

Nickel (lösliche Nickelverbindungen wie Nickelacetat, Nickelchlorid und Nickelsulfat) – Addendum: Reevaluierung von EKA

Beurteilungswerte in biologischem Material

M. Nasterlack¹

B. Brinkmann²

R. Bartsch²

W. Weistenhöfer³

H. Drexler^{4,*}

A. Hartwig^{5,*}

MAK Commission^{6,*}

Keywords

Nickel; Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe; EKA

¹ 68526 Ladenburg

² Institut für Angewandte Biowissenschaften, Abteilung Lebensmittelchemie und Toxikologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Adenauerring 20a, Geb. 50.41, 76131 Karlsruhe

³ Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg, Henkestraße 9–11, 91054 Erlangen

⁴ Leitung der Arbeitsgruppe „Beurteilungswerte in biologischem Material“ der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, Friedrich-Alexander-Universität (FAU) Erlangen-Nürnberg, Henkestraße 9–11, 91054 Erlangen

⁵ Vorsitz der Ständigen Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Institut für Angewandte Biowissenschaften, Abteilung Lebensmittelchemie und Toxikologie, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Adenauerring 20a, Geb. 50.41, 76131 Karlsruhe

⁶ Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Deutsche Forschungsgemeinschaft, Kennedyallee 40, 53175 Bonn

* E-Mail: H. Drexler (hans.drexler@fau.de), A. Hartwig (andrea.hartwig@kit.edu), MAK Commission (arbeitsstoffkommission@dfg.de)

Citation Note:

Nasterlack M, Brinkmann B, Bartsch R, Weistenhöfer W, Drexler H, Hartwig A, MAK Commission. Nickel (lösliche Nickelverbindungen wie Nickelacetat, Nickelchlorid und Nickelsulfat) – Addendum: Reevaluierung von EKA. Beurteilungswerte in biologischem Material. MAK Collect Occup Health Saf. 2021 Dez;6(4):Doc087. DOI: https://doi.org/10.34865/bb744002d6_4ad

Abstract

The German Commission for the Investigation of Health Hazards of Chemical Compounds in the Work Area has re-evaluated the correlation between inhalational exposure to soluble nickel compounds (e.g. nickel acetate [373-02-4], nickel chloride [7718-54-9] and nickel sulfate [7786-81-4]) and urinary nickel excretion (exposure equivalents for carcinogenic substances (EKA)). The review of the available literature identified several studies that provided regression equations on this relation. However, the values for urinary nickel excretion predicted from these studies varied considerably. Since EKA cannot be determined with sufficient reliability, they are withdrawn.

Manuskript abgeschlossen:
16 Mrz 2020

Publikationsdatum:
30 Dez 2021

Lizenz: Dieses Werk ist
lizenziert unter einer [Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz](#).



EKA (2020)	nicht festgelegt
BAR (2009)	3 µg Nickel/l Urin Probenahmezeitpunkt: bei Langzeitexposition: am Schichtende nach mehreren vorangegangenen Schichten
MAK-Wert	–
Krebserzeugende Wirkung (2001)	Kategorie 1
Sensibilisierung (1973, 2001)	Sah

Reevaluierung

Für lösliche Nickelverbindungen wurden im Jahr 2004 Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA) evaluiert (Angerer 2004). Die Evaluierung bezog sich auf Expositionen gegen 25, 50 und 100 µg Nickel (Ni)/m³. Im Jahr 2017 wurde vom Ausschuss für Gefahrstoffe eine Expositions-Risiko-Beziehung (ERB) (AGS 2017) für Nickelverbindungen publiziert, in der Toleranz- und Akzeptanzwerte für die A-Fraktion der Nickelstäube festgelegt wurden. Der Akzeptanzwert beträgt 6 µg Ni/m³. Der dem Arbeitsplatzgrenzwert (AGW) analoge Wert (für den Endpunkt Lungenentzündung) wurde bei 6 µg Ni/m³ für die A-Fraktion festgesetzt. Ein Wert für die E-Fraktion wurde mangels belastbarer Daten zur Umrechnung nicht aufgestellt.

