

(Nano-)Partikel und moderne Materialien
- Gefährdungen in der Zahnheilkunde -

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2010

vorgelegt von Hendrik Berger

geb. am 16. Juni 1977 in Leonberg

Aus dem

Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin der Universität des Saarlandes und
Präventivmedizinischen Zentrum für arbeits- und umweltbedingte Erkrankungen,

Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. Axel Buchter,

Universitätsklinikum des Saarlandes, 66421 Homburg/Saar

und der

Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde,

Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Matthias Hannig,

Universitätsklinikum des Saarlandes, 66421 Homburg/Saar

FÜR MEINE FAMILIE

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung/Summary	5
2 Einleitung	12
3 Fragestellung und Ziel	15
4 Material und Methoden	16
4.1 Untersuchungskollektiv	16
4.2 Gefährdungsanalyse	17
4.3 Untersuchungsprogramm	18
4.4 Untersuchungsmethoden und Untersuchungsablauf	22
4.4.1 Untersuchungen im Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin	22
4.4.2 Untersuchungen innerhalb des Universitätsklinikums des Saarlandes	23
4.4.3 Untersuchungen am Arbeitsplatz	23
4.4.4 Expositionsmessungen	26
4.5 Erläuterungen zur Statistik	28
5 Ergebnisse	29
5.1 Initiale Gefährdungsanalyse zu gesundheitlichen Belastungen und Expositionen in der Zahnheilkunde	29
5.1.1 Chemische Gefährdungen	29
5.1.2 Physikalische Gefährdungen	47
5.1.3 Biologische Gefährdungen	49
5.1.4 Zusammenfassung der aktuellen Gefährdungsschwerpunkte	51
5.2 Expositionsmessungen und elektronenoptische Analysen	52
5.2.1 Hintergrundkonzentrationen	54
5.2.2 Zahnärztliche Behandlung	55
5.2.3 Zahntechnisches Labor	75
5.2.4 Zusammenfassung der Expositionsschwerpunkte	83
5.3 Befundergebnisse aus Anamnese und Diagnostik	84
5.3.1 Anamnese und Fragebogen	84
5.3.2 Klinische Untersuchung	86
5.3.3 Labor- und Urindiagnostik	87
5.3.4 Allergiediagnostik	90

Inhaltsverzeichnis

5.3.5	Lungenfunktionsdiagnostik	95
5.3.6	eNO-Bestimmung in der Ausatemluft	97
5.3.7	Bestimmung der Atemexhalat-Parameter	99
5.3.8	Zytopathologische Diagnostik	100
5.3.9	Bildgebende Diagnostik	100
5.3.10	Ultraschalluntersuchung der Bauchorgane	101
5.3.11	Zusammenfassung der klinischen Befunde	102
5.4	Arbeitsplatz-Diagnostik	103
5.4.1	Spirometrie	103
5.4.2	eNO-Bestimmung in der Ausatemluft	105
5.4.3	Bestimmung der Atemexhalat-Parameter	106
5.4.4	Zusammenfassung der Diagnostik am Arbeitsplatz	115
6	Diskussion	116
6.1	Potentielle Gefährdungen und ihre Beurteilung	116
6.2	Partikelkonzentrationsmessungen	121
6.3	Allergiediagnostik	126
6.4	Lungenfunktionsuntersuchung	133
6.5	Atemexhalatuntersuchungen	135
6.6	eNO in der Ausatemluft	144
6.7	Infektionskrankheiten	146
6.8	Prävention und Arbeitsschutz	149
6.9	Schlussbetrachtung	153
	Tabellenverzeichnis	154
	Abbildungsverzeichnis	155
	Literaturverzeichnis	157
	Anhang	171
	Abkürzungen	181
	Danksagung	186
	Lebenslauf	188

1 Zusammenfassung/Summary

Beschäftigte in der Zahnheilkunde sind seit jeher bei der Ausübung ihrer Tätigkeit als Zahnärzte, Dentaltechniker oder assistierendes Personal gegenüber einer Vielzahl potentieller Gefahrstoffe exponiert. Gesundheitliche Belastungen können in inhalativer und/oder dermalen Form während der Herstellung und mechanischen Bearbeitung verschiedener Zahnersatzmaterialien und beim Umgang mit zahlreichen weiteren dentalen Werkstoffen auftreten. Waren bis vor wenigen Jahren noch hauptsächlich Quecksilber(-dämpfe) durch die Verwendung von Füllungen aus Amalgamen, Infektionen mit dem Hepatitis-B-Virus, Sensibilisierungen gegenüber Latex und die Lungenfibrose beim Zahntechniker durch Quarz-haltige Schleifstäube (aber auch Asbestfaserstäube) von primärer Bedeutung, so werden neuerdings zunehmend moderne Werkstoffe sowie Materialien im Nanomaßstab eingesetzt, deren Wirkpotential häufig bisher noch nicht bekannt und abzuschätzen ist.

Die initiale Gefährdungsanalyse zeigte, dass Beschäftigte in der Zahnheilkunde im Rahmen ihrer Tätigkeit Kontakt zu einer Vielzahl unterschiedlicher Stoffe haben, von denen einige adverse gesundheitliche Effekte aufweisen können. Metalle oder Methacrylat-Kunststoffe, aber auch verschiedene Inhaltsstoffe von Desinfektions- und Reinigungsmitteln können sensibilisierend auf Haut und/oder Schleimhäute wirken und zu ekzematösen oder urtikariellen Hautveränderungen sowie Atemwegsobstruktionen im Sinne eines allergischen Asthma bronchiale führen. Andere Substanzen wie Quarz (und Asbest) und diverse Metalle bzw. deren Schleifstäube wirken fibrogen und können zu Lungenfibrosen (Zahntechnikerpneumokoniosen) führen.

Zusätzlich besitzen einige in der Zahnmedizin verwendete Materialien eine teils vermutete, teils bereits nachgewiesene krebserzeugende Wirkung. Für viele Stoffe jedoch existiert bisher bezüglich ihres Wirkpotentials keine arbeitsmedizinisch-toxikologische Einstufung durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).

Ein modernes Zahnersatzmaterial ist Zirkonium. Es wird seit etwa 10 Jahren verstärkt in Dentalkeramiken eingesetzt. Zirkonium - in Analogie zu Beryllium - besitzt ein allergenes Potential und kann des Weiteren zu granulomatösen Veränderungen an Lunge, Haut und Lymphknoten führen. Die Herstellung und Verarbeitung solcher Zirkonoxidkeramiken kann eine neue inhalative und dermale Gefahrenquelle darstellen.

Neuartige Komposit-Kunststoffe, aber auch Zahncremes können Materialien im Nanomaßstab zur Verbesserung ihrer Eigenschaften enthalten. Inwieweit es durch den Umgang mit diesen Materialien und insbesondere durch deren mechanische Bearbeitung zur Freisetzung von darin eingearbeiteten Nanopartikeln und einer damit verbundenen inhalativen Gefährdung des zahnmedizinischen Personals (aber auch der Patienten) kommen kann, ist bisher noch nicht ausreichend bekannt.

Zur Untersuchung von gegenüber nanoskaligen Partikeln und neuartigen Materialien exponierten Beschäftigten wurde von uns ein umfassendes und differenziertes Diagnostik-Programm konzipiert, bei dem neben den Schwerpunkten Lungenfunktions- und Allergiediagnostik allgemeine und spezifische Wirkungen dieser Arbeitsstoffe auf verschiedene Organsysteme Berücksichtigung fanden. Bei Indikation wurde dieses Programm um eine individualmedizinische Diagnostik erweitert.

Unsere Untersuchungen wurden den Mitarbeitern der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde des Universitätsklinikums des Saarlandes (Klinik I) und der Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde des Universitätsklinikums des Saarlandes (Klinik II) sowie den Studierenden der Zahnmedizin im ersten Semester angeboten. Insgesamt nahmen 26 Personen (13 ♀ und 13 ♂) teil - davon waren 10 Zahnärzte und 2 Studierende im höheren klinischen Abschnitt, welche zu der Gruppe der Zahnärzte gezählt wurden, 5 zahnmedizinische Fachangestellte, 2 Zahntechniker und 7 Studienanfänger. Das durchschnittliche Alter der Personen betrug 33 Jahre (20 bis 59 Jahre, Median 31 Jahre) und die mittlere Beschäftigungsdauer lag ohne die Studienanfänger bei 17 Jahren (5 bis 44 Jahre, Median 15 Jahre).

In einem ersten Schritt erfolgte die Vorstellung der am Untersuchungsprogramm teilnehmenden Personen in unserem Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin. Es wurden neben einer ausführlichen Erhebung der (Berufs-)Anamnese eine Lungenfunktionsprüfung und eine orientierende körperliche Untersuchung einschließlich Ruhe-Elektrokardiogramm durchgeführt. Ferner erfolgte eine Blutentnahme und Uringewinnung zur Bestimmung von Labor- und Urinparametern sowie zur serologischen Allergiediagnostik, bei der neben ubiquitären Inhalations- und Sofortallergenen berufsspezifische Allergene wie Methylmethacrylat und Latex sowie die Metalle Zirkonium und Beryllium berücksichtigt wurden. Zusätzlich wurden Nasenschleim, Sputum und Urin zur zytopathologischen Diagnostik gewonnen.

Zu einem späteren Zeitpunkt erfolgte dann bei den Mitarbeitern der Kliniken I und II die arbeitsplatzbezogene Diagnostik. Vor Arbeitsbeginn und nach Ende der Arbeit wurden jeweils das Stickstoffmonoxid (eNO) in der Ausatemluft bestimmt und Atemexhalat zur Bestimmung von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) und pH-Wert gesammelt sowie eine Spirometrie durchgeführt. Zusätzlich erfolgte eine Bestimmung der Zytokine IL-6, IL-8 und IL-12p70 sowie von IFN- γ und VEGF im Atemexhalat. Die Messungen wurden bei den Mitarbeitern der Klinik I an 5 aufeinander folgenden Arbeitstagen innerhalb einer Arbeitswoche durchgeführt. Bei den Mitarbeitern der Klinik II erfolgten die Messungen an zwei nicht aufeinander folgenden Arbeitstagen innerhalb einer Arbeitswoche. Zusätzlich wurden im zahnärztlichen und zahntechnischen Bereich während repräsentativer Tätigkeiten Messungen zur Partikelkonzentration und -freisetzung mit einem tragbaren Kondensationspartikelzähler durchgeführt und dabei Partikelproben aus der Raumluft zur elektronenoptischen Analyse einschließlich Elementanalyse gewonnen.

Ziel unserer Untersuchungen war es, eine Übersicht zu den aktuellen Schwerpunkten der potentiellen Gefährdung in der Zahnheilkunde zu geben und gesundheitliche Auswirkungen bei Exponierten sowie tätigkeitsassoziierte Partikelkonzentrationen und -freisetzungen zu untersuchen.

Insgesamt klagten 13 von 26 Teilnehmern über tätigkeitsassoziierte Beschwerden. 17 Teilnehmer berichteten über schleimhautassoziierte Symptome wie Rhinitis und/oder Konjunktivitis oder bronchitische Beschwerden. 10 Teilnehmer beklagten dermale Symptome wie Ekzeme, Hautrötungen oder juckende Hautareale.

Bodyplethysmographisch konnte bei 12 von 26 untersuchten Personen eine variable oder bereits manifeste obstruktive Ventilationsstörung diagnostiziert werden. In der prä- und postexpositionellen Spirometrie im Rahmen der Diagnostik am Arbeitsplatz ließ sich ebenfalls bei 12 Untersuchten der Kliniken I und II eine arbeitsparallele Atemwegsobstruktion mit zum Teil zunehmender Tages- und Wochendynamik feststellen.

Von den 12 bodyplethysmographisch mit (variabler) Atemwegsobstruktion auffälligen Teilnehmern ließ sich bei 6 Personen in der serologischen Allergiediagnostik eine positive Reaktion auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene nachweisen. Bei 2 dieser Personen konnte dieses Ergebnis zusätzlich anhand eines Prick-Tests bestätigt werden. Ebenfalls 2 Teilnehmer zeigten passend zu den Ergebnissen der Allergiediagnostik auch ein erhöhtes Gesamt-Immunglobulin E. Auf die Berufsallergene Methylmethacrylat, Formaldehyd und Latex zeigte keiner der Untersuchten eine positive Reaktion. Bei einem Teilnehmer ließ sich ein langjährig bestehender Zigarettenkonsum als wahrscheinlichste Ursache für eine Obstruktion der Atemwege mit beginnender pulmonaler Überblähung ausmachen. Bei 4 Klinikmitarbeitern sowie bei einem Studienanfänger konnte anhand der bisher erfolgten Allergiediagnostik kein auslösendes Allergen für die Atemwegsobstruktion verifiziert werden. Eine berufliche Komponente kann bei den Klinikmitarbeitern bis dato zumindest nicht ausgeschlossen werden. Im Lymphozytentransformationstest (LTT) konnte bei keinem der Untersuchten eine positive Reaktion auf Beryllium nachgewiesen werden. Dagegen ließ sich im LTT auf Zirkonium bei 2 Zahnärzten und 2 Studierenden im höheren klinischen Semester eine Typ-IV-Sensibilisierung nachweisen und bei einem weiteren zahnärztlichen Mitarbeiter nicht eindeutig ausschließen. Unter den Studienanfängern reagierte keiner positiv auf Zirkonium.

In der ausführlichen Labor- und Urindiagnostik im Hinblick auf mögliche Organbeteiligungen konnten bei keinem Teilnehmer wesentliche vom Normwert abweichende Befunde festgestellt werden. Die Hepatitis-Serologie bzgl. Hepatitis-B- und -C-Virus zeigte sich bei allen Untersuchten unauffällig. Alle Mitarbeiter der Kliniken I und II zeigten einen negativen zytopathologischen Befund in Nasenabstrich, Sputum und Urin.

Die bildgebende Diagnostik sowie die Ultraschalluntersuchung der Bauchorgane ließen bei keinem der Teilnehmer eine pathologisch relevante Veränderung erkennen.

Die Konzentrationen von H_2O_2 als Marker des oxidativen Stresses im frisch kondensierten Atemexhalat lagen bei den untersuchten Mitarbeitern der Kliniken I und II in einem Bereich von 0 bis maximal 1.860 nmol/l. Die durchschnittliche H_2O_2 -Konzentration betrug 402 ± 30 nmol/l, der Median lag bei 320 nmol/l. Sieben der 10 Personen aus Klinik I wiesen im Tagesverlauf einen Anstieg der H_2O_2 -Konzentration auf. Im Wochenverlauf war bei 5 Teilnehmern eine Zunahme der H_2O_2 -Konzentration zu dokumentieren. Bei 4 Mitarbeitern der Klinik II kam es ebenfalls zu einem Anstieg der H_2O_2 -Konzentration im Tagesverlauf. Die zahnärztlichen Mitarbeiter zeigten eine

mittlere H_2O_2 -Konzentration von 369 ± 60 nmol/l, die zahnmedizinischen Fachangestellten von 291 ± 47 nmol/l. Bei den Studienanfängern bewegten sich die H_2O_2 -Werte in einem Bereich von 0 bis 280 nmol/l; durchschnittlich lagen deren Werte bei 120 ± 39 nmol/l (Median 100 nmol/l).

Die einzelnen pH-Werte im Atemkondensat als Marker der Atemwegsazidifikation bewegten sich bei den Mitarbeitern der Kliniken I und II zwischen 5,6 und 9,4 und betrug durchschnittlich 7,0 (Median ebenfalls 7,0). Im Allgemeinen ließ sich ein Ansteigen des pH-Wertes im Tagesverlauf dokumentieren. Bei 6 von 10 Teilnehmern aus Klinik I ließ sich zudem eine Zunahme des pH-Wertes im Verlauf der Messwoche feststellen. Bei den Mitarbeitern der Klinik II dagegen ließ sich keine Wochendynamik erkennen. Bei den Studienanfängern lag der pH-Wert zwischen 6,8 und 7,2, im Mittel betrug der pH-Wert 7,0 (Median ebenfalls 7,0).

Bei der zahnärztlichen Patientenbehandlung mit Befunderhebung und der intraoralen Behandlung mit (schnell) rotierenden Instrumenten waren im Allgemeinen unter entsprechender Absaugung keine relevanten Partikelanstiege nachweisbar. Die Hintergrundkonzentration in den Räumen betrug ca. 2.000 bis < 10.000 pt/cm³. Kurzzeitige, teils hohe Partikelkonzentrationen bis 58.000 pt/cm³ waren bei der Verwendung eines Propan- und Butan-haltigen Kältesprays zu verzeichnen. Ebenso konnten bei der Verwendung offener Flammen, wie sie im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung der Fall ist, hohe Konzentrationen bis > 180.000 pt/cm³ dokumentiert werden. Über Sekunden anhaltende Konzentrationen bis > 400.000 pt/cm³ waren bei der Verwendung eines Mattierungssprays, das beim Einsatz von CAD/CAM-Systemen Anwendung findet, zu messen. Elektronenoptisch ließen sich Titan-haltige Partikel im Nanomaßstab nachweisen.

Das Bearbeiten von Polymethylmethacrylat-haltigen Zahnprothesen mit einer diamantierten Trennscheibe erzeugte Konzentrationen von bis zu 425.000 pt/cm³. Unter Absaugung konnte eine zwanzigfache Reduktion der Teilchenanzahl auf maximal 24.000 pro cm³ Luft erzielt werden. Elektronenoptisch ließen sich neben größeren, mehrere 100 nm messenden Partikeln auch zahlreiche nanoskalige Partikel nachweisen. Als Bestandteile konnten u.a. Silicium, Aluminium sowie Ytterbium und Fluor identifiziert werden.

Das Bearbeiten von Zirkonoxidkeramiken mit Glaskeramikglasur erzeugte unter Wasserkühlung und Absaugung Konzentrationen von maximal 7.000 pt/cm³ - ohne Absaugung und Wasserkühlung bzw. -spülung betrug die Teilchenanzahl dagegen bis > 165.000 pro cm³ Luft. Elektronenoptisch und elementanalytisch konnten nanoskalige Zirkonium-haltige Partikel dokumentiert werden.

Bei zahntechnischen Laborarbeiten an Zahnersatz aus hochgoldhaltigen Dentallegierungen konnten unter dem Rasterelektronenmikroskop ebenfalls Partikel mit einer Größe von teils < 100 nm gefunden werden. Im zahntechnischen Bereich ließen sich im Allgemeinen unter Verwendung der am Arbeitsplatz installierten Absaugung bei verschiedenen repräsentativen Arbeiten keine relevanten Anstiege der Partikelkonzentration feststellen.

Auf Grund festgestellter Atemwegsobstruktionen einerseits und Sensibilisierungen gegenüber Zirkonium andererseits sind weitere arbeits- und präventivmedizinische Maßnahmen angezeigt.

(Nano-)Particles and modern materials - exposures in dentistry

Persons who are employed in dentistry either as dentists, as dental technicians or dental assistants are exposed to various potentially dangerous substances. Inhalative or dermal impacts can be the result of preparation and processing of different dental materials. Not many years ago mercury vapours from amalgam coming from dental fillings, infections with hepatitis B virus, sensitization to latex, and lung fibrosis caused by silica containing dusts at dental technicians were mainly important. Presently, modern and nanoscaled materials are increasingly used, their effects are often not known and therefore not calculable to this day.

Dentists, dental technicians and dental assistants are in work-related contact to a variety of materials. Some of those materials may cause health problems. Several metals and methacrylates, but also different contents of cleaning and disinfection substances may sensitize skin and/or mucous membranes and cause eczema and airway obstruction. Other substances like silica, asbestos and several metals included their grinding dusts are fibrogen and may cause lung fibrosis (pneumoconiosis of dental technicians). Some dental materials have either supposed or proved carcinogenic effects. But for many substances and their effects on health there is no ranking by the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) to this day.

A modern substitutional material for teeth is zirconium. It is more and more used in dental ceramics for about 10 years. Zirconium - like beryllium - has an allergic potential and may also cause granulomatous alterations at lung, skin, and lymph nodes. Producing and processing zirconium ceramics may be a new inhalative and dermal danger.

Novel composites, but also tooth pastes may contain nanoscale substances in order to amend their effects. Until now it is not thoroughly known, in what way dental staff, but also patients may be endangered by nanoscale particles emitted by processing those materials.

For a medical survey of dental staff exposed to nanoscale particles and new or special materials we established an extensive research program with main emphasis on the diagnosis of lung function and allergies as well as on general and specific effects to various organ systems. When personally indicated, the program was extended to an individual diagnostic.

Our diagnostic program was offered to the staff of the Clinic of Operative Dentistry, Periodontology and Preventive Dentistry, University Hospital, Saarland University (clinic I) and the Clinic of Prosthetic Dentistry and Dental Materials Sciences, University Hospital, Saarland University (clinic II), as well as to the students of dentistry in their 1st semester. 26 persons (13 male and 13 female) took part. 10 were dentists and 2 were advanced students, who were included to the dentist group. 5 were dental assistants, 2 dental technicians and 7 freshmen.

The average age of the examined persons was 33 years (20 to 59 years, median 31 years), and the average time of occupation (without the freshmen) was 17 years (5 to 44 years, median 15 years).

First step was a comprehensive (occupational) anamnesis and examination in our Institute and Outpatient Clinic for Occupational Medicine (Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin) including lung test and electrocardiography. In addition we took blood and urine samples in order to measure several parameters, for example serologic diagnostic of allergies. Besides ubiquitous inhaled allergenes, we focused on work-related allergenes like methylmethacrylate, latex, different metals like zirconium, and beryllium. Cellular pathology examination was carried out with nasal mucus, sputum, and urine samples.

Later on, the occupational diagnostic took place. Before and after work, nitric oxide (eNO) in the exhaled breath was checked and exhaled breath condensate was collected for measuring hydrogen peroxide (H₂O₂) and pH. Furthermore a spirometry was carried out. The cytokines IL-6, IL-8 und IL-12p70 sowie IFN- γ und VEGF in the exhaled breath were determined as well. The members of staff of clinic I were tested on 5 working days within one week. The members of staff of clinic II were tested on two working days that were not followed by each other.

In addition measurements of particle concentration and emission were carried out with a portable condensation particle counter and particle samples were taken for the electronic-optical analysis and the analysis of elements.

Our aim was to give a review of recent potential dangers and effects on the health of exposed staff in dentistry as well as the measurement of work-related particle concentrations.

13 out of 26 participants of our research reported complaints due to their profession. 17 complained mucous membrane symptoms e.g. rhinitis and/or conjunctivitis or bronchial problems. 10 persons suffered from dermal symptoms like eczema, erythema and pruritus of skin areas.

In 12 participants a variable or manifest obstructive disorder of ventilation was diagnosed by body-plethysmography. Pre- and postexpositional spirometry also showed in 12 examined persons a work-related obstruction of airway partly with a diurnal or weekly dynamic.

In 6 out of 12 persons with airway obstruction, a positive reaction on ubiquitous allergenes could be identified as well. Two of them were positive in the prick-test. Two persons also showed an increased immunoglobulin E corresponding with the results of allergene diagnosis. None of the examined persons was positive to the work-related allergenes methylmethacrylate, formaldehyde and latex. Cigarette smoking for many years was the most probable reason for the airway obstruction and pulmonary emphysema of 1 person.

No trigger allergene for the airway obstruction was found in 4 members of staff and 1 freshman to this day. An occupational impact can not be excluded at least in these members of staff.

The lymphocyte transformation test (LTT) didn't show a positive reaction to beryllium in any participant. On the other hand a positive reaction to zirconium in the LTT could be proved in 4 persons. In 1 participant a sensitization against zirconium could not be definitely excluded. Three of these were dentists and 2 were advanced students.

None of the participants had findings different from normal in the detailed laboratory and urine testing. The hepatitis serology for hepatitis B and C virus showed negative results. All members

of staff of clinic I and clinic II were zyopathologically negative in nasal mucus, sputum and urine. Radiography and ultrasound imaging of the abdomen didn't show any pathology as well.

The concentration of H_2O_2 , a marker for oxidative stress in fresh exhaled breath condensate of the participants of clinic I and II was within the range of 0 to max. 1,860 nmol/l. The average concentration was 402 ± 30 nmol/l, the median 320 nmol/l. In 7 out of 10 persons of clinic I the concentration of H_2O_2 increased during the testing day. Within the week the H_2O_2 concentration increased in 5 persons. In 4 participants of clinic II the H_2O_2 concentration increased throughout the day. The dentists showed a average concentration of 369 ± 60 nmol/l, the dental assistants of 291 ± 47 nmol/l. The H_2O_2 score of the freshmen reached from 0 to 280 nmol/l; the average concentration of these was 120 ± 39 nmol/l (median 100 nmol/l).

The pH score in the breath condensate of the participants of both clinic I and clinic II was measured between 5.6 and 9.4, average 7,0 (median 7,0 as well). The pH is a marker for the airway acidification. In general, there was an increase seen in the pH throughout the day. In 6 out of 10 participants of clinic I we found an increase in the course of the week. In opposite to that, there was no increase in the pH of the persons from clinic II within the week. The pH score of the freshmen reached from 6.8 to 7.2, average 7.0 (median 7.0 as well).

Dental works with use of fast revolving instruments under exhausting didn't show increased concentrations of particles. The background concentration was 2,000 up to $< 10,000$ pt/cm³. Short, but high concentrations up to 58,000 parts per cm³ arose from cooling sprays containing propane and butane. Open flames, e.g. at the endodonty, triggered high concentrations up to 180,000 pt/cm³. There were concentrations up to $> 400,000$ pt/cm³ during several seconds caused by tarnishing sprays for the use of CAD/CAM-systems. The scanning electron microscope (SEM) showed particles containing titanium.

The processing of polymethylmethacrylate containing dentures by diamond tools caused concentrations up to 425,000 pt/cm³. Exhaust reduced the figure of particles to max. 24,000/cm³ air. The SEM showed, along with bigger particles of some 100 nm, numerous nanoscale particles as well. They contained silicium, aluminium, ytterbium, and fluorine.

Processing zirconium ceramics with glass ceramic glaze under water cooling and exhausting caused particle concentrations of max. 7,000 pt/cm³. Without cooling and exhausting the figure of particles increased up to 165,000 pt/cm³. SEM and element analysis identified nanoscale particles containing zirconium.

In laboratories processing dental prothesisess made of high gold containing alloys there were particles found smaller than 100 nm. When using exhaust, which is normally installed at the working place, no relevant increase of particle concentration was found during typical works.

Due to the proven airway obstruction on one hand and the sensitization against zirconium on the other hand, further occupational and preventing measures are recommended.

2 Einleitung

Zahnmedizinisches und zahntechnisches Personal steht bei Ausübung seines Berufes seit jeher in Kontakt mit einer Vielzahl von unterschiedlichen Stoffen, von denen einige adverse gesundheitliche Effekte aufweisen können. Verschiedene dentale Werkstoffe und auch Zahnersatzmaterialien besitzen ein Haut und Schleimhaut sensibilisierendes Potential. Andere können reizend auf Haut und Atemwege wirken oder zu Lungenfibrosen führen. Zudem können manche Arbeitsstoffe krebserzeugend wirken und maligne Neoplasien z.B. der Lunge hervorrufen.

Mögliche Gefahren und Belastungen sind vor allem chemischen, physikalischen oder biologischen Ursprungs. Gefährdungen der Gesundheit ergeben sich für Beschäftigte einerseits durch den dermalen Kontakt zu unterschiedlichen Arbeitsmaterialien, andererseits kann es durch die mechanische Bearbeitung von dentalen Werkstoffen und Zahnersatzmaterialien, aber auch durch die Verwendung von Reinigungs- und Desinfektionsmaterialien zu einer inhalativen Exposition gegenüber potentiellen Gefahrstoffen kommen [85]. Bohren und Schleifen kann eine inhalative Gefährdung sowohl für zahnärztliches als auch assistierendes Personal durch Freisetzung von Schleifstäuben und vor allem von Aerosolen, welche neben abgetragenen Zahn- und/oder Zahnersatzmaterial auch mikrobiologische Organismen enthalten können, darstellen [77].

Bis vor einigen Jahren noch stellten Infektionen mit dem Hepatitis-B-Virus (HBV) bei zahnmedizinisch Beschäftigten ein erhebliches gesundheitliches Risiko dar. Die Durchseuchungsrate betrug bei zahnärztlichem Personal nach 5 Berufsjahren etwa 15%, nach 15 Jahren bereits 40% und stieg nach 45 Berufsjahren auf bis zu 70% an [148, 154]. Mittlerweile konnte ein deutlicher Rückgang der HBV-Neuinfektionen dank flächendeckender Impfungen und zahlreicher weiterer präventiver Maßnahmen im Gesundheitsdienst registriert werden [133, 148, 154].

Lange Zeit war Naturlatex auf Grund der breiten Verwendung gepudertes Latex-haltiger medizinischer Einmalhandschuhe für die Ausbildung allergischer Reaktionen an Haut und Atemwegen bei (zahn-)medizinischem Personal verantwortlich [103]. Mehr als die Hälfte der Zahnärzte verwendete früher gepuderte Latexhandschuhe [74]. Ende der 1990er Jahre von der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) bundesweit durchgeführte Präventionskampagnen zur Aufklärung über Risiken und Gefahren bewirkten in den Folgejahren einen Rückgang der Latex-bedingten Beschwerden bei im Gesundheitsdienst beschäftigtem Personal [73, 74].

Überwiegend zahntechnisches, aber auch zahnmedizinisches Personal war und ist auch nach wie vor in besonderem Maße gegenüber Schleifstäuben unterschiedlicher dentaler Werkstoffe und Zahnersatzmaterialien exponiert. Schleifstäube können abhängig vom bearbeiteten Material und auch vom Schleifkörper selbst fibrogen wirkende Stoffe wie Siliciumdioxid und Metalle (Cobalt, Chrom, Molybdän) enthalten und nach inhalativer Aufnahme zu fibrotischen Veränderungen der Lunge

im Sinne einer Zahntechnikerpneumokoniose führen [81, 98, 99]. In früheren Jahren wurden im zahntechnischen Bereich häufig Asbestfolien zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Expansion des Werkstücks bei gusstechnischen Arbeiten verwendet. Insbesondere beim Ausbetten kam es zu einer Exposition gegenüber Asbest und der damit verbundenen Gefahr der inhalativen Aufnahme [100]. Asbest ist von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft als Karzinogen der Kategorie 1 bewertet und seit 1993 in Deutschland verboten [37].

Durch Umgang mit Werkstoffen auf (Methyl-)Methacrylat-Basis und insbesondere durch deren mechanische Bearbeitung und die damit verbundene Freisetzung von Schleifstäuben kann es zu einer dermalen und inhalativen Exposition der im zahntechnischen Bereich Beschäftigten kommen. (Methyl-)Methacrylate können bei dermalen Kontakt über eine Typ IV-Reaktion zu ekzematösen Hautveränderungen führen [127] und über eine Sofort-Typ-Reaktion die Ausbildung einer allergisch bedingten Atemwegsobstruktion verursachen [103].

Eine weitere potentielle Gesundheitsgefährdung geht von der Verarbeitung von Amalgamen bzw. deren Dämpfen aus. Silberamalgam wird seit fast zwei Jahrhunderten in der Zahnmedizin eingesetzt und stellte lange Zeit einen der bedeutendsten Restaurationswerkstoffe dar [6]. Mittlerweile sind Amalgame großteils durch andere Zahnersatzmaterialien wie beispielsweise Komposit-Kunststoffe ersetzt [128]. Sie finden jedoch nach wie vor Verwendung. Expositionen gegenüber Amalgamen können aber auch z.B. durch die Entfernung alter Füllungen gegeben sein.

Beryllium ist ein weiteres Metall, das wegen seiner toxischen Eigenschaften seit 2002 eigentlich nur noch in Spuren in Dentallegierungen vorkommen dürfte [145]. Beryllium wirkt potentiell auf Haut und Schleimhaut sensibilisierend. Es ist Auslöser der chronischen Berylliose - einer allergischen Erkrankung vom Typ der Hypersensitivitätspneumonitis (Typ IV nach Gell und Coombs), bei der es zu granulomatösen Veränderungen der Lunge und mitunter zur extrapulmonalen Manifestation kommt [115, 116]. Von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurde Beryllium als Karzinogen der Kategorie 1 bewertet [37]. Trotz seiner Toxizität wird Beryllium nach Angaben der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (ETEM) wieder verstärkt in Dentallegierungen auf dem Markt angeboten, wodurch es erneut zu Expositionen und Gefährdungen der Beschäftigten kommen kann [16, 145]. Ein weiteres, noch vergleichsweise neues Zahnersatzmaterial ist Zirkonium, das auf Grund spezieller Eigenschaften wie Biokompatibilität und Farbe in den letzten 10 Jahren zunehmend in Kronen und Brücken Verwendung findet. Moderne Zirkonoxidkeramik-Kronen weisen dabei je nach Hersteller Zusammensetzungen von meist ca. 95% Zirkoniumdioxid und ca. 5% Yttriumoxid auf [172]. In Analogie zu Beryllium kann auch Zirkonium zu allergischen Reaktionen vom verzögerten Typ an Haut und Lunge mit Ausbildung von granulomatösen Veränderungen führen [97, 156]. Eine krebserzeugende Wirkung ist bisher für Zirkonium nicht beschrieben - die Datenlage bezüglich des Wirkpotentials ist allerdings bis dato noch vergleichsweise dürftig [37].

