

Aus dem Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. Dennis Nowak

Nickelbelastung beim Bearbeiten von Chrom-Nickel-Stählen und
Instandsetzen von Triebwerken des Flugzeugtyps Tornado

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von: Sabine Häßner - Neumüller
aus: Halle an der Saale
Jahr: 2006

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. D. Nowak

Mitberichterstatter: Priv. Doz. Dr. U. Walther

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. rer. nat. R. Schierl

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Juni 2006

Inhaltsverzeichnis

	Seite	
1.	Einleitung	03
1.1.	Fragestellung	03
1.2.	Allgemeines zu Nickel und seinen Verbindungen	03
1.3.	Biologische Daten zu Nickel	07
1.4.	Gesundheitsstörungen durch Nickel oder seine Verbindungen	10
1.4.1.	Akute toxische Effekte	10
1.4.2.	Nickel und Krebs	11
1.4.3.	Toxische Effekte auf andere Organsysteme	12
1.5.	Gesetze und Verordnungen	13
1.5.1.	Einstufungen von Nickel und seinen Verbindungen in Bezug auf krebserzeugende Wirkung	13
1.5.2.	Gesetzliche Einstufungen mit Bezug zur sensibilisierenden Wirkung	14
1.5.3.	Luftgrenzwerte für Nickel und seine Verbindungen	15
1.5.4.	Anwendung des Luftgrenzwertes auf Nickellegierungen	15
1.5.5.	Grenzwerte im biologischen Material	16
2.	Messmethoden, Material und Untersuchungsplan	17
2.1.	Untersuchungskollektive	17
2.1.1.	Screening	17
2.1.2.	Hauptuntersuchung - Nachbrennerinstandsetzung	17
2.1.3.	Hauptuntersuchung - Werkstatt	17
2.2.	Untersuchungsmethoden der gewonnenen Proben	18
2.2.1.	Bestimmung der Luftmesswerte	18
2.2.2.	Bestimmung der Nickelkonzentration im Urin und im Blut	18
2.2.3.	Bestimmung der Wischproben	19
2.3.	Untersuchungsplan	19
2.3.1.	Ethikkommission	19
2.3.2.	Screening	19
2.3.3.	Nachbrennerinstandsetzung	20
2.3.4.	Werkstatt	22

3.	Ergebnisse	26
3.1.	Screening	26
3.1.1.	Urinmesswerte	26
3.2.	Hauptuntersuchung	28
3.2.1.	Nachbrennerinstandsetzung	28
3.2.1.1.	Urin- und Blutmesswerte	28
3.2.1.2.	Luftmesswerte (Standort- und personengetragene Messgeräte)	28
3.2.1.3.	Handwischproben	29
3.2.1.4.	Zusammenfassung der Messergebnisse der Nachbrennerinstandsetzung	32
3.2.2.	Werkstatt	33
3.2.2.1.	Urin- und Blutmesswerte	33
3.2.2.2.	Luftmesswerte	34
3.2.2.3.	Handwischproben	35
3.2.2.4.	Zusammenfassung der Messergebnisse der Werkstatt	37
4.	Diskussion	39
4.1.	Äußere Belastung – Wischproben der Hände	39
4.1.1.	Nachbrennerinstandsetzung	39
4.1.2.	Werkstatt	42
4.2.	Äußere Belastung – Luftmesswerte	42
4.2.1.	Nachbrennerinstandsetzung	42
4.2.2.	Werkstatt	44
4.3.	Innere Belastung	44
4.3.1.	Screening	44
4.3.2.	Nachbrennerinstandsetzung	45
4.3.3.	Werkstatt	47
5.	Zusammenfassung	48
6.	Abkürzungsverzeichnis	49
7.	Literatur	50
8.	Anhang	56
9.	Danksagung	67
10.	Lebenslauf	68

1. Einleitung

1.1. Fragestellung

Nickel und seine Verbindungen sind in die Gruppe der krebserzeugenden Stoffe eingeordnet. Die Triebwerke von Luftfahrzeugen (hier Flugzeugtyp Tornado; Bundeswehr) bestehen zu einem hohen Anteil aus Chrom-Nickel-Stählen.

Zur Aufrechterhaltung der Flugfähigkeit werden die Triebwerke regelmäßig gewartet. Im ersten Arbeitsschritt werden die Triebwerke abmontiert und zerlegt. Dabei kommt es zur Freisetzung von nickelhaltigen Russpartikeln. Die demontierten Einzelbauteile werden anschließend in die Werkstatt geliefert. Sowohl diese Bauteile, als auch neuwertige müssen maschinell bearbeitet werden. Die Instandsetzungsarbeiten der Beschäftigten beinhalten unter anderem die Arbeitsverfahren Drehen, Schleifen, Bohren und Fräsen.

Im Rahmen von arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen wurden mehrfach erhöhte Nickelbelastungen im Urin dieser Arbeiter festgestellt. Die durchgeführten Luftmessungen bei diesen arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen lagen jedoch immer deutlich unter den gesetzlichen Grenzwerten.

Ziel dieser Doktorarbeit soll die Beurteilung der Nickelbelastung der Arbeiter in den definierten Bereichen sein sowie die Erarbeitung entsprechender Vorschläge für Maßnahmen zum Arbeitsschutz.

1.2. Allgemeines zu Nickel und seinen Verbindungen

a) Physikalisch-chemische Daten zu Nickel

Nickel ist ein silberweißglänzendes Metall, welches zur achten Nebengruppe des Periodensystems zählt. Die wesentlichen physikalisch-chemischen Daten des Elementes Nickel werden in Tabelle 1 dargestellt. Dieses Metall kann ähnlich wie Stahl poliert, geschmiedet und geschweißt werden. Es wird durch Luft und Wasser nicht angegriffen. Auch durch verdünnte Salzsäure oder Schwefelsäure wird es nur langsam aufgelöst. Nickel ist korrosionsfest und sehr dehnbar.

Tabelle 1: Physikalisch-chemische Daten und Eigenschaften von Nickel

Eigenschaft	Wert
Chemisches Symbol	Ni
Ordnungszahl	28
relative Atommasse	58,7
Oxidationsstufen	meistens 2 (selten 0,1,3 und 4)
natürliche Isotope	Ni ⁵⁸ (68%), Ni ⁶⁰ (26%), Ni ⁶² (4%), Ni ⁶¹ (1%), Ni ⁶⁴ (1%)
künstliche Isotope	Ni ⁵⁶ , Ni ⁵⁷ , Ni ⁵⁹ , Ni ⁶³ , Ni ⁶⁵ , Ni ⁶⁶ , Ni ⁶⁷
Schmelzpunkt	1453°C
Siedepunkt	2732°C
Struktur	Kristall, kubisch, a= 3,524 Å (20°C)
Dichte (bei 20°C)	8,908 g/cm ³
Härte	3,8 Mohs
spezifischer Widerstand bei 0-100 °C	6,844 Ω/ cm
spezifische Wärme bei 25 °C	0,1061 cal/ g
Dampfdruck bei 1203 °C	1*10 ⁻⁴ Torr

b) Natürliches Vorkommen von Nickel und dessen Nutzung in der Industrie

Nickel kommt in der Erdkruste zu einem Anteil von 0,008% vor. Es gelangt in das Wasser und den Boden durch die natürliche Verwitterung, sowie durch Erosion der geologischen Gesteine.

Der weitaus größere Anteil von Nickel in unserer Umwelt ist jedoch ein Resultat von menschlichen Aktivitäten wie Förderung im Bergwerk, Schmelzen und Raffinieren von Nickelerzen, Herstellung von Legierungen, Treibstoff- und Müllverbrennung, Herstellung von Katalysatoren und Batterien oder in der Elektroindustrie. Im Diagramm 1 werden in einer Übersicht die industriellen Anwendungen von Nickel dargestellt.

Wegen seiner guten Korrosions- und Wärmebeständigkeit wird Nickel als Widerstandslegierung im Schiff-, Luftfahrt- und Maschinenbau genutzt. Weiterhin findet es in weiten Bereichen des beruflichen und privaten Lebens Anwendung, wie für Prothesen, magnetische Werkstoffe, chirurgische Instrumente, Tafelbesteck, Kochgeschirr, Modeschmuck und als Bestandteil von Münzen.

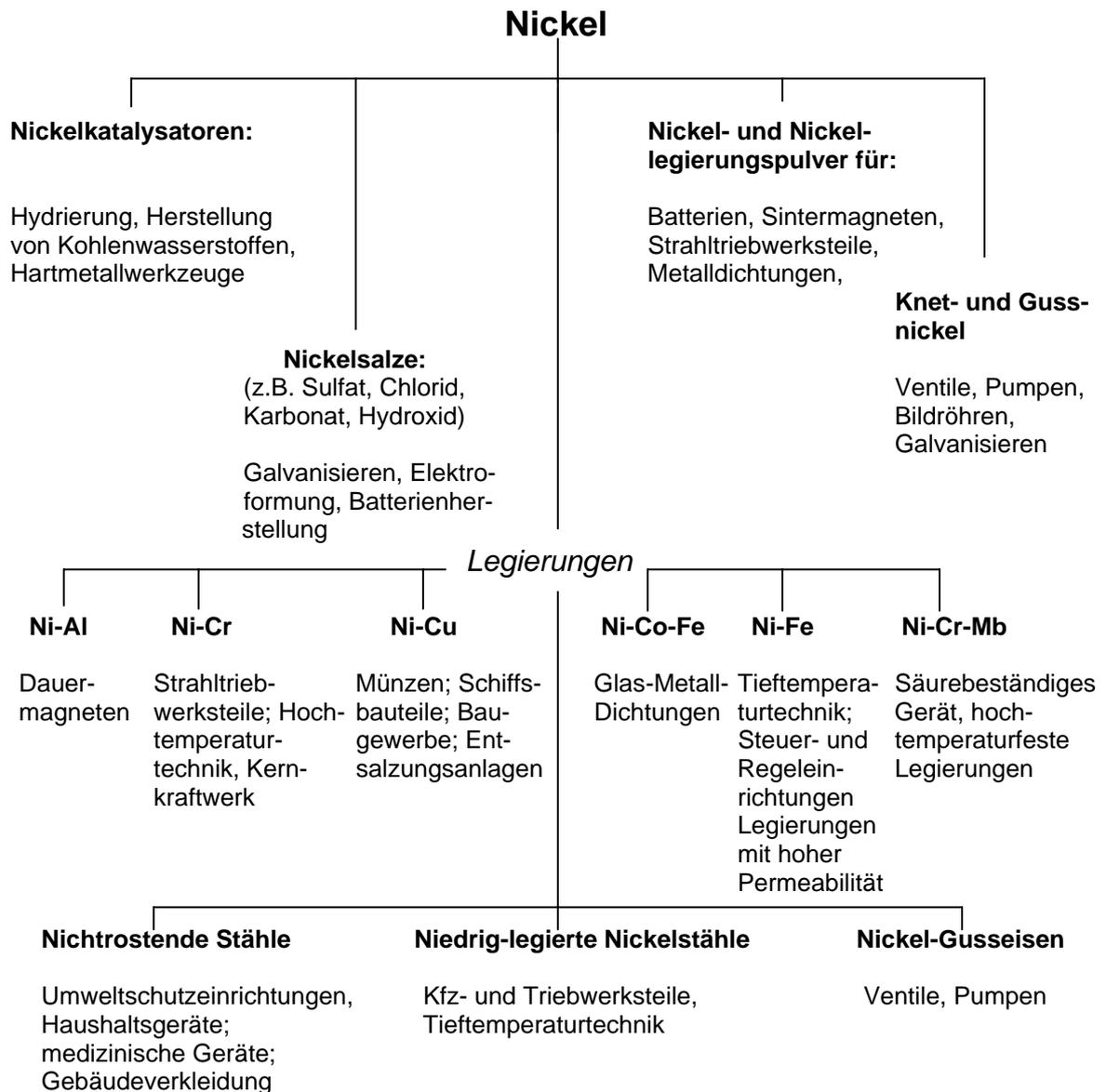


Diagramm 1: Übersicht über verschiedene industrielle Verwendungen von Nickel und seinen Verbindungen

c) berufliche Expositionsmöglichkeiten mit Nickel

Entsprechend der vielfältigen industriellen Anwendung von Nickel und seinen Verbindungen sind zahlreiche berufliche Expositionsmöglichkeiten zu berücksichtigen, wie z. B.

- Abbau von nickelhaltigen Erzen, Nickelraffination, Nickelschmelzen
- Herstellung von Nickelpulver nach dem Mond-Prozess
- Herstellung von nickelhaltigen Legierungen (zum Beispiel Monel-Metall) und Edelstahl
- Bearbeiten nickelhaltiger Stähle (z. B. Flugzeugturbinen, -triebwerksindustrie)
- Schweißen (Edelstahl, thermisches Spritzen und Plasmaspritzen)
- Keramische - und Glasindustrie, Emaillearbeiten

- Herstellung nickelhaltiger Farben
- Öltraffineration
- Galvanik

Gemäß den technischen Regeln für gefährliche Arbeitsstoffe (TRgA) 134 wird für folgende Betriebsarten, Arbeitsplätze oder Tätigkeiten einschließlich Reinigungs- und Reparaturarbeiten ein Überschreiten der Auslöseschwelle angenommen:

- Aufarbeiten und Verarbeiten von Nickelerzen zu Nickel oder Nickelverbindungen (auch Arbeiten an nachgeschalteten Staubfiltern)
- Elektrolytische Nickelgewinnung
- Herstellen und Verarbeiten von Nickel und Nickelverbindungen in Pulverform
- Herstellen nickelhaltiger Akkumulatoren und Magnete
- Schweißen, Spritzen und Plasmaschneiden mit mehr als 5% Nickel-Massengehalt in engen Räumen oder ohne örtliche Absaugung in ungenügend belüfteten Bereichen
- Schleifen von Nickel und dessen Legierungen mit einem Massengehalt von mehr als 80 Prozent Nickel

Diese Arbeitsverfahren werden analog auch im Berufsgenossenschaftlichen Grundsatz für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen in der Fassung April 1981 genannt.

d) Referenzwerte

Während die Umgebungsluftwerte von Nickel in Gebieten mit ländlicher oder städtischer Strukturierung in der Regel niedrig sind und bei 1-20 ng-Ni/m³ liegen, wurde dagegen in der Nähe einer Nickelraffinerie Luftwerte von 100-250 ng-Ni/m³ gemessen (Nieboer, Fletcher 2001). In Tabelle 2 werden Luftwerte von verschiedenen Nickel-Belastungsbereichen dargestellt.

Tabelle 2: festgestellte Nickel-Luftwerte von verschiedenen Industriezweigen mit Nickel-Belastungsbereichen (ATSDR 2003)

Nickel-Belastungsbereich	Festgestellte Nickel-Luftwerte
Schmelzen von Ni-Erzen	4-420 µg/m ³
Nicht-rostende Stahlproduktion	<1-189 µg/m ³
Herstellung von Nickellegierungen	1-4,4 µg/m ³
Elektroplattieren	<2-16 µg/m ³
Herstellung von Ni-Cd-Batterien	20-1910 µg/m ³
Produktion von Ni-Katalysatoren	1-1240 µg/m ³
Durchschnittswert dieser Industriebereiche	<3-378 µg/m ³

Im Rahmen einer Literaturzusammenfassung von Nickelkonzentrationen im Menschen von Templeton et al (1994) wurden folgende Durchschnittswerte für beruflich-nichtexponierte Personen in Urin und Serum vorgeschlagen: Serum $<0,2 \mu\text{g-Ni/l}$ und Urin $<2 \mu\text{g-Ni/l}$. Für Vollblut wurde ein Nickelwert für beruflich-nichtexponierte Personen von $<2,0 \mu\text{g/l}$ vorgeschlagen (Nieboer, Fletcher 2001). Diese Werte sind in Abhängigkeit von Umweltfaktoren und der individuellen Ernährung zu sehen.

1.3. Biologische Daten zu Nickel

a) Aufnahme und Verteilung von Nickel im menschlichen Körper

Aus physiologisch-chemischer Sicht zählt Nickel zu den Spurenelementen. Der Körper enthält im Durchschnitt $7,4 \mu\text{g-Ni/ kg}$ (Bennett 1984). Die Aufnahme von Nickel ist abhängig von der Wasserlöslichkeit der einzelnen Nickelverbindungen. Dies wird in Tabelle 3 dargestellt.

Tabelle 3: chemisch-physikalische Daten einzelner Nickelverbindungen

Name der Nickelverbindung	Chemische Formel	Molekular Gewicht	Wasserlöslichkeit
Nickel	Ni	58,7	1,13 mg/l (37°C)
Nickelchloride	NiCl_2	129,6	642 g/l (20°C)
Nickelcyanid	$\text{Ni}(\text{CN})_2$	110,7	Unlöslich
Nickeloxid	NiO	74,7	1,1 mg/l (20°C)
Nickelsubsulfid	Ni_3S_2	240,2	517 mg/l (37°C)
Nickelsulfat	NiSO_4	154,8	293 g/l (0°C)

Nickel kann durch drei Wege in den menschlichen Körper aufgenommen werden: inhalativ, peroral und percutan.

Inhalative Aufnahme:

Inhalierte Nickelpartikel können als eingeatmeter Anteil des Staubes in den oberen und tiefen Anteilen des Respirationstraktes deponiert werden und anschließend durch verschiedene Mechanismen absorbiert werden.

Die Verteilungsmuster im Respirationstrakt sind abhängig von der Partikelgröße. Größere Partikel (5 - 30 μm) werden nahezu ausschließlich extrathorakal, also im Bereich der Nase, des Rachens und des Kehlkopfes abgelagert und können durch

Verschlucken auch in den Verdauungstrakt übertreten. Die Reinigung der Partikel aus diesem Bereich der Atemwege ist nach wenigen Stunden abgeschlossen.

Kleinere Partikel (1 - 5 µm) werden im Tracheo-Bronchialbereich deponiert, wo sie durch den mukoziliaren Reinigungsapparat meist innerhalb eines Tages eliminiert werden. Ultrafeine Partikel sind jedoch dort über mehrere Wochen aufzufinden.

Der Abtransport der abgesetzten Nickelpartikel erfolgt umso langsamer, je kleiner die Partikel sind (Deutsche Forschungsgemeinschaft 2005).

Die kleinsten Partikel (<1 µm) dringen in den Alveolarbereich vor, wo keine mukoziliare Reinigung mehr stattfindet. Hier können diese über das Lungeninterstitium in das Lymphsystem und bei ultrafeinen Partikeln auch in die Blutbahn übertreten.

Diese kleinsten Partikel werden ebenfalls als alveolengängige Fraktion (früher Feinstaub) bezeichnet, im Gegensatz zur einatembaren Fraktion (früher Gesamtstaub), die alle Partikel enthält, die eingeatmet werden können. Der verbleibende Anteil (zwischen alveolengängiger - und einatembarer Fraktion) wird entweder verschluckt, ausgehustet oder verbleibt im Respirationstrakt.

