessen wurde – unterhalb von 0,005 mg/m³. Bei Arbeiten im Tunnel wurden dabei höhere Werte gemessen als bei Arbeiten über Tage im Freien (Tabelle 28).

Zum Verschweißen von Gleisen im Schotterbett wird häufig das aluminothermische Gießschmelzverfahren (Thermitschweißen®) verwendet. Zu diesem Schweißverfahren liegen nur sechs Messwerte aus 1990 und 1999 vor. Diese liegen sowohl bei Messung an der Person als auch bei stationärer Messung maximal bei 0,004 mg/m³.

Außer Schienen im Gleisbett kommen bei Bahnen kommunaler Verkehrsbetriebe auch Schienen im Straßenbelag oder in Polyurethan vergossene Gleise vor. Bei diesen kann das Thermitschweißen nicht zum Einsatz kommen. Stattdessen kommen hier Lichtbogenhandschweißen mit umhüllter Stabelektrode und Unterpulverschweißen zum Einsatz. Für Messungen an der Person liegt der 90%-Wert mit 0,08 mg/m³ höher als bei den Arbeiten im Gleisbett (Tabelle 28). Bis auf wenige Ausnahmen wurden die Messungen im Freien durchgeführt.

Tabelle 28:

Gleisbau und Gleisbettreinigung in unterschiedlichen Arbeitsbereichen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; differenziert nach Probenahmeart, Messort und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Messort | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|----------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Allgemeine Arbeiten im Gleisbett (Schotter austausch, etc.) | | | | | | | | |
| an der Person | im Freien, in Baggerkabine | 2005 bis 2016 | 28 | 11 | 20 (71,4 %) | 0,0054 | BG ! | 0,0028 + |
| | im Tunnel | 2004 bis 2009 | 12 | 2 ** | 4 (33,3 %) | 0,005 | + 0,0013 | 0,0030 + |
| stationär | im Freien, in Baggerkabine | 2003 bis 2015 | 49 | 16 | 37 (75,5 %) | 0,006 | BG ! | 0,0028 + |
| | im Tunnel | 2003 bis 2013 | 15 | 4 ** | 10 (66,7 %) | 0,0019 | BG ! | 0,0045 |
| Schweißen, außer Thermitschweißen | | | | | | | | |
| an der Person | nicht differenziert | 1994 bis 2004 | 23 | 5 | 13 (56,5 %) | 0,004 | BG ! | 0,079 |
| stationär | nicht differenziert | 1998 bis 1999 | 6 *** | 3 ** | 4 (66,7 %) | 0,003 | Arithmetischer Mittelwert: 0,054 *** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.5 Herstellung von Nickel und Nickelverbindungen

6.5.1 Nickelgewinnung

Der größte Teil der Nickelproduktion wird aus nickelhaltigen Erzen gewonnen, vor allem Nickelmagnetkies, der Chalkopyrit CuFeS₂, Pentlandit (Ni,Fe)₉S₈ und Spuren von Edelmetallen enthält. Um das Nickel wirtschaftlich abbauen zu können, muss der Nickelgehalt des Erzes mindestens 0,5 % betragen.

Der Nickelgehalt wird zunächst durch Flotation auf etwa fünf Prozent angereichert. Anschließend wird das Erz vorgeröstet und nach Zugabe von Silikaten und Koks Eisenoxid verschlackt und abgetrennt. Der verbleibende Kupfer-Nickel-Rohstein aus Nickel, Kupfer und Eisensulfid („Matte“, siehe Tabelle 1 und TRGS 906) wird in einem Konverter mit Siliziumdioxid zum Kupfer-Nickel-Feinstein (ca. 80 % Kupfer und Nickel und 20 % Schwefel) weiterverarbeitet. Die Nickel- und Kupfersulfide werden mit Na₂S geschmolzen. Das sich am Boden der Schmelze ansammelnde NiS wird dann zu NiO geröstet und mit Koks zu Rohnickel reduziert.

Zur Gewinnung von Reinnickel mit einem Reinheitsgrad von 99,5 bis 99,9 % wird es elektrolytisch raffiniert. Aus dem Reinnickel wird anschließend nach dem Carbonylverfahren („Mond-Verfahren“, thermische Zersetzung von Nickel-tetracarbonyl zu Nickel und Kohlenmonoxid)

Reinstnickel mit einer Reinheit von 99,99 % hergestellt. Hierbei macht man sich zunutze, dass das Gleichgewicht der Reaktion bei niedrigeren Temperaturen auf der Seite von Nickel-tetracarbonyl liegt und bei höheren Temperaturen auf der Seite von Nickel und Kohlenmonoxid. In der kühleren Zone (ca. 80°C) der Apparatur reagiert das Reinnickel unter Zugabe von Kohlenmonoxid zu Nickel-tetracarbonyl. Das bei diesen Temperaturen gasförmige Nickel-tetracarbonyl wird zur heißeren Zone der Apparatur geleitet (ca. 200°C) und zersetzt sich dort wieder in Nickel und Kohlenmonoxid. Da Verunreinigungen entweder bei 80°C nicht in die Gasphase gebracht werden oder sich bei der höheren Temperatur nicht abscheiden, wird das Nickel aufgereinigt.

Nickel-tetracarbonyl fällt auch bei der Herstellung von Eisen-pentacarbonyl als Nebenprodukt an. Die Handhabung erfolgt im geschlossenen System. Eine Zeit lang wurde Nickel-tetracarbonyl isoliert und unter Einsatz des Gaspindel-Verfahrens für Anwender sporadisch abgefüllt, später direkt in der Anlage im geschlossenen System in einem Reaktor zu Nickel zersetzt. Vor 1983 sind keine Arbeitsplatzmessergebnisse von Herstellern und Anwendern bekannt [147]. Die personenbezogenen Messwerte (Schichtmittelwerte) aus den 1990er-Jahren liegen ausnahmslos unter 0,02 ml/m³ (Bestimmungsgrenze des Verfahrens) [148]. Neben diesen Messungen wurde die Carbonylkonzentration (alle Metallcarbonyle) in der Anlage durch kontinuierliche Messgeräte überwacht, wobei Konzentrationen für alle Carbonyle oberhalb der

Nachweisgrenze (0,03 ml/m³) nur in Ausnahmefällen wie Reparatur und Wartung gemessen wurden.

Die wichtigsten Produzenten von Hüttennickel waren 2018 die Volksrepublik China (705 000 Tonnen), Indonesien (290 000 Tonnen), Russland (211 000 Tonnen), Japan (187 000 Tonnen) und Kanada (136 000 Tonnen). Bedeutende Produzenten von Hüttennickel in Europa waren 2018 Finnland, Norwegen, Großbritannien, die Ukraine und Griechenland [149]. In den alten Bundesländern der Bundesrepublik Deutschland fand seit 1945 keine Nickelverhüttung mehr statt [150]. Der Nickelbedarf wird über die Einfuhr des Nickelmetalls gedeckt.

In der Expositionsdatenbank MEGA liegen keine Messdaten zur Exposition in der Nickelgewinnung vor. Werner et al. geben Nickelmesswerte bei mehreren Arbeitsschritten in der Nickelraffination an [151].

6.5.2 Verarbeitung von heimischen Nickel-erzen in der ehemaligen DDR

In der ehemaligen DDR wurden mehrere Verhüttungsverfahren getestet, da das heimische Erz sehr inhomogen war. Der zuerst eingesetzte Flammofenprozess – Erz wird mit Gips, Koks und Brikettspänen vermischt und zu Ni-Rohstein verhüttet – wurde später abgelöst durch den Krupp-Rennprozess – Reduktionsröstung armer Erze in Drehrohröfen (später in einer Wirbelschichtrostanlage) zu sogenannten Nickel-Eisen-Luppen.

Es entstanden dabei 75 bis 80 % Feinluppen mit einem Durchmesser von < 3 mm und 15 bis 20 % Grobluppen mit einem Durchmesser von > 3 bis ca. 300 mm. Die Feinluppen wurden in Kugelmöhlen zerkleinert und das Nickel in einer Ammoniak-Ammoncarbonat-Lösung unter Einblasen von Luft herausgelöst. Das als Reststoff verbliebene Fe-Oxid wurde herausgefiltert, das Ammoniak durch Verdampfung ausgetrieben (mit Rückgewinnung zum Wiedereinsatz) und das Nickel in Form von Nickel(II)-carbonat gewonnen. Nach Lösung des Nickel(II)-carbonates in einem sauren Elektrolyten wurde daraus elektrolytisch Nickel gewonnen. Die Grobluppen wurden aufgeschmolzen und in Luft bzw. reinem Sauerstoff verblasen. Das Ergebnis war ein niedriglegiertes Ferro-Nickel (Röstluppen), das mit Kalk gemischt in Elektroöfen zu Ferronickel mit einem Nickelanteil von 50 % weiterverarbeitet wurde. Ab 1974 wurde hierfür ein autothermes Verblaseverfahren eingesetzt. Die gesamte Nickelverhüttung wurde 1990 eingestellt.

6.5.3 Sekundärrohstoffe

In Deutschland wird Nickel heute aus nickelhaltigen Recyclingmaterialien gewonnen, wie:

- Katalysatoren aus der chemischen, petrochemischen und Lebensmittelindustrie, aus Raffinerien, der Kosmetik- und Lebensmittelbranche (Fetthärtung), der Düngemittelherstellung und Pharmaindustrie,
- Wässrigen Lösungen und Schlämmen aus der Oberflächenbehandlung, Galvanik und der Herstellung von Katalysatoren,
- Schleifschlämmen und -stäuben sowie Filterstäuben und -kuchen aus der Verarbeitung nickelhaltiger Produkte,
- Aschen, Erdölverarbeitungsrückständen und Salzen,
- Edelstahlschrott,
- Nickelrohsulfat, einem Nebenprodukt der Kupferraffination.

Diese Rückstände werden pyro- und hydrometallurgisch aufbereitet und gelangen als Nickelsalze bzw. Nickelmetall wieder in den Kreislauf zurück. In MEGA liegen erst ab 2003 wenige Messwerte zur Nickelexposition beim Metallrecycling vor. Diese sind im Abschnitt 6.14.2 dargestellt.

6.6 Stahl- und Nichteisenmetall-Erzeugung sowie Walzwerke

Stahlwerke, früher auch Hüttenwerke genannt, dienen der Erzeugung von Roheisen und Stahl (Eisenlegierung mit geringem Kohlenstoffgehalt). Die eigentliche Herstellung des Roheisens erfolgt in einem Hochofen. Hier wird gesintertes Eisenerz mit dem aus der Kokerei stammenden Koks als Reduktionsmittel vermischt. Hinzu kommen weitere Zusatzstoffe wie Kalkstein oder Schlackenbildner. Im Hochofen selbst erfolgt dann die chemische Reaktion. Der verbrennende Koks liefert zum einen die notwendige Energie (Hitze), zum anderen das für die Reduktion des Eisens benötigte Kohlenmonoxid. Im Ergebnis entstehen das gewünschte Roheisen und die Schlacke. Beides wird in regelmäßigen Zeitabständen am Fuß des Hochofens über das Abstichloch abgezogen. Die Schlacke wird abgetrennt und als sogenannter Hüttensand für verschiedene Anwendungsgebiete im Baugewerbe eingesetzt.

Das so entstandene Roheisen ist noch sehr kohlenstoffhaltig. Der überschüssige Kohlenstoff wird meist durch Aufblasen von Sauerstoff zu Kohlendioxid oxidiert. In der Regel wird dem Roheisen vor dem Aufblasen noch Eisen-/Stahlschrott verschiedener Güte zugegeben. Die Verbrennung des überschüssigen Kohlenstoffs ist ein exothermer Prozess, dessen Energie völlig ausreicht, um den zugege-

benen Schrott aufzuschmelzen. Eine weitere Zufuhr von Energie ist nicht notwendig. In einem zusätzlichen Prozessschritt können im Sekundärmetallurgischen Zentrum weitere Legierungsbestandteile hinzugefügt werden.

Eine weitere Möglichkeit, Rohstahl herzustellen, ist das Aufschmelzen von Schrott als alleinige Eisenquelle. Im Elektroofen wird mithilfe des entstehenden Lichtbogens eine Temperatur von bis zu 3 500 °C erreicht. Der (zusammen mit Kalk, Schlackenbildner und ggf. Reduktionsmitteln) eingetragene Schrott schmilzt und kann wie beim Hochofen über das Abstichloch abfließen. Im Gegensatz zum Hochofen, der kontinuierlich beschickt wird, handelt es sich beim Elektroofen um ein diskontinuierliches Verfahren, das immer wieder von neuem mit der Zugabe des Schrotts und der Zuschlagstoffe startet. Der eigentliche Schmelzprozess dauert meist nur 30 Minuten. Dieser so gewonnene Rohstahl enthält keine großen Mengen an überschüssigem Kohlenstoff, sodass der Legierungsprozess im Sekundärmetallurgischen Zentrum im direkten Anschluss erfolgen kann, ohne dass erst noch Sauerstoff aufgeblasen werden muss.

Der flüssige Stahl aus dem Hochofenprozess oder Elektroofen kann dann in Kokillen oder über das kontinuierliche Stranggussverfahren vergossen werden. Das Kokillengussverfahren dient in der Regel der Herstellung großer Schmiedestückrohlinge, z. B. für große Antriebswellen. Das Stranggussverfahren liefert hingegen Brammen für die Blechfertigung oder Knüppel (teils schon vorprofiliert) zur Herstellung von Draht oder Profilstählen wie Rund- und Vierkantstäbe, Stahlträger oder Spundwände.

Die möglichen Gefährdungen, denen die Mitarbeiter heute bei der Herstellung von Roheisen und Stahl ausgesetzt sind, sind in der aktuellen Fassung der Branchenregel DGUV Regel 109-601 [152] zusammengefasst. In **Tabelle 29** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Stahlerzeugung im Überblick dargestellt. Dabei sind Messungen zum Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren ausgenommen, da diese im Abschnitt 6.8 branchenübergreifend dargestellt sind. Die Auswertung der Probenahme an der Person ergibt für kleinere Zeiträume keine plausible Aussage, daher werden die Daten nur für die stationäre Probenahme differenziert nach Datenzeitraum dargestellt.

Hinweis: Es ist zu beachten, dass Nickerexpositionen in der Atemluft naturgemäß nur dort auftreten, wo Nickel be- oder verarbeitet wird oder es in den Prozessstoffen vorkommt.

In **Tabelle 30** sind Expositionsdaten zu den Arbeitsbereichsgruppen „Schmelzen, Gießen“, „Brammenschleifen, Trennschleifen“ und „Transport mit Kran, Lagern, Füllen, Fördern, Mischen“ in der Stahlerzeugung dargestellt. Beim Schmelzen und Gießen ergibt die Auswertung der Probenahme an der Person in kleineren Zeiträumen keine plausible Aussage, daher werden die Daten hier nicht differenziert nach Datenzeitraum dargestellt.

Bei den Kollektiven „Brammenschleifen, Trennschleifen“ handelt es sich um Messungen zum Blockschleifen in der Putzerei/Formerei, zum Schleifen allgemein, z. B. bei der Brammenzurichtung, zum Trennschleifen und zum Trockenschleifen. Die hohen 90%-Werte sowohl bei Messungen an der Person als auch stationär sind nicht nur durch Messungen bei der Bearbeitung von Nickelbasislegierungen mit einem Nickelgehalt von über 30 % bedingt. Der höchste Messwert an der Person wurde mit 4,2 mg/m³ bei der Bearbeitung einer Nickelbasislegierung gemessen. Aber auch bei der Bearbeitung von schwach legiertem Stahl mit einem Nickelgehalt von weniger als 5 % treten Messwerte von 0,96 und 0,67 mg/m³ auf.

In der Arbeitsbereichsgruppe „Transport mit Kran, Lagern, Füllen, Fördern, Mischen“ wurden vor allem Transporttätigkeiten mit Kränen in Hallen bemessen.

Wie die Daten zur Arbeitsbereichsgruppe „Reparatur, Wartung“ zeigen, treten bei allgemeinen Wartungsarbeiten keine sehr hohen Nickelkonzentrationen auf. Nicht dargestellt sind in der Tabelle einzelne Messungen aus dem Bereich Entstaubung. Dabei wurden in den 1980er Jahren bei stationären Messungen hohe Werte über 0,5 mg/m³ gemessen. In diesem Bereich wurde 1986 auch die einzige Messung an der Person durchgeführt. Sie liegt mit 1,3 mg/m³ sogar noch höher.

Schweißen, Löten und Thermischen Spritzen in der Stahlerzeugung werden in Abschnitt 6.8 branchenübergreifend ausgewertet und dargestellt.

Tabelle 29:

Stahlerzeugung (Elektroofen, Hochofen und Sekundärmetallurgie): Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahme an der Person und stationär sowie nach Nickelgehalt des Materials

| Datenzeitraum | Nickelgehalt | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1985 bis 2016 | nicht differenziert | 75 | 17 | 20 (26,7 %) | 0,05 | 0,0054 + | 0,11 |
| 2001 bis 2016 | < 5 % | 9*** | 4** | 8 (88,9 %) | 0,0048 | arithmetischer Mittelwert: 0,0045*** | |
| 2010 bis 2012 | 5 bis 30 % | 7*** | 3** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,10*** | |
| 2005 bis 2015 | > 30 | 4*** | 2** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 1,29*** | |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1980 bis 1989 | nicht differenziert | 104 | 14 | 37 (35,6 %) | 0,05 | 0,01 + | 0,088 |
| 1990 bis 1999 | nicht differenziert | 75 | 15 | 5 (6,7 %) | 0,0044 | 0,0072 | 0,12 |
| 2000 bis 2009 | nicht differenziert | 40 | 6 | 7 (17,5 %) | 0,0054 | 0,0036 + | 0,039 |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 84 | 6 | 23 (27,4 %) | 0,0062 | 0,0031 + | 0,018 |
| 1998 bis 2009 | < 5 % | 23 | 4** | 1 (4,3 %) | 0,0054 | 0,0032 + | 0,029 |
| 2010 bis 2016 | < 5 % | 21 | 4** | 4 (19,0 %) | 0,0024 | 0,0024 + | 0,019 |
| 1998 bis 2012 | 5 bis 30 % | 45 | 5 | 8 (17,8 %) | 0,0062 | 0,0055 + | 0,035 |
| 1998 bis 2012 | > 30 | 3*** | 1** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,096*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden

Tabelle 30:

Stahlerzeugung (Elektroofen, Hochofen und Sekundärmetallurgie): Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Schmelzen, Gießen | | | | | | | |
| an der Person | 1985 bis 2015 | 28 | 13 | 9 (32,1 %) | 0,05 | 0,0063 + | 0,025 + |
| stationär | 1979 bis 1989 | 69 | 10 | 28 (40,6 %) | 0,05 | 0,006 + | 0,04 + |
| | 1990 bis 1999 | 40 | 13 | 4 (10 %) | 0,0044 | 0,0044 + | 0,05 |
| | 2000 bis 2009 | 36 | 6 | 6 (16,7 %) | 0,0054 | 0,0037 + | 0,037 |
| | 2010 bis 2016 | 49 | 6 | 12 (24,5 %) | 0,0024 | 0,0036 | 0,011 |
| Brammenschleifen, Trennschleifen | | | | | | | |
| an der Person | 1994 bis 2016 | 12 | 6 | 0 | k. A. | 0,04 | 0,9 |
| stationär | 1981 bis 2013 | 45 | 13 | 6 (13,3 %) | 0,05 | 0,055 | 0,6 |
| Transport mit Kran, Lagern, Füllen, Fördern, Mischen | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2013 | 19 | 8 | 6 (31,6 %) | 0,0048 | 0,0021 + | 0,016 |
| stationär | 1982 bis 1999 | 7*** | 7 | 1 (14,3 %) | 0,005 | arithmetischer Mittelwert: 0,0804*** | |
| | 2000 bis 2016 | 14 | 3** | 4 (28,6 %) | 0,0024 | 0,0017 + | 0,011 |

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|-----------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Reparatur, Wartung | | | | | | | |
| stationär | 1983 bis 2012 | 14 | 4 | 3 (21,4 %) | 0,005 | 0,01 | 0,046 |
| Baubteilung Hochofen | | | | | | | |
| an der Person | 1998 bis 2010 | 6*** | 3** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,0049*** | |
| stationär | 1982 bis 1998 | 6*** | 2** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,013*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 31:

Nichteisenmetall-Erzeugung: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum sowie Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1984 bis 2010 | 35 | 11 | 15 (42,9 %) | 0,05 | 0,0063 + | 0,2 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1979 bis 1989 | 41 | 11 | 8 (19,5 %) | 0,007 | 0,0045 + | 0,088 |
| 1990 bis 2009 | 40 | 15 | 9 (22,5 %) | 0,005 | 0,0016 + | 0,031 |
| 2010 bis 2016 | 14 | 4 ** | 1 (7,1 %) | 0,00025 | 0,0014 | 0,029 |

Tabelle 32:

Nichteisenmetall-Erzeugung: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Schmelzen, Gießen | | | | | | | |
| an der Person | 1989 bis 2016 | 21 | 7 | 13 (61,9 %) | 0,009 | BG ! | 0,04 |
| stationär | 1979 bis 1989 | 26 | 8 | 8 (30,8 %) | 0,007 | 0,0025 + | 0,017 |
| stationär | 1990 bis 2016 | 31 | 12 | 8 (25,8 %) | 0,004 | 0,0012 + | 0,0093 |
| Lagern, Füllen, Fördern, Mischen, Transportieren | | | | | | | |
| an der Person | 1998 bis 2010 | 8*** | 2** | 1 (12,5 %) | 0,00043 | arithmetischer Mittelwert: 0,16*** | |
| stationär | 1979 bis 2016 | 11 | 8 | 2 (18,2 %) | 0,005 | 0,03 | 0,090 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

In **Tabelle 31** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nichteisenmetall-Erzeugung im Überblick dargestellt. Zu beachten ist hierbei, dass Nickelexpositionen nur auftreten können, wenn Nickel als Legierungsbestandteil vorkommt. Bei den Nichteisenmetallen haben in der Industrie Aluminium (Al), Magnesium (Mg), Kupfer (Cu) und Zink (Zn) eine vorherrschende Bedeutung. Nach Angaben des Bundesverbandes der Deutschen Gießereindustrie wird folgende Werkstoffstruktur (Masse) in 2019 angegeben: Al 85 %; Mg 2 %; Cu 8 %; Zn 6 % [153]. Bei den hier ausgewerteten MEGA-Messdaten ist als Teilbetriebsart überwiegend „Nichteisenmetall-Erzeugung (außer Blei)“ angegeben. Ca. 10 % der Messungen wurden in Bleihütten durchgeführt, Messungen in Aluminiumhütten wurden nicht dokumentiert. Die hohen an der Person gemessenen Expositionen traten bei der Verarbeitung wertstoffhaltiger Abfallprodukte der Industrie wie Nickelkatalysatoren sowie von Nickelsulfat und Nickelröstgut auf. Die Auswertung der Probenahme an der Person zeigt keinen Zeitrend. Hohe Werte über $0,1 \text{ mg/m}^3$ sind vor allem in den frühen 2000er-Jahren gemessen worden. Die Daten mit stationärer Probenahme zeigen hingegen eine Abnahme der Expositionen von 1979 bis 1989 zu 1990 bis 2016. Messungen zum Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren sind in dieser Tabelle ausgenommen und im Abschnitt 6.8 branchenübergreifend dargestellt.

In **Tabelle 32** sind Expositionsdaten zu den Arbeitsbereichsgruppen „Schmelzen, Gießen“ und „Lagern, Füllen, Fördern, Mischen, Transportieren“ in der Nichteisenmetall-Erzeugung dargestellt. Beim Schmelzen und Gießen ergibt die Auswertung der Probenahme an der Person in kleineren Zeiträumen keine plausible Aussage, daher werden nur die Daten der stationären Messungen differenziert nach Datenzeitraum dargestellt. Hohe Nickelexpositionen über $0,1 \text{ mg/m}^3$ traten bei Probenahme an der Person sowohl beim „Schmelzen, Gießen“ als auch beim „Lagern, Füllen, Fördern, Mischen, Transportieren“ auf, insbesondere bei der Verarbeitung wertstoffhaltiger Abfallprodukte der Industrie, wie Nickelkatalysatoren, sowie von Nickelsulfat und Nickelröstgut.

Schweißen, Lötten und Thermisches Spritzen in der Nichteisenmetall-Erzeugung werden im Abschnitt 6.8 branchenübergreifend ausgewertet und dargestellt.

In einem Walzwerk werden die Brammen oder Knüppel mithilfe zahlreicher Walzprozesse zu den gewünschten Halbzeugen umgeformt. Die aus dem Stahlwerk stammenden Brammen werden wieder auf $1\,200$ bis $1\,300 \text{ °C}$ erhitzt und über sehr lange Walzstraßen zu Blechen umgeformt. Am Ende der Walzstraße wird das Warmband mit einer Haspel zu einem Coil aufgewickelt. Das im Warmwalzwerk hergestellte Warmband wird anschließend gebeizt und im Kaltwalzwerk weiter ausgewalzt, bis es die vom Kunden gewünschten Abmessungen und die gewünschte Oberflächenbeschaffenheit erreicht hat. Letztlich wird auch hier das Blech wieder in einer Haspelanlage zu Coils aufgewickelt.

Nach *Pitzke et al.* [154] ist beim Walzen von Legierungen nur mit dem Auftreten von Nickelmetall und nicht mit oxidischen Nickelverbindungen zu rechnen. Der Stahlbau der Walzgerüste besteht in der Regel aus normalem unlegiertem Baustahl. Bauteile, die einem extremen Verschleiß unterliegen, wie die Einlaufzungen am Walzgerüst, die Walzen selbst und die Transportrollen, sind oftmals aus legierten Stählen gefertigt. In regelmäßigen Abständen müssen diese Verschleißstellen bzw. -flächen neu aufgebaut werden. Dies geschieht mithilfe des Auftragschweißverfahrens. Beim Schweißen und Schleifen solcher Materialien mit einem Winkelschleifer (mit sichtbarem Funkenflug) können Stäube und Rauche entstehen, die sowohl Chrom(VI)- als auch Nickeloxid-Verbindungen enthalten.

Für Walzwerke wurden aus MEGA nur Messwerte zu den Arbeitsbereichsgruppen „Walzen“ und „Reparatur und Wartung“ ausgewertet (**Tabelle 33**). Beim Walzen ist für stationäre Messungen eine deutliche Abnahme der Expositionen zwischen 1998 bis 2009 und 2010 bis 2016 erkennbar. Hingegen ergibt die Auswertung der Probenahme an der Person in kleineren Zeiträumen keine plausible Aussage, daher werden die Daten hier nicht differenziert nach Datenzeitraum dargestellt. Die Arbeitsbereichsgruppe „Reparatur und Wartung“ enthält vor allem Messungen beim Schleifen und beim Schweißen. Diese Messwerte zeigen für das 50. und 90. Perzentil eine deutliche Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. Hohe Nickelexpositionen lassen sich durch die Verarbeitung von Nickellegierungen mit einem Nickelgehalt von bis zu 98 % erklären. Andere Produkte sind z. B. Schweißdrähte mit einem Nickelgehalt von 70 %.

Tabelle 33:

Walzwerke: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Nickelgehalt | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG* in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Walzen | | | | | | | | |
| an der Person | 1998 bis 2016 | nicht differenziert | 21 | 16 | 7 (33,3 %) | 0,0096 | 0,0039 + | 0,097 |
| | 1998 bis 2016 | < 5% | 8 | 5 | 5 (62,5 %) | 0,0096 | arithmetischer Mittelwert: 0,0024*** | |
| stationär | 1998 bis 2009 | nicht differenziert | 27 | 10 | 4 (14,8 %) | 0,004 | 0,0073 | 0,25 |
| | 2010 bis 2016 | Nicht differenziert | 20 | 5 | 9 (45 %) | 0,0019 | 0,00095 + | 0,0054 |
| | 2010 bis 2016 | < 5% | 12 | 3** | 7 (58,3 %) | 0,0019 | BG ! | 0,0012 + |
| Reparatur und Wartung (Schweißen, Schleifen etc.) | | | | | | | | |
| an der Person | 1989 bis 1999 | nicht differenziert | 15 | 5 | 4 (26,7 %) | 0,004 | 0,16 | 1,3 |
| | 2000 bis 2009 | nicht differenziert | 18 | 7 | 3 (16,7 %) | 0,007 | 0,022 | 0,33 |
| | 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 16 | 8 | 1 (6,3 %) | 0,0017 | 0,0071 | 0,12 |
| stationär | 1988 bis 1999 | nicht differenziert | 26 | 9 | 4 (15,4 %) | 0,004 | 0,12 | 0,93 |
| | 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 18 | 11 | 4 (22,2) | 0,0029 | 0,012 | 0,069 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.7 Metallbearbeitung und -verarbeitung

6.7.1 Hartmetalle

Hartmetalle sind Verbundwerkstoffe, die neben Wolframcarbide und Cobalt-Metall auch bis zu 15 % Nickel-Metall (Carc. Kat. 2) enthalten können. Die Herstellung von Hartmetallen erfolgt pulvermetallurgisch durch Erzeugen eines pressfertigen Metallpulvers, das unter hohem Druck und Schutzgasen oder Vakuum zu halbfesten Grünteilen gepresst wird. Die Grünteile werden ggf. mit herkömmlichen Metallbearbeitungsverfahren wie Drehen, Bohren, Fräsen, Sägen und Schleifen weiterbearbeitet und anschließend durch einen Heißpressvorgang (Sintern) in das endfeste Hartmetall überführt.

Bei der mechanischen Bearbeitung der Grünteile ist eine Exposition gegenüber Nickelmetall (Carc. Kat. 2), nicht aber gegenüber Nickelverbindungen (Carc. Kat. 1A) zu unterstellen. Die Bearbeitung gesinterter Hartmetallwerkzeuge ist nur noch mit Feinbearbeitung wie Schleifen,

Honen, Läppen oder Polieren, Funkenerodieren oder Laserbearbeitung möglich. In diesen Fällen kann z. B. im Falle von Funkenbildungen auch eine Exposition gegenüber oxydischen Nickelverbindungen (Carc. Kat. 1A) unterstellt werden. Hartmetallsägen verfügen über ein Kreissägeblatt mit hartgelöteten Hartmetallzähnen.

Die Daten der folgenden **Tabellen 34** und **35** gelten für Fälle, in denen tatsächlich auch Nickel für die Herstellung von Hartmetallen eingesetzt wurde.

In Tabelle 34 sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Hartmetallherstellung und -verarbeitung im Überblick dargestellt. Für die Messungen an der Person und für stationäre Messungen zeigt sich eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. Bei den stationären Messungen liegen von 2010 bis 2016 so wenige Messungen vor, dass die Daten für 2000 bis 2016 gemeinsam dargestellt werden. In allen Datenzeiträumen liegen die Messwerte an der Person deutlich höher als die stationären Messwerte.

Tabelle 34:

Hartmetallherstellung und -verarbeitung: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum sowie Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1984 bis 1989 | 20 | 8 | 9 (45 %) | 0,05 | 0,025 + | 0,63 |
| 1990 bis 1999 | 59 | 24 | 14 (23,7 %) | 0,005 | 0,0052 | 0,24 |
| 2000 bis 2009 | 111 | 37 | 44 (39,6 %) | 0,005 | 0,0041 + | 0,23 |
| 2010 bis 2016 | 135 | 24 | 42 (31,1 %) | 0,005 | 0,004 + | 0,13 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1975 bis 1989 | 350 | 20 | 177 (50,6 %) | 0,05 | BG ! | 0,52 |
| 1990 bis 1999 | 46 | 24 | 8 (17,4 %) | 0,004 | 0,005 | 0,08 |
| 2000 bis 2016 | 102 | 40 | 49 (48 %) | 0,005 | 0,0014 + | 0,077 |

Für Hartmetallherstellung und -verarbeitung wurden außer dem globalen Zeittrend die Arbeitsbereichsgruppen „Pulvermetallurgie“, „Pressen der Grünteile“, „Formgebung Grünteile“, „Sintern“ und „Schleifen, Polieren der Hartmetallwerkzeuge“ ausgewertet (Tabelle 35). Die höchsten Expositionen mit 90%-Werten über 1 mg/m³ in den 1970er bis 1990er Jahren und 90%-Werten über 0,5 mg/m³ bei der Messung an der Person in den 2000er

Jahren wurden in der Pulvermetallurgie gemessen. Dieser Bereich umfasst Tätigkeiten wie Sieben, Abwiegen, Abfüllen und Mischen. Sehr niedrige Expositionen mit 90%-Werten unter 0,02 mg/m³ traten beim Schleifen und Polieren der fertigen Hartmetallwerkzeuge auf. Ab 2007 ist dabei eine Differenzierung in Nass- und Trockenschleifen möglich.

Tabelle 35:

Hartmetallherstellung und -verarbeitung: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|------------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Pulvermetallurgie | | | | | | | |
| an der Person | 1984 bis 1999 | 29 | 13 | 3 (10,3 %) | 0,05 | 0,08 | 1,11 |
| | 2000 bis 2009 | 27 | 18 | 5 (18,5 %) | 0,005 | 0,015 | 0,64 |
| | 2010 bis 2016 | 51 | 18 | 6 (11,8 %) | 0,0016 | 0,034 | 0,58 |
| stationär | 1975 bis 1989 | 78 | 11 | 26 (33,3 %) | 0,05 | 0,02 + | 3,74 |
| | 1990 bis 2014 | 51 | 29 | 11 (21,6 %) | 0,005 | 0,012 | 0,45 |
| Pressen der Grünteile | | | | | | | |
| an der Person | 1985 bis 1999 | 17 | 8 | 5 (29,4 %) | 0,05 | 0,01 + | 0,27 |
| | 2000 bis 2009 | 25 | 17 | 10 (40 %) | 0,0048 | 0,0041 + | 0,06 |
| | 2010 bis 2016 | 33 | 13 | 11 (33,3 %) | 0,0024 | 0,0039 | 0,046 |
| stationär | 1975 bis 1989 | 81 | 10 | 36 (44,4 %) | 0,005 | 0,0025 + | 1,08 |
| | 1990 bis 2012 | 39 | 25 | 11 (28,2 %) | 0,0024 | 0,0036 | 0,089 |
| Formgebung Grünteile | | | | | | | |
| an der Person | 1984 bis 2009 | 25 | 14 | 10 (40 %) | 0,05 | 0,0052 + | 0,15 |
| | 2010 bis 2016 | 26 | 6 | 10 (38,5 %) | 0,0024 | 0,0012 + | 0,0061 |
| stationär | 1977 bis 1989 | 30 | 3** | 19 (63,3 %) | 0,005 | BG ! | 0,009 |
| | 1990 bis 2016 | 12 | 9 | 8 (66,7 %) | 0,0028 | BG ! | 0,0043 |

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Sintern | | | | | | | |
| an der Person | 1985 bis 2016 | 22 | 9 | 11 (50 %) | 0,004 | 0,002 + | 0,051 |
| stationär | 1983 bis 2014 | 15 | 8 | 6 (40 %) | 0,005 | 0,0025 + | 0,11 |
| Schleifen und Polieren der Hartmetallwerkzeuge, allgemein | | | | | | | |
| an der Person | 1984 bis 2006 | 28 | 12 | 13 (46,4 %) | 0,05 | 0,002 + | 0,012 + |
| stationär | 1981 bis 1989 | 105 | 10 | 68 (64,8 %) | 0,005 | BG ! | 0,01 |
| stationär | 1990 bis 2006 | 14 | 8 | 5 (35,7 %) | 0,004 | 0,001 + | 0,008 |
| Trockenschleifen der Hartmetallwerkzeuge | | | | | | | |
| an der Person | 2007 bis 2016 | 11 | 8 | 8 (72,7 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0060 |
| stationär | 2007 bis 2013 | 4 | 3** | 4 (100 %) | 0,0017 | BG ! | BG ! |
| Nassschleifen der Hartmetallwerkzeuge | | | | | | | |
| an der Person | 2007 bis 2016 | 17 | 13 | 14 (82,4 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0045 + |
| stationär | 2007 bis 2013 | 14 | 10 | 13 (92,9 %) | 0,0017 | BG ! | BG ! |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

Tabelle 36:

Reparaturwerkstätten: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1989 bis 2016 | 26 | 14 | 9 (34,6 %) | 0,006 | 0,004 + | 0,032 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1989 bis 2003 | 20 | 9 | 10 (50 %) | 0,007 | 0,001 + | 0,01 |

6.7.2 Reparaturwerkstätten

In **Tabelle 36** sind für Reparaturwerkstätten Messungen der Expositionshöhe bei allgemeinen Reparatur- und Wartungstätigkeiten dargestellt. Messungen zum Schweißen, Löten, Schleifen und verwandter Verfahren sind aufgenommen, da diese in Abschnitt 6.8 und 6.9 branchenübergreifend dargestellt sind.