Zunehmend finden in der Zahnheilkunde, wie in anderen Bereichen der Medizin und Industrie auch, Materialien im Nanomaßstab eine immer breitere Anwendung. Nanopartikuläre Stoffe werden beispielsweise in Zahncremes eingearbeitet oder kommen als Füllpartikel in Komposit-Kunststoffen

vor [88, 114]. Apatit-Nanopartikel können Produkten zur Mundhygiene zugesetzt werden, um die Bildung von Plaques auf der Zahnoberfläche zu beeinflussen. Untersuchungen zeigten, dass durch nanoskaligen Hydroxylapatit eine Remineralisierung des Zahnschmelzes bewirkt und gleichzeitig eine weitere Demineralisierung verlangsamt werden kann [76]. Auf Grund ihrer geringen Größe können nanopartikuläre Materialien - im Vergleich zu größeren Partikeln bei gleichem Ausgangsmaterial - gänzlich andere physikalische Charakteristika aufweisen, was auch eine Änderung ihrer toxikologischen Eigenschaften zur Folge haben kann. So können Stoffe, die bisher als atoxisch und inert gegolten haben, in nanopartikulärer Form unerwartete negative gesundheitliche Effekte aufweisen [112, 114].

Nanopartikel können nach Inhalation zu entzündlichen Reaktionen an Bronchien und Alveolen führen, Lungenfibrosen verursachen oder bereits bestehende Lungenerkrankungen wie ein Asthma bronchiale oder eine chronische Bronchitis verschlimmern [114]. Gezeigt werden konnte auch bereits, dass ultrafeine Partikel sich nach inhalativer Aufnahme und Überwindung der alveolokapillären Schranke rasch über das Herz-Kreislauf-System in verschiedene Organsysteme (Leber und Nieren sowie ableitende Harnwege) verteilen können [117]. Unter Einwirkung von Nanopartikeln wurden endotheliale Dysfunktionen, eine gesteigerte Thrombozytenaggregation sowie auch eine Destabilisierung von arteriosklerotischen Plaques beschrieben. Ferner bestehen Hinweise dafür, dass Nanopartikel entweder über die Blut-Hirn-Schranke oder aber über das olfaktorische System ins Gehirn gelangen und dort Entzündungsreaktionen hervorrufen können [114]. Tierversuche zeigten, dass Kohlenstoffnanoröhren Mesotheliome des Bauchfells verursachen können [129, 155].

Die Atemwege stellen für eine Vielzahl von umwelt- und arbeitsbedingten Gefahrstoffen eine der wesentlichen Eintrittspforten in den menschlichen Organismus dar [82]. Entzündliche Reaktionen der Atemwege mit Ausbildung eines Asthma bronchiale oder einer chronisch obstruktiven Lungenerkrankung, aber auch Lungenfibrosen und Lungentumore können die Folge sein. Der Diagnostik entzündlicher Veränderungen der Atemwege standen bis vor kurzem hauptsächlich die Untersuchung induzierten Sputums, die bronchoalveoläre Lavage und die Bronchoskopie zur Verfügung. In den letzten Jahren gewinnt zunehmend die Analyse von in der Ausatemluft enthaltenen Mediatoren an Bedeutung. Es handelt sich dabei um eine nicht-invasive, reproduzierbare und vom Untersuchten gut tolerierte Methode [82, 86]. In der Ausatemluft selbst lassen sich flüchtige Substanzen wie Stickstoffmonoxid und Kohlenmonoxid bestimmen. Im gekühlten und kondensierten Atemexhalat (EBC $\hat{=}$ exhaled breath condensate), das hauptsächlich aus Wasserdampf besteht, können neben flüchtigen auch nicht-flüchtige Substanzen wie Proteine nachgewiesen werden. Wasserstoffperoxid (H_2O_2) gilt als ein wesentlicher Entzündungsmarker für den oxidativen Stoffwechsel. Die Freisetzung erfolgt aus neutrophilen und eosinophilen Granulozyten sowie von Makrophagen und Epithelzellen [86, 110]. Der pH im EBC gibt einen Hinweis auf den Grad der Azidifikation der Atemwege. Als Biomarker für entzündliche Veränderungen sind die Zytokine, Prostaglandine und Leukotriene von Bedeutung [110].

3 Fragestellung und Ziel

In Anbetracht vielfältiger potentieller Wirkmechanismen nanoskaliger Materialien und zahlreicher diesbezüglich noch offener Fragen wurde von uns ein sehr umfangreiches und vielschichtiges Untersuchungsprogramm konzipiert, das einem Kollektiv von in der Zahnheilkunde beschäftigten Personen angeboten wurde. Berücksichtigung fanden dabei neben relevanten beruflichen Expositionen der Beschäftigten und speziellen Wirkmechanismen von nanoskaligen Materialien auch die individuelle Gesundheit, persönliche Risikofaktoren sowie präklinische Marker von Organwirkungen. Ziel war es einerseits, eine Übersicht zu aktuellen Gefährdungsschwerpunkten in der Zahnheilkunde zu geben, andererseits - anhand unseres speziell konzipierten Diagnostikprogramms - damit verbundene gesundheitliche Auswirkungen auf exponierte Beschäftigte zu untersuchen. Schwerpunkte unserer Untersuchungen lagen bei der Lungenfunktion und der beruflichen sowie außerberuflichen Allergiediagnostik.

Des Weiteren war es Ziel, anhand von Partikelmessungen während repräsentativer zahnärztlicher und zahntechnischer Arbeiten Informationen zu tätigkeitsassoziierten Partikelkonzentrationen und -freisetzungen sowie zur Größe und Zusammensetzung dabei freigesetzter Partikel zu gewinnen.

4 Material und Methoden

4.1 Untersuchungskollektiv

An unserem nachfolgend ausführlich erläuterten Programm zur Untersuchung von gegenüber nanoskaligen und neuen Materialien exponierten Personen nahmen insgesamt 26 Personen teil. 17 waren Mitarbeiter der Kliniken für Zahn-, Mund und Kieferheilkunde des Universitätsklinikums des Saarlandes. Diese teilten sich wiederum wie folgt auf: 8 waren Mitarbeiter der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde (Klinik I $\hat{=}$ K I) und 9 waren Mitarbeiter der Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (Klinik II $\hat{=}$ K II). Insgesamt 10 dieser 17 Teilnehmer waren zahnärztliche Mitarbeiter (ZA), 5 waren zahnmedizinische Fachangestellte (ZFA) und 2 Personen waren in dem der jeweiligen Klinik angeschlossenen zahntechnischen Labor (ZT) tätig, siehe Tabelle 4.1.

Betrachtet man die Gesamtmitarbeiterzahl beider Kliniken, so waren von insgesamt 17 zahnärztlichen Mitarbeitern 10 und von den zahnmedizinischen Fachangestellten 5 von ebenfalls 17 in unserer Untersuchung eingeschlossen. Von den Mitarbeitern aus dem zahntechnischen Bereich nahmen 2 von 3 teil.

Zusätzlich nahmen 9 Studierende der Zahnheilkunde an den Untersuchungen teil. Zwei waren Studierende im höheren klinischen Abschnitt. Sie wurden zu den obigen Mitarbeitern der Klinik I hinzugezählt, da bei ihnen im Rahmen von praktischen Kursen (Technischer Kurs der Propädeutik oder Phantom-Kurse) und der eigenständig unter Aufsicht durchgeführten Patientenbehandlungen tätigkeitsassoziierte Expositionen gegeben waren. Die 7 anderen Studierenden hatten gerade mit dem Studium begonnen und befanden sich im ersten Semester (ES).

Zusammengefasst waren die Personen 1 bis 10 Mitarbeiter der Klinik I einschließlich der beiden Studierenden im klinischen Abschnitt. Die Personen 11 bis 19 waren Mitarbeiter der Klinik II und die Personen 20 bis 26 waren Studienanfänger.

Von den 26 Teilnehmern war je die Hälfte weiblich bzw. männlich. Das Alter des Untersuchungskollektivs lag zwischen 20 und 59 Jahren, das Durchschnittsalter betrug dabei 33 Jahre (Median 31 Jahre).

In Bezug auf die Dauer der Berufstätigkeit wurde die Studien- bzw. Ausbildungszeit jeweils als Arbeitszeit gewertet. Bei zahnärztlichem Personal wurden entsprechend der Zahnärztlichen Approbationsordnung 5 1/2 Jahre [4], bei den ZFA bzw. bei ZT-Personal entsprechend der jeweiligen Ausbildungsordnung 3 bzw. 3 1/2 Jahre auf die Berufsjahre angerechnet [164, 165].

Die mittlere Beschäftigungsdauer der Mitarbeiter beider Kliniken einschließlich der beiden Studierenden im Klinischen Abschnitt lag somit bei 17 Jahren (Median 15 Jahre). Die Beschäftigungsdauer des Einzelnen betrug dabei zwischen 5 und 44 Jahren. Von den Studierenden im ersten Semester hatte nur eine Person (P 21: 4 Jahre Berufserfahrung als ZFA einschließlich Ausbildungszeit) zahnmedizinische Berufserfahrung.

Einen Überblick über die teilnehmenden Personen bzw. Personengruppen gibt Tabelle 4.1.

Tabelle 4.1: Untersuchungskollektiv

Gruppe	Anzahl	♂	♀	ZFA	ZFA	ZT	ST
K I	10*	4	6*	5 (11)	2 (7)	1 (1)	2*
K II	9*	6*	3	5 (6)	3 (10)	1* (2)	
ES	7	3	4				7
Gesamt	26*	13*	13*	10	5	2*	9*

Zahlen in Klammern geben die Gesamtzahl der Beschäftigten der jeweiligen Berufsgruppe in der entsprechenden Klinik wieder. *: Die Personen 4 und 11 beendeten die Untersuchungen auf eigenen Wunsch vorzeitig.

K I: Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde

K II: Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde

ZFA: Zahnärztin/-arzt, **ZFA:** zahnmedizinische Fachangestellte, **ZT:** Zahntechniker/-in, **ST:** Studierende der Zahnmedizin, **ES:** Studierende der Zahnmedizin im ersten Semester

Die Untersuchungen wurden von der Ethik-Kommission bei der Ärztekammer des Saarlandes (Kenn-Nr. 148/07) genehmigt und fanden im Einvernehmen mit dem Arbeitgeber statt. Die Teilnahme an den Untersuchungen war freiwillig und erfolgte erst nach einem ausführlichen Aufklärungsgespräch und schriftlicher Einverständniserklärung der teilnehmenden Person. Die Teilnahme konnte jederzeit und ohne Angabe von Gründen beendet werden. Alle persönlichen Angaben und Befundergebnisse unterlagen der ärztlichen Schweigepflicht. Die untersuchten Personen erhielten die Ergebnisse der bei ihnen durchgeführten Untersuchungen in einem persönlichen Arztbrief, in dem die Details zu den Befunden ausführlich erläutert und diskutiert wurden. Die wissenschaftliche Auswertung erfolgte anonymisiert.

4.2 Gefährdungsanalyse

Die Beurteilung von Gefährdungen, denen Beschäftigte während ihrer Arbeit ausgesetzt sind oder sein können, und die Ausarbeitung entsprechender Arbeitsschutzmaßnahmen ist nach § 5 des Arbeitsschutzgesetzes (ArbSchG) eine Kernforderung an den Arbeitgeber [62].

Betriebsärzten kommt dabei nach § 3 (1) des Arbeitssicherheitsgesetzes (ASiG) eine besondere Bedeutung zu. Sie haben „die Aufgabe, den Arbeitgeber beim Arbeitsschutz und bei der Unfallverhütung in allen Fragen des Gesundheitsschutzes zu unterstützen“ und „die Durchführung des

Arbeitsschutzes und der Unfallverhütung zu beobachten und im Zusammenhang damit die Arbeitsstätten in regelmäßigen Abständen zu begehen“ [63].

Vor dem Hintergrund dieser gesetzlichen Regelung erfolgte eine Begehung der Räumlichkeiten mit Sichtung einzelner zahnmedizinischer und zahn technischer Arbeitsplätze (bei gleichartigen Arbeitsbedingungen ist die Beurteilung eines Arbeitsplatzes oder einer Tätigkeit ausreichend, § 5 (2) ArbSchG). Basierend hierauf folgte zur Beurteilung der Belastungen und Gefahren eine intensive Literaturrecherche, bei der u.a. auf die MAK- und BAT-Werte-Liste 2010 der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft¹ und deren wissenschaftliche Begründung, auf das Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (GESTIS-Stoffdatenbank), auf gängige wissenschaftliche Fachliteratur sowie auf die medizinischen Datenbanken Medline und PubMed zurückgegriffen wurde.

4.3 Untersuchungsprogramm

Zur Untersuchung von bereits bekannten oder vermuteten Wirkmechanismen von nanoskaligen und neuen bzw. speziellen Materialien wurde ein sehr umfangreiches und differenziertes arbeitsmedizinisches und präventivmedizinisches Untersuchungsprogramm konzipiert, das Personen, die gegenüber solchen Materialien im Rahmen ihrer Berufsausübung exponiert sind, angeboten wurde [112].

In Anlehnung an die von Buchter herausgegebene *Diagnostik arbeitsbedingter Erkrankungen und arbeitsmedizinisch-diagnostische Tabellen* erfolgten die arbeits- und präventivmedizinische Anamneseerhebung sowie das weitere diagnostische Prozedere [29].

Dank der finanziellen Förderung durch das Ministerium für Wirtschaft und Wissenschaft des Saarlandes und der Universität des Saarlandes konnte unser ursprünglich konzipiertes Untersuchungsprogramm, das zu Beginn den Mitarbeitern der Klinik I angeboten und welches gezielt auf potentielle Organwirkungen nanoskaliger und neuer bzw. spezieller Materialien ausgerichtet war, sukzessive erweitert werden. Diagnostische Schwerpunkte des Untersuchungsprogramms waren neben einer gezielten Allergiediagnostik die Lungenfunktionsanalyse und Labordiagnostik mit Untersuchung des Blutbildes einschließlich des Differentialblutbildes.

Im erweiterten Programm konnten dann Untersuchungen im Hinblick auf bereits bekannte sowie potentielle Wirkmechanismen nanoskaliger und neuer Materialien auf die verschiedenen Organsysteme, d.h. Herz-Kreislauf, Blut, Leber und Nieren etc. durchgeführt werden.

Die Mitarbeiter der Klinik II konnten auf Grund der finanziellen Förderung sowie des späteren Beginns nach dem ergänzten und erweiterten Programm untersucht werden.

Bei den Mitarbeitern der Klinik I wurde durch einzelne Untersuchungen (des erweiterten Programms) das primäre Untersuchungsprogramm im Verlauf ergänzt.

Bei Indikation, welche sich z.T. im Verlauf der Befunderhebungen bei einzelnen Teilnehmern ergab, wurde das Programm um weitere individualmedizinische diagnostische Schritte ergänzt.

¹MAK $\hat{=}$ Maximale Arbeitsplatz-Konzentration, BAT $\hat{=}$ Biologischer Arbeitsstoff-Toleranz-Wert

Für die Untersuchung der Studierenden im ersten Semester wurde ein reduziertes Untersuchungsprogramm angewandt, bei dem die Schwerpunkte in der Allergiediagnostik, der Lungenfunktion und dem Blutbild einschließlich Differentialblutbild lagen.

Bei den Teilnehmern aller drei Untersuchungsgruppen, d.h. Klinik I und II sowie den ES, wurde eine Untersuchung des kondensierten Atemexhalats mit Bestimmung des Wasserstoffperoxids (H_2O_2) und des pH-Wertes, der präklinischen Marker Interleukin-6 (IL-6), Interleukin-8 (IL-8), Interleukin-12p70 (IL-12p70), Interferon- γ (IFN- γ) und Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) durchgeführt. Ablauf und Anzahl der Atemexhalat-Gewinnungen bzw. -Analysen unterschieden sich bei den einzelnen Teilnehmern entsprechend ihrer Zugehörigkeit zur jeweiligen Untersuchungsgruppe, siehe hierzu Kapitel 4.4.

Einen Überblick über das gesamte Untersuchungsprogramm gibt Tabelle 4.2.

Tabelle 4.2: Untersuchungsprogramm

K I: Klinik I, **K II:** Klinik II, **ES:** Studienanfänger, **x:** Untersuchung wurde bei allen Personen der Gruppe durchgeführt, **(x):** Untersuchung wurde bei einzelnen Teilnehmern der Gruppe durchgeführt, **leeres Kästchen:** Untersuchung wurde bei keinem Teilnehmer der Gruppe durchgeführt

Diagnostik / Parameter	Gruppe		
	K I	K II	ES
Anamnese²			
- Jetzige Beschwerden	x	x	x
- Vegetative Anamnese	x	x	x
- Medikamente	x	x	x
- Kardiovaskuläre Risikofaktoren	x	x	x
- Frühere Erkrankungen	x	x	x
- Familienanamnese	x	x	x
- Vorhandensein von Zahnersatzmaterialien	x	x	(x)
Berufsanamnese²			
- Berufstätigkeiten	x	x	x
- Arbeitsbelastungen und Gefährdungen	x	x	x
- Beschwerden/Erkrankungen am Arbeitsplatz	x	x	x
Körperliche Untersuchung²			
Lungenfunktionsprüfung²			
- Bodyplethysmographie, gegebenenfalls Broncholyse	x	x	x
- CO-Diffusion	(x)	x	x
- Spirometrie			x
Lungenfunktionsuntersuchung am Arbeitsplatz²			
- Spirometrie vor und nach Exposition, Mo - Fr	x		
- Spirometrie vor und nach Exposition an 2 Arbeitstagen		x	

²Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin, Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. Axel Buchter, Universität des Saarlandes

Diagnostik / Parameter	Gruppe		
	K I	K II	ES
Exhalierendes Stickstoffmonoxid in der Ausatemluft (eNO)²			
- eNO-Messung im Institut für Arbeitsmedizin	(x)	(x)	x
- eNO-Messung am Arbeitsplatz vor und nach Exposition an 2 Tagen		x	
Elektrokardiographie in Ruhe²			
	(x)	x	
Bestimmung von Laborparametern und Urindiagnostik³			
- Blutbild (Differentialblutbild, Retikulozyten, Ausstrich)	x	x	x
- Gerinnung (Quick, INR, PTT, Fibrinogen)		x	
- Thrombozytenfunktion		x	
- Elektrolyte (Natrium, Kalium, Chlorid, Kalzium, Phosphat)		x	
- Eisenstoffwechsel (Haptoglobin, Ferritin, Transferrin)		x	
- Nierenparameter (Kreatinin, GFR)	x	x	
- Zuckerstoffwechsel (Glukose, HbA1c)		x	
- Harnsäure		x	
- Herzenzyme (CK, CK-MB)		x	
- Leberenzyme (GOT, GPT, GLDH, γ -GT, AP, CHE, Bilirubin)	x	x	
- LDH	x	x	
- Pankreasenzyme (Amylase, Lipase)		x	
- Lipide (Cholesterin, LDL- und HDL-Cholesterin, Triglyceride, Lp(a))		x	
- C-reaktives Protein, BSG	(x)	x	
- Immunologie (Rheumafaktoren, Antistreptolysin-Titer)		x	
- Alpha-1-Antitrypsin	x	x	
- Schilddrüsenparameter (TSH)	(x)	x	
- Eiweiß-Elektrophorese	x	x	
- Urindiagnostik (Urin-Status, Sediment, Proteinmuster, SDS-Page-Elektrophorese)	x	x	x
Hepatitis-Serologie (Hepatitis B und C)⁴			
	x	x	
Allergologie			
- Immunglobulin E-Gesamt³	x	x	x
- Spezifisches Immunglobulin E			
- Inhalationsscreen (Lieschgras, Roggen, Birke, Beifuß, Hausstaubmilbe, Katzen- und Hundeschuppen, Cladosporium herbarum) ³	(x)	x	x
- Latex³	(x)	x	
- Formaldehyd³	(x)	x	
- Methylmethacrylat⁵	x	x	x
- Gold⁵	x	x	x
- Quecksilber⁵	x	x	x

³Klinische Chemie und Laboratoriumsmedizin/Zentrallabor, Kommissarischer Leiter: Prof. Dr. med. Jürgen Geisel, Universitätsklinikum des Saarlandes

⁴Betriebsärztlicher Dienst, Leiterin: Dr. med. Yvonne Grenner, Universitätsklinikum des Saarlandes

⁵Medizinisches Versorgungszentrum, Dr. Stein und Kollegen, Betriebsstätte Labor Aprath, Velbert

Diagnostik / Parameter	Gruppe		
	K I	K II	ES
- Spezifisches Immunglobulin E (Fortsetzung)			
- Silber ⁵	(x)	(x)	
- Nickel ⁵		(x)	x
- Titan ⁵		(x)	
- Palladium ⁵		(x)	
- Zink ⁵		(x)	
- Kupfer ⁵		(x)	
- Zinn ⁵		(x)	
- Cadmium ⁵		(x)	x
- Lymphozytentransformationstest⁶			
- Beryllium	x	x	x
- Zirkonium	x	x	x
- Blei	(x)		
- Cadmium	(x)		
- Gold	(x)		
- Indium	(x)		
- Nickel	(x)		
- Palladium	(x)		
- Quecksilber-Chlorid	(x)		
- Zinn	(x)		
- Platin		(x)	
- Cobalt		(x)	
- Molybdän		(x)	
- Chrom		(x)	
- Prick-Test⁷			
- ubiquitäre inhalative Allergene (Hausstaubmischung, Kräuterpollenmischung, Gräserpollenmischung: Früh- und Spätblüher, Baumpollenmischung: Früh- und Spätblüher, Tierepithelienmischung)	(x)	(x)	
- Beryllium (1%ig)	(x)	(x)	
- Zirkonium (1%ig)	(x)	(x)	
- Nickel (0,01%ig, 0,1%ig, 1%ig)	(x)	(x)	
Atemexhalatanalyse am Arbeitsplatz²			
- H ₂ O ₂ - und pH-Messung vor und nach Exposition, Mo - Fr	x		
- H ₂ O ₂ - und pH-Messung vor und nach Exposition an 2 Tagen		x	
- IL-6, IL-8, IL-12p70, IFN- γ und VEGF vor und nach Exposition ⁸	x	x	x

⁶Medizinisches Labor Bremen, Bremen

⁷Klinik für Dermatologie, Venerologie und Allergologie, Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Thomas Vogt, Ansprechpartnerin: PD Dr. med. Claudia Pöhler, Universitätsklinikum des Saarlandes

⁸Institut für Klinische Immunologie und Transfusionsmedizin, Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Frank Emmrich, Ansprechpartner: Prof. Dr. med. U. Sack, Universitätsklinikum Leipzig

Diagnostik / Parameter	Gruppe		
	K I	K II	ES
Zytopathologische Untersuchung⁹			
- Nasenabstrich rechts / links	x	x	
- Sputum	x	x	
- Urin		x	
Sonographie des Abdomens¹⁰		(x)	
Röntgen-Thorax (bei entsprechender Indikation)¹¹	(x)	(x)	

4.4 Untersuchungsmethoden und Untersuchungsablauf

4.4.1 Untersuchungen im Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin

In einem ersten Schritt erfolgte die Vorstellung der am Untersuchungsprogramm teilnehmenden Personen in unserem Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin, in deren Rahmen eine ausführliche Anamnese mit den Schwerpunkten Berufsanamnese und tätigkeitsassoziierte Beschwerden und Gefährdungen erhoben wurde. Zudem wurde an die teilnehmenden Personen ein von uns konzipierter Fragebogen zu gesundheitlichen Beschwerden am Arbeitsplatz ausgehändigt, in dem ebenfalls Bezug auf Anamnese, Berufstätigkeit und arbeitsplatzbezogene Beschwerden sowie zu allgemeinen Gesundheitsfragen genommen wurde (siehe Anhang Seite 171 ff.).

In einer orientierenden körperlichen Untersuchung wurden Herz und Kreislauf, Atemorgane bzw. -wege geprüft sowie eine anteriore Rhinoskopie durchgeführt. Ferner wurden das Abdomen palpirt und auskultiert und der neurologische Status geprüft.

Es folgte eine Elektrokardiographie in Ruhe (EK 56, Firma Hellige, Freiburg im Breisgau, Deutschland) sowie eine Bodyplethysmographie einschließlich CO-Diffusions-Bestimmung mit dem Master-Screen Body (Erich Jäger GmbH, Höchberg, Deutschland). Bei Indikation wurden ein Broncholyse-Test mit Berotec[®] N 100 μ g Dosier-Aerosol (2 Hübe) und eine erneute Lungenfunktionsmessung nach 10 bis 15 min. durchgeführt [11, 106].

Des Weiteren wurde entweder zu diesem oder einem späteren Zeitpunkt die Konzentration des in der Atemluft enthaltenen Stickstoffmonoxids (eNO) (NIOX MINO[®], Aerocrine AG, Bad Homburg, Deutschland, Abbildung siehe Anhang Seite 178) bestimmt.

⁹Institut für Allgemeine und Spezielle Pathologie, Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Rainer M. Bohle, Universitätsklinikum des Saarlandes

¹⁰Klinik für Innere Medizin II, Gastroenterologie, Hepatologie, Endokrinologie, Diabetologie, Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Frank Lammert, Universitätsklinikum des Saarlandes

¹¹Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Arno Bücker, Universitätsklinikum des Saarlandes

Im Anschluss an die Untersuchungen erfolgten Blutentnahme und Uringewinnung zur Bestimmung der Labor- und Urinparameter, siehe Tabelle 4.2. Die entnommene Blutmenge betrug ca. 70 ml. Der Versand derjenigen Blutproben, die für die Analyse in externen Labors vorgesehen waren, erfolgte über das Zentrallabor des Universitätsklinikums des Saarlandes.

Des Weiteren wurden Nasenschleim, Sputum und Urin zur zytopathologischen Diagnostik gewonnen. Die Untersuchungen wurden im Institut für Allgemeine und Spezielle Pathologie des Universitätsklinikums des Saarlandes durchgeführt. Das Material wurde wie folgt abgenommen: Die Gewinnung von Nasenschleim der rechten und linken Nase nahm die Untersuchungsperson mit einem Watteträger unter Anleitung bei sich selbst vor. Das anschließende Übertragen des Materials auf einen Glasobjektträger wurde von einem Mitarbeiter unseres Instituts vorgenommen. Das ebenfalls unter Anleitung frisch gewonnene Sputum wurde in 4%iger Formalinlösung fixiert. Der Urin wurde nativ zur Untersuchung weitergegeben.

Die Studierenden im ersten Semester wurden nur einmalig in unserer Poliklinik nach dem oben genannten reduzierten Untersuchungsprogramm untersucht. Daher erfolgte bei dieser Vorstellung sofort die Gewinnung von Atemexhalat mit anschließender Bestimmung von H_2O_2 und pH. Die Atemexhalatproben der Studierenden wurden für die weitere Analyse asserviert (Einzelheiten zur Methodik siehe Kapitel 4.4.3.1).

4.4.2 Untersuchungen innerhalb des Universitätsklinikums des Saarlandes

Die Ultraschalluntersuchung der Bauchorgane mit Leber, Nieren, Nebennieren und Milz erfolgte in der Klinik für Innere Medizin II¹².

Bei anamnestic auffälligen Angaben wie Dyspnoe oder Zeichen einer Pathologie in der Bodyplethysmographie wie z.B. einer obstruktiven (oder restriktiven) Ventilationsstörung oder einer pulmonalen Überblähung erfolgte die Empfehlung zur Durchführung einer Röntgen-Thorax-Aufnahme in der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums¹³.

4.4.3 Untersuchungen am Arbeitsplatz

Im zweiten Schritt wurden dann bei den Mitarbeitern der beiden Zahnkliniken personenbezogene Messungen am Arbeitsplatz durchgeführt. Da sich die Messungen zwischen Klinik I und Klinik II in ihrem Aufbau und Ablauf unterschieden, sollen diese im Folgenden näher erläutert werden:

- In **Klinik I** wurde täglich über eine Woche nach einem tätigkeits- und expositionsfreien Wochenende von Montag bis Freitag jeweils vor Arbeitsbeginn/Expositionsbeginn und nach Arbeitsende/Expositionsende, d.h. morgens und am späten Nachmittag, zuerst Atemexhalat

¹²vgl. Fußnote 10, Seite 22

¹³vgl. Fußnote 11, Seite 22

gesammelt und im Anschluss daran eine Spirometrie (Flowscreen, Erich Jäger GmbH, Höchberg, Deutschland, Abbildung siehe Anhang Seite 178) durchgeführt. Die Bestimmung der H_2O_2 -Konzentration und des pH-Wertes im Atemexhalat wurde unmittelbar vor Ort vorgenommen (Einzelheiten zur Methodik siehe Kapitel 4.4.3.1).

- In **Klinik II** erfolgten die Untersuchungen ebenfalls vor und nach Exposition. Allerdings wurde hier nur an zwei Tagen innerhalb einer Arbeitswoche gemessen, wobei darauf geachtet wurde, dass mindestens ein Arbeitstag, jedoch kein freier Tag und kein Wochenende zwischen den beiden Messtagen lag (Ausnahme: Person 11 - bei ihr betrug der Abstand zwischen 1. und 2. Messtag aus organisatorischen Gründen 10 Tage). Zudem wurde jeweils vor der Atemkondensat-Sammlung der Stickstoffmonoxid-Gehalt in der Atemluft bestimmt. Bei einem Teilnehmer (Person 14) wurde lediglich an einem Tag gemessen, da hier anamnestisch keine direkte arbeitsplatzbezogene Exposition mehr gegeben war.

4.4.3.1 Gewinnung und Messung von Atemexhalat

Gewinnung von Atemexhalat

Die Gewinnung von exhaliertem Atemkondensat ($\text{EBC} \hat{=} \text{exhaled breath condensate}$) erfolgte mit dem tragbaren Gerät ECoScreen Turbo (VIASYS Healthcare, Höchberg, Deutschland, Abbildung siehe Anhang Seite 179). Der ECoScreen Turbo besitzt eine Kühleinheit, die auf -10°C heruntergekühlt und in die ein spezielles Sammelrohrsystem aus Kunststoff eingesetzt wurde. Über einen Ventilmechanismus im Sammelrohrsystem wurde gewährleistet, dass bei der Probengewinnung die Person frische Luft einatmen konnte und die Luft bei der Ausatmung über das Rohrsystem in eine Kühlfalle geleitet wurde, wo sie dann kondensierte. An das Sammelsystem wurde zusätzlich zur Aufzeichnung von Sammeldauer und Atemvolumen der ECoVent (VIASYS Healthcare, Höchberg, Deutschland, Abbildung siehe Anhang Seite 179) angeschlossen. Die Sammeldauer betrug abhängig vom Atemminutenvolumen der Person zwischen 10 und 25 Minuten. Während der Sammelphase trug die Person einen Nasenclip, um eine Ventilation über die Nase auszuschließen.

Nach ausführlicher Erklärung des Messablaufs und weiterer Anleitung atmeten die Teilnehmer über ein Mundstück in das Sammelsystem. Es wurde darauf geachtet, dass die Sammlung in Ruheatmung erfolgte und eine Hyperventilation vermieden wurde. Die EBC-Sammelphase erfolgte immer unter Aufsicht eines ärztlichen Mitarbeiters unseres Instituts.

Die Zeit der Sammelphase wurde zusätzlich über eine Stoppuhr (Amigo, Hanhart GmbH & Co. KG, Gütenbach, Deutschland) gemessen. Um gegebenenfalls Beeinflussungen durch Lufttemperatur und -feuchtigkeit ausschließen bzw. beurteilen zu können, wurden diese mit dem Handmessgerät T200-Thermohygrometer (Trotec GmbH & Co. KG, Heinsberg, Deutschland) kontrolliert und aufgezeichnet.

Bestimmung der Atemexhalat-Parameter

Im Atemexhalat wurden neben Wasserstoffperoxid (H_2O_2), einem Marker des oxidativen Stresses, und pH-Wert zur Bestimmung der Atemwegsazidifikation die Entzündungsmarker Interleukin-6 (IL-6), Interleukin-8 (IL-8) und Interleukin-12p70 (IL-12p70) sowie Interferon- γ (IFN- γ) und der Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) gemessen.

Die Messung von H_2O_2 und pH erfolgte vor Ort unmittelbar nach der EBC-Gewinnung. Die Konzentrationsbestimmung der Marker IL-6, IL-8 und IL-12p70 sowie IFN- γ und VEGF wurde im Institut für Klinische Immunologie und Transfusionsmedizin des Universitätsklinikums Leipzig durchgeführt.

EBC-Probenaufbereitung

Nach dem Sammelvorgang wurde das Atemkondensat mit einer 2 ml- bzw. 5 ml-Spritze aus dem Sammelsystem abgezogen, das Volumen abgelesen und vorsichtig in ein kleines Aufbewahrungsgefäß aus Plastik gegeben. Anschließend wurde das Gewicht des EBCs auf einer Labor-Analysewaage (HK 160, Mettler-Toledo GmbH, Giessen, Deutschland) bestimmt.

Alle erhobenen Daten wurden elektronisch und in Papierform gespeichert.

Die weitere Probenaufbereitung und -messung erfolgte dann entsprechend der Anleitung des Herstellers des H_2O_2 -Analysegeräts ECoCheck (FILT GmbH, Berlin, Deutschland, Abbildung siehe Anhang Seite 179):

H_2O_2 -Messung

Die Messung der H_2O_2 -Konzentration im Atemexhalat wurde mit dem computergestützten Analysegerät ECoCheck durchgeführt. Das Prinzip dieser H_2O_2 -Bestimmung beruht auf der spezifischen Umsetzung von H_2O_2 durch eine Peroxidase ($\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{O}_2 + 2\text{e}^-$), die amperometrisch gemessen werden kann [110]. Das umwandelnde Enzym ist dabei auf einem Sensor gebunden. Bei jeder H_2O_2 -Messung wurde ein neuer H_2O_2 -Sensor verwendet.