Das in den Lungen deponierte Nickel wird beim Menschen zu 20 - 35% in die Blutbahn resorbiert (ATSDR 2003). Bei Arbeitern die inhalativen Nickelstäuben ausgesetzt waren, wurden im Urin erhöhte Nickelwerte gefunden. Die höheren Konzentrationen an Nickelwerten im Urin wurden bei den Arbeitern gefunden, die gegenüber wasserlöslichen Nickelverbindungen exponiert waren. Im Vergleich dazu waren die Nickelurinwerte bei Arbeitern, die gegenüber schwer löslichen Nickelverbindungen exponiert waren, deutlich niedriger. Dies weist darauf hin, dass wasserlösliche Nickelverbindungen stärker aus dem Respirationstrakt in die Blutbahn resorbiert werden.

Orale Aufnahme:

Die Hauptaufnahme von Nickel für beruflich-nichtexponierte Personen erfolgt über die Nahrung. Die Menge an Nickel in der Nahrung wird auf durchschnittlich 150 µg täglich geschätzt.

Es gibt Lebensmittel, die reich an Nickel sind, wie Kakao, Sojabohnen, andere getrocknete Gemüsearten, Nüsse und verschiedene Getreidesorten (Nieboer, Fletcher 2001). Eine Anreicherung von Nickel in der Nahrungskette erfolgt jedoch nicht.

Die Resorptionsquoten für wasserlösliche Nickelsalze in der Nahrung durch den Verdauungstrakt liegen bei 1 - 3% (Schneider et al 2001). Zur gastrointestinalen Resorption schwer löslicher Nickelverbindungen liegen keine Informationen vor.

Die Resorption von Nickel aus Wasser ist generell höher als aus der Nahrung und liegt hier bei 27 % (Schneider et al 2001). In Europa lag der durchschnittliche Gehalt an

Nickel im Trinkwasser bei 1 - 11 µg/l (ATSDR 2003). Die Aufnahme von Nickel aus Wasser ist bei gleichzeitiger Aufnahme von Nahrungsmitteln stark vermindert.

Dermale Aufnahme:

Studien mit menschlicher Haut zeigten, dass Nickel die Haut durchdringen kann (Fullerton et al 1988). Nur der vollständig gelöste Anteil an Nickel in dem jeweiligen Transportmedium kann in die Haut eindringen. Aufgrund der Barrierefunktion der Haut verbleibt ein Großteil des Nickels auf der Hautoberfläche.

Bei einer durchgeführten Studie erfolgte unter Sauerstoffabschluss eine deutlich höhere Durchdringung der Haut. So gelangten bei dieser Untersuchung 10,6 % der Ausgangsdosis von Nickelchlorid in die Epidermis und 1,6 % in die Dermis (Fullerton et al 1988). Ein hoher Anteil des Nickels, der in die Haut gelangt, wird im Stratum corneum gebunden und verbleibt dort für längere Zeit.

Die Anwesenheit weiterer Chemikalien beeinflusst die dermale Resorption. So erfolgt mit Vaseline fast keine Resorption von Nickel. Wird der Schutzfilm der Haut dagegen durch das Transportmedium z. B. durch Dehydrierung geschädigt, dann ist die Aufnahme von Nickel in die Haut wieder deutlich höher (Turkall et al 2003). Die Resorption in die Haut ist umso größer, je höher die vorhandene Konzentration von Nickel auf der Oberfläche ist.

b) Transport und Verteilung

Im Blut kann Nickel, gebunden an drei Fraktionen, transportiert werden. Diese sind ein Aminosäurekomplex (Ni-L-Histidin-Komplex), α_2 -Makroglobulin und Albumin, welches der Haupttransportweg für Nickel ist. Der Wechsel von Nickel zwischen den Fraktionen erfolgt über einen tertiären Komplex. Ebenfalls über einen tertiären Komplex erfolgt der Transfer von Nickel auf niedermolekulare Bestandteile, die dann die biologischen Membranen durchdringen können. Der Transport von Nickel konkurriert mit dem Transport von Kupfer, da beide Metalle die gleiche Bindungsstelle am Albumin nutzen (Sarkar 1984).

Die Verteilung von Nickel im Körper erfolgt relativ gleichmäßig. So wurde es mit absteigender Konzentration (µg/kg-Trockengewicht) in der Reihenfolge: Lunge, Schilddrüse, Nebenniere, Niere, Herz, Leber, Gehirn, Milz und Pankreas in einer Autopsiestudie von beruflich-nichtexponierten Personen gefunden (Rezuke et al 1987).

c) Elimination und Halbwertszeit

Absorbiertes Nickel wird, unabhängig vom Aufnahmeweg, über die Niere ausgeschieden. Bei Arbeitern, die inhalativ mit wasserlöslichen Nickelsalzen exponiert waren, wurde eine biologische Halbwertszeit im Urin von 17 - 39 h ermittelt. Bei den mit schlecht löslichen Nickelverbindungen exponierten Arbeitern berechnete man diese auf 30 - 53 h (Roels et al 1993).

Man kann bei der Absorption von Nickel davon ausgehen, dass der meiste Anteil der resorbierten Dosis in ein schnelles Kompartiment verteilt wird. Hier liegt die Elimination bei einer Halbwertszeit von 7 - 53 h. Der Rest wird aus einem langsamen Kompartiment innerhalb von 14 Tagen ausgeschieden (Christensen 1995). Bei einer Serumhalbwertszeit von Nickel mit 30 - 53 h, würde aus dem Probenwert 32 % dem letzten Tag, 59 % der letzten Woche und 9 % dem letzten Monat entsprechen (Christensen 1995).

Nach oraler Exposition wird sehr viel Nickel über die Fäzes ausgeschieden, was dem nicht resorbierten Anteil entspricht. Ansonsten wird die Eliminationshalbwertszeit für Nickel, das aus Nahrung und Trinkwasser resorbiert wurde, auf durchschnittlich 28 h geschätzt. Weitere Wege der Ausscheidung sind Schwitzen und über die Muttermilch (ATSDR 2003).

1.4. Gesundheitsstörungen durch Nickel oder seine Verbindungen

1.4.1. Toxische Effekte

a) Nickeltetracarbonyl

Aufgrund seiner hohen Flüchtigkeit (Siedepunkt bei 43°C) wird diese Nickelverbindung in der Raffinerie zur Herstellung eines hochreinen Produktes verwendet. Die Toxizität von Nickelcarbonyl unterscheidet sich zu den anderen Nickelverbindungen aufgrund seiner einzigartigen Eigenschaften, wie Oxidationsstufe 0 und hohe Fettlöslichkeit. Eine Vergiftung mit diesem Stoff tritt systemisch in Erscheinung, wobei Lunge und Gehirn am stärksten betroffen sind. Trotz einer Therapie mit Chelat-Bindern wurden Todesfälle dokumentiert (Nieboer, Fletcher 2001).

b) Akute Toxizität von Nickel und seinen Verbindungen

Verglichen mit der Inhalation von Nickelcarbonyl ist die orale Aufnahme von Nickelsulfat oder -chlorid weit weniger toxisch. Bei einem Betriebsunfall, wo 32 Elektroplattierer irrtümlich nickel-kontaminiertes Wasser tranken, entwickelten die meisten Arbeiter

Symptome wie Übelkeit, abdominale Krämpfe, Schwindel, Mattigkeit und Diarrhoe. Bei vielen dauerten diese Beschwerden einige Stunden und bei wenigen bis zu 2 Tage (Sunderman et al 1988). Es fanden sich bei diesen Arbeitern mit 230 – 37.100 µg/l Ni (Urin) und 13 - 1340 µg/l Ni (Serum) die bisher höchsten Konzentrationen.

1.4.2. Nickel und Krebs

Verbindungen zwischen beruflicher Nickerexposition und einem erhöhten Risiko an Krebs werden seit über 50 Jahren vermutet (Doll 1990). Die ersten Publikationen erschienen 1958 (Doll 1958 und Morgan 1958). Seit diesem Zeitpunkt wurden verschiedene Veröffentlichungen mit vielen direkten Zusammenhängen zwischen beruflicher Exposition und Krebs publiziert.

Lunge und Nase sind die Zielorgane der kanzerogenen Wirkung von Nickelverbindungen. Daher beziehen sich alle Einstufungen von Nickel auf atembare Stäube oder Aerosole. Die Latenzzeit bis zur Entwicklung von Lungen- oder Nasenkrebs liegt bei über 15 Jahren.

Durch die Auswertung verschiedenster epidemiologischer Studien und von Tierversuchen, sowie der Bewertung von toxokinetischen Daten gelangte die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (MAK-Kommission) der deutschen Forschungsgemeinschaft zu folgender Einteilung der einzelnen Nickelverbindungen. Nickelmonoxid, -dioxid, Dinickeltrioxid, Nickelmonosulfid und Nickelsubsulfid (schwer lösliche Nickelverbindungen) werden in die Kanzerogenitäts-Kategorie 1 eingestuft, aufgrund der eindeutigen Datenlage aus den epidemiologischen Studien, sowie ergänzt durch den Nachweis der Bioverfügbarkeit durch Phagozytose und Solubilisierung zu Nickel(II)-Ionen (Greim 2001).

Aufgrund der festgestellten Daten aus der Epidemiologie bei Arbeitern in der Nickel-elektrolyse und unterstützenden Hinweisen aus Tierversuchen werden lösliche Nickelsalze, wie Nickelsulfat, Nickelchlorid, Nickelacetat und vergleichbare Nickelverbindungen ebenfalls in die Kanzerogenitäts-Kategorie 1 eingestuft. In den epidemiologischen Daten wurde eine überadditive Wirkung von löslichen Nickelverbindungen in Kombination mit schwerlöslichen Nickelverbindungen gefunden (Greim 2001).

Nickelmetall (elementares Nickel) wird wegen positiver Daten aus Tierversuchen, durch den Nachweis der Bioverfügbarkeit über Phagozytose und durch die Löslichkeit zu Nickelionen ebenfalls in die Kanzerogenitäts-Kategorie 1 eingestuft (Greim 2001).

Zu den Verbindungen Nickelhydroxid und Nickelcarbonat gibt es nur sehr wenige chemisch-biologische Daten, jedoch wird auch hier von einer Freisetzung von Nickel-

ionen in den Zielgeweben ausgegangen. Folglich werden diese beiden Nickelverbindungen auch in die Kanzerogenitäts-Kategorie 1 eingeteilt.

Ein Anstieg des Krebsrisikos tritt vor allem bei Expositionen mit Luftwerten von über 1 mg/m³ bei löslichen Nickelverbindungen und über 10 mg/m³ bei schwerlöslichen Nickelverbindungen auf (Nieboer, Fletcher 2001). Ein erhöhtes Risiko an Krebs im Respirationstrakt wurde bei der Herstellung von Nickellegierungen und der verarbeitenden Industrie von Nickel und seinen Verbindungen bisher nicht gefunden (Nieboer, Fletcher 2001).

1.4.3. Toxische Effekte auf andere Organsysteme

a) Nickel-induzierte asthmatische Erkrankungen

Die Berichte über Nickel induziertes Asthma sind selten, dennoch wurden periodisch Fallreportagen und Fallstudien dokumentiert (Malo et al 1982 und Shirakawa et al 1992).

b) Nickel-induzierte allergische Kontaktdermatitis

Weltweite Studien ergeben eine Prävalenz der Nickeldermatitis bei Frauen von 7 – 10 % und bei Männern von 1 – 2 %. Die Prognose der primären Kontaktdermatitis ist gut, wobei ein weiterer Kontakt mit Nickel zu einer Chronifizierung (speziell an den Händen) der Erkrankung führen kann. Die Sensibilisierung erfolgt sehr häufig im privaten Lebensbereich durch den Kontakt mit nickelhaltigem Modeschmuck und Armbanduhr.

Bei Patienten mit der chronischen Form der Nickelallergie können die Symptome durch eine erhöhte orale Zufuhr an Nickel in der Nahrung bzw. im Trinkwasser ausgelöst werden. Es gibt Hinweise, dass eine nickel-reduzierte Diät und die Vermeidung des Verzehrs von nickelreichen Lebensmitteln hilfreich sind (Nieboer, Fletcher 2001).

c) Reproduktionsmedizin

Bis vor kurzem wurden über keine Probleme in Bezug auf die Reproduktion und Nickel berichtet. In Tierversuchen mit Ratten und Mäusen wurde über testikuläre Degenerationen berichtet (ATSDR 2003).

Die Sperma - Qualität von indischen Schweißern, exponiert mit nickel- und chromhaltigen Schweißrauch, war gegen eine Kontrollgruppe deutlich vermindert (Danadevi et al 2003). Ein Rückschluss auf die Fertilität war jedoch nicht möglich.

Eine Studie über ansteigende Zahlen an Aborten und Missbildungen bei Kindern von Müttern, welche in einer russischen Raffinerie arbeiten, ist in Bearbeitung (Nieboer, Fletcher 2001).

d) renale Toxizität

Die Nephrotoxizität von Nickel im menschlichen Körper ist niedrig. Eine geringe Anzahl an Reportagen berichtete über eine milde Proteinurie bei einzelnen beruflich exponierten Personen (Nieboer, Fletcher 2001).

e) Kardiotoxizität

Nickel(II)-chlorid erzeugt eine Vasokonstriktion im Hundeherz in situ und im isoliert perfundierten Rattenherz. Beim Menschen wurde jedoch keine erhöhte Anzahl an kardiovaskulären Erkrankungen gefunden (Nieboer, Fletcher 2001).

1.5. Gesetze und Verordnungen

Seit dem 01.01.2005 ist eine neue Gefahrstoffverordnung gültig, die die zum Untersuchungszeitpunkt geltenden TRK- und MAK-Werte außer Kraft setzt. In dieser neuen Verordnung sind jedoch noch keine neuen verbindlichen Regelungen festgelegt, so dass im Moment weiterhin mit den damaligen TRK- und MAK-Werten gearbeitet wird. Deswegen wird im folgenden Bezug auf die „alten“ Regelungen genommen.

1.5.1. Einstufungen von Nickel und seinen Verbindungen in Bezug auf krebs- erzeugende Wirkung

Die Einstufung eines Stoffes als „krebserzeugend“ hat erhebliche Konsequenzen für den Umgang mit diesem Stoff. Der endgültige Abschluss der Einstufung von Nickel und seinen Verbindungen steht noch aus, speziell die Einstufung von Nickelmetall ist noch nicht abgeschlossen.

Die Gefahreinstufungen und die darauf basierenden Kennzeichnungen sind für Nickel und eine Reihe von Nickelverbindungen von der EG verbindlich festgelegt (Smola 2000). Die Kennzeichnungen müssen vom Hersteller oder Importeur der entsprechenden Stoffe in haltbarer Form auf die Verpackung aufgebracht werden. Die EG-Einstufungen sind primär für das in Verkehrbringen der Stoffe relevant, sie haben jedoch auch eine große Bedeutung für die Gefährdungsermittlung. Die EG-Einstufungen für Nickel und seine Verbindungen findet man unter folgenden Punkten: Richtlinie 93/72/EWG (1. Anpassungsrichtlinie) der Kommission vom 1. September

1993 zur 19. Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt und Richtlinie 98/98/EG (2. Anpassungsrichtlinie) der Kommission vom 15. Dezember 1998 zur 25. Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt.

Die technische Regel für Gefahrstoffe TRGS 905 „Verzeichnis krebserzeugender, erbgutverändernder oder fortpflanzungsgefährdender Stoffe“ enthält von den EG-Einstufungen abweichende oder zusätzliche Einstufungen, die vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) vorgenommen wurde. Die Einstufungen von Nickel und seinen Verbindungen nach der EG-Richtlinie und die Einstufungen der TRGS 905 werden in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Einstufungen von Nickel und seinen Verbindungen nach EG-Richtlinien

Name der Verbindung	EG-Richtlinie		Krebs-Kategorie nach TRGS 905
	Krebs-Kategorie	Anpassungs-Richtlinie	
Nickeltetracarbonyl	3	2	-
Nickel	3	1	1
Nickelmonoxid	1	1	1
Nickeldioxid	1	1	1
Nickelsulfid	1	1	-
Nickeldihydroxid	3	1	-
Nickelsulfat	3	2	1
Nickelcarbonat	3	2	1
Nickelchlorid	-	-	1

1.5.2. Gesetzliche Einstufungen mit Bezug zur sensibilisierenden Wirkung

Eine Einstufung der sensibilisierenden Eigenschaften von Nickel und seinen Verbindungen findet man in der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 907 „Verzeichnis sensibilisierende Stoffe“ nicht. Hier sind ausschließlich die EG-Einstufungen zu berücksichtigen. Danach sind Nickel, Nickellegierungen mit einem Nickelgehalt <1%, Nickelmonoxid, Nickeldioxid, Dinickeltrioxid, Nickelsulfid, Trinickeldisulfid, Nickel-

dihydroxid, Nickelsulfat und Nickelcarbonat mit dem R-Satz (Bezeichnungen der besonderen Gefahren bei gefährlichen Stoffen und Zubereitungen) 43 „Sensibilisierung durch Hautkontakt“ und darüber hinaus Nickelsulfat zusätzlich mit dem R-Satz 42 „Sensibilisierung durch Einatmen“ eingestuft (Smola 2000).

1.5.3. Luftgrenzwerte für Nickel und seine Verbindungen

In der Technischen Regel für Gefahrstoffe TRGS 900 „Grenzwerte in der Luft am Arbeitsplatz“ werden die in Tabelle 5 genannten Luftgrenzwerte für Nickel und seine Verbindungen dargestellt.

Tabelle 5: Luftgrenzwerte für Nickel und Nickelverbindungen nach TRGS 900

Name der Verbindung	Luftgrenzwert	Spitzenbegrenzung	Bemerkungen
Nickel als -Nickelmetall und Nickelcarbonat -Nickeloxid, Nickelsulfid und sulfidische Erze	0,5 mg/m ³ E	Überschreitungsfaktor 4	2, 3, 25 TRK
Nickelverbindungen in Form atembarer Tröpf- chen	0,05 mg/m ³ E	Überschreitungsfaktor 4	TRK, 2, 25

- E einatembare Fraktion
- TRK Technische Richtkonzentration
- 2 Mit den derzeitigen analytischen Methoden der Arbeitsbereichsüberwachung wird meist der Gehalt des Elementes Nickel im Stoff ermittelt. Aus toxikologischer Sicht notwendige Unterscheidungen nach der Verbindungsart sind analytisch ohne besonderen Aufwand häufig nicht möglich. Wegen dieser Schwierigkeit bei der Identifizierung bestimmter Nickelverbindungen wird empfohlen, den Luftgrenzwert generell für Nickel und seine Verbindungen als Anhalt für die zu treffenden Schutzmaßnahmen zugrunde zu legen, auch wenn analytisch nicht sicher feststeht, ob krebserzeugende Nickelverbindungen im Arbeitsbereich vorliegen.
- 3 Es wird empfohlen, bei der mechanischen Bearbeitung von Nickellegierungen (Nickel > 80 Gew.-%) 0,5 mg/m³ an Nickel in der Luft am Arbeitsplatz einzuhalten.
- 25 Der Grenzwert bezieht sich auf den Metallgehalt als analytische Berechnungsbasis.