Es liegen Messungen sowohl aus Reparatur- und Servicewerkstätten für Kraftfahrzeuge als auch aus Reparaturwerkstätten für Straßenbahnen und Stadtbahnen sowie aus allgemeinen Reparaturwerkstätten für Maschinen vor. Nickelexpositionen sind hier nur zu erwarten, wenn nickelhaltiges Material geschweißt oder geschliffen wurde. Insgesamt lagen die Expositionen mit einem

90%-Wert von 0,032 mg/m³ bei Messungen an der Person und 0,01 mg/m³ bei stationären Messungen relativ niedrig. Da zu den allgemeinen Tätigkeiten nur wenige Messwerte vorliegen, erfolgt keine zeitliche Differenzierung.

6.7.3 (Feuer-)Verzinkerei

In **Tabelle 37** sind Messungen der Expositionshöhe in Feuerzinkereien dargestellt. Es liegen nur neuere Messungen ab 2001 vor. Wie in der Verzinkerei zu erwarten, lagen die Expositionen mit einem 90%-Wert von 0,001 mg/m³ bei Messungen an der Person sehr niedrig. Außerdem war der Anteil von Messwerten unterhalb der Bestimmungsgrenze mit 89 % bei Messungen an der Person und 100 % bei stationären Messungen sehr hoch.

Tabelle 37:

Feuerverzinken: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 2010 bis 2016 | 26 | 11 | 23 (88,5 %) | 0,002 | BG ! | 0,001 + |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 2001 bis 2010 | 6**** | 4**** | 6 (100 %) | 0,0034 | BG ! | BG ! |

Tabelle 38:

Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion beim Pulverbeschichten in der Metallindustrie; Differenzierung nach Datenzeitraum sowie Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1984 bis 1989 | 30 | 18 | 13 (43,3 %) | 0,16 | 0,05 + | 0,5 |
| 1990 bis 2009 | 12 | 7 | 7 (58,3 %) | 0,0048 | BG ! | 0,023 |
| 2010 bis 2016 | 14 | 6 | 6 (42,9 %) | 0,0012 | 0,0006 + | 0,014 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1977 bis 1989 | 195 | 47 | 46 (23,6 %) | 0,05 | 0,05 + | 1,65 |
| 1990 bis 2016 | 25 | 14 | 7 (28 %) | 0,0024 | 0,0012 + | 0,015 |

6.7.4 Pulverbeschichten

Beim Pulverbeschichten wird der Beschichtungsstoff aus einem Vorratsbehälter durch einen Schlauch mithilfe eines Luftstroms zu einer Sprühpistole (Auftragseinrichtung) transportiert. Während die Pulverteilchen durch die Auftragseinrichtung strömen, werden sie durch unter Hochspannung stehende Teile von einigen 10 kV (z. B. die Düsenadel) oder triboelektrisch aufgeladen. Bei triboelektrischen Auftragseinrichtungen wird die Aufladung durch die Reibungselektrizität erzeugt, die durch den innigen Kontakt des strömenden Pulver-Luft-Gemisches mit den Bauteilen im Inneren der Sprühpistole entsteht.

Es gibt auch Kombinationen der beiden vorgenannten Systeme. Die aufgeladenen Pulverteilchen werden von dem geerdeten Werkstück angezogen und bilden darauf eine Schicht. Der Sprühauftrag von Beschichtungspulver muss immer elektrostatisch unterstützt werden, da das Pulver ohne Aufladung nicht ausreichend am Werkstück anhaftet.

Pulverbeschichten erfolgt in Kabinen oder Sprühständen, die häufig Öffnungen zum Begehen für den Sprühvorgang

selbst (Fenster) oder für den Werkstücktransport aufweisen und mit einer technischen Lüftung ausgestattet sind. Pulver, das nicht auf dem Werkstück anhaftet (Overspray), wird durch die technische Lüftung abgesaugt und in eine Pulver-Rückgewinnungsanlage oder ein Abscheidesystem gefördert. Die mit Pulver beschichteten Werkstücke werden nach dem Beschichten in einen beheizten Ofen eingebracht, wo das Pulver geschmolzen, vernetzt und in einen festen Film überführt wird.

In **Tabelle 38** sind Messungen der Expositionshöhe beim Pulverbeschichten in der Metallbe- und -verarbeitung dargestellt. Während in den 1970er- und 1980er-Jahren sowohl an der Person als auch stationär relativ hohe Expositionen gemessen wurden, liegen die 90%-Werte für die späteren Zeiträume unter 0,03 mg/m³. Als Nickelquellen kamen insbesondere bei den früheren Pulverlacken nickelhaltige Pigmente wie Nickeltitangelb und besondere Effektlacke sowie bestimmte Zusätze aus nickelhaltigen Abbaugebieten wie Norwegian Talk in Frage. Werden die üblichen nickelfreien Pulverlacke verwendet, sind naturgemäß keine Nickelexpositionen zu erwarten.

6.8 Heißverarbeitung von Metallen

Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren sind Füge- oder Trennverfahren, bei denen metallische Werkstoffe durch Energieeintrag an der Kontaktstelle miteinander verbunden oder voneinander getrennt werden. Der Energieeintrag erfolgt beispielsweise durch:

- Flamme (Autogen- bzw. Gasschweißen),
- elektrischen Strom (Lichtbogen zwischen Werkstück und Schweißelektrode, Schweißdraht oder Wolframelektrode),
- Plasma,
- Laser.

Durch Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren werden Rauche freigesetzt, deren chemische Zusammensetzungen insbesondere vom Verfahren und den eingesetzten Werkstoffen abhängig sind. Werden nickelhaltige Werkstoffe – z. B. korrosionsbeständige Cr-Ni-Stähle, auch VA-Stähle oder Edelstahl genannt – oder vernickelte Werkstücke geschweißt, enthält der Rauch Nickelverbindungen. Die Konzentration der Nickelverbindungen im Rauch ist von einer ganzen Reihe verschiedener Bedingungen abhängig, wie dem Schweißverfahren, dem Sauerstoffzutritt an der Schweißstelle oder auch dem Nickelgehalt im Werkstück.

Bei Verfahren, bei denen Schweißzusatzwerkstoffe (Elektroden oder Schweißdrähte) oder Spritzzusätze eingesetzt werden, wird der Hauptteil der Nickelverbindungen nicht aus dem Grundwerkstoff des zu schweißenden Werkstückes freigesetzt, sondern aus den Zusatzwerkstoffen. Beim Verbindungsschweißen und beim thermischen Spritzen ist zu berücksichtigen, dass die Schweißrauchemissionen fast ausschließlich von Zusatzwerkstoffen wie abschmelzenden Elektroden stammen. Beim thermischen Schneiden stammen die Schweißrauche aus dem Grundwerkstoff.

In den Schweißrauchen kann Nickel in unterschiedlichen Modifikationen und Oxidationsstufen vorliegen: NiO, NiO₂, Ni₂O₃, Mischoxide vom Spinelltyp. Die Berufsgenossenschaftlichen Informationen (BGI) 855 (DGUV Information 209-058 [155]) trifft folgende Aussagen:

„Der Nickel-Anteil im Rauch – verglichen mit dem Nickel-Anteil im Schweißzusatz – ist beim Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten umhüllten Stabelektroden unterrepräsentiert (1 bis 3 % Nickeloxid im Rauch). Hier entstehen vorwiegend Mischoxide (Spinelle). Beim MAG-Schweißen von hochlegiertem Chrom-Nickel-Stahl enthält der Schweißrauch bis zu 5 % Nickeloxid. Beim MIG-Schweißen mit Nickel und Nickellegierungen kann der

Nickeloxidgehalt im Schweißrauch Werte zwischen 30 und 84 % erreichen. Beim WIG-Schweißen von hochlegiertem Chrom-Nickel-Stahl, Nickel und Nickellegierungen sind die Anteile von Chrom(VI)-Verbindungen und Nickeloxid im Schweißrauch zu vernachlässigen.“

Umfangreiche und aktuelle Informationen zur Gefährdungshöhe beim Schweißen liefern die TRGS 528 „Schweißtechnische Arbeiten“ [68] sowie die BGI 593 (DGUV Information 209-016) „Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“. Mit besonders hohen Nিকেlexpositionen ist vor allem in folgenden Situationen bzw. Arbeitsvorgängen zu rechnen, sofern keine ausreichenden Lüftungs- bzw. Absaugmaßnahmen bestehen:

- Metallschutzgasschweißen von/ mit Nickelbasiswerkstoffen, hochlegierten, nickelhaltigen Stählen und anderen hochlegierten nickelhaltigen Legierungen,
- Lichtbogenhandschweißen mit hochlegierten nickelhaltigen umhüllten Stabelektroden einschließlich zum Schweißen von Gusseisen,
- Thermisches Spritzen mit nickelhaltigen Legierungen,
- Thermisches Schneiden einschließlich Laserschneiden von hochlegierten, nickelhaltigen Werkstoffen.

Bei Anwendung von thermischen Verfahren in Gegenwart von Luftsauerstoff ist grundsätzlich mit der Bildung von oxidischen Nickelverbindungen zu rechnen [154]. Insbesondere bei thermischen Verfahren muss bei Verwendung nickelhaltiger Werkstoffe mit der Entstehung von NiO und Nickelmischoxiden aus Nickellegierungen gerechnet werden. Beim Schweißen bilden sich überwiegend oxidische Nickelverbindungen, z. B. vom Spinell-Typ Ni(Fe, Cr, Mn)₂O₄.

Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren treten in vielen Branchen auf. Da die Expositionshöhe mehr vom Arbeitsverfahren als von der Branche bestimmt wird, werden die Arbeitsverfahren in diesem Report branchenübergreifend dargestellt. Getrennt ausgewertet wurden Sie für die Branchen Walzwerke (Abschnitt 6.6), Formenbau und -reparatur in der Glasindustrie (Abschnitt 6.16.3) sowie das Schweißen im Gleisbau (Abschnitt 6.4).

Weitere Informationen finden sich in:

- BGI 593 „Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren“ [156],
- BGI 616 „Beurteilung der Gefährdung durch Schweißrauche“ [157] (zurzeit in Überarbeitung),
- DGUV Information 209-058 (bisher BGI 855) „Schweißtechnische Arbeiten mit chrom- und nickellegierten Zusatz- und Grundwerkstoffen“ [155],
- TRGS 528 „Schweißtechnische Verfahren“ [68].

Tabelle 39:

Autogenen Schweißen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum sowie nach Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1990 bis 1999 | nicht differenziert | 17 | 5 | 1 (5,9 %) | 0,003 | 0,0064 | 0,056 |
| 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 7*** | 5 | 2 (28,6 %) | 0,0015 | arithmetischer Mittelwert: 0,0086*** | |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1990 bis 1999 | ohne | 7*** | 2** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,023*** | |
| | mit | 8*** | 3** | 4 (50 %) | 0,003 | arithmetischer Mittelwert: 0,0048*** | |
| 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 5*** | 4** | 2 (40 %) | 0,00003 | arithmetischer Mittelwert: 0,00074*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.8.1 Autogenschweißen oder Gasschmelzschweißen

Die Daten zur Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion beim autogenen Schweißen sind in **Tabelle 39** dargestellt. Da im MGU bis 1986 bei der Dokumentation der Arbeitsbereiche nicht zwischen autogenem Schweißen, Schneiden und Brennen unterschieden wurde, ist für die frühen Datenzeiträume 1975 bis 1989 keine Unterscheidung zwischen den Expositionshöhen in diesen drei Arbeitsbereichen möglich. Daher können für den Zeitraum vor 1990 keine Daten zum autogenen Schweißen ausgewiesen werden.

Alle ab 1990 für Tabelle 39 ausgewerteten Messdaten sind hingegen eindeutig dem autogenen Schweißen zuzuordnen. Aus der niedrigen Zahl der Messdaten ist ersichtlich, dass autogenes Schweißen dann nicht mehr häufig angewandt wurde. Mehr Messdaten finden sich ab 1990 zu den verschiedenen Verfahren des Lichtbogenschweißens (Abschnitt 6.8.2).

6.8.2 Lichtbogenschweißen

6.8.2.1 Lichtbogen-Handschiessen (LBH-Schweißen)

Das LBH-Schweißen, häufig auch als Elektroden- oder E-Schweißen bezeichnet, ist eines der ältesten elektrischen Schweißverfahren. Es wurde zu Beginn des

20. Jahrhunderts entwickelt und war bis in die 1970er-Jahre weit verbreitet. In den 1980er-Jahren wurde das LBH-Schweißen in der industriellen Fertigung zunehmend durch Metallschutzgasschweißverfahren ersetzt, was sich auch in der Anzahl der Messungen zu diesen Schweißverfahren widerspiegelt. Das LBH-Schweißen findet jedoch nach wie vor insbesondere bei Montagen und im Rohrleitungsbau Anwendung. Das LBH-Schweißen ermöglicht das Verbinden von artgleichen Werkstoffen unter Verwendung von rutil-, kalkbasisch- oder sauerumhüllten Stabelektroden. Durch elektrisch erzeugte Wärme werden die Stabelektroden im Lichtbogen abgeschmolzen. Die Umhüllung hat sowohl metallurgische (Zulegieren der Schmelze) als auch verfahrenstechnische Aufgaben (Ausbildung einer Schutzatmosphäre über der Schmelze, Stabilisieren und Ausrichten des Lichtbogens). Das Abschmelzen der Umhüllung führt zur Bildung von Schlacke, die nach dem Schweißvorgang von der Schweißnaht zu entfernen ist.

Beim LBH-Schweißen (Legierung: 9 bis 63 % Nickel, Schweißzusatzwerkstoff: 11 bis 70 % Nickel) fand *Lausch* [158] keine Nickeloxide. Die Stäube enthielten neben Komponenten aus der Elektrodenumhüllung in erster Linie nickelhaltige Mischoxide (Spinelle). Der Zeitrend der Expositionshöhe beim LBH-Schweißen ist in **Tabelle 40** dargestellt. Die Expositionen nehmen von den 1980er Jahren bis zu den 2010er Jahren kontinuierlich ab.

Tabelle 40:

LBH-Schweißen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum sowie nach Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum Arbeitsbereich | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------------|---------------------|--------------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1986 bis 1989 | ohne | 18 | 11 | 2 (11,1 %) | 0,05 | 0,05 + | 0,22 |
| | mit | 21 | 17 | 8 (38,1%) | 0,05 | 0,009 + | 0,067 |
| 1990 bis 1999 | nicht differenziert | 255 | 154 | 46 (18%) | 0,01 | 0,016 | 0,17 |
| 2000 bis 2009 | nicht differenziert | 156 | 105 | 25 (16%) | 0,019 | 0,012 + | 0,16 |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 65 | 44 | 14 (21,5%) | 0,0048 | 0,0045 + | 0,054 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1986 bis 1989 | nicht differenziert | 83 | 42 | 1 (1,2%) | 0,007 | 0,01 | 0,14 |
| 1990 bis 1999 | nicht differenziert | 124 | 73 | 15 (12,1%) | 0,004 | 0,01 | 0,12 |
| 2000 bis 2009 | nicht differenziert | 33 | 24 | 9 (27,3%) | 0,095 | 0,0030 + | 0,051 + |
| 2010 bis 2016 | mit | 25 | 19 | 10 (40%) | 0,0027 | 0,0006 + | 0,018 |

Tabelle 41:

LBH-Schweißen: Einfluss des Nickelgehaltes des bearbeiteten Materials auf die Expositionshöhe gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart und Datenzeitraum

| Nickelgehalt des Materials | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| < 5 % | 1990 bis 2009 | 57 | 43 | 16 (28,1 %) | 0,019 | 0,0044 + | 0,037 |
| | 2010 bis 2016 | 20 | 13 | 8 (40,0 %) | 0,0048 | 0,002 + | 0,013 |
| 5 bis 30 % | 1990 bis 1999 | 74 | 51 | 10 (13,5 %) | 0,01 | 0,02 | 0,18 |
| | 2000 bis 2009 | 67 | 48 | 10 (14,9 %) | 0,0058 | 0,013 | 0,10 |
| | 2010 bis 2016 | 23 | 20 | 3 (13,0 %) | 0,0027 | 0,0051 | 0,085 |
| > 30 % | 1989 bis 1999 | 24 | 18 | 3 (12,5 %) | 0,005 | 0,03 | 0,81 |
| | 2000 bis 2009 | 14 | 9 | 1 (7,1 %) | 0,0017 | 0,12 | 0,48 |
| | 2010 bis 2016 | 6*** | 5 | 1 (16,7 %) | 0,0024 | arithmetischer Mittelwert: 0,24*** | |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| < 5 % | 1989 bis 2016 | 26 | 21 | 9 (34,6 %) | 0,003 | 0,0014 + | 0,0066 |
| 5 bis 30 % | 1989 bis 1999 | 46 | 24 | 1 (2,2 %) | 0,003 | 0,01 | 0,083 |
| | 2000 bis 2016 | 22 | 18 | 6 (27,3 %) | 0,0048 | 0,0024 + | 0,028 |
| > 30 % | 1989 bis 2016 | 8*** | 5 | 2 (25,0 %) | 0,0024 | arithmetischer Mittelwert: 0,085*** | |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden

Tabelle 42:

Schutzgasschweißen, allgemein: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte \leq BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|----------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1980 bis 1986 | ohne | 17 | 9 | 13 (76,5 %) | 0,05 | BG ! | 0,083 |
| | mit | 12 | 7 | 7 (58,3 %) | 0,05 | BG ! | 0,058 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1975 bis 1979 | nicht differenziert | 51 | 15 | 8 (15,7 %) | 0,01 | 0,01 + | 0,34 |
| 1980 bis 1986 | ohne | 208 | 106 | 64 (30,8 %) | 0,05 | 0,005 + | 0,09 |
| | mit | 136 | 69 | 41 (25,2 %) | 0,05 | 0,0089 + | 0,057 |

Die Exposition beim LBH-Schweißen nimmt mit dem Nickelgehalt des eingesetzten Materials zu (Tabelle 41). Außerdem zeigt sich auch bei der nach Nickelgehalt differenzierten Auswertung ein negativer Zeittrend.

6.8.2.2 Schutzgasschweißen, allgemein

Bis 1986 sind in MEGA die verschiedenen Verfahren des Schutzgasschweißens nicht differenziert dokumentiert, sodass nur eine Auswertung für „Schutzgasschweißen, allgemein“ durchgeführt werden kann. Ab 1986 können dann verschiedene Verfahren differenziert ausgewertet werden. Diese Daten sind in den Abschnitten 6.8.2.3 bis 6.8.2.7 dargestellt.

Der Zeittrend der Expositionshöhe beim Schutzgasschweißen, allgemein ist in Tabelle 42 dargestellt. Bei stationärer Probenahme wurden von 1975 bis 1979 mit einem 90. Perzentil von 0,34 mg/m³ sehr hohe Expositionen gemessen. In den 1980er-Jahren liegen die 90. Perzentile hingegen unter 0,1 mg/m³, sowohl mit als auch ohne Erfassung. Die Expositionshöhe an Arbeitsplätzen mit einer Erfassung der Emissionen ist in allen betrachteten Datenzeiträumen niedriger als an Arbeitsplätzen ohne Erfassung.

Zu den Messungen beim „Schutzgasschweißen, allgemein“ liegen keine Informationen zum verarbeiteten Material und damit auch nicht zum Nickelgehalt vor.

6.8.2.3 Metall-Aktivgasschweißen (MAG-Schweißen)

Das MAG-Schweißen gehört zu den Metallschutzgasschweißverfahren, deren Entwicklungen bis in die 1950er-Jahre zurückgehen. Das MAG-Verfahren eignet sich insbesondere zum Schweißen von un- und niedriglegierten sowie hochlegierten Stählen und ersetzt zunehmend das LBH-Schweißverfahren. Beim MAG-Schweißen brennt der Lichtbogen zwischen einem abschmelzenden Schweißdraht (Drahtelektrode) und dem Werkstück in einer Schutzgasatmosphäre. Die Drahtelektrode wird als Schweißzusatzwerkstoff mit einem Drahtvorschubgerät adäquat zur Abschmelzgeschwindigkeit kontinuierlich nachgeführt. Als Schweißdrähte werden entweder Massiv- oder Fülldrähte eingesetzt. Expositionsdaten zum MAG-Schweißen mit Fülldraht sind in Abschnitt 6.8.2.4 dargestellt. Als Schutzgase dienen üblicherweise Argon-Kohlendioxid-Gemische. In Laborversuchen konnten beim MAG-Schweißen (9 bis 20 % Nickel) in den Stäuben nur nickelhaltige Mischoxide identifiziert werden [158].

Der Zeittrend der Expositionshöhe beim MAG-Schweißen ist in Tabelle 43 dargestellt. Die Expositionen nehmen von den 1980er Jahren bis zu den 2010er Jahren kontinuierlich ab. Die Expositionshöhe an Arbeitsplätzen mit einer Erfassung der Emissionen ist in allen betrachteten Datenzeiträumen sowohl bei den Messungen an der Person als auch bei stationären Messungen niedriger als an Arbeitsplätzen ohne Erfassung.

Die Exposition beim MAG-Schweißen nimmt mit dem Nickelgehalt des eingesetzten Materials zu (Tabelle 44). Außerdem zeigt sich auch bei der nach Nickelgehalt differenzierten Auswertung ein negativer Zeittrend und der positive Einfluss einer Erfassung der Emissionen an der Quelle.

Tabelle 43:

MAG-Schweißen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart, Datenzeitraum und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | ohne | 84 | 59 | 20 (23,8 %) | 0,13 | 0,03 + | 0,23 |
| | mit | 248 | 129 | 41 (16,5 %) | 0,034 | 0,03 + | 0,19 |
| 2000 bis 2009 | ohne [#] | 233 | 103 | 47 (20,2 %) | 0,018 | 0,0094 + | 0,22 |
| | mit | 410 | 213 | 88 (21,5 %) | 0,02 | 0,011 + | 0,15 |
| 2010 bis 2016 | ohne | 167 | 96 | 25 (15 %) | 0,0096 | 0,0029 + | 0,10 |
| | mit | 428 | 250 | 112 (26,2 %) | 0,0057 | 0,0025 + | 0,067 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1986 bis 1989 | ohne | 34 | 12 | 0 | k. A. | 0,03 | 0,24 |
| | mit | 42 | 28 | 3 (7,1 %) | 0,003 | 0,01 | 0,06 |
| 1990 bis 1999 | ohne | 59 | 24 | 9 (15,3 %) | 0,005 | 0,01 | 0,092 |
| | mit | 96 | 51 | 20 (20,8 %) | 0,0077 | 0,004 + | 0,05 |
| 2000 bis 2009 | ohne | 71 | 36 | 19 (26,8 %) | 0,01 | 0,0025 + | 0,054 |
| | mit | 132 | 69 | 29 (22 %) | 0,005 | 0,003 + | 0,030 |
| 2010 bis 2016 | ohne | 64 | 32 | 11 (17,2 %) | 0,002 | 0,0011 + | 0,053 |
| | mit | 88 | 54 | 29 (33 %) | 0,0091 | 0,001 + | 0,015 |

[#] Ohne Werte beim Schweißen im Gastank im Schiffbau. Diese sind in Abschnitt 6.8.6 „Schweißen in engen Räumen“ ausgewertet und dargestellt.

Tabelle 44:

MAG-Schweißen: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person, Differenzierung nach Datenzeitraum und ohne bzw. mit Erfassung

| Nickelgehalt des Materials | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| < 5 % | 1990 bis 2009 | ohne | 146 | 55 | 45 (30,8 %) | 0,018 | 0,0045 + | 0,058 |
| | | mit | 155 | 81 | 61 (39,4 %) | 0,02 | 0,0029 + | 0,034 |
| | 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 367 | 204 | 102 (27,8 %) | 0,0096 | 0,0018 + | 0,018 |
| 5 bis 30 % | 1989 bis 2009 | ohne | 82 | 51 | 2 (2,4 %) | 0,0023 | 0,088 | 0,38 |
| | | mit | 249 | 150 | 16 (6,4 %) | 0,034 | 0,03 + | 0,23 |
| | 2010 bis 2016 | ohne | 26 | 19 | 0 | k. A. | 0,12 | 0,41 |
| | | mit | 123 | 82 | 11 (8,9 %) | 0,0029 | 0,022 | 0,14 |
| > 30 % | 1994 bis 2016 | nicht differenziert | 37 | 16 | 1 (2,7 %) | 0,0027 | 0,037 | 0,83 |

6.8.2.4 MAG-Schweißen mit Fülldraht, mit oder ohne Schutzgas

Beim MAG-Schweißen kommen zunehmend Fülldrähte zur Anwendung. Dies sind „rohrförmige“ Schweißdrähte, die mit Pulver gefüllt sind. Die Pulverfüllungen haben ähnli-

che Funktionen wie die Umhüllungen von Stabelektroden beim LBH-Schweißen. Sie führen üblicherweise zu einer erhöhten Abschmelzleistung oder verbessern andere Merkmale der Schweißung. Das Verfahren kann entweder mit oder ohne Zugabe von Schweißschutzgasen angewendet werden.

Tabelle 45:

MAG-Schweißen mit Fülldraht: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart und Datenzeitraum

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | 38 | 20 | 10 (26,3 %) | 0,02 | 0,01 + | 0,04 |
| 2000 bis 2009 [#] | 52 | 17 | 17 (32,7 %) | 0,0054 | 0,0036 + | 0,011 |
| 2010 bis 2016 | 14 | 11 | 5 (35,7 %) | 0,0038 | 0,0041 | 0,027 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1980 bis 2016 | 55 | 25 | 5 (9,1%) | 0,009 | 0,0039 + | 0,025 |

[#] Ohne Werte beim Schweißen im Gastank im Schiffbau. Diese sind in Abschnitt 6.8.6 „Schweißen in engen Räumen“ ausgewertet und dargestellt.

Tabelle 46:

MAG-Schweißen mit Fülldraht: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person

| Nickelgehalt des Materials | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| < 5 % | 1990 bis 2016 | 35 | 16 | 12 (34,3 %) | 0,01 | 0,0048 + | 0,023 |
| 5 bis 30 % | 1990 bis 2016 | 27 | 13 | 5 (18,5 %) | 0,005 | 0,035 | 0,24 |
| > 30 % | 1990 bis 1999 (alle mit Erfassung) | 6*** | 1** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,017*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Das Fülldrahtschweißen ohne Schutzgas (selbstschützende Fülldrähte) wird auch als MOG-Schweißen bezeichnet. Hierbei schmilzt das Pulver und bildet eine gasförmige Schutzglocke über dem Schmelzbad. Beim Erstarren der Schmelze bildet sich ein Schlackeüberzug, der nach dem Schweißvorgang entfernt werden muss. Der Zeittrend der Expositionshöhe beim MAG-Schweißen mit Fülldraht ist in **Tabelle 45** dargestellt. Bis auf die Messwerte mit Probenahme an der Person für den Datenzeitraum 1980 bis 1999 liegen alle 90. Perzentile unter 0,03 mg/m³. Die meisten Messungen wurden an Arbeitsplätzen mit einer Erfassung der Emissionen durchgeführt, daher erfolgt hier keine Differenzierung der Auswertung nach mit bzw. ohne Erfassung.

Wird beim MAG-Schweißen mit Fülldraht Material eingesetzt, das nur < 5 % Nickel enthält, treten niedrigere Expositionen auf als beim Schweißen mit Material, das 5 bis 30 % Nickel enthält (**Tabelle 46**). Zum MAG-Schweißen mit Fülldraht bei der Verarbeitung von Material mit > 30 % Nickel liegt in MEGA nur eine Messreihe aus einem Betrieb vor. Die Randbedingungen, die zu diesen im Ver-

gleich niedrigen Konzentrationen geführt haben, sind unbekannt (evtl. bessere Absaugtechnik). Der arithmetische Mittelwert von 0,017 mg Ni/m³ kann damit ggf. nicht als repräsentativ angesehen werden. Wir schlagen daher vor, auch für diesen Bereich 0,24 mg Ni/m³ anzusetzen.

6.8.2.5 MIG-Schweißen

Das MIG-Schweißen ist mit dem MAG-Schweißen eng verwandt. Als Schutzgase werden jedoch inerte Gase wie Argon, Helium oder deren Gemische eingesetzt. Der Prozess wird vor allem zum Schweißen von Nichteisenmetallen genutzt.

In Versuchen fand sich beim MIG-Schweißen (Legierung: 25 bis 31 % Nickel, Schweißzusatzwerkstoff: 60 bis 70 % Nickel) in den Stäuben NiO neben nickelhaltigen Mischoxiden und Legierungspartikeln [158].

Der Zeittrend der Expositionshöhe beim MIG-Schweißen ist in **Tabelle 47** dargestellt. Bei Probenahme an der Person liegen alle 90. Perzentile über 0,1 mg/m³. Stationär

gemessene Nickelkonzentrationen liegen hingegen deutlich niedriger. Der Einfluss einer Erfassung der Emissionen kann anhand der vorliegenden Daten nicht belegt werden. Hinweise zu Arbeiten in engen Räumen fanden sich bei der Auswertung der Messdaten zum MIG-Schweißen nicht oder wurden nicht im Protokoll vermerkt.

Beim MIG-Schweißen mit Material, das nur < 5 % Nickel enthält, treten niedrigere Expositionen auf als beim Schweißen mit Material, das mehr Nickel enthält (Tabelle 48). Außerdem zeigt sich auch bei dies Auswertung ein negativer Zeittrend. Der positive Einfluss einer Erfassung der Emissionen an der Quelle konnte bei der nach Nickelgehalt differenzierten Auswertung belegt werden.

Tabelle 47:

MIG-Schweißen: Zeittrend der Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart und Datenzeitraum

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | 137 | 90 | 33 (24,1 %) | 0,05 | 0,023 + | 0,32 |
| 2000 bis 2009 | 123 | 85 | 8 (6,5 %) | 0,0048 | 0,059 | 0,37 |
| 2010 bis 2016 | 59 | 43 | 10 (16,9 %) | 0,005 | 0,008 | 0,18 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1980 bis 1989 | 44 | 18 | 10 (22,7 %) | 0,02 | 0,01 + | 0,11 |
| 1990 bis 1999 | 101 | 53 | 6 (5,9 %) | 0,02 | 0,009 + | 0,079 |
| 2000 bis 2009 | 54 | 34 | 14 (25,9 %) | 0,0087 | 0,0044 + | 0,029 |
| 2010 bis 2016 | 19 | 14 | 1 (5,3 %) | 0,00017 | 0,0018 | 0,019 |

Tabelle 48:

MIG-Schweißen: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person, Differenzierung nach Datenzeitraum und mit bzw. ohne Erfassung

| Nickelgehalt des Materials | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| < 5 % | 1990 bis 2009 | nicht differenziert | 23 | 14 | 4 (17,4 %) | 0,004 | 0,02 | 0,35 |
| | 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 16 | 12 | 5 (31,34 %) | 0,0034 | 0,0017 + | 0,059 |
| 5 bis 30 % | 1990 bis 1999 | nicht differenziert | 42 | 31 | 5 (11,9 %) | 0,005 | 0,06 | 0,72 |
| | | ohne | 26 | 20 | 0 | k. A. | 0,11 | 0,49 |
| | 2000 bis 2009 | mit | 48 | 37 | 2 (4,2 %) | 0,0022 | 0,048 | 0,26 |
| | | ohne | 6*** | 4** | 2 (33,3 %) | 0,0049 | arithmetischer Mittelwert: 0,12*** | |
| > 30 % | 2000 bis 2016 | mit | 24 | 20 | 0 | k. A. | 0,026 | 0,18 |
| | | mit | 6*** | 4** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,18*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.8.2.6 WIG-Schweißen

Das WIG-Schweißen ist ein Schweißverfahren, bei dem der Lichtbogen zwischen dem Werkstück und einer nicht abschmelzenden Wolframelektrode im Schutz eines Inertgases brennt. Als Schutzgase dienen Argon, Helium oder deren Gemische. Das WIG-Schweißverfahren kann mit oder ohne Schweißzusatzwerkstoff eingesetzt werden. Die Zufuhr des Zusatzwerkstoffes geschieht in der Regel von Hand. Mit diesem Schweißverfahren lassen sich viele Nahtarten in allen Positionen herstellen. Zur Anwendung kommt Gleich- oder Wechselstrom. Die schweißbaren Werkstückdicken reichen bei Stahl bis ca.

4 mm und bei Aluminium bis ca. 5 mm. Der Zeittrend der Expositionshöhe beim WIG-Schweißen ist in **Tabelle 49** dargestellt. Bei Probenahme an der Person und bei stationärer Probenahme liegen alle 90. Perzentile höchstens bei 0,05 mg/m³. Die Expositionshöhe an Arbeitsplätzen mit einer Erfassung der Emissionen ist in allen betrachteten Datenzeiträumen niedriger als an Arbeitsplätzen ohne Erfassung. Die Exposition beim WIG-Schweißen nimmt mit dem Nickelgehalt des eingesetzten Materials zu (**Tabelle 50**). Außerdem zeigt sich auch bei der nach Nickelgehalt differenzierten Auswertung ein negativer Zeittrend und der positive Einfluss einer Erfassung der Emissionen an der Quelle.

Tabelle 49:

WIG-Schweißen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | ohne | 168 | 116 | 48 (28,6 %) | 0,03 | 0,007 + | 0,05 |
| | mit | 162 | 120 | 76 (46,9 %) | 0,03 | 0,0037 + | 0,04 |
| 2000 bis 2009 | ohne | 205 | 133 | 43 (21 %) | 0,015 | 0,0053 + | 0,028 |
| | mit | 288 | 210 | 77 (26,7 %) | 0,019 | 0,004 + | 0,026 |
| 2010 bis 2016 | ohne | 157 | 127 | 37 (23,6%) | 0,012 | 0,0035 + | 0,03 |
| | mit | 240 | 189 | 88 (36,7 %) | 0,0091 | 0,0018 + | 0,015 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | ohne | 98 | 72 | 19 (19,4 %) | 0,02 | 0,0036 + | 0,04 |
| | mit | 71 | 59 | 23 (32,4 %) | 0,01 | 0,0023 + | 0,011 |
| 2000 bis 2016 | ohne | 75 | 55 | 17 (22,7 %) | 0,005 | 0,0032 + | 0,022 |
| | mit | 101 | 76 | 35 (34,7 %) | 0,0038 | 0,00089 + | 0,013 |

Tabelle 50:

WIG-Schweißen: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person, Differenzierung nach Datenzeitraum und ohne bzw. mit Erfassung

| Nickelgehalt des Materials | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| < 5 % | 1989 bis 2009 | ohne | 12 | 11 | 4 (33,3 %) | 0,0043 | 0,0022 + | 0,019 |
| | | mit | 28 | 21 | 11 (39,3 %) | 0,019 | 0,0029 + | 0,015 + |
| | 2010 bis 2016 | ohne | 14 | 11 | 7 (50 %) | 0,0024 | BG ! | 0,0045 |
| | | mit | 19 | 17 | 9 (47,4 %) | 0,0043 | 0,001 + | 0,0029 + |
| 5 bis 30 % | 1989 bis 1999 | ohne | 69 | 52 | 17 (24,6 %) | 0,008 | 0,007 + | 0,05 |
| | | mit | 72 | 58 | 35 (48,6 %) | 0,03 | 0,003 + | 0,026 + |
| | 2000 bis 2016 | ohne | 275 | 190 | 64 (23,3 %) | 0,015 | 0,004 + | 0,027 |
| | | mit | 377 | 282 | 118 (31,3 %) | 0,0091 | 0,0026 + | 0,017 |
| > 30 % | 1990 bis 2016 | ohne | 11 | 10 | 1 (9,1%) | 0,0015 | 0,01 | 0,24 |
| | | mit | 32 | 27 | 8 (25 %) | 0,0032 | 0,0046 | 0,02 |

6.8.2.7 Plasmaschweißen

Der Zeittrend der Expositionshöhe beim Plasmaschweißen ist in **Tabelle 51** dargestellt. Bei Probenahme an der Person liegt die Expositionshöhe an Arbeitsplätzen mit

einer Erfassung der Emissionen niedriger als an Arbeitsplätzen ohne Erfassung.

Die Exposition beim Plasmaschweißen nimmt mit dem Nickelgehalt des eingesetzten Materials zu (**Tabelle 52**).