Mit einer Insulinspritze wurden 300 μl EBC in ein 1,5 ml fassendes Reaktionsgefäß gegeben und mit 300 μl Verdünnungspuffer (Hersteller: FILT GmbH, Berlin, Deutschland) vorsichtig gemischt. Das verdünnte Atemkondensat und ein Phosphat-Messpuffer (Hersteller: FILT GmbH, Berlin, Deutschland) wurden in zwei voneinander getrennte Kammern einer Kunststoff-Messkassette, die zuvor in das ECoCheck-Analysegerät eingelegt wurde, sorgsam und ohne Ausbildung von Luftblasen eingefüllt. Die Kammern wurden dann je mit einem kleinen Stopfen fest verschlossen. Nach Einlegen eines neuen H_2O_2 -Sensors in die Messeinheit des ECoChecks wurde der Messvorgang vom Bediener per Mausklick am Computer gestartet und lief dann automatisch ab. Nach Beendigung des Messvorgangs wurde die H_2O_2 -Konzentration in der Einheit Nanomol pro Liter (nmol/l) angezeigt.

pH-Messung

In unmittelbarem Anschluss an die H_2O_2 -Konzentrationsmessung folgte die pH-Bestimmung des zwischenzeitlich kalt gelagerten EBCs mit dem am ECoCheck integrierten ISFET pH-Sensor. Die Durchführung der pH-Bestimmung erfolgte entsprechend den Herstellerangaben. Bei jedem Start des ECoChecks wurde eine Kalibrierung des pH-Sensors durchgeführt. Der pH-Sensor wurde vor jeder pH-Messung gründlich mit destilliertem Wasser abgespült und mit einem fusselfreien Tuch getrocknet.

Für die Messung wurde der pH-Sensor vorsichtig in das auf dem Arbeitstisch sicher stehende Aufbewahrungsgefäß eingeführt und in das EBC eingetaucht. Nach Aktivierung des Messvorgangs per Mausklick lief die pH-Messung automatisch ab. Bei Messende wurde das Ergebnis am Computerbildschirm angezeigt.

EBC-Probennachbereitung

Nach Beendigung der H_2O_2 -Messung und pH-Bestimmung wurde das Atemexhalat jeder Person in beschriftete Reaktionsgefäße zu je 1 ml verteilt und unmittelbar vor Ort auf Eis tiefgefroren. In einem späteren Schritt wurde das gefrorene EBC in Zusammenarbeit mit der Medizinischen Biochemie und Molekularbiologie¹⁴ sowie dem Institut für Experimentelle und Klinische Pharmakologie und Toxikologie¹⁵ lyophilisiert (Lyovac GT 2, AMSCO Finn-Aqua GmbH, Hürth, Deutschland). Die Lagerung erfolgte anschließend bei einer Temperatur von -72°C im Zentrallabor des Universitätsklinikums des Saarlandes¹⁶.

Zytokin-Bestimmung

Die Zytokin-Bestimmung im Atemexhalat wurde im Institut für Klinische Immunologie und Transfusionsmedizin des Universitätsklinikums Leipzig¹⁷ durchgeführt. Das Atemexhalat wurde zum Analyselabor auf Trockeneis gelagert per Express transportiert.

4.4.4 Expositionsmessungen

Kondensationspartikelzähler

Die Messungen der Partikelkonzentration wurden mit dem tragbaren Kondensationspartikelzähler CPC 3007 (TSI GmbH, Aachen, Deutschland, Abbildung siehe Anhang Seite 180) durchgeführt. Gemessen wurden damit luftgetragene Festkörper oder nichtflüchtige Tröpfchen in einem Konzentrationsbereich von 0 bis $100.000 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ Luft (pt/cm^3) bzw. Partikel in einer Größe

¹⁴Medizinische Biochemie und Molekularbiologie, Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Mathias Montenarh, Universität des Saarlandes,

Arbeitsgruppe Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Richard Zimmermann, Ansprechpartner: PD Dr. rer. nat. Martin Jung

¹⁵Institut für Experimentelle und Klinische Pharmakologie und Toxikologie, Univ.-Prof. Dr. med. Veit Flockerzi, Universitätsklinikum des Saarlandes

¹⁶vgl. Fußnote 3, Seite 20

¹⁷vgl. Fußnote 8, Seite 21

von 10 nm bis 1 μm . Die Messgenauigkeit beträgt in den genannten Messbereichen $\pm 20\%$ [161]. Vor Messbeginn wurde jeweils ein Null-Abgleich entsprechend den Herstellerangaben durchgeführt. Zwecks einfacherer Handhabung und mehr Flexibilität wurde ein 2 Meter langer antistatischer Silikon-Schlauch (TSI GmbH, Aachen, Deutschland) an den CPC 3007 während der Partikelkonzentrationsmessungen angeschlossen.

Zu spezifischen Partikelkonzentrationsmessungen, bei denen bereits vorab davon ausgegangen werden konnte oder musste, dass die Partikelzahl den Messbereich des CPC 3007 längerfristig weit überschreiten würde, wurde das Dynamische Verdünnungssystem DDS 560 (Topas GmbH, Dresden, Deutschland, Abbildung siehe Anhang Seite 180) eingesetzt. Dieses Verdünnungssystem wurde bei der Messung mittels eines kurzen, etwa 20 cm messenden antistatischen Silikon-Schlauchs dem CPC 3007 vorgeschaltet. Mit einem kleinen Handrad und LCD-Anzeige am DDS 560 konnte das Aerosol flexibel mit einem frei einstellbaren Faktor von etwa 1:8 bis 1:300 verdünnt werden, bevor die Luft zur eigentlichen Konzentrationsmessung in den CPC 3007 weitergeleitet wurde.

Partikelkonzentrationsmessung - Messablauf

Zur Objektivierung der entstehenden und freigesetzten Partikelkonzentrationen wurden bei verschiedenen repräsentativen Tätigkeiten des zahnärztlichen, assistierenden und zahntechnischen Personals Partikelkonzentrationsmessungen am Arbeitsplatz vorgenommen. Messungen wurden in beiden Kliniken sowohl im Behandlungszimmer und im studentischen Behandlungssaal als auch in den jeweils den Kliniken angeschlossenen zahntechnischen Laboren durchgeführt.

Zu Beginn unserer Untersuchungen wurden bei vier Mitarbeitern der Klinik I (Person 1, 2, 3 und 5) über einen Zeitraum von einer Woche - während der auch zeitgleich die Atemexhalatmessungen stattfanden - Partikelkonzentrationsmessungen teils bei einzelnen repräsentativen Tätigkeiten, teils auch über den gesamten Arbeitstag durchgeführt. Im weiteren Verlauf unserer Untersuchungen erfolgten die Partikelkonzentrationsmessungen dann während verschiedener repräsentativer Tätigkeiten, die von Mitarbeitern aus Klinik I und II ausgeführt wurden.

Bei den einzelnen Messungen wurde jeweils ein Protokoll geführt und zusätzlich digitales Bildmaterial angefertigt.

Sofern die Messungen während der normalen zahnärztlichen Patientenbehandlung durchgeführt wurden, wurde dies zuvor mit den Patienten persönlich abgesprochen.

Zu Beginn jeder Messreihe wurde die im Raum vorherrschende Partikelhintergrundkonzentration bestimmt. Es wurde darauf geachtet, dass die Messungen nur erfolgten, wenn der Raum leer war und keine sonstigen Aktivitäten durchgeführt wurden.

Partikelgewinnung zur elektronenoptischen Analyse und Elementanalyse

Zusätzlich wurden bei verschiedenen zahnärztlichen und zahntechnischen Schleif-, Bohr- und Polierarbeiten Partikelproben zur rasterelektronenmikroskopischen Analyse (REM) und energiedispersi-

ven Röntgenmikroanalyse (EDX) gewonnen. Die Gewinnung der Partikelproben erfolgte direkt aus der Raumluft bzw. dem Luftstrom am Arbeitsplatz. Die Partikel wurden auf kohlenstoffbeschichteten Probenträgern gesammelt. Zur Asservierung der Proben wurden diese in ein sauberes und staubdichtes Kunststoffbehältnis überführt.

Die Partikelproben-Analyse mittels REM (FEI XL30 ESEM-FEG, FEI Company, Eindhoven, Niederlande) und EDX erfolgte in Kooperation mit der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde durch das Institut für Anatomie und Zellbiologie¹⁸.

4.5 Erläuterungen zur Statistik

Die Ergebnisse wurden als Mittelwert \pm Standardfehler des Mittelwerts (Standard Error of the Mean $\hat{=}$ SEM, MW \pm SEM) dargestellt, gegebenenfalls wurde der Median angegeben. Die Datenerfassung erfolgte über ein Tabellenkalkulationsprogramm (Excel[®], Microsoft). Die statistische Analyse wurde mit dem Softwareprogramm SigmaStat[®] durchgeführt. Für den Vergleich von Gruppen wurde der t-Test angewandt. Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

¹⁸Institut für Anatomie und Zellbiologie, Geschäftsführender Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Gunther Wennemuth, Universitätsklinikum des Saarlandes

5 Ergebnisse

5.1 Initiale Gefährdungsanalyse zu gesundheitlichen Belastungen und Expositionen in der Zahnheilkunde

Personen aus den Bereichen Zahnmedizin und Zahntechnik sind im Laufe ihrer Ausbildung und ihrer anschließend teils langjährigen Berufsausübung gegenüber einer Vielzahl an unterschiedlichen Belastungen exponiert.

Basierend auf der gesetzlichen Regelung nach § 3 des ASiG und § 5 des ArbSchG erfolgte eine initiale Gefährdungsanalyse zur Beurteilung gesundheitlicher Belastungen und Expositionen von Beschäftigten in der Zahnheilkunde.

Im Folgenden soll hierauf eingegangen werden.

5.1.1 Chemische Gefährdungen

Chemische Belastungen bestehen zum einen durch die unterschiedlichen Metalle, die in den verschiedenen Dentallegierungen Anwendung finden, d.h. Edel- und Nichtedelmetalle sowie Quecksilber in Amalgamen. Zum anderen kann es zu einer Belastung durch den Umgang mit verschiedenen Dentalwerkstoffen wie Prothesen- und Komposit-Kunststoffen oder Wurzelkanalfüllmaterialien kommen. Weitere chemische Belastungen können von Desinfektions- und Reinigungsmitteln ausgehen. Ferner können Latex, Säuren, Lösemittel oder auch Narkosegase von Bedeutung sein.

5.1.1.1 Metalle und ihre Legierungen in der Zahnheilkunde, einschließlich Amalgame

Metalle werden in Form von Legierungen in nahezu allen Bereichen der Dentalmedizin eingesetzt. Die Legierungen können dabei sehr vielfältige Zusammensetzungen aufweisen. Meist werden vier verschiedene Metalle verwendet, häufig können es jedoch auch sechs oder acht sein.

Insgesamt werden mehr als 25 Elemente des Periodensystems in Dentallegierungen eingesetzt. Gold stellte dabei lange Zeit die Hauptkomponente dar. Heute werden neben Gold auch andere Metalle wie Silber, Palladium, Nickel, Cobalt und Titan als Basismaterial eingesetzt [169].

Amalgame¹ sind ebenfalls Legierungen. Es handelt sich hierbei um Legierungen aus Quecksilber mit anderen Metallen. Die Zusammensetzung der Legierungen ist variabel. In der Zahnheilkunde stellt das Silberamalgam die wichtigste Verbindung dar. Es enthält neben Quecksilber als weitere Komponenten Silber, Zinn, Kupfer und Zink. Amalgam bzw. Silberamalgam besitzt verschiedene

¹aus dem griech. malagma bw. arab. al-malgham $\hat{=}$ weich, weiche Substanz oder Masse

Vorteile wie niedrige Kosten und hohe Haltbarkeit. Nachteil ist jedoch sein Gehalt an potentiell toxischen Stoffen, allen voran Quecksilber, das zu schweren Schäden am zentralen Nervensystems führen kann [6, 70].

Einen Überblick über die in der Zahnheilkunde verwendeten Metalle und ihre Einstufung durch die Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der Deutschen Forschungsgemeinschaft gibt Tabelle 5.1.

Die Elemente **Beryllium** und **Zirkonium** werden nachfolgend im Einzelnen näher erläutert, da diesen Metallen bei unseren Untersuchungen eine besondere Bedeutung zukam.

Tabelle 5.1: Metalle in der Zahnheilkunde und ihre Einstufung durch die DFG (Auswahl, Erläuterungen zur Tabelle siehe Seite 31) [37]

Stoff	Formel	MAK-Wert	Krebserzeugend Kategorie	Sensibilisierung	Hautresorption möglich
Aluminium(oxid)	Al, Al ₂ O ₃	+	2 (Faserstaub)		
Antimon	Sb	–	2		
Beryllium	Be	–	1	Atemwege / Haut	
Cadmium	Cd	–	1		ja
Cerium	Ce	∅			
Chrom(III)	Cr ³⁺	–		Haut	
Chrom(VI)	Cr ⁶⁺	–	1	Haut	ja
Cobalt	Co	–	2	Atemwege / Haut	ja
Eisenoxide	FeO, Fe ₂ O ₃	–	3B		
Gallium	Ga	∅			
Gold	Au	–		Haut	
Indiumphosphid	InP	–	2		
Iridium	Ir	∅			
Kupfer	Cu	+			
Lithiumhydrid	LiH	–			
Magnesiumoxid	MgO	+			
Molybdän	Mo	–			
Nickel	Ni	–	1	Atemwege / Haut	
Niobium	Nb	∅			
Palladium	Pd	–			
Platinverbindungen	Pt	–		Atemwege / Haut	
Quecksilber, anorg.	Hg	+	3B	Haut	ja
Rhodium	Rh	–	3B		
Silber	Ag	+			
Tantal	Ta	+			
Titandioxid	TiO ₂	–	3A		
Wismut	Bi	∅			
Yttrium	Y	–			

Stoff	Formel	MAK-Wert	Krebserzeugend Kategorie	Sensibilisierung	Hautresorption möglich
Zink	Zn	+			
Zinn	Sn	–			
Zirkonium	Zr	+		Atemwege / Haut	

MAK-Wert:

+: MAK-Wert vorhanden, –: Kein MAK-Wert vorhanden, Ø: Keine arbeitsmedizinisch-toxikologische Einstufung durch die DFG

Krebserzeugend Kategorie [38]:

1: Stoffe, die beim Menschen Krebs erzeugen. **2:** Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen anzusehen sind. **3A:** Stoffe, für die keine hinreichenden Informationen vorliegen, um einen MAK- oder BAT-Wert abzuleiten. **3B:** Stoffe, für die aus In-vitro- oder aus Tierversuchen Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung vorliegen.

Beryllium

Beryllium (Be) wurde 1798 von dem französischen Chemiker Louis-Nicolas Vauquelin (1763 - 1829) entdeckt. Es ist ein leichtes und gleichzeitig hartes, silberweiß glänzendes Metall, das sich u.a. durch seine niedrige Dichte sowie hohe Festigkeit und Röntgendurchlässigkeit auszeichnet.

Beryllium wird u.a. für die Herstellung von Bremsen in der Flugzeugtechnik, in Uhrfedern, in Spezialmessinstrumenten in der Raumfahrttechnik, in Relais in der Elektroindustrie, in hochfeuerfesten Isoliermaterialien und Spezialtiegeln oder in der Automobilindustrie in Motoren-, Bremsen- und Getriebeteilen eingesetzt [52, 157]. In der Dentalmedizin wurde Beryllium in Nickel-Chrom-Legierungen zur besseren Vergießbarkeit zugesetzt [61]. Seit der Resolution CEN/TC 55² vom 26.02.2002 darf Beryllium in Dentallegierungen nur noch mit einem Masseanteil von maximal 0,02% vorkommen. Diese Bestimmung wurde im September 2002 auch von der ISO, der International Organization for Standardization, die für die internationale Normierung im zahnärztlichen Bereich zuständig ist, übernommen [145]. Informationen der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (ETEM) zufolge wird Beryllium mittlerweile jedoch wieder verstärkt auf dem Markt in Dentallegierungen angeboten [16].

Die Hauptaufnahme von Beryllium erfolgt über die Atemwege. Über den Gastrointestinaltrakt wird Beryllium zu weniger als 1% aufgenommen. Die Aufnahme über die intakte Haut wird als unwesentlich eingeschätzt [158].

Beryllium kann beim Menschen nach dermalen Exposition mit einer Latenz von einigen Wochen papulo-vesikuläre, erythematöse Hautveränderungen (Kontaktekzeme) hervorrufen. Schlecht heilende Hautulzera und -nekrosen sowie granulomatöse Hautveränderungen konnten als Folge einer

²Die Normierung im zahnärztlichen Bereich in Europa erfolgt über das Comité Européen de Normalisation, Sitz beim Normenausschuss Dental (NA) des Deutschen Instituts für Normierung e.V. (DIN), Pforzheim

nicht intakten Hautbarriere durch Eindringen von Beryllium-Partikeln in die Haut beobachtet werden [50, 138, 158].

Eine Exposition gegenüber Beryllium-haltigen Dämpfen und Stäuben kann zu akuten Reizungen und entzündlichen Veränderungen der Schleimhäute an Augen und Mund-, Nasen- und Rachenraum sowie der Atemwege führen. Innerhalb weniger Tage bis Wochen kann es zu einer potentiell lebensgefährlichen, toxischen Bronchopneumonie unter möglicher Mitbeteiligung von Leber und Nieren kommen [14, 50]. Die akute toxische Berylliose bzw. das Beryllium-bedingte Metaldampffieber stellen eine weitere Erkrankung nach Exposition gegenüber Beryllium dar. Es handelt sich dabei um ein akutes Krankheitsbild mit einer grippeähnlichen Symptomatik, d.h. Fieber, Schüttelfrost und allgemeinem Krankheitsgefühl. Im Normalfall bilden sich die Beschwerden innerhalb von ein bis zwei Tagen vollständig zurück [50, 51].

Beryllium besitzt ein sehr hohes allergenes Potential und kann nach Sensibilisierung mit einer Latenz von zwei Monaten bis zu 40 Jahren im Rahmen einer Überempfindlichkeitsreaktion vom Typ IV nach Gell und Coombs zu einer allergisch bedingten Pneumonitis - der chronischen Berylliose - führen. Bei der chronischen Berylliose handelt es sich um eine Hypersensitivitätspneumonitis, bei der es nach wiederholter inhalativer Exposition zu einer allergischen Reaktion mit Aktivierung von Makrophagen und T-Lymphozyten und in Folge zur Ausschüttung von proinflammatorischen Zytokinen kommt. Daraus resultierend kann es zu einer interstitiellen Lungenfibrosierung mit Ausbildung von nicht verkäsenden und nicht nekrotisierenden Granulomen kommen [50, 115, 116]. Man geht davon aus, dass etwa 2-16% der gegenüber Beryllium Exponierten an einer chronischen Berylliose erkranken [33].

Neben der Lunge als primärem Zielorgan kann es bei der chronischen Berylliose in seltenen Fällen zu einer Mitbeteiligung von extrapulmonalen Lymphknoten, Leber und Milz, Nieren, Herz und Skelettmuskeln sowie Speicheldrüsen oder Knochen kommen. Meist ist als extrapulmonales Organ jedoch die Haut mitbetroffen. Es kommt zur Ausbildung von Hautgranulomen, allergischen Ekzemen oder schlecht heilenden Ulzera [14, 116].

Auf Grund epidemiologischer Untersuchungen ergeben sich eindeutige Beweise dafür, dass Beryllium ein kanzerogenes Potential besitzt und für die Entstehung von malignen Lungentumoren verantwortlich ist. Beryllium ist daher in der MAK-Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) als krebserzeugender Stoff in Kategorie 1 gelistet [37].

Patienten mit chronischer Berylliose können über trockenen Husten, progrediente Dyspnoe, Thoraxschmerzen, Nachtschweiß, Gewichtsabnahme und Schwäche klagen. Im Verlauf kann es zur respiratorischen Insuffizienz und Rechtsherzbelastung kommen. Lungenfunktionsanalytisch finden sich Zeichen einer obstruktiven und restriktiven Ventilationsstörung mit Einschränkung der CO-Diffusion [14, 50, 115].

Die chronische Berylliose als progredient verlaufende granulomatöse Lungenerkrankung ähnelt in ihrem Krankheitsbild stark dem der Sarkoidose (Morbus Boeck). Unterscheiden lassen sich bei-

de Krankheiten nur anhand einer gesicherten Exposition gegenüber Beryllium und dem immunologischen Nachweis der Proliferation von Lymphozyten, wenn diese in vitro im so genannten Lymphozytenproliferationstest bzw. Lymphozytentransformationstest (LTT) zusammen mit Beryllium kultiviert werden. Die Spezifität dieses Tests auf Beryllium ist sehr hoch bei allerdings vergleichsweise geringer Sensitivität [115, 116, 135].

Die Diagnose einer chronischen Berylliose erfolgt über den Nachweis einer stattgefundenen direkten oder indirekten Exposition gegenüber Beryllium, den Nachweis einer Beryllium-Sensibilisierung durch den LTT oder den Nachweis von Beryllium in Urin oder Lungengewebe. Gleichzeitig muss ein Krankheitsbild vorliegen, das, sofern die zuvor genannten Nachweise nicht erbracht werden können, als Sarkoidose diagnostiziert werden würde [14, 116].

Es konnte nachgewiesen werden, dass die Wahrscheinlichkeit, eine Beryllium-Sensibilisierung zu entwickeln bzw. an einer chronischen Berylliose zu erkranken, mit einer genetischen Prädisposition verbunden ist. So weisen Personen, die am Humanen Lymphozyten Antigen-DPB1 an Position 69 statt Lysin eine Glutaminsäure positioniert haben, eine höhere Empfänglichkeit zur Ausbildung einer Beryllium-Sensibilisierung auf im Vergleich zur Normalbevölkerung [50, 116].

Zirkonium

Zirkonium (Zr) wurde 1789 erstmals von Martin Heinrich Klaproth (1743 - 1817), einem deutschen Chemiker, beschrieben. Es ist ein silbrig glänzendes, sehr korrosionsbeständiges Metall mit einer Dichte von $6,51 \text{ g/cm}^3$. Seinen Schmelzpunkt hat es bei 1852°C [156]. In reiner Form ist Zirkonium relativ weich und biegsam. Es kommt natürlich mit einem Anteil von etwa 0,021% in der Erdkruste vor, v.a. in kleinen Kristallen. Es ist damit häufiger als z.B. Nickel und Kupfer oder Edelmetalle. Gefördert wird Zirkonium u.a. in Australien, USA, Brasilien und Südafrika [58].

Verwendung findet Zirkonium auf Grund seiner hohen Korrosionsbeständigkeit in der chemischen Industrie in speziellen Apparaturen und Geräten wie Ventilen und Pumpen, Rohren oder Wärmetauschern. In der Elektronik dient es zur Herstellung von Glüh-Kathoden für Vakuumröhren. In der Kernindustrie wird Zirkonium als Legierung mit Zinn, Chrom, Eisen und Nickel als Hüllmaterial für Kernbrennstoffe in Brennelementen eingesetzt. Zirkonium-Verbindungen werden ferner auch zur Imprägnierung von Textilien, zur Herstellung von Feuerfestmaterialien, in der Keramik- und Glasindustrie [58] sowie als Inhaltsstoffe in kosmetischen Produkten wie Deodorants eingesetzt [149, 171].

Im humanmedizinischen Bereich kommt Zirkonium als Material für Gehör-, Finger- und Hüftprothesen zur Anwendung, in der dentalen Medizin werden Zirkonium-Verbindungen für die Herstellung von Stiften, Kronen- und Brückenversorgungen verwendet [172]. Als ein besonders geeigneter Gerüstwerkstoff für die Herstellung von dentalen Keramiken hat sich dabei das Zirkoniumdioxid (ZrO_2) erwiesen. ZrO_2 kommt natürlich als Baddeleyit in der monoklinen Form vor. Neben dieser existieren in Abhängigkeit von der Temperatur noch zwei weitere Formen (tetragonal und kubisch) [5, 58]. Seinen Schmelzpunkt hat ZrO_2 bei 2680°C [72].

In der Zahnmedizin findet ZrO_2 bereits seit über 10 Jahren als Werkstoff Anwendung [5]. Es wird vorwiegend mit Yttriumoxid sowie Calciumoxid oder Magnesiumoxid partiell stabilisiert bzw. dotiert und mit Aluminium angereichert. Yttrium selbst ist ein Metall, das in Tierversuchen zu Schleimhautreizungen und neben fibrogenen auch zu granulomatösen Veränderungen der Lunge mit Bildung von Riesenzellen führte. Ferner kann es zu Veränderungen des Blutbildes mit Reduktion der Erythrozytenzahl und des Hämoglobingehaltes sowie zu einer Störung der Gerinnung und der Leberfunktion kommen. Yttrium wird vorwiegend im Knochen eingelagert [71]. Ein MAK-Wert konnte bisher für Yttrium noch nicht festgelegt werden [37].

In dentalen Keramiken weisen die Verbindungen aus Zirkoniumdioxid und Yttriumoxid (Y_2O_3) je nach Hersteller meistens eine Zusammensetzung von ca. 95% ZrO_2 und ca. 5% Y_2O_3 auf [172]. Zirkoniumdioxid-Keramiken zeichnen sich durch eine hohe Biokompatibilität, Kantenfestigkeit, hydrothermale Beständigkeit und hohe Biegefestigkeit aus [31]. Ein weiterer Vorteil der modernen Hochleistungskeramiken für den Einsatz in der Dentalmedizin besteht in der weißen Farbe von Zirkonium, wodurch eine deutliche Verbesserung der Ästhetik gegenüber der Metallverblendkeramik erzielt werden kann. Zirkonoxidkeramiken lösen daher Gold und andere Metalle zunehmend in deren Funktion ab [5].

Die Aufnahme von unlöslichen Zirkoniumverbindungen erfolgt vorwiegend über die Atemwege. So konnten bei gegenüber Zirkonium exponierten Bergleuten sowohl in der Lunge als auch in den zugehörigen Lymphknoten erhöhte Zirkonium-Konzentrationen festgestellt werden. Dagegen ist die Aufnahme über den Gastrointestinaltrakt mit einer Resorption von unter 1% sehr gering. Es konnte gezeigt werden, dass sich Zirkonium im menschlichen Körper an Albumin, α - sowie β - und γ -Globulin bindet. Der größte Anteil des Zirkoniums wird beim Menschen in den Muskeln gespeichert. Die biologische Halbwertszeit beim Menschen nach Inhalation von Zirkonium(oxid) wird mit 65 bzw. 67 Tagen bis maximal 224 Tagen angegeben. Die Ausscheidung von Zirkonium erfolgt in den ersten Tagen nach der Aufnahme hauptsächlich über die Nieren [156].

Nach Falbe und Regitz enthält der menschliche Körper etwa 300 mg Zirkonium, wobei die physiologische Funktion bisher nicht bekannt ist [58]. Täglich werden etwa 3,5 mg Zirkonium mit der Nahrung aufgenommen und über Urin und Stuhl wieder ausgeschieden [156].

Lösliche Zirkonium-Verbindungen können aggressive Aerosole bilden und zeichnen sich durch eine höhere Toxizität im Vergleich zu nicht löslichen Zirkonium-Verbindungen aus. Sie können nach inhalativer Aufnahme u.a. zu Gewebeschädigungen sowie zu systemischen Reaktionen führen.

Unlösliche Zirkonium-Verbindungen führen nach inhalativer Exposition zu Asthma bronchiale und granulomatösen und fibrotischen Veränderungen des Lungenparenchyms. Nach wiederholter, teils mehrjähriger Exposition gegenüber Zirkoniumchlorid, Zirkoniumoxid und metallischem Zirkonium ließen sich leichte Formen des Asthma bronchiale und chronische Bronchitiden feststellen [156].

Schneider et al. berichteten 1994 über eine 51-jährige Patientin mit rezidivierenden pulmonalen Infekten und allgemeinen Krankheitssymptomen, bei der es nach 16-jähriger tätigkeitsassoziiierter Exposition gegenüber Zirkonium zur Ausbildung einer exogen-allergischen Alveolitis (EAA) ge-

kommen war. Histologisch fanden sich bei dieser Patientin in Lungengewebe, Haut und axillären Lymphknoten multiple, teils großflächig konfluierende Epitheloidzellgranulome mit Fremdkörperriesenzellen. In zahlreichen Fremdkörperriesenzellen ließen sich unter dem Polarisationsmikroskop aufleuchtende Fremdkörper einschüsse aufzeigen [97, 170]. Unter dem Rasterelektronenmikroskop konnten mit Hilfe der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse intrazellulär Zirkoniumpartikel ausgemacht werden [144].

Ähnliche Fälle, in denen es ebenfalls zur Ausbildung von epitheloidzelligen Granulomen nach inhalativer Zirkonium-Exposition kam, wurden in der Literatur beschrieben [105, 136].

Radiologisch zeigten sich bei mehrjährig gegenüber Zirkonium exponierten Arbeitnehmern progredient verlaufende interstitielle Zeichnungsvermehrungen der Lunge mit teils honigwabenartigem Umbau des Lungenparenchyms [9, 105, 136, 144].

In Untersuchungen, bei denen Zirkonium bzw. Zirkonium-Verbindungen dermal als Deodorant oder Lösung appliziert wurden, konnten Ausbildungen von knötchenförmigen entzündlichen Veränderungen im Bereich der Applikationsstelle sowie histologisch epitheloidzellige Granulome nachgewiesen werden [149, 156].

5.1.1.2 Komposit-Kunststoffe

Komposit-Kunststoffe bestehen aus einem organischen Matrix-Kunststoff mit dem zugehörigen Katalysatorsystem und organischen und/oder anorganischen Füllkörpern, die durch Verbundstoffe (trifunktionelle Alkoxysilane $\hat{=}$ Silane) in die Matrix inkorporiert sind.

Komposite werden in der zahnärztlichen Behandlung im Front- und Seitenzahnbereich als Füllungsmaterialien, als Befestigungskomposite für Keramik- oder Komposit-Inlays, als Fissurenversiegler und unter Kronen als Stumpfaufbaumaterial, ferner für provisorische Kronen und Brücken, als Wurzelkanalsealer oder im kieferorthopädischen Bereich zur Befestigung von Brackets etc. eingesetzt [139]. Sie stellen in der heutigen Zahnheilkunde eine der bedeutendsten Werkstoffgruppen mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Produkten dar.

Die organische Matrix besteht aus langkettigen Dimethacrylaten, z.B. Triethylglycoldimethacrylat (TEGDMA) oder Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat (Bis-GMA), wobei es sich hier um Gemische aus unterschiedlichen Methacrylat-Monomeren und deren verschiedenen Modifikationen handelt, siehe Tabelle 5.2. Zusätzlich werden Comonomere und Additive wie Fotoinitiatoren, Koinitiatoren und Inhibitoren, UV-Absorber, Fotostabilisatoren und Pigmente zugesetzt.

Weitere Zusatzstoffe von Kompositen sind antibakterielle oder fluoridhaltige Monomere, um eine Plaquebildung an der Kompositoberfläche zu verhindern bzw. zu reduzieren [139]. Die Polymerisation der Komposite erfolgt mittels eines Initiators (Heißhärtung: Dibenzoylperoxid (DBPO), 2,5-Dimethylhexan-2,5-diperbenzoat (DHPBZ), Selbst- bzw. Kalt- oder Autopolymerisation: N,N-Dimethyl-p-toluidin und Dibenzoylperoxid, N,N-Bis-(2-Hydroxyethyl)-p-toluidin und Dibenzoylperoxid, Trimethylbarbitursäure und Luftsauerstoff, Licht- bzw. Photohärtung: Campherchinon) [88].

Tabelle 5.2: Matrix-Kunststoffe in der Zahnheilkunde und ihre Einstufung durch die DFG, modifiziert nach Schmalz [37, 139]

Verbindung	Abkürzung	Formel	MAK-Wert	Sensibilisier.
Bisphenol-A-glycidylmethacrylat	Bis-GMA	$C_{29}H_{36}O_8$	—	Sh
Propoxyliertes Bisphenol-A-dimethacrylat	Bis-PMA	$C_{29}H_{36}O_6$		
Epoxyliertes Bisphenol-A-dimethacrylat	Bis-EMA	$C_{27}H_{32}O_6$		
1,6-Bis(methacryloxy-2-ethoxycarbonyl-amino)-2,4,4-trimethylhexan	UDMA	$C_{23}H_{38}N_2O_8$		
Urethan Bisphenol-A-dimethacrylat	UPGMA	$C_{51}H_{76}N_4O_{14}$		
Triethylenglycoldimethacrylat	TEGDMA	$C_{14}H_{22}O_6$	—	Sh
Triethylenglycolmonomethacrylat	TEGMMA	$C_{10}H_{18}O_5$		
Tetraethylenglycoldimethacrylat	TetEGDMA	$C_{16}H_{26}O_7$	—	Sh
Diethylenglycoldimethacrylat	DEGDMA	$C_{12}H_{18}O_5$	—	Sh
Ethylenglycoldimethacrylat	EGDMA	$C_{10}H_{14}O_4$	—	Sh
1,10-Decandiololdimethacrylat	DDDMA	$C_{18}H_{30}O_4$		
1,6-Hexandioldimethacrylat	HDDMA	$C_{14}H_{22}O_4$		
1,5-Pentandioldimethacrylat	PDDMA	$C_{13}H_{20}O_4$		
1,4-Butandioldimethacrylat	BDDMA	$C_{12}H_{18}O_4$	—	Sh
BDDMA-Methanoadduct $^{1/2}$	MBDDMA $^{1/2}$	$C_{13}H_{22}O_5$		
BDDMA-Autoadduct $^{1/2}$	DBDDMA $^{1/2}$	$C_{20}H_{32}O_7$		
1,2-Propandioldimethacrylat	PRDMA	$C_{11}H_{16}O_4$		
Bis(acryloxymethyl)tricyclo-(5.2.1.0 ^{2,6})decan	DMTCDDA	$C_{18}H_{24}O_4$		
Benzylmethacrylat	BEMA	$C_{11}H_{12}O_2$		
3-Trimethoxysilanpropylmethacrylat	SIMA	$C_{10}H_{20}O_5Si$		
$^{1/2}$ -Cyclohexanmethacrylat	SYHEMA $^{1/2}$	$C_{10}H_{14}O_2$		
Trimethylolpropantrimethacrylat	TMPTMA	$C_{18}H_{26}O_6$		
2-Hydroxyethylmethacrylat	HEMA	$C_6H_{10}O_3$	—	Sh
Methylmethacrylat	MMA	$C_5H_8O_2$	+	Sh
Methacrylsäure	MAA	$C_4H_6O_2$	+	

MAK-Wert

+ : MAK-Wert vorhanden, — : Kein MAK-Wert vorhanden, **leeres Kästchen**: Keine arbeitsmedizinisch-toxikologische Einstufung durch die DFG

Sensibilisier.: Gefahr der Sensibilisierung, **Sh**: Haut

Die Hauptkomponenten der Füllerpartikel sind neben Perlpolymerisaten und Splitterpolymerisaten feinst gemahlene Quarz, Borsilikat, Lithium-Aluminium-Silikat-Gläser und hochdisperses, amorphes Siliciumdioxid, Ytterbium- und Yttriumfluorid. Zwecks Radioopazität³ werden den Komposit-Kunststoffen Barium-, Strontium- oder Zink-haltige Gläser zugegeben [88, 139].