1.5.4. Anwendung des Luftgrenzwertes auf Nickellegierungen

Die Anwendung des Luftgrenzwertes von Nickelmetall auf Nickellegierungen wird in der TRGS 901 erläutert. Dem Ausschuss für Gefahrstoffe liegen zur Zeit keine gesicherten wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Bildung von Nickeloxiden bei der Be- und Verarbeitung von Nickellegierungen vor. Bei einigen Arbeitsverfahren, z.B. beim Schweißen kann man davon ausgehen, dass sich eher Nickelmischoxide

(Spinelle) statt reine Oxide bilden. Eine mögliche krebserzeugende Wirkung von Spinellen konnte bis zum jetzigen Zeitpunkt jedoch noch nicht abschließend bewertet werden, so dass sie bis dato nicht in der TRGS 905 aufgeführt werden. Deshalb wird zum Zwecke einer einheitlichen Vorgehensweise zur Beurteilung von Arbeitsplätzen mit Nickel- und Nickeloxid-Exposition bei der Herstellung, Be- und Verarbeitung von Nickellegierungen das Vorgehen nach Tabelle 6 empfohlen.

Tabelle 6: Nickelgrenzwerte bei Herstellung, Be- und Verarbeitung von Nickellegierungen

Luftgrenzwert	Arbeitsverfahren
MAK: 0,5 mg/m ³ für Nickelmetall	-Schleifen, Polieren, Walzen, Schmelzen und Gießen von Legierungen mit Nickelgehalten <80%
TRK: 0,5 mg/m ³ für Nickeloxid (als Nickel berechnet)	-Schweißen (Elektroden oder Draht) und thermisches Schneiden mit bzw. von Legierungen mit Nickelgehalten <5% -Metallspritzen von Legierungen mit Nickelgehalten <5% -Schleifen, Polieren, Walzen, Schmelzen und Gießen von Legierungen und nickelmetallhaltigen Überzügen bzw. Beschichtungen mit einem Nickelgehalt >80%

1.5.5. Grenzwerte im biologischen Material

Die MAK-Kommission hat für Nickelmetall, Nickeloxid, Nickelcarbonat, Nickelsulfid und sulfidische Erze die in Tabelle 7 aufgeführten Korrelationen zwischen der Nickelkonzentration in der Atemluft und im Urin aufgestellt (Smola 2000).

Tabelle 7: Expositionsäquivalentwerte für Nickel und seine Verbindungen

Nickelkonzentration in der Luft (mg/m ³)	Nickelkonzentration im Urin (µg/l)
0,10	15
0,30	30
0,50 (=TRK-Wert)	45

2. Messmethoden, Material und Untersuchungsplan

2.1. Untersuchungskollektive

2.1.1. Screening

Am Screening nahmen 31 Arbeiter aus 3 Arbeitsbereichen teil. Es handelte sich sowohl um zivile Arbeiter/ Angestellte, als auch um Zeitsoldaten und Wehrpflichtige.

Der erste untersuchte Abschnitt betraf die Beschäftigten der Werkstatt. Hier wurden 15 Personen im Alter von 22 bis 54 Jahren untersucht (Mittelwert: 35,4 Jahre).

Im Arbeitsbereich Triebwerkszerlegung des Flugzeugtyps Tornado gaben 13 Personen im Alter von 20 bis 53 Jahren (Mittelwert: 28,7 Jahre) eine Urinprobe ab.

Zuletzt wurde zur Vollständigkeit noch der Arbeitsplatz Triebwerkszerlegung des Flugzeugtyps Phantom mit 2 Personen (52 und 47 Jahre) untersucht.

2.1.2. Hauptuntersuchung - Nachbrennerinstandsetzung

In dieser Abteilung nahmen an einem Untersuchungstag drei männliche Probanden teil. Diese waren körperlich gesund und gaben keine Beschwerden vor oder nach der Arbeitszeit an. Weiterhin war bei keinem der drei Probanden eine Erkrankung im Zusammenhang mit Nickel (z. B. Kontaktdermatitis) bekannt. Es wurde auch privat keine weitere Nickelbelastung angegeben.

Proband B1 war ein 22 Jahre alter Heizungs- und Lüftungsbauer, welcher seit 2 Jahren und 3 Monaten im Nickelbelastungsbereich arbeitete. Bei dem Probanden B2 handelte es sich um einen 28- jährigen Industriemechaniker, der seit 5 Jahren und 3 Monaten im Nickelbelastungsbereich tätig war. Der Proband B3 war ein Triebwerkmechaniker von 35 Jahren und arbeitete seit 4 Jahren und 3 Monaten im Nickelbelastungsbereich.

2.1.3. Hauptuntersuchung - Werkstatt

In dieser Abteilung nahmen an zwei Untersuchungstagen 6 männliche Probanden teil. Diese waren körperlich gesund und gaben bis auf den Probanden A4 keine Beschwerden vor oder nach der Arbeitszeit an. Bei keinem der sechs Probanden war eine Vor-erkrankung im Zusammenhang mit Nickel (z. B.: Kontaktdermatitis) bekannt. Es wurde auch privat keine weitere Nickelbelastung angegeben.

Proband A1 (Bohren) war ein 53 Jahre alter Landmaschinenmechaniker, der seit 3,5 Jahren im Nickelbelastungsbereich arbeitete. Bei dem Probanden A2 (Schleifen nass) handelte es sich um einen 20-jährigen Zerspanungsmechaniker, der seit 1,5 Jahren im Nickelbelastungsbereich tätig war. Der Proband A3 (Drehen) war ein gelernter Dreher von 40 Jahren und arbeitete seit 7,5 Jahren im Nickelbelastungsbereich. Der 36-jährige Proband A4 (Schleifen trocken - 1) war ein Maschinenschlosser, der seit 15 Jahren im Nickelbelastungsbereich tätig war. Er gab einen Hautausschlag vor allem während der Arbeitszeit an, den er jedoch in keinen Zusammenhang mit Nickel brachte. Bei dem 39-jährigen Probanden A5 (Fräsen) handelte es sich um einen Maschinenbauer, der seit 11 Jahren im Nickelbelastungsbereich arbeitete. Der Proband A6 (Schleifen trocken - 2) war ein 22 Jahre alter Gas- und Wasserinstallateur und arbeitete seit 2 Jahren im Nickelbelastungsbereich.

2.2. Untersuchungsmethoden der gewonnenen Proben

2.2.1. Bestimmung der Luftmesswerte

Für die Staubsammlung wurden jeweils für die einatembare und die alveolengängige Fraktion die Filter Teflo TM 47mm/ 2µm von der Firma Pall verwendet. Der Aufschluss der Luftprobenfilter erfolgte mit HPA-S (Hochdruckveraschung) von der Firma Paar in einem 4-Stufentemperaturprogramm bis 300 °C. Dabei wurde Salpeter- und Salzsäure als Aufschlussreagenz verwendet. Die weitere Analyse der Nickelluftwerte wurde mit dem Atomabsorptionsspektrometer der Fa. Perkin Elmer unter Verwendung der Zeemann-Untergrundkompensation im Standardadditionsverfahren bestimmt.

2.2.2. Bestimmung der Nickelkonzentration im Urin und im Blut

Die Analyse der Urin- und Blutproben erfolgte mit dem Atomabsorptionsspektrometer der Firma Perkin Elmer unter Verwendung der Zeemann-Untergrundkompensation im Standardadditionsverfahren. Als Kontrollproben wurden folgende Materialien verwendet: ClinChek-Kontrollblut Level 1 der Firma Recipe, ClinCheck-Kontrollurin Level 1 der Firma Recipe und Lyphocheck Kontrollurin Level 1 der Firma BioRad.

2.2.3. Bestimmung der Wischproben

Bei den Handwischproben kamen S & S Blaubandfilter 589/ 90mm zur Anwendung. Der Aufschluss der Wischprobenfilter erfolgte mit der HPA-S (Hochdruckveraschung) von der Fa. Paar in einem 4-Stufentemperaturprogramm bis 300 °C. Dabei wurde 65 %-ige Salpetersäure als Aufschlussreagenz verwendet. Die Analyse der Nickelkonzentrationen wurde mit dem Atomabsorptionsspektrometer der Fa. Perkin Elmer unter Verwendung der Zeemann-Untergrundkompensation im Standardadditionsverfahren durchgeführt.

2.3. Untersuchungsplan

2.3.1. Ethikkommission

Im Juli 2001 wurde ein Antrag auf Begutachtung des Studienkonzeptes dieser Untersuchung durch die Ethikkommission der medizinischen Fakultät der LMU München gestellt (Antrag siehe Anlage 2). Durch die Ethikkommission wurden im September 2001 keine Bedenken gegen die Durchführung der Studie erhoben und damit die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit zuerkannt.

2.3.2. Screening

Die im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung auffälligen Arbeitsbereiche sowie vom Arbeitsablauf ähnliche Aufgabenbereiche wurden in das Screening mit einbezogen. Der Ablauf des Screenings wurde mit den festgelegten Abteilungen vier Wochen vor Untersuchungsbeginn besprochen und erläutert. Um Fehlerquellen zu vermindern, wurde vorher nochmals auf die Einhaltung der Hygiene hingewiesen. Es wurden die Namen und die Personenkennziffer der an dem Screeningtag anwesenden Arbeiter festgestellt. Nach Beendigung der Arbeit mussten diese Mitarbeiter, nachdem sie sich umgezogen und gesäubert hatten, ihre Urinprobe in einen nummerierten Becher abgeben. Die Urinproben wurden dann in der Abteilung Arbeits- und Betriebsmedizin des Fliegerhorst Erding über Nacht im Kühlschrank gelagert und am nächsten Tag zum Institut für Arbeits- und Umweltmedizin der LMU München transportiert, wo die Bestimmung der Nickelwerte erfolgte. Weiterhin wurde von den Arbeitern aus der Abteilung Werkstatt eine Tätigkeitsbeschreibung des Arbeitstages abgegeben (von 5 Arbeitern keine Tätigkeitsbescheinigung abgegeben) und diese mit der gleichen Nummer wie vom Urinbecher versehen.

2.3.3. Nachbrennerinstandsetzung

Vor Beginn der Untersuchung (09.10.2001) wurden im Arbeitsgebiet (siehe Bild 1) die Standortsampller zentral positioniert und neue Filter eingelegt. Der Start der Proben-sammlung (Personal- und Standortsampller) erfolgte mit Arbeitsbeginn und wurde jeweils zu den Pausen unterbrochen. Nach Arbeitsende wurden die Filter entnommen und für den Transport in einem nummerierten Behälter gelagert. Die Start- und Endzeiten sowie die Luftdurchsatzmengen wurden in einem Datenerfassungsbogen festgehalten.

Vor jeder Pause wurden Wischproben von den Händen der Probanden genommen. Dafür wurde ein Filter mit etwas 1 %-HCL-Lösung benetzt und danach über die Handinnenfläche des Arbeiters gewischt. Bis zur weiteren Untersuchung wurden die 12 Wischproben jeweils in einem nummerierten Transportgefäß gelagert.

Am Morgen wurde die erste Urinprobe von den 3 Probanden abgegeben. Nach Arbeitsende wurde von den Arbeitern, nachdem sie sich umgezogen hatten, erneut eine Urinprobe in der Betriebsmedizin des Fliegerhorstes Erding abgegeben und eine Blutprobe entnommen. Die einzelnen Tätigkeiten der Probanden und die verwendeten Arbeitsschutzmittel werden in Tabelle 8 dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung der Tätigkeiten der Probanden ist im Anhang (1) zu finden.



Bild 1: Arbeitsbereich Nachbrennerinstandsetzung



Bild 2: Endmontage eines sauberen, instandgesetzten Nachbrenners

Tabelle 8: Tätigkeiten der Probanden der Nachbrennerinstandsetzung am Untersuchungstag

	B1	B2	B3
Tätigkeit	Theorie, Planung, Arbeitsvor-/ Arbeitsnachbereitung	Theorie, Planung, Arbeitsvor-/ Arbeitsnachbereitung	Theorie, Planung, Arbeitsvor-/ Arbeitsnachbereitung
Dauer der Tätigkeit	42 min	01 h 02 min	02 h 06 min
Verwendung von Arbeitsschutzmitteln	Keine	Keine	Keine
Tätigkeit	Endmontage eines sauberen, instandgesetzten Nachbrenners (siehe Bild 2)	Montage des Innenlebens eines Nachbrenners (siehe Bild 3)	Montage des Innenlebens eines Nachbrenners (siehe Bild 3)
Dauer der Tätigkeit	03 h 55 min	03 h 24 min	3h 34 min
Verwendung von Arbeitsschutzmitteln	Keine	Keine	Keine
Tätigkeit	Zerlegung eines schmutzigen Nachbrenners (siehe Bild 4)	Zerlegung eines schmutzigen Nachbrenners (siehe Bild 4)	Erwärmung von Schraubenverbindungen mit Schweißgerät zum Lösen dieser Verbindungen (siehe Bild 5) in der Schweißerei
Dauer der Tätigkeit	2 h 15 min	2 h 23 min	1 h
Verwendung von Arbeitsschutzmitteln	Keine	Weißer Baumwollhandschuhe verwendet	Gebrauchte Handschuhe vor Ort verwendet
Tätigkeit			Einreiben von Schrauben mit hochnickelhaltigem Never-Seez zum Korrosionsschutz
Dauer der Tätigkeit			30 min
Verwendung von Arbeitsschutzmitteln			Keine



Bild 3: Montage des Innenlebens eines Nachbrenners



Bild 4: Zerlegen eines schmutzigen Nachbrenners



Bild 5: Erwärmung von Schraubenverbindungen mit Schweißgerät zum Lösen dieser Verbindungen

2.3.4. Werkstatt

Es wurden an 2 Untersuchungstagen (10. - 11.10.2001) je 3 Arbeitsplätze mit je 3 Probanden untersucht. Vor Untersuchungsbeginn wurden die Standortsampller bei der Schleifmaschine im Schleifraum im Arbeitsgebiet (siehe Bild 6 und 7) positioniert und jeweils neue Filter eingelegt. Der Start der Probensammlung erfolgte mit Arbeitsbeginn und wurde regelmäßig zu den Pausen unterbrochen. Nach Arbeitsende wurden die Filter entnommen und für den Transport in einem nummerierten Behälter gelagert. Die Start- und Endzeiten sowie die Luftdurchsatzmengen wurden in einem Datenerfassungsbogen festgehalten.



Bild 6: Arbeitsbereich Schleifraum am 1. Untersuchungstag in der Werkstatt



Bild 7: Arbeitsbereich Schleifraum am 2. Untersuchungstag in der Werkstatt

Vor jeder Pause wurden Wischproben von den Händen der Probanden genommen. Dafür wurde ein Filter mit etwas 1 %-HCL-Lösung benetzt und danach mit diesem über die Handinnenfläche des Arbeiters gewischt. Bis zur weiteren Untersuchung wurden die 12 Wischproben jeweils in einem nummerierten Transportgefäß gelagert.

Am Morgen wurde von den 3 Probanden jeweils die erste Urinprobe abgegeben. Nach Arbeitsende wurde von den Arbeitern, nachdem sie sich umgezogen hatten, erneut eine Urinprobe nun in der Betriebsmedizin des Fliegerhorstes Erding abgegeben und eine Blutprobe entnommen.

Die einzelnen Tätigkeiten und Arbeitsbedingungen der Probanden werden in Tabelle 9 für A1 - 3 und Tabelle 10 für A4 - 6 dargestellt. Eine ausführliche Beschreibung der Tätigkeiten der Probanden befindet sich im Anhang (2).



Bild 8: Tätigkeit Bohren im 2. Obergeschoss



Bild 9: Tätigkeit Nassschleifen im Schleifraum 1

Tabelle 9: Tätigkeiten der Probanden A1 - 3 der Werkstatt am Untersuchungstag

	A1 Bohren	A2 Nassschleifen	A3 Drehen
Tätigkeit	Theorie, Planung, Arbeitsvor-/Arbeitsnachbereitung	Theorie, Planung, Arbeitsvor-/Arbeitsnachbereitung	Theorie, Planung, Arbeitsvor-/Arbeitsnachbereitung
Dauer der Tätigkeit	2h 37min	43min	2h 6min
Tätigkeit	Ausbohren von Nieten an einem Flammrohr (siehe Bild 8)	Nassschleifen von Filtern im Schleifraum (siehe Bild 9)	Dreh-/Schleifbearbeitung eines Hochdruck-Verdichter-Rep. Stator (siehe Bild 10)
Dauer der Tätigkeit	4h 36min	6h 57min	5h
Arbeitsbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> - Bohrflüssigkeit verwendet - Keine Schutzkleidung - Keine Absaugung 	<ul style="list-style-type: none"> - Kühl-/Schmiermittel verwendet - Keine Handschuhe verwendet - Keine Absaugung verwendet 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Verwendung von Kühl-/Schmiermittel - Kleine Absaugung an der Drehmaschine - Mundschutz verwendet - Keine Handschuhe



Bild 10: Tätigkeit Drehen in der Werkstatthalle



Bild 11: Tätigkeit Trockenschleifen 1 im unteren Schleifraum

Tabelle 10: Tätigkeiten der Probanden A4-6 der Werkstatt am Untersuchungstag

	A4 Trockenschleifen 1	A5 Fräsen	A6 Trockenschleifen 2
Tätigkeit	Theorie, Planung, Arbeitsvor-/Arbeitsnachbereitung	Theorie, Planung, Arbeitsvor-/Arbeitsnachbereitung	Theorie, Planung, Arbeitsvor-/Arbeitsnachbereitung
Dauer der Tätigkeit	55min	45min	44min
Tätigkeit	Trockenschleifen eines Mitteldruck-Verdichters RB 199-3 (siehe Bild 11)	Fräsen von Flammhalterringen innen und außen (siehe Bild 12)	Trockenschleifen von Flammrohren (siehe Bild 13)
Dauer der Tätigkeit	5h 48min	5h 34min	2h 40min
Arbeitsbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Verwendung von Kühl-/Schmiermittel - Raumluftabsaugung - Mundschutz und Gehörschutz verwendet - Keine Handschuhe verwendet 	<ul style="list-style-type: none"> - Schneidöl verwendet - Keine Absaugung - Kein Mundschutz oder Handschuhe verwendet 	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Verwendung von Kühl-/Schmiermittel - Tischabsaugung - Schutzanzug, -maske und Gehörschutz verwendet
Tätigkeit		Bohren von Löchern in die Flammhalterringe	
Dauer der Tätigkeit		1h 17min	
Arbeitsbedingungen		<ul style="list-style-type: none"> - Schneidöl verwendet - Keine Absaugung - Kein Mundschutz oder Handschuhe verwendet 	



Bild 12: Tätigkeit Fräsen in der Werkzeughalle



Bild 13: Tätigkeit Trockenschleifen 2 im Schleifraum im 2. Obergeschoss

3. Ergebnisse

3.1. Screening

3.1.1. Urinmesswerte

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse des Screening aus den verschiedenen Tätigkeitsbereichen der Triebwerkszerlegung Tornado dargestellt, geordnet vom höchsten zum niedrigsten Nickelwert im Urin. Auffallend war, dass erhöhte Werte nur in dem Arbeitsbereich Abgasanlage/ Tätigkeitsbereich 15 (entspricht Nachbrennerinstandsetzung - NBI) festgestellt wurden. Daraufhin wurde dieser Teilbereich in die weitere Untersuchung aufgenommen.