Tabelle 51:

Plasmaschweißen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1986 bis 1999 | ohne | 10 | 7 | 3 (30 %) | 0,003 | 0,004 | 0,09 |
| | mit | 11 | 9 | 3 (27,3 %) | 0,05 | 0,02 + | 0,03 + |
| 2000 bis 2009 | ohne | 7*** | 7 | 3 (42,9 %) | 0,0052 | arithmetischer Mittelwert: 0,0306*** | |
| | mit | 14 | 11 | 3 (21,4 %) | 0,0047 | 0,0035 + | 0,015 |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 30 | 21 | 10 (33,3 %) | 0,0019 | 0,0014 + | 0,027 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1986 bis 1999 | nicht differenziert | 19 | 15 | 3 (15,8 %) | 0,003 | 0,0044 | 0,084 |
| 2000 bis 2009 | nicht differenziert | 29 | 21 | 18 (62,1 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0029 + |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 12 | 8 | 5 (41,7 %) | 0,0019 | 0,00077 + | 0,0041 |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 52:

Plasmaschweißen: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person, Differenzierung nach Datenzeitraum und mit bzw. ohne Erfassung

| Nickelgehalt des Materials | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| < 5 % | 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 10 | 7 | 4 (40 %) | 0,0052 | 0,0026 + | 0,014 |
| 5 bis 30 % | 1990 bis 2016 | ohne | 12 | 9 | 3 (25 %) | 0,0018 | 0,0014 + | 0,068 |
| | | mit | 17 | 14 | 5 (29,4 %) | 0,0017 | 0,003 | 0,031 |
| > 30 % | 2000 bis 2016 | mit | 8*** | 6 | 1 (12,5 %) | 0,0019 | arithmetischer Mittelwert: 0,081*** | |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.8.2.8 Unterpulverschweißen

Der Zeittrend der Expositionshöhe beim Unterpulverschweißen ist in **Tabelle 53** dargestellt. Ein Einfluss der Erfassung auf die Expositionshöhe konnte anhand der MEGA-Daten nicht gezeigt werden. Beim Unterpulverschweißen mit Material, das nur < 5 % Nickel enthält, treten niedrigere Expositionen auf als beim Schweißen mit Material, das mehr Nickel enthält (**Tabelle 54**). Die Exposition gegenüber Nickel unterschied sich nicht zwischen den Materialgruppen 5 bis 30 % Nickel und > 30 % Nickel. Daher werden diese hier gemeinsam ausgewertet.

schweißen mit Material, das nur < 5 % Nickel enthält, treten niedrigere Expositionen auf als beim Schweißen mit Material, das mehr Nickel enthält (**Tabelle 54**). Die Exposition gegenüber Nickel unterschied sich nicht zwischen den Materialgruppen 5 bis 30 % Nickel und > 30 % Nickel. Daher werden diese hier gemeinsam ausgewertet.

Tabelle 53:

Unterpulverschweißen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1988 bis 2009 | nicht differenziert | 31 | 24 | 12 (38,7 %) | 0,008 | 0,0045 + | 0,024 |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 16 | 11 | 3 (18,8 %) | 0,0089 | 0,0027 + | 0,015 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1988 bis 1999 | nicht differenziert | 9*** | 7 | 4 (44,4 %) | 0,0026 | arithmetischer Mittelwert: 0,025*** | |
| 2000 bis 2009 | nicht differenziert | 6*** | 4** | 1 (16,7 %) | 0,00043 | arithmetischer Mittelwert: 0,010*** | |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 8*** | 6 | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,0048*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 54:

Unterpulverschweißen: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person, Differenzierung nach Datenzeitraum und mit bzw. ohne Erfassung

| Nickelgehalt des Materials | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| < 5 % | 1998 bis 2016 | ohne | 10 | 6 | 7 (70 %) | 0,0044 | BG ! | 0,0032 + |
| ≥ 5 % | 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 12 | 10 | 0 | k. A. | 0,0083 | 0,035 |

6.8.3 Laserschweißen

Expositionsdaten zum Laserschweißen sind in **Tabelle 55** dargestellt. An der Person liegen zu wenige Messungen an Arbeitsplätzen ohne Erfassung vor, um sie darstellen zu können und auch stationäre Messungen an Arbeitsplätzen ohne Erfassung erfolgten erst im Zeitraum 2010 bis 2016.

Beim Laserschweißen unter Einsatz von Material mit einem Nickelgehalt von 5 bis 30 % liegen die Expositionen höher als beim Schweißen mit Material, das nur < 5 %

Nickel enthält (**Tabelle 56**). Zur Verarbeitung von Material mit > 30 % Nickel liegen in MEGA nur drei Messwerte aus zwei Betrieben vor. In beiden Betrieben ist als Produktionsanlage eine Laserschweißanlage mit geschlossener Erfassung dokumentiert. Diese Randbedingungen führen vermutlich zu den im Vergleich niedrigen Konzentrationen. Wir gehen daher davon aus, dass der resultierende geringe arithmetische Mittelwert nicht ohne weiteres auf alle Arbeitsplätze mit einer Verarbeitung von Material mit > 30 % Nickel übertragen werden darf. Im Zweifel sollte auch für diesen Bereich ein 90%-Wert von 0,025 angesetzt werden.

Tabelle 55:

Laserschweißen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1990 bis 1999 | mit | 15 | 7 | 6 (40 %) | 0,003 | 0,004 | 0,035 |
| 2000 bis 2009 | mit | 24 | 19 | 10 (41,7 %) | 0,012 | 0,0021 + | 0,026 |
| 2010 bis 2016 | mit | 44 | 32 | 17 (38,6 %) | 0,0058 | 0,0014 + | 0,025 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1990 bis 1999 | mit | 10 | 8 | 7 (70 %) | 0,005 | BG ! | 0,02 |
| 2000 bis 2009 | mit | 13 | 12 | 7 (53,8 %) | 0,005 | BG ! | 0,0058 |
| 2010 bis 2016 | ohne | 7*** | 6 | 1 (14,3 %) | 0,0035 | arithmetischer Mittelwert: 0,027*** | |
| | mit | 35 | 23 | 22 (62,9 %) | 0,0011 | BG ! | 0,0034 |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 56:

Laserschweißen: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person, Differenzierung nach Datenzeitraum und Erfassung

| Nickelgehalt des Materials | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| < 5 % | 2010 bis 2016 | mit | 6*** | 5 | 4 (66,7 %) | 0,0058 | arithmetischer Mittelwert: 0,0026*** | |
| 5 bis 30 % | 1990 bis 2009 | mit | 24 | 15 | 13 (54,2 %) | 0,012 | BG ! | 0,018 |
| | 2010 bis 2016 | mit | 22 | 18 | 5 (22,7 %) | 0,0032 | 0,0032 + | 0,025 |
| > 30 % | 2000 bis 2016 | mit | 3*** | 2** | 2 (66,7 %) | 0,0012 | arithmetischer Mittelwert: 0,00069*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.8.4 Widerstandspunktschweißen

Expositionsdaten zum Widerstandspunktschweißen von 2001 bis 2016 sind in **Tabelle 57** dargestellt. Da die Möglichkeit, Widerstandspunktschweißen zu kodieren, im MGU erst ab 2001 eingeführt wurde, liegen keine älteren Messwerte vor. Die Verarbeitung von hochlegierter Stahl führt dabei zu höheren Nিকেlexpositionen.

6.8.5 Auftragsschweißen von Gusswerkstücken

Eine besondere Situation stellt das Schweißen von Gussstählen dar. Die daraus gefertigten Teile werden nicht während der Herstellung geschweißt, sondern nur, wenn Reparaturen nötig sind. Dann sind jedoch hochnickelhaltige Zusatzwerkstoffe nötig. Beim Guss-Reparaturschweißen (93 % Nickel im Schweißzusatzwerkstoff) wurden in

Versuchen NiO neben Legierungspartikeln und Strontium-Eisen-Mischoxiden nachgewiesen [158].

Expositionsdaten zum Auftragsschweißen von Gusswerkstücken von 1975 bis 2009 sind in **Tabelle 58** dargestellt. Mit einem 90. Perzentil von über 0,5 mg/m³ Nickel liegen hier sehr hohe Expositionen vor. Obwohl stationäre Messungen von 1975 bis 2009 ausgewertet wurden und Messungen an der Person von 1980 bis 2009, kann anhand der Messdaten aus MEGA kein Zeittrend festgestellt werden. Die Expositionen beim Auftragsschweißen von Gusswerkstücken sind von 2000 bis 2009 noch genauso hoch wie in den 1970er- oder 1980er-Jahren. Eine Differenzierung der Exposition anhand der Nickelgehalte des eingesetzten Materials ist nicht möglich, weil nur zu einzelnen Proben Informationen hierzu vorliegen. Der bei diesen Proben dokumentierte Nickelgehalt der Zusatzwerkstoffe liegt zwischen 30 und 97 % Nickel.

Tabelle 57:

Widerstandspunktschweißen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und Nickelgehalt

| Datenzeitraum | Nickelgehalt | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 2001 bis 2009 | nicht differenziert | 10 | 8 | 4 (40 %) | 0,0025 | 0,0013 + | 0,0063 |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 25 | 21 | 17 (68 %) | 0,0039 | BG ! | 0,0061 |
| 2001 bis 2016 | 5 bis 30 % | 18 | 13 | 12 (66,7 %) | 0,0039 | BG ! | 0,0075 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 2001 bis 2009 | nicht differenziert | 17 | 10 | 9 (52,9 %) | 0,005 | BG ! | 0,059 |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 12 | 10 | 11 (91,7 %) | 0,0041 | BG ! | BG ! |

Tabelle 58:

Auftragsschweißen von Gusswerkstücken: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1980 bis 2009 | nicht differenziert | 23 | 14 | 0 | k. A. | 0,18 | 0,54 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1975 bis 2009 | nicht differenziert | 95 | 28 | 1 (1,1 %) | 0,005 | 0,1 | 0,55 |

Tabelle 59:

Schweißen in engen Räumen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart, Datenzeitraum, Schweißverfahren und Probenahmeart und Erfassung

| Daten-zeitraum | Schweißverfahren | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| 2000 bis 2009 | MAG-Schweißen Schiffbau, Schweißen im Gastank | ohne | 15 | 1** | 0 | k. A. | 0,14 | 0,65 |
| 2000 bis 2009 | MAG-Schweißen mit Fülldraht Schiffbau, Gerätebau, Schweißen in engen Räumen | nicht differenziert | 13 | 4** | 1 (7,7 %) | 0,0025 | 0,083 | 0,27 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | | |
| 1975 bis 1986 | Schweißverfahren nicht dokumentiert | ohne | 21 | 4** | 0 | k. A. | 0,096 | 0,97 |
| | | mit | 16 | 5 | 0 | k. A. | 0,12 | 0,28 |

6.8.6 Schweißen in engen Räumen

Expositionsdaten zum Schweißen in engen Räumen von 1975 bis 2009 sind in **Tabelle 59** dargestellt. Wie zu erwarten treten dabei sehr hohe Expositionen auf: Alle 90. Perzentile in Tabelle 58 liegen über 0,2 mg/m³ Nickel.

Von 1975 bis 1986 wurden die Messungen in MEGA unter dem Arbeitsbereich „Schweißen in engen Behältern (Kesseln)“ kodiert. Dabei wurde nur darauf Bezug genommen, dass in einem engen Raum geschweißt wurde, es ist aber nicht dokumentiert, welches Schweißverfahren verwendet wurde. In diesen Zeitraum liegen nur stationäre Messungen vor. Es ist deutlich zu erkennen, dass eine Erfassung der Emissionen am Emissionsort die Exposition erheblich reduziert.

6.8.7 Thermisches Schneiden

Brennschneiden (Schneidbrennen) und Autogenbrennschneiden

Mithilfe einer Brenngas-Sauerstoff-Flamme wird der Werkstoff bis zum Überschreiten der Zündtemperatur örtlich erhitzt und anschließend im Sauerstoffstrahl verbrannt. Es entsteht dabei eine Schnittfuge. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass die Zündtemperatur unterhalb der Schmelztemperatur liegt. Bei normalen Baustählen ist dies in der Regel der Fall, hier unterschreitet die Zündtemperatur mit ca. 1 150 °C die Schmelztemperatur von ca. 1 500 °C. Ebenso müssen die entstehenden Oxide eine niedrigere Schmelztemperatur als der Werkstoff selbst besitzen. Weiterhin ist es hilfreich, wenn der Werkstoff

eine niedrige Wärmeleitfähigkeit und eine hohe Verbrennungswärme aufweist. Aus diesen Gründen werden hochlegierte Cr/Ni-Stähle in der Regel nicht mit Brennschneidverfahren getrennt.

Laserbrennschneiden

Analog zum Autogenbrennschneiden wird der Werkstoff mittels eines Laserstrahls auf eine Temperatur größer Zündtemperatur erwärmt und mit einem Sauerstoffstrahl verbrannt. Die Voraussetzungen, die ein Werkstoff für dieses Trennverfahren mitbringen muss, sind ähnlich wie beim Autogenbrennschneiden.

Schmelzschnidverfahren

Im Gegensatz zu den Brennschneidverfahren können die Schmelzschnidverfahren – z. B. Laserschmelzverfahren, Plasmaschmelzverfahren – auch hochlegierte Cr/Ni-Metalle trennen. Hier wird der Werkstoffe mit dem Laserstrahl oder dem Plasmalichtbogen auf Schmelztemperatur erhitzt. Die resultierende Schmelze wird mit einem inerten Gas, wie Argon oder Stickstoff, aus der Trennfuge angetrieben.

6.8.7.1 Autogenes Brennschneiden

Daten zur Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion beim autogenen Brennschneiden sind in **Tabelle 60** dargestellt. Im MGU wurde bis 1986 bei der Dokumentation des Arbeitsbereichs nicht zwischen autogenem Schweißen, Schneiden und Brennen unterschieden und es ist für die frühen Datenzeiträume 1975 bis 1979 und 1980 bis 1986 keine Unterscheidung zwischen den Expositions-

höhen in diesen drei Arbeitsbereichen möglich. Da beim autogenen Brennschneiden viel höhere Expositionen zu erwarten sind als beim autogenen Schweißen, werden die 90. Perzentile der Kollektive mit Messungen zu den drei unterschiedlichen Prozessen von den Messwerten beim autogenen Brennschneiden dominiert. Die Kollektive werden daher hier im Abschnitt zum autogenen Brennschneiden dargestellt. Ab 1986 sind in Tabelle 60 hingegen Messdaten ausgewertet, die eindeutig dem autogenen Brennschneiden zuzuordnen sind. Dabei zeigt sich sowohl bei stationäre Messungen als auch bei Messungen an der Person eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. Der positive Einfluss einer Erfassung der Emissionen am Entstehungsort ist für alle betrachteten Datenzeiträume nachweisbar.

Bei einer Differenzierung der Messdaten nach der Höhe des Nickelgehaltes im geschnittenen Material zeigt sich, dass wie zu erwarten meist un- oder niedriglegierter Stahl mit unter 5 % Nickel geschnitten wurde (Tabelle 61). Bei der Probenahme an der Person treten bis 2009 mit einem 90. Perzentil $> 0,1 \text{ mg/m}^3$ auch beim Brennschneiden un- oder niedriglegierter Stähle relativ hohe Werte auf. Von den 21 Messungen wurde bei neun eine Erfassung dokumentiert, jedoch weisen auch diese Arbeitsplätze Messwerte $> 0,1 \text{ mg Ni/m}^3$ auf. Zum Brennschneiden hochlegierter Stähle liegen in MEGA nur neun Messungen an der Person vor. Diese weisen mit einem arithmetischen Mittelwert von $0,32 \text{ mg Ni/m}^3$ auf deutlich höhere Expositionen hin. Bei stationärer Probenahme sind nur un- oder niedriglegierte Stähle dokumentiert. Vor 2000 ist nur für eine Messung von zwölf eine Erfassung dokumentiert, nach 2000 hingegen bei 9 von 32.

Tabelle 60:

Autogenes Brennschneiden: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte $< \text{BG}^*$ | Höchste BG * in mg/m^3 | Konzentrationen in mg/m^3 | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|--------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1980 bis 1989 | ohne | 17 | 11 | 2 (11,8 %) | 0,02 | 0,33 | 3,36 |
| | mit | 17 | 11 | 4 (23,5 %) | 0,05 | 0,05 + | 1,28 |
| 1990 bis 2009 | ohne | 47 | 26 | 6 (12,8 %) | 0,01 | 0,02 | 0,19 |
| | mit | 21 | 17 | 2 (9,5 %) | 0,005 | 0,0085 | 0,13 |
| 2010 bis 2016 | ohne | 21 | 10 | 2 (9,5 %) | 0,0015 | 0,0036 | 0,034 |
| | mit | 22 | 17 | 3 (13,6 %) | 0,0015 | 0,0023 | 0,016 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1975 bis 1979 | nicht differenziert | 33 | 7 | 0 | k. A. | 0,16 | 5,46 |
| 1980 bis 1986 | ohne | 112 | 30 | 7 (6,3 %) | 0,005 | 0,1 | 1,88 |
| | mit | 125 | 33 | 11 (8,8 %) | 0,05 | 0,06 | 0,43 |
| 1987 bis 1989 | ohne | 37 | 11 | 0 | k. A. | 0,065 | 0,78 |
| | mit | 49 | 15 | 0 | k. A. | 0,04 | 0,4 |
| 1990 bis 2009 | ohne | 25 | 10 | 2 (8 %) | 0,008 | 0,018 | 0,1 |
| | mit | 21 | 10 | 3 (14,3 %) | 0,0043 | 0,017 | 0,089 |
| 2010 bis 2016 | ohne | 22 | 8 | 3 (13,6%) | 0,0018 | 0,0034 | 0,023 |
| | mit | 11 | 8 | 5 (45,5 %) | 0,0033 | 0,0013 + | 0,0092 |

Tabelle 61:

Autogenes Brennschneiden: Einfluss des Nickelgehalts des bearbeiteten Materials auf die Expositionshöhe gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Nickelgehalt des Materials | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| < 5 % | 1990 bis 1999 | 6*** | 2** | 1 (16,7 %) | 0,0055 | arithmetischer Mittelwert: 0,57*** | |
| | 2000 bis 2009 | 15 | 11 | 3 (20 %) | 0,01 | 0,0089 + | 0,12 |
| | 2010 bis 2016 | 29 | 19 | 3 (10,3 %) | 0,0014 | 0,0028 | 0,027 |
| 5 bis 30 % | 2010 bis 2016 | 9*** | 6 | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,32*** | |
| Stationäre Probenahme | | | | | | | |
| < 5 % | 1990 bis 1999 | 12 | 3** | 2 (16,7 %) | 0,008 | 0,02 | 0,12 |
| | 2000 bis 2016 | 32 | 16 | 5 (15,6 %) | 0,0043 | 0,0025 + | 0,023 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 62:

Plasmaschmelzschneiden: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart, manueller oder maschineller Tätigkeit und mit bzw. ohne Erfassung

| manuell/ maschinell | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| manuell und maschinell | 1988 bis 2003 | ohne | 25 | 16 | 0 | k. A. | 0,34 | 1,45 |
| | | mit | 86 | 61 | 7 (8,1 %) | 0,012 | 0,05 | 0,69 |
| manuell | 2003 bis 2016 | nicht differenziert | 16 | 16 | 2 (12,5 %) | 0,0034 | 0,07 | 0,54 |
| maschinell | 2003 bis 2009 | mit | 23 | 19 | 2 (8,7 %) | 0,0024 | 0,015 | 0,12 |
| maschinell | 2010 bis 2016 | mit | 28 | 23 | 5 (17,9 %) | 0,002 | 0,0027 | 0,065 |
| Stationäre Probenahme | | | | | | | | |
| manuell und maschinell | 1988 bis 1999 | ohne | 52 | 17 | 2 (3,8 %) | 0,0071 | 0,15 | 0,89 |
| | | mit | 96 | 49 | 7 (7,3 %) | 0,007 | 0,02 | 0,41 |
| manuell und maschinell | 2000 bis 2003 | ohne | 7*** | 3** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,18*** | |
| | | mit | 25 | 7 | 0 | k. A. | 0,024 | 0,12 |
| manuell | 2003 bis 2016 | nicht differenziert | 7*** | 7 | 1 (14,3 %) | 0,0013 | arithmetischer Mittelwert: 0,055*** | |
| maschinell | 2003 bis 2009 | mit | 17 | 11 | 2 (11,8 %) | 0,0048 | 0,0071 | 0,80 |
| maschinell | 2010 bis 2016 | mit | 10 | 6 | 1 (10 %) | 0,0019 | 0,0014 + | 0,0072 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.8.7.2 Plasma(schmelz)schneiden

Das Verfahren nutzt einen eingeschnürten Lichtbogen, in dem der erzeugte Plasmastrahl mit hoher Temperatur und großer kinetischer Energie den Werkstoff schmilzt und austreibt. In der Praxis können durch die Anwendung verschiedener Gase/Gasgemische, wie Argon-Wasserstoff, Stickstoff-Wasserstoff oder Argon-Stickstoff-Wasserstoff, hohe Schneidleistungen erreicht werden. In **Tabelle 62** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickerexposition beim Plasmaschmelzschnitten dargestellt. Hohe Expositionen über 0,1 mg/m³, zum Teil auch über 0,5 mg/m³, treten sowohl bei der Probenahme an der Person als auch bei stationärer Probenahme bis in die frühen 2000er-Jahre auf. Erst ab 2010 wurden deutlich niedrigere Expositionen gemessen.

Die Differenzierung der Auswertung nach Nickelgehalt ist in **Tabelle 63** erst ab 2003 dargestellt, da vorher bis auf vereinzelte Messungen nur Messwerte zum Plasmaschneiden von hochlegiertem Stahl mit 5 bis 30 % Nickel vorliegen. Während beim maschinellen Plasmaschmelzschnitten die Exposition mit dem Nickelgehalt des Materials ansteigt, liegen zur manuellen Bearbeitung zu wenige Messwerte vor, um dies zu zeigen. Da aufgrund der geringen Fallzahlen keine Differenzierung nach Erfassung möglich ist, könnte es sein, dass in den wenigen Messdaten der Einfluss der Erfassung den Einfluss des Nickelgehaltes des Materials überlagert. Für die manuelle Bearbeitung sollte daher ggf. auf die Werte aus **Tabelle 62** zurückgegriffen werden.

Tabelle 63:

Plasmaschmelzschnitten: Einfluss des Nickelgehalts des bearbeiteten Materials auf die Expositionshöhe gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart sowie manueller oder maschineller Tätigkeit

| manuell/ maschinell | Daten- zeitraum | Nickel- gehalt des Materials | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betrie- be | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|--------------------|------------------------------------|--------------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------------------|---|--|-----------|
| | | | | | | | | 50%-Wert* | 90%-Wert* |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | | |
| manuell | 2003 bis 2016 | < 5 % | nicht diffe- renziert | 5*** | 5 | 2 (40 %) | 0,0034 | arithmetischer Mittelwert: 0,76*** | |
| | | 5 bis 30 % | nicht diffe- renziert | 7*** | 7 | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,22*** | |
| maschinell | 2003 bis 2016 | < 5 % | nicht diffe- renziert | 18 | 14 | 2 (11,1 %) | 0,0013 | 0,0025 | 0,025 |
| | 2003 bis 2009 | 5 bis 30 % | nicht diffe- renziert | 14 | 11 | 1 (7,1 %) | 0,0024 | 0,0065 | 0,12 |
| | 2010 bis 2016 | 5 bis 30 % | nicht diffe- renziert | 11 | 11 | 2 (18,2 %) | 0,002 | 0,0059 | 0,089 |
| Stationäre Probenahme | | | | | | | | | |
| manuell | 2003 bis 2016 | 5 bis 30 % | nicht diffe- renziert | 5*** | 5 | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,076*** | |
| maschinell | | < 5 % | nicht diffe- renziert | 9*** | 7 | 1 (11,1 %) | 0,0019 | arithmetischer Mittelwert: 0,014*** | |
| | 2003 bis 2003 | 5 bis 30 % | nicht diffe- renziert | 13 | 8 | 1 (7,7 %) | 0,00086 | 0,006 | 1,65 |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.8.7.3 Laserstrahlschneiden

Beim Laserstrahlschneiden, auch Laserstrahlbrennschneiden genannt, wird der Werkstoff mit der sehr hohen Strahlungsenergie des Lasers geschmolzen. Es entsteht eine Schmelze, die mit einem Gas ausgeblasen wird, oder die Werkstoffabtragung entsteht durch Verdampfen. Dabei ist ein Inertgas oder reaktionsträges Schutzgas erforderlich. Je nachdem, ob die Schmelze als Flüssigkeit, Oxidationsprodukt oder Dampf aus der Schnittfuge entfernt wird, spricht man vom Laserstrahlschmelzschneiden, -brennschneiden oder -sublimierschneiden. Die Kodierung im MGU erlaubt es jedoch nicht, diese Techniken zu unterscheiden, daher ist eine differenzierte Auswertung nicht möglich. In **Tabelle 64** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nিকেlexposition beim Laserstrahlschneiden

im Überblick dargestellt. Für die Messungen an der Person und für stationäre Messungen zeigt sich eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. Bei fast allen in MEGA dokumentierten Messwerten ist eine Erfassung der Emissionen dokumentiert. Nur bei stationären Messungen zwischen 2000 und 2009 liegen genügend Messungen ohne Erfassung vor, um eine differenzierte Auswertung nach mit bzw. ohne Erfassung durchzuführen.

Bei der Verarbeitung von hochlegiertem Stahl zeigen sich bei einer Probenahme an der Person und bei stationärer Probenahme höhere Expositionen als bei der Verarbeitung von un- und niedriglegiertem Stahl (**Tabelle 65**). Allerdings liegen die 90. Perzentile auch für hochlegierte Stähle unter 0,03 mg/m³.

Tabelle 64:

Laserstrahlschneiden: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1990 bis 1999 | nicht differenziert | 25 | 19 | 14 (56 %) | 0,005 | BG ! | 0,02 |
| 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 121 | 96 | 39 (32,2 %) | 0,01 | 0,0022 + | 0,014 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1990 bis 1999 | nicht differenziert | 43 | 25 | 14 (32,6 %) | 0,005 | 0,003 + | 0,03 |
| 2000 bis 2009 | ohne | 16 | 5 | 0 | k. A. | 0,01 | 0,032 |
| | mit | 63 | 40 | 32 (50,8 %) | 0,005 | BG ! | 0,0029 + |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 52 | 29 | 23 (44,2 %) | 0,0012 | 0,00045 + | 0,0037 |

Tabelle 65:

Laserstrahlschneiden: Einfluss des Nickelgehalts des bearbeiteten Materials auf die Expositionshöhe gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person und stationär

| Nickelgehalt des Materials | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| < 5 % | 2000 bis 2016 | 17 | 13 | 12 (70,6 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0026 + |
| 5 bis 30 % | 1989 bis 1999 | 13 | 10 | 10 (76,9 %) | 0,005 | BG ! | 0,017 |
| | 2000 bis 2016 | 73 | 63 | 18 (24,7 %) | 0,01 | 0,0024 | 0,018 |
| Stationäre Probenahme | | | | | | | |
| < 5 % | 1990 bis 2009 | 14 | 8 | 12 (85,7 %) | 0,005 | BG ! | 0,0028 + |
| | 2010 bis 2016 | 13 | 7 | 9 (69,2 %) | 0,00086 | BG ! | 0,0010 |
| 5 bis 30 % | 1989 bis 1999 | 16 | 9 | 4 (25 %) | 0,002 | 0,002 + | 0,018 |
| | 2000 bis 2016 | 62 | 41 | 20 (32,3 %) | 0,005 | 0,0011 + | 0,0039 |

Tabelle 66:

Fugenhobeln: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 7*** | 4** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,53*** | |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 7*** | 3** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,12*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.8.7.4 Fugenhobeln

Ähnlich wie mit einem Schneidbrenner wird mit einem Fugenhobel Metall thermisch abgetragen. Mit diesem Verfahren können z. B. Schweißnähte nachgearbeitet oder entfernt werden; überschüssiges Material wird beseitigt. Es gelten hier die gleichen Grundvoraussetzungen wie beim Brennschneiden. Die Zündtemperatur des zu bearbeitenden Materials liegt unterhalb seiner Schmelztemperatur. Dies trifft für die meisten unlegierten und niedriglegierten Stahlsorten zu. Mit der Brennerflamme wird das abzutragende Metall auf Zündtemperatur erhitzt und anschließend im Sauerstoffstrahl verbrannt. In MEGA liegen nur sehr wenige Messwerte ab 2000 vor (**Tabelle 66**). Obwohl bei den sieben Werten mit Angaben zum eingesetzten Material immer un- oder niedriglegierte Stähle mit < 5 % Nickel angegeben sind, treten mit einem arithmetischen Mittelwert von 0,53 mg/m³ bei der Probenahme an der Person bei diesem Arbeitsverfahren sehr hohe Nickel-Expositionen auf.

6.8.8 Löten

Löten ist das Herstellen einer nicht lösbaren Verbindung metallischer Werkstücke mithilfe eines geschmolzenen Zusatzmetalls, dem Lot. Dieses wird durch die erwärmte Lötspitze des LötKolbens beim Weichlöten bzw. mit einem Brenner beim Hartlöten geschmolzen. Die dabei verwendeten Flussmittel haben die Aufgabe, vorhandene Metalloxide aufzulösen, Oberflächenfilme zu beseitigen und zu verhindern, dass sich während des Lötprozesses erneut eine Oxidschicht bildet. Entscheidend für die Einteilung der Lötverfahren ist die Liquidustemperatur des Lotes. Weichlote sind niedrig schmelzende Metalllegierungen. Die Liquidustemperatur liegt unterhalb 450 °C. Im Gegensatz dazu nennt man Lote mit Liquidustemperaturen größer 450 °C Hartlote. Da es sich beim Löten um ein thermisches Verfahren – allerdings im unteren Temperaturbereich – handelt,

kann die Bildung von oxidischen Nickelverbindungen nicht ausgeschlossen werden. Bei den einzelnen Lötverfahren entstehen Lötrauche, die je nach Zusammensetzung der eingesetzten Lote und Flussmittel sowie der verfahrenstechnischen Kenngrößen variieren können.

6.8.8.1 Weichlöten

Am weitesten verbreitet ist das Löten in der Elektrotechnik und Elektronik. Die Lötungen werden dort überwiegend mit Weichlot ausgeführt. In der Elektrotechnik werden auch im großtechnischen Stil vor allem das Schwallbadlöten, das Reflow-Löten und das Löten mit Heißluft eingesetzt. Im Gegensatz zum Kolbenlöten, bei dem es sich um ein manuelles Verfahren handelt, sind Wellenlöten und Reflow-Löten maschinelle Verfahren. Sie werden vor allem zum Löten von SMD-Bauteilen (Surface-mount device: oberflächenmontierte Bauelemente) wie zum Beispiel bei Computerplatinen eingesetzt.

In **Tabelle 67** sind die Messwerte für Nickel beim Weichlöten zusammengestellt. Messungen zum Kolbenlöten sowie zum Wellen- und Reflow-Löten liegen nur von 2006 bis 2016 vor. In diesen Jahren war die Expositionshöhe bei allen drei Verfahren niedrig. Dies führt dazu, dass bis zu 95 % der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegen.

Die Gruppe „Weichlöten, ohne Kolben-, Wellen- und Reflowlöten“ (**Tabelle 67**) umfasst Messungen ohne Angabe des Lötverfahrens sowie jeweils wenige Messungen zum Flammlöten, Induktionslöten und Verzinnen. In dieser Gruppe liegen Messungen bereits ab 1987 vor. Die höchsten Werte traten bei Messungen an der Person mit maximal 0,1 mg/m³ Ni beim Flammlöten auf. Messwerte zu weiteren Gefahrstoffen beim Kolbenlöten enthalten die DGUV Informationen 213-714 [159] und 213-725 [160].

Tabelle 67:

Weichlöten: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereich, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Weichlöten, Kolbenlöten | | | | | | | |
| an der Person | 2008 bis 2015 | 18 | 10 | 17 (94,4 %) | 0,005 | BG ! | BG ! |
| stationär | 2006 bis 2015 | 21 | 15 | 20 (95,2 %) | 0,0048 | BG ! | BG ! |
| Weichlöten, Wellen- und Reflowlöten | | | | | | | |
| an der Person | 2006 bis 2012 | 6*** | 6 | 4 (66,7 %) | 0,0024 | arithmetischer Mittelwert: 0,0076*** | |
| stationär | 2006 bis 2016 | 24 | 15 | 21 (87,5 %) | 0,02 | BG ! | 0,0013 + |
| Weichlöten, ohne Kolben- Wellen und Reflowlöten | | | | | | | |
| an der Person | 1987 bis 2016 | 18 | 15 | 11 (61,1 %) | 0,02 | BG ! | 0,01 + |
| stationär | 1987 bis 1999 | 13 | 9 | 6 (46,2 %) | 0,004 | 0,00055 + | 0,0027 + |
| stationär | 2000 bis 2016 | 10 | 9 | 10 (100 %) | 0,0013 | BG ! | BG ! |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 68:

Hartlöten: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Hartlöten, Flammlöten | | | | | | | |
| an der Person | 1987 bis 1999 | 10 | 8 | 7 (70 %) | 0,02 | BG ! | 0,008 + |
| stationär | 1987 bis 2016 | 34 | 23 | 24 (70,6 %) | 0,0023 | BG ! | 0,0012 + |
| Hartlöten, Induktionslöten | | | | | | | |
| an der Person | 1991 bis 2016 | 15 | 11 | 12 (80 %) | 0,009 | BG ! | 0,0035 + |
| stationär | 1986 bis 2010 | 17 | 12 | 12 (70,6 %) | 0,007 | BG ! | 0,0043 + |
| Hartlöten, Ofenlöten | | | | | | | |
| an der Person | 1987 bis 2011 | 8*** | 5 | 5 (62,5 %) | 0,01 | arithmetischer Mittelwert: 0,0038*** | |
| stationär | 1987 bis 2010 | 10 | 5 | 3 (30 %) | 0,01 | 0,0006 + | 0,0034 + |
| Hartlöten, sonstige Lötverfahren | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2014 | 30 | 17 | 14 (46,7 %) | 0,004 | 0,002 + | 0,043 |
| stationär | 1990 bis 2012 | 38 | 11 | 10 (26,3 %) | 0,005 | 0,0012 + | 0,0086 |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.8.8.2 Hartlöten

Das Hartlöten wird bei erhöhten Anforderungen an Lötstellen hinsichtlich der Festigkeit und der Wärmebeständigkeit in der Elektroindustrie, im Anlagenbau und bei der Montage von Kleinteilen angewendet. Hier unterscheidet man Flamm-, Induktions- und Ofenlöten. Außerdem wird Hartlöten angewandt, um bei der Herstellung von Hartmetallsägen die Hartmetallzähne auf das Sägeblatt zu löten.

In **Tabelle 68** sind die Messwerte für Nickel beim Hartlöten zusammengestellt. Die Gruppe „Hartlöten, sonstige Lötverfahren“ umfasst Messungen ohne Angabe des Lötverfahrens, beziehungsweise der Angabe „sonstige Verfahren“. Zu höheren Expositionen kann es dabei kommen, wenn bei vorbereitenden Tätigkeiten mit stark nickelhaltigem Lotpulver umgegangen wird.

6.8.9 Weitere Heißverarbeitung

Um bestimmte Oberflächeneigenschaften bei hochbeanspruchten Metallbauteilen (auch nicht metallische Oberflächen können thermisch beschichtet werden) oder Maschinen einzustellen, werden thermische Metallspritzverfahren eingesetzt. So können die oberflächigen Verschleiß-, Korrosions-, Reib- und Gleiteigenschaften deutlich verbessert werden. Ein metallischer Zusatzwerkstoff wird meist pulver- oder stabförmig in einem Spitzbrenner aufgeschmolzen und mithilfe des verwendeten Gasstroms beschleunigt und auf die zu beschichtende Oberfläche aufgespritzt. Im Gegensatz zum Auftragsschweißen ist bei diesem Verfahren ein Aufschmelzen der zu beschichtenden Oberfläche nicht notwendig.

Beim Spritzen von Nickelpulver (73 % Nickel im Schweißzusatzwerkstoff) muss mit NiO in den Stäuben gerechnet werden [158]. Aufgrund der Überlagerung von Reflexen (Röntgenbeugung) war aber durch Lausch [158] kein eindeutiger Nachweis möglich.

6.8.9.1 Flamspritzen

Beim Flamspritzen handelt es sich um eine spezielle Form des Auftragsschweißens. Es wird angewandt, um Formen, z. B. in der Glasindustrie, mit einer Nickelschicht zu vergüten. Die Oberfläche wird dadurch härter und hitzeresistenter. Das aufgetragene Pulver weist oft einen sehr hohen Nickelgehalt auf.

Beim Flamspritzen zeigt sich sowohl bei Probenahme an der Person als auch bei stationärer Probenahme an Arbeitsplätzen mit Erfassung eine deutliche Abnahme der Exposition mit der Zeit (**Tabelle 69**). Für Arbeitsplätze ohne Erfassung kann der Zeittrend nicht geprüft werden, da zu wenige Messwerte vorliegen. Die Messwerte zeigen aber deutlich, dass die Expositionen ohne Erfassung höher liegen als mit Erfassung. Eine getrennte Auswertung nach Nickelgehalt des verarbeiteten Materials ist nicht möglich, da es sich in den allermeisten Fällen, in denen der Nickelgehalt des eingesetzten Materials angegeben ist, um Materialien mit einem Nickelgehalt über 30 % handelt.