Bei Füllerpartikeln kann zwischen Mikrofüllern mit einer Größe von 0,04 μm und Makrofüllern, die zwischen 5 und 12 μm messen, unterschieden werden. Neuere Nano-Komposite besitzen mitt-

³Radioopazität $\hat{=}$ Röntgensichtbarkeit

lerweise Füllerpartikel in einer Größe von 1 bis 10 nm [35, 88]. Eine Kombination aus Mikro- und Makrofüllern stellen die so genannten Hybrid-Komposite dar [79].

Entsprechend den jeweils gewünschten Eigenschaften von Komposit-Kunststoffen variieren Zusammensetzung, Größe und Verteilung der Füllerpartikel. So können Kompositen Fluorid-haltige Partikel in Form von Ytterbium-Fluorid (YbF_3) zugesetzt werden, um über eine Freisetzung der Fluoride eine Kariesprophylaxe zu ermöglichen [139].

Als Farbpigmente werden vorwiegend Eisen- oder Aluminiumoxid sowie Titandioxid in einer Größenordnung von 10 nm bis 1 μm zugesetzt. Andere Farbstoffe wie Blei oder Chrom werden heute nicht mehr verwendet. Zum Schutz vor UV-Licht-bedingten Alterungsprozessen werden UV-Stabilisatoren (z.B. 2-Hydroxybenzophenone, 2-Hydroxyphenylbenzotriazole) zugesetzt. Stabilisatoren bzw. Inhibitoren oder Antioxidantien, z.B. Hydrochinonmonomethylether oder Hydrochinon, sollen eine verfrühte Aktivierung der Polymerisation von Monomeren verhindern [88].

Zur Verwendung von Komposit-Kunststoffen bedarf es der Vorbereitung von Zahnschmelz und Dentin, bei der Verwendung als Befestigungskomposit für Keramik-Inlays auch der Vorbereitung der metallfreien Keramik. Hierzu werden verschiedene Säuren (z.B. Phosphorsäure, Flusssäure, Ammoniumhydrogendifluorid) zum Anätzen von Schmelz und Dentin sowie Dentinadhäsive verwendet. Dentinadhäsive bestehen aus Methacrylat-Monomeren (wie z.B. HEMA $\hat{=}$ 2-Hydroxyethylmethacrylat oder 4-META $\hat{=}$ 4-Methacryl-oxyethyl-Trimellitsäureanhydrid) oder Dimethacrylaten (z.B. TEGMA), phosphonisierten Pentaacrylestern, Acrylaminen, Aldehyden (z.B. Glutaraldehyd) und organischen Säuren. Sie können zusätzlich Füllerpartikel und auch Nanofüllerpartikel enthalten. Wasser und Alkohol oder Aceton fungieren als Lösemittel [139].

5.1.1.3 Polymethylmethacrylat-Kunststoffe

Polymethylmethacrylat (PMMA) ist ein harter, glasähnlicher, thermoplastischer Kunststoff, auf dessen Basis heutzutage in der Zahnmedizin Teil- und Vollprothesen, funktionskieferorthopädische Geräte oder Schienen, ferner individuelle Abformlöffel oder provisorischer Zahnersatz hergestellt werden. PMMAs werden neben der Zahnmedizin in der unfallchirurgisch/orthopädischen Medizin im Knochenzement, in der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde in Otoplastiken oder im optischen Bereich in Linsen und Lupen etc. eingesetzt. Weitere Verwendung finden sie in künstlichen Fingernägeln, in Nagellacken sowie in verschiedenen Haushaltsartikeln (Becher, Besteck etc.) und Textilien.

PMMAs werden technisch durch radikalische Polymerisation monomerer Methacrylsäuremethylester (MMA) hergestellt, die wiederum mittels Hydrolyse und Dehydratisierung mit anschließender Veresterung aus 2-Hydroxy-2-methylpropionitril ($\hat{=}$ Acetoncyanhydrin: Kondensation von Blausäure und Aceton), Schwefelsäure und Methanol [55, 56] entstehen.

Es handelt sich bei den PMMA-Kunststoffen um ein Zweikomponenten-System, bestehend aus einem Pulver und der zugehörigen Flüssigkeit (Pulver-Flüssigkeits-System). Hauptkomponente des

Pulvers ist ein Polymethylmethacrylat-Perlpolymer, dem meist Comonomere sowie Pigmente zugesetzt sind. Die Grundsubstanz der Flüssigkeit wird von den MMAs dargestellt. Sie enthält zudem Vernetzer und verschiedene Additive wie z.B. Stabilisatoren [89]. Eingeteilt werden können PMMAs nach ihrem Aushärtungsverfahren: Heiß-/Mikrowellenpolymerisat, Lichtpolymerisat, Auto-(Kalt-) Polymerisat.

Eine Übersicht über in Polymethylmethacrylat-Kunststoffen enthaltene Substanzen gibt Tabelle 5.3.

Tabelle 5.3: Inhaltsstoffe und freisetzbare Substanzen in PMMA-Kunststoffen und ihre Einstufung durch die DFG, modifiziert nach Schmalz (Erläuterungen zur Tabelle siehe Seite 39) [37, 139]

Chemische Verbindung	Funktion	Krebserzeugend Kategorie	MAK-Wert	Sensibilisier.
Anorganische Füller	Füller bei lichthärtenden Kunststoffen (bis 15 Gew.%)			
Benzoessäure	Reaktionsprodukt von DBP		–	
Biphenyl	Reaktionsprodukt von DBP	3B	–	
Campherquinon	Photoinitiator bei lichthärtenden Kunststoffen			
Dibenzoylperoxid (DBP)	Initiator		+	
Dibutyl-Phthalat	Weichmacher	4	+	
Dicyclohexyl-Phthalat	Weichmacher			
Ethoxyliertes Bisphenol-A-Dimethacrylat	Matrixmonomer bei lichthärtenden Kunststoffen			
Ethylenglycol-Dimethacrylat (EGDMA)	Monomer, Vernetzer		–	Sh
Formaldehyd	Oxidationsprodukt von MMA	4	+	Sh
Hydrochinon	Stabilisator	2	–	Sh
Kupfer	evtl. Bestandteil im Initiatorsystem		+	
Methacrylsäure	Degradationsprodukt von Methacrylatmonomeren		+	
Methylmethacrylat (MMA)	Monomer		+	Sh
N, N-Dimethyl-p-Toluidin (tertiäres Amin)	Akzelerator bei autopolymerisierenden Kunststoffen			
Organische Farbstoffe (Phenol-derivate)	Farbgebung			
Phenylbenzoat	Reaktionsprodukt von DBP			
Phenylsalicylat	evtl. UV-Absorber			
Pigmente wie CdS ⁴ , CdSe ⁵	Farbgebung			

⁴Cadmiumsulfid

⁵Cadmiumselenid

Chemische Verbindung	Funktion	Krebserzeugend Kategorie	MAK-Wert	Sensibilisier.
Poly(Ethyl-Methacrylat)	Matrixmonomer bei licht-härtenden Kunststoffen			
Pyrogallol	Stabilisator			
Resorcin	Stabilisator		—	Sh
Urethandimethacrylat (UDMA)	Matrixmonomer bei licht-/Mikrowellen-polymerisierenden Kunststoffen			

MAK-Wert

+: MAK-Wert vorhanden, — : Kein MAK-Wert vorhanden, **leeres Kästchen**: Keine arbeitsmedizinisch-toxikologische Einstufung durch die DFG

Sensibilisier.: Gefahr der Sensibilisierung, **Sh**: Haut

Krebserzeugend Kategorie [38]:

2: Stoffe, die als krebserzeugend für den Menschen anzusehen sind. **3B:** Stoffe, für die aus In-vitro- oder aus Tierversuchen Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung vorliegen. **4:** Stoffe mit krebserzeugender Wirkung, bei denen ein nicht-genotoxischer Wirkungsmechanismus im Vordergrund steht und genotoxische Effekte bei Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen.

Durch inhalativen bzw. dermalen Kontakt gegenüber (Methyl-)Methacrylaten kann es zur Ausbildung von Überempfindlichkeitsreaktionen vom Sofort-Typ (Typ I) bzw. verzögerten Typ (Typ IV) mit dem klinischen Bild eines allergischen Asthma bronchiale bzw. ekzematöser Hautveränderungen - insbesondere an den Händen - kommen. Gerade zahntechnisches, aber auch zahnärztliches und assistierendes Personal gelten als zum Teil hochexponierte Berufsgruppen - neben z.B. Beschäftigten im Kosmetikbereich (v.a. in Nagelstudios) [91]. Schätzungen gehen davon aus, dass bis zu 2% der Zahnärzte allergische Reaktionen gegenüber Methacrylaten aufweisen [139]. Bei Untersuchungen von Zahntechnikern fand sich bei der Hälfte der Untersuchten ein allergisch bedingtes Kontaktekzem, annähernd ein Drittel wies eine irritative Komponente auf und 14% zeigten eine Kombination aus allergisch und irritativ bedingten ekzematösen Hautveränderungen [127]. Überempfindlichkeitsreaktionen bei im zahnärztlichen bzw. zahnmedizinischen Bereich beschäftigten Personen haben in den vergangenen Jahren kontinuierlich zugenommen [127, 139]. Als Grund hierfür muss u.a. die vermehrte Verwendung von Kunststofffüllungen und der Rückgang von älteren Zahnersatzmaterialien, allen voran Amalgam, diskutiert werden [128]. Jaakkola et al. berichten über ein bei zahnmedizinischem Personal signifikant erhöhtes Risiko, durch täglichen Kontakt zu Methacrylaten (v.a. HEMA, TEGDMA) an einem Asthma bronchiale zu erkranken oder unter rhinitischen Beschwerden zu leiden. Mit zunehmender Dauer der Exposition steigt darüber hinaus das Allergierisiko und Personen mit bekannter Atopieneigung sind wesentlich stärker gefährdet, eine Allergie gegenüber Methacrylaten zu entwickeln als Nicht-Atopiker [87]. MMAs stellen (neben dem hoch allergen wirkenden Latex) eine der Hauptursachen für eine bronchiale Hyperreagibilität unter zahnmedizinischem Personal dar [128].

Ferner kann es bei dermalen Exposition gegenüber (Methyl-)Methacrylaten zu einer Monomer-Resorption über die Haut kommen mit der Folge einer Beeinträchtigung der sensorischen und motorischen Nerven, welche klinisch durch Gefühlsstörungen wie Taubheitsgefühl oder Schmerzen und Veränderungen der distalen Nervenleitgeschwindigkeit imponieren können [91, 131, 147].

5.1.1.4 Zemente, Keramiken und Dentalgips

Zemente und Keramiken stellen zwei in der Zahnheilkunde seit langem und häufig eingesetzte Werkstoffgruppen mit einem breiten Anwendungsspektrum dar. Dentalgipse finden ihre primäre Anwendung im zahntechnischen Bereich.

Bei Zementen und Dentalgipsen handelt es sich um Pulver-Flüssigkeits-Systeme. Keramiken dagegen werden gebrannt oder unter großer Hitzezufuhr entweder gegossen oder gepresst [60]. Beim Umgang mit diesen Materialien und bei deren Bearbeitung mit meist (schnell) rotierenden Fräs-, Schleif- oder Polierinstrumenten kann es zu Staub- und Partikelfreisetzen mit der Gefahr einer inhalativen Aufnahme kommen. Pneumokoniosen bei in der Zahnheilkunde beschäftigten Personen, insbesondere bei Zahntechnikern, sind in der Literatur beschrieben worden. Es handelt sich hierbei v.a. um eine Mischstaubpneumokoniose, wobei je nach vorherrschender Staubart einzelne Pneumokoniosetypen (z.B. Silikose, Asbestose, Zementstaub-Lunge) unterschieden werden können. Für die Entstehung der Erkrankung spielen neben Metall- und Kunststoffstäuben primär Mineralstäube eine Rolle [81, 98, 99].

Dentalzemente stellen ein Pulver-Flüssigkeits-System dar, d.h. sie bestehen aus einem Pulver, das mit einer Flüssigkeit versetzt und angemischt wird. Dentalzemente sind je nach Anwendung in unterschiedlichen chemischen Zusammensetzungen auf dem Markt. Als Ausgangssubstrat für gängige Dentalzemente werden als Pulver Zinkoxid oder Siliciumoxid und als Flüssigkeit Phosphorsäure, Polyacrylsäure oder Eugenol⁶ verwendet. Einsatz finden Dentalzemente vorwiegend als Füllungs- und Befestigungswerkstoff.

Häufig eingesetzte Dentalzemente und ihre Hauptbestandteile zeigt Tabelle 5.4 auf Seite 41.

Dentalkeramiken werden heutzutage in Inlays, Veneers⁷ und Teilkronen sowie zur Verblendung von Metallgerüsten, Kronen oder Brücken, ferner künstlichen Zähnen und Wurzelkanalstiften eingesetzt. Weitere Einsatzgebiete stellen die Implantologie und Knochenersatzmaterialien dar. Dentalkeramiken werden mittels Sinterung, Gießen oder Pressen, Fräsen sowie Sonoerosion⁸ hergestellt bzw. bearbeitet.

Eine Übersicht über verschiedene Dentalkeramiken und ihre Zusammensetzung gibt Tabelle 5.5.

⁶Eugenol: Hauptbestandteil des Nelkenöls; gelblich, aromatisch und leicht ölig; direkter Kontakt mit der Pulpa wirkt schädigend. Eugenol ist antibakteriell und anästhesierend.

⁷Veneers (engl. Furnier): Dünne Verblendschalen aus Keramik, die auf die Zahnoberfläche von Frontzähnen aufgebracht werden.

⁸Materialabtragungsprozess durch Ultraschallschwingungen

Tabelle 5.4: Dentalzemente und ihre Hauptbestandteile [140, 141, 152, 153]

Zementart	Pulver	Flüssigkeit
Silicatzement	Siliciumoxid	Phosphorsäure
Zinkphosphatzement	Zinkoxid, Magnesiumoxid, Siliciumdioxid, Bismuth(III)oxid, Bariumoxid, Bariumsulfat, Calciumoxid	Phosphorsäure (frei/kombiniert mit Al, Zn), Wasser
Glasionomerezement	Siliciumoxide, Aluminiumoxid,	Polyacrylsäure
Polycarboxylatzement	Zinkoxid	Polyacrylsäure
Zinkoxid-Eugenol-Zement	Zinkoxid	Eugenol ($\hat{=}$ 2-Methoxy-4-Allylphenol)
Calciumhydroxid-Zement	Calciumhydroxid	Wasser, organische Lösemittel, Calciumsalicylate, Kunststoffmonomere

Tabelle 5.5: Dentalkeramiken und ihre Zusammensetzung [142]

Dentalkeramik und Hauptbestandteile	Zusätze (Auswahl)
Siliciumdioxid (SiO₂) (Feldspat)	- Al ₂ O ₃ (Korngröße 30 μ m), über Kalifeldspat (K ₂ OAl ₂ O ₃ 6SiO ₂) und Natronfeldspat (Na ₂ OAl ₂ O ₃ 6SiO ₂) - Glimmer (bei Glaskeramik) - Leuzit (K ₂ OAl ₂ O ₃ 4SiO ₂) (bei Glaskeramik) - Lithiumoxid (bei Glaskeramik) - Lithiumdisilicat (bei Glaskeramik)
Aluminiumoxid (Al₂O₃) - Aluminiumoxid-Keramiken (Korngröße 2-5 μ m) in Form von Korund (α -Al ₂ O ₃) - Magnesium-Aluminium-Spinell (MgAl ₂ O ₄)	- Lanthangas (dünnflüssige Infiltrationsschmelze als Matrix im Sintergerüst; In-Ceram-Systeme), ZrO ₂ als Zusatz zum Al ₂ O ₃ -Pulver
Zirkondioxid (ZrO₂)	- Yttriumoxid (Y ₂ O ₃) - YTZP = Yttrium stabilized tetragonal zirconia polycrystals
Calciumphosphat - Hydroxylapatit (HA) - Tricalciumphosphat (α -TCP, β -TCP) - Tetracalciumphosphat (TTCP) - Gemische	

Dentalgipse werden in der Zahnmedizin in unterschiedlichen Zusammensetzungen für jeweils verschiedene Anwendungen eingesetzt - eingeteilt werden sie nach der DIN EN ISO 873 in fünf Typen: Abdruckgips (Typ 1), Modellgips (Typ 2), Modellhartgips (Typ 3), Superhartgips für Modelle mit geringer Expansion (Typ 4), Superhartgips für Modelle mit hoher Expansion (Typ 5) [42].

Neben Calciumsulfat-Subhydrat als Grundsubstanz werden den verschiedenen Dentalgipsen Desinfektionsmittel, Duftstoffe sowie Geschmacks- und Farbstoffe zugesetzt. Um Eigenschaften wie Fließverhalten oder Abbindereaktion zu beeinflussen wie auch zur Verbesserung der Festigkeit werden Stellmittel wie z.B. Natrium- und Kaliumlignosulfat, Kalziumoxid oder Melaminharze zugesetzt [24]. Weitere Inhaltsstoffe bzw. Stellmittel können sein: Glycerin, Alkohol und Aceton, Äther, Zucker

sowie verschiedene Säuren und ihre Salze (Phosphorsäure, Zitronensäure, Essigsäure, Milchsäure etc.), ferner Magnesium-, Calciumcarbonat und Calciumacetat, Quarz, Korund sowie Strontiumsulfat und verschiedene Sinterprodukte. Des Weiteren können Isoliermittel und Oberflächenentspanner als Zusatzstoffe in Dentalgipsen enthalten sein [43].

Durch Umgang mit Dentalgips kann es zur Irritation und Reizung der Schleimhäute von Augen, Nase und Atemwegen kommen. Nach inhalativer Exposition können Hustenreiz und chronische Bronchitiden auftreten sowie als Folge einer Quarzstaubexposition silikotische Lungenveränderungen. Über dermalen Kontakt kann es zu einer Sensibilisierung der Haut kommen [43].

5.1.1.5 Latex

Latex ist der weißliche Milchsaft tropischer Gummi- oder Kautschukbaumarten. Bedeutendster Vertreter ist der südamerikanische Parakautschukbaum *Hevea brasiliensis*. Neben Naturkautschuk existieren synthetische Kautschuke, die auf petrochemischen Rohstoffen basieren.

Latex findet heutzutage eine sehr breitgefächerte Anwendung, so z.B. in der Reifen- und Sportartikelindustrie (Sportanzüge, Bälle, Tauchartikel etc.), in der Herstellung von Medizin- und Hygieneprodukten wie z.B. von Gummihandschuhen, Beatmungsmasken, Kathetern, Infusionsschläuchen und Pflastern oder dem Kofferdam in der Zahnheilkunde [28].

Latex besitzt neben seinen Vorteilen (hochelastisch und biologisch abbaubar etc.) ein sehr hohes allergenes Potential und kann eine Immunglobulin E (IgE)-vermittelte Überempfindlichkeitsreaktion vom Sofort-Typ auslösen. Eine Sensibilisierung kann dabei einerseits über intensiven Haut- oder Schleimhautkontakt und andererseits über die Atemwege durch Inhalation von naturlatexproteinhaltigen Aerosolen, z.B. durch das Tragen von gepuderten Latex-Gummihandschuhen, erfolgen [160]. Bei einem erneuten Allergenkontakt kann es innerhalb weniger Minuten zur allergischen Sofort-Reaktion an Haut und Schleimhaut mit Symptomen wie Urtikaria, Rhinokonjunktivitis und/oder zu einer obstruktiven Ventilationsstörung im Sinne eines allergischen Asthma bronchiale kommen. Einen medizinischen Notfall stellt die systemische Reaktion, die Anaphylaxie, dar.

Im Jahr 2000 wurden aus dem ambulanten zahnmedizinischen Bereich insgesamt 55 Verdachtsanzeigen auf eine durch Latex verursachte „Obstruktive Atemwegserkrankung“ (BK-Ziffer 4301) bei der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) gemeldet, von denen 7 Fälle als Berufskrankheit anerkannt wurden. 2005 waren es 8 und 2009 insgesamt 2 Fälle, die als BK-Verdachtsfall angezeigt, von denen jedoch keiner als Berufskrankheit anerkannt wurde [17].

Die Diagnostik einer Naturlatex-Allergie kann anhand verschiedener Testmethoden erfolgen. Bei unseren Untersuchungen wurde die serologische Testung, d.h. die spezifische IgE-Bestimmung gewählt, da es sich hierbei um eine einfache Methode mit ausreichender Sensitivität und Spezifität handelt [160].

5.1.1.6 Desinfektions- und Reinigungsmittel

Zur Desinfektion von Haut und Schleimhaut, Oberflächen sowie zahnärztlichen Instrumenten stehen auf dem Markt zahlreiche Produkte mit unterschiedlichen Inhaltsstoffen zur Verfügung.

So kommen zur Händedesinfektion vorwiegend Alkohole und Halogene (Jod), ferner Phenole und Tenside u.ä. zum Einsatz. Zur Schleimhautdesinfektion werden Alkohole, Chlorhexidin, Octenidin oder ätherische Öle etc. verwendet und zum Desinfizieren von Flächen finden Phenole, Chlor, Perverbindungen sowie Aldehyde etc. Verwendung [125, 132, 134].

Eine Übersicht über die in Gesundheitsberufen und öffentlichen Einrichtungen verwendeten Desinfektionsmittel und ihre Inhaltsstoffe kann der Desinfektionsmittel-Liste des Verbundes angewandter Hygiene e.V. (VAH) entnommen werden, in der alle von der Desinfektionsmittel-Kommission zertifizierten Präparate aufgeführt sind [163]. Bei den verwendeten Inhaltsstoffen handelt es sich häufig um Substanzen, die potentiell irritativ-toxisch bzw. reizend auf Augen (R 36), Atemwege (R 37) und die Haut (R 38) wirken und ferner eine Sensibilisierung sowohl durch inhalativen (R 42) wie auch dermalen (R 43) Kontakt bewirken können. Über eine inhalative Aufnahme kann es lokal zur Irritation sensorischer Rezeptoren und/oder zu einer primär-toxischen Schädigung der Schleimhaut mit akut oder schleichend einsetzenden Beschwerden in Form von Husten, Auswurf und Atemnot bis hin zu Brustschmerzen kommen.

Die nachfolgende Tabelle 5.6 gibt einen Überblick über häufig in Desinfektionsmitteln verwendete Inhaltsstoffe.

Tabelle 5.6: Häufige Inhaltsstoffe in Desinfektionsmitteln, ihre Kennzeichnung und ihre Einstufung durch die DFG (ausführliche Erläuterungen zur Tabelle siehe Seite 44 f.) [37, 44, 67]

Substanz	Kennzeichnung	MAK-Liste
Alkylbenzyltrimethylammoniumchlorid (Alkyl C8-C18)	Xn, C, N R 21/22, R 34, R 50	Ø
2-Benzyl-4-chlorphenol	Xn, N R 22, R 36/37/38, R 51/53	Ø
Benzyl-dodecyltrimethylammoniumchlorid	C, N R 21/22, R 34, R 50	Ø
Benzylkokosalkyl-trimethylammoniumchlorid	Xn R 21/22	Ø
1,4-Butandiol	Xn R 22	Ø
Chloramin T	C R 22, R 31, R 34, R 42	Ø
4-Chlor-3-methylphenol	Xn, N R 21/22, R 41, R 43, R 50	Ø
Diethylenglykolmonobutylether	Xi R 36	MAK-Wert vorhanden
Essigsäure	C R 10, R 35	MAK-Wert vorhanden
Ethanol	F R 11	Krebserzeugend Kategorie 5, Keimzellmutagen Kategorie 5, MAK-Wert vorhanden

5 Ergebnisse

Substanz	Kennzeichnung	MAK-Liste
Ethylenglykolbis(hydroxymethyl)-ether	Xn R 20/21/22, R 36/37/38, R 43	∅
Formaldehyd	T R 23/24/25, R 34, R 40, R 43	Krebserzeugend Kategorie 4, Keimzellmutagen Kategorie 5, Sensibilisierung der Haut möglich, MAK-Wert vorhanden
Glutaraldehyd	T, N R 23/25, R 34, R 42/43, R 50	Krebserzeugend Kategorie 4, Sensibilisierung der Atemwege und Haut möglich, MAK-Wert vorhanden
Glyoxal	Xn R 20, R 36/38, R 43, R 68	Krebserzeugend Kategorie 3B, Sensibilisierung der Haut möglich, Hautresorption möglich, kein MAK-Wert vorhanden
Iod	Xn, N R 20/21, R 50	Kein MAK-Wert vorhanden
Kaliumhydroxid	C, Xn R 22, R 35	∅
Methanol	F, T R 11, R 23/24/25, R 39/23/24/25	Hautresorption möglich, MAK-Wert vorhanden
Natriumcarbonat	Xi R 36	∅
Natriumhydroxid	C R 35	Kein MAK-Wert vorhanden
Natriumnitrit	O, T, N R 8, R 25, R 50	∅
Peroxyessigsäure	C, O, N R 7, R 10, R 35, R 50, R 20/21/22	Krebserzeugend Kategorie 3B, kein MAK-Wert-vorhanden
2-Phenylphenol	Xi, N R 36/37/38, R 50	Kein MAK-Wert vorhanden
Piperazin	C R 34, R 42/43, R 52/53	Sensibilisierung der Atemwege und Haut möglich, kein MAK-Wert vorhanden
1-Propanol	F, Xi R 11, R 41, R 67	∅
2-Propanol	F, Xi R 11, R 36, R 67	MAK-Wert vorhanden
Propylenglykol-1-phenylether	-	Kein MAK-Wert vorhanden
Tetranatriummethyl-diamintetraacetat	Xn R 22, R 36, R 52/53	∅
Trinatriumnitrilotriacetat	Xn R 22, R 36	∅
Wasserstoffperoxid	O, C R 8, R 34	Krebserzeugend Kategorie 4, MAK-Wert vorhanden

MAK-Liste: ∅: Keine arbeitsmedizinisch-toxikologische Einstufung durch die DFG.

Kennzeichnung: C: Ätzend. F: Leicht entzündlich. N: Umweltgefährlich. O: Brandfördernd. Xi: Reizend. Xn: Gesundheitsschädlich. T: Giftig.

Krebserzeugend Kategorie [38]: **3B**: Stoffe, für die aus In-vitro- oder aus Tierversuchen Anhaltspunkte für eine krebserzeugende Wirkung vorliegen. **4**: Stoffe mit krebserzeugender Wirkung, bei denen ein nicht-genotoxischer Wirkungsmechanismus im Vordergrund steht und genotoxische Effekte bei Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes keine oder nur eine untergeordnete Rolle spielen. **5**: Stoffe mit krebserzeugender oder genotoxischer Wirkung, bei denen unter Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes ein sehr geringer Beitrag zum Krebsrisiko für den Menschen zu erwarten ist.

Keimzellmutagen Kategorie [39]: **5**: Keimzellmutagen oder Verdachtsstoff, dessen Wirkungsstärke als so gering erachtet wird, dass unter Einhaltung des MAK- und BAT-Wertes ein sehr geringer Beitrag zum genetischen Risiko für den Menschen zu erwarten ist.

R-Sätze: **R 7**: Kann Brand verursachen. **R 8**: Feuergefahr bei Berührung mit brennbaren Stoffen. **R 10**: Entzündlich. **R 11**: Leichtentzündlich. **R 20**: Gesundheitsschädlich beim Einatmen. **R 22**: Gesundheitsschädlich beim Verschlucken. **R 25**: Giftig beim Verschlucken. **R 31**: Entwickelt bei Berührung mit Säuren giftige Gase. **R 34**: Verursacht Verätzungen. **R 35**: Verursacht schwere Verätzungen. **R 36**: Reizt die Augen. **R 40**: Verdacht auf krebserzeugende Wirkung. **R 41**: Gefahr ernster Augenschäden. **R 42**: Sensibilisierung durch Einatmen möglich. **R 43**: Sensibilisierung durch Hautkontakt möglich. **R 50**: Sehr giftig für Wasserorganismen. **R 67**: Dämpfe können Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen. **R 68**: Irreversibler Schaden möglich. **R 20/21/22**: Gesundheitsschädlich beim Einatmen, Verschlucken und bei Berührung mit der Haut. **R 21/22**: Gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken. **R 23/25**: Giftig beim Einatmen und Verschlucken. **R 23/24/25**: Giftig beim Einatmen, Verschlucken und bei Berührung mit der Haut. **R 36/38**: Reizt die Augen und die Haut. **R 36/37/38**: Reizt die Augen, Atmungsorgane und die Haut. **R 39/23/24/25**: Giftig: Ernste Gefahr irreversiblen Schadens durch Einatmen, Berührung mit der Haut und durch Verschlucken. **R 42/43**: Sensibilisierung durch Einatmen und Hautkontakt möglich. **R 51/53**: Giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben. **R 52/53**: Schädlich für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben.

5.1.1.7 Sonstige Materialien

Wurzelkanalfüllungsmaterialien

Zur Vermeidung einer Infektion oder Reinfektion eines aufbereiteten wurzelbehandelten Zahnes bedarf es der dichten Versiegelung des präparierten Wurzelkanals. Hier kommen unterschiedliche Materialien zum Einsatz, auf die kurz im Folgenden eingegangen werden soll.

Guttapercha wird aus dem Harz des in Südostasien beheimateten Guttaperchabaumes (v.a. *Palaiquium gutta*) gewonnen und in Guttapercha-Stiften oder erhitzt als Flüssigkeit zum Ausfüllen des präparierten Wurzelkanals eingesetzt [27]. Es gilt als ein inertes und nicht toxisches Material, wobei allerdings Guttapercha-Stifte neben Guttapercha als weitere Komponenten u.a. Zinkoxid, Schwermetalle, Kolophonium und Pigmente enthalten und die Zusammensetzungen je nach Anforderung und Produkt variieren können [75, 143]. Hinweise für allergische Reaktionen, ausgelöst durch die Verwendung von Guttapercha, sowie Kreuzreaktionen zwischen verschiedenen Guttapercha-Stift-Extrakten und Natur-Latex konnten bisher nicht eindeutig belegt werden [143].

Wurzelkanalsealer werden zum Ausfüllen des Raumes zwischen den Guttapercha-Stiften verwendet. Wurzelkanalsealer können ebenfalls nach ihrer unterschiedlichen Zusammensetzung differenziert werden.

Einen Überblick gibt Tabelle 5.7.

Tabelle 5.7: Wurzelkanalsealer und ihre Zusammensetzung (Auswahl) [143]

	Zinkoxid-Eugenol-Präparate	Polyketon-Sealer	Epoxy-Sealer	Glasionomerzement-Sealer
Pulver	Zinkoxid Stabilit Bismutcarbonat Bariumsulfat Aluminiumoxid Harze (z.B. Kolophonium)	Zinkoxid Wismutphosphat	Bismut(III)-Oxid Hexamethylenetetramin Silber/Bismutoxid Titandioxid	Gemahlene Silicate Calcium-Natrium-Fluor-Phosphor-Silicate
Flüssigkeit	Eugenol Orthohydroxy-Benzoessäure	Propionylacetophenon Vinylcopolymer Dichlorophen Triethanolamin	Bisphenol-A-diglycidylether	Polyacrylsäure Maleinsäuren Weinsäuren
Zusätze	Thymol/Thymoliodid Formaldehyd Hydroxylapatit Calciumhydroxid			

Dentalwachse

Wachse sind ein Sammelbegriff für eine Vielzahl natürlicher oder künstlich hergestellter Stoffe, die bei einer Temperatur von 20°C knetbar und fest bis brüchig hart, bei grober bis feinkristalliner und durchscheinender bis opaker Konsistenz sind [57]. Sie sind organische Verbindungen und bestehen aus Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff und teils auch Stickstoff. Eingeteilt werden können Wachse in natürliche Wachse, modifizierte Wachse, synthetische und teilsynthetische Wachse.