Tabelle 11: Ni-Urinmesswerte in der Nachbrennerinstandsetzung im Screening mit Tätigkeits- und Altersangabe

Alter	Tätigkeitsbereich*	Kreatinin (mg/dl)	Nickel (µg/l)	Nickel (µg/g-Krea)
25	15	101,0	9,2	9,1
24	15	113,0	6,6	5,8
21	15	25,0	0,6	2,4
22	15	158,0	3,4	2,2
23	Kombi 3/4	124,0	1,2	1,0
20	Kombi 3/4	202,0	1,3	0,6
38	4	29,0	0,1	0,3
39	Alle	42,0	0,1	0,2
22	Alle	138,0	0,3	0,2
26	4	65,0	0,1	0,2
43	4	76,0	0,1	0,1
35	Kombi 3/4	82,0	0,1	0,1
35	15	97,0	0,1	0,1
Mittelwert:		96,3	1,8	1,7

* 15 – Abgasanlage, Kombi 3/4 – Modulkombination Hochdruckverdichter, 04 - Zwischengehäuse

Die Ergebnisse der Abteilung Werkstatt (dargestellt in Tabelle 12) wurden wieder vom höchsten zum niedrigsten Nickelwert im Urin geordnet. Es konnte kein eindeutiger Bezug zu einer oder mehreren belastenden Tätigkeiten hergestellt werden. Sechs der 14 Urinproben waren auffällig, weshalb von einer vorhandenen Nickelbelastung in dieser Abteilung ausgegangen wurde. Die verschiedenen Personen sollten zur Differenzierung der Nickelbelastung an den unterschiedlichen Arbeitsplätzen

untersucht werden. Es handelte sich um die Tätigkeiten Bohren, Drehen, Fräsen, Nassschleifen, Trockenschleifen 1 (Schleifraum im Erdgeschoss) und Trockenschleifen 2 (kleiner Arbeitsraum im 1. Obergeschoss).

Tabelle 12: Ni-Urinmesswerte in der Werkstatt im Screening mit Tätigkeits- und Altersangabe

Alter	Tätigkeit	Kreatinin (mg/dl)	Nickel (µg/l)	Nickel (µg/g- Krea)
51	Keine Angaben	103,0	10,5	10,2
53	Keine Angaben	122,0	8,3	6,8
22	Schleifen 6h	220,0	8,9	4,0
54	Fräsen, schleifen	136,0	4,7	3,5
39	Fräsen, bohren	218,0	5,2	2,4
40	Sägen, drehen	125,0	2,8	2,2
37	Drehen, fräsen	153,0	2,6	1,7
41	Drehen, fräsen	175,0	2,5	1,4
26	Drehen, fräsen	126,0	1,8	1,4
24	Keine Angaben	129,0	1,6	1,2
49	Büro	11,0	0,1	0,9
24	Keine Angaben	253,0	1,0	0,4
23	Drehen 5,5h	61,0	0,2	0,3
25	Keine Angaben	202,0	0,2	0,1
23	Fräsen	270,0	-----	-----
Mittelwert:		153,6	3,6	2,6

Als drittes wurde die Abteilung Nachbrennerinstandsetzung des Flugzeugtyps Phantom untersucht (siehe Tabelle 13). Von 2 Arbeitern im Belastungsbereich Nickel nahm einer am Screening teil. Die Urinprobe des Arbeiters war unauffällig, weshalb dieser Tätigkeitsbereich nicht in die weitere Untersuchung aufgenommen wurde.

Tabelle 13: Urinmesswerte im Screening in der Einheit Nachbrennerinstandsetzung-Phantom

Alter	Tätigkeit	Kreatinin (mg/dl)	Nickel (µg/l)	Nickel (µg/g-Krea)
52	NBI-Phantom	42	0,2	0,5

3.2. Hauptuntersuchung

3.2.1. Nachbrennerinstandsetzung

3.2.1.1. *Urin- und Blutmesswerte*

Die Urinwerte der 3 untersuchten Probanden waren mit 0,5 bis 1,6 µg/g – Kreatinin als nicht auffällig einzustufen (siehe Tabelle 14).

Bei 2 von den 3 Probanden zeigte sich ein geringfügiger Anstieg (0,5 bzw. 0,6 µg/g – Krea) der Nickelwerte im Urin von der Vorschicht- zur Nachschichtprobe (siehe Diagramm 1). Die Blutwerte waren mit 0,1 bis 0,6 µg/l ebenfalls unauffällig.

Tabelle 14: Urin- und Blutmesswerte von den 3 Probanden der NBI

	Urinwerte						Blut-	
	Nickelwert - morgens			Nickelwert - abends			Differenz	
	<i>Ni</i> (µg/g - Krea)	<i>Ni</i> (µg/l)	Kreatinin (mg/dl)	<i>Ni</i> (µg/g - Krea)	<i>Ni</i> (µg/l)	Kreatinin (mg/dl)	Ni-abends zu Ni- morgens in µg/g-Krea	Ni-Voll- blut in µg/l
B1	0,8	1,9	246,9	1,3	1,0	79,6	0,5	0,6
B2	1,0	0,8	79,9	1,6	1,0	63,1	0,6	0,1
B3	0,5	2,3	459,8	0,5	0,8	154,3	0,0	0,1
Ø	0,8	1,7	262,2	1,1	0,9	99,0	0,4	0,3

3.2.1.2. *Luftmesswerte (Standort- und personengetragenes Messgerät)*

Die verschiedenen Luftmesswerte werden in Tabelle 15 dargestellt. Die gemessenen Werte waren sehr niedrig (PS-einatembare Fraktion 0,17 µg/m³, PS-alveolengängige Fraktion 2,09 µg/m³; SS-einatembare Fraktion 0,04 µg/m³, SS-alveolengängige Fraktion 0,01 µg/m³). Deshalb wurden die PS-Werte von den Probanden B1 und B2 aufgrund sehr niedriger Staubwerte auch nicht weiter analysiert. Der TRK-Wert (500 µg/m³) wurde deutlich unterschritten. Die allgemeinen Luftstaubwerte (PS: 0,12 - 0,39 mg/m³; SS: 0,01 und 0,02 mg/m³) waren ebenfalls als gering einzustufen.

Tabelle 15: Luftmesswerte von Personal- und Standortsamplern in der NBI

	Staubmessart	Laufzeit (h:min)	Durchsatz (m ³)	Staub (mg/m ³)	Ni-Gehalt (mg/g-Staub)	Ni-Staubwert (µg/m ³)
B1	E	06:41	1,40	0,12	nicht gemessen	nicht gemessen
B2	E	06:24	1,34	0,22	nicht gemessen	nicht gemessen
B3	E	03:38	0,76	0,39	0,43	0,17
	A	05:50	0,70	0,21	9,73	2,09
SS1	PM 2,5	06:54	15,88	0,01	0,73	0,01
SS2	PM 10	06:51	15,74	0,02	2,22	0,04

A Alveolengängige Fraktion

E Einatembare Fraktion

3.2.1.3. Handwischproben

Die Ergebnisse der Wischproben (Gesamtmenge Nickel auf dem Filter) von den Probanden B1, B2 und B3 werden tätigkeitsbezogen in Tabelle 16 dargestellt. Die auf den Händen festgestellte Nickelbelastung ergab unterschiedliche Werte.

Bei dem Probanden B1 zeigten sich in der ersten, zweiten und vierten Arbeitsperiode sehr niedrige Werte (0,1-0,6 µg/ Filter). Ein höherer Wischprobenwert (7,1 µg/ Filter) konnte in der dritten Arbeitsperiode festgestellt werden. Dies könnte man auf die Unterstützung des Probanden B2 beim Zerlegen eines ungereinigten Nachbrenners ohne Handschuhe zurückzuführen, da die vorherigen Tätigkeiten hauptsächlich mit Werkzeugen (Schraubendreher, Bohrmaschine) ausgeführt wurden (kein direkter Kontakt mit Nachbrenner) und der Nachbrenner gereinigt war. Im vierten Arbeitsabschnitt bestand die Tätigkeit hauptsächlich im Abkleben von Einzelteilen mit einem Klebeband, bevor dieser gereinigt wird (mit Dampfstrahler). Dadurch war der direkte Kontakt mit dem schmutzigen Triebwerksteil sehr gering, weshalb wahrscheinlich der Wert der 4. Wischprobe wieder deutlich geringer ausfiel.

Anders war es bei dem Probanden B2. Hier waren die erste und zweite Wischprobe mit 50,2 bzw. 18,9 µg/ Filter auffällig. Der Bezug zur Tätigkeit war schwer herzustellen, da hier eine Hautbelastung durch starke Verschmutzung des zu bearbeitenden Geräts nicht gegeben war. Die Werte im Vergleich zu B1 sind jedoch deutlich höher (500-facher Wert als bei der ersten Wischprobe von B1). Die Innenteile eines Nachbrenners sind einer wesentlich höheren Belastung/ Abnutzung, als die Außenteile ausgesetzt.

Deshalb könnte die Hautkontamination, obwohl optisch nicht sofort sichtbar, bei Montage des „Innenlebens“ deutlich höher als bei der Arbeit außen am Nachbrenner sein. Die Nutzung von nickel-kontaminierten Arbeitsgeräten könnte eine weitere mögliche Ursache für erhöhte Wischprobenwerte sein (jeder Arbeiter übernimmt eine eigene Werkzeuggrundausrüstung und dessen Pflege).

Während der dritten und vierten Arbeitsphase wurden schmutzigere Arbeiten durchgeführt, jedoch wurden neue Handschuhe benutzt und die Hände vorher gewaschen (Mittagspause). Die Wischprobenwerte fielen daher niedriger aus (5,4 bzw. 3,4 µg Ni/Filter).

Die erste Wischprobe bei dem Probanden B3 fiel mit 0,1 µg/ Filter sehr gering aus. Dies ist im Vergleich zu B2, der die gleiche Tätigkeit daneben ausführte, auffällig. Die beobachtete Person erteilte in dieser Arbeitsphase Anweisungen und Anleitungen an einen Auszubildenden und führte damit keine direkten Arbeiten selbst durch. Weiterhin war B3 bei der Remontage des „Innenlebens“ des Nachbrenners mit einem anderen Arbeitsschritt (am Ende des Arbeitsabschnittes) beschäftigt als B2. Dies könnte die Erklärung für die extrem unterschiedlichen Werte sein.

In der zweiten Arbeitsperiode stieg der Messwert deutlich auf 39,1 mg/ Filter an. Bei den Arbeiten in der Schweißerei wurden Handschuhe getragen, die dort vor Ort lagen und benutzt waren, damit bestand die Möglichkeit der Nickelkontamination. Weiterhin wurde ein „nur“ vorgereinigtes „Innenleben“ zerlegt und transportiert. Damit ergaben sich ebenfalls Wege zur Verunreinigung der Haut. Die weiteren Wischprobenwerte fielen niedriger aus (16 bzw. 9,6 µg/ Filter), da die vorherige Tätigkeit wieder aufgenommen, einige organisatorische Arbeiten (ca. 45 min) erledigt und die Hände in den Pausen jeweils gereinigt wurden.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass es Tätigkeiten mit stärkerer Verschmutzung der Haut (Demontage eines ungereinigten Nachbrenners, Benutzung von nickel-belasteten Handschuhen) und solche mit niedrigerer Belastung der Haut (Endmontage der Außenteile eines sauberen Nachbrenners) gab. Die Benutzung von sauberen Handschuhen und eine vorherige Reinigung der Hände führten zu niedrigeren Nickelwerten bei einer Wischprobe.

Tabelle 16: Ni-Messwerte der Wischproben in Zusammenhang mit der Zeit und der Tätigkeit der Probanden

	Arbeitsabschnitt	Tätigkeit	verwendete Arbeitschutzmittel	Ni-Menge auf Filter in µg
B1	Frühmessung	- Endmontage der Außenteile des sauberen/reparierten Nachbrenners	keine	0,1
	Mittagsmessung	- Endmontage der Außenteile des sauberen/reparierten Nachbrenners	keine	0,3
	Nachmittagsmessung	- Endmontage der Außenteile des sauberen/reparierten Nachbrenners - Unterstützung B2	keine	7,1
	Abschlussmessung	- Zerlegung eines unge reinigten Nachbrenners	keine	0,6
B2	Frühmessung	- Remontage der sauberen Teile des "Innenlebens" des Nachbrenners	keine	50,2
	Mittagsmessung	- Zusammenbau "Innenleben" (sauber)	keine	18,9
	Nachmittagsmessung	- Zerlegung eines unge reinigten Nachbrenners	neue Baumwoll- Handschuhe verwendet	5,4
	Abschlussmessung	- Zerlegung eines unge reinigten Nachbrenners	Handschuhe verwendet	3,4
B3	Frühmessung	- Zusammenbau "Innenleben" (sauber) - Arbeitsanweisungen an Lehrling	keine	0,1
	Mittagsmessung	- Remontage der sauberen Teile des "Innenlebens" des Nachbrenners - Erwärmen von Schraubverbindungen mit Schweißgerät in der Schweißerei	schmutzige Schweißer- Handschuhe beim Erwärmen verwendet	39,1
	Nachmittagsmessung	- Zusammenbau "Innenleben" sauber	keine	16
	Abschlussmessung	- Zusammenbau "Innenleben" sauber	keine	9,6

3.2.1.4. Zusammenfassung der Messergebnisse der Nachbrennerinstandsetzung

Alle Werte werden zusammenfassend in Tabelle 17 dargestellt. Bei dem Probanden B1 waren beide Urinwerte unauffällig, ebenso der Blutwert. Beim Zerlegen eines unge reinigten Nachbrenners ohne Nutzung von sauberen Handschuhen zeigten die Werte der Wischproben eine ansteigende Tendenz. Da die Staubkonzentrationen sehr gering waren, wurden die dazugehörigen Luftfilter nicht weiter auf Nickel untersucht. Die Urin- und Blutprobenwerte des Probanden B2 waren ebenfalls unauffällig. Die Wischproben zeigten am Anfang einen hohen absoluten Wert, dies ließ sich jedoch nur schwer mit der ausgeführten Tätigkeit in Zusammenhang bringen. Durch die deutlich niedrigeren letzten beiden Wischprobenwerte, im Vergleich zu den ersten beiden Wischproben, zeigte sich, dass das Tragen von sauberen Handschuhen mit vorher gereinigten Händen die Kontamination der Haut bei schmutzigen Tätigkeiten deutlich verringert. Hier waren die Staubkonzentrationen ebenfalls sehr gering und die zugehörigen Filter wurden deshalb nicht auf Nickel untersucht. Bei dem Probanden B3 zeigten sich in den Urin- und Blutproben ebenfalls keine Auffälligkeiten. Die Wischproben zeigten hier sehr unterschiedliche Kontaminationswerte. Die Verunreinigung der Hände war im Zusammenhang mit den durchgeführten Tätigkeiten und den verwendeten Arbeitsmitteln zu sehen. Die Luftmesswerte waren für die alveolengängige und einatembare Fraktion der Staubwerte gering und lagen deutlich unter dem TRK-Wert. Auch die Standortsamplere zeigten (alveolengängige und einatembare Fraktion) eine sehr geringe Staubbelastung des Arbeitsgebietes Nachbrennerinstandsetzung an.

Tabelle 17: Übersicht über Urin-, Blut-, Wischproben- und Luftmesswerte der Nachbrennerinstandsetzung

	Ni-Urin in µg/g-Krea		Ni-Vollblut in µg/l	Ni-Wischproben in µg				Ni-Luftmesswerte (PS und SM) in µg/m³
	morgens	abends		1.	2.	3.	4.	
B1	0,8	1,3	0,6	0,1	0,3	7,1	0,6	nicht gemessen
B2	1	1,6	0,1	50,2	18,9	5,4	3,4	nicht gemessen
B3	0,5	0,5	0,1	0,1	39,1	16	9,6	2,09 (A) 0,17 (E)
				SS 1 mit Filter PM 2,5				0,01
				SS 2 mit Filter PM 10				0,04

Urinwerte

Blutwerte

Wischproben

Luftmesswerte

- A Alveolengängige Fraktion
- E Einatembare Fraktion

3.2.2. Werkstatt

3.2.2.1. Urin- und Blutmesswerte

Die Urinwerte der 6 untersuchten Probanden waren mit 0,2 bis 1,1 µg/g – Krea als nicht auffällig einzustufen (siehe Tabelle 18). Die Differenz zwischen den Urinwerten am Abend und am Morgen war bei den Probanden der Werkstatt eher rückläufig. Die Blutwerte waren mit Werten von 0,2 bis 1,6 µg/l ebenfalls unauffällig, jedoch höher als in der NBI.

Tabelle 18: Urin- und Blutmesswerte in der Werkstatt nach Probanden

	Urinwerte						Blut-	
	Nickelwert - morgens			Nickelwert - abends			Differenz Ni-	Ni- Voll- blut in µg/l
	Ni (µg/g - Krea)	Ni (µg/l)	Kreatinin (mg/dl)	Ni (µg/g - Krea)	Ni (µg/l)	Kreatinin (mg/dl)	zu Ni- morgens in µg/g- Krea	
A1*	0,6	0,6	106,4	0,5	0,4	84,0	-0,1	1,3
A2*	1,1	1,7	150,5	0,9	1,5	163,4	-0,2	0,8
A3*	0,7	0,7	93,8	0,2	0,1	66,1	-0,6	0,2
A4*	0,3	0,6	239,4	0,3	0,4	147,7	0,0	1,1
A5*	0,5	0,8	156,5	0,4	0,7	167,4	-0,1	1,6
A6*	0,3	0,5	186,0	0,4	0,6	159,3	0,1	0,8
Ø	0,6	0,8	155,4	0,5	0,6	131,3	-0,1	1,0

* A1 – Bohren, A2 – Nassschleifen, A3 – Drehen, A4 – Trockenschleifen 1, A5 – Fräsen, A6 – Trockenschleifen 2

3.2.2.2. Luftmesswerte

Die Ergebnisse der stationären (SS) und der personenbezogenen (PS) Luftmessungen der Probanden A1 – A6 werden in Tabelle 19 aufgeführt. Die gemessenen Werte waren unterschiedlich. Der TRK-Wert ($500 \mu\text{g}/\text{m}^3$) wurde jedoch bei allen untersuchten Arbeitsbereichen deutlich unterschritten. Die Staubkonzentrationen waren ebenfalls sehr gering (PS: $0,27\text{--}2,44 \text{ mg}/\text{m}^3$; SS: $0,06\text{--}0,37 \text{ mg}/\text{m}^3$). Die Luftmesswerte des Probanden an der Bohrmaschine waren sehr gering und wurden deswegen nicht weiter verfolgt.