Tabelle 69:

Flamspritzen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1980 bis 2009 | ohne | 7*** | 5 | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 1,45*** | |
| 1980 bis 1989 | mit | 22 | 12 | 3 (13,6 %) | 0,05 | 0,1 | 1,7 |
| 1990 bis 1999 | mit | 79 | 45 | 4 (5,1 %) | 0,01 | 0,04 | 0,53 |
| 2000 bis 2009 | mit | 39 | 29 | 6 (15,4 %) | 0,0048 | 0,019 | 0,45 |
| 2010 bis 2016 | mit | 19 | 16 | 2 (10,5 %) | 0,002 | 0,0079 | 0,071 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1980 bis 2009 | ohne | 12 | 7 | 0 | k. A. | 0,23 | 4,9 |
| 1980 bis 1989 | mit | 66 | 22 | 6 (9,1 %) | 0,04 | 0,2 | 4,2 |
| 1990 bis 1999 | mit | 69 | 38 | 8 (11,6 %) | 0,005 | 0,035 | 0,5 |
| 2000 bis 2016 | mit | 38 | 21 | 8 (21,1 %) | 0,0048 | 0,012 | 0,3 |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.8.9.2 Plasmaspritzen

Beim Plasmaspritzen zeigen die Messungen an der Person keine Abnahme der Expositionshöhe seit 1980 (Tabelle 70). Bei stationärer Probenahme zeigt sich hingegen eine Abnahme der Exposition mit der Zeit. Dargestellt sind nur Arbeitsplätze mit Erfassung der Emissionen, da es nur drei Messwerte ohne Erfassung gibt.

Nur bei 37 Messwerten liegen Angaben zum Nickelgehalt des eingesetzten Materials vor, dabei sind in 33 Fällen Materialien mit > 30 % Nickel genannt. Auf eine differenzierte Auswertung wird daher verzichtet.

6.8.9.3 Lichtbogenspritzen

Auch beim Lichtbogenspritzen (Tabelle 71) liegen zu wenige Messdaten mit Angaben zum eingesetzten Material vor, um eine nach Nickelgehalt differenzierte Auswertung vorzunehmen.

6.8.9.4 Funkenerodieren

Die beim Funkenerodieren gemessenen Expositionen sind so niedrig, dass in den ausgewerteten Kollektiven 56 bis 100 % der Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegen (Tabelle 72). Nur bei 21 Messwerten liegen Angaben zum Nickelgehalt des eingesetzten Materials vor, dabei sind in 18 Fällen Materialien mit < 5 % Nickel genannt.

Tabelle 70:

Plasmaspritzen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart, alle Messwerte mit Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | mit | 25 | 10 | 1 (4 %) | 0,0027 | 0,3 | 0,29 |
| 2000 bis 2016 | mit | 37 | 16 | 4 (10,8 %) | 0,0075 | 0,027 | 0,20 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1980 bis 1989 | mit | 11 | 4** | 1 (9,1 %) | 0,02 | 0,51 | 1,29 |
| 1990 bis 1999 | mit | 23 | 10 | 3 (13 %) | 0,003 | 0,01 | 0,29 |
| 2000 bis 2016 | mit | 12 | 5 | 7 (58,3 %) | 0,0026 | BG ! | 0,0077 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

Tabelle 71:

Lichtbogenspritzen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart, alle Messwerte mit Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | mit | 5*** | 3** | 1 (20 %) | 0,00082 | arithmetischer Mittelwert: 0,06*** | |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | mit | 12 | 5 | 6 (50 %) | 0,15 | 0,003 + | 0,29 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden

Tabelle 72:

Funkenerodieren: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1990 bis 2016 | ohne | 7*** | 7 | 6 (85,7 %) | 0,065 | BG ! | BG ! |
| | mit | 6*** | 5 | 6 (100 %) | 0,003 | BG ! | BG ! |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1990 bis 1999 | ohne | 25 | 14 | 14 (56%) | 0,004 | BG ! | 0,01 |
| | mit | 23 | 16 | 14 (60,9 %) | 0,01 | BG ! | 0,0047 + |
| 2000 bis 2009 | ohne | 11 | 6 | 10 (90,9 %) | 0,0032 | BG ! | BG ! |
| 2000 bis 2016 | mit | 12 | 8 | 9 (75 %) | 0,0015 | BG ! | 0,0011 + |

*** Es liegen weniger als 10 Messwerte aus MEGA vor, daher werden keine Perzentile ausgegeben. Außerdem liegen 6 von 7, bzw. 6 von 6 Werten unterhalb der Bestimmungsgrenze und es wird daher nur die höchste im Kollektiv aufgetretene Bestimmungsgrenze angegeben.

6.9 Schleifen, spanende und weitere abrasive Verfahren

6.9.1 Schleifen

Schleifen steht oft als Sammelbegriff für Verfahren der Feinbearbeitung von Oberflächen. Bei der Metallbearbeitung gehören dazu auch das Läppen, Honen und Polieren. In Cr-Ni-Stählen liegt Nickel in legierungsgebundener Form vor. Beim Schleifen werden kleine Partikel erzeugt, die weiterhin als Legierungspartikel vorliegen. Je nach Energieeintrag und Legierungszusammensetzung können auch Nickeloxide in Form von Mischoxiden, z. B. vom Spinelltyp, entstehen [158].

Pitzke und Pflaumbaum nennen nichtmaschinelles Handschleifen oder Nassschleifen von Legierungen ohne „Funkenbildung“ als Beispiele für Arbeitsverfahren, bei denen nur mit dem Auftreten von Nickelmetall und nicht mit oxidischen Nickelverbindungen zu rechnen ist [154]. Beim Schleifen und Trennen von Legierungen mit „Funkenbildung“ ist hingegen mit dem Auftreten von krebserzeugenden Stoffen zu rechnen. Sie zitieren hierzu *Lausch* [158]: „Beim Schleifen von Nickellegierungen mit einem Nickelgehalt zwischen 9 und 73 % konnten bei der Analyse der Schleifstäube Legierungspartikel und nickelhaltige Mischoxide, aber keine reinen Nickeloxide (NiO, NiO₂, Ni₂O₃) nachgewiesen werden.“

Schleifarbeiten sind in vielen Branchen und Industriezweigen zu finden und kommen oftmals in Verbindung mit anderen Tätigkeiten vor. So werden Beschäftigte z. B.,

nachdem sie eine Schweißnaht hergestellt haben, anschließend oftmals Schleifarbeiten durchführen. Bei der Beurteilung der Nিকেlexposition kann diese Tätigkeit gegenüber der deutlich stärkeren Belastung beim Schweißen meist vernachlässigt werden. In der Regel sind diese bei der Erfassung der Schweißrauche und Berechnung der Konzentration in der Atemluft durch die summarische Messung vor Ort bereits vom Messsystem erfasst. Bei der Expositionsrechnung für das Schweißen sind die zwischenzeitlichen Schleiftätigkeiten und die damit verbundenen Nিকেlexpositionen bereits berücksichtigt.

An Arbeitsplätzen, bei denen mögliche Nিকেlexpositionen ausschließlich aus den Schleifverfahren herrühren könnten, muss diese Exposition gesondert ermittelt werden. Arbeitsplätze, bei denen dies der Fall sein könnte, sind im Folgenden beispielhaft aufgeführt:

Arbeitsplätze an konventionellen stationären Schleifmaschinen

Konventionelle stationäre Schleifmaschinen, wie Tisch- oder Ständerschleifmaschinen, Trennschleifmaschinen, Werkzeugschleifmaschinen und Flachsleifmaschinen, sind Schleifmaschinen, die nicht vollständig geschlossen sind. Der Bediener steht während der Bearbeitung vorwiegend direkt vor der Maschine, um den Vorschub oder die Zustellbewegung manuell zu steuern. Konventionelle Schleifmaschinen können für die Nass- und Trockenbearbeitung eingesetzt werden. Konventionelle Schleifmaschinen, an denen nicht nur kurzzeitig geschliffen wird, sind in der Regel mit einer Absaugung ausgestattet.

Branchen, die oft konventionelle stationäre Schleifmaschinen nutzen sind z. B.:

- Schlossereien,
- Schleifereien z. B. für Bestecke, medizinische Werkzeuge,
- Sägeblatt-Schärfereien,
- Instandhaltungsbetriebe.

Arbeiten mit handgehaltenen Schleifmaschinen

Handgehaltene Schleifmaschinen, wie Winkelschleifer und Geradschleifer, werden im Metallbereich vorwiegend im Stahlbau und im Maschinen- und Anlagenbau eingesetzt. Im Gegensatz zu den Schleifarbeiten an einem stationären Arbeitsplatz ist bei diesen Arbeitsplätzen keine Absaugung für die entstehenden Stäube vorhanden.

Branchen sind z. B.:

- Waggonbau,
- Guss Putzereien,
- Stahlbaustellen,
- Maschinenbau,
- Anlagenbau,
- Schlossereien,
- Reparatur- und Instandhaltungsbetriebe.

Auswertungen aus MEGA zu Nickelexpositionen beim Schleifen allgemein sowie beim Trocken- und Nassschleifen sind in den **Tabelle 73** und **74** dargestellt. In Tabelle 73 liegt dabei der Schwerpunkt auf der Darstellung des Zeitrends, während in Tabelle 74 der Einfluss des Nickelgehaltes des bearbeiteten Materials dargestellt ist. Bis 2006 war es nur möglich als Arbeitsbereich „Schleifen, allgemein“ zu kodieren, ab 2007 erfolgte dann eine Differen-

zierung in Trocken- und Nassschleifen. Falls als Produkt Kühlschmierstoff angegeben ist, können Arbeitsplätze mit Nassschleifen bereits für die Zeit vor 2007 getrennt ausgewertet werden.

In den 1970er Jahren wurde stationär ein 90.-%-Wert von über $1,5 \text{ mg/m}^3$ ermittelt. Auch im letzten Datenzeitraum von 2007 bis 2016 lagen beim Trockenschleifen noch ein 90. Perzentil von $0,35 \text{ mg/m}^3$ ohne Erfassung und von $0,25 \text{ mg/m}^3$ mit Erfassung vor. Um ca. zwei Zehnerpotenzen niedrigere Werte wurden hingegen beim Nassschleifen gemessen. Hier liegt das 90. Perzentil ohne Erfassung bei $0,0077 \text{ mg/m}^3$ und mit Erfassung bei $0,0034 \text{ mg/m}^3$.

Deutlich erkennbar ist der Einfluss des Nickelgehaltes des Materials auf die Expositionshöhe (Tabelle 74). Beim Schleifen von niedriglegiertem Stahl mit weniger als 5 % Nickel liegt sowohl mit als auch ohne Erfassung das 90. Perzentil der an der Person gemessenen Exposition unter $0,03 \text{ mg/m}^3$. Auch beim Schleifen und Polieren von Hartmetall-Werkzeugen liegen niedrige Expositionen vor (vgl. Abschnitt 6.7.1). Hingegen wurden beim Schleifen von hochlegiertem Stahl und besonders von Nickelbasislegierungen mit einem 90. Perzentil von $1,76 \text{ mg/m}^3$ extrem hohe Expositionen gemessen. Für eine zeitliche Differenzierung der Auswertung liegen zu wenige Werte vor, während es meist möglich ist, Arbeitsplätze ohne und mit Erfassung zu unterscheiden. Nur beim Schleifen von Nickelbasislegierungen (Nickelgehalt $> 30 \%$) liegen zu wenige Messwerte an Arbeitsplätzen ohne Erfassung vor, um eine differenzierte Auswertung durchzuführen. Weitere Daten zum Schleifen, Bürsten und Polieren von hochlegierten Stählen finden sich in *Bünning et al.* [161].

Tabelle 73:

Schleifen, allgemein, Trocken- und Nassschleifen: Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart, Datenzeitraum und mit bzw. ohne Erfassung

| Probe- nahmeart | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|-----------------------------|---------------|--------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|---|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Schleifen, allgemein | | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 1989 | nicht diffe- renziert | 234 | 113 | 99 (42,3 %) | 0,08 | 0,025 + | 0,71 |
| an der Person | 1990 bis 2006 | ohne | 279 | 195 | 63 (22,6 %) | 0,008 | 0,039 | 0,62 |
| | | mit | 795 | 407 | 177 (22,3 %) | 0,03 | 0,02 + | 0,45 |
| stationär | 1975 bis 1979 | nicht diffe- renziert | 46 | 23 | 5 (10,9 %) | 0,01 | 0,16 | 1,70 |
| stationär | 1980 bis 1989 | nicht diffe- renziert | 733 | 305 | 208 (28,4 %) | 0,05 | 0,01 + | 0,42 |
| stationär | 1990 bis 2006 | ohne | 189 | 134 | 28 (14,8 %) | 0,01 | 0,01 + | 0,39 |
| | | mit | 497 | 280 | 99 (19,9 %) | 0,009 | 0,0067 + | 0,18 |
| Trockenschleifen | | | | | | | | |
| an der Person | 2007 bis 2016 | ohne | 170 | 131 | 21 (12,4 %) | 0,0048 | 0,033 | 0,35 |
| | | mit | 454 | 285 | 125 (27,5 %) | 0,055 | 0,0066 + | 0,25 |
| stationär | 2007 bis 2016 | ohne | 49 | 39 | 9 (18,4 %) | 0,008 | 0,013 | 0,45 |
| | | mit | 142 | 101 | 61 (43 %) | 0,0053 | 0,0023 + | 0,057 |
| Nassschleifen | | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2006 | ohne | 10 | 9 | 6 (60 %) | 0,0034 | BG ! | 0,008 |
| | | mit | 17 | 13 | 13 (76,5 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0025 |
| an der Person | 2007 bis 2016 | ohne | 34 | 26 | 22 (64,7 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0077 |
| | | mit | 78 | 50 | 58 (74,4 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0034 + |
| stationär | 1990 bis 2006 | nicht diffe- renziert | 22 | 16 | 13 (59,1 %) | 0,004 | BG ! | 0,0032 + |
| stationär | 2007 bis 2016 | ohne | 29 | 24 | 20 (69 %) | 0,0032 | BG ! | 0,0023 + |
| | | mit | 57 | 36 | 46 (80,7 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0021 + |

Tabelle 74:

Schleifen allgemein, Trocken- und Nassschleifen: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Probe- nahmeart | Nickelgehalt | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG* in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|--------------|------------------------|------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--|---|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Schleifen (1990 bis 2006) | | | | | | | | |
| an der Person | < 5 % | ohne | 23 | 15 | 6 (26,1 %) | 0,0048 | 0,0074 | 0,022 |
| | | mit | 33 | 22 | 19 (57,6 %) | 0,005 | BG ! | 0,017 |
| | 5 bis 30 % | ohne | 77 | 57 | 8 (10,4 %) | 0,003 | 0,088 | 0,50 |
| | | mit | 177 | 103 | 14 (7,9 %) | 0,03 | 0,04 | 0,57 |
| | > 30 % | nicht differenziert | 33 | 16 | 2 (6,1 %) | 0,003 | 0,16 | 1,76 |
| stationär | < 5 % | ohne | 15 | 9 | 4 (26,7 %) | 0,01 | 0,014 | 0,039 |
| | | mit | 22 | 15 | 5 (22,7 %) | 0,003 | 0,004 | 0,082 |
| | 5 bis 30 % | ohne | 42 | 32 | 2 (4,8 %) | 0,003 | 0,051 | 0,51 |
| | | mit | 103 | 64 | 7 (6,8 %) | 0,009 | 0,02 | 0,23 |
| | > 30 % | nicht differenziert | 17 | 11 | 1 (5,9 %) | 0,00086 | 0,055 | 0,28 |
| Trockenschleifen (2007 bis 2016) | | | | | | | | |
| an der Person | < 5 % | ohne | 29 | 24 | 10 (34,5 %) | 0,0048 | 0,002 | 0,046 |
| | | mit | 79 | 56 | 25 (31,6 %) | 0,003 | 0,002 | 0,017 |
| | 5 bis 30 % | nicht differenziert | 160 | 108 | 18 (11,3 %) | 0,055 | 0,05 | 0,4 |
| | | > 30 % | nicht differenziert | 15 | 13 | 1 (6,7 %) | 0,001 | 0,15 |
| stationär | < 5 % | nicht differenziert | 27 | 20 | 15 (55,6 %) | 0,0024 | BG ! | 0,0055 |
| | | 5 bis 30 % | ohne | 12 | 9 | 3 (25 %) | 0,008 | 0,026 |
| | | mit | 29 | 19 | 8 (27,6 %) | 0,0026 | 0,0077 | 0,099 |
| | > 30 % | nicht differenziert | 5*** | 2 | 0 | 0 | arithmetischer Mittelwert: 1,36*** | |
| Nassschleifen (1997 bis 2016) | | | | | | | | |
| an der Person | < 5 % | nicht differenziert | 11 | 9 | 7 (63,6 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0074 |
| | | 5 bis 30 % | nicht differenziert | 7*** | 6 | 3 (42,9 %) | 0,0036 | arithmetischer Mittelwert: 0,0011*** |
| | > 30 % | nicht differenziert | 4*** | 4** | 1 (25 %) | 0,0012 | arithmetischer Mittelwert: 0,027*** | |
| stationär | < 5 % | nicht differenziert | 11 | 9 | 6 (54,5 %) | 0,0041 | BG ! | 0,063 |
| | | > 30 % | nicht differenziert | 3 | 3 | 3 (100 %) | 0,003 | -- |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.9.2 Polieren

Pitzke und *Pflaumbaum* nennen das Polieren von Legierungen als Beispiele für Arbeitsverfahren, bei denen nur mit dem Auftreten von Nickelmetall und nicht mit oxidischen Nickelverbindungen zu rechnen ist [154]. Die Expositionsdaten zum Polieren sind in **Tabelle 75** dargestellt. Sowohl bei der Probenahme an der Person als auch bei stationärer Probenahme zeigt sich eine deutliche Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. Der Einfluss der Erfassung kann anhand der Messdaten nicht gezeigt werden.

Zum Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials sind in **Tabelle 76** überwiegend Arbeitsplätze mit Erfassung der Emissionen dargestellt, weil es nur wenige Messwerte ohne Erfassung gibt, bei denen Angaben zum Nickelgehalt des Materials vorliegen. Wird Material mit 5 bis 30 % Ni poliert, liegen die Expositionen höher als bei Material mit < 5 % Ni. Zum Polieren von Material mit > 30 % Ni liegen nur wenige Messwerte vor. Diese zeigen eine höhere Exposition als beim Polieren von Material mit niedrigerem Nickelgehalt.

Weitere Daten zum Schleifen, Bürsten und Polieren von hochlegierten Stählen finden sich in *Bünning et al.* [161].

Tabelle 75:

Polieren: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1980 bis 2009 | 101 | 71 | 37 (36,6 %) | 0,05 | 0,0049 + | 0,092 |
| 2010 bis 2016 | 41 | 32 | 9 (22 %) | 0,0024 | 0,0014 + | 0,044 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1975 bis 1979 | 10 | 5 | 0 | k. A. | 0,071 | 0,14 |
| 1980 bis 1989 | 50 | 29 | 8 (16 %) | 0,005 | 0,009 | 0,12 |
| 1990 bis 1999 | 43 | 31 | 15 (34,9 %) | 0,009 | 0,002 + | 0,11 |
| 2000 bis 2009 | 26 | 19 | 9 (34,6 %) | 0,0044 | 0,0022 + | 0,031 |
| 2010 bis 2016 | 11 | 10 | 7 (63,6 %) | 0,0027 | BG ! | 0,0022 + |

Tabelle 76:

Polieren: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person; Differenzierung nach Datenzeitraum und Erfassung

| Nickelgehalt | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| < 5 % | 1990 bis 2016 | mit | 12 | 9 | 7 (58,3 %) | 0,004 | BG ! | 0,023 |
| 5 bis 30 % | 1990 bis 2016 | nicht differenziert | 24 | 21 | 1 (4,2 %) | 0,0025 | 0,028 | 0,081 |
| > 30 % | 1990 bis 2016 | nicht differenziert | 6*** | 5** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,090*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.9.3 Bohren, Fräsen, Drehen, Hobeln und Sägen in der Metallindustrie

Pitzke und *Pflaumbaum* nennen Bohren, Drehen, Fräsen, Bürsten, Sägen und mechanisches Schneiden von Legierungen als Beispiele für Arbeitsverfahren, bei denen nur mit dem Auftreten von Nickelmetall und nicht mit oxidischen Nickelverbindungen zu rechnen ist [154].

Expositionsdaten zum Bohren, Fräsen, Drehen, Hobeln und Sägen in der Metallbearbeitung sind in **Tabelle 77** dargestellt. Sowohl bei der Probenahme an der Person als auch bei stationärer Probenahme zeigt sich eine deutliche Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. Der Einfluss der Erfassung kann bei der Probenahme an der Person anhand der Messdaten nicht gezeigt werden. Falls bei der Messung als Produkt Kühlschmierstoff angegeben ist, wurden Arbeitsplätze mit Nassbearbeitung getrennt ausgewiesen. Diese zeigen deutlich die Reduktion der Expositionshöhe durch diese Maßnahme. Wird Material mit 5 bis 30 % Ni bearbeitet, liegen die Expositionen höher als bei Material mit < 5 % Ni (**Tabelle 78**). Bei der Verarbeitung von Material mit > 30 % Ni liegen nur zwei Messwerte beim Drehen vor. Diese zeigen eine deutlich erhöhte Exposition im Vergleich zur Verarbeitung von Material mit niedrigerem Nickelgehalt.

6.9.4 NC- und CNC-Maschinen

Numerisch gesteuerte (Numerical Control, NC) Schleifmaschinen werden seit den 1980er-Jahren gebaut. Bis Mitte der 1990er-Jahre waren die meisten neu verkauften NC-Schleifmaschinen ohne Vollverkleidung. Das heißt, der Bediener war den Stäuben beim Trockenschliff oder den Aerosolen beim Nassschliff direkt ausgesetzt.

Bei den geschlossenen Maschinen ist ab den 1990er-Jahren eine Exposition des Bedieners nur noch bei offener Bedientür während des Werkstückwechsels und im Einrichtbetrieb möglich. Die Expositionen sind in beiden Fällen in der Regel sehr gering, da bei offener Bedientür keine Bearbeitung des Werkstückes stattfindet.

Eine Ausnahme bilden Maschinen mit einer Sonderbetriebsart, die eine numerisch gesteuerte Bearbeitung bei

offener Tür ermöglichen. Diese Sonderbetriebsart ist aber nur bis zu ca. 5 % der Bearbeitungszeit aktiv. Benötigt wird die Sonderbetriebsart für Bearbeitungen, bei der der Bediener den Bearbeitungsprozess aus der Nähe beobachten muss, um Prozessparameter zu steuern. Eine zeitlich erhöhte Exposition ist daher bei dieser Betriebsart möglich.

Branchen, in denen viel mit NC-Schleifmaschinen gearbeitet wird, sind z. B.:

- Automobilindustrie,
- Automobilzulieferer,
- Sägeblattschärfereien,
- Zerspanungsbetriebe.

Da die MEGA-Kodierung nicht zwischen Schleifen, Bohren oder Fräsen an NC- und CNC-Maschinen (CNC: Computerized Numerical Control) unterscheidet, finden sich die Daten zu diesen Maschinen nicht nach Prozess differenziert in den Abschnitten 6.9.1 bis 6.9.3, sondern hier in diesem Abschnitt.

Pitzke und *Pflaumbaum* nennen Bohren, Drehen, Fräsen, Bürsten, Sägen und mechanisches Schneiden von Legierungen als Beispiele für Arbeitsverfahren, bei denen nur mit dem Auftreten von Nickelmetall und nicht mit oxidischen Nickelverbindungen zu rechnen ist [154].

Expositionsdaten zu Arbeiten mit NC- und CNC-Maschinen sind in **Tabelle 79** dargestellt. Sowohl bei der Probenahme an der Person als auch bei stationärer Probenahme zeigt sich eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. Falls bei der Messung als Produkt Kühlschmierstoff angegeben ist, wurden Arbeitsplätze mit Nassbearbeitung getrennt ausgewiesen. Bei den meisten Messungen mit Angaben zum bearbeiteten Material wurde un- oder niedriglegierter Stahl mit < 5 % Nickel verarbeitet (**Tabelle 80**). Hierbei liegen die Expositionen sehr niedrig; bei 88,2 % der Messwerte liegt die Nickelkonzentration sogar unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Die wenigen Messungen zur Bearbeitung von Material mit 5 bis 30 % Ni oder sogar > 30 % Nickel weisen höhere Expositionen auf.

Tabelle 77:

Bohren, Fräsen, Drehen, Hobeln und Sägen in der Metallbearbeitung: Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Bearbeitung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | nicht differenziert | | 31 | 20 | 23 (74,2 %) | 0,05 | BG ! | 0,025 + |
| 2000 bis 2016 | nicht differenziert | | 92 | 71 | 47 (51,1 %) | 0,0048 | BG ! | 0,017 |
| | | Nassbearbeitung | 17 | 14 | 10 (58,8 %) | 0,0012 | BG ! | 0,0076 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | | |
| 1975 bis 1999 | ohne | | 88 | 50 | 53 (60,2 %) | 0,009 | BG ! | 0,02 |
| | mit | | 42 | 28 | 27 (64,3 %) | 0,005 | BG ! | 0,0046 + |
| 2000 bis 2009 | ohne | | 21 | 16 | 6 (28,6 %) | 0,0017 | 0,0015 + | 0,009 |
| 2000 bis 2009 | mit | | 19 | 12 | 11 (57,9 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0035 + |
| 2000 bis 2009 | nicht differenziert | Nassbearbeitung | 12 | 5 | 10 (83,3 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0024 + |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | | 20 | 17 | 13 (65 %) | 0,0032 | BG ! | 0,0016 + |
| 2000 bis 2016 | nicht differenziert | Nassbearbeitung | 6*** | 6 | 4 (66,7 %) | 0,0024 | arithmetischer Mittelwert: 0,00076*** | |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 78:

Bohren, Fräsen, Drehen, Hobeln und Sägen in der Metallbearbeitung: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person, Differenzierung nach Datenzeitraum und Erfassung

| Nickelgehalt | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| < 5 % | 1990 bis 2016 | ohne | 15 | 11 | 11 (73,3 %) | 0,0012 | BG ! | 0,0044 |
| 5 bis 30 % | 1990 bis 2016 | nicht differenziert | 17 | 14 | 10 (58,8 %) | 0,003 | BG ! | 0,0069 |
| > 30 % | 2000 bis 2009 | mit | 2*** | 1** | 1 (50 %) | 0,0041 | arithmetischer Mittelwert: 0,025*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 79:

Arbeiten mit NC- und CNC-Maschinen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Bearbeitung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 2000 bis 2009 | | 19 | 13 | 9 (47,4 %) | 0,0048 | 0,0019 + | 0,031 |
| 2000 bis 2009 | Nassbearbeitung | 5*** | 4** | 4 (80 %) | 0,0048 | arithmetischer Mittelwert: 0,0011*** | |
| 2010 bis 2016 | | 30 | 19 | 20 (66,7 %) | 0,0035 | BG ! | 0,0032 + |
| 2010 bis 2016 | Nassbearbeitung | 15 | 10 | 11 (73,3 %) | 0,0035 | BG ! | 0,0025 + |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1997 bis 2009 | | 20 | 16 | 12 (60 %) | 0,0048 | BG ! | 0,015 |
| 2000 bis 2009 | Nassbearbeitung | 3*** | 2** | 3 (100 %) | 0,0048 | BG ! | BG ! |
| 2010 bis 2016 | | 16 | 12 | 11 (68,8 %) | 0,0013 | BG ! | 0,00063 + |
| 2010 bis 2016 | Nassbearbeitung | 10 | 7 | 8 (80 %) | 0,0013 | BG ! | 0,00065 + |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden

Tabelle 80:

Arbeiten mit NC- und CNC-Maschinen: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion, Probenahme an der Person; Differenzierung nach Datenzeitraum und Erfassung

| Nickel-gehalt | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| < 5 % | 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 17 | 8 | 15 (88,2 %) | 0,0035 | BG ! | 0,0017 + |
| 5 bis 30 % | 1990 bis 2016 | ohne | 2*** | 2** | 1 (50 %) | 0,0013 | arithmetischer Mittelwert: 0,0020*** | |
| > 30 % | 2000 bis 2009 | nicht differenziert | 5*** | 3** | 2 (40 %) | 0,001 | arithmetischer Mittelwert: 0,021*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 81:

Trennschleifen in der Metallbearbeitung: Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum, Probenahmeart und mit bzw. ohne Erfassung

| Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | nicht differenziert | 22 | 12 | 4 (18,2 %) | 0,05 | 0,05 + | 1,07 |
| 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 36 | 20 | 5 (13,9 %) | 0,0029 | 0,081 | 0,51 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1975 bis 1999 | ohne | 12 | 6 | 0 | k. A. | 0,030 | 0,59 |
| 1975 bis 1999 | mit | 11 | 8 | 1 (9,1 %) | 0,005 | 0,025 | 0,3 |
| 2000 bis 2016 | ohne | 5*** | 2** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,46*** | |
| 2000 bis 2016 | mit | 9*** | 5 | 1 (11,1 %) | 0,005 | arithmetischer Mittelwert: 0,0082*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 82:

Trennschleifen: Einfluss des Nickelgehalts des eingesetzten Materials auf die Exposition gegenüber Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person

| Nickel-gehalt | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|---------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | | |
| < 5 % | 2000 bis 2016 | mit | 8*** | 4** | 1 (12,5 %) | 0,0011 | arithmetischer Mittelwert: 0,033*** | |
| 5 bis 30 % | 1990 bis 2016 | mit | 15 | 5 | 0 | k. A. | 0,22 | 0,52 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.9.5 Trennschleifen

Pitzke und *Pflaumbaum* nennen das Schleifen und Trennen von Legierungen mit „Funkenbildung“ als Beispiele für Arbeitsverfahren, bei denen mit dem Auftreten von krebserzeugenden Stoffen zu rechnen ist [154].

Beim Trennschleifen handelt es sich um ein Arbeitsverfahren, bei dem sehr hohe Nickerexpositionen auftreten können (Tabelle 81). Obwohl eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit feststellbar ist, liegt bei Probenahme an der Person das 90. Perzentil der Messwerte in den 2000er-Jahren noch bei 0,51 mg/m³. Bei den meisten Messungen mit Angaben zum bearbeiteten Material

wurde hochlegierter Stahl mit 5 bis 30 % Nickel verarbeitet (Tabelle 82). Hierbei liegen die Expositionen deutlich höher als bei der Verarbeitung von Material mit < 5 % Nickel. In Tabelle 82 sind nur Messwerte von Arbeitsplätzen mit Erfassung ausgewertet, da an Arbeitsplätzen ohne Erfassung insgesamt weniger gemessen wurde und bis auf einen Messwert keine Information zum Nickelgehalt des eingesetzten Materials vorlag.

Tabelle 83:

Strahlarbeiten: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1980 bis 2009 | 58 | 48 | 17 (29,3 %) | 0,01 | 0,005 + | 0,14 |
| 2010 bis 2016 | 61 | 49 | 15 (24,6 %) | 0,0024 | 0,0025 | 0,027 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1980 bis 1989 | 48 | 22 | 8 (16,7 %) | 0,01 | 0,01 + | 0,31 |
| 1990 bis 1999 | 32 | 24 | 6 (18,8 %) | 0,003 | 0,0023 + | 0,015 |
| 2000 bis 2009 | 35 | 24 | 9 (25,7 %) | 0,0024 | 0,0013 + | 0,024 |
| 2010 bis 2016 | 37 | 24 | 16 (43,2 %) | 0,0019 | 0,00075 + | 0,0076 |

Tabelle 84:

Stemmen und Meißeln: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1990 bis 2009 | 12 | 6 | 4 (33,3 %) | 0,009 | 0,0045 + | 0,58 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1990 bis 2009 | 5*** | 4*** | 3 (60 %) | 0,00052 | arithmetischer Mittelwert: 0,041*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als 10 Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.9.6 Strahlarbeiten

In **Tabelle 83** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickerexposition bei Strahlarbeiten im Überblick dargestellt. Für die Messungen an der Person und für stationäre Messungen zeigt sich mit der Zeit eine Abnahme der Expositionshöhe. Es liegen keine Messungen mit Hinweisen auf Nassbearbeitung vor. Bei fast allen Messungen ist eine Erfassung der Emissionen am Entstehungsort dokumentiert.

Es liegen nur sehr wenige Messungen mit Angaben zum Nickelgehalt des bei Strahlarbeiten eingesetzten Materials vor, so dass keine Auswertung hierzu erfolgt.

6.9.7 Stemmen, Meißeln

In **Tabelle 84** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickerexposition beim Stemmen und Meißeln dargestellt. Es liegen keine Messungen mit Hinweisen auf Nassbearbeitung oder mit Angaben zum Nickelgehalt des bearbeiteten Materials vor. Bei fast allen Messungen

sind Schornstein-, Feuerungs- und Industrieofenbau oder Abbrucharbeiten dokumentiert. Die höchsten Expositionen wurden beim Abstemmen von Anbackungen und Beton an der Feuerfestverkleidung eines Ofens und eines Zyklons in einem Kraftwerk gemessen.

6.9.8 Schneiden/Stanzen von Metall

Pitzke und *Pflaumbaum* nennen mechanisches Schneiden von Legierungen als Beispiele für Arbeitsverfahren, bei denen nur mit dem Auftreten von Nickelmetall und nicht mit oxidischen Nickelverbindungen zu rechnen ist [154]. In **Tabelle 85** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickerexposition beim Schneiden von Metall dargestellt. Es liegen nur zwei Messungen (eine an der Person, eine stationär) aus 2003 mit Hinweisen auf die Verwendung von Kühlschmierstoffen, also eine Nassbearbeitung, vor. Für beide Proben liegt die Nickelkonzentration unterhalb von 0,001 mg/m³. Für eine Auswertung mit Differenzierung nach Nickelgehalt liegen zu wenige Werte mit Angaben zum Nickelgehalt des bearbeiteten Materials vor.

Tabelle 85:

Schneiden von Metall: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | 11 | 4** | 0 | k. A. | 0,08 | 0,25 |
| 2000 bis 2009 | 11 | 8 | 4 (36,4 %) | 0,0021 | 0,001 + | 0,049 |
| 2010 bis 2016 | 15 | 12 | 8 (53,3 %) | 0,0043 | BG ! | 0,0049 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1975 bis 1979 | 10 | 4** | 0 | k. A. | 0,21 | 0,44 |
| 1980 bis 1989 | 29 | 13 | 10 (34,5 %) | 0,005 | 0,009 | 0,33 |
| 1990 bis 2009 | 21 | 16 | 10 (47,6 %) | 0,0037 | 0,00053 + | 0,0055 |
| 2010 bis 2016 | 12 | 5 | 11 (91,7 %) | 0,0042 | BG ! | BG ! |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

Tabelle 86:

Hochdruckwasserstrahlschneiden: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 2000 bis 2016 | 2*** | 2** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,0021*** | |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1990 bis 2016 | 17 | 5 | 6 (35,3 %) | 0,0006 | 0,0015 | 0,0067 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als 10 Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.9.9 Hochdruckwasserstrahlschneiden

In **Tabelle 86** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickelexposition beim Hochdruckwasserstrahlschneiden in der Metallbearbeitung dargestellt. Es liegen nur zwei Messungen an der Person vor. Bei den stationären Messungen stammen 14 der 17 Messungen aus den 1990er-Jahren. Insgesamt liegen die Expositionen sehr niedrig.

Für eine Auswertung mit Differenzierung nach Nickelgehalt liegen zu wenige Werte mit Angaben zum Nickelgehalt des bearbeiteten Materials vor.

6.9.10 Laserstrahloberflächenbearbeitung

In **Tabelle 87** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickelexposition bei der Laserstrahloberflächenbearbeitung von Metall dargestellt. Bei den stationären Messungen ist eine Abnahme der Expositionshöhe vom Datenzeitraum 1990 bis 2009 zu 2010 bis 2016 dokumentiert. Insgesamt liegen die Expositionen relativ niedrig. Bei der Verarbeitung von hochlegiertem Stahl und Neusilber zeigen sich bei einer Probenahme an der Person deutlich erhöhte Expositionen. Bei stationärer Probenahme lässt sich dies nicht nachweisen.

Tabelle 87:

Laserstrahloberflächenbearbeitung: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Nickelgehalt des Materials | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | | |
| 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 18 | 11 | 10 (55,6 %) | 0,0026 | BG ! | 0,0043 |
| 2000 bis 2016 | 5 bis 30 % | 11 | 5 | 5 (45,5 %) | 0,0017 | 0,001 | 0,015 |
| stationäre Probenahme | | | | | | | |
| 1990 bis 2009 | nicht differenziert | 15 | 10 | 4 (26,7 %) | 0,0015 | 0,0017 + | 0,0071 + |
| 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 16 | 11 | 11 (68,8 %) | 0,011 | BG ! | 0,0044 + |
| 2000 bis 2016 | 5 bis 30 % | 10 | 9 | 6 (60 %) | 0,011 | BG ! | 0,0055 + |

6.10 Gießereien

Gießereien fertigen Gusserzeugnisse durch Vergießen von schmelzflüssigen Metallen in verlorene Formen oder Dauerformen. Je nach Gießverfahren wird unterschieden in Sand-, Kokillen-, Druck-, Schleuder- und Feingießereien. Gießereien werden aber auch nach den vergossenen Werkstoffen in Aluminium-, Schwermetall-, Stahl- und Eisengießereien unterteilt.