Der Biologische Arbeitsstoff-Referenzwert (BAR) (Schaller 2010) beträgt 3 µg Ni/l Urin. Vor diesem Hintergrund wurden die bestehenden EKA auf ihre Erweiterbarkeit in diesen niedrigen Expositionsbereich überprüft. Hierzu wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um weitere Publikationen zu identifizieren, die auch Expositionen im niedrigen Konzentrationsbereich erfassen.

Die bislang gültigen EKA basierten auf Studien mit Regressionsgleichungen zur Beziehung zwischen Nickelkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz und der Nickelausscheidung im Urin (Nieboer et al. 1999; Oliveira et al. 2000; Tola et al. 1979). Eine weitere Arbeit (Bernacki et al. 1980) ging nicht in die Auswertung ein, da die dort berichteten Werte, von denen aus den drei anderen Studien erheblich abwichen und keine plausible Erklärung dafür vorlag.

Im Rahmen der aktuellen Recherche wurden weitere Studien identifiziert (Ghezzi et al. 1989; Kiilunen et al. 1997 a, b; Werner et al. 1999), in denen Regressionsgleichungen für die Beziehung zwischen Nickelkonzentrationen in der Luft am Arbeitsplatz und der Nickel-Ausscheidung im Urin angegeben wurden. Eine kurze Charakterisierung aller vorliegenden Studien findet sich in [Tabelle 1](#), eine Darstellung der Regressionsgeraden im jeweils gemessenen Konzentrationsbereich in [Abbildung 1](#).