Der Arbeiter mit der Tätigkeit Nassschleifen trug ein personenbezogenes Messgerät der alveolengängigen Fraktion und es befanden sich beide Standortmessgeräte im gleichen geschlossenen Arbeitsraum. Hier zeigte sich bei dem personengetragenen Messgerät ein höherer Wert bei der alveolengängigen Fraktion von $16,7 \mu\text{g Ni}/\text{m}^3$. Bei dem Standortmessgerät wurde dagegen ein wesentlich geringerer Wert ($0,02 \mu\text{g}/\text{m}^3$) für die alveolengängige Fraktion als für die einatembare Fraktion ($3,29 \mu\text{g}/\text{m}^3$) gemessen.

Bei dem Arbeitsplatz Drehmaschine wurde der für diesen Untersuchungstag höchste Nickelstaubwert von $29,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ermittelt. Die Gesamtmenge an Staub betrug dabei nur ungefähr ein Fünftel im Vergleich zum Nassschleifen, währenddessen der Nickelgehalt jedoch fast doppelt so hoch war. Der produzierte Ni-Staub beim Drehen enthielt folglich eine deutlich höhere Konzentration an Nickel als beim Nassschleifen (Nassschleifen $7,46 \text{ mg Ni}/\text{g}$ -Staub; Drehen $65,84 \text{ mg Ni}/\text{g}$ -Staub).

Am nächsten Untersuchungstag befanden sich die Standortmessgeräte wieder im Schleifraum. An diesem Tag wurde dort die Tätigkeit „Trockenschleifen 1“ unter Verwendung der Luftraumabsaugung durchgeführt. Die Luftmesswerte des Standortmessgerätes waren wieder sehr gering (E: $0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$; A: $0,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Der Wert des personengetragenen Messgerätes dieses Arbeiters war dazu passend und mit $1,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ebenfalls sehr gering.

Anders dagegen die Luftmesswerte des Probanden A6, der ebenfalls die Tätigkeit Trockenschleifen durchführte, jedoch in einem anderen Arbeitsraum ohne Absaugung (deshalb Bezeichnung als „Trockenschleifen 2“). Es konnte ein Ni-Gehalt von $41,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt werden. Dies war der höchste gefundene Wert. Der Gehalt an Nickel im Staub war mit $16,9 \text{ mg}/\text{g}$ – Staub ebenfalls höher als der Durchschnitt.

Die Luftmesswerte des Probanden an der Fräsmaschine wurden aufgrund sehr niedriger Werte nicht näher bestimmt.

Tabelle 19: Luftmesswerte von Personengetragenen - und Standortmessgeräten in der Werkstatt von beiden Messtagen

	Tätigkeit	Staubmessart	Laufzeit (h:min)	Durchsatz (m ³)	Staub (mg/m ³)	Ni-Gehalt (mg/g-Staub)	Ni-Staubwert (µg/m ³)
A1	Bohrmaschine	E	4:36	0,97	0,32	nicht gemessen	nicht gemessen
A2	Nass-Schleifen	A	6:39	0,80	2,24	7,46	16,73
SS1	Nass-schleifen	PM 2,5	7:04	16,22	0,10	0,18	0,02
SS2	Nass-schleifen	PM 10	7:01	16,11	0,37	8,96	3,29
A3	Drehmaschine	E	6:33	1,38	0,45	65,84	29,68
A4	Trockenschleifen 1	A	6:08	0,74	0,31	3,20	1,00
SS1	Trockenschleifen 1	PM 2,5	8:05	18,59	0,06	1,19	0,07
SS2	Trockenschleifen 1	PM 10	8:05	18,58	0,09	2,49	0,23
A5	Fräsmaschine	E	7:01	1,47	0,27	nicht gemessen	nicht gemessen
A6	Trockenschleifen 2	GS	3:13	0,23	2,44	16,85	41,1

A Alveolengängige Fraktion

E Einatembare Fraktion

3.2.2.3. Handwischproben

Die Daten der Wischproben (Ni-Konzentration auf dem Filter und Ni-absolute Menge auf dem Filter) werden tätigkeitsbezogen von den Probanden A1 – A6 in Tabelle 20 dargestellt. Es wurde jeweils der Nickelwert bei der Probe vor dem Mittagessen bzw. bei vorzeitiger Beendigung der Tätigkeit die Probe nach Abschluss dieser Arbeit gemessen. Die festgestellten Werte zeigten mit 1,0 - 95,5 µg Ni/ Filter eine unterschiedliche Nickelbelastung auf den Händen.

Proband A1 an der Bohrmaschine hatte mit 2,6 µg Ni/ Filter eine geringe Verschmutzung der Hände. Dies passte zu der „sauberen“ und grobspanigen Tätigkeit Bohren.

Ein ähnliches Bild zeigte sich beim Probanden A2 mit der Tätigkeit Nassschleifen. Die Wischprobenwerte waren mit 1,0 µg Ni/ Filter sehr gering. Dieser Proband führte

passend dazu eine Tätigkeit aus, wo er kaum in Kontakt mit dem zu bearbeitenden Arbeitsstück hatte (Kontakt nur beim Aus- und Einspannen) und dieses durch den Gebrauch von Kühl-/ Schmiermittel von etwaigen Verunreinigungen gesäubert wurde. Bei dem Arbeiter bei der Tätigkeit Drehen (A3) konnten ebenfalls nur sehr geringe Werte auf dem Wischprobenfilter festgestellt werden (1,4 µg Ni/ Filter). Dies war passend zur Tätigkeit, da der Proband außer beim Ein- und Ausspannen des Werkstückes kaum Hautkontakt mit diesem hatte.

Die gleiche Feststellung war beim Probanden A4 (Trockenschleifen 1) zu treffen. Der Wischprobenwert war mit 7,1 µg Ni/ Filter gering, weil dieser Arbeiter ebenfalls eine Tätigkeit durchführte bei der er nur beim Ein- und Ausspannen mit dem Werkstück Kontakt hatte und eine Absaugung zusätzlich den entstehenden Nickelstaub entfernte. Beim Probanden A5 wurde ein deutlich höherer Ni-Wischprobenwert von 42,1 µg Ni/ Filter gemessen. Dieser Proband fräste am Untersuchungstag mehrere Flammhalterringe und hatte durch mehrfaches Umspannen bzw. Überprüfen der Genauigkeit der Arbeit häufiger Hautkontakt mit dem Werkstück. Dies erklärte die deutlich höhere Hautkontamination des Probanden A5 mit Nickel.

Der höchste Wischprobenwert konnte beim Probanden A6 (Trockenschleifen 2) mit 95,5 µg Ni/ Filter festgestellt werden. Der Arbeiter trug bei seiner Tätigkeit einen Schutzanzug und Handschuhe. Damit ist die sehr hohe Kontamination der Hände nicht mit direktem Kontakt des Werkstücks beim Arbeiten erklärbar. Da jedoch der Reinigungszustand der Hände vor Verwendung der Handschuhe nicht überprüft und die Handschuhe mehrfach verwendet wurden, war eine Kontamination der Hände durch verunreinigte Arbeitsschutzmittel anzunehmen.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die Tätigkeiten in der Werkstatt bei Verarbeitung von nickelhaltigen Werkteilen mit einer sehr geringen Kontamination der Haut einhergingen. Dies lag an dem geringen Kontakt mit dem zu bearbeitenden Werkstück (Kontakt nur beim Ein- und Ausspannen). Eine Verunreinigung der Hände durch den entstehenden Abrieb bei der jeweiligen Tätigkeit war entweder durch den groben Span (z. B. Bohren) nicht gegeben oder wurde durch eine Absaugung (z. B. Trockenschleifen) bzw. Kühl-/ Schmiermittel entfernt. Erhöhte Wischprobenwerte waren nur feststellbar bei mehrmaligem Kontakt mit staubhaltigen Werkstücken und bei Verwendung von unsauberem Arbeitsschutzmitteln.

Tabelle 20: : Ni-Messwerte der Wischproben in Zusammenhang mit der Zeit und der Tätigkeit der Probanden in der Werksatt

	Tätigkeit	Verwendete Arbeitsschutz- und Hilfsmittel	Ni-Menge auf Filter in µg
A1	Ausbohren von Flammrohrnieten	- Verwendung von Bohrflüssigkeit	2,6
A2	Nassschleifen von Filtern	- Verwendung von Kühl-/ Schmiermittel	1,0
A3	Drehen eines HD-Verdichter-Rep. Stator	- Keine Verwendung von Arbeitsschutz- oder Hilfsmittel	1,4
A4	Trockenschleifen eines Mitteldruckverdichter RB 199-3 + eines T-53-Verdichters	- Keine Verwendung von Arbeitsschutz- oder Hilfsmittel	7,1
A5	Fräsen von Flammhalteringen innen und außen + Bohren von Löchern	- Keine Verwendung von Arbeitsschutzmitteln - Schneidöl verwendet	42,1
A6	Trockenschleifen von Flammrohren	- Verwendung eines Schutzanzuges und Handschuhen	95,5

3.2.2.4. Zusammenfassung der Messergebnisse der Werkstatt

Alle Werte aus der Teileinheit Werkstatt werden zusammenfassend in der Tabelle 21 dargestellt.

Die Urin- und Blutwerte des Probanden A1 (Bohren) waren unauffällig. Der Wischprobenwert war sehr gering. Der Luftmesswert war auch sehr gering und wurde deshalb nicht gemessen.

Bei dem Probanden A2 (Nassschleifen) konnte ebenfalls keine Belastung mit Nickel in Urin und Blut festgestellt werden.

Durch geringen Kontakt des Arbeiters mit dem Werkstück und „Reinigung“ dessen durch Kühl-/Schmiermittel war die Verunreinigung der Hände mit Nickel nicht gegeben. Die Werte der personengetragenen Messgeräte waren gering und lagen deutlich unter dem TRK-Wert. Das Gleiche wurde bei den Proben der Standortmessgeräte in diesem Arbeitsraum gemessen.

Es konnte ebenfalls keine Nickelbelastung des Probanden A3 (Drehen) in Urin und Blut nachgewiesen werden. Die Wischprobe zeigte keine Kontamination der Hände mit Nickel, da auch hier kaum unmittelbarer Kontakt mit dem Werkstück vorhanden war. Bei dem Luftmesswert konnte ein geringer Nickelwert (Gesamtstaub), der deutlich unter dem TRK-Wert lag, festgestellt werden.

Die Urin- und Blutwerte des Probanden A4 (Trockenschleifen 1) zeigten keine Auffälligkeiten. Die Wischproben zeigten eine geringe Kontamination der Hände, bei einer Tätigkeit mit wenig direktem Kontakt zum Werkstück und bei Verwendung einer Raumluftabsaugung. An diesem Tag wurden die Standortmessgeräte am selben Ort verwendet und das gleiche Ergebnis festgestellt. Es wurden sogar deutlich niedrigere Werte im Gesamtstaub im Vergleich zum Tag zuvor gemessen. Dies erklärte sich durch die Verwendung der Raumluftabsaugung am zweiten Untersuchungstag.

Bei dem Probanden A5 (Fräsen) konnte keine Belastung in Urin und Blut festgestellt werden. Die Wischprobe zeigte eine höhere Kontamination der Haut bei einer Tätigkeit, die häufigen Hautkontakt mit dem Werkstück erforderte. Luftmesswerte wurden in diesem Fall nicht bestimmt.

Auch bei dem Probanden A6 (Trockenschleifen 2) waren die Urin- und Blutmesswerte unauffällig. Der Wischprobenwert war mit 96 µg Nickel/ Filter der höchst gemessene Wert. Der Kontaminationsweg war bei Verwendung eines Schutzanzuges und Handschuhen fraglich und eigentlich nur über unsaubere Arbeitsschutzmittel zu erklären. Der Luftmesswert war der höchste gemessene der untersuchten Tätigkeiten, jedoch lag dieser Wert auch deutlich unter dem TRK-Wert.

Tabelle 21: Übersicht über Urin-, Blut-, Wischproben- und Luftmesswerte in der Werkstatt

	Ni-Urin in µg/g-Krea		Ni-Vollblut in µg/l	Ni-Wischproben (Menge auf Filter in µg)	Ni-Luftmesswerte (PS und SM) in µg/m³	Tätigkeit bzw. Raum
	morgens	abends				
A1	0,6	0,5	1,3	2,6	nicht gemessen	Bohren
A2	1,1	0,9	0,8	1,0	16,73 (A)	Nassschleifen
A3	0,7	0,2	0,2	1,4	29,68 (E)	Drehen
A4	0,3	0,3	1,1	7,1	1,00 (A)	Trockenschleifen 1
A5	0,5	0,3	1,6	42,1	nicht gemessen	Fräsen
A6	0,3	0,4	0,8	95,5	41,1 (E)	Trockenschleifen 2
	SS 1 mit Filter PM 2,5				0,02	Nassschleifen
	SS 2 mit Filter PM 10				3,29	Nassschleifen
	SS 1 mit Filter PM 2,5				0,07	Trockenschleifen 1
	SS 2 mit Filter PM 10				0,23	Trockenschleifen 1

Urinwerte

Blutwerte

Wischproben

Luftmesswerte

A Alveolengängige Fraktion

E Einatembare Fraktion

4. Diskussion

Nickel und seine Verbindungen können sowohl nach kurzzeitiger als auch nach langzeitiger Einwirkung schwerwiegende Gesundheitsstörungen verursachen. Die äußere und innere Belastung der Arbeiter bei der Instandsetzung von Flugtriebwerken in einem Fliegerhorst soll deshalb diskutiert und bewertet werden.

In der Triebwerksinstandsetzung ist vor allem die Einwirkung von schwerlöslichen Nickel und seinen Verbindungen relevant. Im Vordergrund stehen metallisches Nickel, Nickeloxid- und hochprozentig Nickel-legierte Basiswerkstoffe.

4.1. Äußere Belastung – Wischproben der Hände

Bei den arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchungen zeigten sich mehrfach erhöhte Nickel-Urinwerte, während die gemessenen Luftwerte keine dazu passende Verunreinigung mit Nickel wiedergaben. Die Inhalation von nickelhaltigen Stäuben ist sicherlich der Hauptexpositionsweg für eine festgestellte Belastung im Biological Monitoring, während die dermale Absorption quantitativ deutlich niedriger ist. Jedoch spielt die Nickelkontamination der Haut eine wichtige Rolle in der Pathogenese der Kontaktdermatitis (Bavazzano et al 1994).

4.1.1. Nachbrennerinstandsetzung

Die gefundenen Wischprobenwerte zeigten bei zwei der untersuchten Probanden eine deutliche Verunreinigung der Hände mit Nickel. Der Verunreinigungsgrad war nicht immer mit der Tätigkeit in Zusammenhang zu bringen. Jedoch konnte man feststellen, dass die Verwendung von sauberen Handschuhen mit vorher gereinigten Händen (B2, 3. Probe) die Kontamination deutlich verringerte, während die Nutzung von gebrauchten und verunreinigten Handschuhen (B3, 2. Probe) die Kontamination dagegen deutlich erhöhte.

Fullerton et al (1988) beschrieben eine dermale Penetration von Nickel durch die Haut, bei allerdings wasserlöslichen Nickelverbindungen, von 10,6 % in die Epidermis und 1,6 % in die Dermis. Damit ist ein quantitativer bedeutsamer Beitrag von Nickel zur inneren Belastung über die dermale Resorption unwahrscheinlich. Dies würde zum Beispiel bei 20 µg Ni (Mittelwert B2) auf der Haut und einer Resorption von 1,6 % Ni in die Dermis, wo ein Übertritt in die Blutbahn möglich wäre, lediglich einen Betrag von 0,32 µg Ni in der Dermis bedeuten. Würde sich bei einem Arbeiter an einem Arbeitstag

ein Extrem von 100 mg Triebwerksasche auf den Händen ablagern, so wären, laut der Untersuchung des Wehrtechnischen Institutes für Materialforschung (siehe Tabelle 22), 3,7 mg Ni resorbierbar. Dies würde eine mögliche Penetration von rund 60 µg Ni in die Dermis bedeuten (Fullerton et al 1988). Der Anteil, der dann dabei tatsächlich in die Blutbahn übertritt, ist unbekannt. Es ist jedoch aufgrund der hohen Eiweißbindung von Nickel in der Haut nur mit einem minimalen Anteil zu rechnen (Fullerton et al 1988).

Eine erhöhte innere Belastung mit Nickel ist damit auch bei einer theoretisch höheren dermalen Belastung, wie in der oben dargelegten Rechnung, sehr unwahrscheinlich.

Tabelle 22: Nickelgehalte in verschiedenen Prüfmedien bei Verwendung von 500 mg Triebwerksasche, WIM (jetzt WIWEB) Bericht-Nr. 89/100/078, 1989

Versuchsbedingungen				Messergebnisse	
Hautschutzsalbe in g	Bidest. Wasser	Schweiß, alkalisch	Schweiß, sauer	Massen-c von Ni in µg/l	Massenanteil von Ni bezogen auf den Ausgangsgehalt in %
	20			18,0	1,5
5,0	20			16,3	1,36
		20		44,8	3,73
5,0		20		36,8	3,07
			20	28,5	2,38
5,0			20	30,2	2,52

Teilweise andere Ergebnisse beschreibt Bavazzano et al (1994). Die Verunreinigung der Gesichtshaut bei Elektroplattierern korrelierte bei seiner Untersuchung statistisch signifikant mit dem Nickelwert im Urin, jedoch nicht mit den Wischprobenwerten der Hände. Unsere Messungen der Handwischproben von B2 und B3 waren ähnlich den Werten der Handwischproben von Bavazzano et al (1994) (siehe Tabelle 23). Eine erhöhte innere Belastung in Bezug zu den Handwischproben konnte analog zu Bavazzano et al (1994) bei den Probanden B2 und B3 auch nicht gefunden werden. Da Nickel zu einem relevanten Anteil die Haut penetriert, in der Epidermis gebunden wird (Fullerton et al 1988 und Turkall et al 2003) und damit die Gefahr einer Sensibilisierung und folglich der Entwicklung einer Kontaktdermatitis erhöht ist, wird eine besondere Handhygiene empfohlen. Es ist darauf zu achten, keine verschmutzten

Handschuhe oder neue Handschuhe mit verunreinigten Händen zu tragen, da Nickel unter Occlusion die Haut wesentlich besser penetriert (Fullerton et al 1988).