Gusswerkstoffe sind Metalle oder Legierungen, die im flüssigen Aggregatzustand in eine Form gefüllt werden. Die Form selbst entspricht im Wesentlichen dem fertigen Bauteil. Das Gussteil ist endkonturnah und wird in den meisten Fällen anschließend nur noch spanend bearbeitet. Knetlegierungen sind dagegen Metalle oder Legierungen für das plastische Verformen. Die chemische Zusammensetzung der Knetlegierungen unterscheidet sich von der Zusammensetzung der Gusslegierungen. Nachfolgend werden ausschließlich die Gusslegierungen betrachtet. Weitere Informationen zu Gusslegierungen siehe Anhang.

Nach *Pitzke* und *Pflaumbaum* ist beim Schmelzen und Gießen von Legierungen mit dem Auftreten von krebserzeugenden Nickelverbindungen zu rechnen [154].

In **Tabelle 88** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickelexposition in Eisen- und Stahlgießereien im Überblick dargestellt. Schweiß Tätigkeiten sind dabei nicht berücksichtigt, diese sind im Abschnitt 6.8 ausgewertet. Für die Messungen an der Person und für stationäre Messungen zeigt sich eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. Je nach Datenzeitraum sind die Messwerte an der Person oder die stationären Messwerte höher.

In **Tabelle 89** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickelexposition in Nichteisenmetall-Gießereien (NE-Metallgießereien) im Überblick dargestellt. Schweiß Tätigkeiten sind dabei nicht berücksichtigt, diese sind im Abschnitt 6.8 ausgewertet. In der NE-Metallgießerei ist die Nickelexposition niedriger als in Eisen- und Stahlgießereien. Für die Messungen an der Person und für stationäre Messungen zeigt sich eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit.

Nickelhaltige Gusslegierungen führen in Gießereien zu Einwirkungen von nickelhaltigen Stäuben im Schmelz- und Gießbetrieb und beim Putzen. Die Zusammensetzung der Stäube richtet sich immer nach der Basislegierung.

Da die Eisengusswerkstoffe und NE-Metallgusswerkstoffe zum Teil recht unterschiedlich verarbeitet werden, wird nachfolgend ein Überblick zu den verschiedenen Verfahren, Abläufen und Einwirkungen gegeben.

6.10.1 Kernmacherei, Formerei und Sandaufbereitung

In diesen Bereichen werden keine nickelhaltigen Materialien verarbeitet. Bei der an Arbeitsplätzen in der Luft gemessenen Nickelexposition handelt es sich daher um eine Beeinflussung durch benachbarte Arbeitsplätze mit Nickelumgang. In **Tabelle 90** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickelexposition bei der Sandaufbereitung, Kernmacherei und Formerei dargestellt. Während in diesen Bereichen hohe Staub- und Quarzexpositionen auftreten können, ist die Nickelexposition erwartungsgemäß relativ niedrig. Insbesondere ist in der NE-Metallgießerei die Nickelexposition niedriger als in Eisen- und Stahlgießereien.

Tabelle 88:

Eisen- und Stahlgießereien: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1984 bis 1999 | 104 | 36 | 39 (37,5 %) | 0,25 | 0,025 + | 0,35 |
| 2000 bis 2009 | 70 | 31 | 11 (15,7 %) | 0,0048 | 0,011 | 0,15 |
| 2010 bis 2016 | 46 | 26 | 12 (26,1 %) | 0,0076 | 0,0021 + | 0,018 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1975 bis 1989 | 450 | 89 | 75 (16,7 %) | 0,05 | 0,01 + | 0,51 |
| 1990 bis 1999 | 107 | 34 | 17 (15,9 %) | 0,0052 | 0,0085 | 0,41 |
| 2000 bis 2009 | 123 | 36 | 24 (19,5 %) | 0,0071 | 0,0034 + | 0,034 |
| 2010 bis 2016 | 61 | 16 | 22 (36,1 %) | 0,0038 | 0,0012 + | 0,034 |

Tabelle 89:

NE-Metallgießereien: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1984 bis 2009 | 145 | 52 | 64 (44,1 %) | 0,03 | 0,0033 + | 0,054 |
| 2010 bis 2016 | 68 | 34 | 47 (69,1 %) | 0,0041 | BG ! | 0,0046 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1975 bis 1989 | 198 | 52 | 87 (43,9 %) | 0,007 | 0,0025 + | 0,15 |
| 1990 bis 1999 | 164 | 58 | 60 (36,6 %) | 0,04 | 0,0014 + | 0,07 |
| 2000 bis 2009 | 106 | 39 | 38 (35,8 %) | 0,0048 | 0,0013 + | 0,023 |
| 2010 bis 2016 | 27 | 15 | 15 (55,6 %) | 0,0028 | BG ! | 0,0015 + |

Tabelle 90:

Kernmacherei, Formerei und Sandaufbereitung: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Eisen- und Stahlgießereien | | | | | | | |
| an der Person | 1989 bis 2016 | 14 | 9 | 3 (21,4 %) | 0,0076 | 0,0038 + | 0,012 |
| stationär | 1976 bis 2016 | 67 | 20 | 17 (25,4 %) | 0,005 | 0,001 + | 0,011 |
| NE-Metallgießereien | | | | | | | |
| an der Person | 1988 bis 2007 | 8*** | 5 | 3 (37,5 %) | 0,006 | arithmetischer Mittelwert: 0,0017*** | |
| stationär | 1981 bis 2010 | 39 | 13 | 18 (46,2 %) | 0,007 | 0,0012 + | 0,0037 + |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.10.2 Gattieren und Schmelzen

In Eisen- und Stahlgießereien werden die Eisengusswerkstoffe Roheisen, Schrott, Kreislaufmaterial, Ferrolegierungen und Legierungsmetalle erzeugt. Die Einsatzstoffe werden in der Gattierung abgewogen, zusammengestellt und in die Schmelzöfen gegeben. In NE-Metallgießereien werden die verschiedenen Legierungen bereits fertig von den Metallhütten als Barrenmaterial bezogen und in den Schmelzöfen eingeschmolzen. Die Schmelze wird anschließend meist behandelt. Einige wenige Gießereien arbeiten im NE-Bereich mit Schrott und stellen sich die gewünschten Legierungen selbst zusammen.

Nachfolgend werden die wichtigsten Vertreter der Schmelzöfen kurz vorgestellt.

Schmelzaggregat Lichtbogenofen

Der Lichtbogenofen ist ein Elektroschmelzofen. Die Schmelzwärme wird durch Lichtbögen erzeugt. Die Elektroden werden in der Nähe des Schmelzeinsatzes positioniert. Die im Schmelzprozess entstehenden Stäube werden durch Absaugeinrichtungen erfasst. Die Zugabe von Nickel erfolgt meist in metallischer Form (Nickel pellets, Nickelmetallbruch). Nickel kann in Eisengusslegierungen jedoch auch in geringen Mengen als Ferrolegierung zur Kornfeinung zugegeben werden. Nickel wird meist außerhalb des Lichtbogenofens in einer Pfanne zugegeben. In Gießereien werden Lichtbogenöfen vor allem für die Erzeugung von Stahlguss eingesetzt.

Schmelzaggregat Kupolofen

Der Kupolofen ist ein komplexer Gießereischachtofen zum Erschmelzen von Gusseisen. In Eisengießereien ist er weit verbreitet. Mit dem Kupolofen kann Flüssigisen aller Sorten geschmolzen werden. Als Einsatz werden Roheisen, Schrott, Kreislaufmaterial, Kalkstein und Koks schichtweise in den Ofen gefüllt. Das flüssige Gusseisen wird entweder in einem Herd gesammelt oder es fließt kontinuierlich ab und sammelt sich außerhalb des Ofens in einem Aufnahmegefäß. Das Gefäß ist meist geschlossen. Der Kupolofen verfügt über eine Entstaubungsanlage. Die Zugabe von Nickel als Legierungselement erfolgt in metallischer Form außerhalb des Kupolofens. Nickel kann in Gusseisenlegierungen jedoch auch in geringen Mengen als Ferrolegierung zur Kornfeinung im Sinne der Schmelzbehandlung zugegeben werden.

Schmelzaggregat Induktionstiegelofen

Der Induktionstiegelofen ist ein Elektroofen, der aus einem Tiegel mit Feuerfestauskleidung und einem außen liegenden Induktor (Spule) besteht. Induktionstiegelöfen werden überwiegend zum Erschmelzen von Gusseisenwerkstoffen verwendet. Sie können jedoch auch zum Erschmelzen von Stahlguss, Aluminium- und Kupfergusslegierungen eingesetzt werden. Die Öfen verfügen über schwenkbare Deckel, in denen Absaugeinrichtungen für die entstehenden Stäube integriert sind. Die Zugabe von metallischem Nickel erfolgt im Ofen. Die Nickelwerkstoffe werden auf der Ofenbühne gelagert. Sie liegen in metallischer Form vor und werden meist in Fässern angeliefert. Die Umfüllvorgänge und das Abwiegen führen zu keiner Staubbelastung. Nach der Zugabe des metallischen Nickels wird der Deckel des Ofens wieder geschlossen, so dass die Absaugeinrichtung für die Stäube wieder wirksam wird. Ferrolegierungen mit Nickel werden in Eisengießereien gelegentlich zur Kornfeinung in geringen Mengen zugesetzt. Die körnigen Ferrolegierungen lagern ebenfalls auf der Ofenbühne. Sie werden mittels Schaufeln in einen Behälter gegeben und abgewogen. Anschließend werden sie in den Ofen zu der Schmelze gegeben. Bei diesem Vorgang entstehen ebenfalls keine Stäube.

Schmelzaggregat Tiegelschmelzöfen

Tiegelschmelzöfen können elektrisch, mit Gas oder Öl beheizt werden. Sie werden meist für das Erschmelzen von Aluminium-, Kupfer-, Zink- und Magnesiumlegierungen verwendet. Durch den Schmelzprozess entstehen Stäube, die meist durch eine Erfassungseinrichtung abgesaugt werden. In **Tabelle 91** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nিকেlexposition beim Schmelzen in Eisen- und Stahlgießereien sowie in NE-Metallgießereien dargestellt. Dabei ist die Nিকেlexposition in der NE-Metallgießerei niedriger als in Eisen- und Stahlgießereien. Besonders hohe Expositionen traten bei Arbeiten ohne Erfassung in Eisen- und Stahlgießereien auf. Für die Messungen beim Schmelzen in Eisen- und Stahlgießereien zeigt sich eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. In NE-Metallgießereien konnte beim Schmelzen mit den Daten aus MEGA kein Zeittrend und kein Einfluss der Erfassung gezeigt werden.

6.10.3 Transport des schmelzflüssigen Metalls

Das schmelzflüssige Metall wird vom Schmelzofen in eine meist offene Pfanne gegeben und in den Formereibereich transportiert. Die dabei entstehenden Stäube werden nicht extra erfasst. Zu diesen Arbeitsplätzen liegen in MEGA keine Messdaten vor.

Tabelle 91:

Schmelzen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart, mit bzw. ohne Erfassung und nach Datenzeitraum

| Probenahmeart | Erfassung | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte \leq BG* | Höchste BG* in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|-----------------------------------|---------------------|---------------|---|-----------------|---------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------|
| | | | | | | | 50%-Wert* | 90%-Wert* |
| Eisen- und Stahlgießereien | | | | | | | | |
| an der Person | ohne | 1980 bis 2009 | 21 | 9 | 18 (85,7 %) | 0,25 | BG ! | 0,13 + |
| | mit | 1980 bis 1989 | 15 | 6 | 11 (73,3 %) | 0,05 | BG ! | 0,065 |
| | | 1990 bis 1999 | 11 | 9 | 4 (36,4 %) | 0,004 | 0,0039 + | 0,019 |
| | | 2000 bis 2016 | 20 | 17 | 7 (35 %) | 0,0024 | 0,0017 + | 0,016 |
| stationär | ohne | 1975 bis 1979 | 17 | 13 | 1 (5,9 %) | 0,01 | 0,006 + | 0,34 |
| | | 1980 bis 1989 | 76 | 27 | 30 (39,5 %) | 0,05 | 0,004 + | 0,25 |
| | | 1990 bis 2016 | 20 | 11 | 6 (30 %) | 0,0048 | 0,002 + | 0,009 |
| | mit | 1975 bis 1989 | 36 | 18 | 16 (44,4 %) | 0,05 | 0,004 + | 0,044 + |
| | | 1990 bis 1999 | 32 | 17 | 8 (25 %) | 0,0052 | 0,0026 + | 0,028 |
| | | 2000 bis 2009 | 34 | 17 | 8 (23,5 %) | 0,0071 | 0,0027 + | 0,014 |
| | | 2010 bis 2016 | 14 | 6 | 8 (57,1 %) | 0,0025 | BG ! | 0,0012 + |
| | | | Nichteisen (NE)-Metallgießereien | | | | | |
| an der Person | nicht differenziert | 1980 bis 2016 | 34 | 22 | 23 (67,6 %) | 0,03 | BG ! | 0,0095 + |
| stationär | nicht differenziert | 1975 bis 2016 | 178 | 70 | 64 (36 %) | 0,04 | 0,002 + | 0,02 + |

6.10.4 Vergießen des schmelzflüssigen Metalls

In Gießereien kann die Schmelze in verlorene Formen (Sandguss) oder Dauerformen (Kokillenguss, Druckguss, Schleuderguss und Strangguss) erfolgen. Beim Vergießen entstehen immer Gießgase und Stäube. Die Expositionssituation an den Arbeitsplätzen hängt im Wesentlichen von den in diesen Bereichen installierten Absaugeinrichtungen ab. Vor dem Abguss werden von Eisengusswerkstoffen noch einmal Schlackereste entfernt. Die Beschäftigten stehen dabei direkt neben der Pfanne und reinigen mit einem Krammstock die Badoberfläche, wobei sie gegen die dabei entstehenden Stäube exponiert sind.

Bei NE-Metallen wird bei diesem Arbeitsschritt mit einem Krätzlöffel die Krätze von der Badoberfläche entfernt. Auch dabei stehen die Beschäftigten direkt neben der offenen Pfanne und sind gegen die dabei entstehenden Stäube exponiert. In NE-Metallgießereien wird das schmelzflüssige Metall nach dem Einschmelzen noch nachbehandelt (Spülen, Kornfeinen, Veredeln).

6.10.4.1 Vergießen in verlorene Formen

Bei diesem Verfahren wird das schmelzflüssige Metall in eine Sandform vergossen. Die Form wurde mit Formstoffen gefertigt. Nach dem Abguss wird die Form aufgebrochen, um das Gussteil mit Gieß-, Anschnittsystem und Speisern herauszuheben. Die Form ist somit verloren. In Sandformen werden vor allem Stahlguss und Gusseisen vergossen, aber auch Kupfergusslegierungen und Aluminiumguss.

Die Expositionssituation gegen nickelhaltige Stäube ist abhängig von der Größe der Gussteile und den Absauganlagen. Bei kleinen und mittelgroßen Gussteilen, die auf automatischen Formanlagen gefertigt werden, können die Stäube durch die Absauganlagen effektiv erfasst werden. Im Bereich Großguss ist eine Erfassung der Stäube durch Absauganlagen nicht möglich.

6.10.4.2 Vergießen in Dauerformen

Dauerformen bestehen aus metallischen Werkstoffen und werden mehrfach verwendet. Vor dem Abguss wird ein Trennmittel aufgetragen. Dauerformen werden vor allem bei NE-Metalllegierungen eingesetzt. Im Gießbereich sind die Beschäftigten gegen Stäube und Gießgase exponiert. Die Höhe der Exposition ist abhängig von der Wirksamkeit der installierten Absauganlagen.

Kokillengießverfahren

Das schmelzflüssige Metall wird mithilfe der Schwerkraft in die metallische Dauerform gefüllt. Es gibt unterschiedliche Kokillengießmaschinen bzw. -anlagen.

Druckgießverfahren

Die Schmelze wird aus einer Gießkammer über Kanäle mit einem Kolben in die Form gepresst. Die Anlagen selbst verfügen über einen Tiegel, in dem die Schmelze bevorratet wird. Der Tiegel wird regelmäßig mit schmelzflüssigem Metall aus dem Schmelzbetrieb neu gefüllt. Durch die Umfüllvorgänge entstehen Expositionen gegen Stäube und Gießgase für die mit diesen Arbeiten betrauten Beschäftigten.

Schleudergießverfahren

Mit dem Schleudergießverfahren können rotationssymmetrische Teile wie Rohre gefertigt werden. Bei dem Verfahren wird die Schmelze in die rotierende Schleudergießkokille gefüllt. Die Formfüllung selbst erfolgt durch die Zentrifugalkraft.

In **Tabelle 92** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickerexposition beim Vergießen des schmelzflüssigen Metalls dargestellt. Die Nickerexposition ist in der NE-Metallgießerei niedriger als in Eisen- und Stahlgießereien. Mit den Daten aus MEGA konnte kein Zeittrend und kein Einfluss der Erfassung gezeigt werden.

Tabelle 92:

Vergießen des schmelzflüssigen Metalls: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahme an der Person und stationär

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Eisen- und Stahlgießereien | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 2016 | 17 | 12 | 5 (29,4 %) | 0,05 | 0,0027 + | 0,027 + |
| stationär | 1975 bis 2016 | 51 | 26 | 14 (27,5 %) | 0,05 | 0,0025 + | 0,025 + |
| Nichteisen (NE)-Metallgießereien | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 2016 | 66 | 42 | 48 (72,7 %) | 0,01 | BG ! | 0,0068 + |
| stationär | 1975 bis 2016 | 135 | 69 | 84 (62,2 %) | 0,0055 | BG ! | 0,0031 + |

6.10.5 Gussnachbehandlung

An den Oberflächen von Gussteilen, die mit verlorenen Formen gefertigt wurden, haften nach dem Auspacken noch Formstoffreste an. Diese Anhaftungen werden mit Strahlanlagen abgestrahlt, die geschlossen sind. Die entstehenden Stäube werden abgesaugt. Gussteile aus Dauerformen haben in der Regel bereits eine saubere Oberfläche. Im nächsten Arbeitsschritt werden die Eingussysteme und die Speiser abgetrennt. Anschließend werden durch das Gussputzen Grate entfernt. Die Höhe der Staubexpositionen im Bereich Gussnachbehandlung ist abhängig von den vorhandenen Absaugeinrichtungen und deren Wirksamkeit.

In **Tabelle 93** und **94** sind die in der IFA-Expositionsdatenbank MEGA gespeicherten Werte zur Nickerexposition beim Ausschlagen des Gusses in der Eisen- und Stahlgießerei sowie beim Strahlen in der Putzerei dargestellt. Beim Ausschlagen des Gusses liegen sehr niedrige Expositionen vor. Beim Strahlen sind die Expositionen etwas höher, erreichen aber nicht die Höhe der Werte beim sonstigen Putzen (Tabelle 95). Es liegen zu wenig Daten aus MEGA vor, um einen Zeittrend und den Einfluss der Erfassung zu überprüfen.

In **Tabelle 95** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickerexposition in der Putzerei (ohne Strahlen, inklusive Abtrennen von Angüssen, Steigern usw.) dargestellt. Hierbei handelt es sich sowohl in Eisen- und Stahl- als auch in NE-Metallgießereien um die Arbeitsbereiche mit den höchsten Nickerexpositionen in Gießereien. Besonders hohe Expositionen traten in den 1970er- und 1980er-Jahren auf. Aber auch in den 1990er-Jahren liegen die 90%-Werte zum Teil noch über 0,30 mg/m³. Es zeigt sich aber sowohl bei Messungen an der Person als auch bei stationären Messungen eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. Hingegen konnte mit den Daten aus MEGA in der Putzerei kein Einfluss der Erfassung gezeigt werden.

Tabelle 93:

Ausschlagen des Gusses in der Eisen- und Stahlgießerei: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahme an der Person und stationär

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Eisen- und Stahlgießereien | | | | | | | |
| an der Person | 2003 bis 2016 | 5*** | 5 | 2 (40 %) | 0,0044 | arithmetischer Mittelwert: 0,0028*** | |
| stationär | 1980 bis 2011 | 23 | 12 | 8 (34,8 %) | 0,01 | 0,0012 + | 0,0052 + |

*** Es liegen weniger als 10 Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden..

Tabelle 94:

Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion beim Strahlen in der Putzerei; Differenzierung nach Probenahme an der Person und stationär

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Eisen- und Stahlgießereien | | | | | | | |
| stationär | 1980 bis 2011 | 15 | 10 | 5 (33,3 %) | 0,002 | 0,0025 | 0,018 |
| Nichteisen (NE)-Metallgießereien | | | | | | | |
| an der Person | 1996 bis 2015 | 7*** | 6 | 1 (14,3 %) | 0,00039 | arithmetischer Mittelwert: 0,014*** | |
| stationär | 1981 bis 2016 | 22 | 17 | 4 (18,2 %) | 0,005 | 0,003 + | 0,058 |

*** Es liegen weniger als 10 Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 95:

Putzerei (ohne Strahlen, inklusive Abtrennen von Angüssen, Steigern usw.): Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Eisen- und Stahlgießereien | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 1999 | 43 | 19 | 2 (4,7 %) | 0,05 | 0,1 | 0,55 |
| | 2000 bis 2009 | 42 | 19 | 3 (7,1 %) | 0,0048 | 0,031 | 0,19 |
| | 2010 bis 2016 | 9*** | 8 | 1 (11,1 %) | 0,00095 | arithmetischer Mittelwert: 0,029*** | |
| stationär | 1975 bis 1979 | 45 | 12 | 0 | k. A. | 0,15 | 4,22 |
| | 1980 bis 1989 | 129 | 26 | 3 (2,3 %) | 0,05 | 0,03 + | 0,69 |
| | 1990 bis 1999 | 30 | 13 | 0 | k. A. | 0,11 | 0,67 |
| | 2000 bis 2009 | 27 | 13 | 2 (7,4 %) | 0,0023 | 0,034 | 0,11 |
| | 2010 bis 2016 | 13 | 7 | 0 | k. A. | 0,018 | 0,051 |
| Nichteisen (NE)-Metallgießereien | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 1989 | 10 | 6 | 0 | k. A. | 0,03 | 0,29 |
| | 1990 bis 2009 | 43 | 17 | 10 (23,3 %) | 0,0036 | 0,0062 | 0,1 |
| | 2010 bis 2016 | 25 | 13 | 17 (68 %) | 0,0015 | BG ! | 0,0023 |
| stationär | 1975 bis 1989 | 33 | 13 | 6 (18,2 %) | 0,005 | 0,03 | 0,80 |
| | 1990 bis 1999 | 34 | 15 | 8 (23,5 %) | 0,005 | 0,008 | 0,31 |
| | 2000 bis 2016 | 16 | 10 | 4 (25 %) | 0,0017 | 0,0017 + | 0,045 |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.11 Galvanotechnik

In der Galvanotechnik hat die Nickelbeschichtung eine große Bedeutung. Sie wird vor allem zur Veredelung, als Korrosionsschutz und zu dekorativen Zwecken auf Stahl, Eisen, Messing, Kupfer, Zink und weiteren Materialien verwendet.

Nickel wird je nach Anforderung an die Beschichtung elektrolytisch (unter Anlegen einer Fremdspannung) oder chemisch (außenstromlos) aufgebracht. Die elektrolytische Abscheidung von metallischen Überzügen auf Werkstücken wird als Galvanisieren bezeichnet. Dabei wird ein Gleichstrom durch einen Elektrolyten geleitet, der die notwendigen chemischen Reaktionen einleitet und unterhält. Hierdurch findet am Werkstück, das als Kathode geschaltet ist, die Abscheidung der im Elektrolyten gelösten Metallionen statt. Je nach Stromdichte und Verweilzeit im Elektrolyten entsteht eine mehr oder weniger dicke Metallbeschichtung auf der Werkstückoberfläche.

Beim Vernickeln, Glanznickel/Halbglanznickel (Nickelchlorid, Nickelsulfat), erfolgt die Beschichtung ausschließlich aus sauren, meist schwefelsauren Elektrolyten, seltener aus Sulfamat-Elektrolyten. Die Elektrolyttemperatur beträgt in der Regel 55 bis 65 °C, der Wirkungsgrad ca. 95 bis 98 %. Damit bleiben Wasserstoffentwicklung und Aerosolbildung rein verfahrensbedingt gering. Elektrolytbewegungen bzw. Luftereinblasung können allerdings Auswirkungen auf den Nickelaerosolgehalt in der Luft am Arbeitsplatz haben.

Bei der außenstromlosen Metallabscheidung werden die Überzüge aus einer Metallsalzlösung ohne Anlegen einer Fremdspannung abgeschieden. Die Abscheidung geschieht durch Ladungsaustausch. Das unedlere Metall geht in Lösung bzw. ein Reduktionsmittel wird verbraucht, während sich das edlere Metall aus der Salzlösung auf dem Werkstück abscheidet. Dieses chemische Vernickeln (Nickelsulfat) erfolgt in der Regel mit Natriumhypophosphit als Reduktionsmittel. Die Elektrolyttemperatur beträgt ca. 85 bis 95 °C. Im Gegensatz zum galvanischen Vernickeln kommt es durch die chemische Reduktion zu verstärkter Wasserstoffentwicklung und Aerosolbildung. Aufgrund der Wasserstoffentwicklung ist die Entstehung einer gefährlichen explosionsfähigen Atmosphäre möglich.

Die Werkstücke werden entweder von Hand in den Elektrolyten eingehängt oder die Bedienperson führt das Werkstück mit einem Beschickungsgerät oder Kran zum entsprechenden Elektrolytbehälter. Kleinere Werkstücke werden an speziellen Warenträgern (Gestellen) hängend eingetaucht. Bei Massenartikeln und je nach Oberflächen-

behandlung kann dies auch durch Einhängetrommeln (Trommelanlage) geschehen, in die die Werkstücke eingefüllt werden.

Bei programmgesteuerten Anlagen werden die Gestelle oder Trommeln von einem Beschickungsgerät aufgenommen und die Eintauchprozesse automatisch ausgeführt. Die Bedienpersonen arbeiten dann nicht mehr direkt am Elektrolyten. Die Werkstücke werden außerhalb der Anlage auf die Gestelle aufgesteckt bzw. in die Einhängetrommeln eingefüllt.

Um die geforderte Oberflächenqualität zu erzielen, kann es notwendig sein, die im Elektrolyten eingehängten Werkstücke (Werkstückbewegungsrichtung an der Kathodenschiene) oder die Anode (z. B. bei großflächigen Blechen oder Zylindern) zu bewegen (Wanderanode). Bei höheren Stromdichten wird auch der Elektrolyt selbst bewegt. Dies geschieht durch Umpumpen oder durch Einblasen gereinigter Druckluft.

In **Tabelle 96** sind statistische Auswertungen von Messwerten für Nickel aus galvanischen Betrieben zusammengestellt. Insgesamt wurden, außer bei der Entsorgung von Schlämmen, keine sehr hohen Expositionen gemessen. Zunächst erfolgt eine Differenzierung in Arbeitsbereichsgruppen:

- Vorbehandlung
- Vernickeln, elektrolytisch
- Vernickeln, chemisch
- Spezielle Verfahren außer Vernickeln
- Sonstige Tätigkeiten in galvanischen Betrieben
- Entmetallisieren
- Abwasserbehandlung
- Entsorgung von Schlämmen

Bei ausreichender Datenlage wurde die Auswertung differenziert in Messungen an der Person oder stationäre Messungen sowie nach Datenzeitraum. Eine getrennte Auswertung für Arbeitsplätze mit und ohne Erfassung ergab keine plausiblen Werte. Sie wird daher hier nicht dargestellt.

Die Arbeitsbereichsgruppe „Vorbehandlung“ umfasst Messungen zum Beizen, Polieren und Entfetten. Beim elektrolytischen Vernickeln wurden überwiegend Messungen beim Vernickeln mit Sulfat-Chlorid-Elektrolyt (Watt's Elektrolyt) durchgeführt. Danach folgen Messungen beim Vernickeln mit Chlorid- oder Sulfamat-Elektrolyt. Nur sehr wenige Messungen liegen zum Vernickeln mit Fluoroborat- oder Schwarznickel-Elektrolyt vor.

Für spezielle Galvanikverfahren außer Vernickeln liegen die Expositionen – wie zu erwarten – unter den Expositionen beim Vernickeln. Bemessen wurden hier Nickerexpositionen beim Verchromen, Verzinken, Phosphatieren, Elo-

xieren und bei weiteren Verfahren. Dargestellt ist nur ein Datenzeitraum, da die Auswertung sowohl für die Probenahme an der Person als auch für stationäre Probenahme für kürzere Zeiträume keine plausible Aussage liefert.

Tabelle 96:

Galvanotechnik: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Vorbehandlung | | | | | | | |
| an der Person | 1994 bis 2009 | 10 | 7 | 5 (50 %) | 0,0055 | 0,0024 + | 0,04 |
| | 2010 bis 2016 | 8*** | 6 | 6 (75 %) | 0,0035 | arithmetischer Mittelwert: 0,0029*** | |
| stationär | 1993 bis 1999 | 9*** | 5 | 3 (33,3 %) | 0,0023 | arithmetischer Mittelwert: 0,021*** | |
| | 2000 bis 2015 | 12 | 10 | 6 (50 %) | 0,0039 | 0,00094 + | 0,0067 |
| Vernickeln, elektrolytisch (Glanznickel/Halbglanznickel) | | | | | | | |
| an der Person | 1993 bis 1999 | 88 | 53 | 35 (39,8 %) | 0,004 | 0,004 + | 0,03 |
| | 2000 bis 2009 | 107 | 70 | 39 (36,4 %) | 0,0096 | 0,0019 + | 0,015 |
| | 2010 bis 2015 | 67 | 45 | 33 (49,3 %) | 0,0074 | 0,0018 + | 0,010 |
| stationär | 1993 bis 1999 | 393 | 142 | 193 (49,1 %) | 0,005 | 0,0015 + | 0,02 |
| | 2000 bis 2009 | 355 | 167 | 145 (40,8 %) | 0,013 | 0,0012 + | 0,011 + |
| | 2010 bis 2016 | 66 | 45 | 43 (65,2 %) | 0,004 | BG ! | 0,0085 |
| Vernickeln, chemisch | | | | | | | |
| an der Person | 1975 bis 2016 | 64 | 37 | 15 (23,4 %) | 0,0086 | 0,003 + | 0,021 |
| stationär | 1993 bis 1999 | 67 | 28 | 13 (19,4 %) | 0,003 | 0,007 | 0,04 |
| | 2000 bis 2009 | 61 | 30 | 8 (13,1 %) | 0,003 | 0,0029 + | 0,025 |
| | 2010 bis 2016 | 20 | 16 | 10 (50 %) | 0,0028 | 0,0012 + | 0,004 |
| Spezielle Verfahren außer Vernickeln | | | | | | | |
| an der Person | 1992 bis 2016 | 205 | 123 | 102 (49,8 %) | 0,032 | 0,0015 + | 0,0094 + |
| stationär | 1992 bis 2016 | 217 | 123 | 131 (60,4 %) | 0,005 | BG ! | 0,004 + |
| Sonstige Tätigkeiten in galvanischen Betrieben | | | | | | | |
| an der Person | 1995 bis 2014 | 21 | 16 | 8 (38,1 %) | 0,005 | 0,0024 + | 0,020 |
| stationär | 1994 bis 2015 | 17 | 15 | 12 (70,6 %) | 0,005 | BG ! | 0,0019 + |
| Entmetallisieren | | | | | | | |
| an der Person | 2008 bis 2014 | 7*** | 7 | 3 (42,9 %) | 0,0026 | arithmetischer Mittelwert: 0,0018*** | |
| stationär | 2005 bis 2014 | 12 | 8 | 7 (58,3 %) | 0,0029 | BG ! | 0,0071 |
| Abwasserbehandlung | | | | | | | |
| an der Person | 1997 bis 2015 | 11 | 8 | 5 (45,5 %) | 0,0034 | 0,0022 + | 0,0060 |
| stationär | 2002 bis 2014 | 17 | 14 | 13 (76,5 %) | 0,0048 | BG ! | 0,0022 + |
| Entsorgung von Schlämmen | | | | | | | |
| stationär | 2003 bis 2005 | 4*** | 2** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,17*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Unter sonstigen Tätigkeiten in der Galvanik sind Tätigkeiten im Labor, bei der Kontrolle oder Montage, aber auch die Nachbehandlung wie Spülbäder oder die Kaltverdichtung sowie Tätigkeiten im Lager ausgewertet. Nickelexpositionen können in all diesen Fällen natürlich nur auftreten, wenn nickelhaltige Materialien verwendet werden. Beispielsweise wird beim Eloxieren zunächst Aluminium mit Schwefel- oder Oxalsäure behandelt, wobei keine Nickelexposition zu erwarten ist. Beim anschließenden Kaltverdichten können jedoch nickelsalzhaltige Lösungen zum Einsatz kommen.

Bei den hohen Messwerten in der Entsorgung von Schlämmen ist die Reinigung von Filterelementen erwähnt. Da es sich lediglich um vier Messwerte aus zwei Betrieben handelt, können diese Werte nur als Hinweis betrachtet werden, dass bei der Entsorgung von Schlämmen hohe Konzentrationen auftreten können.

6.12 Herstellung von Akkumulatoren

Akkumulatoren – kurz Akkus – sind wiederverwendbare Stromspeicher für Gleichstrom. Sie speichern elektrische Energie durch chemische Prozesse. Bei der Herstellung von Nickel-Cadmium-Akkus sowie Nickel-Metallhydrid-Akkus (NiMH) ist eine Exposition gegenüber Nickel und seinen Verbindungen nicht auszuschließen. Die aktive Masse der geladenen positiven Platte bei Nickel-Cadmium-Akkus ist Nickelhydroxid, der geladenen negativen Platte pulverförmiges Cadmium. Als Elektrolyt wird verdünnte Kalilauge eingesetzt. Bei NiMH wird ebenfalls Nickelhydroxid eingesetzt.

Es gibt eine Reihe von Verfahren zur Herstellung der Elektroden. Aktives Material wird entweder direkt zur Elektrodenform gepresst, als Pulver in Röhrchen oder Taschen aus perforiertem Blech gefüllt oder durch chemische Füllung in poröse Sinterkörper eingebracht. Bis in die 1990er-Jahre hatte sich der Nickel-Cadmium-Akku zu der meist gebräuchlichen wieder aufladbaren Batterie im Endverbraucherbereich entwickelt. Danach erlangten NiMH und Lithium-Systeme immer mehr an Bedeutung, da höhere Energiedichten erzielt wurden und die Verwendung von Cadmium zunehmend verboten wurde. Das Inverkehrbringen von Batterien mit Akkus mit mehr als 0,002 Gewichtsprozent Cadmium ist für die Herstellung von Gerätebatterien inzwischen verboten [162]. Ausnahmen bestehen z. B. für Not- und Alarmsysteme, Notbeleuchtung und medizinische Ausrüstung. Nach wie vor ist die Herstellung von cadmiumhaltigen Akkumulatoren für Industriebatterien wie in

Flugzeugen erlaubt. In Deutschland werden zurzeit noch an wenigen Standorten Nickel-Cadmium-Akkus hergestellt.

In **Tabelle 97** sind statistische Auswertungen von Messwerten für Nickel bei der Herstellung von Akkumulatoren zusammengestellt. Da Nickel-Cadmium-Akkus in Deutschland inzwischen kaum noch hergestellt werden, stammen 44 % der ausgewerteten Messungen aus den Jahren 1975 bis 1989, 36 % aus den Jahren 1990 bis 1999 und nur 20 % der Messungen aus den Jahren 2000 bis 2012. An der Person wurden sehr hohe Expositionen gemessen, die 90. Perzentile liegen über 0,2 mg/m³.

In **Tabelle 98** erfolgt eine weitere Differenzierung nach Arbeitsbereichen. Die Auswertung wurde nicht differenziert nach mit bzw. ohne Erfassung, weil – mit Ausnahme stationärer Messungen bei der Masseherstellung und der Plattennachbehandlung – nur einzelne Messwerte an Arbeitsplätzen ohne Erfassung vorliegen.