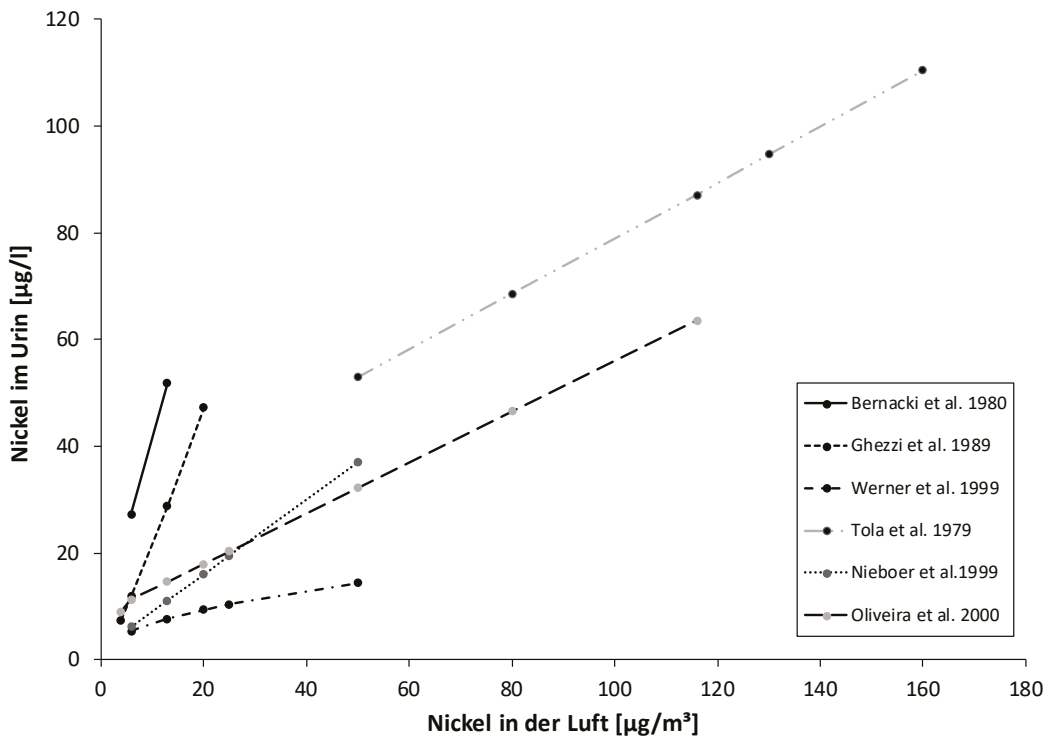


Abb. 1 Korrelationen zwischen Nickel in der Luft und Nickel im Urin im jeweils in den Studien gemessenen Konzentrationsbereich für lösliche Nickelverbindungen

Folgende Studien sind für die Ableitung von EKA nicht geeignet: In der Studie von Beattie et al. (2017) wurden personenbezogene Luftmessungen (Filter Typ GLA 5000) nur bei auffälligen Biomonitoring-Befunden durchgeführt; teilweise wurde Atemschutz verwendet. Die dermale Kontamination wurde durch Handwasch-Proben untersucht. Dabei zeigte sich eine moderate positive Korrelation zwischen Nickel im Urin und der Handkontamination für alle direkt exponierten Nickelarbeiter (Korrelationskoeffizient 0,45; $p < 0,0001$). Die dermale Aufnahme lieferte einen signifikanten Beitrag zur systemischen Belastung. Es zeigte sich eine moderate positive Korrelation zwischen der Nickelausscheidung im Urin und der Nickerexposition in der Luft (Korrelationskoeffizient 0,56; $p < 0,01$), für „lösliches Nickel“ lag diese jedoch nur bei 0,08. Eine Regressionsgleichung wird in der Publikation nicht angegeben. Die Übersichtsarbeit von Nieboer et al. (1999) wird nicht berücksichtigt, da nur die Regressionsgleichung, aber keine Einzeldaten berichtet werden. Kiilunen et al. (1997 a) führten in einer elektrolytischen Nickelraffinerie ($> 95\%$ Nickelsulfat) über sechs bis acht Stunden stationäre Luftmessungen über eine Schicht mit einem 37-mm-Sampler sowie personenbezogene Luftmessungen mit einem 25-mm-Sampler durch. Beim Tragen von Atemschutz wurden Messungen unter der Maske durchgeführt. Es wurden Nickelkonzentrationen im Urin bestimmt. Zusätzlich wurden zu Beginn der Studie (Mittelwert (MW): 6–26 nmol Ni/l; Maximum: 28 nmol Ni/l) und am Ende des vierten Tages (MW: 18–59 nmol Ni/l, Maximum: 77 nmol Ni/l) Blutuntersuchungen durchgeführt. Es zeigte sich keine Korrelation zwischen den Nickelkonzentrationen in Blut oder Urin und in der Luft am Arbeitsplatz. In einer weiteren Studie in der Galvanik (Kiilunen et al. 1997 b) wurden ebenso stationäre Luftmessungen über eine Schicht mit einem 37-mm-Sampler und personenbezogene Luftmessungen mit einem 25-mm-Sampler sowie beim Tragen von Atemschutz Messungen unter der Maske durchgeführt, wobei etwa ein Drittel der Beschäftigten Atemschutz trug. Unter der Maske wurden $1,6 \mu\text{g Ni}/\text{m}^3$, außerhalb $11,4 \mu\text{g Ni}/\text{m}^3$ gemessen. Da die Personen in beiden Publikationen von Kiilunen et al. (1997 a, b) bei Tätigkeiten mit höherer Exposition häufig Atemschutz trugen, wurde keine Korrelation zwischen der Luftbelastung und der Urinausscheidung bzw. sehr niedrige Ausscheidungswerte bei höheren Luftbelastungen beobachtet.