Weiterhin empfiehlt sich präventiv die Nutzung einer Hautschutzsalbe vor Arbeitsbeginn. Fullerton et al (1988) stellte ebenfalls fest, dass bei Verwendung von z.B. Vaseline fast kein Nickel mehr in die Haut aufgenommen wurde. In einer Untersuchung durch die WIM (siehe Tabelle 22) konnte eine verbesserte Löslichkeit von Nickel bei der Verwendung von Vaseline oder von Hautschutzcreme ausgeschlossen werden. Deshalb ist ein erhöhtes Resorptionspotential von Nickel nicht gegeben und damit die Verwendung einer Hautschutzcreme empfehlenswert.

Weiterhin durchdringt Nickel die Haut mit einer Verzögerungszeit von 50 h (Fullerton et al 1988). Bei diesem sehr langsamen Prozess ist es sinnvoll, die Hände bei Verunreinigungen öfters zwischendurch zu reinigen, um den möglichen Resorptionsvorgang zu unterbrechen.

Tabelle 23: Handwischprobenwerte aus der Elektro-Plattierung und eigene Daten

Untersuchte Person bzw. Personenkreis	Ni-Wischprobenwert in µg	Untersuchungs-ort	Autoren
Elektro-Plattierer	39,0	Hand	Bavazzano et al 1994
Elektro-Plattierer	9,0	Gesicht	
Kontroll-Gruppe	0,8	Hand	
B1	2,0 ¹	Hand	Eigene Daten
B2	19,8 ¹	Hand	
B3	16,2 ¹	Hand	
A1	2,6	Hand	
A2	1,0	Hand	
A3	1,4	Hand	
A4	7,1	Hand	
A5	42,1	Hand	
A6	95,5	Hand	

1 Mittelwert der 4 gemessenen Wischproben des jeweiligen Probanden

4.1.2. Werkstatt

Es wurde bei der Tätigkeit Fräsen und Trockenschleifen 2 eine deutliche Verunreinigung der Hände mit Nickel festgestellt. Die Werte waren bei der Tätigkeit Fräsen ähnlich den Werten der oben zitierten Elektroplattierer (siehe Tabelle 23) und beim Trockenschleifen 2 sogar mehr als doppelt so hoch. Es konnte hier ebenfalls wie in der Nachbrennerinstandsetzung keine entsprechende innere Belastung festgestellt werden. Analoge Ergebnisse fand Bavazzano et al (1994).

Eine wesentliche quantitative Resorption über die Haut war bei diesen festgestellten Handwischprobenwerten auch nicht anzunehmen (nach Beispielrechnung, wie bei NBI aufgeführt: 96 µg Ni auf Wischprobe, entspricht 1,5 µg an maximal aufgenommenem Nickel in die Dermis).

Zum Thema Hauthygiene gelten die gleichen Aussagen wie in der Nachbrennerinstandsetzung. Es ist darauf zu achten, dass keine verschmutzten Handschuhe getragen, die Hände bei Verunreinigung häufig gereinigt werden und eine Hautschutzcreme verwendet wird.

4.2. Äußere Belastung – Luftmesswerte

4.2.1. Nachbrennerinstandsetzung

Hinsichtlich der externen Belastungssituation in Bezug auf die Luftwerte war ein Einhalten des TRK-Wertes von 500 µg/m³ in jedem Fall gegeben. Vergleicht man die eigenen gemessenen Nickel-Konzentrationen in der Luft mit den Messwerten von anderen Industriezweigen (siehe Tabelle 24), so bestand in der Nachbrennerinstandsetzung eine sehr geringe externe Nickelbelastung. Die gemessenen Luftwerte lagen erheblich unter den Werten die im Flugzeugturbinenbau (<10-200µg Ni/m³) gemessen wurden (Raithel 1987) und ebenfalls viel niedriger, wie bei Schweißern (50,4 µg Ni/m³, Stridsklev et al 2004). Bezüglich der Arbeitsplatzhygiene ist damit festzustellen, dass in dieser Teileinheit keine Absaugungsanlage oder persönlicher Atemschutz arbeitsmedizinisch notwendig ist.

Tabelle 24: Zusammenstellung von Nickel-Luftwerten aus verschiedenen Industriezweigen mit Angabe der Publikation und eigenen Daten, sowie des Referenzwertes-Luft

Industriezweig/ Berufsgruppe	Ni-Luftwerte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Autoren, Land
Nickelraffinerie		Høgetveit et al 1980 Norwegen
- Rösten, Schmelzen	860	
- Elektrolyse	230	
- andere Bereiche	420	
Nichtrostende Stahlproduktion	59	Warner 1984
Gießerei	88	
Nickel-Legierungsproduktion	104	
Nickel-Legierungsproduktion	1-4,4	ATSDR 2003
Edelstahlschweißer	6	Zober et al 1985 BRD
Edelstahlschweißer	93	Angerer, Lehnert 1990 BRD
Schweißer	50,4	Stridsklev et al 2004
Hohlglasindustrie – Formenbau und Formenreparatur	3-3800	Raithel 1987 BRD
Flugzeugturbinenbau	<10-200	
Referenzwert-Umwelt	0,001-0,02	ATSDR 2003
Nachbrennerinstandsetzung, PS	0,2 (E)	Eigene Daten
Nachbrennerinstandsetzung, PS	2,1 (A)	
Nachbrennerinstandsetzung; SS	0,04 (PM 10)	
Nachbrennerinstandsetzung; SS	0,01 (PM 2,5)	
Schleifen (nass), PS	16,7 (A)	
Schleifen (nass), SS	3,3 (PM 10)	
Schleifen (nass), SS	0,02 (PM 2,5)	
Drehen	29,7 (E)	
Schleifen (trocken1), PS	1,00 (A)	
Schleifen (trocken1), SS	0,23 (PM 10)	
Schleifen (trocken1), SS	0,07 (PM 2,5)	
Schleifen (trocken2)	41,1 (E)	

A Alveolengängige Fraktion
E Einatembare Fraktion

4.2.2. Werkstatt

In der Werkstatt wurde bei jeder der untersuchten Tätigkeiten der TRK-Wert von 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ eingehalten. Die festgestellten Luftwerte lagen im Vergleich (siehe Tabelle 24) zu anderen Nickel-belasteten Industriezweigen erheblich niedriger. Im tätigkeitsvergleichbaren Flugzeugturbinenbau (Raithel 1987) wurden ähnlich niedrige Luftwerte gefunden. Bei kürzlich untersuchten Schweißern (Stridsklev et al 2004) lagen die Luftwerte ebenfalls deutlich höher.

Zur Arbeitsplatzhygiene war festzustellen, dass bei keiner der einzelnen Tätigkeiten eine besondere Luftbelastung durch Nickel zu erkennen war. Die Absaugung im Schleifraum 1 war während der Untersuchung eine sehr effektive arbeitshygienische Maßnahme. Weitere Vorsorgemaßnahmen (wie z. B. persönlicher Atemschutz) bei Tätigkeiten in diesem Raum sind nicht notwendig. Bei der Tätigkeit Drehen kann die kleine Absaugung bei den gemessenen Luftwerten ebenfalls als ausreichend angesehen werden. Beim Trockenschleifen 2 in einem kleinen abgelegenen Raum wurde mit 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ der höchste Luftwert festgestellt. In Anbetracht der kurzen Tätigkeitsdauer mit ungefähr 3 h während der Untersuchung ist bei längeren Nickelschleifarbeiten in diesem Raum mit einer höheren Luftbelastung zu rechnen. Dabei wäre eine arbeitsmedizinisch relevante Luftbelastung auch bei längerer Schleiftätigkeit in diesem Raum durch persönlichen Atemschutz oder eine verbesserte Absaugung vermeidbar. Bei den anderen Tätigkeiten (Nassschleifen, Bohren, Fräsen) war keine Absaugung vorhanden oder wurde nicht verwendet. Mit Bezug auf die Arbeitsplatzhygiene war festzustellen, dass auch hier keine Absaugung oder andere Maßnahmen aufgrund der niedrigen externen Belastung mit Nickel notwendig sind.

4.3. Innere Belastung

Die Objektivierung und Quantifizierung der inneren Belastung durch Metalle mit Hilfe des Biological Monitoring stellt heute ein wesentliches Kriterium für die arbeitsmedizinische Beurteilung unterschiedlicher Arbeitsplätze in der Nickel be- und verarbeitenden Industrie dar. Entsprechend sensitive analytische Methoden sind dafür vorhanden.

4.3.1. Screening

Im ersten untersuchten Abschnitt der Triebwerkszerlegung Tornado wurde mit einem Mittelwert von 3,9 $\mu\text{g Ni}/\text{g-Krea}$ (4,0 $\mu\text{g Ni}/\text{l}$) in der Teileinheit Nachbrennerinstandsetzung ein Wert größer als im Flugzeugturbinenbau und bei der Ni-Legierungsherstellung (Raithel 1987) festgestellt. Eine weitere Analyse der

Belastungsfaktoren und –situation in der Teileinheit Nachbrennerinstandsetzung war damit gerechtfertigt. Die anderen Teileinheiten in der Triebwerkzerlegung Tornado zeigten mit einem Mittelwert von 0,3 µg Ni/g-Krea (0,4 µg/l) einen Wert der mit dem Durchschnittswert der beruflichnichtexponierten Bevölkerung vergleichbar ist. Damit waren in diesen Tätigkeitsbereichen keine arbeitsmedizinisch relevante Nickelbelastung festzustellen und folglich auch keine weiteren Untersuchungen notwendig. Der Mittelwert in der Werkstatt war mit 2,6 µg Ni/g-Krea (3,6 µg/l) ähnlich dem festgestellten Wert im Flugzeugturbinenbau und der Herstellung von Nickellegierungen (Raithel 1987). Von den untersuchten Probanden lagen 36% über dem Referenzwert der deutschen Bevölkerung von 3,0 µg/l (Umweltbundesamt 2001). Die unterschiedlichen mechanischen Arbeitsplätze sollten untersucht werden um eine größere arbeitsmedizinisch relevante innere Belastung auszuschließen.

4.3.2. Nachbrennerinstandsetzung

Die Urin- und Blutwerte der drei untersuchten Probanden lagen im Bereich der beruflich-nichtexponierten Bevölkerung (<2.0 µg/l im Urin und Vollblut, Templeton et al 1994 und Nieboer, Fletcher 2001; bzw. <3,0 µg/l im Urin für die deutsche Bevölkerung, Umweltbundesamt 2001) und damit deutlich niedriger als andere Nickel-belastete Industriezweige (siehe Tabelle 25). Es war damit eine minimale Einwirkung von Nickel im Untersuchungszeitraum nachweisbar, was ganz im Gegensatz zu den festgestellten Werten im Screening stand.

Im Biological Monitoring sieht man die aktuelle Belastung. Dies bedeutet nicht nur die momentan aufgenommene Nickelmenge, sondern vor allem, in Abhängigkeit von der Halbwertszeit der untersuchten Nickelverbindung, was davon resorbiert wurde (Christensen 1995). Die Proben für die innere Belastung wurden, wie es im Biological Monitoring empfohlen wird, nach Ende von mehreren vorangegangenen Schichten genommen. Die Untersuchung fand jedoch zu einem Zeitpunkt statt, an dem durch eine geringe Auftragslage bedingt in den vorangegangenen Monaten nur sehr wenig Triebwerksinstandsetzungen durchgeführt wurden.

Die Halbwertszeit von schlechtlöslichen Nickelverbindungen wird auf 30 - 53 h geschätzt (Roels et al 1993). Bei dieser Halbwertszeit würde 1/3 des Probenwertes dem letztem Tag und 2/3 der letzten Woche bzw. dem letztem Monat entsprechen (Christensen 1995). Weiterhin haben schlechtlösliche Nickelverbindungen eine sehr langsame systemische Resorption, wobei der Resorptionsweg (inhalativ, dermal, oral) dabei nachrangig ist (Roels et al 1993). Die sehr niedrigen Urin- und Blutwerte wären damit durch die fehlenden vorangegangenen Nickel-belastenden Arbeiten erklärbar.

Ein Anstieg bzw. eine Tagesvariation des Nickels im Urin konnte nicht gefunden werden. Zu ähnlichen Ergebnissen gelangte Stridsklev et al (2004), der Ni-Urin- und Ni-Plasmawerte zu Beginn und nach Ende der Schicht bei Schweißern bestimmte. Die gleichen Beobachtungen bei schlechtlöslichen Nickelverbindungen machte ebenfalls Roels et al (1993).

Tabelle 25: Zusammenstellung von Nickel-Urinwerten aus verschiedenen Industriezweigen und eigener Daten, sowie des Urinreferenzwertes

Industriezweig/ Berufsgruppe	Ni-Urinwert	Autoren, Land
Nickelraffinerie		Høgetveit et al 1980, Norwegen
- Rösten, Schmelzen	65 µg/l	
- Elektrolyse	129 µg/l	
- Andere Bereiche	45 µg/l	
Metallarbeiter	19,4 µg/l	Kiilunen 1997, Finnland
Schweißer	8,4 µg/l	
Schleifer	12,5 µg/l	
Edelstahlschweißer	2,5 µg/l	Zober et al 1985, BRD
Edelstahlschweißer	18,5 µg/l	Angerer, Lehnert 1990, BRD
Schweißer	2,5 µg/g-Krea	Stridsklev et al 2004
Hohlglasindustrie – Formenbau und Formenreparatur	3,6-42 µg/l	Raithel 1987, BRD
Herstellung von Ni-Legierungen	2,9 µg/l	
Flugzeugturbinenbau	2,6 µg/l	
Referenzwert-Umwelt	<2,0 µg/l ³	ATSDR 2003
Nachbrennerinstandsetzung – morgens ¹	0,8 µg/g-Krea	Eigene Daten
Nachbrennerinstandsetzung – abends ¹	1,1 µg/g-Krea	
Werkstatt - Bohren ²	0,6 µg/g-Krea	
Werkstatt - Nassschleifen ²	1,0 µg/g-Krea	
Werkstatt - Drehen ²	0,5 µg/g-Krea	
Werkstatt – Trockenschleifen 1 ²	0,3 µg/g-Krea	
Werkstatt - Fräsen ²	0,4 µg/g-Krea	
Werkstatt – Trockenschleifen 2 ²	0,4 µg/g-Krea	

1 Mittelwert der 3 untersuchten Probanden

2 Mittelwert der Vor- und Nachschicht Probe

3 entspricht bei einem durchschnittlichen Kreatinin von 1,0 mg/dl einem Nickelwert von <2,3 µg/g-Krea

4.3.3. Werkstatt

Die Urin- und Blutwerte der sechs untersuchten Probanden lagen ebenfalls im Bereich der beruflich nicht exponierten Bevölkerung ($<2.0 \mu\text{g/l}$ Urin und Vollblut, Templeton et al 1994 und Nieboer, Fletcher 2001) und damit auch deutlich niedriger als andere Nickel-belastete Industriezweige (siehe Tabelle 25). Es war damit eine minimale Einwirkung von Nickel im Untersuchungszeitraum nachweisbar, was ganz im Gegensatz zu den festgestellten Werten im Screening stand.

Die Werkstatt hatte wie die NBI mit dem gleichen Problem einer schwachen Auftragslage in den vorangegangenen Monaten zu kämpfen. Wie in der Diskussion der inneren Belastung der NBI schon festgestellt wurde, wird in den Nickel-Urinwerten mit $2/3$ des Probenwertes die Belastung der vorangegangenen Wochen und Monaten dargestellt (Christensen 1995) und weiterhin ist die langsame systemische Resorption von schlechtlöslichen Nickelverbindungen zu bedenken. Somit wären auch die sehr niedrigen inneren Belastungswerte in der Werkstatt durch die fehlenden vorangegangenen Nickel-belastenden Arbeiten erklärbar.

In der Werkstatt konnte genauso, wie in der NBI kein Anstieg der Nickel-Urinwerte im Tagesverlauf festgestellt werden. Die gleichen Ergebnisse fanden, wie schon erwähnt, Stridsklev et al (2004) und Roels et al (1993).

5. Zusammenfassung

Nickel und seine Verbindungen sind in der Bundesrepublik Deutschland als gefährliche Stoffe eingeordnet und müssen entsprechend den Vorschriften der Gefahrstoffverordnung behandelt werden. Ziel dieser Untersuchung war es in einem Fliegerhorst der Bundeswehr die bestehenden Gesundheitsgefahren und -risiken der Beschäftigten bei der Instandsetzung von Flugtriebwerken zu ermitteln.

Zur Eingrenzung der auffälligen Arbeitsbereiche wurde zuerst ein Screening durchgeführt. Die Abteilungen Nachbrennerinstandsetzung (Ni-Urin, Mittelwert: 3,9 µg/g-Krea, Maximalwert: 9,1 µg/g-Krea) und Werkstatt (Ni-Urin, Mittelwert: 2,6 µg/g-Krea, Maximalwert: 10,2 µg/g-Krea) wurden daraufhin für die Untersuchung ausgewählt.

Während der Hauptuntersuchung wurde die externe Nickelbelastung durch Staubmessungen und Handwischproben bestimmt. Die Quantifizierung der internen Nickelbelastung erfolgte durch Analysen von Urin- und Blutproben.

Eine Luftbelastung mit Nickel lag bei einem Maximalwert von 41,1 µg/m³ (Werkstatt, Tätigkeit Trockenschleifen) nicht vor. Weiterhin waren die gemessenen Luftwerte in der Werkstatt (Durchschnittsluftwert: einatembare Fraktion - 18,6 µg Ni/m³; alveolen-gängige Fraktion - 4,5 µg Ni/m³) mit zerspannenden Tätigkeiten höher, als in der Nachbrennerinstandsetzung (Durchschnittsluftwert: einatembare Fraktion - 0,1 µg/m³; alveolengängige Fraktion - 1,1 µg/m³).

Die Handwischproben zeigten in beiden Abteilungen eine unterschiedliche externe Nickelbelastung. Es gab Tätigkeiten mit hohen Wischprobenwerten, wie beim Fräsen (42 µg Ni/ Filter), Trockenschleifen (95 µg Ni/ Filter) und der Remontage eines Nachbrenners (50 µg Ni/ Filter), sowie Arbeiten mit niedriger Kontamination der Haut, wie Remontage der Außenteile eines Nachbrenners (0,1 µg Ni/ Filter), Nassschleifen (1,0 µg Ni/ Filter) und Drehen (1,4 µg Ni/ Filter). Die Nickelbelastung der Hände war abhängig von der Verwendung von sauberen Arbeitsgeräten und Handschuhen.