6.13 Zahntechnische Laboratorien

In zahntechnischen Laboratorien werden für die Modellgussprothetik neben Edelmetall- auch Nichtedelmetalllegierungen (NEM-Legierungen) eingesetzt. Bei diesen war anfangs (1980 bis ca.1990) eine Nickel-Chrom-Basis (enthält 40 bis 70 % Nickel) verbreitet, die seit 1991 immer mehr von einer Kobalt-Chrom-Basis verdrängt wurde. Seit ca. 2000 spielen die auf Nickel-Chrom basierenden NEM-Legierungen nur eine untergeordnete Rolle. Heute finden sich Nickellegierungen nur in kieferorthopädischen Werkstücken wie Drähten für Spangen oder Klammern, in Dentalhartloten (Silber- und Goldhartlote mit 10 bis 15 % Nickel, Stahlgoldlote für Kombinationslösungen EM/Co-Cr-Mo) oder in Laserdraht. Der Marktanteil von nickelhaltigen Dentalhartloten umfasst nur ca. 10 % in der Gesamtheit der Dentallote. Seit den 1980er-Jahren wurden in der Zahnheilkunde Cobalt-Chrom-Gusslegierungen verwendet, die im Normalfall weniger als 1 % Nickel enthielten. Lag der Gehalt höher, musste dies vom Hersteller angegeben werden [163]. In den 2000er-Jahren wurde der ohne Deklaration zulässige Gehalt an Nickel auf 0,01 % Massenanteil gesenkt [164; 165]. Gemäß der Normung fanden aber auch edelmetallfreie Dentalgusslegierungen mit hohen Gehalten an Cobalt, Nickel und Chrom (Cobalt + Nickel + Chrom > 85 %) bis weit in die 1990er-Jahre Verwendung [166; 167]. Bei der Bearbeitung der aus diesen Legierungen hergestellten Objekte können Stäube freigesetzt werden, die Anteile von Nickel und seinen Verbindungen aufweisen.

Tabelle 97:

Herstellung von Akkus: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1988 bis 1999 | 233 | 6 | 21 (9 %) | 0,009 | 0,02 | 0,27 |
| 2000 bis 2016 | 94 | 4 ** | 5 (5,3 %) | 0,0046 | 0,02 | 0,23 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1975 bis 1989 | 261 | 4** | 16 (6,1 %) | 0,01 | 0,03 | 0,18 |
| 1990 bis 1999 | 44 | 5 | 15 (34,1 %) | 0,00286 | 0,006 | 0,03 |
| 2000 bis 2016 | 12 | 4** | 2 (16,7 %) | 0,0046 | 0,0023 + | 0,012 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

Tabelle 98:

Herstellung von Akkus: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Masseherstellung | | | | | | | |
| an der Person | 1985 bis 1999 | 30 | 6 | 1 (3,3 %) | 0,003 | 0,16 | 0,91 |
| | 2000 bis 2011 | 26 | 4** | 2 (7,7 %) | 0,0046 | 0,016 | 0,23 |
| stationär | 1981 bis 1996 | 44 | 5 | 9 (20,5 %) | 0,005 | 0,02 | 0,24 |
| Taschenplattenherstellung | | | | | | | |
| an der Person | 1995 bis 1999 | 26 | 4** | 0 | k. A. | 0,084 | 0,28 |
| | 2000 bis 2012 | 28 | 3** | 0 | k. A. | 0,048 | 0,21 |
| stationär | 1995 bis 2012 | 7*** | 2** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,017*** | |
| Zellenbau, Plattensatzschweißen | | | | | | | |
| an der Person | 1988 bis 2012 | 52 | 4** | 3 (5,8 %) | 0,0036 | 0,03 | 0,17 |
| stationär | 1985 bis 2003 | 18 | 1** | 7 (38,9 %) | 0,005 | 0,008 | 0,028 |
| Zellenbau, Montage | | | | | | | |
| an der Person | 1994 bis 2012 | 23 | 4** | 1 (4,3 %) | 0,0009 | 0,015 | 0,12 |
| stationär | 1994 bis 1997 | 17 | 3** | 9 (52,9 %) | 0,00286 | BG ! | 0,016 |
| Plattennachbehandlung | | | | | | | |
| an der Person | 1988 bis 1991 | 18 | 1** | 3 (16,7 %) | 0,007 | 0,007 + | 0,056 |
| stationär | 1983 bis 1988 | 101 | 2** | 3 (3 %) | 0,005 | 0,02 | 0,11 |
| Elektrodenkontrolle | | | | | | | |
| an der Person | 1991 bis 1999 | 17 | 2** | 3 (17,6 %) | 0,007 | 0,0069 + | 0,017 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 99 zeigt, dass die dabei auftretenden Expositionen sehr niedrig sind. Bei ca. 90 % der Messungen liegt die Konzentration unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Die wenigen Werte oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegen bis auf einen Wert, der 0,08 mg/m³ erreicht, zwischen 0,00013 und 0,02 mg/m³.

6.14 Recycling

6.14.1 Elektronikschrottreycling

Allein in Deutschland fallen jedes Jahr ca. 1,5 Mio. t Elektro- und Elektronikschrott an, die zum Teil fachgerecht recycelt werden. In diesen Recyclingbetrieben werden die Geräte manuell gereinigt und zerlegt. Die Beschäftigten sind dabei Stäuben ausgesetzt, die verschiedene Gefahrstoffe enthalten. Neben der Einhaltung der allgemeinen Staubgrenzwerte sind insbesondere die Belastungen gegenüber Blei, Quecksilber, Beryllium, Nickel, Cadmium und Cobalt zu beachten. Im Rahmen dieses BK-Reports werden lediglich die Nickelbelastungen betrachtet. Die Handlungsanleitung Elektronikschrottre-cycling [168] und die BG/BIA-Empfehlung 1037 [169] enthält auch Angaben zu weiteren Metallen.

Das Arbeitsverfahren zum manuellen Elektronikschrottre-cycling lässt sich grob in folgende Arbeitsschritte unterteilen:

- 1) Bereitstellung/Lagerung der Geräte,
- 2) Vorsortierung des angelieferten Materials,
- 3) Öffnen der Gerätegehäuse/Reinigung,
- 4) Zerlegen von Röhrenmonitoren: Bildröhren werden in einer abgesaugten Kabine geöffnet und belüftet,
- 5) Entfernung gefahrstoffhaltiger Bauteile, wie Kondensatoren, Batterien, Akkus oder Hintergrundbeleuchtungslampen/-röhren,
- 6) Zerlegung und Separierung der Bauteile in einzelne Fraktionen,
- 7) Rückführung von Wertstoffen in den Rohstoffkreislauf bzw. Entsorgung der nicht recyclingfähigen gefahrstoffbelasteten Baugruppen.

Nickel ist insbesondere in den Leiterplatten, Thermo-elementen, Akkus und Lochmasken von Bildröhren enthalten. In einigen Betrieben wird vor der Demontage eine Vorreinigung der Geräte vorgenommen. Dadurch ist es möglich, die Staubbelastungen zu reduzieren. Die Messergebnisse zeigen jedoch, dass diese Maßnahme keinen Einfluss auf mögliche Nickerexpositionen hat. Die Belüftung der Bildröhren beim Recyceln von Röhrenbildschirmen soll nur in einer abgesaugten Kabine erfolgen. Die

Anforderungen an eine solche Kabine sind in der angegebenen Handlungsanleitung aufgeführt [168].

Expositionsmessungen aus MEGA sind in **Tabelle 100** dargestellt. Insgesamt sind die Expositionshöhen alle sehr niedrig. Die Differenzierung nach Arbeitsbereichen erfolgt in Anlehnung an die oben genannten Verarbeitungsschritte. Für eine Differenzierung nach mit bzw. ohne Erfassung liegen außer für Messungen an der Person beim Zerlegen und Trennen zu wenige Messwerte vor. Beim Zerlegen und Trennen zeigt sich eine Absenkung des 90. Perzentils der Expositionshöhe um 30 % durch eine Erfassung. In den MEGA-Daten gibt es keine Hinweise auf das Vorhandensein von Reinigungskabinen. Bei wenigen Proben sind Absaug- oder Zerlegekabinen genannt.

6.14.2 Metallrecycling

In Deutschland wird Nickel heute aus nickelhaltigen Recyclingmaterialien gewonnen, wie:

- Katalysatoren aus der chemischen, petrochemischen und Lebensmittelindustrie, aus Raffinerien, der Kosmetik- und Lebensmittelbranche (Fetthärtung), der Düngemittelherstellung und Pharmaindustrie,
- Wässrigen Lösungen und Schlämmen aus der Oberflächenbehandlung, Galvanik und der Herstellung von Katalysatoren,
- Schleifschlämmen und -stäuben sowie Filterstäuben und -kuchen aus der Verarbeitung nickelhaltiger Produkte,
- Aschen, Erdölverarbeitungsrückständen und Salzen,
- Edelschrott,
- Nickelrohsulfat, einem Nebenprodukt der Kupferraffination.

Diese Rückstände werden pyro- und hydrometallurgisch aufbereitet und gelangen als Nickelsalze bzw. Nickelmetall wieder in den Kreislauf zurück.

In MEGA liegen erst ab 2003 wenige Messwerte zur Nickerexposition beim Metallrecycling vor (**Tabelle 101**). Bemessen wurden die Tätigkeiten Fördern, Sortieren und das Beschicken von Öfen. Mit einem 90. Perzentil von 0,0082 mg/m³ bei der Probenahme an der Person und von 0,0022 bei stationärer Probenahme liegen die Expositionen sehr niedrig. Messungen zum Brennscheiden in der Branche Metallrecycling werden branchenübergreifend im Abschnitt 6.8.7.1 ausgewertet.

Tabelle 99:

Zahn technische Laboratorien: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1984 bis 2013 | 32 | 26 | 29 (90,6 %) | 0,05 | BG ! | BG ! |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1983 bis 2010 | 22 | 16 | 19 (86,4 %) | 0,05 | BG ! | 0,025 + |

Tabelle 100:

Elektronikschrottreycling: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person und stationär, Differenzierung nach Arbeitsbereichen

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|-----------------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Anlieferung, Lagerhalle | | | | | | | |
| stationär | 2007 bis 2016 | 7*** | 6 | 2 (28,6 %) | 0,0016 | arithmetischer Mittelwert: 0,001*** | |
| Entstauben | | | | | | | |
| an der Person und stationär | 1996 bis 2005 | 4*** | 3** | 4 (100 %) | 0,0071 | BG ! | BG ! |
| Zerlegen, Trennen | | | | | | | |
| an der Person | 1995 bis 2016 | 81 | 32 | 38 (46,9 %) | 0,004 | 0,0008 + | 0,0021 + |
| stationär | 1996 bis 2016 | 71 | 25 | 32 (45,1 %) | 0,0048 | 0,00039 + | 0,0015 + |
| Bearbeiten einer Bildröhre | | | | | | | |
| an der Person | 1996 bis 2016 | 25 | 9 | 13 (52 %) | 0,004 | BG ! | 0,0025 + |
| stationär | 2007 bis 2016 | 4*** | 3** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,0052*** | |
| Zerkleinern, Schreddern | | | | | | | |
| an der Person | 1995 bis 2015 | 20 | 9 | 6 (30 %) | 0,004 | 0,0014 + | 0,0031 + |
| stationär | 1996 bis 2016 | 25 | 11 | 11 (44 %) | 0,004 | 0,0018 + | 0,013 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 101:

Metallrecycling (ohne Brennschneiden): Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 2003 bis 2014 | 10 | 4** | 2 (20 %) | 0,0017 | 0,00086 + | 0,0082 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 2003 bis 2014 | 25 | 8 | 13 (52 %) | 0,0041 | BG ! | 0,0022 + |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

Tabelle 102:

Metallrecycling (ohne Brennschneiden): Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahme an der Person und stationär

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Recycling ohne Schrott und Elektronikschrott, z. B. Glas, Kunststoff | | | | | | | |
| an der Person | 1989 bis 2011 | 26 | 15 | 24 (92,3 %) | 0,0085 | BG ! | BG ! |
| stationär | 1989 bis 2011 | 26 | 15 | 15 (57,7 %) | 0,0024 | BG ! | 0,0011 + |

6.14.3 Sonstiges Recycling

Ausgewertet wurden folgende Arbeitsbereiche: Umfüllarbeiten, Fördern, Sortieren, Sieben, Zerlegen, Reinigung des Raumes, Revisionsarbeiten, Reparatur und Wartung. Schweißstätigkeiten und andere Heißverarbeitungsverfahren sowie spanende/abrasive Bearbeitung wurden in diesen Branchen nicht bemessen. Insgesamt liegen die Expositionen sehr niedrig. Bei den Messungen an der Person liegt bei über 90 % der Proben das Messergebnis unterhalb der Bestimmungsgrenze (Tabelle 102).

6.15 Biogasanlagen

Die am Vergärungsprozess beteiligten Mikroorganismen benötigen zur Aufrechterhaltung ihres Stoffwechsels und zur Bildung von Enzymen Spurenelemente. Als essentielle Spurenelemente in der Biogaserzeugung gelten neben Nickel unter anderem Eisen, Kobalt, Selen, Molybdän, Bor und Wolfram. Sind diese Spurenelemente nicht in ausreichender Menge in den Inputstoffen enthalten, müssen sie dem Gärprozess künstlich zugeführt werden. Häufig werden Spurenelemente als Mischung, selten einzeln zugegeben.

Die Produkte werden überwiegend als Pulver oder wässrige Lösung, in sehr seltenen Fällen in granulierter oder pastöser Form geliefert. Pulverförmige Produkte werden im Regelfall als Palettenware in vergärbaren Säcken (10 bis 20 kg), wässrige Lösungen in Intermediate Bulk Containern (in der Regel 1 000 l), granuliert in wasserlöslichen Folien eingewickelt bereitgestellt. In den Produkten ist Nickel z. B. in Form folgender Verbindungen enthalten: Nickelchlorid, Nickelsulfathexahydrat, Nickel-2-Nitrat-hexahydrat, Nickelsulfat. Die Menge des zugeführten Produkts variiert in Abhängigkeit von der im Produkt enthaltenen Konzentration und dem individuellen Spurenelementbedarf. Die auf den jeweiligen Bedarf individuell abgestimmte Konzentration von Nickelverbindungen im Produkt reicht von < 1 bis zu 50 Gewichtsprozent. Die Verwendungsmenge variiert dadurch von wenigen Gramm oder Litern pro Woche bis zu mehreren Dutzend Kilo oder Litern pro Tag.

Geschlossene Dosiersysteme werden – von wenigen Ausnahmen abgesehen – nicht eingesetzt. Für die manuelle Zugabe werden insbesondere folgende Verfahrensweisen angewendet:

- Einwurf von vergärbaren Säcken mithilfe eines Radladers in den Feststoffdosierer der Anlage, zum Teil werden die Säcke vor dem Einwurf mit einem Messer durch Anschlitzen teilgeöffnet,
- Umfüllen von wässriger Lösung aus Großpackmitteln (Intermediate Bulk Container) oder Fässern über eine Fassungspumpe oder einen Zapfhahn in Schöpfbecher, Gießkanne oder ähnliches und Eingießen der umgefüllten Menge, z. B. über eine Einspülstelle.

Diese Arbeitsgänge nehmen jeweils nur wenige Minuten in Anspruch. Beschäftigte können insbesondere exponiert sein durch:

- Pulver (Einatmen, Verschlucken, Hautkontakt): Handhabung von beschädigten Verpackungen, Aufschneiden von Verpackungen, Beseitigen von Verunreinigungen, Instandhaltungsarbeiten bzw. Störungsbeseitigung im Feststoffdosierer im engen zeitlichen Zusammenhang nach der Aufgabe des Produktes,
- Wässrige Lösung (Hautkontakt): Umfüllarbeiten, Wechsel/Reinigen von Fassungspumpen, Beseitigen von Verunreinigungen.

Bei den pulverförmigen Produkten konnte in zahlreichen Fällen beobachtet werden, dass die Säcke zum Teil mit sichtbaren Anhaftungen des abgefüllten Produktes ausgeliefert werden. Wird bei der Handhabung der Säcke kein angemessener Handschutz betrieben, können Beschäftigte bereits bei diesen Tätigkeiten gegenüber dem Produkt exponiert sein. Die Produkte werden seit etwa 2012 verstärkt eingesetzt. Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten in Biogasanlagen sind in der TRGS 529 „Tätigkeiten bei der Herstellung von Biogas“ beschrieben [170]. In MEGA liegen keine Messdaten zu Nickel in Biogasanlagen vor.

Tabelle 103:

Herstellung von Glas: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1980 bis 1989 | 153 | 36 | 26 (17 %) | 0,07 | 0,08 | 0,62 |
| 1990 bis 1999 | 252 | 61 | 46 (18,3 %) | 0,06 | 0,02 + | 0,22 |
| 2000 bis 2016 | 260 | 80 | 31 (11,9 %) | 0,0069 | 0,011 | 0,18 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1980 bis 1989 | 398 | 50 | 96 (24,1 %) | 0,05 | 0,04 + | 0,58 |
| 1990 bis 1999 | 465 | 86 | 127 (27,3 %) | 0,012 | 0,005 + | 0,14 |
| 2000 bis 2009 | 332 | 61 | 70 (21,1 %) | 0,02 | 0,0025 + | 0,069 |
| 2010 bis 2016 | 110 | 39 | 31 (28,2 %) | 0,0069 | 0,0006 + | 0,029 |

6.16 Hohl- und Pressglas

In **Tabelle 103** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickerexposition bei der Herstellung von Glas im Überblick dargestellt. Für die Messungen an der Person und für stationäre Messungen zeigt sich eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit. Trotzdem liegen die Messwerte an der Person auch nach 2000 mit einem 90. Perzentil von 0,18 mg/m³ noch sehr hoch. Die nach Arbeitsschritten differenzierte Auswertung in den Abschnitten 6.16.1 bis 6.16.3 zeigt, dass hohe Expositionen vor allem bei Formenbau und -reparatur auftreten.

6.16.1 Gemengeherstellung

Die in der Glasindustrie verwendeten Rohstoffe wurden bereits in der Rohstoffindustrie aufbereitet (zerkleinert, klassiert usw.). Im Bereich der Gemengeherstellung werden folgende Rohstoffe gemischt und dosiert:

- Quarzsand (Glasbildner)
- Soda (Flussmittel)
- Dolomit (Gitter-Stabilisator)
- Kalk (Gitter-Stabilisator)
- Phonolith
- Nephelin
- Natriumsulfat (Läutermittel)
- Pottasche
- Koks

Für die Herstellung von einfachen Hohlgläsern (Wirtschaftsglas) werden dem Gemengeversatz – je nach Glasfarbe – 60 bis 86 % Altglasscherben (Recyclingglas) zugesetzt. Der zur Glasherstellung benötigte Quarzsand enthält als Verunreinigung Eisenoxide, die dem Glas einen grünlichen Farbstich geben. Bei der physikalischen Entfärbung werden der Glasmasse Stoffe zugesetzt, die in ihrer Farbwirkung der Farbe des Eisenoxids komplementär sind und diese dadurch beseitigen. Durch Zugabe von Entfärbungsmitteln werden die Verfärbungen optisch zu Weiß ergänzt. Angewendet werden vorwiegend Manganoxid, Nickeloxid, Kobaltoxid und Selen. Die Dosierung der größeren Massenanteile erfolgt automatisch. Die Zugabe der verschiedenen Metalloxide als Läuter-, Fluss- oder Farbmittel erfolgt im Promillebereich und wird deshalb in den meisten Fällen manuell durchgeführt.

Die in MEGA dokumentierten Messwerte zur Gemengeherstellung wurden differenziert nach Probenahme an der Person bzw. stationär, nach Datenzeitraum und nach mit bzw. ohne Erfassung ausgewertet (**Tabelle 104**).

Tabelle 104:

Gemengeherstellung bei der Herstellung von Glas: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart, Datenzeitraum und Erfassung

| Probe-nahmeart | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Gemengeherstellung, allgemein, inkl. Zerkleinerung | | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 2016 | nicht differenziert | 19 | 10 | 7 (36,8 %) | 0,006 | 0,0019 + | 0,049 |
| stationär | 1980 bis 1989 | ohne | 10 | 4** | 0 | k. A. | 0,06 | 0,31 |
| | | mit | 11 | 5 | 3 (27,3 %) | 0,005 | 0,0075 | 0,11 |
| | 1990 bis 1999 | nicht differenziert | 34 | 15 | 17 (50 %) | 0,009 | 0,0004 + | 0,0088 + |
| | 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 18 | 12 | 5 (27,8 %) | 0,0004 | 0,0002 + | 0,00087 |
| Gemengeherstellung, Mischaum, Trockenverarbeitung | | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 2009 | nicht differenziert | 14 | 9 | 9 (64,3 %) | 0,05 | BG ! | 0,32 |
| stationär | 1980 bis 1999 | ohne | 13 | 5 | 5 (38,5 %) | 0,01 | 0,0075 + | 0,18 |
| | | mit | 37 | 16 | 14 (37,8 %) | 0,05 | 0,001 + | 0,055 |
| Gemengeherstellung, Mischaum, Nassverarbeitung | | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2009 | nicht differenziert | 2*** | 2** | 1 (50 %) | 0,00079 | arithmetischer Mittelwert: 0,0019*** | |
| stationär | 1980 bis 2009 | nicht differenziert | 22 | 8 | 11 (50 %) | 0,05 | 0,0013 + | 0,029 + |
| Gemengeherstellung, Einlegen von Scherben und Gemenge | | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2016 | nicht differenziert | 4*** | 3** | 2 (50 %) | 0,06 | arithmetischer Mittelwert: 0,20*** | |
| stationär | 1980 bis 2016 | nicht differenziert | 39 | 12 | 23 (59 %) | 0,05 | BG ! | 0,0028 + |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als 10 Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.16.2 Schmelzen, Formgebung und Vergütung, Nachbearbeitung und Endkontrolle

Das fertige Gemenge wird über Band-, Becher-, Rinnen- und Schneckenförderer in die Schmelzwanne transportiert. In der Schmelzwanne wird das Gemenge bei ca. 1500°C aufgeschmolzen. Am Wanneneende findet die Formgebung durch Abkühlung des Glases statt. Die Form des Hohlglases, z. B. Flaschen, wird in mehreren Verfahren durch Pressen, Blasen, Saugen und Kombinationen dieser Techniken in Formen aus hochwärmefesten Stahl ausgebildet. Die Glastemperatur beträgt hier ca. 750 °C. Die fertigen Glasbehälter werden über ein Transportband

in den Kühlöfen transportiert. Vor und nach dem Kühlöfen werden zum Teil Vergütungen für die Glasoberfläche aufgetragen. In der Nachbearbeitung werden die Gläser in verschiedenen Arbeitsschritten geschnitten, gebohrt, geschliffen, geätzt, sandgestrahlt, poliert, beschichtet oder gehärtet.

Beim Schmelzen, bei der Endkontrolle sowie bei der Formgebung und Vergütung wurden niedrige bis sehr niedrige Nicketexpositionen gemessen (Tabelle 105). Es handelt sich fast ausschließlich um stationäre Messungen. Aber auch die wenigen Messungen an der Person geben keine Hinweise auf höhere Expositionen.

Tabelle 105:

Unterschiedliche Arbeitsbereiche bei der Herstellung von Glas: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probe- nahmeart | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|---------------|--------------------------|---------------------|--------------------|-----------------------------------|---|--|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Schmelzen | | | | | | | | |
| stationär | 1980 bis 1989 | nicht diffe- renziert | 11 | 4** | 5 (45,5 %) | 0,05 | 0,0023 + | 0,025 + |
| | 1990 bis 2009 | nicht diffe- renziert | 25 | 7 | 16 (64 %) | 0,001 | BG ! | 0,0023 |
| Formgebung und Vergütung | | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2016 | nicht diffe- renziert | 3*** | 2** | 1 (33,3 %) | 0,00031 | arithmetischer Mittelwert: 0,00018*** | |
| stationär | 1980 bis 2016 | nicht diffe- renziert | 97 | 28 | 72 (74,2 %) | 0,05 | BG ! | 0,005 + |
| Nachbearbeitung, mechanische Bearbeitung | | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2016 | nicht diffe- renziert | 10 | 4** | 10 (100 %) | 0,0048 | BG ! | BG ! |
| stationär | 1990 bis 1999 | nicht diffe- renziert | 9*** | 4** | 7 (77,8 %) | 0,009 | arithmetischer Mittelwert: 0,011*** | |
| | 2000 bis 2016 | nicht diffe- renziert | 19 | 10 | 10 (52,6 %) | 0,00072 | BG ! | 0,005 |
| Nachbearbeitung, Oberflächenbeschichtung, -behandlung | | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 2016 | nicht diffe- renziert | 18 | 13 | 10 (55,6 %) | 0,0069 | BG ! | 0,032 |
| stationär | 1980 bis 1989 | nicht diffe- renziert | 19 | 5 | 4 (21,1 %) | 0,004 | 0,0015 + | 0,004 + |
| | 1990 bis 2009 | nicht diffe- renziert | 77 | 21 | 49 (63,6 %) | 0,00427 | BG ! | 0,0022 + |
| | 2010 bis 2016 | nicht diffe- renziert | 21 | 6 | 15 (71,4 %) | 0,0069 | BG ! | 0,00074 + |
| Endkontrolle | | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 1989 | nicht diffe- renziert | 4*** | 3** | 3 (75%) | 0,007 | arithmetischer Mittelwert: 0,0054*** | |
| stationär | 1980 bis 1989 | nicht diffe- renziert | 8*** | 7 | 3 (37,5 %) | 0,005 | arithmetischer Mittelwert: 0,0032*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als 10 Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.16.3 Formenbau und -reparatur

Glasprodukte werden häufig mithilfe von Formen aus nickelhaltigen Legierungen hergestellt. Dieser Werkstoff zeichnet sich durch hohe mechanische Festigkeit und Warmfestigkeit aus. Die Grundformen werden in der Regel mithilfe von CNC-Technik aus dem Rohling herausgearbeitet. Die feine Endbearbeitung der Formen erfolgt durch Ziseleure in Handarbeit. Die Formen sind bei der Verwendung durch die hohen Temperaturen des Glases zwangsläufig hohen Beanspruchung ausgesetzt. Deshalb werden die gefährdeten Oberflächen in der Form durch thermisches Spritzen geschützt und es werden durch den Materialauftrag verschlissene Kanten wiederaufgebaut. Nach dem Flammenspritzen werden die Formenmerkmale exakt durch manuelles und maschinelles Handschleifen herausgearbeitet (ziselieren). Beim Schleifen von Nickellegierungen konnten bei der Analyse der Schleifstäube metallisches Nickel, aber keine Nickeloxide wie NiO, NiO₂, Ni₂O₃ nachgewiesen werden. Beim Flammenspritzen von Nickelpulver ist mit NiO in den Stäuben zurechnen.

In MEGA dokumentierte Messungen zu „Formenbau, Formenreparatur, Schweißen“ und „Formenbau, Formenreparatur, allgemein“ (Tabelle 106) wurden fast ausschließlich an Arbeitsplätzen mit Erfassung der Emission am Entstehungsort vorgenommen, daher kann keine getrennte Auswertung nach mit bzw. ohne Erfassung erfolgen.

Zu Beginn der 1980er-Jahre konnten beim Einsatz nickelhaltiger Legierungen mit einem hohen Nickelgehalt von 70 bis 90 % bei der Formenreparatur sehr hohe Nickel-

expositionen auftreten [171; 172]. Beim Schweißen im Formenbau und in der Formenreparatur konnten bei Verwendung von Materialien mit hohem Nickelgehalt (> 30 %) aber auch noch in den 2010er-Jahren vereinzelt Nickelexpositionen von bis zu 0,57 mg/m³ Nickel gemessen werden.

6.17 Keramische Industrie

Die Branche der keramischen Industrie besteht unter anderem aus Rohstoff-, Technischer Keramik-, Porzellan-, Fliesen-, Ofenkacheln-, Feuerfest-, Ziegel- und Sanitärkeramikindustrie. Die folgenden Abschnitte folgen bei der Auswertung dieser Einteilung.

Die Erzeugung der keramischen Produkte verläuft mit den grundlegenden Verfahrensschritten:

- Rohstoffanlieferung und Aufbereitung,
- Formgebung,
- Trocknung,
- Grün-/Oberflächenbearbeitung,
- Brand,
- Endbearbeitung.

Nickelhaltige Rohstoffe kommen bei der Herstellung von keramischen Massen für den Grundkörper oder bei der Gestaltung der Oberflächen mit Glasuren, Engoben und Dekoren zum Einsatz. Hier wird je nach Artikel eine farbige, feine, elektrisch leitende, mechanisch oder chemisch feste Oberfläche nach dem Brand auf dem keramischen Scherben erzeugt.

Tabelle 106:

Formenbau und Formenreparatur bei der Herstellung von Glas: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probe-nahmeart | Datenzeitraum | Erfassung | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|---------------|---------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Formenbau, Formenreparatur, Schweißen | | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 1999 | nicht differenziert | 75 | 37 | 16 (21,3 %) | 0,05 | 0,037 + | 0,19 |
| | 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 66 | 31 | 1 (1,5 %) | 0,0048 | 0,0088 | 0,14 |
| stationär | 1980 bis 1989 | nicht differenziert | 73 | 21 | 4 (5,5 %) | 0,05 | 0,11 | 0,55 |
| | 1990 bis 1999 | nicht differenziert | 52 | 26 | 3 (5,8 %) | 0,0045 | 0,01 | 0,35 |
| | 2000 bis 2009 | nicht differenziert | 42 | 19 | 3 (7,1 %) | 0,00079 | 0,0054 | 0,030 |
| | 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 18 | 9 | 0 | k. A. | 0,0095 | 0,029 |
| Formenbau, Formenreparatur, mechanische Bearbeitung | | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 1989 | nicht differenziert | 47 | 17 | 3 (6,4 %) | 0,05 | 0,1 | 0,72 |
| | 1990 bis 2016 | nicht differenziert | 252 | 57 | 15 (6 %) | 0,009 | 0,024 | 0,25 |
| stationär | 1980 bis 1989 | nicht differenziert | 83 | 21 | 5 (6 %) | 0,05 | 0,05 + | 0,61 |
| | 1990 bis 1999 | ohne | 29 | 13 | 1 (3,4 %) | 0,0004 | 0,012 | 0,23 |
| | 1990 bis 1999 | mit | 147 | 39 | 5 (3,4 %) | 0,012 | 0,02 | 0,15 |
| | 2000 bis 2009 | nicht differenziert | 127 | 34 | 6 (4,7 %) | 0,02 | 0,011 + | 0,11 |
| | 2010 bis 2016 | nicht differenziert | 12 | 7 | 0 | k. A. | 0,0031 | 0,018 |
| Formenbau, Formenreparatur, allgemein | | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 1999 | nicht differenziert | 63 | 13 | 6 (9,5 %) | 0,07 | 0,07 + | 0,84 |
| | 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 29 | 14 | 0 | k. A. | 0,023 | 0,15 |
| stationär | 1980 bis 1999 | nicht differenziert | 67 | 12 | 1 (1,5 %) | 0,00028 | 0,04 | 0,12 |
| | 2000 bis 2016 | nicht differenziert | 43 | 19 | 3 (7 %) | 0,0028 | 0,0076 | 0,055 |

Tabelle 107:

Herstellung von Technischer Keramik und Sonderkeramik: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | 21 | 6 | 5 (23,8 %) | 0,0031 | 0,0089 | 0,15 |
| 2000 bis 2016 | 27 | 12 | 19 (70,4 %) | 0,0041 | BG ! | 0,010 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1980 bis 1989 | 16 | 5 | 2 (12,5 %) | 0,01 | 0,01 + | 0,034 |
| 1990 bis 1999 | 60 | 14 | 29 (48,3 %) | 0,005 | 0,00098 + | 0,008 |
| 2000 bis 2009 | 33 | 10 | 21 (63,6 %) | 0,0015 | BG ! | 0,0013 + |
| 2010 bis 2016 | 22 | 8 | 9 (40,9 %) | 0,00032 | 0,000038 + | 0,00026 + |

Tabelle 108:

Herstellung von Technischer und Sonderkeramik: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|---|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Aufbereitung | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 2016 | 13 | 9 | 6 (46,2 %) | 0,0024 | 0,0021 + | 0,037 |
| stationär | 1980 bis 2016 | 17 | 8 | 10 (58,8 %) | 0,005 | BG ! | 0,033 |
| Formgebung | | | | | | | |
| an der Person | 2000 bis 2016 | 7*** | 5 | 5 (71,4 %) | 0,00025 | arithmetischer Mittelwert: 0,000244*** | |
| stationär | 1980 bis 2016 | 14 | 8 | 6 (42,9 %) | 0,00045 | 0,000035 + | 0,0056 |
| Oberflächenbeschichtung von Bauteilen | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 1999 | 5*** | 3** | 3 (60 %) | 0,003 | arithmetischer Mittelwert: 0,10*** | |
| stationär | 1990 bis 2016 | 33 | 12 | 21 (63,6%) | 0,005 | BG ! | 0,0022 + |
| Nachbearbeitung | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2016 | 6*** | 4** | 4 (66,7 %) | 0,00025 | arithmetischer Mittelwert: 0,011*** | |
| stationär | 1990 bis 2016 | 10 | 7 | 2 (20 %) | 0,00041 | 0,0013 | 0,029 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 109:

Herstellung von Porzellan, Gebrauchs-, Zier- und Kunstkeramik: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Datenzeitraum und Probenahmeart

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1980 bis 2016 | 30 | 14 | 19 (63,3 %) | 0,009 | BG ! | 0,0098 |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1980 bis 1989 | 16 | 10 | 5 (31,3 %) | 0,005 | 0,002 + | 1,16 |
| 1990 bis 1999 | 62 | 23 | 48 (77,4 %) | 0,003 | BG ! | 0,001 + |
| 2000 bis 2016 | 14 | 8 | 9 (64,3 %) | 0,001 | BG ! | 0,00042 + |

6.17.1 Technische Keramik und Sonderkeramik

In der technischen Keramik wird Nickel eingesetzt um die elektrischen Eigenschaften der Bauteile zu verändern. Zu diesem Zweck werden Nickel und Nickelverbindungen direkt in die keramische Rohmasse gegeben oder auf die Oberfläche der Bauteile aufgetragen. In **Tabelle 107** sind die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickelexposition bei der Herstellung von Technischer Keramik und Sonderkeramik im Überblick dargestellt. Für die Messungen an der Person und für stationäre Messungen zeigt sich eine Abnahme der Expositionshöhe mit der Zeit.

Hohe Werte wurden im Bereich technische Keramik bei der Aufbereitung der Rohstoffe, bei der Oberflächenbehandlung von keramischen Bauteilen und beim Reinigen des Materials durch manuelle Tätigkeiten gefunden. Die in MEGA gespeicherten Werte zur Nickelexposition bei der Herstellung von Technischer und Sonderkeramik sind in **Tabelle 108** differenziert nach Arbeitsbereichen dargestellt. Die Zugabe der Rohstoffe erfolgt durch manuelles Abwiegen. Häufig sind hier noch Aufbereitungs- und Klassierschritte vorgeschaltet. Typische Aufbereitungsschritte sind mechanisches Zerkleinern oder Granulieren. In der Gruppe Formgebung wurden Messungen durch Pressen, Gießen und Drehen ausgewertet. Die Oberflächenbeschichtung der keramischen Bauteile erfolgt durch das Auftragen von Glasuren, Engoben und Dekoren durch Spritzen, Tauchen, Siebdruck, Bemalen, in Hochvakuum-Bedampfanlagen und durch galvanische Verfahren (s. Abschnitt 6.11). Die Oberflächenbeschichtung wird in einem Brennprozess eingebrannt. Bei der anschließenden Nachbearbeitung werden die Oberflächen, Kanten oder späteren Montage- und Standflächen teils maschinell und teils manuell beschliffen, poliert, entgratet und begradigt.

6.17.2 Porzellan, Gebrauchs-, Zier- und Kunstkeramik

Im Bereich der Herstellung von Porzellan, Gebrauchs-, Zier- und Kunstkeramik wurden bei Messungen an der Person mit einem 90%-Wert von 0,0098 mg/m³ nur relativ niedrige Nickelexpositionen gemessen (**Tabelle 109**). Hingegen wurden von 1980 bis 1989 bei stationären Messungen in der Metallformenherstellung hohe Werte von über 1 mg/m³ gemessen. Diese Messergebnisse wurden ausschließlich im Bereich Ziselierarbeiten beim Bau und bei der Reparatur von Formen für keramische Pressen gewonnen.

Höhere Messwerte ergeben sich im Bereich Aufbereitung bei der Zugabe von Rohstoffen durch manuelles Abwiegen und Dosieren (**Tabelle 110**). Häufig sind hier noch Aufbereitungs- und Klassierschritte vorgeschaltet. Typische Aufbereitungsschritte sind mechanisches Zerkleinern oder Granulieren. Für die in der Arbeitsbereichsgruppe „Fertigmachen zum Brand“ dargestellten Werte wurden überwiegend Messungen bei Tätigkeiten zur Oberflächenbeschichtung ausgewertet. Die Oberflächenbeschichtung von Porzellanteilen erfolgt durch das Auftragen von Glasuren, Engoben und Dekoren durch Aufspritzen, Tauchen, Siebdruck, Bemalen und Übergießen. Die Oberflächenbeschichtung wird in einem Brennprozess eingebrannt. Bei der anschließenden Nachbearbeitung werden die Oberflächen, Kanten oder späteren Montage- und Standflächen teils maschinell und teils manuell beschliffen, poliert, entgratet und begradigt.