In den folgenden Studien wurden Regressionsgeraden erhalten, die insgesamt einen Konzentrationsbereich in der Luft am Arbeitsplatz von 1 bis 100 $\mu\text{g Ni/m}^3$ abdecken:

In der Studie von Bernacki et al. (1980) aus der Galvanik wurden personenbezogene Luftmessungen mit einem 37-mm-Sampler über (fast) die gesamte Schicht durchgeführt. Es wurde ohne Atemschutz gearbeitet. Die Luftkonzentrationen betragen 0,5 bis 21,2 $\mu\text{g Ni/m}^3$. Es zeigten sich keine Korrelationen zwischen Vor- und Mittschicht-Urinwerten und der Luftkonzentration. Hohe Mittschichtwerte insbesondere bei den Messungen in der Mitte der Arbeitswoche lassen den Verdacht auf eine Kontamination der Proben zu. Über die Woche kam es zu keiner Akkumulation. Auch wenn sich eine Korrelation zwischen Endschichturinwerten am Freitag mit der Luftkonzentration zeigte, basiert die abgeleitete Regressionsgleichung auf Messergebnissen von nur vier Personen und führt im Vergleich zu den Gleichungen aus den anderen Studien zu erheblich höheren Nickelkonzentrationen im Urin.

Der Untersuchung von Tola et al. (1979) aus der Galvanik lagen Expositionen gegen Nickelsulfat und Nickelchlorid zugrunde, die mit 30 bis 160 $\mu\text{g Ni/m}^3$ Luft (personenbezogene Luftmessungen (37-mm-Sampler), kein Atemschutz) deutlich oberhalb des Zielbereichs der jetzigen Evaluation liegen. Es zeigte sich eine gute Korrelation zwischen der Nickelexposition in der Luft ab etwa 35 $\mu\text{g/m}^3$ und der Nickelkonzentration im Vor- und Nachschichturin, sowie ein leichter Akkumulationseffekt über die Woche. Eine Aussage für Konzentrationen unterhalb von 30 $\mu\text{g Ni/m}^3$ ist aber nicht möglich. Der Hintergrundwert (Schnittpunkt mit y-Achse; siehe auch [Abbildung 1](#)) der angegebenen Regressionsgleichung liegt mit 26,8 $\mu\text{g Ni/l}$ Urin auffällig hoch. Zudem handelt es sich um ein sehr kleines Kollektiv aus lediglich vier exponierten Personen. Zusätzliche Untersuchungen von Blutproben (Vor- und Nachschicht) zeigten eine gute Korrelation zwischen Luft- und Plasmawerten.

In der Arbeit von Werner et al. (1999) in der Nickelraffinerie lagen Expositionen nicht nur gegen lösliche Nickelverbindungen vor und es wurde Atemschutz verwendet. Personenbezogene Luftmessungen („inhalable dust“ (IOM-sampler) und „total dust“ (37-mm-Sampler)) wurden, wenn möglich, über die ganze Schicht, jedoch für mindestens vier Stunden durchgeführt. Die Vor- und Nachschichturinproben wurden gepoolt, was vermutlich dazu führte, dass zu niedrige Werte abgeleitet wurden und kein eindeutiger Probenahmezeitpunkt festgelegt werden kann. Es zeigte sich keine Akkumulation über die Woche. Die Mittelwerte im Nachschichturin lagen über denen im Vorschichturin.

In der Publikation von Oliveira et al. (2000) wurde Untersuchungen in der Galvanik durchgeführt, wo Expositionen gegen Nickelsulfat vorlagen. Es wurde kein Atemschutz verwendet. Personenbezogene Luftmessungen wurden nur in der ersten Schichthälfte durchgeführt, die zweite Schichthälfte sollte jedoch vergleichbar sein. Die Vorschichtwerte der Exponierten waren höher als die der Kontrollen, es zeigte sich aber keine Akkumulation über die Woche. Die relativ hohen Nickelkonzentrationen im Urin der Kontrollpersonen werden mit der Luftverschmutzung der Region um Sao Paulo begründet. Die Regressionsgleichung wurde für 13 Wertepaare angegeben, obwohl in der Studie eigentlich nur zehn Personen exponiert waren. Es finden sich in der der Regressionsgleichung zugrundeliegenden Abbildung auch nur teilweise Korrelate zu den tabellarisch aufgeführten Einzelwerten.