Die Dentalwachse sind feste Wachse und zeichnen sich durch einen amorphen bis kristallinen Charakter aus; sie verlieren bei zunehmender Schmelztemperatur an Plastizität und erzeugen beim Polieren einen Glanz. Zum Unterscheiden verschiedener Wachse und ihrer Qualitäten werden teilweise Füllstoffe und Farben zugesetzt. An Füllstoffen werden u.a. Kieselkreide, Talkum, Aerosole und feine Polystyrole sowie mikronisierte Isophthalsäure zugesetzt. Als Farbstoff können Fettfarbstoffe oder Pigmentfarbstoffe zugesetzt werden [122].

Dentale Wachse finden im zahntechnischen wie auch im zahnmedizinischen Bereich breite Anwendung. In der Zahntechnik werden sie für Zahnmodelle zur Herstellung von Kronen oder Brücken, Prothesen und Inlays verwendet. Zur Bestimmung der Position von Oberkiefer zu Unterkiefer werden in der Zahnmedizin Bisswälle oder -schablonen verwendet, die gleichfalls aus Wachs (oder Kunststoff) bestehen können [122].

Harze

Harze stellen ebenfalls einen Oberbegriff für flüssige, halbfeste bis feste organische Substanzen dar, die nach verschiedenen Kriterien, wie ihrer chemischen Zusammensetzung, ihrem Reaktionsmechanismus bei der Herstellung, ihren physikalischen Eigenschaften oder ihrem Aggregatzustand unterteilt werden können [53]. Zu den natürlichen Harzen zählen Harze verschiedener Baumarten wie Kiefer oder Lärche, ferner Harze aus Myrrhe oder Weihrauch. Kolophonium ist eines der bedeutendsten natürlich vorkommenden Harze. Es wird aus Nadelhölzern - vorwiegend Kiefern - gewonnen und ist ein spröder, transparenter und fester Stoff von hellgelber über rötlich-brauner bis fast schwarzer Farbe. Zwischen 70 und 80°C beginnt Kolophonium zu erweichen, bei 130°C liegt es in flüssigem Zustand vor [54, 122].

Kolophonium wirkt potentiell allergen und kann über eine Typ IV-Überempfindlichkeitsreaktion nach Gell und Coombs bei wiederholtem Haut- und Schleimhautkontakt zur Ausbildung eines allergischen Kontaktekzems führen [80, 159]. Des Weiteren steht Kolophonium im Verdacht, über die inhalative Aufnahme potentiell reizend auf die Schleimhaut der Atemwege mit Ausbildung von Atembeschwerden wirken zu können [68]. Bisher konnte ein immunologischer Mechanismus für ein beim Umgang mit Kolophonium-haltigen (Arbeits-)Stoffen gelegentlich beobachtetes Asthma bronchiale nicht sicher ausgemacht werden [37].

5.1.2 Physikalische Gefährdungen

Physikalische Belastungen sind sowohl für zahnärztliches als auch zahntechnisches Personal vorwiegend durch die bei Schleif- und Bohrarbeiten freiwerdenden Stäube von Metallen und Mineralien sowie Kunststoffen gegeben. Expositionen gegenüber Metallstäuben bestehen so bei der Herstellung und beim Polieren von herausnehmbarem oder auch festsitzendem Zahnersatz aus Edel- und Nichtedelmetall-Legierungen. Stäube von Quarz und Cristobalit können bei der Herstellung von Gussmodellen, beim Ein- und Ausbetten oder Strahlen von Gussstücken freigesetzt werden.

Bis zum deutschlandweiten Verwendungsverbot im Jahre 1993 - aber sicherlich auch noch darüber hinaus - waren in der Zahnheilkunde insbesondere die im zahntechnischen Bereich Beschäftigten gegenüber Asbest exponiert. Zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Expansion des Werkstücks beim Gießen wurden bis zum damaligen Zeitpunkt Gussmuffeln mit Asbestfolie ausgekleidet [100].

Zu Expositionen gegenüber Gipsen kann es bei der Modellerstellung und beim Umgang mit Einbettmassen in der Kunststofftechnik kommen. Durch Schleif- und Polierarbeiten von Polymethylmethacrylat-Zahnersatz kann es ebenfalls zu einer hohen Staubbelastung mit der Gefahr der inhalativen Aufnahme kommen. Insbesondere im zahntechnischen Bereich beschäftigte Mitarbeiter sind auf Grund ihres spezifischen Aufgabenspektrums gegenüber inhalierbaren Stäuben exponiert. So ist gerade bei dieser Berufsgruppe über Pneumokoniosen berichtet worden [25, 98, 99].

Eine Übersicht über die in den Jahren 2000, 2005 und 2009 gemeldeten Verdachtsanzeigen und anerkannten Fälle bei Erkrankungen der Atemwege und der Lunge im Sinne einer Berufskrankheit

nach der Berufskrankheitenverordnung bei Beschäftigten in ambulanten Einrichtungen der zahnärztlichen und kieferorthopädischen Versorgung gibt Tabelle 5.8.

Tabelle 5.8: Berufskrankheiten in ambulanten zahnärztlichen und kieferorthopädischen Einrichtungen (Auswahl) [17]

Berufskrankheit (BK-Ziffer)	BK-Verdachtsanzeigen			anerkannte BK		
	2000	2005	2009	2000	2005	2009
Berufskrankheiten gesamt	921	621	621	82	41	33
Quarzstaublungenerkrankung (Silikose), BK-Ziffer 4101	1	2	3	1	3	2
Asbeststaublungenerkrankung (Asbestose) oder durch Asbeststaub verursachte Erkrankung der Pleura, BK-Ziffer 4103	0	2	1	0	0	0
Lungenkrebs oder Kehlkopfkrebs in Verbindung mit Asbeststaublungenerkrankung (Asbestose), in Verbindung mit durch Asbeststaub verursachter Erkrankung der Pleura oder bei Nachweis der Einwirkung einer kumulativen Asbestfaserstaub-Dosis von mindestens 25 Faserjahren, BK-Ziffer 4104	0	0	1	0	0	0
Durch Asbest verursachtes Mesotheliom des Rippenfells, des Bauchfells oder des Pericards, BK-Ziffer 4105	0	1	2	0	1	1
Lungenkrebs durch Siliciumdioxid, BK-Ziffer 4112	0	1	0	0	0	0
Durch allergisierende Stoffe verursachte obstruktive Atemwegserkrankungen (einschließlich Rhinopathie), die zur Unterlassung aller Tätigkeiten gezwungen haben, die für die Entstehung, die Verschlimmerung oder das Wiederaufleben der Krankheit ursächlich waren oder sein können, BK-Ziffer 4301	58	31	39	6	1	0

Weitere physikalische Belastungsformen stellen Vibrationen und Lärm durch (schnell) rotierende Instrumente wie Turbinen, Fräsen oder Bohrer dar. Die am Arbeitsplatz herrschenden Beleuchtungsverhältnisse können gleichfalls eine physikalische Belastungsform darstellen, ebenso wie ionisierende Strahlen durch die verschiedenen Röntgenaufnahmeverfahren.

Eine während der Tätigkeit häufig eingenommene Zwangshaltung kann eine zusätzlich bestehende, sehr wesentliche Belastungsform für das zahnmedizinische Personal bedeuten. Als Folge können Erkrankungen des Muskel-Skelettsystems auftreten. Untersuchungen des Instituts der Deutschen Zahnärzte, Köln, zufolge gaben etwa 90% aller repräsentativ untersuchten zahnärztlichen Kollegen in Deutschland an, schon einmal unter Nacken- und Rückenschmerzen gelitten zu haben und ca. 70% der Befragten berichteten, dass sie einmal pro Woche unter Nacken- und Rückenschmerzen leiden würden [30].

Eine Belastung bei der Arbeit erfahren insbesondere die Halswirbelsäule auf Grund einer Kopfeigung von 45 bis 90° sowie die Lendenwirbelsäule durch Rotations- und Flexionsbewegungen. Zusätzlich kann aus der sitzenden Tätigkeit eine Belastung für die Bandscheiben resultieren. Die statische Armhaltung während der Tätigkeit kann zu einer Beanspruchung des Muskel- und Sehnenapparates des Schultergürtels mit Muskelverspannung und -schmerz führen [85].

5.1.3 Biologische Gefährdungen

In der Zahnheilkunde arbeitende Personen sind in einem besonderen Maße auf Grund des häufigen, direkten und engen Kontaktes mit Patienten gegenüber einer Vielzahl von Infektionskrankheiten exponiert. Übertragungswege für viele Mikroorganismen sind zum einen die Tröpfcheninfektion durch Husten und Niesen, zum anderen die Wege über Blut und Speichel beim Umgang mit scharf geschliffenen und spitzen Instrumenten wie Bohrern oder Spritzen und Kanülen bei einem - intraoral - räumlich sehr begrenzten Arbeitsraum. Eine Infektionsgefahr kann dabei grundsätzlich sowohl vom Patienten als auch vom zahnmedizinischen Personal ausgehen.

Insbesondere das hochkontagiöse **Hepatitis-B-Virus** (HBV), das neben dem sexuellen Übertragungsweg v.a. über den direkten, d.h. über Blut und Blutprodukte, sowie den indirekten Weg, d.h. über kontaminierte Instrumente etc., übertragen werden kann, stellte lange Zeit ein bedeutendes Gesundheitsrisiko für Zahnärzte und assistierendes Personal dar. So berichteten Eisenburg et al. 1977 bei Untersuchungen von bayerischen Zahnärzten, dass mit steigender Zahl der Berufsjahre die Inzidenz für eine Infektion an HBV um bis zu 33% zunahm [47]. Andere Autoren gingen bei zahnärztlichem Personal von einer bis zu dreifach erhöhten HBV-Infektionsrate im Vergleich zur Normalbevölkerung aus [118], wobei auch eine Erhöhung um das fünf- bis sechs-fache beschrieben wurde [154]. Von einem außerordentlich hohen Risiko für Zahnärzte, sich mit HBV zu infizieren, berichteten Scheiermann et al., als sie unter 194 Zahnärzten 3,1% der Untersuchten HBsAG-positiv, 28,4% anti-HBs-positiv und 27,3% anti-HBc-positiv nachweisen konnten [137]. Nach fünf Berufsjahren soll in früheren Jahren in Deutschland die HBV-Durchseuchungsrate bei zahnärztlichem Personal etwa 15% betragen haben, nach 15 Berufsjahren bereits 40% und nach 25 bzw. 45 Berufsjahren sogar 55 bzw. 70% [154].

Seit Beginn der 1980er Jahre ist ein wirksamer Impfstoff zum Schutz vor einer Hepatitis-B-Infektion auf dem Markt erhältlich. Die WHO empfahl 1992 weltweit die Aufnahme der Hepatitis-B-Schutzimpfung in das jeweilige länderspezifische Kinder-Impfprogramm. Diese Empfehlung ließ im Verlauf die Zahl der Neuinfektionen sinken. In Deutschland sank die Gesamtzahl der übermittelten Hepatitis-B-Infektionen zwischen 1997 und 2008 von 6135 auf insgesamt 1850 Fälle [133].

Bei Beschäftigten in ambulanten Einrichtungen der zahnärztlichen und kieferorthopädischen Patientenversorgung nahm die Zahl der meldepflichtigen Verdachtsanzeigen in Bezug auf Hepatitis-B-Infektionen (BK-Ziffer 3101) zwischen 2000 und 2009 von 13 auf 6 Fälle und die Zahl der als Berufskrankheit anerkannten Hepatitis-B-Erkrankungen von 7 auf 1 Fall ab, vgl. hierzu Tabelle 5.9 auf Seite 50 [17].

Das - ebenso wie HBV - über Blut und Blutprodukte (und Sexualkontakte) übertragene **Hepatitis-C-Virus** (HCV) stellt für zahnmedizinisches Personal gerade durch das Arbeiten mit scharf geschliffenen und spitzen Instrumenten auf intraoral räumlich begrenztem Arbeitsfeld eine weitere potentielle Gefährdung dar. Unterschiedliche Angaben zur Durchseuchungsrate von Zahnärzten und sonstigen im Gesundheitswesen beschäftigten Personen lassen keine einheitliche Aussage zu.

Die Angaben reichen von einer nicht signifikant erhöhten Durchseuchungsrate bis zu einem deutlich erhöhten relativen Risiko für Zahnärzte gegenüber anderen Ärzten bzw. der Normalbevölkerung [10, 84]. Für kieferchirurgisch tätige Zahnärzte konnte ein erhöhtes Risiko nachgewiesen werden [85]. Die Zahl der als Berufskrankheiten-Verdachtsanzeige gemeldeten Hepatitis-C-Infektionen bei in ambulanten zahnärztlichen oder kieferorthopädischen Einrichtungen beschäftigtem Personal betrug für die Jahre 2000 und 2005 insgesamt 15 bzw. 14 Fälle. Als Berufskrankheit anerkannt wurden davon 10 bzw. 9 Fälle. Im Jahr 2009 wurden 4 von insgesamt 5 gemeldeten Verdachtsfällen als BK anerkannt vgl. hierzu Tabelle 5.9 [17].

Da bisher kein Impfstoff zur Verfügung steht, gilt als wichtigste Möglichkeit zur Vermeidung einer Übertragung von Hepatitis C die konsequente Einhaltung und Durchführung aller erforderlichen Hygiene- und Vorsichtsmaßnahmen [133].

Ähnliches gilt auch für das **Humane Immundefizienz-Virus (HIV)**. Erfolgreiche Präventions- und Schutzmaßnahmen bei Beschäftigten im Gesundheitswesen zur Verhinderung einer Infektion durch HBV wirkten sich gleichzeitig auch positiv zum Schutz vor Übertragungen von HI-Viren aus [85]. 2005 und 2009 wurde jeweils 1 Berufskrankheiten-Verdachtsanzeige bzgl. einer HIV-Infektion gestellt. Eine Anerkennung als Berufskrankheit fand jedoch in beiden Fällen nicht statt, vgl. hierzu ebenfalls Tabelle 5.9 [17].

Tabelle 5.9: Berufskrankheiten nach Ziffer 3101 in ambulanten zahnärztlichen und kieferorthopädischen Einrichtungen (Auswahl) [17]

Berufskrankheit (BK-Ziffer)	BK-Verdachtsanzeigen			anerkannte BK		
	2000	2005	2009	2000	2005	2009
Berufskrankheiten gesamt	921	621	621	82	41	33
Infektionskrankheiten nach BK-Ziffer 3101 - gesamt	35	32	17	18	11	6
Hepatitis-A-Virus	1	0	0	0	0	0
Hepatitis-B-Virus	13	11	6	7	2	1
Hepatitis-C-Virus	15	14	5	10	9	4
HI-Virus	0	1	1	0	0	0

Neben den genannten Infektionskrankheiten bestehen für zahnmedizinisches Personal zahlreiche weitere biologische Gefährdungen. Bei den Viren sind u.a. die Herpes-simplex-Viren, Rhino- und Adenoviren oder das Cytomegalie-Virus von Bedeutung. Als bakteriologische Gefährdung sind neben Actinomyceten und Mycobacterium tuberculosis auch Staphylokokken, Haemophilus influenzae oder Streptokokken etc. zu nennen. Bei den Pilzen ist Candida albicans als Verursacher der opportunistischen Candidose von Bedeutung [85, 154].

5.1.4 Zusammenfassung der aktuellen Gefährdungsschwerpunkte

Beschäftigte in der modernen Zahnheilkunde sind bei Ausübung ihrer Tätigkeit als Zahnärzte, Dentaltechniker oder assistierendes Personal gegenüber einer Vielzahl potentieller Gefahrstoffe exponiert. Gesundheitliche Belastungen bestehen v.a. in inhalativer und/oder dermalen Form während der Herstellung und mechanischen Bearbeitung der zahlreichen Dentalersatzmaterialien und beim Umgang mit verschiedenen anderen Werkstoffen.

Eine Vielzahl der verwendeten Substanzen, wie z.B. einige Metalle oder Methacrylat-Kunststoffe, aber auch verschiedene Inhaltsstoffe von Desinfektions- und Reinigungsmitteln, besitzt ein Haut- und/oder Schleimhaut-sensibilisierendes Potential und kann zu ekzematösen oder urtikariellen Hautveränderungen sowie bronchitischen Beschwerden im Sinne eines allergischen Asthma bronchiale führen. Andere Substanzen wie Quarz oder einige Metalle bzw. deren Schleifstäube weisen fibroge Eigenschaften auf und können Lungenfibrosen (Zahntechnikerpneumokoniose) verursachen.

Verschiedene in der Zahnmedizin verwendete Metalle, aber auch Inhaltsstoffe von Desinfektions- und Reinigungsmitteln besitzen (zudem) eine teils vermutete, teils nachgewiesene krebserzeugende Wirkung. Für viele Stoffe jedoch existiert bezüglich ihres Wirkpotentials zur Zeit keine arbeitsmedizinisch-toxikologische Einstufung durch die DFG.

Neben der Grundsubstanz enthalten viele zahnmedizinische Produkte weitere Zusatzstoffe, so genannte Additive, die ebenfalls ein Gefahrenpotential darstellen können, häufig allerdings nur unzureichend oder gar nicht deklariert sind.

Moderne Dentalersatzmaterialien wie Zirkoniumdioxid, welches seit etwa 10 Jahren verstärkt in Dentalkeramiken Einsatz findet, können bei ihrer Herstellung und Verarbeitung eine neue inhalative und dermale Gefahrenquelle darstellen. Zirkonium besitzt ein allergenes Potential und kann ferner zu granulomatösen Veränderungen an Lunge, Haut und Lymphknoten führen - analog zur Berylliose.

Seit ein wirksamer Impfstoff zum Schutz vor Hepatitis B-Infektionen erhältlich ist und Impfungen konsequent durchgeführt werden, ist die Zahl der an Hepatitis B Erkrankten deutlich zurückgegangen. Bis vor wenigen Jahrzehnten noch war die Gefahr einer HBV-Infektion für zahnmedizinisches Personal gegenüber der Normalbevölkerung deutlich erhöht, so dass Schätzungen zufolge bis zu 70% des zahnärztlichen Personals nach 45 Berufsjahren HBV positiv waren.

Nach wie vor ist jedoch zahnmedizinisches Personal aufgrund des zum Teil sehr engen Patientenkontaktes und durch den Umgang mit scharfen und spitzen Instrumenten auf intraoral sehr begrenztem Arbeitsraum einer gewissen Infektionsgefahr ausgesetzt. Neben den parenteral übertragenen Hepatitisformen (Hepatitis-B und -C) stellen andere Virusarten wie HI-, Herpes- oder Adenoviren, aber auch Bakterien und Pilze eine potentielle Gefährdung dar.

5.2 Expositionsmessungen und elektronenoptische Analysen

Die Messungen der Partikelkonzentration wurden mit dem tragbaren Kondensationspartikelzähler CPC 3007 in der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde und der Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde sowie in dem der jeweiligen Klinik angeschlossenen dentaltechnischen Labor durchgeführt. Weitere Messungen wurden im Operationssaal der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie (MKG) vorgenommen. Neben der Bestimmung der Hintergrundkonzentration in den zahnklinischen Räumlichkeiten erfolgten die Partikelmessungen während verschiedener repräsentativer zahnärztlicher und zahntechnischer Tätigkeiten sowie während der studentischen Patientenbehandlungen.

Die Messungen erfolgten hauptsächlich unter Verwendung eines antistatischen Silikon-Schlauchs. Das Schlauchende war dabei an der Unterseite der Instrumentenablage des schwenkbaren Arztelements des zahnärztlichen Behandlungstuhls fixiert. Sofern das Schlauchende anders positioniert war, wird dieses nachfolgend erwähnt.

Zusätzlich wurden zeitgleich Partikelproben aus der Raumluft am Arbeitsplatz der jeweiligen Beschäftigten auf kohlenstoffbeschichteten Probenträgern zur rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung und energiedispersiven Röntgenmikroanalyse gewonnen.

Einen Überblick über die gemessenen Teilchenkonzentrationen während repräsentativer Tätigkeiten gibt Tabelle 5.10.

Tabelle 5.10: Höhe der Partikelkonzentration bei verschiedenen repräsentativen Tätigkeiten (Auswahl)

Lokalisation und spezifische Tätigkeit	Raumkonzentration (pt/cm ³)	Spitzenkonzentration (pt/cm ³)
Hintergrundkonzentration in den einzelnen Kliniken und Abteilungen		
Behandlungssaal, Behandlungsboxen, Klinik I und II	2.000 - 10.000	2.000 - 10.000
Zahntechnisches Labor, Klinik I und II	5.000 - 10.000	5.000 - 10.000
OP-Saal, Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie	< 50	< 50
Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde (Klinik I)		
Zahnstatuskontrolle und Untersuchung	2.000 - 2.500	2.000 - 2.500
Sensibilitätsprüfung mit Propan- und Butan-haltigem Kältespray	6.500	58.000
Intraorale Bohr- und Schleifarbeiten in größerem Umfang unter Wasserkühlung/-spülung und Absaugung	5.000	9.500
Erhitzen von Instrumenten in der offenen Flamme während einer Wurzelkanalbehandlung	3.000	184.000

5 Ergebnisse

Lokalisation und spezifische Tätigkeit	Raumkonzentration (pt/cm ³)	Spitzenkonzentration (pt/cm ³)
Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (Klinik II)		
Schleifen von temporärem Zahnersatz aus PMMA mit einer Trennscheibe (Korngröße: 151 µm) ohne Absaugung	2.000 - 5.000	425.000
Schleifen von temporärem Zahnersatz aus PMMA mit einer Trennscheibe (Korngröße: 151 µm) unter Absaugung	2.000 - 5.000	24.000
Schleifen von temporärem Zahnersatz aus PMMA mit Diamantschleifkörper unter Absaugung	2.000 - 5.000	< 10.000
Schleifen von Glaskeramik-Glasur ohne Absaugung	3.000	167.000
Schleifen von Glaskeramik-Glasur unter Wasserkühlung/-spülung und Absaugung	3.000	5.700
Schleifen von Zirkonoxidkeramik ohne Absaugung	3.000	45.000
Schleifen von Zirkonoxidkeramik unter Wasserkühlung/-spülung und Absaugung	3.000	7.000
Zahntechnische Labore der Kliniken I und II		
Modellierarbeiten am Wachsmo- dell bei brennendem Bunsen- brenner	5.000 - 10.000	122.000
Fräsen von PMMA-Werkstück ohne Absaugung	3.000 - 5.000	< 160.000
Fräsen von PMMA-Werkstück unter Absaugung	3.000 - 5.000	5.000
Schleifen von NEM-Legierung ohne Absaugung	3.000 - 5.000	51.000
Polieren von NEM mit Gummipolierer ohne Absaugung	3.000 - 5.000	272.000 - 351.000
Fräsen von Zahngoldlegierung ohne Absaugung	< 6.000	16.000 - 36.000
Polieren von Zahngoldlegierung mit Gummipolierer	< 6.000	14.000 - 18.000
Polieren von Zahngold mit Silikonpolierer	< 6.000	6.000
Polieren von Zahngold mit Polierbürstchen aus chinesischem Schweinehaar („schwarzes Bürstchen“)	< 6.000	13.000 - 14.000
Polieren von Zahngold mit Polierbürstchen aus Ziegenhaar („weißes Bürstchen“)	< 6.000	6.000
Operationssaal der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie		
Schleif-, Bohr- und Polierarbeiten unter Wasserkühlung/-spülung und Absaugung	50	3.600
Desinfektions- und Reinigungsarbeiten		
Sprühdesinfektion	3.000	6.000 - 10.000
Mattierungsspray		
Simulation der Applikation im Labor (Institut für Arbeitsmedizin)	2.500	410.000

5.2.1 Hintergrundkonzentrationen

Die Hintergrundkonzentrationen in den Behandlungsräumen der Klinik I, siehe Abbildung 5.1, und Klinik II, siehe Abbildung 5.2, sowie in den beiden daran angeschlossenen zahntechnischen Laboren betragen jeweils - teils in Abhängigkeit von der Raumlüftung - ca. 2.000 bis unter 10.000 Partikel pro cm^3 (pt/cm^3) Luft.

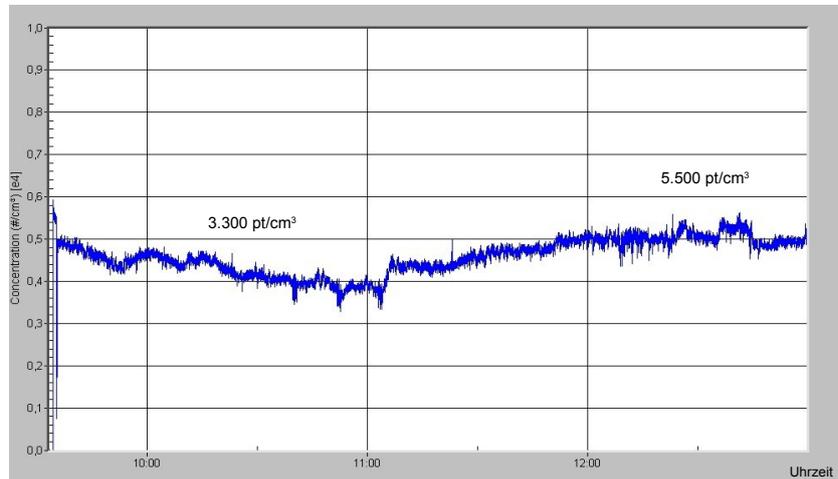


Abbildung 5.1: Partikel-Hintergrundkonzentration in einem Behandlungszimmer der Klinik I

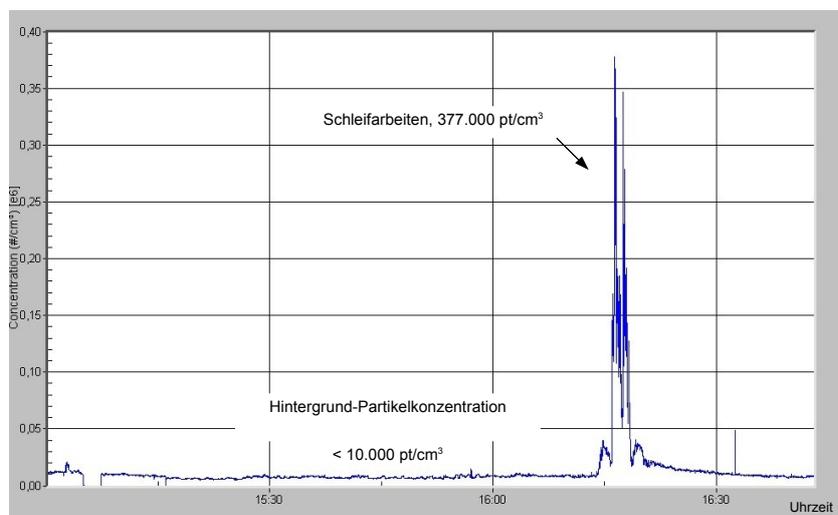


Abbildung 5.2: Partikel-Hintergrundkonzentration im Behandlungssaal der Klinik II

5.2.2 Zahnärztliche Behandlung

Während der zahnärztlichen Untersuchungen von Patienten mit Kontrolle des Zahnstatus bzw. während Tätigkeiten, bei denen keine rotierenden Instrumente, Wasserkühlung oder -spülung sowie Druckluft zum Abblasen eingesetzt wurden, konnten im Allgemeinen keine wesentlichen Anstiege der Partikelkonzentration im Vergleich zur Hintergrundkonzentration gemessen werden, siehe Abbildung 5.3.



Abbildung 5.3: Zahnärztliche Behandlung

Bei der Überprüfung der Pulpasensibilität ließen sich bei der Verwendung eines Kältesprays⁹, das am Stuhl auf einen mit einer Pinzette gehaltenen, mehrere Millimeter durchmessenden Wattebausch aufgesprüht wurde, sehr kurze, d.h. im Sekundenbereich liegende, hohe Teilchenanstiege bis über 50.000 pt/cm³ Luft messen. Die Partikelkonzentrationen lagen dann bei Werten zwischen 11.000 bis etwa 58.000 pt/cm³, siehe Abbildung 5.4 auf Seite 56.

Intraorale Bohr- und Schleifarbeiten zur Entfernung von Karies mit rotierenden Instrumenten unter Wasserkühlung und -spülung bei gleichzeitiger Absaugung mit einem Handsauger durch das assistierende Personal, siehe Abbildung 5.5 auf Seite 56, erzeugten mit wenigen tausend Partikeln pro cm³ Luft nur geringe Anstiege der Partikelkonzentration. Die Konzentrationen bewegten sich bei diesen Tätigkeiten in einem Bereich von unter 10.000 pt/cm³, siehe Abbildung 5.6 auf Seite 56.

⁹Inhaltsstoffe laut Sicherheitsdatenblatt: Propan, Butan und ätherisches Öl. Hersteller: Pluradent AG & Co KG, Offenbach, Deutschland

5 Ergebnisse

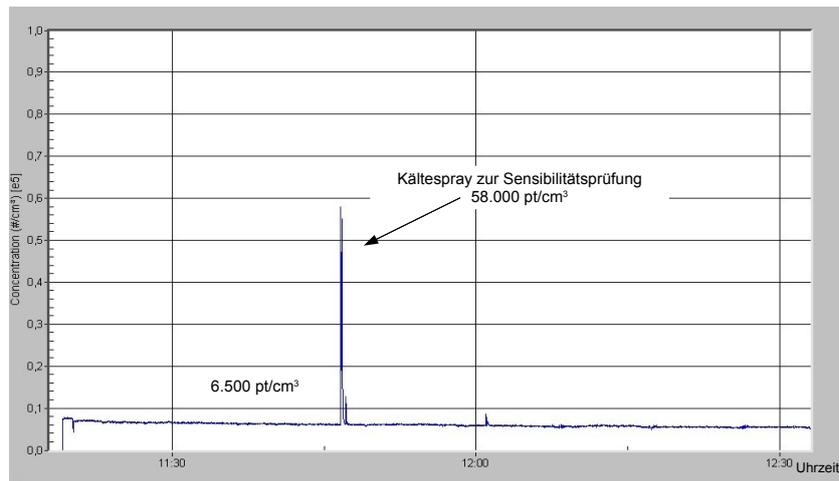


Abbildung 5.4: Partikelkonzentrationsmessung während der zahnärztlichen Behandlung mit Befunderhebung und Überprüfung der Pulpasensibilität mit einem Kältespray

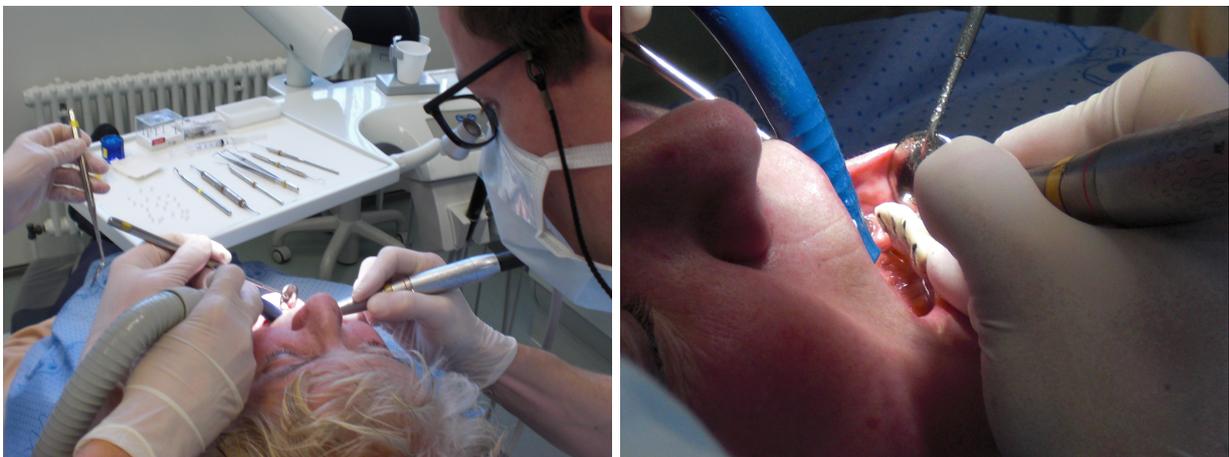


Abbildung 5.5: Intraorale Arbeiten mit schnellrotierendem Instrument unter Absaugung

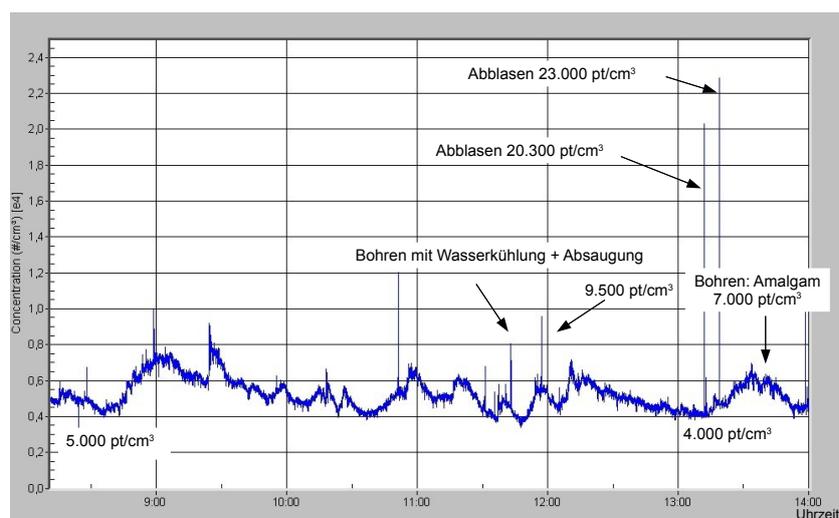


Abbildung 5.6: Partikelkonzentrationsmessung während intraoralem Arbeiten mit einem schnellrotierenden Instrument und anschließendem Abblasen des abgetragenen Materials

Das intraorale Abblasen mit Druckluft von zuvor abgetragenen Bohr- und Schleifmaterial wie Karies oder altem Füllungsmaterial war mit kurzen Anstiegen der Partikelzahl um etwa 5.000 bis annähernd 20.000 pt/cm³ Luft verbunden. Die gemessenen Konzentrationen lagen hierbei zwischen 12.000 und über 23.000 pt/cm³, siehe Abbildung 5.6 auf Seite 56.