Tabelle 110:

Herstellung von Porzellan, Gebrauchs-, Zier- und Kunstkeramik: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|-------------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Aufbereitung | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2016 | 17 | 8 | 11 (64,7 %) | 0,009 | BG ! | 0,059 |
| stationär | 1990 bis 2009 | 16 | 12 | 11 (68,8 %) | 0,003 | BG ! | 0,0009 + |
| Fertigmachen zum Brand | | | | | | | |
| an der Person | 1980 bis 2016 | 12 | 7 | 8 (66,7 %) | 0,007 | BG ! | 0,0067 + |
| stationär | 1980 bis 2016 | 51 | 24 | 41 (80,4 %) | 0,005 | BG ! | 0,00065 + |
| Nachbearbeitung | | | | | | | |
| stationär | 1980 bis 1999 | 8*** | 3** | 6 (75 %) | 0,005 | arithmetischer Mittelwert: 0,056*** | |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

Tabelle 111:

Herstellung von Wand-/Bodenfliesen, Ofenkacheln und Baukeramik: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion, stationäre Probenahme; Differenzierung nach Datenzeitraum

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | 59 | 11 | 40 (67,8 %) | 0,02 | BG ! | 0,004 + |
| 2000 bis 2016 | 18 | 6 | 10 (55,6 %) | 0,00061 | BG ! | 0,0003 + |

Tabelle 112:

Herstellung von Wand-/Bodenfliesen, Ofenkacheln und Baukeramik: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Arbeitsbereichen, Probenahmeart und Datenzeitraum

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|-------------------------------|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Aufbereitung | | | | | | | |
| stationär | 1980 bis 2016 | 22 | 9 | 16 (72,7 %) | 0,005 | BG ! | 0,00049 + |
| Fertigmachen zum Brand | | | | | | | |
| stationär | 1980 bis 1999 | 30 | 7 | 19 (63,3 %) | 0,004 | BG ! | 0,003 + |
| stationär | 2000 bis 2016 | 11 | 5 | 8 (72,7 %) | 0,00061 | BG ! | 0,0003 + |

Tabelle 113:

Herstellung von Feuerfester Ware und Ziegeleierzeugnissen: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1990 bis 2016 | 9*** | 6 | 1 (11,1%) | 0,00023 | arithmetischer Mittelwert: 0,055*** | |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1980 bis 2016 | 27 | 15 | 12 (44,4%) | 0,05 | 0,00042 + | 0,022 + |

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.17.3 Wand-/Bodenfliesen, Ofenkacheln und Baukeramik

Die Masse für die Herstellung von Fliesen besteht aus Ton, Kaolin und mineralischen Zuschlagstoffen wie Feldspat, Dolomit und Schamotte. Die Rohstoffe werden in Trommelmühlen gemahlen und anschließend in Wasser suspendiert. Der so gewonnenen Schlicker wird in einen beheizten Sprühturm eingedüst. Unter hohem Druck wird das dabei entstehende Sprühgranulat, teilweise auch Trockenpressmasse, auf hydraulischen Pressen zu Fliesen geformt. Fliesen werden entweder im Einbrandverfahren gebrannt oder die Glasur wird separat in einem Zweitbrand aufgeschmolzen. Ofenkacheln werden aus mit Schamotte gemagerter, plastischer Tonmasse gepresst, komplizierte Formen auch gegossen. Nickelhaltige Bestandteile können sich in den Glasuren befinden. Aus der Sicht der Technik haben Glasuren den Zweck, dem keramischen Körper Dichte, Härte, Glätte und Farbe zu verleihen. Die Nickelbestandteile in den Glasuren dienen zur Farbgebung der Oberflächen, z. B. Grünfärbung. In **Tabelle 111** ist die Auswertung stationärer Messungen dargestellt. Die 90. Perzentile liegen sehr niedrig. In diesen Branchen liegen nur drei Messungen an der Person vor, die alle unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegen.

Der Arbeitsschritt „Aufbereitung“ in **Tabelle 112** beinhaltet Messwerte aus der Glasuraufbereitung. Hier gibt es Arbeitsplätze mit Tätigkeiten zum Einwiegen, Zerkleinern, Klassieren und Abfüllen der Glasurrohstoffe. Als wichtigstes Zerkleinerungsaggregat werden Trommelmühlen eingesetzt. Im Arbeitsschritt „Fertigmachen zum Brand“ sind Messwerte aus dem Bereich Glasieren der keramischen

Oberflächen enthalten. Der Glasurauftrag geschieht durch Tauchen, Übergießen oder Spritzen. Besondere Dekore (Schmuckdekor) werden auch händisch aufgemalt.

Nickelexpositionen beim Schweißen in der Branche „Herstellung von Wand-/Bodenfliesen, Ofenkacheln und Baukeramik“ sind anhand der branchenübergreifenden Auswertungen in Abschnitt 6.8 zu bewerten.

6.17.4 Feuerfeste Waren, Ziegeleierzeugnisse

Hohe Expositionen von über 0,1 mg/m³ treten bei Messungen an der Person bei allgemeinen Werkstattarbeiten auf, bei denen es sich auch um Schweißarbeiten handelt. Bei stationärer Messung wurden keine Expositionen über 0,1 mg/m³ gemessen (**Tabelle 113**). Die höchsten Messergebnisse ergaben sich im Bereich Bau und Reparatur von Formen für keramische Pressen mit Ziselierarbeiten. Höhere Expositionen treten im Bereich der Aufbereitung der Rohstoffe bei der manuellen Dosierung von nickelhaltigen Engoben auf. Im Bereich Nachbereitung entstehen höhere Nickelkonzentrationen, wenn Kanten oder spätere Montage- und Standflächen von mit nickelhaltigen Glasuren beschichteten Bauelementen teils maschinell und teils manuell beschliffen, poliert, entgratet und begradigt werden.

Nickelexpositionen beim Schweißen in den Branchen Herstellung Feuerfester Waren und Ziegeleierzeugnisse sind anhand der branchenübergreifenden Auswertungen in Abschnitt 6.8 zu bewerten.

Tabelle 114:

Herstellung von Sanitärkeramik: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; stationär Probenahme

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | 25 | 4** | 25 (100 %) | 0,005 | BG ! | BG ! |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

Tabelle 115:

Herstellung von Emaille: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Probenahme an der Person und stationär

| Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Probenahme an der Person | | | | | | |
| 1990 bis 1999 | 6*** | 2** | 0 | k. A. | arithmetischer Mittelwert: 0,090*** | |
| stationäre Probenahme | | | | | | |
| 1980 bis 1999 | 16 | 6 | 5 (31,3 %) | 0,0089 | 0,0046 + | 0,038 |

** Es sind weniger als fünf Betriebe im Kollektiv enthalten. Daher sind die Daten möglicherweise nicht geeignet, eine gesamte Branche oder einen gesamten Bereich zu repräsentieren.

*** Es liegen weniger als zehn Messwerte aus MEGA vor. Daher wird hier nur der arithmetische Mittelwert angegeben. Der 90%-Wert kann dann durch 2*arithmetischer Mittelwert abgeschätzt werden.

6.17.5 Sanitärkeramik

Die Masse für die Herstellung von WCs, Waschbecken oder Urinalen besteht aus Ton, Kaolin und mineralischen Zuschlagstoffen wie Feldspat und Dolomit. Die Rohstoffe werden in Trommelmühlen gemahlen und anschließend in Wasser suspendiert. Der so gewonnene Schlicker wird in Formen gegossen. Nach dem Ausformen werden die Formlinge getrocknet und verputzt. Um der Oberfläche von Sanitärkeramiken Dichte, Härte, Glätte und Farbe zu verleihen, werden diese glasiert und dekoriert. Glasuren und Dekore werden durch Aufspritzen, Tauchen, Siebdruck, Bemalen und Übergießen aufgetragen. Nickelhaltige Bestandteile können sich in den Glasuren befinden. Diese dienen zur Farbgebung der Oberflächen, z. B. Grünfärbung. Im Bereich der Sanitärkeramik treten Nickelexpositionen daher bei der manuellen Dosierung von nickelhaltigen Komponenten für Glasuren und beim anschließenden Auftragen auf die keramischen Körper durch Spritzen auf. Alle in MEGA gespeicherten Messwerte zur Nickelexposition in der E-Fraktion bei der Herstellung von Sanitärkeramik liegen unter der Bestimmungsgrenze des analytischen Verfahrens (Tabelle 114).

6.17.6 Herstellung von Emaille

Emaille wird im Wesentlichen aus mineralischen Rohstoffen wie Borax, Feldspat, Flussspat, Quarzsand und Soda

hergestellt. Hinzugegeben werden je nach gewünschter Farbeigenschaft Kobalt-, Mangan-, Nickeloxid usw., die fein gemahlen werden. Das Mehl wird aufgeschmolzen und die heiße Schmelze in kaltem Wasser abgeschreckt. Dadurch erstarrt die Schmelze und zerspringt zur Emailfritte. Hohe Expositionen von über 0,1 mg/m³ treten bei Messungen an der Person am Trockenmischer beim Dosieren und am Schmelzofen auf. Bei stationärer Messung treten Expositionen über 0,03 mg/m³ am Trockenmischer auf und führen zu einem hohen 90%-Wert (Tabelle 115).

6.18 Großhandel

In Tabelle 116 sind Expositionsdaten zu Lagerarbeiten im Großhandel dargestellt. Dabei wird der Großhandel mit Metallen getrennt vom Großhandel mit sonstigen Produkten. Die bemessenen Tätigkeiten umfassen neben Füllen, Wiegen, Fördern auch Sortierarbeiten. Wie zu erwarten liegen die Nickelexpositionen im Großhandel mit Metallen höher als beim Großhandel mit sonstigen Produkten. Insgesamt sind die Expositionen bei den Lagerarbeiten auch im Großhandel mit Metallen mit einem 90%-Wert von 0,017 mg/m³ bei Probenahme an der Person und 0,0049 mg/m³ bei stationärer Probenahme (Tabelle 114) relativ niedrig. Expositionen beim Schweißen, Brennschneiden und Löten im Großhandel werden im Abschnitt 6.8 branchenübergreifend ausgewertet und dargestellt.

Tabelle 116:

Großhandel: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach den gehandelten Produkten und nach Probenahmeart

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|--|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Großhandel, Metall: Lagerarbeiten | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2016 | 28 | 17 | 10 (35,7 %) | 0,005 | 0,0016 + | 0,017 |
| stationär | 1980 bis 2016 | 15 | 13 | 6 (40 %) | 0,0048 | 0,0013 + | 0,0049 |
| Großhandel, sonstige: Lagerarbeiten | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2016 | 10 | 7 | 7 (70 %) | 0,008 | BG ! | 0,0024 + |
| stationär | 1990 bis 2016 | 14 | 11 | 3 (21,4 %) | 0,00026 | 0,00033 | 0,00086 |

Tabelle 117:

Abfallsammlung/-entsorgung und Abfallverbrennung: Expositionsdaten zu Nickel in der E-Fraktion; Differenzierung nach Probenahme an der Person und stationär

| Probenahmeart | Datenzeitraum | Anzahl Messwerte | Anzahl Betriebe | Anzahl und (%) Werte < BG * | Höchste BG * in mg/m ³ | Konzentrationen in mg/m ³ | |
|---|---------------|------------------|-----------------|-----------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|------------|
| | | | | | | 50%-Wert * | 90%-Wert * |
| Abfallsammlung und -entsorgung | | | | | | | |
| an der Person | 1993 bis 2016 | 33 | 14 | 30 (90,9 %) | 0,04 | BG ! | BG ! |
| stationär | 1989 bis 2012 | 33 | 16 | 25 (75,8 %) | 0,07 | BG ! | 0,0076 + |
| Abfallverbrennung: Fördern, Füllen, Lagern | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2000 | 10 | 7 | 10 (100 %) | 0,01 | BG ! | BG ! |
| stationär | 1989 bis 2014 | 34 | 10 | 20 (58,8 %) | 0,01 | BG ! | 0,0022 + |
| Abfallverbrennung: Revisionsarbeiten, Reparatur und Wartung, Reinigung | | | | | | | |
| an der Person | 1990 bis 2016 | 76 | 18 | 50 (65,8 %) | 0,06 | BG ! | 0,086 |
| stationär | 1989 bis 2010 | 34 | 12 | 24 (70,6 %) | 0,02 | BG ! | 0,0097 + |

Entsprechend werden Expositionen beim Schleifen und bei weiteren abrasiven Verfahren im Großhandel im Abschnitt 6.9 branchenübergreifend ausgewertet und dargestellt. Messwerte an der Person liegen jeweils über den stationären Messwerten. Für eine Differenzierung nach Datenzeitraum liegen zu wenige Daten vor. Auch wenn für **Tabelle 116** Messungen ab 1980 ausgewertet werden konnten, lag der Schwerpunkt der Messungen ab 2000.

6.19 Abfallsammlung und -entsorgung, Abfallverbrennung

Ausgewertet wurden folgende Arbeitsbereiche: Umfüllarbeiten, Fördern, Sortieren, Sieben, Reinigung des Raumes, Revisionsarbeiten, Reparatur und Wartung. Auswertungen zu Schweißarbeiten und zum Brennschneiden finden sich in Abschnitt 6.8, zur spanenden bzw. abrasiven Bearbeitung im Abschnitt 6.9. Insgesamt liegen die Expositionen sehr niedrig, zum Teil liegt bei über 90 % der Proben das Messergebnis unterhalb der Bestim-

mungsgrenze (**Tabelle 117**). Die höchsten Expositionen wurden mit einem 90. Perzentil von 0,086 mg Ni/m³ bei Revisionsarbeiten und beim Reinigen von Anlagen in der Abfallverbrennung gemessen.

Bei Revisionsarbeiten in Müllverbrennungsanlagen wird teilweise die ganze feuerfeste Innenauskleidung erneuert. Die dabei auftretenden Expositionen entsprechen den in Abschnitt 6.9.7 unter Stemmen und Meißeln dargestellten Expositionen. Revisionsarbeiten umfassen auch den Auf- und Abbau von Gerüsten vor und nach den eigentlichen Revisionsarbeiten. Beim Abbau der Gerüste im Kessel ist aufgrund der Staubbelastung mit höheren Expositionen zu rechnen als beim Aufbau der Gerüste. Hier wurden bis zu 1,3 mg Ni/m³ gemessen.

Bei in MEGA vorliegenden Expositionsmessungen zur Abwasserbehandlung handelt es sich überwiegend um Messungen in Galvanikbetrieben. Diese werden im Abschnitt 6.11 dargestellt.

7 Anhang

7.1 Gusswerkstoffe

Nickel wird als Legierungselement in Gusseisen, Stahlguss, Kupfer- und Leichtmetalllegierungen verwendet. Es verleiht den Werkstoffen Eigenschaften wie Korrosionsbeständigkeit, Kaltzähigkeit, Warmfestigkeit oder Hitzebeständigkeit. Die Werkstoffe werden in der chemischen Industrie, der Nahrungsmittelindustrie, im Schiffbau, im Automobilbau und in vielen anderen Branchen eingesetzt. Die Höhe der Nickelgehalte richtet sich nach dem Einsatzzweck.

Nickel kann jedoch auch in Form von Nickelgusslegierungen mit Gehalten > 90 % Nickel verwendet werden. Diese Nickelgusslegierungen werden in der Nahrungsmittelindustrie und der chemischen Industrie eingesetzt. Die nachfolgend angeführten Nickelgehalte der einzelnen Gusswerkstoffe beziehen sich auf Masseanteile. Ältere Werkstoffsorten sind in historischen Normen zu recherchieren. Dazu zählen auch alle zurückgezogenen DIN. Im Gebiet der ehemaligen DDR galt als Norm die TGL.

7.1.1 Eisengusswerkstoffe

Zu den Eisengusswerkstoffen gehören im Wesentlichen Stahlguss, Gusseisen mit Lamellengraphit, Gusseisen mit Kugelgraphit und Temperguss.

In Deutschland gefertigte Gussteile aus Eisengusswerkstoffen:

- 56 % als Gusseisen mit Lamellengraphit
- 38 % als Gusseisen mit Kugelgraphit
- 5 % als Stahlguss
- 1 % als Temperguss

7.1.1.1 Stahlguss

Stahlguss gehört zu den Eisengusswerkstoffen. In Deutschland hat Stahlguss einen Anteil von 5 % an allen Eisengusswerkstoffen. Angaben zu Nickelgehalten in Stahlguss sind in DIN-Normen bzw. Stahl-Eisen-Werkstoffdatenblättern enthalten. Die frühere DIN 1681 „Stahlguss für allgemeine Anwendungen“ wurde zurückgezogen und durch die DIN EN 10293 ersetzt. Die chemische Zusammensetzung war in der DIN 1681 bei Stahlguss für allgemeine Anwendungen nicht geregelt.

Im aktuellen Entwurf zur DIN EN 10293 (prEN 10293:2012) wird unlegierter und legierter Stahlguss zusammengefasst. Die chemische Zusammensetzung der Schmelzana-

lyse muss vorgegebenen Werten entsprechen. Legierter Stahlguss kann demnach je nach Sorte bis 6 % Nickel enthalten. Wenn der Nickelgehalt nicht vorgeschrieben ist, gilt für Nickel in legiertem und unlegiertem Stahlguss eine Obergrenze von 0,4 %.

In der DIN EN 10213 „Stahlguss für Druckbehälter“ sind einzelne Legierungen festgelegt. Je nach Gusswerkstoff kann die Legierung max. 0,4 % Nickel enthalten. Im höher legierten Bereich sind Nickelgehalte bis 33 % möglich.

Die DIN EN 10283 „Korrosionsbeständiger Stahlguss“ regelt in Tabelle 1 die chemische Zusammensetzung der Schmelzanalyse wie folgt:

- Martensitische Sorten: 1,0 bis 6,0 % Nickel
- Austenitische Sorten: 8,0 bis 14,0 % Nickel
- Vollaustenitische Sorten: 17,0 bis 30,0 % Nickel
- Ferritisch-austenitische Sorten: 4,5 bis 8,5 % Nickel

Für Recherchen ist zu beachten, dass die DIN 17182 „Stahlgussorten mit verbesserter Schweißbeignung und Zähigkeit für allgemeine Verwendungszwecke“ zurückgezogen und durch die DIN EN 10213 und DIN EN 10293 ersetzt wurde. Die DIN 17205 „Vergütungsstahlguss für allgemeine Verwendungszwecke“ wurde ebenfalls durch die DIN EN 10293 ersetzt. Die DIN 17465 wurde zurückgezogen und durch die DIN EN 10295 „Hitzebeständiger Stahlguss“ ersetzt.

Informationen zu Nickelgehalten in Stählen können auch in den Stahl-Eisen-Werkstoffblättern enthalten sein:

- Das Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 395 „Nichtmagnetisierbarer Stahlguss“ regelt die Nickelgehalte in der Schmelzanalyse dieser Gusswerkstoffe. Die Nickelgehalte liegen in einem Bereich von 5,0 bis 17,0 %.
- Das Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 685 „Kaltzäher Stahlguss“ regelt die Nickelgehalte in der Schmelzanalyse dieser Gusswerkstoffe. Die Nickelgehalte bewegen sich in einem Bereich von 0,6 bis 11,0 %.
- Das Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 835 „Stahlguss für Flamm- und Induktionshärtung“ regelt die Nickelgehalte in der Schmelzanalyse dieser Gusswerkstoffe. Der Nickelgehalt muss $< 0,4$ % betragen.

7.1.1.2 Eisenguss

Unter Gusseisen werden Legierungen aus Eisen, Kohlenstoff und Silizium verstanden, bei denen der Kohlenstoffgehalt mindestens 2 % beträgt. Der Kohlenstoff wird im Gefüge, z. B. als Lamellengraphit oder Kugelgraphit, aus-

geschieden. Die Werkstoffe werden dann als Gusseisen mit Kugelgraphit oder Gusseisen mit Lamellengraphit bezeichnet. Daneben gibt es noch andere Gusseisen-sorten wie Temperguss, der nach dem Gießen einer speziellen Wärmebehandlung unterzogen wird. Gusseisen mit Vermiculargraphit und Hartguss sind weitere Vertreter dieser Werkstoffgruppe, die an dieser Stelle der Vollständigkeit halber mit genannt sind. Diese Werkstoffsorten werden jedoch nur in geringem Umfang gefertigt.

Nachfolgend werden die wichtigsten Normen zu Gusseisen vorgestellt. Bei BK-Ermittlungen ist auch im Bereich des Gusseisens möglichst immer die genaue Bezeichnung des Materials zu recherchieren, damit unlegierte Werkstoffe von legierten Werkstoffen unterschieden werden können.

- DIN EN 1561 regelt die Eigenschaften von legiertem und niedrig legiertem Gusseisen mit Lamellengraphit. Zur Schmelzanalyse gibt es keine Festlegungen und somit auch keine Angaben zu Nickelgehalten.
- DIN EN 1562 regelt die Eigenschaften von Temperguss. Für die Schmelzanalyse gibt es keine Festlegungen zu Nickelgehalten.
- DIN EN 1563 regelt die Eigenschaften von Gusseisen mit Kugelgraphit. Für die Schmelzanalyse gibt es keine Festlegungen zu Nickelgehalten.
- DIN EN 12513 regelt die Eigenschaften von verschleißbeständigem Gusseisen.
- DIN EN 13835 regelt die Eigenschaften von austenitischem Gusseisen. Der Graphit kann sowohl lamellar als auch kugelförmig vorliegen. Durch Nickelgehalte von mehr als 10 % wird im Gusseisen der eutektoide Zerfall des Austenits verhindert. Bei der chemischen Zusammensetzung wird unterschieden zwischen Normal- und Sondersorten. Normalsorten können von 13,5 bis 36,0 % Nickel enthalten. In Sondersorten sind Nickelgehalte von 12,0 bis 36,0 % möglich.

Verwendung finden diese Gusseisensorten für folgende Produkte:

- nichtmagnetisierbare Gussstücke
- korrosions- und hitzebeständige Gussstücke
- Abgasleitungen
- Elektroofenteile
- Gussstücke für Kältetechnik
- wärmeschockbeständige Gussstücke
- Teile für Glaspressformen
- Gasturbinengehäuseteile
- Turboladerteile

Tabelle zu 7.1.2.1:
Nickelgehalt in Aluminiumgusswerkstoffen

| Aluminiumgusswerkstoffe | Nickelgehalt in % |
|----------------------------------|-------------------|
| Legierungsgruppe AlCu | |
| EN AC-Al Cu4MgTi | 0,05 |
| EN AC-Al Cu4MnMg | 0,05 |
| Legierungsgruppe AlSiMgTi | |
| EN AC-Al Si2MgTi | 0,05 |
| Legierungsgruppe AlSi7Mg | |
| EN AC-Al Si7Mg | 0,15 |
| Legierungsgruppe AlSi10Mg | |
| EN AC-Al Si10Mg | 0,05 |
| EN AC-Al Si10Mg(Cu) | 0,15 |
| EN AC-Al Si10Mg(Fe) | 0,15 |
| Legierungsgruppe AlSi | |
| EN AC-Al Si12 | 0,10 |
| EN AC-Al Si9 | 0,05 |
| Legierungsgruppe AlSi5Cu | |
| EN AC-Al Si6Cu4 | 0,45 |
| EN AC-Al Si5Cu3Mg | 0,10 |
| EN AC-Al Si5Cu1Mg | 0,25 |
| EN AC-Al Si5Cu3 | 0,10 |
| Legierungsgruppe AlSi9Cu | |
| EN AC-Al Si9Cu3(Fe) | 0,55 |
| Legierungsgruppe AlSi9Cu | |
| EN AC-Al Si11Cu2(Fe) | 0,45 |
| EN AC-Al Si8Cu3 | 0,35 |
| EN AC-Al Si7Cu3Mg | 0,30 |
| EN AC-Al Si9Cu1Mg | 0,20 |
| EN AC-Al Si9Cu3(Fe)(Zn) | 0,55 |
| EN AC-Al Si7Cu2 | 0,35 |
| Legierungsgruppe AlSi(Cu) | |
| EN AC-Al Si12(Cu) | 0,30 |
| EN AC-Al Si12Cu1(Fe) | 0,30 |
| EN AC-Al Si12(Fe) | 0,20 |
| Legierungsgruppe AlSiCuMg | |
| EN AC-Al Si12CuNiMg | 0,7 bis 1,3 |
| EN AC-Al Si17Cu4Mg | 0,30 |
| EN AC-Al Si15Cu3MgFe | 0,30 |
| Legierungsgruppe AlMg | |
| EN AC-Al Mg9 | 0,10 |

7.1.2 Nichteisenmetalle als Gusswerkstoffe

Zu den NE-Metallgusswerkstoffen gehören im Wesentlichen Aluminium, Magnesium, Kupfer, Zink, Titan und Nickel. Reine Nickellegierungen spielen eine untergeordnete Rolle. In Deutschland verteilen sich Gussteile im NE-Metallbereich wie folgt:

- 86 % als Aluminiumguss
- 8 % als Kupferguss
- 4 % als Zinkguss
- 2 % als Magnesiumguss

7.1.2.1 Aluminiumgusswerkstoffe

Die chemische Zusammensetzung der Aluminiumgusswerkstoffe und mechanischen Eigenschaften werden in DIN EN 1706 festgelegt. Bei Aluminiumgusswerkstoffen sind geringe Nickelgehalte unter 1 % möglich. Eine Ausnahme bildet die Legierung AlSiCuNiMg, die bis 1,3 % Nickel enthalten kann.

7.1.2.2 Kupfer- und Kupfergusswerkstoffe

In Gießereien wird eine Vielzahl von Kupferlegierungen vergossen. DIN EN 1982 regelt die chemische Zusammensetzung und Eigenschaften dieser Werkstoffgruppe. Legierungen von Kupfer, Zinn und Nickel werden z. B. für Armaturen und Pumpen verwendet. Die Werkstoffsorten

mit Kupfer, Aluminium, Nickel und Eisen werden z. B. für Hebel, Gehäuse und Buchsen eingesetzt. Legierungen aus Kupfer, Nickel, Eisen und Mangan finden sich z. B. im Schiffbau, in der Lebensmittel- und Getränkeindustrie.

7.1.2.3 Magnesiumgusswerkstoffe

Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften von Blockmetallen und Gussstücken aus Magnesiumlegierungen werden in DIN EN 1753 festgelegt. Magnesiumlegierungen für Gussstücke können in geringem Umfang Nickel von 0,001 bis 0,01 % enthalten.

7.1.2.4 Titangusswerkstoffe

Die chemische Zusammensetzung von Titanwerkstoffen wird in DIN 17865 geregelt. In der Titanlegierung G-TiNi_{0,8}Mo_{0,3} sind minimal 0,6 % und maximal 0,9 % Nickel enthalten.

7.1.2.5 Nickelgusswerkstoffe

Die chemische Zusammensetzung von Nickel- und Nickel-Kupfer-Gusslegierungen wird in DIN 17730 geregelt. Die Werkstoffe werden im Sandguss gefertigt. In Nickelgusslegierungen sind mindestens 90 % Nickel enthalten. Nickel-Kupfer-Gusslegierungen weisen zwischen 60 und 62 % Nickel auf.

Tabelle zu 7.1.2.2:
Übersicht zu den Nickelgehalten in Kupfer und Kupfergusslegierungen

| Kupfer und Kupfergusslegierungen | Gussart | Nickelgehalt in % |
|--------------------------------------|--|--------------------|
| Kupfer- und Kupfer-Chrom-Legierungen | | |
| | | keine Festlegungen |
| Kupfer-Zink-Legierungen | | |
| CuZn33Pb2-C | Sand- und Schleuderguss | max. 1,0 |
| CuZn33Pb2Si-C | Druckguss | max. 0,8 |
| CuZn35Pb2Al-C | Kokillenguss und Druckguss | 0,2 |
| CuZn39Pb1Al-C | Sandguss, Druckguss, Schleuderguss und Kokillenguss | max. 1,0 |
| CuZn39Pb1AlB-C | Kokillenguss und Druckguss | max. 0,2 |
| CuZn15As-C | Sandguss | max. 0,1 |
| CuZn16Si4-C | Sandguss, Druckguss, Schleuderguss und Kokillenguss | max. 1,0 |
| CuZn25Al5Mn4Fe3-C | Sandguss, Schleuderguss und Kokillenguss | max. 3,0 |
| CuZn32Al2Mn2Fe1-C | Sandguss und Druckguss | max. 2,5 |
| CuZn34Mn3Al2Fe1-C | Sandguss, Kokillenguss und Schleuderguss | max. 3,0 |
| CuZn35Mn2Al1Fe1-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 6,0 |
| CuZn37Al1-C | Kokillenguss | max. 2,0 |
| CuZn38Al-C | Kokillenguss | max. 1,0 |

| Kupfer und Kupfergusslegierungen | Gussart | Nickelgehalt in % |
|--|--|-------------------------|
| Kupfer-Zinn-Legierungen | | |
| CuSn10-C | Sandguss, Kokillenguss, Strangguss und Schleuderguss | max. 2,0 |
| CuSn11P-C | Sandguss, Kokillenguss, Strangguss und Schleuderguss | max. 0,1 |
| CuSn11Pb2-C | Sandguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 2,0 |
| CuSn12-C | Sandguss, Kokillenguss, Strangguss und Schleuderguss | max. 2,0 |
| CuSn12Ni2-C | Sandguss, Schleuderguss und Strangguss | min. 1,5 bis max. 2,5 |
| Kupfer-Zinn-Blei-Legierungen | | |
| CuSn3Zn8Pb5-C | Sandguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 2,0 |
| CuSn5Zn5Pb2-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 0,6 |
| CuSn5Zn5Pb5-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 2,0 |
| CuSn7Zn2Pb3-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 2,0 |
| CuSn7Zn4Pb7-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 2,0 |
| CuSn6Zn4Pb2-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 1,0 |
| CuSn5Pb9-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 2,0 |
| CuSn10Pb10-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 2,0 |
| CuSn7Pb15-C | Sandguss, Kokillenguss und Schleuderguss | min. 0,5 bis max. 2 |
| CuSn5Pb20-C | Sandguss, Kokillenguss und Schleuderguss | min. 1,5 bis max. 4 |
| Kupfer-Aluminium-Legierungen | | |
| CuAl9-C | Kokillenguss und Schleuderguss | max. 1,0 |
| CuAl10Fe2-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | max. 1,5 |
| CuAl10Ni3Fe2-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | min. 0,5 bis max. 2,5 |
| CuAl10Fe5Ni5-C | Sandguss, Kokillenguss, Schleuderguss und Strangguss | min. 4,0 bis max. 6,0 |
| CuAl11Fe6Ni6-C | Sandguss, Kokillenguss und Schleuderguss | min. 4,0 bis max. 7,5 |
| Kupfer-Mangan-Aluminium-Legierungen | | |
| CuMn11Al8Fe3Ni3-C | Sandguss | min. 1,5 bis max. 4,5 |
| CuNi10Fe1Mn1-C | Sandguss, Schleuderguss und Strangguss | min. 9,0 bis max. 11,0 |
| CuNi30Fe1Mn1-C | Sandguss und Schleuderguss | min. 29,0 bis max. 31,0 |
| CuNi30Cr2FeMnSi-C | Sandguss | min. 29,0 bis max. 32,0 |
| CuNi30Fe1Mn1NbSi-C | Sandguss | min. 29,0 bis max. 31,0 |

8 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---------------|---|
| AAS | Atomabsorptions-Spektrometrie |
| A-Fraktion | alveolengängige Staubfraktion |
| AGW | Arbeitsplatzgrenzwert |
| AK | Akzeptanzkonzentration |
| AMR | Arbeitsmedizinische Regel |
| ArbMedVV | Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge |
| BAR | Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwert |
| BArbBl. | Bundesarbeitsblatt |
| BAT | Biologischer Arbeitsstoff-Toleranzwert |
| BG | Bestimmungsgrenze |
| BK | Berufskrankheit(en) |
| BK-DOK | Berufskrankheiten-Dokumentation |
| BKV | Berufskrankheitenverordnung |
| DFG | Deutsche Forschungsgemeinschaft |
| E-Fraktion | einatembare Staubfraktion |
| EKA | Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe |
| ERB | Expositions-Risiko-Beziehung(en) nach TRGS 910 |
| GefStoffV | Gefahrstoffverordnung |
| ICP-MS | inductively coupled plasma-mass spectrometry, Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma |
| ISCO | International Standard Classification of Occupations |
| k. A. | keine Angaben |
| KMR-Stoffe | krebserzeugende, keimzellmutagene (erbgutverändernde) oder reproduktionstoxische (fortpflanzungsgefährdende) Stoffe |
| MAG-Schweißen | Metall-Aktivgasschweißen |
| MAK | Maximale Arbeitsplatzkonzentration |
| MEGA | IFA Expositionsdatenbank „Messdaten zur Exposition gegenüber Gefahrstoffen am Arbeitsplatz“ |
| MGU | Messsystem Gefährdungsermittlung der Unfallversicherungsträger |
| MIG-Schweißen | Metall-Inertgasschweißen |
| TGL | Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen |
| TK | Toleranzkonzentration |
| TRgA | Technische Regel für gefährliche Arbeitsstoffe |
| TRGS | Technische Regel für Gefahrstoffe |
| TRK | Technische Richtkonzentration |
| UBA | Umweltbundesamt |
| UVT | Unfallversicherungsträger |
| WIG-Schweißen | Wolfram-Inertgas-Schweißen |
| ZED | Zentrale Expositionsdatenbank |

9 Literatur

- [1] Barrot, R.; Berges, M.; Blome, H.; Böckler, M.; Brandt, B.; Büning, G. et al.: Chrom und seine Verbindungen – UVT-interner Report (BK-Report), 2. Aufl. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2014.
- [2] Ermittlung und Bewertung der Einwirkung im Berufskrankheitenverfahren (DGUV-Handlungsempfehlung). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2019.
- [3] Verordnung zur Änderung der Berufskrankheiten-Verordnung vom 22. März 1988. BGBl. I (1988), S. 400.
- [4] Merkblatt zu BK-Nr. 4109: Bösartige Neubildungen der Atemwege und der Lungen durch Nickel oder seine Verbindungen vom 16. August 1989. BArbBl. (1989) Nr. 11, S. 62.
- [5] Merkblatt zur BK Nr. 5101: „Schwere oder wiederholt rückfällige Hauterkrankungen, die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können“ vom 23. April 1996. BArbBl. (1996) Nr. 6, S. 22 ff.
- [6] Merkblatt zur BK Nr. 4301: „Durch allergisierende Stoffe verursachte obstruktive Atemwegserkrankungen (einschließlich Rhinopathie), die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können“ vom 10. Juli 1979. BArbBl. (1979) Nr. 7/8.
- [7] Bamberger Empfehlung – Empfehlung zur Begutachtung von arbeitsbedingten Hauterkrankungen und Hautkrebsenerkrankungen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2017.
- [8] Reichenhaller Empfehlung – Empfehlung für die Begutachtung der Berufskrankheiten der Nummern 1315 (ohne Alveolitis), 4301 und 4302 der Anlage zur Berufskrankheiten-Verordnung. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2012.
- [9] Wissenschaftliche Begründung zur Berufskrankheit Nummer 4115 „Lungenfibrose durch extreme und langjährige Einwirkung von Schweißrauchen und Schweißgasen – (Siderofibrose)“ vom 1. September 2006. BArbBl. (2006) Nr. 10.
- [10] Merkblatt zur BK Nr. 4115: „Lungenfibrose durch extreme und langjährige Einwirkung von Schweißrauchen und Schweißgasen – (Siderofibrose)“ vom 30. Dezember 2009. GMBL. (2010) Nr. 5/6, S. 108.
- [11] Technische Regel für Gefahrstoffe: Risikobezogenes Maßnahmekonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (TRGS 910). GMBL. (2014), Nr. 12, S. 258-270; zul. geänd. GMBL (2019) Nr. 7, S. 120.
- [12] Nies, E.; Forchert, M.; Palfner, S.; Bochmann, F.; Stamm, R.; Hagemeyer, O. et al.: Können Expositions-Risiko-Beziehungen nach TRGS 910 für die Beurteilung von Berufskrankheiten eine Rolle spielen? Versuch einer Einordnung für die Begutachtung. Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed. 51 (2016), S. 286-291.
- [13] Zentrale Expositionsdatenbank (ZED), Datenbank zur zentralen Erfassung gegenüber krebserzeugenden Gefahrstoffen exponierter Beschäftigter. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV). <https://zed.dguv.de>
- [14] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). BArBl. (2006), Nr.1, S. 41-55; zul. geänd. GMBL. (2020) Nr. 42, S. 902.
- [15] Pesch, B.; Balindt, P.; Groß, I.; Weiß, T.; Brüning, T.: Nickel und seine Verbindungen. In: Letzel, S.; Nowak, D. (Hrsg.): Handbuch der Arbeitsmedizin, Vol. 4. Ergänzungslieferung. Ecomed, Landsberg 2007.
- [16] Balindt, P.: Lungenkrebsrisiko durch berufliche Exposition gegenüber Nickel und seinen Verbindungen. Dissertation, Ruhr-Universität Bochum, Bochum 2009.
- [17] Norpoth, K.; Popp, W.: Lungenkrebs bei Schweißern. Wissenschaftlich begründete arbeitsmedizinische gutachterliche Stellungnahme. 1994.
- [18] MAK-Werte 1970. BArbBl. Beilage Arbeitsschutz Anhang 5 (1970), S. 228.