In der Studie von Ghezzi et al. (1989) lagen in der Galvanik Expositionen gegenüber Nickelsulfat und Nickelchlorid vor. Es wurden personenbezogene Luftmessungen (37-mm-Sampler) über die gesamte Schicht durchgeführt und kein Atemschutz verwendet. Bei Expositionen oberhalb von 10 $\mu\text{g/m}^3$ zeigte sich eine Akkumulation über die Woche. Die angegebene Korrelation zwischen der Luftmessung (Mittelwert von Montag bis Mittwoch) und dem Nachschichturin am Donnerstag ist (insbesondere unterhalb von 10 $\mu\text{g Ni/m}^3$) aus den vorliegenden Daten nicht nachvollziehbar.

Bei den personenbezogenen Messungen wurde die einatembare Partikelfraktion erfasst. Da jedoch die Partikelgrößenverteilung an den Arbeitsplätzen nicht einheitlich ist, ist es schwierig, diese Konzentrationen auf A-Staub umzurechnen.

Tab. 1 Studien mit Korrelationen zwischen Nickel in der Luft und im Urin

Kollektiv, Exposition	Nickel in der Luft	Probenahmezeitpunkt	Nickel im Urin	Literatur
282 Nickelarbeiter (NA), davon 191 Galvanikarbeiter (GA), 237 Nicht-Nickelarbeiter (NNA)	lösliches Nickel: 7 Firmen, 26 Arbeiter, Median: 0,01 mg/m ³ (< 0,01–0,08) Gesamt-Nickel: 8 Firmen, 30 Arbeiter, Median: 0,01 mg/m ³ (< 0,01–0,6)	Nachschicht an 3 aufeinander folgenden Tagen nach 0, 6 und 12 Monaten	NA: Median 8,2 µmol Ni/mol Krea; 90. Perz. 28,5 µmol Ni/mol Krea GA: Median 9,4 µmol Ni/mol Krea; 90. Perz. 31,6 µmol Ni/mol Krea NNA: Median 5,2 µmol Ni/mol Krea; 90. Perz. 12,4 µmol Ni/mol Krea	Beattie et al. 2017
7 ♂ Exponierte, Galvanik, 19 Kontrollen	personenbezogen: MW 9,3 ± 4,4 µg Ni/m ³ Bereich 0,5–21,2 µg Ni/m ³	Montag, Mittwoch, Freitag und am Montag nach 2 Wochen frei Vor-, Mitt- und Endschicht	Exponierte: Vorsicht: MW 34 ± 32 µg Ni/l Mittschicht: MW 64 ± 63 µg Ni/l Endschicht: MW 46 ± 32 µg Ni/l Kontrollen: MW 2,7 ± 1,6 µg Ni/l	Bernacki et al. 1980
23 ♂ Exponierte, Galvanik (Nickelsulfat und -chlorid), 97 ♂ Kontrollen	personenbezogen: A (n = 13): > 10 µg Ni/m ³ (GM 11,2– 18,8) B (n = 10): < 10 µg Ni/m ³ (GM 4,2–6,9)	Vorsicht, Nachschicht an 4 aufeinander folgenden Arbeitstagen (Montag– Donnerstag)	Exponierte (GM ± GSD) A: 7,7 ± 2,4 µg Ni/l bis 33,4 ± 1,5 µg Ni/l B: 5,4 ± 1,9 µg Ni/l bis 9,2 ± 2,0 µg Ni/l Kontrollen: 1,59 µg Ni/l	Ghezzi et al. 1989