Spülen des intraoralen Arbeitsfeldes mit Wasser und unmittelbar folgendes Ab- und Trockenblasen mit Druckluft erzeugte dagegen kurzzeitig Spitzenkonzentrationen bis 155.000 pt/cm³, vgl. hierzu Abbildung 5.8 auf Seite 58.

Ebenfalls kurzzeitige Spitzenkonzentrationen bis ca. 180.000 pt/cm³ konnten beim Abblasen einer Silikon-Polierscheibe gemessen werden, mit der zuvor ein Zahnprovisorium aus Komposit-Kunststoff bearbeitet worden war, vgl. hierzu Abbildung 5.13 auf Seite 60.

Während umfangreicher Schleif- und Polierarbeiten mit Einsatz der Wasserkühlung/-spülung bei einem narkotisierten Patienten in einem Operationssaal¹⁰ fanden sich bei eingeschalteter Raumlüftung maximale Partikelkonzentrationen von < 4.000 pt/cm³. Die zuvor gemessene Hintergrundkonzentration im OP-Saal betrug weniger als 50 pt/cm³ Luft, siehe Abbildung 5.7.

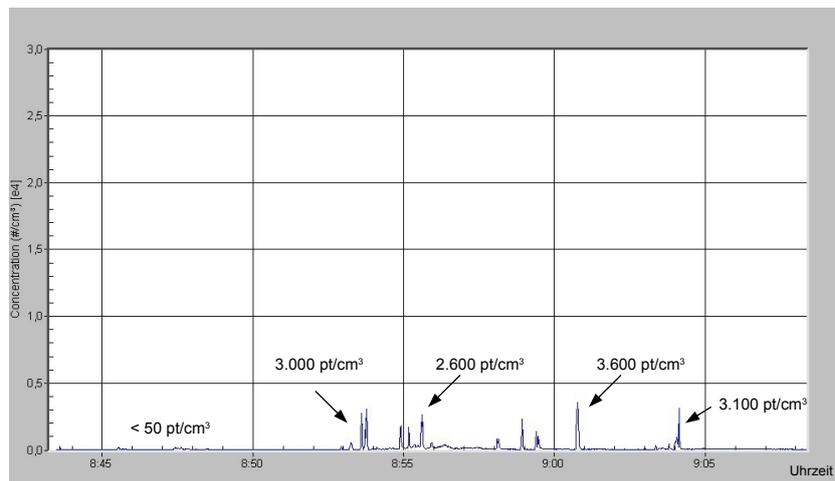


Abbildung 5.7: Partikelkonzentrationsmessung während der zahnärztlichen Behandlung eines narkotisierten Patienten in der MKG mit Schleif- und Polierarbeiten unter Wasserkühlung/-spülung

Hohe Partikelkonzentrationen stellten sich bei der Verwendung offener Flammen (Spiritusflamme bzw. Bunsenbrenner) ein. Während der Wurzelkanalbehandlung, bei der mit einem über einer Flamme erhitzten Instrument die überstehenden Enden der zum Verschließen des Wurzelkanals eingeführten Kautschukgemischstifte (Guttapercha, siehe Kapitel 5.1.1.7) entfernt wurden, konnten Partikelkonzentrationen bis über 180.000 pt/cm³ dokumentiert werden, siehe Abbildung 5.8 auf Seite 58.

¹⁰Die Behandlung erfolgte durch einen Oberarzt der Klinik I in den OP-Räumlichkeiten der Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Universitätsklinikum des Saarlandes, Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. W. J. Spitzer.

5 Ergebnisse

Die Flamme wurde erst kurze Zeit vor Gebrauch entzündet und unmittelbar danach wieder gelöscht. Die Spitzenkonzentration fiel nach dem Löschen der Flamme rasch wieder ab. Die Partikelzahl blieb jedoch im Verlauf über längere Zeit im Vergleich zur Hintergrundkonzentration erhöht und reduzierte sich nur langsam.

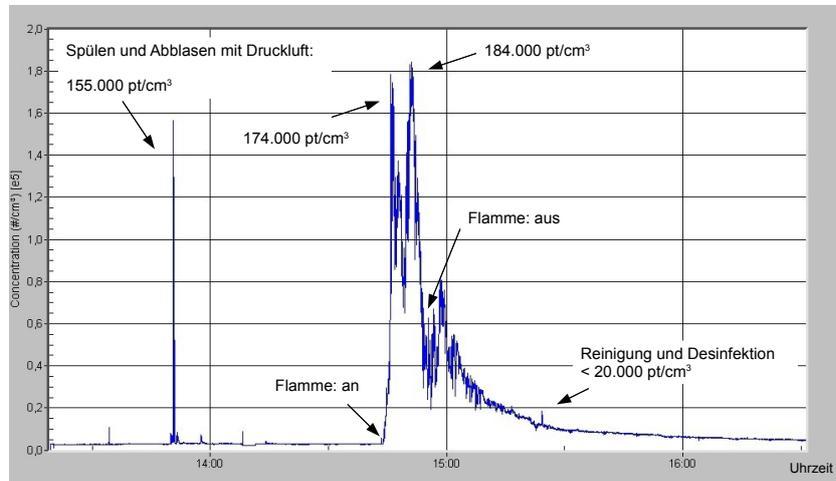


Abbildung 5.8: Partikelkonzentrationsmessung während einer Wurzelkanalbehandlung mit Verwendung einer offenen Flamme, anschließend Reinigungs- und Desinfektionsarbeiten

Arbeiten mit der Fräse an einer Zahnprothese aus Polymethylmethacrylat (PMMA) ohne Absaugung erzeugten kurze, sehr hohe Spitzenkonzentrationen von 150.000 bis 350.000 pt/cm^3 Luft, siehe Abbildungen 5.9 und 5.10.



Abbildung 5.9: Bearbeitung einer Prothese aus Polymethylmethacrylat

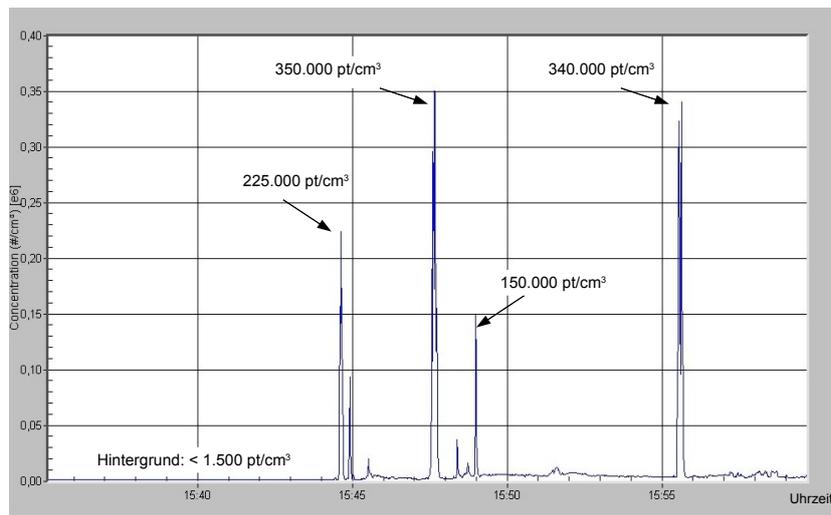


Abbildung 5.10: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen einer PMMA-Prothese mit der Fräse ohne Absaugung am Behandlungsstuhl

Während und nach der Bearbeitung eines temporären Zahnersatzes auf Basis mehrfach funktioneller Methacrylsäureester (Komposit) mit einer diamantierten Trennscheibe (Korngröße: $151\ \mu\text{m}$) konnten, wenn keine Handabsaugung durch das assistierende Personal erfolgte, über eine Dauer von etwa 90 Sekunden Konzentrationen von deutlich über 100.000 bis meist $200.000\ \text{pt}/\text{cm}^3$ und mehrmalige Spitzenwerte von über 300.000 bis maximal $425.000\ \text{pt}/\text{cm}^3$ dokumentiert werden. Bei derselben Tätigkeit unter Verwendung eines Handsaugers konnte dann eine Reduktion der Partikelanzahl auf maximal $24.000\ \text{pt}/\text{cm}^3$ und ein Ausbleiben der kurzzeitigen hohen Spitzenkonzentrationen festgehalten werden, siehe Abbildungen 5.11 und 5.12.



Abbildung 5.11: PMMA-Schleifen: links mit einem Diamantschleifkörper, rechts mit einer Trennscheibe

5 Ergebnisse

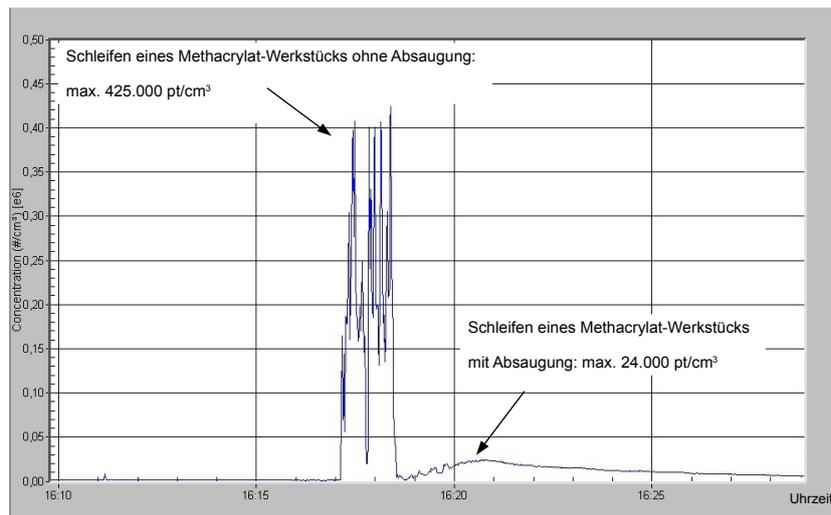


Abbildung 5.12: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen eines temporären Zahnersatzes aus Komposit-Kunststoff ohne und mit Absaugung

Ähnliche Versuche, die von einem anderen zahnärztlichen Mitarbeiter durchgeführt wurden, zeigten unter Absaugung Partikelkonzentrationen zwischen 4.000 und 10.000 pt/cm³ sowie einzelne hohe Spitzenwerte von < 20.000 bis maximal 115.000 pt/cm³. Die zuvor durchgeführte Nachbearbeitung und das Abschleifen von Kanten und Graten mit einem Diamantschleifer ließ dagegen nur geringe Konzentrationen von unter 10.000 pt/cm³ entstehen, siehe Abbildung 5.13.

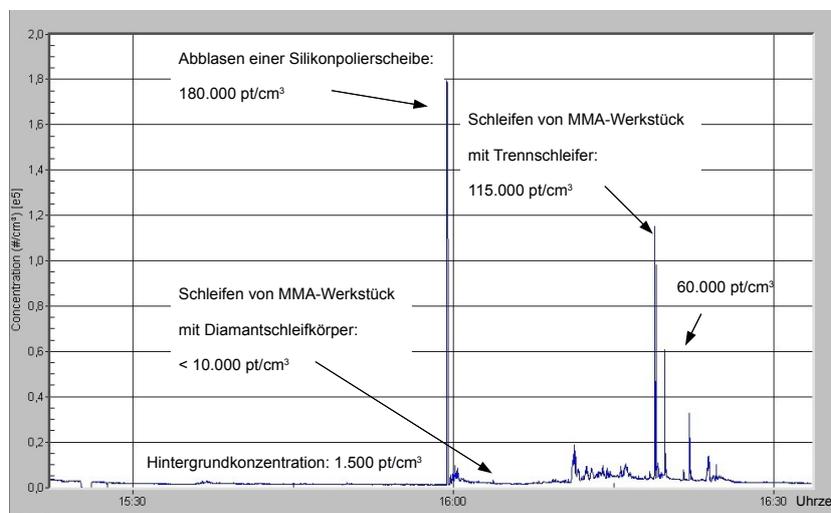


Abbildung 5.13: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen eines temporären Zahnersatzes aus Komposit-Kunststoff mit verschiedenen Schleifkörpern

Oben genannte Arbeiten werden regelmäßig von zahnmedizinischen Fachangestellten (ZFA) ohne die Assistenz einer weiteren Person ausgeführt. Sie erfolgen im Normalfall aus organisatorischen und technischen Gründen sowie wegen der einfacheren Handhabung ohne die Verwendung einer Absaugung. Messungen der Partikel, während diese Tätigkeiten von einer ZFA durchgeführt wur-

den, ließen kurze, sehr hohe Spitzenkonzentrationen von bis zu 375.000 pt/cm^3 erkennen, siehe Abbildungen 5.14 und 5.15.



Abbildung 5.14: PMMA-Schleifen mit einer Trennscheibe ohne und mit Absaugung

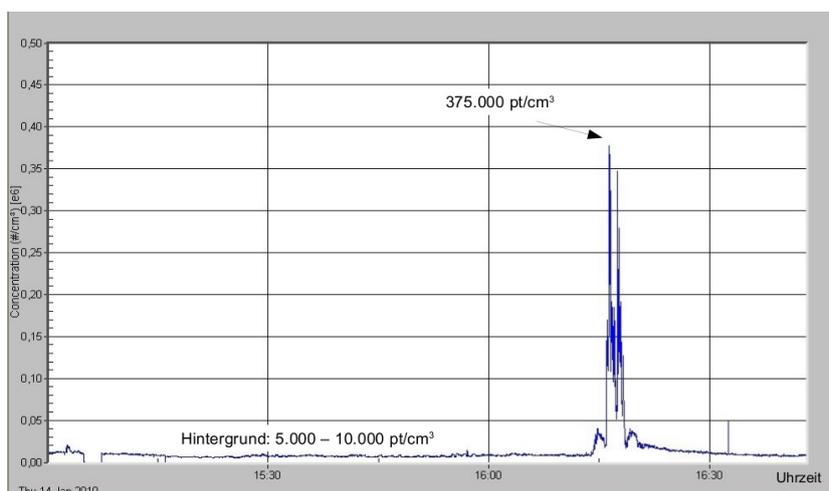


Abbildung 5.15: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen eines temporären Zahnersatzes aus Komposit-Kunststoff

Unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) konnten in Partikelproben, die während der oben genannten Schleifarbeiten an temporärem Zahnersatz gewonnen wurden, mehrere Mikrometer (μm) große Strukturen von wolkenartigem Aussehen dokumentiert werden. In diesen wolkenigen Strukturen waren neben größeren Teilchen auch zahlreiche sehr kleine Partikel mit einer Kantenlänge von unter 100 nm eingebettet, siehe Abbildung 5.16 auf Seite 62.

Anhand der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse (EDX) konnten als wesentliche Bestandteile dieser kleinen, mitunter nanoskaligen Partikel Silicium, Aluminium sowie Ytterbium und Fluor identifiziert werden, siehe Abbildung 5.17 auf Seite 62.

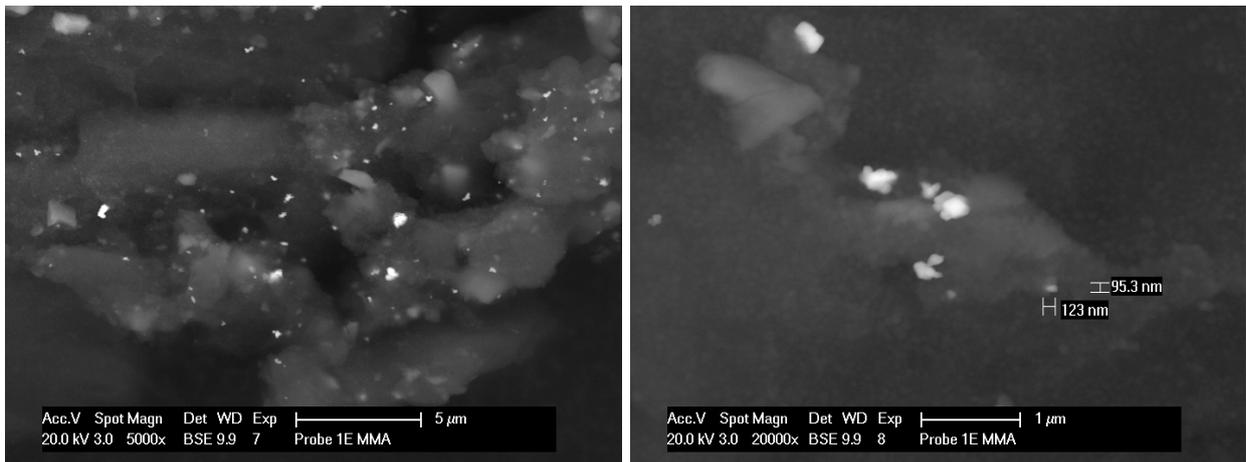


Abbildung 5.16: REM-Aufnahmen von beim Beschleifen eines temporären Zahnersatzes (Komposit) gewonnenen Partikelproben in der Übersicht, 20.000-fache Vergrößerung

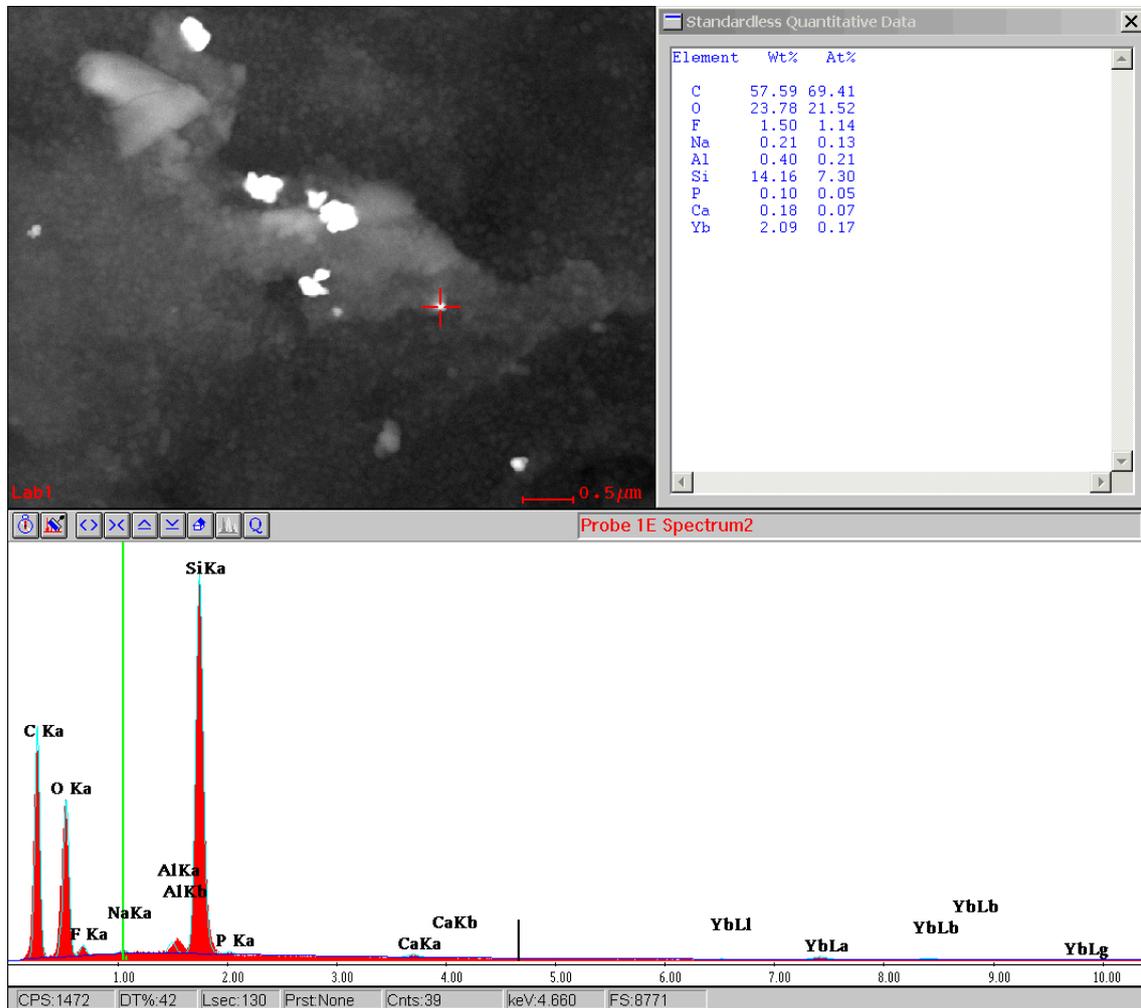


Abbildung 5.17: EDX-Analyse von beim Beschleifen eines temporären Zahnersatzes (Komposit) gewonnenen Partikelproben, vgl. obige Abbildung, mit Nachweis von Silicium, Aluminium, Ytterbium und Fluor

Schleifarbeiten mit einer Diamant-Fräse an einem modernen, mit Glaskeramik überzogenen fest-sitzenden Zahnersatz aus Zirkonoxidkeramik erzeugten - in Abhängigkeit vom jeweils bearbeiteten Material und von der Verwendung einer Wasserkühlung bzw. -spülung bei gleichzeitiger Absaugung durch das assistierende Personal - Teilchenkonzentrationen zwischen 3.000 bis maximal 167.000 pt/cm³, siehe Abbildungen 5.18 und 5.19. Solche oder ähnliche Korrekturarbeiten und Einschleifarbeiten an Zirkonoxidkeramiken mit schnellrotierenden Instrumenten werden regelmäßig von einem Teil der untersuchten zahnärztlichen Mitarbeiter durchgeführt.

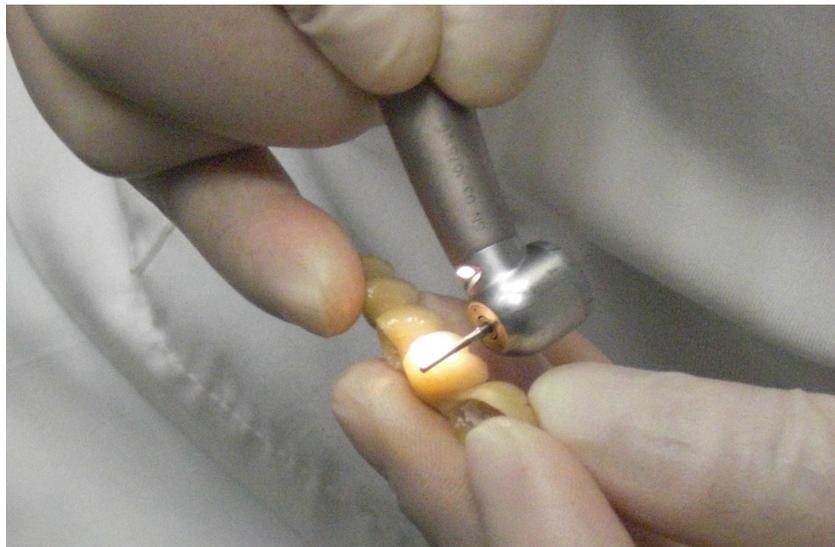


Abbildung 5.18: Schleifen von Zirkonoxidkeramik mit Glaskeramikglasur

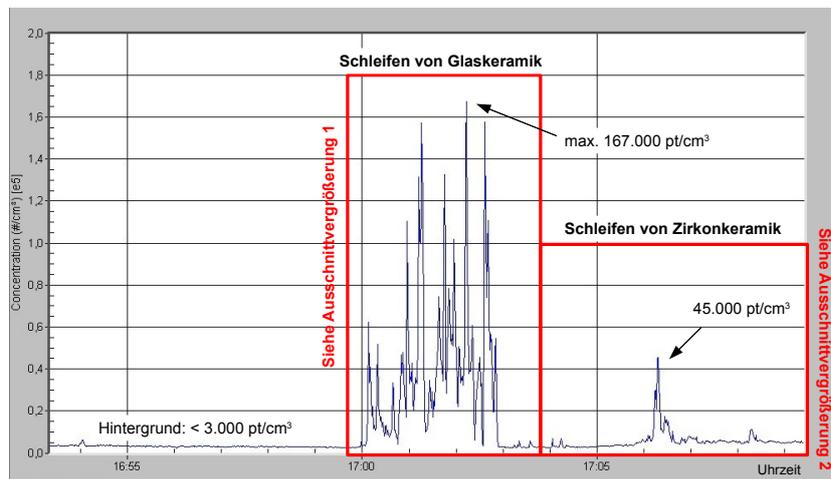


Abbildung 5.19: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen einer Glaskeramikglasur in der Übersicht

Zu Beginn wurde die aus Glaskeramik bestehende Glasur ohne Wasserkühlung beschliffen. Dabei konnten Teilchenkonzentrationen zwischen 30.000 und 60.000 pt/cm³ sowie zahlreiche Spitzenwerte um 100.000 bis maximal 167.000 pt/cm³ gemessen werden. Unter Wasserkühlung war bei Wiederholung der Tätigkeit eine sehr deutliche Reduktion der Partikelzahl auf unter 6.000 pt/cm³ Luft zu verzeichnen, siehe Abbildung 5.20.

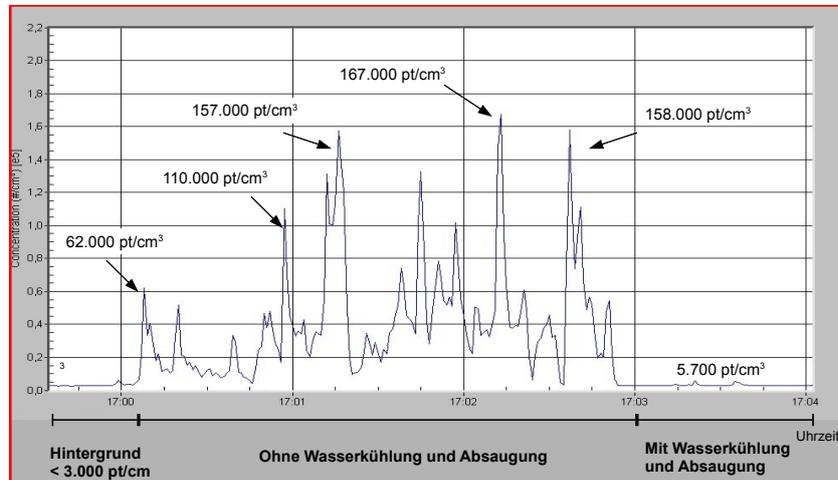


Abbildung 5.20: Ausschnittvergrößerung 1: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen einer Glaskeramik ohne und mit Wasserkühlung/-spülung

In den bei diesen Arbeiten gewonnenen Partikelproben aus der Raumluft konnten unter dem REM vorwiegend große, mehrere μm messende Partikel identifiziert werden, siehe Abbildung 5.21. Zudem ließen sich auch zahlreiche kleinere Teilchen mit einer Größe von unter 1 μm bestimmen. Als wesentlicher Bestandteil konnte Silicium ausgemacht werden. Weitere Elemente, die als Bestandteil in der EDX-Analyse nachweisbar waren, sind u.a. Aluminium und Kalium, siehe Abbildung 5.22.

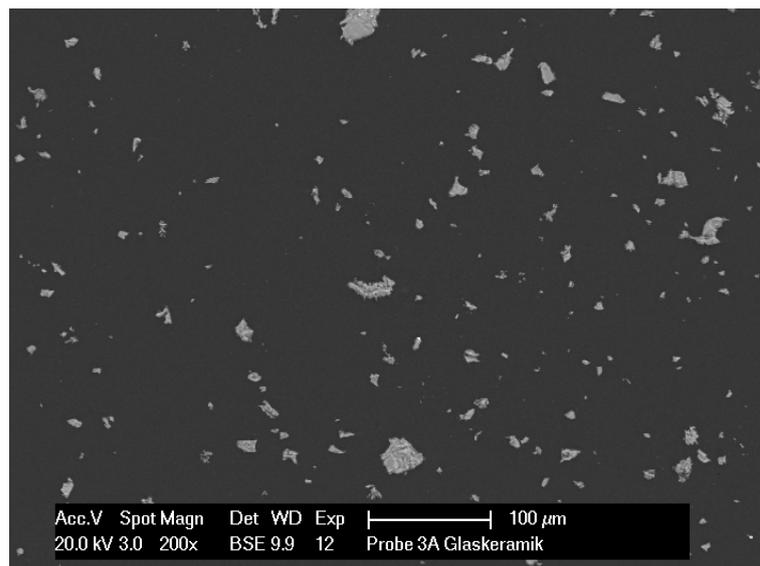


Abbildung 5.21: REM-Aufnahme von beim Beschleifen einer Glaskeramik-Glasur gewonnenen Partikelproben, 200-fache Vergrößerung

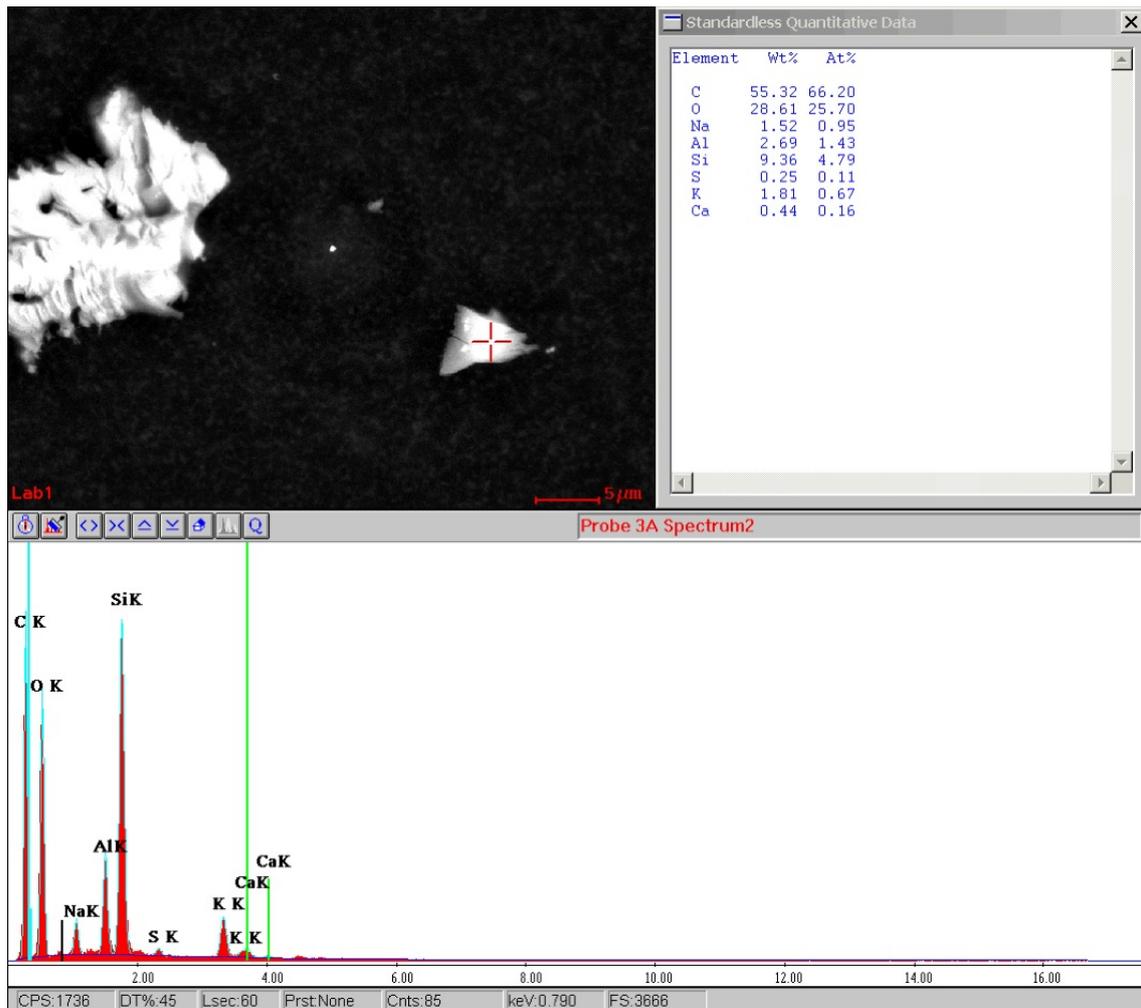


Abbildung 5.22: EDX-Analyse von beim Beschleifen einer Glaskeramik-Glasur gewonnenen Partikelproben mit Nachweis von Silicium und Aluminium

Zusätzlich ließ sich in einer Partikelprobe, die während des Beschleifens der Glaskeramik-Glasur gewonnen wurde, unter dem Rasterelektronenmikroskop ein ca. 423 x 458 nm großes Partikel nachweisen, das anhand der EDX-Analyse eindeutig als Zirkonium-haltig identifiziert werden konnte, siehe Abbildungen 5.23 und 5.24 auf Seite 66.