- [19] MAK-Werte 1971. BArbBl. Beilage Arbeitsschutz Anhang 6a (1971), S. 255.
- [20] MAK-Werte 1973. BArbBl. Beilage Arbeitsschutz (1973), S. 372.
- [21] MAK-Werte 1976. BArbBl. Beilage Arbeitsschutz (1976), S. 369.
- [22] Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 (CLP-Verordnung) vom 16. Dezember 2008. ABl. (2008) Nr. L 353, S. 1.
- [23] Technische Regel für Gefahrstoffe: Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder reproduktionstoxischer Stoffe (TRGS 905). GMBL. (2016) Nr. 19, S. 378-390; zul. geänd. GMBL. (2020) Nr. 9-10, S. 201.
- [24] Technische Regel für Gefahrstoffe: Verzeichnis sensibilisierender Stoffe und von Tätigkeiten mit sensibilisierenden Stoffen (TRGS 907). GMBL. (2011) Nr. 49-51, S. 1019.
- [25] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Expositionsverzeichnis bei Gefährdung gegenüber krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen der Kategorien 1A oder 1B (TRGS 410). GMBL. (2015) Nr. 30, S. 587-595.
- [26] Gefahrstoffliste 2020 – Gefahrstoffe am Arbeitsplatz. IFA Report 2/2020. Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), St. Augustin 2020.
- [27] Liste der krebserzeugenden, keimzellmutagenen und reproduktionstoxischen Stoffe (KMR-Liste). Hrsg.: Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (IFA), St. Augustin 2020. <https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/kmr-liste/index.jsp>
- [28] MAK-Werte 1958. BArbBl. Beilage Arbeitsschutz (1958), S. 233.
- [29] Technische Regel für gefährliche Arbeitsstoffe: Technische Richtkonzentration (TRK) für gefährliche Stoffe. Änderungen und Ergänzungen des Anhangs zur TRgA 102, Erläuterung Nr. 7 zu Nickeltetracarbonyl (TRgA 102). BArbBl. (1995) Nr. 5, S. 35.
- [30] Technische Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe: Technische Richtkonzentration (TRK) für gefährliche Stoffe (TRgA 102). BArbBl. Beilage Arbeitsschutz (1977) Nr. 6, S. 127-128.
- [31] Blome, H.; Pflaumbaum, W.; Berges, M.: Von der technischen Richtkonzentration zu den Arbeitsplatzgrenzwerten der neuen Gefahrstoffverordnung. Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft 65 (2005) Nr. 1-2, S. 23-30.
- [32] Erläuterung Nr. 78 zur „Anwendung der Luftgrenzwerte bei Herstellung, Be- und Verarbeitung von Nickellegierungen“. BArbBl. (1997) Nr. 4, S. 53.
- [33] Technische Regel für gefährliche Arbeitsstoffe: Messung und Beurteilung von Konzentrationen giftiger oder gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe in der Luft – „Anwendung von Technischen Richtkonzentrationen (TRK)“ (TRgA 401 Blatt 1). BArbBl. Beilage Arbeitsschutz (1979) Nr. 11, S. 72-78.
- [34] Bekanntmachung des BMA vom 8. Oktober 1986 über die Aufhebung der TRgA 401 Blatt 1. BArbBl. Beilage Arbeitsschutz (1986) Nr. 11, S. 91.
- [35] Technische Regel für Gefahrstoffe: Arbeitsplatzgrenzwerte (TRGS 900). GMBL. (2018) Nr. 28, S. 542-545.
- [36] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Risikobezogenes Maßnahmenkonzept für Tätigkeiten mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (TRGS 910). GMBL. (2017) Nr. 43, S. 782-783.
- [37] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Tätigkeiten mit krebserzeugenden Metallen und ihren Verbindungen (TRGS 561). GMBL. (2017) Nr. 43, S. 786-812.
- [38] Technische Regel für Gefahrstoffe: Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition (TRGS 402). GMBL. (2016) Nr. 43, S. 843-846.
- [39] Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV) vom 18. Dezember 2008. BGBl. I, S. 2768; zul. geänd. durch Artikel 1 der Verordnung vom 12. Juli 2019 BGBl. I, S. 1082. <https://www.gesetze-im-internet.de/arbmedvv/>
- [40] Biologische Arbeitsstoff-Toleranz-Werte. Nickel (Nickelmetall, -oxid, -carbonat, -sulfid und vergleichbare Verbindungen, sulfidische Erze). Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschäd-

- licher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Wiley VCH, Weinheim 1991.
- [41] Leichtlösliche Nickelverbindungen wie Nickelacetat und vergleichbare lösliche Salze, Nickelchlorid, Nickelhydroxid, Nickelsulfat. Biologische Arbeitsstoff-Toleranz-(BAT)-Werte. Arbeitsmedizinisch-toxikologische Begründungen. Loseblattsammlung, 12. Lieferung. Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft. Wiley VCH, Weinheim 2004.
- [42] MAK- und BAT-Werte-Liste 2020. Mitteilung 56. Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Bonn 2020.
- [43] Technische Normen, Gütevorschriften und Lieferbedingungen. DDR-Standard: Arbeitshygiene. Maximal zulässige Konzentrationen gesundheitsgefährdender Stoffe in der Luft am Arbeitsplatz. Termini, Definitionen, Allgemeine Forderungen (TGL 32610/01). Verlag für Standardisierung, Leipzig 1989.
- [44] Bekanntmachung des Umweltbundesamtes. Nickel – Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 44 (2001) Nr. 12, S. 1243-1248.
- [45] *Grandjean, P.*: Human exposure to nickel. IARC Sci Publ. 53 (1984), S. 469-485.
- [46] *Sunderman, F. W.; Hopfer, S. M.; Sweeney, K. R.; Marcus, A. H.; Most, B. M.; Creason, J.*: Nickel absorption and kinetics in human volunteers. Proc Soc Exp Biol Med 191 (1989) Nr. 1, S. 5-11.
- [47] *Sunderman, F. W., Jr.; Aitio, A.; Morgan, L. G.; Norseth, T.*: Biological monitoring of nickel. Toxicol Ind Health 2 (1986) Nr. 1, S. 17-78.
- [48] *Cohn, J. R.; Emmett, E. A.*: The excretion of trace metals in human sweat. Ann Clin Lab Sci 8 (1978) Nr. 4, S. 270-275.
- [49] *Christensen, O. B.; Möller, H.; Andrasko, L.; Lageson, V.*: Nickel concentration of blood, urine and sweat after oral administration. Contact dermatitis 5 (1979) Nr. 5, S. 312-316.
- [50] *Christensen, O. B.; Lageson, V.*: Nickel concentration of blood and urine after oral administration. Ann Clin Lab Sci 11 (1981) Nr. 2, S. 119-125.
- [51] IARC: Chromium, nickel and welding. Monogr Eval Carcinog Risks Hum 49 (1990), S. 1-36.
- [52] *Seiler, H. G.; Sigel, A.; Sigel, G.*: Handbook on metals in clinical and analytical chemistry. M Dekker, New York 1994.
- [53] Nickel. Arbeitsmedizinisch-toxikologische Begründungen. Loseblattsammlung, 18. Lieferung. Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft. Wiley VCH, Weinheim 2011.
- [54] *Colli, G.; Terzi, R.; Terzi, M.; Catenacci, G.*: Application of mathematical modelling for assessing the urinary half-times of nickel in stainless steel welders. G Ital Med Lav Ergon 27 (2005), S. 427-430.
- [55] Nickel und seine schwerlöslichen Verbindungen (Nickelmetall, -oxid, -carbonat, -sulfid, sulfidische Erze). Arbeitsmedizinisch-toxikologische Begründungen. Loseblattsammlung, 7. Lieferung. Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft. Wiley VCH, Weinheim 1994.
- [56] *Torjussen, W.; Zachariasen, H.; Andersen, I.*: Cigarette smoking and nickel exposure. J. Environ. Monit. 5 (2003), S. 198-201.
- [57] *Weiss, T.; Pesch, B.; Lotz, A.; Gutwinski, E.; Van Gelder, R.; Punkenburg, E.* et al.: Levels and predictors of airborne and internal exposure to chromium and nickel among welders-results of the WELDOX study. Int J Hyg Environ Health 216 (2013) Nr. 2, S. 175-183.
- [58] *Botta, C.; Iarmarcovai, G.; Chaspoul, F.; Sari-Minodier, I.; Pompili, J.; Orsière, T.* et al.: Assessment of occupational exposure to welding fumes by inductively coupled plasma-mass spectroscopy and by the alkaline Comet assay. Environmental and Molecular Mutagenesis 47 (2006) Nr. 4, S. 284-295.
- [59] *Kiilunen, M.; Aitio, A.; Tossavainen, A.*: Occupational exposure to nickel salts in electrolytic plating. The Annals of Occupational Hygiene 41 (1997) Nr. 2, S. 189-200.

- [60] Angerer, J.; Lehnert, G.: Occupational chronic exposure to metals. II. Nickel exposure of stainless steel welders -biological monitoring. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 62 (1990) Nr. 1, S. 7-10.
- [61] *Stridsklev, I. C.; Schaller, K.-H.; Langård, S.*: Monitoring of chromium and nickel in biological fluids of stainless steel welders using the flux-cored-wire (FCW) welding method. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 77 (2004) Nr. 8, S. 587-591.
- [62] *Stridsklev, I. C.; Schaller, K.-H.; Langård, S.*: Monitoring of chromium and nickel in biological fluids of grinders grinding stainless steel. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 80 (2007) Nr. 5, S. 450-454.
- [63] *Gérin, M.; Fletcher, A. C.; Gray, C.; Winkelmann, R.; Boffetta, P.; Simonato, L.*: Development and Use of a Welding Process Exposure Matrix in a Historical Prospective Study of Lung Cancer Risk in European Welders. *International Journal of Epidemiology* 22 (1993) Nr. 2, S. S22-S28.
- [64] *Emmerling, G.; Zschiesche, W.; Schaller, K.-H.; Weltle, D.*: Arbeitsmedizinische Belastungs- und Beanspruchungsuntersuchungen von Edelstahlschweißern. *Arbeitsmedizin Sozialmedizin Präventivmedizin* 24 (1989).
- [65] *Emmerling, G.; Zschiesche, W.; Schaller, K.-H.; Weltle, D.; Valentin, H.*: Arbeitsmedizinische Untersuchung von Chrom-Nickel-Stahlschweißern. DVS-Bericht Band 121. Deutscher Verlag für Schweißtechnik, Düsseldorf 1990.
- [66] *Weiss, T.; Pesch, B.; Spickenheuer, A.; Gutwinski, E.; Lehnert, M.; Raulf-Heimsoth, M. et al.*: Der Zusammenhang zwischen innerer und äußerer Belastung mit Metallen beim Schweißen niedrig- und hochlegierter Stähle – Ergebnisse aus der WELDOX-Studie. 51. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin, Heidelberg, 9.-12. März 2011.
- [67] S2k-Leitlinie zur Diagnostik und Therapie von Patienten mit chronisch obstruktiver Bronchitis und Lungemphysem (COPD). Hrsg: Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin, Deutsche Atemwegsliga und Österreichische Gesellschaft für Pneumologie, Marburg 2018.
- [68] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Schweißtechnische Arbeiten (TRGS 528). GMBL. (2020) Nr. 12-13, S. 236-276; berichtigt GMBL. (2020) Nr. 19, S. 370.
- [69] *Spiegel-Ciobanu, V. E.*: Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren – Expositionen, Gefährdungen und Schutzmaßnahmenkonzept. Vol. 149, Fachbuchreihe Schweißtechnik. DVS Media, Düsseldorf 2000.
- [70] *van Kampen, V.; Merget, R.; Brüning, T.*: Immediate type allergies due to metal - nickel. *Pneumologie* 57 (2003) Nr. 11, S. 667-70.
- [71] *Norseth, T.*: Nickel toxicology in retrospect. *J. Environ. Monit.* 5 (2003) Nr. 2, S. 33N-36N.
- [72] *Seilkop, S. K.; Oller, A. R.*: Respiratory cancer risks associated with low-level nickel exposure: an integrated assessment based on animal, epidemiological, and mechanistic data. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 37 (2003) Nr. 2, S. 173-190.
- [73] *Dunnick, J. K.; Elwell, M. R.; Radovsky, A. E.; Benson, J. M.; Hahn, F. F.; Nikula, K. J. et al.*: Comparative Carcinogenic Effects of Nickel Subsulfide, Nickel Oxide, or Nickel Sulfate Hexahydrate Chronic Exposures in the Lung. *Cancer Research* 55 (1995) Nr. 22, S. 5251-5256.
- [74] *Zoroddu, M. A.; Schinocca, L.; Kowalik-Jankowska, T.; Kozłowski, H.; Salnikow, K.; Costa, M.*: Molecular mechanisms in nickel carcinogenesis: modeling Ni(II) binding site in histone H4. *Environmental Health Perspectives* 110 (2002) Nr. 5, S. 719-723.
- [75] *Costa, M.; Yan, Y.; Zhao, D.; Salnikow, K.*: Molecular mechanisms of nickel carcinogenesis: gene silencing by nickel delivery to the nucleus and gene activation/inactivation by nickel-induced cell signaling. *J. Environ. Monit.* 5 (2003) Nr. 2, S. 222-223.
- [76] *Kasprzak, K. S.*: Oxidative DNA and protein damage in metal-induced toxicity and carcinogenesis. *Free Radical Biology and Medicine* 32 (2002) Nr. 10, S. 958-967.
- [77] *Trott, D. A.; Cuthbert, A. P.; Overell, R. W.; Russo, I.; Newbold, R. F.*: Mechanisms involved in the immortalization of mammalian cells by ionizing radiation and chemical carcinogens. *Carcinogenesis* 16 (1995) Nr. 2, S. 193-204.

- [78] Lee, Y. W.; Klein, C. B.; Kargacin, B.; Salnikow, K.; Kitahara, J.; Dowjat, K. et al.: Carcinogenic nickel silences gene expression by chromatin condensation and DNA methylation: a new model for epigenetic carcinogens. *Molecular and Cellular Biology* 15 (1995) Nr. 5, S. 2547-2557.
- [79] Klein, C.; Conway, K.; Wang, X.; Bhamra, R.; Lin, X.; Cohen, M. et al.: Senescence of nickel-transformed cells by an X chromosome: possible epigenetic control. *Science* 251 (1991) Nr. 4995, S. 796-799.
- [80] Costa, M.: Molecular mechanisms of nickel carcinogenesis. *Annu Rev Pharmacol Toxicol* 31 (1991), S. 321-37.
- [81] Durham, T. R.; Snow, E. T.: Metal ions and carcinogenesis. In: *Cancer: Cell Structures, Carcinogens and Genomic Instability. Experientia Supplementum* Vol. 96, S. 97-130. Birkhäuser, Basel 2006.
- [82] Cameron, K. S.; Buchner, V.; Tchounwou, P. B.: Exploring the molecular mechanisms of nickel-induced genotoxicity and carcinogenicity: a literature review. *Rev Environ Health* 26 (2011) Nr. 2, S. 81-92.
- [83] Biggart, N. W.; Costa, M.: Assessment of the uptake and mutagenicity of nickel chloride in *Salmonella* tester strains. *Mutation Research Letters* 175 (1986) Nr. 4, S. 209-215.
- [84] Oller, A. R.: Respiratory carcinogenicity assessment of soluble nickel compounds. *Environ Health Perspect* 110 (2002) Nr. 5, S. 841-844.
- [85] Trotta, A.; Barbieri Paulsen, A.; Silvestri, A.; Ruisi, G.; Assunta Girasolo, M.; Barbieri, R.: The dynamics of ⁵⁷Fe nuclei in FeIII-DNA condensates. *Journal of Inorganic Biochemistry* 88 (2002) Nr. 1, S. 14-18.
- [86] Salnikow, K.; Kasprzak, K. S.: Ascorbate Depletion: A Critical Step in Nickel Carcinogenesis? *Environ Health Perspect* 113 (2005) Nr. 5, S. 577-584.
- [87] Kawanishi, S.; Oikawa, S.; Inoue, S.; Nishino, K.: Distinct mechanisms of oxidative DNA damage induced by carcinogenic nickel subsulfide and nickel oxides. *Environ Health Perspect* 110 (2002) Nr. 5, S. 789-791.
- [88] Swenberg, J. A.: Bioassay Design and MTD Setting: Old Methods and New Approaches. *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 21 (1995) Nr. 1, S. 44-51.
- [89] Carrington, P. E.; Al-Mjeni, F.; Zoroddu, M. A.; Costa, M.; Maroney, M. J.: Use of XAS for the elucidation of metal structure and function: applications to nickel biochemistry, molecular toxicology, and carcinogenesis. *Environ Health Perspect* 110 (2002) Nr. 5, S. 705-708.
- [90] Hartwig, A.; Asmuss, M.; Ehleben, I.; Herzer, U.; Kostelac, D.; Pelzer, A. et al.: Interference by toxic metal ions with DNA repair processes and cell cycle control: molecular mechanisms. *Environmental Health Perspectives* 110 (2002) Nr. 5, S. 797-799.
- [91] ICNCM: Report of the International Committee on Nickel Carcinogenesis in Man. *Scand J Work Environ Health* 16 (1990) Nr. 1, S. 1-82.
- [92] Grimsrud, T.; Berge, S.; Resmann, F.; Norseth, T.; Andersen, A.: Assessment of historical exposures in a nickel refinery in Norway. *Scand J Work Environ Health* 26 (2000) Nr. 4, S. 338-345.
- [93] Grimsrud, T. K.; Berge, S. R.; Martinsen, J. I.; Andersen, A.: Lung cancer incidence among Norwegian nickel-refinery workers 1953-2000. *J. Environ. Monit.* 5 (2003) Nr. 2, S. 190-197.
- [94] Grimsrud, T. K.; Berge, S. R.; Haldorsen, T.; Andersen, A.: Exposure to Different Forms of Nickel and Risk of Lung Cancer. *Am J Epidemiol* 156 (2002) Nr. 12, S. 1123-1132.
- [95] Easton, D.; Peto, J.; Morgan, L. et al.: Respiratory cancer mortality in Welsh nickel refiners: which nickel compounds are responsible? In: Nieboer, E.; Nriagu, O. (Hrsg.): *Nickel and human health: current perspectives*, S. 603-619. John Wiley & Sons, New York 1992.
- [96] Grimsrud, T. K.; Peto, J.: Persisting risk of nickel related lung cancer and nasal cancer among Clydach refiners. *Occup Environ Med* 63 (2006) Nr. 5, S. 365-366.
- [97] Nickel and Nickel compounds. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 100 C (2012), S. 169-218.
- [98] Floros, N.: Welding fume main compounds and structure. *Welding in the World* 62 (2018) Nr. 2, S. 311-316.
- [99] Welding, Molybdenum trioxide, and Indium tin oxide. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 118 (2018), S. 36-268.

- [100] *Ambroise, D.; Wild, P.; Moulin, J.*: Update of a meta-analysis on lung cancer and welding. *Scand J Work Environ Health* 32 (2006), S. 22-31.
- [101] *Honaryar, M. K.; Lunn, R. M.; Luce, D.; Ahrens, W.; 't Mannetje, A.; Hansen, J.* et al.: Welding fumes and lung cancer: a meta-analysis of case-control and cohort studies. *Occupational and Environmental Medicine* 76 (2019) Nr. 6, S. 422-431.
- [102] *Kendzia, B.; Behrens, T.; Jöckel, K.-H.; Siemiatycki, J.; Kromhout, H.; Vermeulen, R.* et al.: Welding and Lung Cancer in a Pooled Analysis of Case-Control Studies. *American Journal of Epidemiology* 178 (2013) Nr. 10, S. 1513-1525.
- [103] *Becker, N.*: Cancer mortality among arc welders exposed to fumes containing chromium and nickel. *JOEM* 41 (1999), S. 294-303.
- [104] *Moulin, J. J.; Wild, P.; Haguenoer, J. M.; Faucon, D.; De Gaudemaris, R.; Mur, J. M.* et al.: A mortality study among mild steel and stainless steel welders. *Br J Ind Med* 50 (1993) Nr. 3, S. 234-243.
- [105] *Moulin, J. J.*: A meta-analysis of epidemiologic studies of lung cancer in welders. *Scand J Work Environ Health* 23 (1997) Nr. 2, S. 104-113.
- [106] *Langård, S.*: Nickel-related cancer in welders. *Science of The Total Environment* 148 (1994) Nr. 2, S. 303-309.
- [107] *Matrat, M.; Guida, F.; Mattei, F.; Cénéé, S.; Cyr, D.; Févotte, J.* et al.: Welding, a risk factor of lung cancer: the ICARE study. *Occup Environ Med* 73 (2016) Nr. 4, S. 254-261.
- [108] Merkblatt zur BK Nr. 1103: „Erkrankungen durch Chrom oder seine Verbindungen“ vom 25. Februar 1981. *BARbBl.* (1981) Nr. 4.
- [109] *Brüning, T.; Pesch, B.; Zschiesche, W.; Weldge, P.; Hagemeyer, O.; Weiß, T.* et al.: Wissenschaftliche Datenlage zur BK-Nr. 1103 im Hinblick auf die kanzerogene Wirkung von Chrom(VI)-Verbindungen. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 50 (2015), S. 666-676.
- [110] Wissenschaftliche Stellungnahme zu der Berufskrankheit Nr. 1104 der Anlage 1 zur Berufskrankheiten-Verordnung „Erkrankungen durch Cadmium oder seine Verbindungen“ vom 20. Januar 2014. *GMBI* (2014) Nr. 6, S. 110.
- [111] Wissenschaftliche Stellungnahme zu der Berufskrankheit Nr. 1110 der Anlage 1 zur Berufskrankheiten-Verordnung „Erkrankungen durch Beryllium oder seine Verbindungen“ vom 11. Juli 2019. *GMBI* (2019), S. 382-386.
- [112] DGUV Information 209-049: Umgang mit thorium-oxidhaltigen Wolframelektroden beim Wolfram-Inertgasschweißen (WIG). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2018.
- [113] *Ludwig, T.; Schwaß, D.; Seitz, G.; Siekmann, H.*: Intakes of thorium while using thoriated tungsten electrodes for TIG welding. *Health Physics* 77 (1999), S. 462-469.
- [114] *Mehrtens, G.; Schönberger, A.; Valentin, H.*: Arbeitsunfall und Berufskrankheit. 9. Aufl. Erich Schmidt, Berlin 2017.
- [115] Bedarfsgegenständeverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Dezember 1997. *BGBl. I* (1998) S. 5; zul. geänd. durch Artikel 2 Absatz 1 des Gesetzes vom 15. Februar 2016, *BGBl. I* (2016), S. 198.
- [116] *Diepgen, T.; Drexler, H.*: Nickel und seine arbeitsmedizinische Bedeutung als Allergen. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 35 (2000), S. 136-145.
- [117] *Agner, T.; Johansen, J.; Overgaard, L.; Volund, A.; Basketter, D.; Menne, T.*: Combined effects of irritants and allergens. *Contact Dermatitis* 47 (2002), S. 21-26.
- [118] *Cronin, E.*: Contact Dermatitis. Churchill Livingstone, Edinburgh 1980, S. 338-366.
- [119] *Uter, W.; Pfahlberg, A.; Gefeller, O.; Geier, J.; Schnuch, A.*: Risk factors for contact allergy to nickel – results of a multifactorial analysis. *Contact Dermatitis* 48 (2003) Nr. 1, S. 33.
- [120] *Skudlik, H.; Schwanitz, J.*: Empfehlungen zur Begutachtung von Berufsdermatosen – Erläuterungen anhand von Beispielen aus dem Baugewerbe. *Akt Dermatol* 29 (2003), S. 206-212.
- [121] Verordnung (EU) 2018/669 der Kommission vom 16. April 2018 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr.

- 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zwecks Anpassung an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt. Amtsblatt der Europäischen Union L 115/1 vom 4. Mai 2018.
- [122] AMR Nr. 11.1 Abweichungen nach Anhang Teil 1 Absatz 4 ArbMedVV bei Tätigkeiten mit krebserzeugenden oder keimzellmutagenen Gefahrstoffen der Kategorie 1A oder 1B vom 1. Juli 2016. GMBL. (2016) Nr. 25, S. 484.
- [123] Technische Regel für Gefahrstoffe: Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen (TRGS 400). GMBL. (2017) Nr. 36, S. 638.
- [124] DGUV Information 240-380: Handlungsanleitung für arbeitsmedizinische Untersuchungen nach dem DGUV Grundsatz G 38 "Nickel oder seine Verbindungen". Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2009.
- [125] DGUV Information 240-260: Handlungsanleitung für arbeitsmedizinische Untersuchungen nach dem DGUV Grundsatz G 26 "Atemschutzgeräte". Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2010.
- [126] Arbeitsmedizinische Regel 2.1: Fristen für die Veranlassung/das Angebot arbeitsmedizinischer Vorsorge vom 20. Juli 2016. GMBL. (2016) Nr. 28, S. 558.
- [127] Arbeitsmedizinische Regel 5.1: Anforderungen an das Angebot von arbeitsmedizinischer Vorsorge, vom 23. Dezember 2014. GMBL. (2014), Nr. 76-77, S. 1569.
- [128] Arbeitsmedizinische Regel 6.2: Biomonitoring, 24. Februar 2014. GMBL. (2014) Nr. 5, S. 91.
- [129] Probenahme und Bestimmung von Aerosolen und deren Inhaltsstoffen. In: MAK Collection for Occupational Health and Safety, Analytische Methoden zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe: Luftanalysen, Ausg. 11/2019. Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft, Wiley VCH Verlag, Weinheim 2019.
- [130] Metalle (Arsen, Beryllium, Cadmium, Cobalt, Nickel) und ihre Verbindungen (ICP-Massenspektrometrie) (Kennzahl 7808). In: IFA-Arbeitsmappe Messung von Gefahrstoffen, Lfg. 3/13, Losebl.-Ausg. Hrsg: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin. Erich Schmidt, Berlin 2013.
- [131] DGUV Information 213-510: Verfahren zur Bestimmung von Nickel und seinen anorganischen Verbindungen. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2009.
- [132] Schaller, K.-H.: Nickel und seine Verbindungen [BAT Value Documentation in German language, 2011]. In: The MAK-Collection for Occupational Health and Safety: Annual Thresholds and Classifications for the Workplace. Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft, Wiley-VCH, Weinheim 2011.
- [133] Angerer, J.: Nickel (leichtlösliche Nickelverbindungen wie Nickelacetat und vergleichbare lösliche Salze, Nickelchlorid, Nickelhydroxid, Nickelsulfat). In: The MAK-Collection for Occupational Health and Safety: Annual Thresholds and Classifications for the Workplace. Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft, Wiley-VCH, Weinheim, 2012.
- [134] Angerer, J.: Nickel (Nickelmetall, -oxid, -carbonat, -sulfid und vergleichbare Verbindungen, sulfidische Erze). In: The MAK-Collection for Occupational Health and Safety: Annual Thresholds and Classifications for the Workplace. Wiley-VCH, Weinheim, 2012.
- [135] Heitland, P.; Köster, H. D.: Biomonitoring of 30 trace elements in urine of children and adults by ICP-MS. *Clinica Chimica Acta* 365 (2006) Nr. 1, S. 310-318.
- [136] Stojanovic, D.; Nikic, D.; Lazarevic, K.: The level of nickel in smoker's blood and urine. *Cent Eur J Publ Health* 12 (2004) Nr. 4, S. 187-189.
- [137] Heitland, P.; Köster, H. D.: Biomonitoring of 37 trace elements in blood samples from inhabitants of northern Germany by ICP-MS. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 20 (2006) Nr. 4, S. 253-262.
- [138] Angerer, J.: Nickel (Biomonitoring Methods in German language, 1985). In: The MAK-Collection for Occupational Health and Safety: Annual Thresholds and Classifications for the Workplace, S. 177-185. Wiley-VCH, Weinheim, Germany 2012.
- [139] Angerer, J.; Heinrich-Ramm, R.: Nickel (Biomonitoring Methods in German language, 1991). In: The MAK-Collection for Occupational Health and Safety: Annual Thresholds and Classifications for the Workplace, S. 193-205. Wiley-VCH, Weinheim, Germany 2012.

- [140] *Ivanenko, N. B.; Ganeev, A. A.; Solovyev, N. D.; Moskvin, L. N.*: Determination of trace elements in biological fluids. *J Anal Chem* 66 (2011) Nr. 9, S. 784-799.
- [141] *Schramel, P.*; Dunemann, L.: Aluminium, Chrom, Cobalt, Kupfer, Mangan, Molybdän, Nickel, Vanadium (Biomonitoring Methods in German language, 2000). In: *The MAK-Collection for Occupational Health and Safety: Annual Thresholds and Classifications for the Workplace*, S. 1-16. Wiley-VCH, Weinheim, Germany 2012.
- [142] *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.
- [143] *Systematik der Wirtschaftszweige mit Betriebs- und ähnlichen Benennungen* Hrsg.: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden. Kohlhammer, Stuttgart 1979.
- [144] *Wippich, C.; Koppisch, D.; Pitzke, K.; Breuer, D.*: Estimating nickel exposure in respirable dust from nickel in inhalable dust. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 238 (2021), S. 113838
- [145] *Coenen, W.*: Zur Frage des Vertrauensbereiches bei Mittelwerten der Staubkonzentration. *Staub – Reinhalt. Luft* 26 (1966) Nr. 5, S. 216-221.
- [146] *Autorenkollektiv: Faserjahre, BK-Report 1/2013.* Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2020.
- [147] *TRK-Wert für Nickelcarbonyl.* B ArbBl. Beilage Arbeitsschutz (1983) Nr. 3, S. 62.
- [148] *Erläuterung zu Nickeltetracarbonyl.* B ArbBl. Beilage Arbeitsschutz (1995) Nr. 5, S. 35.
- [149] *Liste der größten Nickelproduzenten.* Wikipedia (zul. geänd. 14. November 2020). https://de.wikipedia.org/wiki/Liste_der_größten_Nickelproduzenten
- [150] *Erfassung und radiologische Bewertung von Hinterlassenschaften mit NORM – Materialien aus früheren Tätigkeiten und Arbeiten einschließlich der modellhaften Untersuchung branchentypischer Rückstände.* Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz Teil 2 (2007), S. 18.
- [151] *Werner, M. A.; Thomassen, Y.; Hetland, S.; Norseth, T.; Berge, S. R.; Vincent, J. H.*: Correlation of urinary nickel excretion with observed 'total' and inhalable aerosol exposures of nickel refinery workers. *J. Environ. Monit.* 1 (1999), S. 557-562.
- [152] *DGUV Regel 109-601: Erzeugung von Roheisen und Stahl.* Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2017.
- [153] *Werkstoffstruktur der Deutschen Gießerei-Industrie in % (2019).* <https://www.bdguss.de/branche/die-branche-in-zahlen/>
- [154] *Pitzke, K.; Pflaumbaum, W.*: Anwendung der Luftgrenzwerte bei Herstellung, Be- und Verarbeitung von metallischem Nickel und Nickellegierungen. In: *IFA-Arbeitsmappe Kennzahl 0537.* Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2018.
- [155] *DGUV Information 209-058 (bisher BGI 855): Schweißtechnische Arbeiten mit chrom- und nickellegierten Zusatz- und Grundwerkstoffen.* Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2013, S. 1-28.
- [156] *BGI 593: Schadstoffe beim Schweißen und bei verwandten Verfahren.* Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2012, S. 1-93.
- [157] *BGI 616: Beurteilung der Gefährdung durch Schweißrauche.* Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2005, S. 1-183.
- [158] *Lausch, H.*: Untersuchung der Zusammensetzung und Struktur von oxidischen Komponenten in freigesetzten Stäuben in der Arbeitsluft bei der Herstellung und Verarbeitung nickelhaltiger metallischer Werkstoffe (Nickelhaltige Stäube). *Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Sankt Augustin* 1999.
- [159] *DGUV Information 213-714: Manuelles Kolbenlöten mit bleihaltigen Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie.* Verfahrens- und stoffspezifisches Kriterium (VSK) nach der TRGS 420. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2018, S. 1-19.

- [160] DGUV Information 213-725: Manuelles Kolbenlöten mit bleifreien Lotlegierungen in der Elektro- und Elektronikindustrie. Verfahrens- und stoffspezifisches Kriterium (VSK) nach der TRGS 420. Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2018, S. 1-17.
- [161] *Bünning, G.; Poppe, M.; Pucknat, U.; Tigler, A.; Weiß, W.*: Betriebliche Ermittlungen der Gefahrstoffexposition beim Schleifen, Bürsten und Polieren von hochlegierten Stählen. *Gefahrstoffe – Reinhalt. Luft* 78 (2018) Nr. 11/12, S. 431-437.
- [162] Batteriegesetz vom 25. Juni 2009. BGBl. I (2009), S. 1582 ff.
- [163] DIN 13 912: Zahnheilkunde: Cobalt-Chrom-Gusslegierungen; Anforderungen, Prüfung, Ausg. 3/1982. Beuth, Berlin 1982.
- [164] DIN EN ISO 22674: Zahnheilkunde – Metallische Werkstoffe für festsitzenden und herausnehmbaren Zahnersatz und Vorrichtungen, Ausg. 2/2007. Beuth, Berlin 2007.
- [165] DIN EN ISO 22674: Zahnheilkunde – Metallische Werkstoffe für festsitzenden und herausnehmbaren Zahnersatz und Applikationen, Ausg. 9/2016. Beuth, Berlin 2016.
- [166] DIN EN 26871: Zahnheilkunde: Edelmetallfreie Dentalgusslegierungen Ausg. 11/1994. Beuth, Berlin 1994.
- [167] DIN EN ISO 6871-1: Zahnheilkunde: Edelmetallfreie Dentalgusslegierungen Ausg. 12/1996. Beuth, Berlin 1996.
- [168] *Wehde, J.; Hebisch, R.; Ott, G.; Maschmeier, C.-P.; Fendler, D.*: Handlungsanleitung zur guten Arbeitspraxis -Elektronikschrottreycling-Tätigkeiten mit Gefahrstoffen bei der manuellen Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten. Regierungspräsidium, Kassel 2011.
- [169] BG/BIA-Empfehlungen zur Überwachung von Arbeitsbereichen 1037: Manuelle Zerlegung von Bildschirm- und anderen Elektrogeräten (Stand: Oktober 2001). Hrsg.: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Berlin 2011.
- [170] Technische Regeln für Gefahrstoffe: Tätigkeiten bei der Herstellung von Biogas (TRGS 529) vom 6. Oktober 2017. GMBL. (2017) Nr. 41-42, S. 778 .
- [171] *Raithel, H. J.; Mayer, P.; Schaller, K.-H.; Mohrmann, W.; Weltle, D.; Valentin, H.*: Untersuchungen zur Nickel-Exposition bei Beschäftigten in der Glasindustrie. I. Objektivierung und Quantifizierung der externen und internen Nickel-Belastung. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz, Prophylaxe und Ergonomie* 31 (1981) Nr. 8, S. 332-339.
- [172] *Raithel, H. J.*: Untersuchungen zur Belastung und Beanspruchung von 837 beruflich Nickel-exponierten Personen. Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., St. Augustin 1987.

10 Autorinnen und Autoren

Federführung:

Dr. Dorothea Koppisch und Dr. Jens-Uwe Hahn
IFA, Sankt Augustin

Kapitel 1 bis 6:

Dr. Maren Beth-Hübner
BG RCI, Heidelberg

Dr. Frank Bochmann
IFA, Sankt Augustin

Dr. Gunter Bünning
BGHM, Hannover

Dr. Carsten Fritz
DGUV, Berlin

Arno Goebel
IFA, Sankt Augustin

Dr. Robert Kellner
DGUV, München

Dr. Dorothea Koppisch
IFA, Sankt Augustin

Katrin Pitzke
IFA, Sankt Augustin

Karin Praefke
DGUV, Berlin

Dr. Wolfgang Pflaumbaum
IFA, Sankt Augustin

Dr. Uwe Pucknat
BGHM, Leipzig

Stephanie Schneider
DGUV, Berlin

Dr. Tobias Weiß
IPA, Bochum

Dr. Cornelia Wippich
IFA, Sankt Augustin

Dr. Susanne Zöllner
IFA, Sankt Augustin

Dr. Wolfgang Zschiesche
IPA, Bochum

Kapitel 7:

Frank Beschorner
VBG, Würzburg

Martin Bachem
BG ETEM, Köln

Margret Böckler
BG ETEM, Köln

Dr. Gunter Bünning
BGHM, Hannover

Rainer Dörr
BG Bau, Wuppertal

Dirk Fendler
BG ETEM, Köln

Dr. Hans-Peter Fröhlich
BGHW, Mannheim

Stefan Gabriel
IFA, Sankt Augustin

Andrea Hanenberg
BG RCI, Nürnberg

Jürgen Karohl
VBG, Neuwied

Dr. Dorothea Koppisch
IFA, Sankt Augustin

Michael Piskorz
BG ETEM, Köln

Dr. Walther Prinz
VBG, Würzburg

Dr. Uwe Pucknat
BGHM, Leipzig

Ingrid Thullner
UK Hessen, Frankfurt