34 Exponierte, elektrolytische Nickelraffinerie (> 95 % Nickelsulfat), Kontrollen: 30 Büroangestellte der Raffinerie, 32 Nichtexponierte aus dem Raum Helsinki	stationär: 6–8 h über eine Schicht: Nickel gesamt: 2,8–678 µg Ni/m ³ Nickel wasserlöslich: 1–77 µg Ni/m ³ Nickel säurelöslich: 0,3–5,6 µg Ni/m ³ personenbezogen ohne Atemmaske: 4–140 µg Ni/m ³	Vor- und Nachschicht an 4 Arbeitstagen und dem folgenden freien Tag, Langzeitbeobachtung: nach dem Wochenende (n = 25), nach dem Sommerurlaub (n = 23)	Exponierte: MW 0,09–1,28 µmol Ni/l, Max: 2,07 µmol Ni/l, nach Wochenende: MW 0,023–2,09 µmol Ni/l (95% < 0,6 µmol Ni/l) nach 2 Wochen Urlaub: 0,26 µmol Ni/l nach 4 Wochen Urlaub: 0,11 µmol Ni/l Kontrollen: MW 0,026 µmol Ni/l, 95. Perz.: 0,06 µmol Ni/l	Kiilunen et al. 1997 a
104 Exponierte, Galvanik	stationär: niedrig: 11,9–17,8 µg Ni/m ³ , hoch: bis 78,3 µg Ni/m ³ personenbezogen ohne Atemmaske: niedrig: 0,5–0,7 µg Ni/m ³ , hoch: 5,6–78,3 µg Ni/m ³	Vor- und Nachschicht an 1–4 Tagen bei hohen Werten Zusatzprobe nach dem Urlaub (n = 9)	Gesamt (n = 145): 0,16 µmol Ni/l (0,001–4,99), ♀ (n = 63): 0,14 µmol Ni/l (0,005–2,84) ♂ (n = 82): 0,18 µmol Ni/l (0,001–4,99)	Kiilunen et al. 1997 b
10 Exponierte, Galvanik (Nickelsulfat), 10 Kontrollen (aus der Zn-Galvanik)	personenbezogen: GM 2,8–116,7 µg Ni/m ³	Vor- und Nachschicht an 5 aufeinander folgenden Arbeitstagen (bei Kontrollen an 3 Tagen)	Exponierte: Vorsicht: 8,7 ± 7,8 µg Ni/g Krea (10,5 ± 7,5 µg Ni/l) Nachschicht: 14,7 ± 13,5 µg Ni/g Krea (20,6 ± 18,1 µg Ni/l) Kontrollen: MW 3,7 ± 2,5 µg Ni/g Krea (0,3–7,8 µg Ni/g Krea)	Oliveira et al. 2000
3 ♂, 1 ♀ Exponierte, Galvanik (Nickelsulfat und -chlorid), 1 ♂ Kontrolle (niedrig exponiert)	personenbezogen: 30–160 µg Ni/m ³ überwiegend Nickelsulfat	Vor- und Nachschicht, 1 Woche lang nach dem Urlaub als „Baseline“	Exponierte: Vorsicht: 10–60 µg Ni/l ^{a)} Nachschicht: 20–120 µg Ni/l ^{a)} nach dem Urlaub: MW 6,6 µg Ni/l (3–10 µg Ni/l) Kontrolle (niedrig exponiert): ~ 10 µg Ni/l ^{a)}	Tola et al. 1979

Tab. 1 (Fortsetzung)

Kollektiv, Exposition	Nickel in der Luft	Probenahmezeitpunkt	Nickel im Urin	Literatur
20 Exponierte, Nickelraffinerie (nicht nur lösliche Nickelverbindungen)	“inhalable dust”, IOM-Sampler: 11,4–53,1 µg Ni/m ³ “total dust”, 37-mm-Sampler: 8,1–28,6 µg Ni/m ³	Vor- und Nachschicht, 1 Woche	Vor- und Nachschicht: MW 11,1 (2,7–51,5) µg Ni/l	Werner et al. 1999