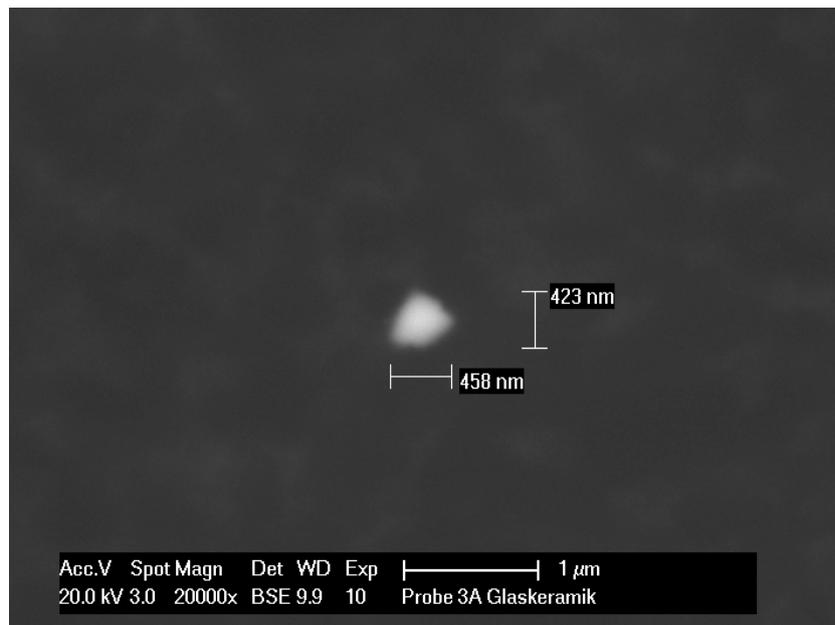


Abbildung 5.23: REM-Aufnahme eines beim Beschleifen einer Glaskeramik-Glasur freigesetzten Zirkoniumhaltigen Partikels, 20.000-fache Vergrößerung, vgl. nachfolgende Abbildung

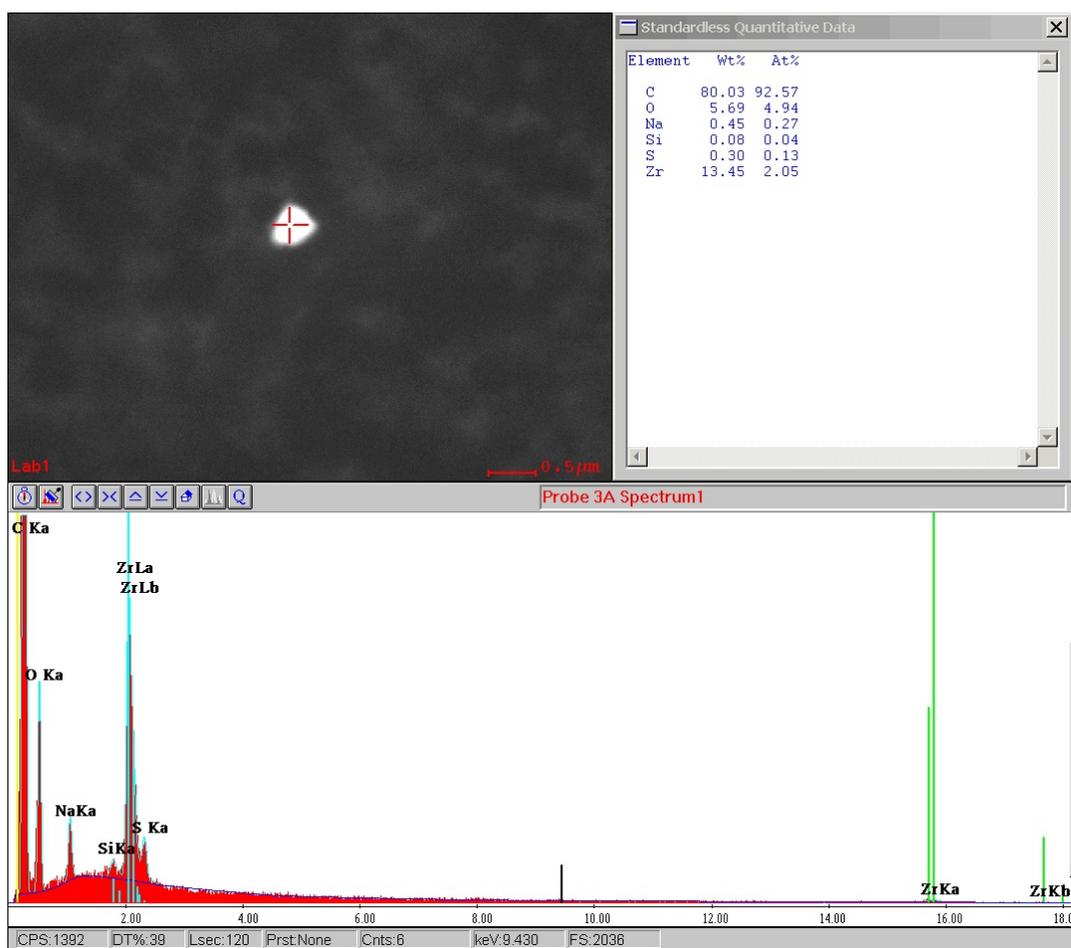


Abbildung 5.24: EDX-Analyse eines beim Beschleifen einer Glaskeramik-Glasur freigesetzten Zirkoniumhaltigen Partikels

Die von der Glaskeramikglasur überzogene Yttrium-verstärkte Zirkonoxidkeramik wurde in einem nachfolgenden Schritt bearbeitet. Hier erfolgte die Partikelmessung während des Beschleifens der Zirkonoxidkeramik zuerst unter Verwendung der Wasserkühlung/-spülung und bei gleichzeitiger Absaugung durch eine ZFA. Bei dieser Tätigkeit konnten Partikel in einem Konzentrationsbereich von 3.000 bis 7.000 pt/cm³ gemessen werden. Während der Durchführung derselben Tätigkeit ohne Verwendung der Wasserkühlung/-spülung ließen sich Partikelkonzentrationen in einem Bereich bis etwa 45.000 pt/cm³ nachweisen, siehe Abbildung 5.25.

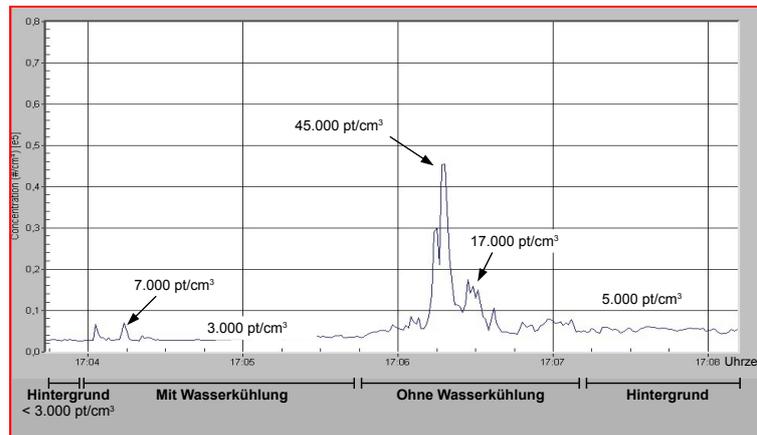


Abbildung 5.25: Ausschnittvergrößerung 2: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen einer Yttrium-dotierten Zirkonoxidkeramik mit und ohne Wasserkühlung/-spülung

Rasterelektronenmikroskopisch waren zahlreiche mehrere μm -große Partikel nachzuweisen. Zudem konnten viele sehr kleine Teilchen dargestellt werden, die in ihrem Durchmesser Abmessungen von teils deutlich unter 100 nm aufwiesen und die mittels der EDX-Analyse nachweislich als Zirkonium-haltige Partikel ausgemacht werden konnten, siehe Abbildungen 5.26, 5.27 und 5.28.

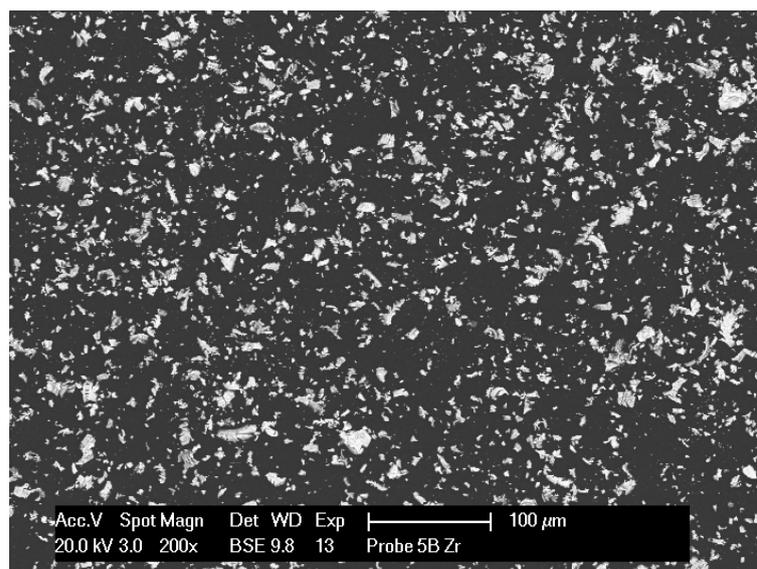


Abbildung 5.26: REM-Aufnahme von beim Beschleifen einer Yttrium-dotierten Zirkonoxidkeramik gewonnenen Partikelproben aus der Raumluft in der Übersicht, 200-fache Vergrößerung

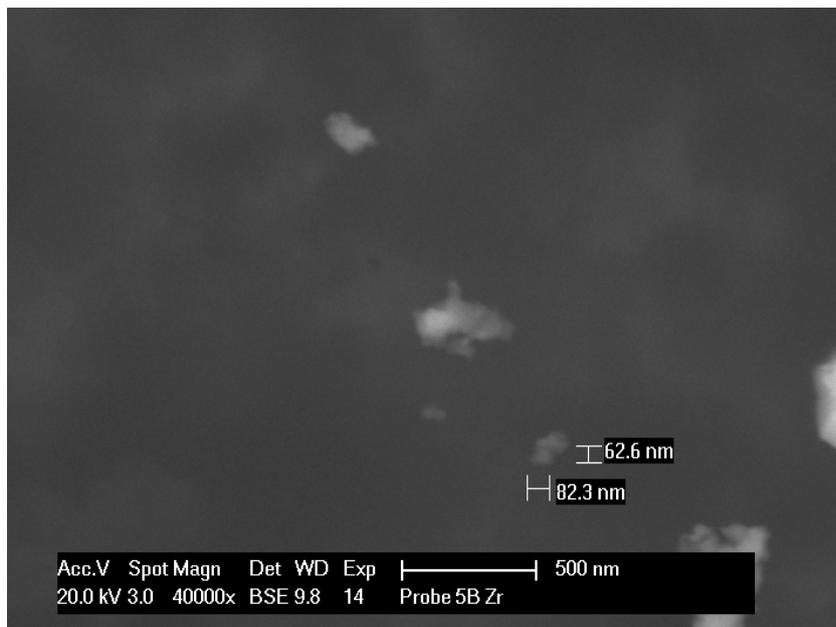


Abbildung 5.27: REM-Aufnahme von beim Beschleifen einer Yttrium-dotierten Zirkonoxidkeramik gewonnenen Partikelproben mit Nachweis nanoskaliger Partikel

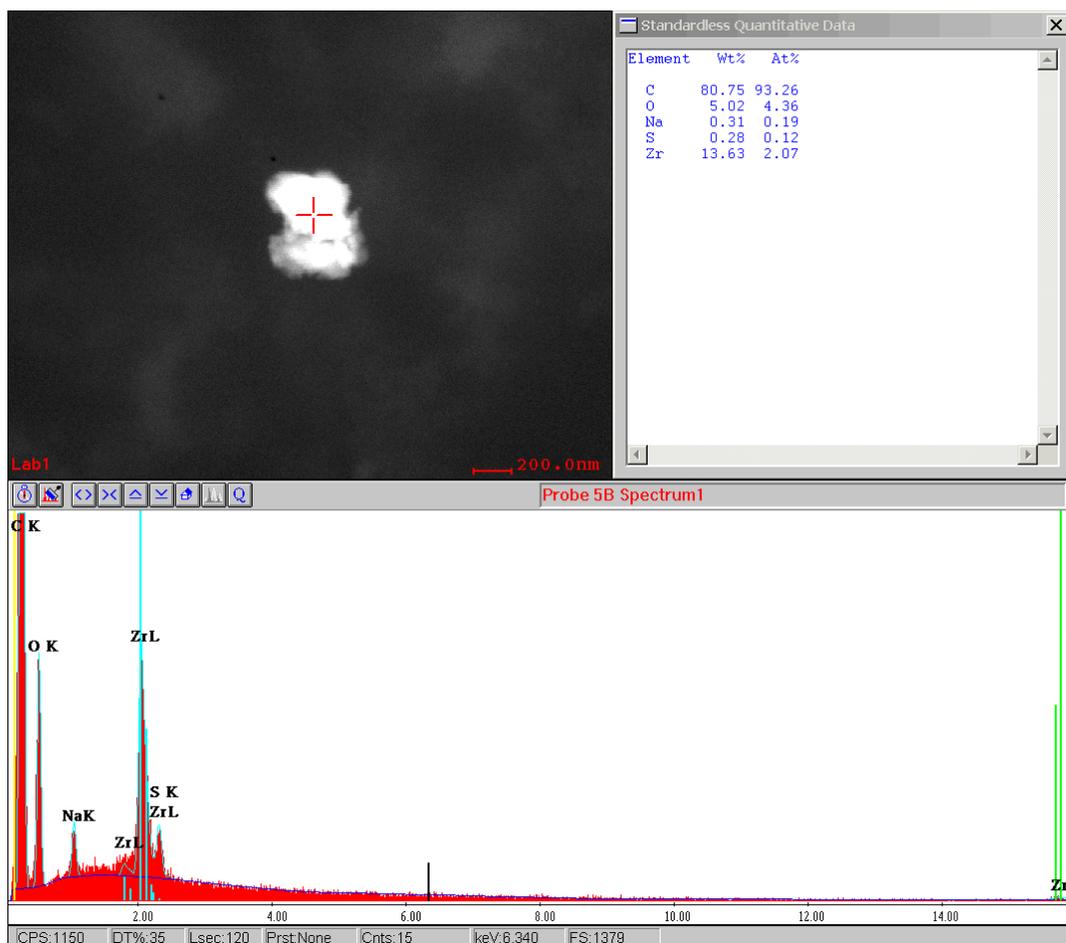


Abbildung 5.28: EDX-Analyse von beim Beschleifen einer Yttrium-dotierten Zirkonoxidkeramik gewonnenen Partikelproben mit Nachweis von Zirkonium

Unter Laborbedingungen wurde in unserem Institut die Anwendung eines Mattierungssprays (Dentaco scan'dry, Dentaco Dentalindustrie und -marketing GmbH, Bad Homburg, Deutschland) nachgestellt, das eine Pigmentsuspension in Ethanol und als Treibgas fluorierten Kohlenstoff¹¹ enthält und für die orale Applikation zur Herstellung von Zahnersatz mit einem CAD/CAM-System bestimmt ist.

Die Versuche wurden im Laborabzug sowohl bei offenem als auch geschlossenem Fenster durchgeführt. Der Abzug war während der Versuche nicht in Betrieb. Die Applikation erfolgte nach Anweisung des Herstellers. Für die Durchführung der Versuche wurde dem CPC 3007 das Dynamische Verdünnungssystem DDS 560 vorgeschaltet. Die Sprühdauer betrug ca. 2 Sekunden. Zum Aufbau der Versuchsanordnung siehe Abbildung 5.29.



Abbildung 5.29: Mattierungsspray: Übersicht der Versuchsanordnung im Labor

Während der mehrfachen, zeitlich versetzt durchgeführten Sprühversuche konnten Partikelkonzentrationen von ca. 410.000 pt/cm^3 bei geschlossenem Abzugsfenster dokumentiert werden. Sprühversuche bei geöffnetem Abzug zeigten Partikelkonzentrationen bis 130.000 pt/cm^3 . Die Partikelkonzentrationen blieben nach der Anwendung noch über viele Sekunden in einem Konzentrationsbereich von z.T. über 50.000 pt/cm^3 bestehen und reduzierten sich nur langsam im Verlauf von mehreren Minuten, siehe Abbildung 5.30 auf Seite 70.

¹¹Inhaltsstoffe laut beiliegender Verarbeitungsanleitung des Herstellers

5 Ergebnisse

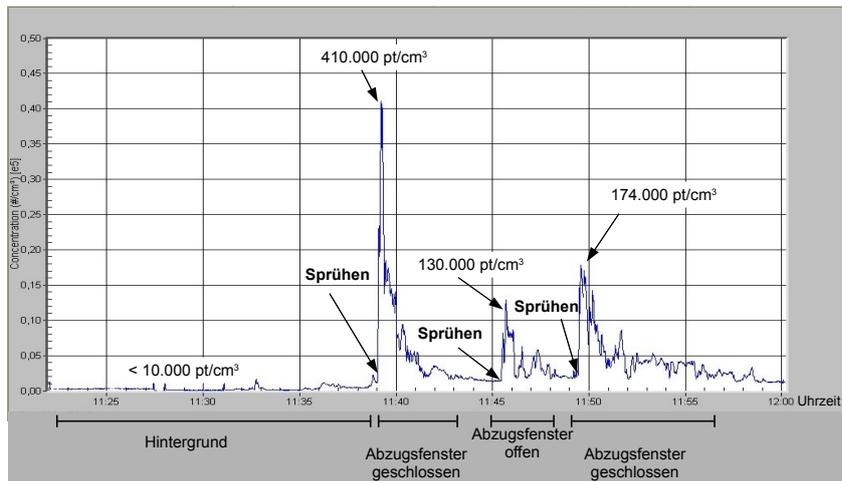


Abbildung 5.30: Partikelkonzentrationsmessung bei Anwendung eines Mattierungssprays unter Laborbedingungen

Unter dem REM ließen sich in Partikelproben vorwiegend Partikel in der Größenordnung von kleiner als 150 bis 200 nm erkennen. Die Partikel hatten sich hauptsächlich zu großen, mehrere μm messenden Agglomeraten zusammengelagert, siehe Abbildung 5.31. Daneben fanden sich jedoch auch zahlreiche deutlich kleinere und auch nanoskalige Teilchen mit einer Größe von unter 100 nm, siehe Abbildungen 5.32 und 5.33 auf Seite 71.

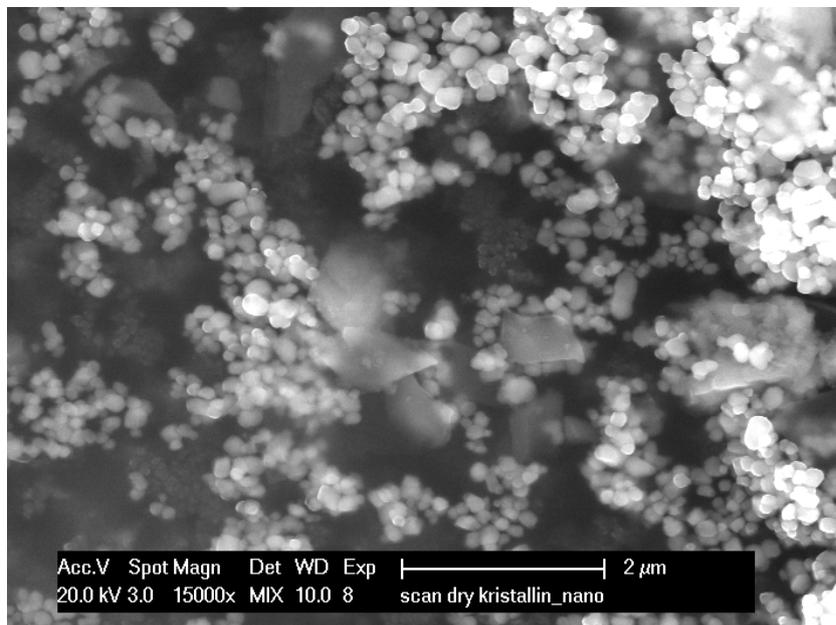


Abbildung 5.31: REM-Aufnahme von bei Anwendung eines Mattierungssprays gewonnenen Partikelproben, Übersichtsvergrößerung, 15.000-fache Vergrößerung

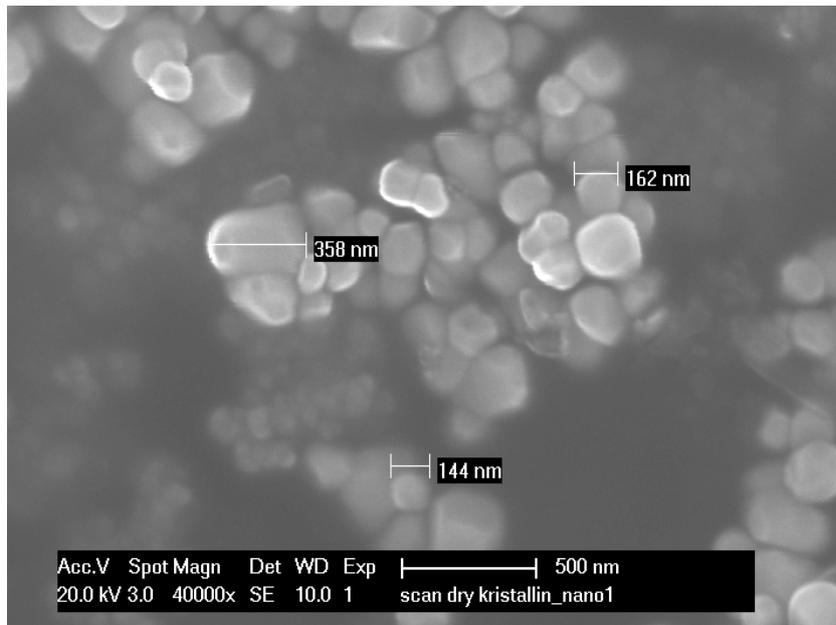


Abbildung 5.32: REM-Aufnahme von bei Anwendung eines Mattierungssprays gewonnenen Partikelproben, 40.000-fache Vergrößerung

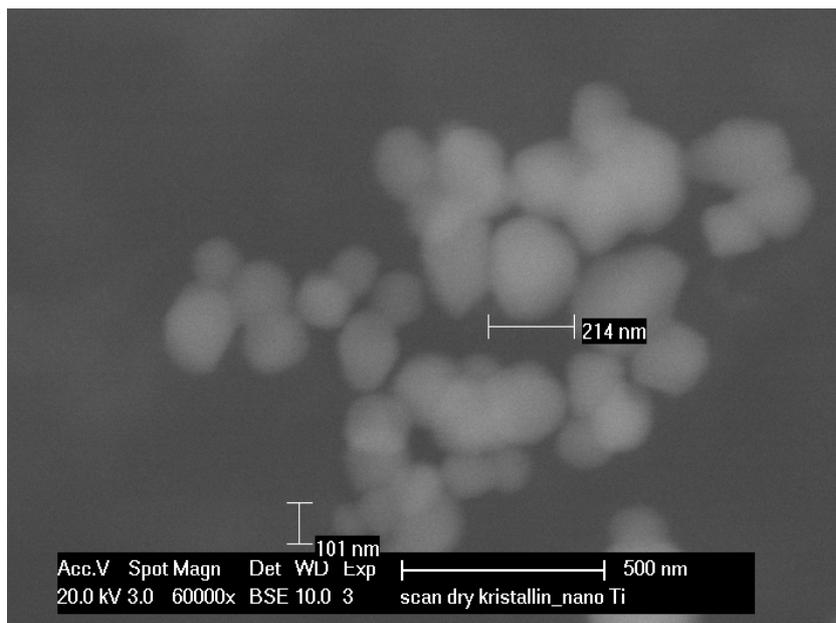


Abbildung 5.33: REM-Aufnahme von bei Anwendung eines Mattierungssprays gewonnenen Partikelproben, 60.000-fache Vergrößerung

Als wesentlicher Bestandteil dieser teils nanoskaligen Partikel konnten anhand der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse die Elemente Titan, Silicium und Magnesium identifiziert werden, siehe Abbildungen 5.34 und 5.35 auf Seite 72.

5 Ergebnisse

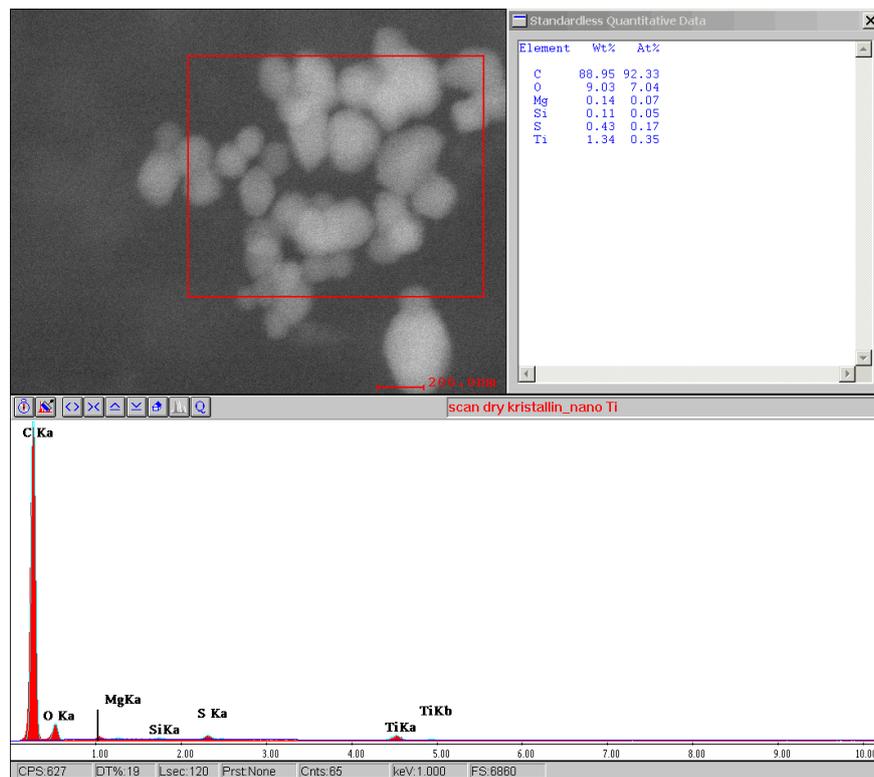


Abbildung 5.34: EDX-Analyse von bei Anwendung eines Mattierungssprays gewonnenen Partikelproben mit Nachweis von Titan

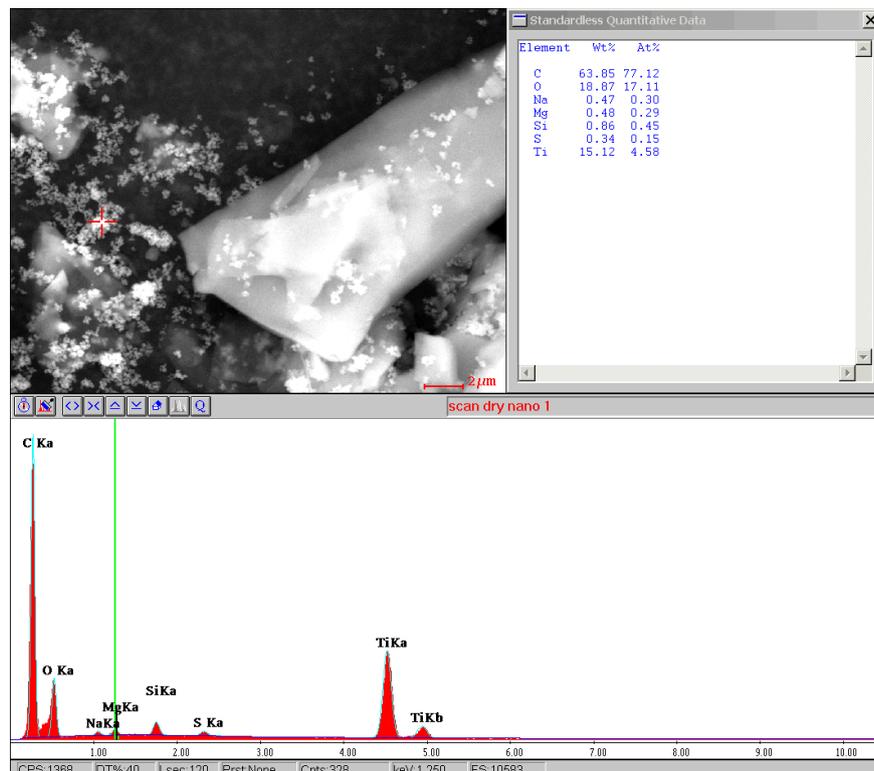


Abbildung 5.35: EDX-Analyse von bei Anwendung eines Mattierungssprays gewonnenen Partikelproben mit Nachweis von Titan und Silicium

Reinigungs- und Desinfektionsarbeiten im Behandlungszimmer wurden immer unmittelbar im Anschluss an die Patientenbehandlung von der assistierenden zahnmedizinischen Fachangestellten durchgeführt. Mit einer Sprühflasche wurde die Reinigungs- und Desinfektionslösung auf die Liegefläche des Behandlungsstuhls und die Apparaturen etc. aufgetragen und dann mit einem Tuch verrieben und abgewischt.

Diese Tätigkeiten waren mit kurzen, schnell wieder abfallenden Partikelanstiegen um bis zu ca. 7.000 pt/cm³ verbunden. Die Partikelkonzentrationen im Behandlungszimmer lagen dabei bei maximal ca. 12.000 pt/cm³, siehe Abbildung 5.36.

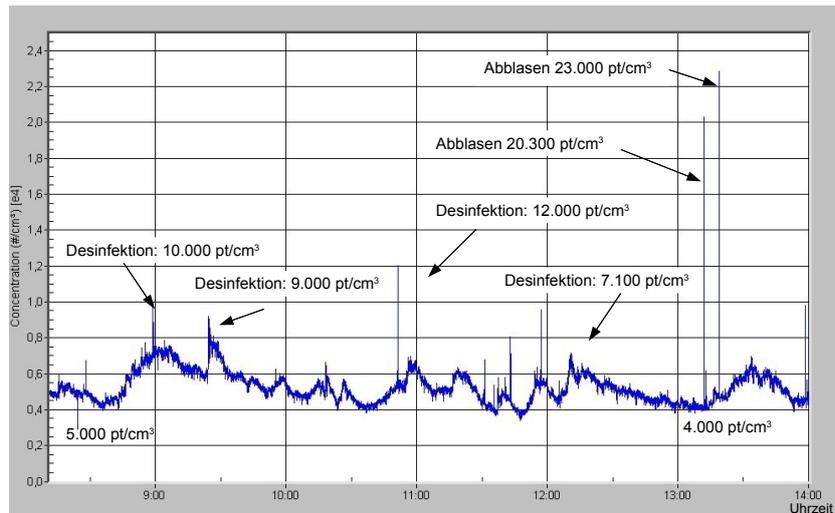


Abbildung 5.36: Partikelkonzentrationsmessung bei Reinigungs- und Desinfektionsarbeiten

5.2.2.1 Studentische Patientenbehandlung

Bei Messungen während der studentischen Patientenbehandlung in einem großen Saal mit insgesamt acht offenen Behandlungsboxen waren Partikelkonzentrationen bis annähernd 70.000 pt/cm³ nachweisbar. Die Hintergrundkonzentration vor Beginn des Kurses betrug etwa 8.000 pt/cm³. Das Messgerät selbst befand sich während der Messungen an dem im Lageplan angegebenen Messpunkt und wurde während der gesamten Behandlungs- bzw. Messzeit nicht umpositioniert, siehe Abbildung 5.37 auf Seite 74.

Mehrmalige unterschiedlich hohe, kurzzeitige Spitzenkonzentrationen von 40.000 bis maximal ca. 70.000 pt/cm³ Luft konnten auf den Einsatz von brennenden Spiritusflammen zurückgeführt werden. In zwei Behandlungsboxen (Boxen Nr. 2 und 6) wurden im Rahmen von Wurzelkanalbehandlungen zu verschiedenen Zeiten Spiritusflammen entzündet, mit denen dann teils über mehrere Minuten hinweg gearbeitet wurde. Nach dem erstmaligen Anzünden und Brennenlassen einer Spiritusflamme erhöhte sich die Teilchenkonzentration im Behandlungssaal auf ca. 17.000 pt/cm³ und stieg dann im Verlauf schrittweise auf Grund der Verwendung einer offenen Flamme in einer weiteren Behandlungsbox in einen Bereich von etwa 30.000 pt/cm³ an. Die Flammen erzeugten

5 Ergebnisse

während des Brennens Konzentrationen von maximal etwa 70.000 pt/cm^3 , siehe Abbildung 5.38. Nach Beendigung der Patientenbehandlungen konnte bei Aufräum- und Reinigungsarbeiten, die von den Studierenden selbst vorgenommen wurden, ein Rückgang der Teilchenkonzentration mit annäherndem Erreichen der zu Beginn gemessenen Ausgangskonzentration dokumentiert werden.