Eine arbeitsmedizinisch relevante interne Nickelbelastung (Nachbrennerinstandsetzung, Durchschnittswert: Ni-Urin - 1,0 µg/g-Krea; Ni-Blut - 0,3 µg/l; Werkstatt, Durchschnittswert: Ni-Urin - 0,5 µg/g-Krea, Ni-Blut - 1,0 µg/l) konnte bei den untersuchten Probanden nicht festgestellt werden.

Es wurde somit festgestellt, dass die interne und externe Nickelbelastung in den untersuchten Abteilungen der Triebwerksinstandsetzung gering war. Die vorhandenen technischen Einrichtungen (z.B. Absaugung) tragen ebenfalls zu einer weiteren Reduzierung der Nickelbelastung bei. Zur weiteren Verringerung der Nickelbelastung der Hände empfiehlt sich häufiges Händewaschen und Tragen von sauberen Handschuhen.

6. Abkürzungsverzeichnis:

A1	Proband A1 mit der Tätigkeit Bohren
A2	Proband A2 mit der Tätigkeit Nassschleifen
A3	Proband A3 mit der Tätigkeit Drehen
A4	Proband A4 mit der Tätigkeit Trockenschleifen 1 im Schleifraum in der Werkstatthalle
A5	Proband A5 mit der Tätigkeit Fräsen
A6	Proband A6 mit der Tätigkeit Trockenschleifen 2 im Schleifraum im 1. Obergeschoss
A	Alveolengängige Fraktion
ATSDR	Agency for Toxic Substances and Disease Registry
B1-3	Probanden der Nachbrennerinstandsetzung
E	Einatembare Fraktion
HWZ	Halbwertszeit
NBI	Nachbrennerinstandsetzung
Ni	Nickel
PS	Personengetragenes Messgerät
SS	Standortmessgerät
TRK	Technische Richtkonzentration (Gültigkeit bis 31.12.2004)
WIM	Wehrtechnisches Institut für Materialforschung (jetzt WIWEB)
WIWEB	Wehrwissenschaftliches Institut für Werk-, Explosiv- und Betriebsstoffe

7. Literatur:

Abeck D, Traenckner I et al (1993)
"Chronic urticaria due to nickel intake"
Acta Derm Venereol 73: 438-439

Agency for Toxic Substances and Disease Registry – ATSDR, Hrgs (2003)
„Draft: Toxicological profil for nickel“
www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp15.pdf, U.S. Department of Health and Human Services,
Atlanta

Aitio A (1984)
"Biological monitoring of occupational exposure to nickel"
IARC Sci Publ 53: 497-505

Ameling D (2000)
"Die volkswirtschaftliche Bedeutung von Nickel und seinen Legierungen"
Gefahrstoffe/Reinhaltung der Luft 1-2: 13

Angerer J and Lehnert G (1990)
"Occupational chronic exposure to metals. II Nickel exposure of stainless steel welders - biological monitoring"
Occupational and Environmental Health 62: 7-10

Bavazzano P, Bolognesi R et al (1994)
"Skin contamination and low airborne nickel exposure of electroplaters"
Sci Total Environ 155: 83-6

Bennett BG (1984)
"Environmental nickel pathways to man"
IARC Sci Publ 53: 487-95

Blair A (1980)
"Mortality among workers in the metal polishing and plating industry, 1951-1969"
J Occup Med 22: 158-62

Boysen M, Solberg LA et al (1984)
"Histological changes, rhinoscopic findings and nickel concentration in plasma and urine in retired nickel workers"
Acta Otolaryngol (Stockh) 97: 105-115

Carvalho, SMM and Ziemer PL (1982)
"Distribution and clearance of ^{63}Ni administered as $^{63}\text{NiCl}_2$ in the rat: intratracheal study"
Arch Environ Contam Toxicol 11: 245-248

Chen, C-Y, Wang Y-F et al (2003)
"Nickel-induced oxidative stress and effect of antioxidants in human lymphocytes"
Arch Toxicol (Germany) 77: 123-130

Christensen JM (1995)
"Human exposure to toxic metals: factors influencing interpretation of biomonitoring results"
Sci Total Environ 166: 89-135

Christensen JM, Kristiansen J et al (1999)
"Nickel concentrations in serum and urine of patients with nickel eczema"
Toxicol Lett 108: 185-9

- Christensen OB and Lagesson V (1981)
"Nickel concentration of blood and urine after oral administration"
Ann Clin Lab Sci 11: 119-125
- Clemens F and Landolph JR (2003)
"of nickel refinery dust"
Toxicol Sci 73: 114-123
- Cornelis R, Heinzow B et al (1995)
"Sample collection guidelines for trace elements in blood and urine (technical report)"
Pure & Appl Chem 67: 1575-1608
- Cornell RG and Landis JR (1984)
"Mortality patterns among nickel/ chromium alloy foundry workers"
IARC Sci Publ 53: 87-93
- Danadevi K, Rozati R et al (2003)
"Semen quality of Indian welders occupationally exposed to nickel and chromium"
Reprod Toxicol 17: 451-6
- Deutsche Forschungsgemeinschaft – DFG (2005)
"MAK- und BAT-Werte-Liste 2004"
Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 40,
Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim
- Doll R (1958)
"Cancer of the lung and nose in nickel workers"
Brit J Ind Med 15: 217-223
- Doll R (1990)
"Report of the international committee on nickel carcinogenesis in man"
Scand J Work Environ Health 16: 1-82
- Egedahl R, Carpenter M et al (2001)
"Mortality experience among employees at a hydrometallurgical nickel refinery and fertiliser complex in Fort Saskatchewan, Alberta (1954-95)"
Occup Environ Med 58: 711-15
- Eliades T, Pratsinis H et al (2004)
"Characterization and cytotoxicity of ions released from stainless steel and nickel-titanium orthodontic alloys"
Am J Orthod Dentofacial Orthop 125: 24-29
- Emilsson A, Lindberg M et al (1993)
"The temperature effect on in vitro penetration of sodium lauryl sulfate and nickel chloride through human skin"
Acta Derm Venereol 73: 203-7
- Fullerton A, Andersen JR et al (1988)
"Permeation of nickel through human skin in vitro-effect of vehicles"
Br J Dermatol 118: 509-16
- Fullerton A, Hoelgaard A (1988)
"Binding of nickel to human epidermis in vitro"
Br J Dermatol 119: 675-682

Galbreath KC, Crocker CR et al (2003)

“Nickel speciation measurements of urban particulate matter: method evaluation and relevance to risk assessment”

J Environ Monit 5: 56N-61N

Greim H, Hrgs (2001)

“Gesundheitsschädliche Arbeitsstoffe; Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten; Nickel und Nickelverbindungen“

MAK-Werte Begründungen (DFG) 33, 1. Edition, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co, Weinheim

Haber LT, Diamond GL et al (2000)

“Hazard identification and dose response of ingested nickel-soluble salts”

Regul Toxicol Pharmacol 31: 231-241

Haber LT, Erdreich L et al (2000)

“Hazard identification and dose response of inhaled nickel-soluble salts”

Regul Toxicol Pharmacol 31: 210-230

Hahn JU (2000)

“Nickel-Messverfahren zur Überwachung von Arbeitsplätzen“

Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 60: 21-23

Hogetveit AC, Barton RT et al (1980)

“Variations of nickel in plasma and urine during the work period”

J Occup Med 22: 597-600

Jensen CS, Menne T et al (2003)

“Experimental systemic contact dermatitis from nickel: a dose-response study”

Contact dermatitis 49: 124-32

Kalliomaki P-L, Olkinuora M et al (1984)

“Kinetics of nickel and chromium in rats exposed to different stainless-steel welding fumes”

IARC Sci Publ 53: 385-93

Kiilunen M (1997)

“Occupational exposure to chromium and nickel in the 1980s in Finland”

Sci Total Environ 199: 91-101

Kiilunen M, Jörvisalo J et al (1987)

“Analysis, storage stability and reference values for urinary chromium and nickel”

Int Arch Occup Environ Health 59: 43-50

Kristiansen J, Christensen JM et al (1997)

“Toxic trace element reference levels in blood and urine: influence of gender and lifestyle factors”

Sci Total Environ 204: 147-160

Malo JL, Cartier A et al (1982)

“Occupational asthma caused by nickel sulfate”

J Allergy Clin Immunol 69: 55-59

Morgan HG (1958)

“Some observations on the incidence of respiratory cancer in nickel workers”

Br J Ind Med 15: 224-234

Nieboer E, Fletcher GG (2001)

“Toxicological profile and related health issues: Nickel (for Physicians)”

www.regional.niagara.on.ca/living/health_wellness/portcolborne/pdf/nickel.pdf, provided by the Regional Niagara Public Health Department

- Nieboer E, Maxwell RI et al (1984)
"Chemical and biological reactivity of insoluble nickel compounds and the bioinorganic chemistry of nickel"
IARC Sci Publ 53: 439-58
- Norseth T (1984)
"Clinical effects of nickel"
IARC Sci Publ 53: 395-401
- Patriarca M, Lyon TDB et al (1997)
"Nickel metabolism in humans investigated with an oral stable isotope"
Am J Clin Nutr 66: 616-21
- Pereira MC, Pereira ML et al (1998)
"Evaluation of nickel toxicity on liver, spleen, and kidney of mice after administration of high-dose metal ion"
J Biomed Mater Res 40: 40-7
- Raithel HJ (1987)
"Untersuchungen zur Belastung und Beanspruchung von 837 beruflich Nickel-exponierten Personen"
Schriftenreihe des Hauptverbandes der gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V.,
Fieseler Druck GmbH, Meckenheim
- Raithel H-J, Schaller KH et al (1984)
"Medical and toxicological aspects of occupational nickel exposure in the federal republic of Germany - clinical results (carcinogenicity, sensitization) and preventive measures (biological monitoring)"
IARC Sci Publ 53: 403-15
- Rezuke WN, Knight JA et al (1987)
„Reference values for nickel concentrations in human tissues and bile"
Am J Ind Med 11: 419-26
- Roels H, Van de Voorde R et al (1993)
"Relationship between atmospheric and urinary nickel in workers manufacturing electrical resistances using nickel oxide: role of the bioavailability of nickel"
Occup Med 43: 95-104
- Rozanska R, Baranowska-Dutkiewicz B et al (1996)
"A mathematical model for the estimation of nickel internal dose in populations under occupational and environmental exposure"
Int J Occup Med Environ Health 9: 37-43
- Salins LLE, Goldsmith ES et al (2002)
"A fluorescence-based sensing system for the environmental monitoring of nickel using the nickel binding protein from Escherichia coli"
Anal Bioanal Chem 372: 174-180
- Santucci B, Manna F et al (1994)
"Serum and urine concentrations in nickel-sensitive patients after prolonged oral administration"
Contact dermatitis 30: 97-101
- Sarkar B (1984)
"Nickel metabolism"
IARC Sci Publ 53: 367-84

Scansetti G, Maina G et al (1998)

“Exposure to cobalt and nickel in the hard-metal production industry”

Int Arch Occup Environ Health 71: 60-63

Schneider K, Voss J-U et al (2001)

“Einfluss der Resorptionsverfügbarkeit auf die Toxizität von Verbindungen der Schwermetalle Nickel, Chrom, Cadmium und Blei“

Umweltmed Forsch Prax 6: 15-24

Seilkop SK, Oller AR (2003)

“Respiratory cancer risks associated with low-level nickel exposure: an integrated assessment based on animal, epidemiological and mechanistic data”

Regul Toxicol Pharmacol 37: 173-90

Shirakawa T, Kusaka Y et al (1992)

“Specific IgE antibodies to nickel in workers with known reactivity to cobalt”

Clin Exp Allergy 22: 213-8

Smith-Sivertsen T, Tchachtchine V et al (1998)

“Urinary nickel excretion in populations living in the proximity of two russian nickel refineries: A Norwegian-Russian population-based study”

Environ Health Perspect 106: 503-11

Smola T (2000)

“Einstufungen und Grenzwerte von Nickel und seinen Verbindungen“

Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft 60: 7-10

Sorahan (2004)

“Mortality of workers at a plant manufacturing nickel alloys, 1958-2000”

Occup Med 54: 28-34

Srivastava AK, Gupta BN et al (1992)

“Blood Chromium and nickel in Relation to respiratory symptoms among industrial workers”

Vet Hum Toxicol 34: 232-234

Stridsklev IC, Schaller K-H et al (2004)

„Monitoring of chromium and nickel in biological fluids of stainless steel welders using the flux-cored-wire (FCW) welding method“

Int Arch Occup Environ Health 77: 587-591

Sunderman FW, Dingle B et al (1988)

“Acute nickel toxicity in electroplating workers who accidentally ingested a solution of nickel sulfate and nickel chloride.”

Am J Ind Med 14: 257-66

Sunderman Jr. FW (1993)

“Biological monitoring of nickel in humans”

Scand J Work Environ Health 19 suppl 1: 34-38

Sunderman Jr. FW, Costa ER et al (1981)

“⁶³Nickel-Constituents in renal Cytosol of Rats after Injection of ⁶³Nickel-Chloride”

Ann Clin Lab Sci 11: 488-496

Sunderman Sr. FW (1981)

“Chelation therapy in nickel poisoning”

Ann Clin Lab Sci 11: 1-8

- Templeton DM, Sunderman Jr. FW et al (1994)
"Tentative reference values for nickel concentrations in human serum, plasma, blood and urine: evaluation according to the TRACY protocol"
Sci Total Environ 148: 243-251
- Tomei FM, Rosati V et al (2004)
"Urban pollution and nickel concentration in serum"
Int J Environ Health Res 14: 65-74
- Turhan U, Wollburg C et al (1985)
"Der Nickelgehalt menschlicher Lungen und seine Bedeutung für die Beurteilung berufsbedingter Bronchialkarzinome"
Arbeitsmed Sozialmed Präventivmed 20: 277-281
- Turkall RM, Skowronski GA et al (2003)
"Effect of a chemical mixture on dermal penetration of arsenic and nickel in male pig in vitro"
J Toxicol Environ Health A 66: 647-655
- Umweltbundesamt (2001)
„Nickel - Stellungnahme der Kommission "Human-Biomonitoring" des Umweltbundesamtes“
Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 44: 1243-1248
- Vyskocil AV, Smejkalova J et al (1992)
"Lack of renal changes in stainless steel welders exposed to chromium and nickel"
Scand J Work Environ Health 18: 252-6
- Warner JS (1984)
"Occupational exposure to airborne nickel in producing and using primary nickel products"
IARC Sci Publ 53: 419-37
- Weng L, Lexmond TM et al (2003)
"Phytotoxicity and bioavailability of nickel: chemical speciation and bioaccumulation"
Environ Toxicol Chem 22: 2180-87
- Weng LP, Wolthoorn A et al (2004)
"Understanding the effects of soil characteristics on phytotoxicity and bioavailability of nickel using speciation models"
Environ Sci Technol 38: 156-162
- Yu CP, Hsieh TH et al (2001)
"Evaluation of the human nickel retention model with workplace data"
Regul Toxicol Pharmacol 33: 165-172
- Zhang Q, Kusaka Y et al (2003)
"Comparative toxicity of standard nickel and ultrafine nickel in lung after intratracheal instillation"
J Occup Health 45: 23-30
- Zienolddiny S, Svendsrud DH et al (2000)
"Nickel (II) induces microsatellite mutations in human lung cancer cell lines"
Mutation Research 452: 91-100
- Zober A, Schaller KH et al (1985)
„Untersuchungen zur Kinetik von Chrom und Nickel im biologischen Material während einwöchigen Lichtbogenschweißens mit Cr-Ni-haltigen Zusatzwerkstoffen“
DVS-Berichte, Band 95, Deutscher Verlag für Schweißtechnik(DVS) GmbH, Düsseldorf

8. Anhang:

1. zeitliche Tätigkeitsbeschreibung der Probanden der Nachbrennerinstandsetzung bei der Hauptuntersuchung

Proband B1:

- 07:15 - 07:34 Uhr (19 min):
- Abgabe der morgendlichen Urinprobe
 - Anpassung des Personalsamplers
 - Arbeitsvorbereitung
- 07:34 - 09:00 Uhr (1 h 26 min):
- Start des personengetragenen Messgerätes
 - Endmontage eines sauberen, instandgesetzten Nachbrenners (siehe Bild 1)
 - Aushilfe B2 (ca. 15 min)
 - Häufig kleine Pausen und Abwesenheit vom Arbeitsplatz
 - 1. Wischprobenahme am Ende der Arbeitsperiode
- 09:00 - 09:23 Uhr (23 min):
- Frühstückspause
 - Unterbrechung der Pumpe des personengetragenen Messgerätes
- 09:23 - 11:37 Uhr (2 h 14 min):
- Endmontage eines sauberen, instandgesetzten Nachbrenners (siehe Bild 1)
 - Häufige kleine Unterbrechungen
 - 2. Wischprobe wird genommen
- 11:37 - 12:32 Uhr (55 min):
- Mittagspause
 - Unterbrechung vom personengetragenen - und Standortmessgerät
- 12:32 - 12:45 Uhr (13 min):
- Arbeitsbesprechung
- 12:45 - 14:00 Uhr (1 h 15 min):
- Endmontage eines sauberen, instandgesetzten Nachbrenners
 - Hilfe B2 von ca. 13 Uhr ab ohne Handschuhe beim Zerlegen eines schmutzigen Nachbrenners
 - 3. Wischprobe wird genommen
- 14:00 - 14:20 Uhr (20 min):
- Kaffeepause
 - Unterbrechung der Pumpe des personengetragenen Messgerätes
- 14:20 - 15:45 Uhr (1 h 25 min):
- Zerlegung des schmutzigen Nachbrenners ohne Handschuhe (siehe Bild 2)

- Abkleben einzelner Teile des schmutzigen Nachbrenners mit Klebeband
- Hochdruckreinigung des Nachbrenners mit Handschuhen (Zeitraum dieser Tätigkeit sehr kurz)
- Reinigung des Arbeitsplatzes (10 min)
- 4. Wischprobe wird genommen
- Personengetragenen Messgerätes wird abgeschaltet

Proband B2:

- 07:15 - 07:53 Uhr (38 min):
- Abgabe der morgendlichen Urinprobe
 - Anpassung des personengetragenen Messgerätes
 - Arbeitsvorbereitung
- 07:53 - 09:00 Uhr (1 h 07 min):
- Montage des Innenleben eines Nachbrenners (siehe Bild 3)
 - 1. Wischprobe
- 09:00 - 09:23 Uhr (23 min):
- Frühstückspause
- 09:23 - 11:40 Uhr (2 h 17 min):
- Montage des Innenleben eines Nachbrenners
- 11:40 - 12:32 Uhr (52 min):
- Mittagspause
- 12:32 - 12:46 Uhr (14 min):
- Arbeitsbesprechung
- 12:46 - 13:59 Uhr (1 h 13 min):
- Zerlegung eines schmutzigen Nachbrenners; benutzt dabei weiße Baumwollhandschuhe (Unterziehfingerhandschuh vom ABC-Schutz)
- 13:59 - 14:20 Uhr (21 min):
- Kaffeepause
- 14:20 - 15:45 Uhr (1 h 25 min):
- Zerlegung eines schmutzigen Nachbrenners, benutzt dabei Handschuhe (siehe Bild 2)
 - Abkleben einzelner Teile des schmutzigen Nachbrenners mit Klebeband
 - Hochdruckreinigung des Nachbrenners mit Handschuhen (Zeitraum dieser Tätigkeit sehr kurz)
 - Reinigung des Arbeitsplatzes (10 min)

Proband B3:

- 07:15 - 07:40 Uhr (25 min):
- Abgabe der morgendlichen Urinprobe

- Anpassung des personengetragenen Messgerätes
- Arbeitsvorbereitung
- 07:40 - 09:00 Uhr (1 h 20 min): - Montage des Innenlebens eines Nachbrenners
- 09:00 - 09:22 Uhr (22 min): - Frühstückspause
- 09:22 - 11:38 Uhr (2 h 16 min): - Montage des Innenlebens eines Nachbrenners
(siehe Bild 3)
- 10min Schreibarbeit
- 5min neues Triebwerk zum Instandsetzen geholt
- 1h Erwärmen des Innenlebens mit einem Schweißgerät zum Lösen der Schraubenverbindungen (keine Absaugung; siehe Bild 4 und 5)
- 10min Hin- und Rückweg zur Schweißerei

- 11:38 - 12:32 Uhr (54 min): - Mittagspause
- 12:32 - 12:47 Uhr (15 min): - Arbeitsbesprechung
- 12:47 - 13:58 Uhr (1 h 11 min): - Montage Innenleben eines Nachbrenners
- 20 min organisatorische Tätigkeiten
- Pumpe des personengetragenen Messgerätes für Gesamtstaub funktioniert nicht mehr => Luftdaten nur bis dort verwertbar

- 13:58 - 14:22 Uhr (24 min): - Kaffeepause
- 14:22 - 15:45 Uhr (1 h 23 min): - Montage des Innenlebens eines Nachbrenners
- Schrauben werden mit Never-Seez (sehr hoher Nickelgehalt) eingerieben zum Korrosionsschutz

2. zeitliche Tätigkeitsbeschreibung der Probanden der Werkstatt bei der Hauptuntersuchung

Proband A1 – Bohrmaschine:

- 07:15 - 07:47 Uhr (32 min): - Abgabe der morgendlichen Urinprobe
- Anpassung des personengetragenen Messgerätes
- Arbeitsvorbereitung
- 07:47 - 09:03 Uhr (1 h 16 min): - Tätigkeit: Ausbohren von Nieten an einem Flammrohr (siehe Bild 8 und 9)

- Arbeitsbedingungen: - Bohrflüssigkeit verwendet
- keine Schutzkleidung
- keine Absaugung

09:03 - 09:20 Uhr (17 min): - Frühstückspause

09:20 - 11:40 Uhr (2 h 20 min): - Tätigkeit: Ausbohren von Nieten an einem Flammrohr

- Arbeitsbedingungen: - Bohrflüssigkeit verwendet

11:40 - 12:35 Uhr (55 min): - Mittagspause

12:35 - 13:35 Uhr (1 h): - Tätigkeit: Ausbohren von Nieten an einem Flammrohr

- Arbeitsbedingungen: - Bohrflüssigkeit verwendet
- Pumpe des personengetragenen Messgerätes abgestellt und Filter gesichert

13:35 - 16:00 Uhr (2 h 25 min): - organisatorische Tätigkeiten

Proband A2 – Schleifmaschine nass:

07:15 - 07:43 Uhr (28 min):

- Abgabe der morgendlichen Urinprobe
- Anpassung des personengetragenen Messgerätes (Gesamtstaub und Feinstaub)
- Arbeitsvorbereitung

07:43 - 09:02 Uhr (1 h 45 min): - Tätigkeit: Schleifen von Filtern im Schleifraum (siehe Bild 10 und 11)

- Arbeitsbedingungen: - ohne Absaugung gearbeitet
- keine Handschuhe verwendet
- wenig Hautkontakt mit Arbeitsmaterial
- raucht gelegentlich während der Tätigkeit

09:02 - 09:20 Uhr (18 min): - Frühstückspause

09:20 - 11:37 Uhr (2 h 17 min): - Tätigkeit: Schleifen von Filtern

- Arbeitsbedingungen sind die gleichen, wie vor der Pause

11:37 - 12:36 Uhr (59 min): - Mittagspause

12:36 - 14:06 Uhr (1 h 30 min): - Tätigkeit: Schleifen von Filtern unter gleichbleibenden Arbeitsbedingungen

14:06 - 14:20 Uhr (14 min): - Kaffeepause

14.20 - 16:00 Uhr (1 h 40 min): - Tätigkeit: Schleifen von Filtern unter gleichbleibenden Arbeitsbedingungen
- 15min Reinigung des Arbeitsplatzes

Proband A3 – Drehmaschine:

07:15 - 07:51 Uhr (36 min): - Abgabe der morgendlichen Urinprobe
- Anpassung des personengetragenen Messgerätes (Gesamtstaub und Feinstaub)
- Arbeitsvorbereitung

07:51 - 09:02 Uhr (1 h 11 min): - Tätigkeit: Dreh-/Schleifbearbeitung eines Hochdruck-Verdichter-Rep.Stator
-Arbeitsbedingungen: - Mundschutz verwendet
- kleine Absaugung an der Drehmaschine
- keine Verwendung von Kühl-/Schmiermittel

09:02 - 09:21 Uhr (19 min): - Frühstückspause

09:21 - 11:38 Uhr (2 h 17 min): - Tätigkeit: Dreh-/Schleifbearbeitung eines Hochdruck-Verdichter-Rep.Stator
- Arbeitsbedingungen sind die gleichen wie vor der Pause und werden sich im Laufe des Tages nicht ändern

11:38 - 12:42 Uhr (56 min): - Mittagspause

12:42 - 14:05 Uhr (1 h 23 min): - Tätigkeit: Dreh-/Schleifbearbeitung eines Hochdruck-Verdichter-Rep.Stator

14:05 - 14:21 Uhr (16 min): - Kaffeepause

14:21 - 14:30 Uhr (9 min): - Tätigkeit: Dreh-/Schleifbearbeitung eines Hochdruck-Verdichter-Rep.Stator

14:30 - 15:45 Uhr (1 h 15 min): - Tätigkeit: Kontrolle der Maße des bearbeiteten Hochdruckverdichters durch einen Prüfer

- 1 Stunde Wartezeit auf Prüfer

15:45 - 16:00 Uhr (15 min): - Reinigung des Arbeitsplatzes

Proband A4 – Schleifmaschine trocken/ Arbeitsraum im Erdgeschoss:

07:15 - 07:50 Uhr (35 min): - Abgabe der morgendlichen Urinprobe
- Anpassung des personengetragenen Messgerätes
(Gesamtstaub und Feinstaub)
- Arbeitsvorbereitung

07:50 - 08:59 Uhr (1 h 09 min): - Tätigkeit: Schleifen (trocken) eines
Mitteldruckverdichters RB 199-3
- Arbeitsbedingungen: - Absaugung verwendet
(verändern sich im - Gehörschutz
Laufe des Tages nicht) - Mundschutz

08:59 - 09:23 Uhr (24 min): - Frühstückspause

09:23 - 10:30 Uhr (1 h 07 min): - Tätigkeit: Schleifen (trocken) eines
Mitteldruckverdichters RB 199-3

10:30 - 11:45 Uhr (1 h 15 min): - Tätigkeit: Schleifen (trocken) eines
T-53-Verdichters

11:45 - 12:40 Uhr (55 min): - Mittagspause

12:40 - 13:53 Uhr (1 h 13 min): - Tätigkeit: Schleifen (trocken) eines
T-53-Verdichters

13:53 - 14:26 Uhr (33 min): - Kaffeepause

14:26 - 15:50 Uhr (1 h 24 min): - Tätigkeit: Schleifen (trocken) eines
T-53-Verdichters
- 20min Reinigung des Arbeitsplatzes

Proband A5 – Fräsmaschine:

07:15 - 07:30 Uhr (15 min): - Abgabe der morgendlichen Urinprobe
- Anpassung des personengetragenen Messgerätes
(Gesamtstaub und Feinstaub)
- Arbeitsvorbereitung

07:30 - 09:03 Uhr (1 h 33 min): - Tätigkeit: Fräsen von Flammhalterringen (innen)
- Arbeitsbedingungen: - keine Handschuhe
(gleichbleibend im - kein Mundschutz
Laufe des Tages) - Schneidöl verwendet

09:03 - 09:21 Uhr (18 min): - Frühstückspause

09:21 - 10:30 Uhr (1 h 09 min): - Tätigkeit: Fräsen von Flammhalterringen (innen)

- 10:30 - 11:47 Uhr (1 h 17 min): - Tätigkeit: Bohren von Löchern in die Flammhalterringe mit derselben Maschine
- 11:47 - 12:37 Uhr (50 min): - Mittagspause
- 12:37 - 12:47 Uhr (10 min): - Organisatorische Arbeiten
- 12:47 - 14:02 Uhr (1 h 15 min): - Tätigkeit: Fräsen von Flammhalterringen (innen)
- 14:02 - 14:24 Uhr (22 min): - Kaffeepause
- 14:24 - 16:01 Uhr (1 h 37 min): - Tätigkeit: Fräsen von Flammhalterringen (außen)
- 20min Reinigung des Arbeitsplatzes

Proband A6 – Schleifmaschine/ Arbeitsraum im 1. Obergeschoss:

- 07:15 - 07:55 Uhr (40 min): - Abgabe der morgendlichen Urinprobe
- Anpassung des personengetragenen Messgerätes (Gesamtstaub und Feinstaub)
- Arbeitsvorbereitung
- 07:55 - 09:02 Uhr (1 h 07 min): - Tätigkeit: Schleifen von Flammrohren
- Arbeitsbedingungen: - Schutzanzug (Messkopf (gleichbleibend im Laufe des Tages) des PS befand sich außerhalb dieser Kleidung)
- Schutzmaske
- Gehörschutz
- Tischabsaugung
- 09:02 - 09:21 Uhr (19 min): - Frühstückspause
- 09:21 - 09:25 Uhr (4 min): - Anlegen der Schutzkleidung
- 09:25 - 10:58 Uhr (1 h 33 min): - Tätigkeit: Schleifen von Flammrohren
- Keine weiteren Aufgaben im Nickelbelastungsbereich → Abstellen der Pumpe des personengetragenen Messgerätes

3. Antrag auf Begutachtung des Studienkonzeptes durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der LMU München

1. Formale und allgemeine Angaben

1.1 Antragsteller

Studienleiter:

Dr. rer. nat. Rudolf Schierl

Institut und Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der LMU München

Ziemssenstr.1, 80336 München

1.2. Titel des Forschungsvorhabens

Nickelbelastung beim Bearbeiten von Chrom-Nickel-Stählen und Zerlegen von Triebwerken vom Flugzeugtyp Tornado

1.3. Ausbildungsdaten und Prüferfahrung des Antragstellers

Werdegang und wissenschaftliche Erfahrung siehe Lebenslauf

1.4. andere Prüfzentren

entfällt

1.5. Zustimmung des verantwortlichen Leiters der klinischen Einrichtung

nachdrücklich befürwortet:

Prof. Dr. med. D. Nowak

1.6. Finanzierung

Die Untersuchung wird aus Haushaltsmitteln des Instituts finanziert.

1.7. Probandenversicherung

Nicht nötig, da die Studie im Rahmen der betriebsärztlichen Untersuchungen erfolgt.

1.8. Deklaration von Helsinki

Die Grundsätze der Deklaration von Helsinki mit ihrer Novellierung (Tokio 1975, Hongkong 1989) werden eingehalten, wie auch aus dem weiteren Antrag hervorgeht.

2. Spezielle Angaben zum Forschungsvorhaben

2.1. Fragestellung

Nickel wurde in die Gruppe der krebserzeugenden Stoffe eingeordnet. Die Triebwerke der Luftfahrzeuge (hier Flugzeugtyp Tornado; Bundeswehr) bestehen zu einem hohen Anteil aus Chrom-Nickel-Stählen. Im ersten Arbeitsschritt werden die Triebwerke zerlegt und nickelhaltige Russpartikel dabei freigesetzt. Die einzelnen gebrauchten Bauteile (bestehend aus Chrom-Nickel-Stahl) werden dann in die Werkstatt geliefert. Diese müssen maschinell nachbearbeitet werden. Dabei werden die Tätigkeiten Drehen, Schleifen, Bohren und Fräsen ausgeführt. Im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorsorge wurde eine Nickelbelastung der Arbeiter im Urin festgestellt und dies durch ein Screening bestätigt. Es soll nun die Nickelbelastung der Arbeiter in den definierten Bereichen untersucht werden. Weiterhin wird nach der Rolle von unterschiedlichen Aufnahmewegen (inhalativ, transcutan) gesucht. Somit kann man am Schluss der Studie die unterschiedlichen Belastungen beurteilen und neue Arbeitsschutzvorschläge erarbeiten.

2.2 Studienart

Es handelt sich um eine Querschnittstudie, bei der 8 gesunde Probanden während eines Arbeitstages untersucht und beobachtet werden sollen.

2.3. Diskussion der ethisch-rechtlich relevanten Probleme:

Nutzen-Risiko-Abwägung:

Es handelt sich um eine Studie an freiwilligen, gesunden Probanden im betriebsärztlichen Vorsorge. Von den geplanten Untersuchungen sind die Gewinnung der Urinprobe, das Tragen des Personalsamplers, sowie die Wischproben von der Haut risikolos. Die äußerst geringen und sehr gut bekannten Risiken der venösen Blutentnahme werden im folgenden diskutiert. Den gesunden Freiwilligen werden nach einem Arbeitstag aus der Cubitalvene ca. 5ml Blut entnommen. Dies kann je nach Beschaffenheit der Venen zu Hämatombildung oder extrem selten zu anderen Komplikationen führen. Demgegenüber steht der Nutzen, die individuelle Belastung mit Nickel zu erfassen.

2.4. Wesentliche Angaben zum Studiendesign:

Kollektiv:

Eingeschlossen werden 9 freiwillig teilnehmende Männer.

Untersuchungsdauer:

Die Untersuchungsdauer beträgt für jeden Probanden einen Arbeitstag.

Untersuchungsprogramm (Details siehe Studienprotokoll):

An jedem der acht Probanden werden an einem festgesetzten Arbeitstag mehrere Untersuchungen durchgeführt. Zur Feststellung der inneren Nickelbelastung werden von jedem Probanden zwei Urinproben (vor und nach der Tätigkeit) und eine Blutprobe (nach der Tätigkeit) entnommen. Von der Haut des Probanden werden vier Wischproben genommen, um die Nickelbelastung an der Haut festzustellen. Die Nickelkonzentration in der Luft wird durch ortsfeste und personenbezogene Messungen eingeschätzt.

2.5. Zustimmungsfähigkeit - mutmaßlicher Wille der Probanden

Die Probanden sind voll zustimmungsfähig

2.6. Honorierung der Probanden

Eine Honorierung ist nicht vorgesehen, da die Untersuchung während der normalen Arbeitszeit statt findet.

2.7. Probandenversicherung

entfällt

2.8. Datenschutz

Vom Leiter des betriebsärztlichen Dienstes (Dr. Güntner) werden die Proben mit einem Nummerncode versehen, so dass die Identität nur diesem bekannt ist. Die Auswertung der Daten zu statistischen und wissenschaftlichen Zwecken und für etwaige Veröffentlichungen erfolgt damit anonymisiert.

2.9. Aufklärungsschreiben und Einverständniserklärung

Die Aufklärung wird schriftlich anhand des beiliegenden Aufklärungs-/Einverständnismogens vom Arzt durchgeführt. Jeder Proband erhält die Möglichkeit, sich im Gespräch mit einem ärztlichen Projektarbeiter über eventuelle Unklarheiten zu unterhalten. Das Einverständnis wird in schriftlicher Form eingeholt.

München, den 03.07.2001

9. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. med. Dennis Nowak für die Möglichkeit diese Doktorarbeit am Institut für Arbeits- und Umweltmedizin durchzuführen.

Meinem Betreuer Herrn Dr. rer. nat. Rudolf Schierl für die Überlassung des Themas und für die wissenschaftliche Anregung und hervorragende Betreuung bei der Durchführung meiner Promotionsarbeit, sowie für die Verbesserungsvorschläge bei der schriftlichen Abfassung.

Herrn Stefan Gröbmaier und den Mitarbeitern des arbeits- und umweltmedizinischen Institutes für die fachkundige Arbeit bei der Auswertung der Proben im Labor.

Herrn Dr. med. Güntner für die Anregung zu diesem Thema und der weiteren Unterstützung in der praktischen Durchführung.

Frau Kruppa aus der Betriebsmedizin des Fliegerhorsts Erding für ihre hilfreiche Unterstützung bei der praktischen Durchführung dieser Arbeit.

Meinem Ehemann und meinen Eltern für Ihre ständige Unterstützung und ihren intensiven Zuspruch, mit dem sie immer für mich da waren und mir mit Rat und Tat zur Seite standen. Zudem danke ich ihnen für das Nachlesen dieser Arbeit.

10. Lebenslauf:

Name: Häßner-Neumüller, geb. Häßner
Vorname: Sabine
Geburtsort: Halle/Saale
Geburtsdatum: 26.03.1979
Familienstand: verheiratet
Anschrift: Professor-Deutinger-Straße 10
85465 Langenpreising

Schulbildung: 1985-1992
Polytechnische Oberschule Friedrich-Hähnel
Karl-Marx-Stadt/ Chemnitz
1992-1997
Immanuel-Kant-Gymnasium, Chemnitz
Abschluss: Abitur

Ausbildung: September – Dezember 1997
Ausbildung zum Fluggerätemechaniker, Fachrichtung
Instandsetzungstechnik im Fliegerhorst Erding
Januar 1998
Eintritt in die Bundeswehr zur Ausbildung zum Sanitätsoffizier
Oktober 1998
Beurlaubung zum Medizinstudium und Studienbeginn an der
Universität Regensburg, Abschluss: Physikum
Oktober 2000
Wechsel an die TU München zur Fortsetzung des klinischen
Abschnittes des Medizinstudiums, Abschluss: 3. Staatsexamen
Oktober 2004

Beruf: Erster klinischer Weiterbildungsabschnitt zum
Allgemeinmediziner am Bundeswehrkrankenhaus Berlin seit
November 2004

Besondere
Fähigkeiten: Privatpilotenlizenz A, Abschluss: März 2003