^{a)} abgeschätzt aus Abbildung

GM: geometrischer Mittelwert; GSD: geometrische Standardabweichung; Krea: Kreatinin; Max: Maximum; MW: Mittelwert; Ni: Nickel

In **Tabelle 2** sind die für den Konzentrationsbereich von 1 bis 100 µg Ni/m³ mit Hilfe der Regressionsgleichungen der fünf auswertbaren Studien berechneten Nickelkonzentrationen im Urin angegeben. Sowohl im unteren Konzentrationsbereich bis 10 µg Ni/m³ als auch im höheren bis 100 µg Ni/m³ schwanken die Konzentrationen im Urin zwischen den Studien stark. Dies dürfte nicht nur auf methodische Unterschiede zwischen den Studien zurückzuführen sein, sondern auch auf den Umstand, dass die tatsächlich aufgenommene Nickelmenge bei gleicher Luftbelastung durch arbeitsplatzhygienische Aspekte beeinflusst wird. So fanden Beattie et al. (2017) statistisch signifikante Beziehungen zwischen der Kontamination von Händen und Oberflächen einerseits und der Nickelausscheidung im Urin andererseits.

Tab. 2 Beziehungen zwischen äußerer und innerer Belastung aus fünf auswertbaren Studien bei 1–100 µg Nickel/m³

Luft [µg/m ³]	EKA 2004	Bernacki et al. 1980 (0,5–21,2 µg/m ³) ^{a)}	Ghezzi et al. 1989 (≤ 20 µg/m ³) ^{a)}	Oliveira et al. 2000 (2,8–116,7 µg/m ³) ^{a)}	Tola et al. 1979 (30–160 µg/m ³) ^{a)}	Werner et al. 1999 (10–71 µg/m ³) ^{a)}
		y [µg/l] = $6,3 + 3,5 \times x$ [µg/m ³]	$\ln y$ [µg/l] = $0,41 + 1,15 \times \ln x$ [µg/m ³]	y [µg/l] = $6,00 + 0,43 \times x$ [µg/m ³]	y [µg/l] = $26,78 + 522,75 \times x$ [mg/m ³]	$\ln y$ [µg/l] = $4,07 + 0,468 \times \ln x$ [mg/m ³]
1		10	1,5	<i>6</i>	<i>27</i>	<i>2</i>
6		27	12	<i>9</i>	<i>30</i>	<i>5</i>
10		41	21	10	<i>32</i>	<i>7</i>
25	<i>25</i>	<i>94</i>	<i>61</i>	17	<i>40</i>	10
30		<i>111</i>	<i>75</i>	19	42,5	11
50	<i>40</i>	<i>181</i>	<i>135,5</i>	27,5	53	14
100	<i>70</i>	<i>356</i>	<i>300,5</i>	49	79	<i>20</i>

^{a)} Expositionsbereich, in dem in der jeweiligen Studie gemessen wurde

fett: in diesem Expositionsbereich wurde in der jeweiligen Studie gemessen, *kursiv:* berechnete Werte
x: Nickel in der Luft; y: Nickel im Urin

Reevaluierung der EKA

Aufgrund der großen Unterschiede zwischen den mit den Regressionsgleichungen aus den vorliegenden Studien berechneten Nickelkonzentrationen im Urin im Konzentrationsbereich von 1 bis 100 µg Ni/m³ ist die Ableitung von EKA nicht möglich.

Die bisherigen EKA für lösliche Nickelverbindungen werden daher ausgesetzt.

Anmerkungen

Interessenkonflikte

Die in der Kommission etablierten Regelungen und Maßnahmen zur Vermeidung von Interessenkonflikten (https://www.dfg.de/dfg_profil/gremien/senat/arbeitsstoffe/interessenkonflikte/index.html) stellen sicher, dass die Inhalte und Schlussfolgerungen der Publikation ausschließlich wissenschaftliche Aspekte berücksichtigen.

Literatur

- AGS (Ausschuss für Gefahrstoffe) (2017) Begründung zu Nickelverbindungen in TRGS 910. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Dortmund. https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/910/910-nickel.pdf?__blob=publicationFile&v=2, abgerufen am 31 Aug 2021
- Angerer J (2004) Nickel (leichtlösliche Nickelverbindungen wie Nickelacetat und vergleichbare lösliche Salze, Nickelchlorid, Nickelsulfat). In: Drexler H, Greim H (Hrsg) Biologische Arbeitsstoff-Toleranz-Werte (BAT-Werte) und Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA), 12. Lieferung. Wiley-VCH, Weinheim. Auch erhältlich unter DOI: <https://doi.org/10.1002/3527600418.bb744002verd0012>
- Beattie H, Keen C, Coldwell M, Tan E, Morton J, McAlinden J, Smith P (2017) The use of bio-monitoring to assess exposure in the electroplating industry. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 27(1): 47–55. DOI: <https://doi.org/10.1038/jes.2015.67>
- Bernacki EJ, Zygowicz E, Sunderman FW (1980) Fluctuations of nickel concentrations in urine of electroplating workers. *Ann Clin Lab Sci* 10(1): 33–39
- Ghezzi I, Baldasseroni A, Sesana G, Boni C, Cortona G, Alessio L (1989) Behaviour of urinary nickel in low-level occupational exposure. *Med Lav* 80(3): 244–250
- Kiilunen M, Aitio A, Tossavainen A (1997 a) Occupational exposure to nickel salts in electrolytic plating. *Ann Occup Hyg* 41(2): 189–200. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0003-4878\(96\)00033-6](https://doi.org/10.1016/s0003-4878(96)00033-6)
- Kiilunen M, Utela J, Rantanen T, Norppa H, Tossavainen A, Koponen M, Paakkulainen H, Aitio A (1997 b) Exposure to soluble nickel in electrolytic nickel refining. *Ann Occup Hyg* 41(2): 167–188. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0003-4878\(96\)00032-4](https://doi.org/10.1016/s0003-4878(96)00032-4)
- Nieboer E, Fletcher GG, Thomassen Y (1999) Relevance of reactivity determinants to exposure assessment and biological monitoring of the elements. *J Environ Monit* 1(1): 1–14. DOI: <https://doi.org/10.1039/a808849g>
- Oliveira JP, de Siqueira ME, da Silva CS (2000) Urinary nickel as bioindicator of workers' Ni exposure in a galvanizing plant in Brazil. *Int Arch Occup Environ Health* 73(1): 65–68. DOI: <https://doi.org/10.1007/pl00007940>
- Schaller KH (2010) Nickel und seine Verbindungen. In: Drexler H, Hartwig A (Hrsg) Biologische Arbeitsstoff-Toleranz-Werte (BAT-Werte), Expositionsäquivalente für krebserzeugende Arbeitsstoffe (EKA), Biologische Leitwerte (BLW) und Biologische Arbeitsstoff-Referenzwerte (BAR), 17. Lieferung. Wiley-VCH, Weinheim. Auch erhältlich unter DOI: <https://doi.org/10.1002/3527600418.bb744002verd0017>
- Tola S, Kilpiö J, Virtamo M (1979) Urinary and plasma concentrations of nickel as indicators of exposure to nickel in an electroplating shop. *J Occup Med* 21(3): 184–188
- Werner MA, Thomassen Y, Hetland S, Norseth T, Berge SR, Vincent JH (1999) Correlation of urinary nickel excretion with observed „total“ and inhalable aerosol exposures of nickel refinery workers. *J Environ Monit* 1(6): 557–562. DOI: <https://doi.org/10.1039/a906597k>