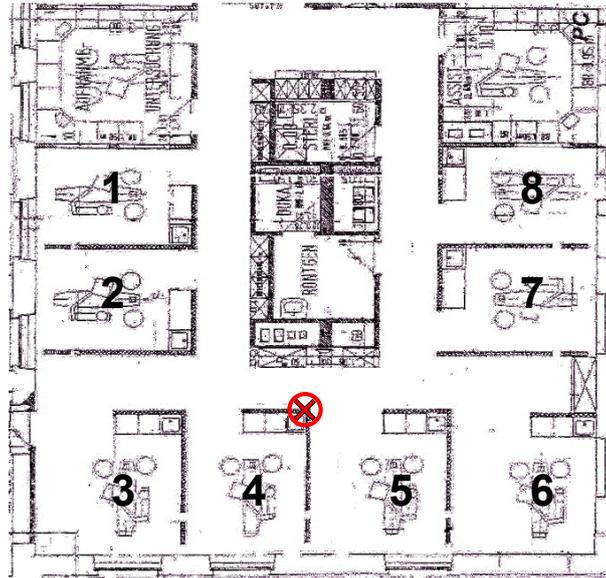


Abbildung 5.37: Lageplan des studentischen Behandlungssaales, Klinik I
(⊗: Position CPC 3007, Nummerierung 1-8: Behandlungsboxen)

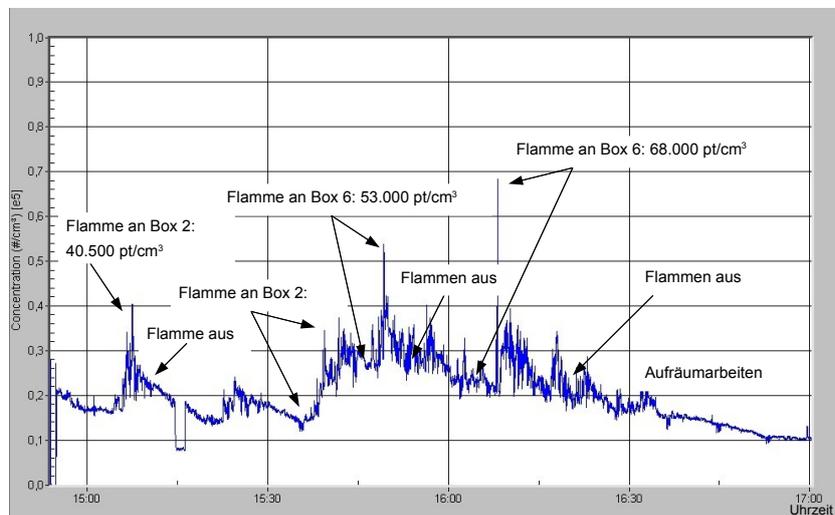


Abbildung 5.38: Partikelkonzentrationsmessung während der studentischen Patientenbehandlung im Behandlungssaal der Klinik I

5.2.3 Zahntechnisches Labor

Im zahntechnischen Labor fanden sich bei den Messungen Hintergrundkonzentrationen von weniger als 5.000 pt/cm^3 bis etwa 10.000 pt/cm^3 . In Abhängigkeit vom jeweils verwendeten Werkstoff und der Art der Bearbeitung waren dann Konzentrationen bis 350.000 pt/cm^3 zu dokumentieren.

Bei Modellierarbeiten an Wachszähnen im zahntechnischen Labor der Klinik I konnten bei über die Zeit konstant brennendem Bunsenbrenner Partikelkonzentrationen von 120.000 pt/cm^3 gemessen werden, siehe Abbildungen 5.39 und 5.40. Während der Arbeiten wurde ein Modellierinstrument aus Metall in der Flamme des Bunsenbrenners erhitzt. Mit dem heißen Instrument wurde das Modellierwachs erwärmt, am Zahnmodell aufgetragen und modelliert.



Abbildung 5.39: Modellierarbeiten mit Wachs im zahntechnischen Labor der Klinik I

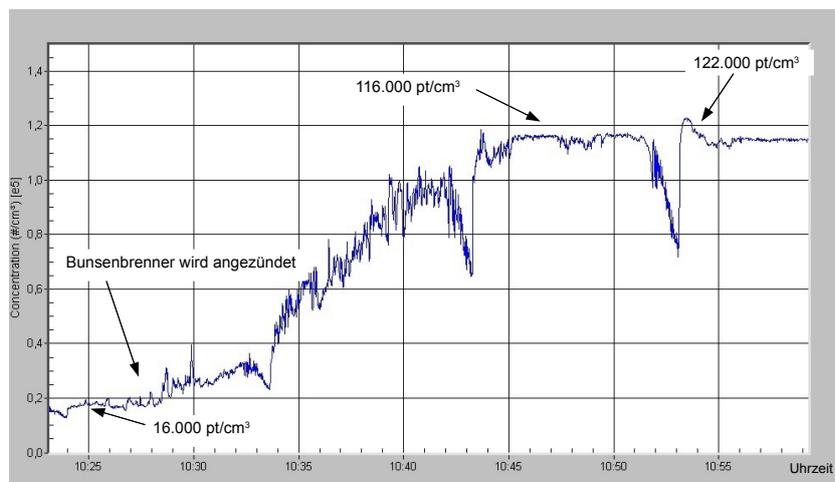


Abbildung 5.40: Partikelkonzentrationsmessung während Modellierarbeiten mit Wachs im zahntechnischen Labor der Klinik I

Schleifarbeiten mit einer sog. Kunststofffräse bei 25.000 Umdrehungen pro Minute (r/min) an einem lichthärtenden Kunststoff zeigten bei eingeschalteter Absaugung keine wesentlichen Konzentrationsänderungen im Vergleich zu der zuvor gemessenen Hintergrundkonzentration. Die Messungen wurden hinter der am Arbeitsplatz installierten Absaugung mit integrierter Glasabtrennung auf der Seite der Untersuchungsperson durchgeführt. Während der nochmaligen Durchführung derselben Tätigkeit bei jedoch ausgeschalteter Absaugung konnte ein Anstieg der Partikelkonzentration auf über 160.000 pt/cm³ dokumentiert werden, siehe Abbildungen 5.41 und 5.42.



Abbildung 5.41: Schleifarbeiten an lichthärtendem Kunststoff im zahntechnischen Labor der Klinik II

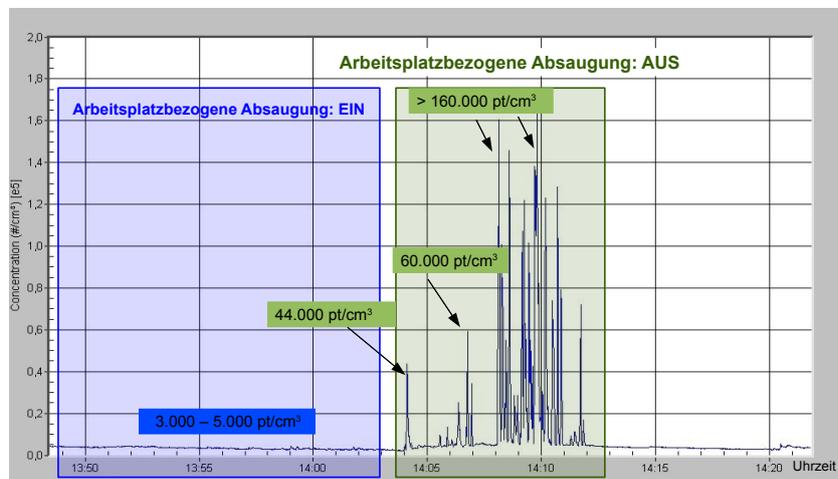


Abbildung 5.42: Partikelkonzentrationsmessung während Schleifarbeiten an einem lichthärtenden Kunststoff mit und ohne Absaugung im zahntechnischen Labor der Klinik II

Beim Bearbeiten von Werkstücken aus PMMA mit der Fräse bei 25.000 r/min ließen sich - ausgehend von einer Anfangskonzentration von ca. 4.000 pt/cm³ - Konzentrationen von ca. 120.000 pt/cm³ bei ausgeschalteter Absaugung messen. Bei Betrieb der arbeitsplatzbezogenen Absaugung lag die Partikelzahl bei deutlich unter 20.000 pt/cm³, siehe Abbildung 5.43.

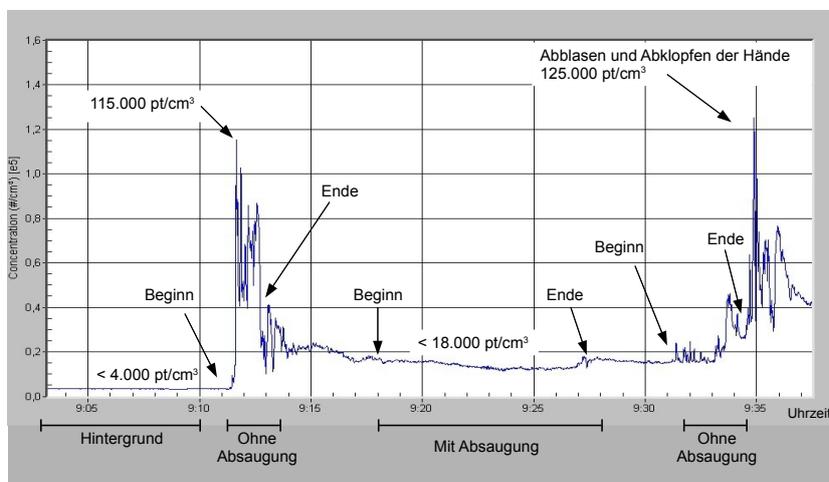


Abbildung 5.43: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen von PMMA-Kunststoff mit und ohne Absaugung im zahntechnischen Labor der Klinik I

Bei 100-facher Vergrößerung konnten unter dem Rasterelektronenmikroskop¹² Agglomerate aus Methacrylatpartikeln in der Größenordnung von bis zu mehreren hundert Mikrometern analysiert werden. Unter höherer (1000-facher) Vergrößerung zeigte sich, dass diese großen Agglomerate sich wiederum aus kleinen Partikeln mit einer Größe von teils deutlich kleiner als 10 μm zusammensetzten, siehe Abbildungen 5.44 und 5.45 auf Seite 78.

¹²Die auf den Abbildungen 5.44 und 5.45 auf Seite 78 dargestellten REM-Aufnahmen entstanden in Kooperation mit dem Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin, Kommissarischer Direktor: Prof. Dr. med. Joachim Schneider, Universität Gießen.

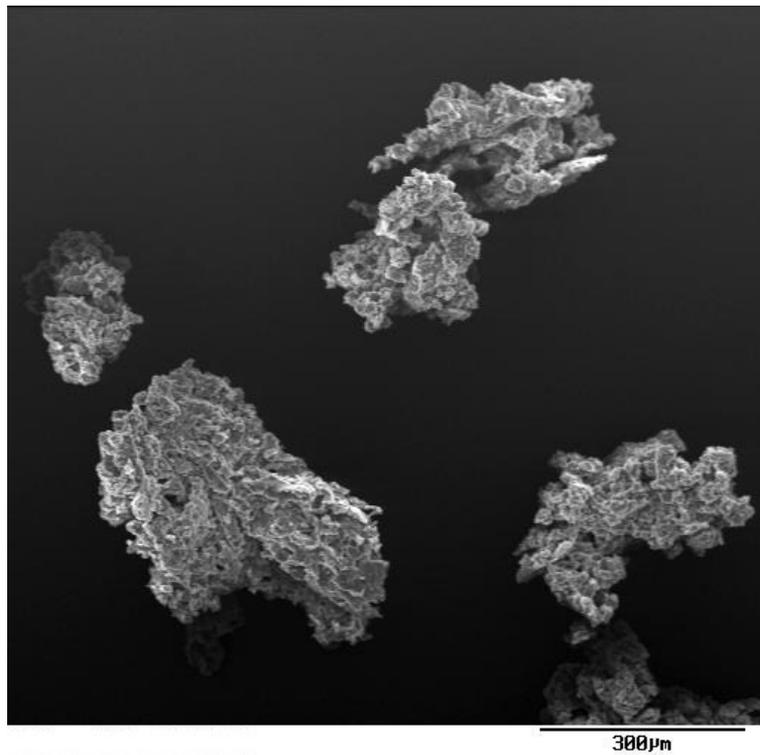


Abbildung 5.44: REM-Aufnahme von beim Beschleifen von PMMA-Kunststoff gewonnenen Partikelproben, 100-fache Vergrößerung

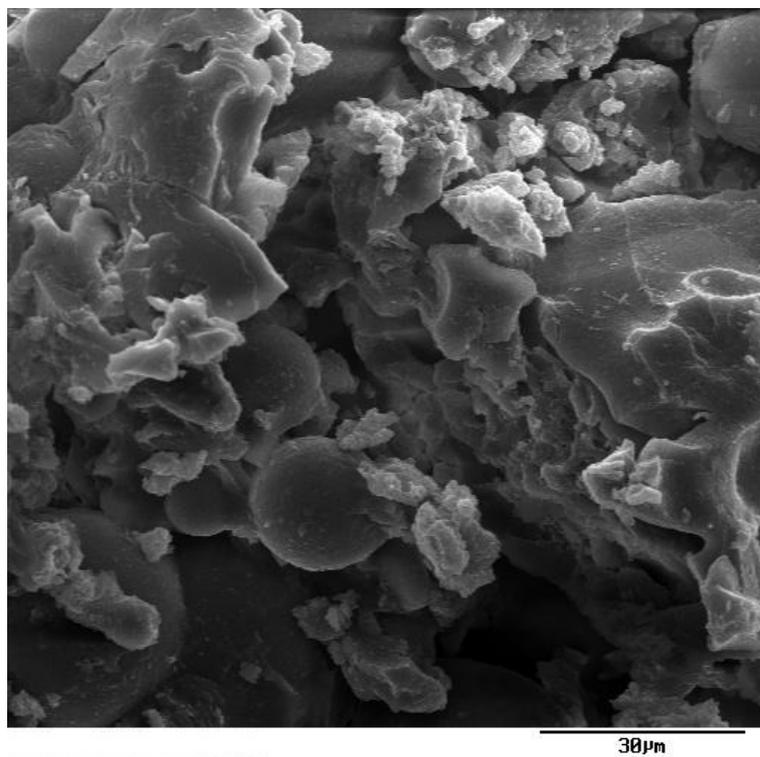


Abbildung 5.45: REM-Aufnahme von beim Beschleifen von PMMA-Kunststoff gewonnenen Partikelproben, 1000-fache Vergrößerung



Abbildung 5.46: Bearbeitung einer Nichtelegierung im zahntechnischen Labor der Klinik II

Bei der Bearbeitung einer Nichtelegierung aus Chrom, Cobalt und Molybdän mit einem Gummipolierer mit einer Drehzahl von 15.000 - 18.000 r/min und (extra für diese Messungen) ausgeschalteter arbeitsplatzbezogener Absaugung konnten Partikelkonzentrationen bis annähernd 275.000 pt/cm³ gemessen werden. Bei Erhöhung des Anpressdrucks, was eine Vorgehensweise zur schnelleren Bearbeitung simulieren sollte, waren im Vergleich dazu noch wesentlich höhere Konzentrationen von über 350.000 pt/cm³ messbar.

Nach Wechsel des Instruments konnten mit einer Fräse, die mit 25.000 r/min betrieben wurde, Konzentrationen von maximal ca. 50.000 pt/cm³ festgehalten werden.

Bei eingeschalteter arbeitsplatzbezogener Absaugung - d.h. entsprechend der vorgegebenen und normalen Bearbeitungsweise - zeigten sich bei denselben Tätigkeiten mit Gummipolierer und Fräse Partikelkonzentrationen von deutlich unter 5.000 pt/cm³, siehe Abbildungen 5.46 und 5.47.

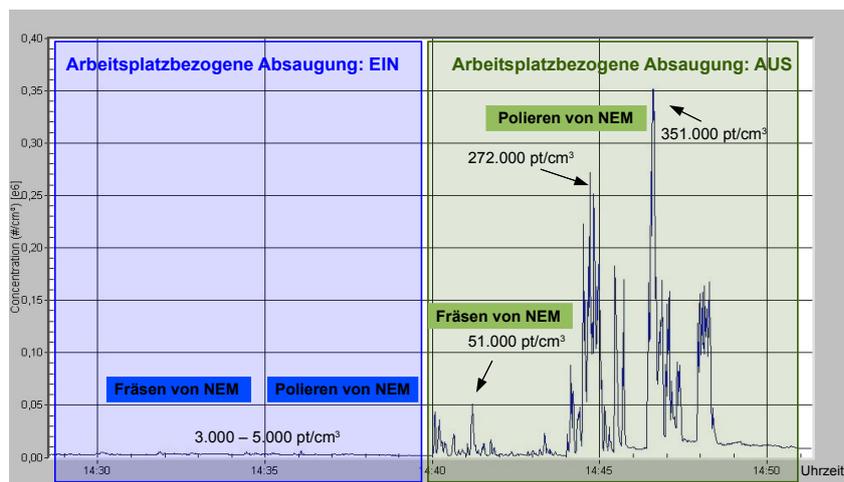


Abbildung 5.47: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen einer Nichtelegierung mit und ohne Absaugung im zahntechnischen Labor der Klinik II

5 Ergebnisse

Das Beschleifen von hochgoldhaltigen Dentallegierungen mit einer Fräse bei 25.000 r/min, siehe Abbildung 5.48, bei ausgeschalteter Absaugung erzeugte Konzentrationen bis ca. 16.000 pt/cm³. Der Messabstand betrug dabei 30 cm. Ein Verringern des Abstandes zwischen Messschlauch und Arbeitsfeld auf etwa 5 Zentimeter ließ die Partikelkonzentration umgehend auf etwa 36.000 pt/cm³ ansteigen. Nach dem Wechsel auf einen Gummischleifer fanden sich bis 18.000 pt/cm³ Luft bei einem Abstand von ca. 15 cm und nach wie vor ausgeschalteter Absaugung. Eine Kontamination durch Dentalzement, welcher dem Probenmaterial anhaftete, ließ vermutlich einen kurzfristigen Anstieg der Partikel auf 45.000 pt/cm³ entstehen, siehe Abbildung 5.49 auf Seite 81.

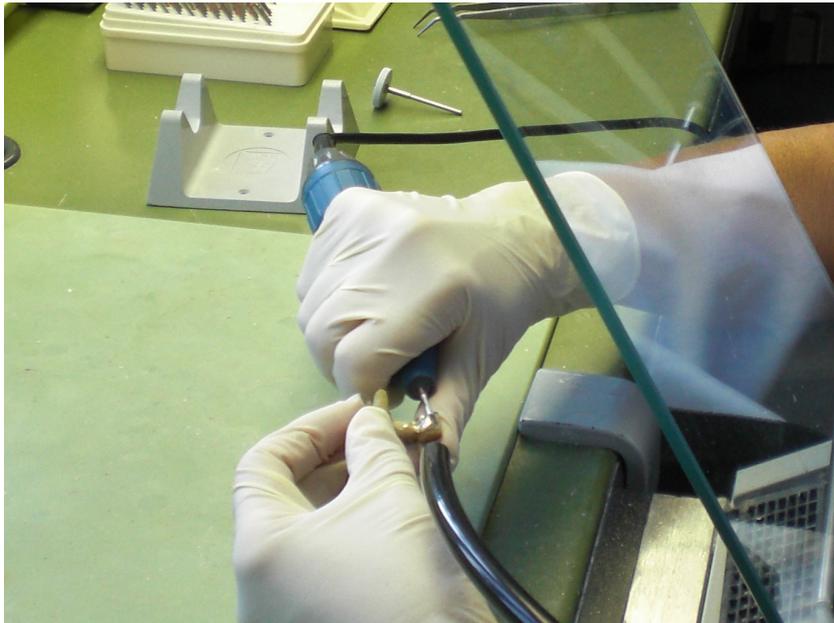


Abbildung 5.48: Beschleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung im zahntechnischen Labor der Klinik I

Polieren einer hochgoldhaltigen Dentallegierung mit einem Polierbürstchen aus chinesischem Schweinehaar („schwarzes Bürstchen“) ließ die Partikel auf 10.000 bis 14.000 pt/cm³ ansteigen, wohingegen dieselbe Tätigkeit bei Verwendung eines Polierbürstchens aus Ziegenhaar („weißes Bürstchen“) keinen relevanten Partikelanstieg erzeugte, siehe Abbildungen 5.50 und 5.51 auf Seite 81.

Rasterelektronenmikroskopisch ließen sich anhand während dieser Tätigkeiten gewonnener Luftproben zahlreiche Partikel in einer Größenordnung von deutlich unter 100 nm nachweisen. So zeigen die Abbildungen 5.52 und 5.53 auf Seite 82 ein Partikel mit einem Durchmesser von ca. 52 nm, bei dem mittels der EDX-Analyse als Hauptbestandteil Gold nachgewiesen werden konnte.

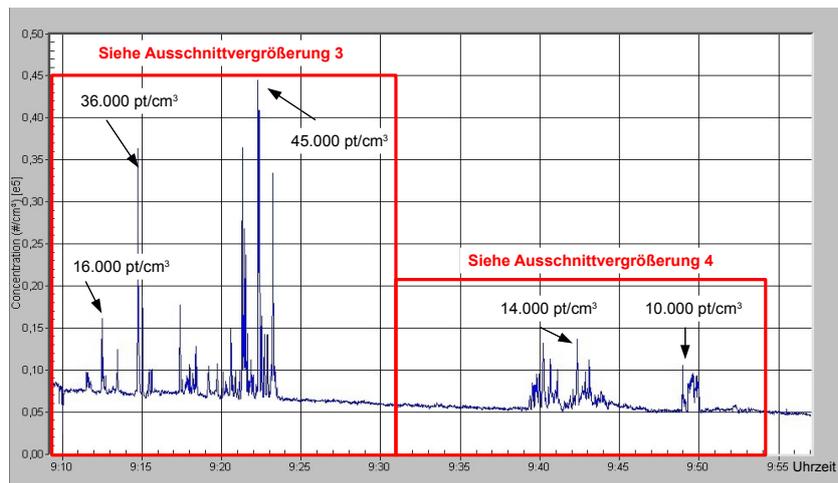


Abbildung 5.49: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung im zahntechnischen Labor der Klinik I, Übersicht

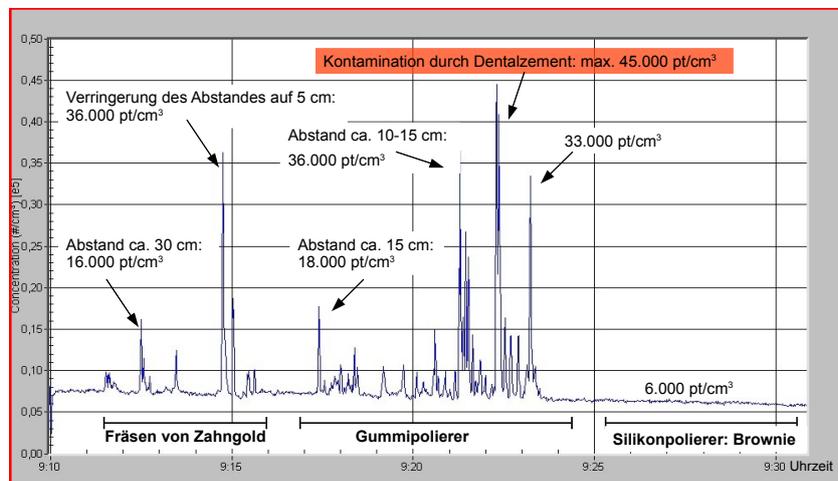


Abbildung 5.50: Ausschnittvergrößerung 3: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung mit verschiedenen Schleifkörpern

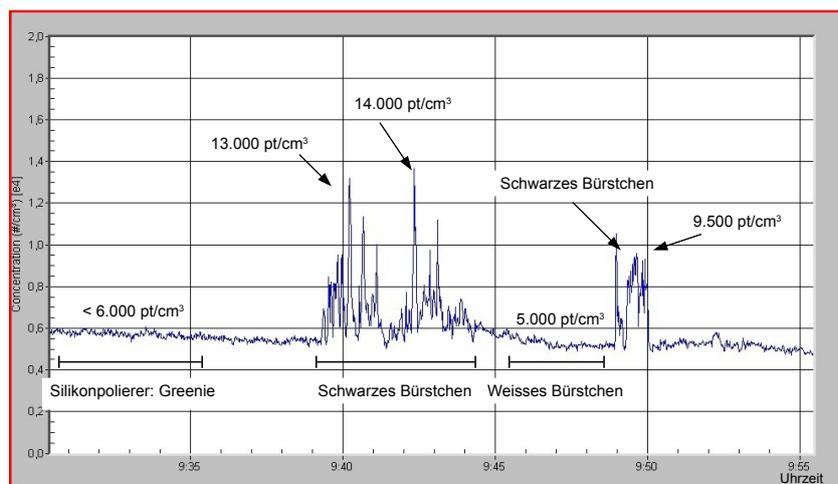


Abbildung 5.51: Ausschnittvergrößerung 4: Partikelkonzentrationsmessung beim Beschleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung mit verschiedenen Schleifkörpern

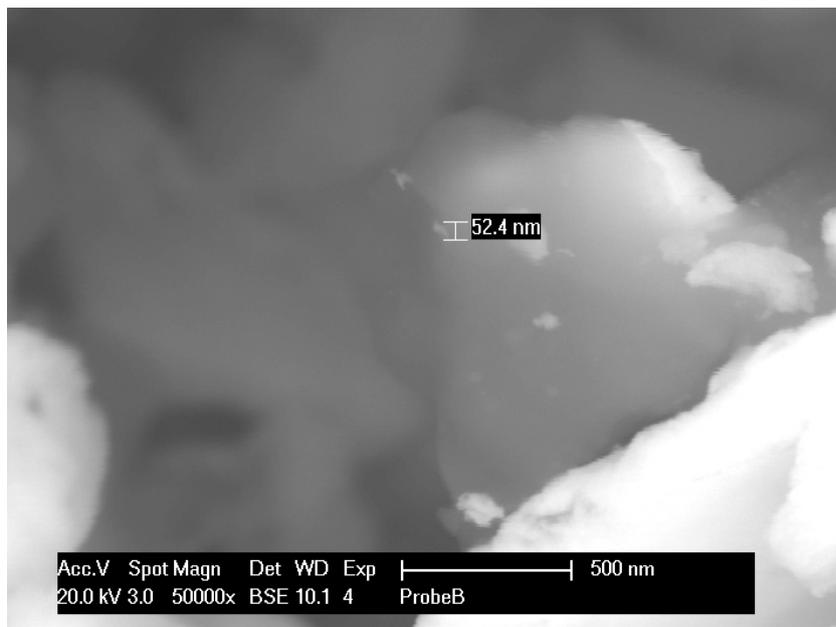


Abbildung 5.52: REM-Aufnahme einer beim Beschleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung gewonnenen Partikelprobe mit Nachweis eines nanoskaligen Partikels, 50.000-fache Vergrößerung

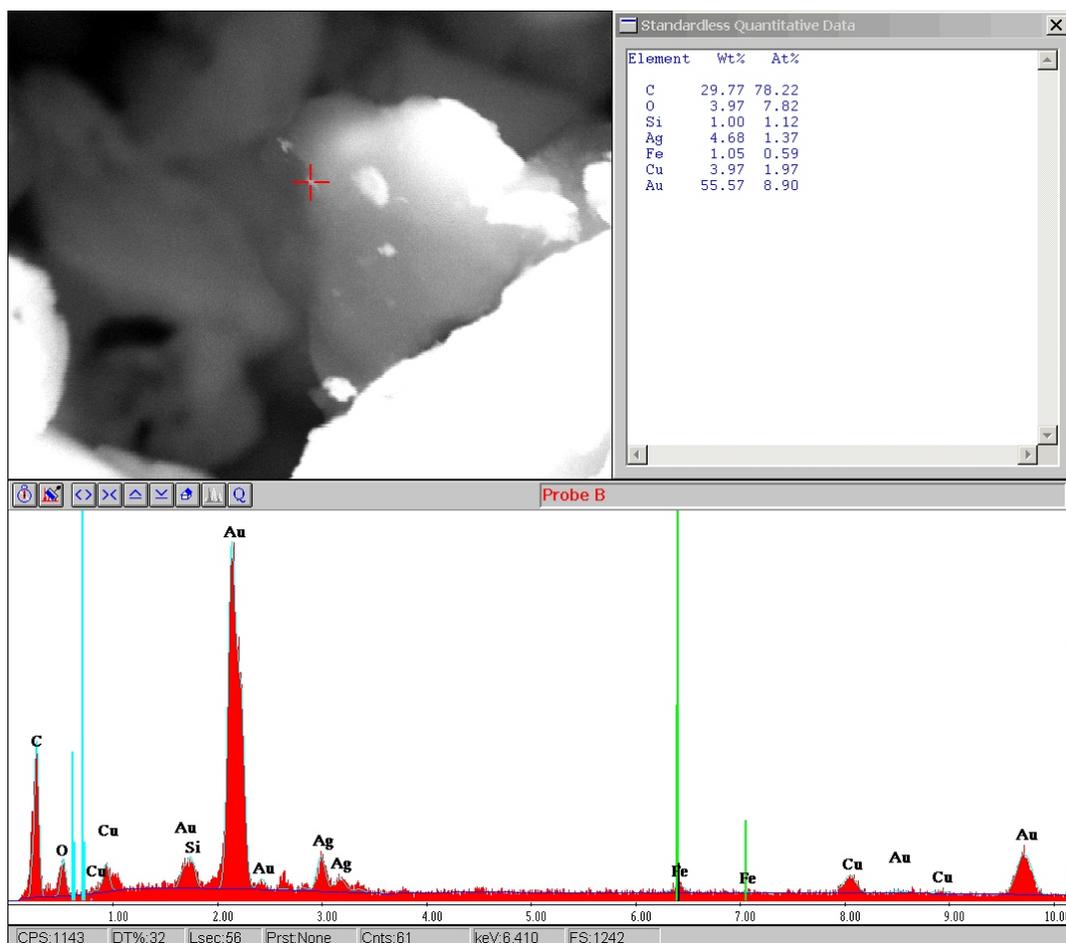


Abbildung 5.53: EDX-Analyse einer beim Beschleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung gewonnenen Partikelprobe mit Nachweis von Gold, vgl. hierzu obige Abbildung

5.2.4 Zusammenfassung der Expositionsschwerpunkte

Die Partikelmessungen mit dem CPC 3007 in den Behandlungsräumen der Klinik I und II sowie den beiden daran angeschlossenen zahntechnischen Laboren ergaben Hintergrundkonzentrationen zwischen 2.000 und $< 10.000 \text{ pt/cm}^3$ Luft.

Bei der zahnärztlichen Behandlung mit Erhebung des Kariesstatus und parodontologischer Untersuchung oder der intraoralen Behandlung mit (schnell)rotierenden Instrumenten fanden sich im Allgemeinen keine signifikanten Anstiege der Partikelkonzentration. Kurzzeitige Spitzenkonzentrationen bis etwa 58.000 pt/cm^3 ließen sich dagegen bei der Verwendung eines Kältesprays zur Sensibilitätsprüfung dokumentieren. Partikelkonzentrationen deutlich über 180.000 pt/cm^3 Luft konnten während der Wurzelkanalbehandlung gemessen werden, bei der am Behandlungsstuhl eine Spiritusflamme zum Erhitzen von Instrumenten entzündet wurde.

Extraorales Beschleifen von Dentalkunststoffen oder keramischem Zahnersatz mit (schnell) rotierenden Instrumenten am Behandlungsstuhl erzeugte - in Abhängigkeit vom jeweils verwendeten Material und Schleifkörper - ohne die Verwendung einer Wasserkühlung/-spülung bzw. Absaugung Konzentrationen von 45.000 bis 425.000 pt/cm^3 Luft. Unter Einsatz der Wasserkühlung/-spülung mit gleichzeitigem Absaugen ließ sich eine Reduktion auf unter 24.000 pt/cm^3 oder sogar bis auf Hintergrundniveau feststellen.

Ähnliche Ergebnisse konnten bei Messungen in den zahntechnischen Laboren dokumentiert werden. Bei eingeschalteter, am Arbeitsplatz installierter Absaugung waren im Allgemeinen keine bis geringe Anstiege der Partikelkonzentration zu verzeichnen.

Zur Verbesserung des optischen Scannens bei der Herstellung von Zahnersatz mittels CAD/CAM-Verfahren können Mattierungssprays verwendet werden. In Laborversuchen ließen sich bei der Verwendung eines solchen Sprays Partikelkonzentrationen von ca. 410.000 pt/cm^3 Luft und anschließend noch über Sekunden bis Minuten erhöhte Teilchenkonzentrationen dokumentieren.

Reinigungs- und Desinfektionsarbeiten durch assistierendes Personal erzeugten - ausgehend von der Hintergrundkonzentration - lediglich kurze Anstiege der Partikelkonzentration von wenigen Tausend Partikeln pro cm^3 Luft.

Während verschiedener repräsentativer zahnärztlicher und zahntechnischer Tätigkeiten wurden Partikelproben aus der Raumluft am Arbeitsplatz zur REM- und EDX-Analyse gewonnen. Es konnten neben größeren, teils mehrere Mikrometer messenden Partikeln auch alveolengängige und nanoskalige Partikel aus Gold, Zirkonium und Titan nachgewiesen werden.

5.3 Befundergebnisse aus Anamnese und Diagnostik

5.3.1 Anamnese und Fragebogen

Anamnestisch gaben von den 26¹³ untersuchten Personen aus den Kliniken I und II sowie den Studierenden im ersten Semester insgesamt 21 Teilnehmer schleimhaut- und hautassoziierte und/oder bronchitische Beschwerden an. 19 Befragte berichteten über schleimhaut- und tätigkeitsassoziierte Beschwerden. Nur die Schleimhaut betreffende Beschwerden wurden von 17 Personen genannt.

Unter den Befragten waren 8 Personen, die über mehrere, teils gleichzeitig oder auch zeitlich getrennt voneinander auftretende, teils auch verschiedene Organe betreffende Symptome berichteten. Dermale Beschwerden wie ekzematöse Veränderungen der Haut, Rötung oder Juckreiz der Haut gaben insgesamt 10 der 26 untersuchten Personen an, 10 klagten über rhinitische Beschwerden mit Behinderung der Nasenatmung, Fließ- oder Stockschnupfen. 8 Befragte nannten Atembeschwerden mit Dyspnoe und/oder Husten und 6 Teilnehmer berichteten von einer konjunktivalen oder die periorbitale Region betreffenden Symptomatik mit Augenrötung und -tränen oder periorbitaler Schwellung.

Eine Übersicht zu den allergiebedingten Beschwerden, differenziert nach Gruppe und Organ (-system) gibt Tabelle 5.11.

Tabelle 5.11: Allergieassoziierte Beschwerden (Mehrfachnennungen)

Gruppe	Anzahl der Untersuchten	Haut-beschwerden	Rhinitis	Atem-beschwerden	Konjunktivitis
K I	10	4	2	4	3
K II	9	3	6	3	3
ES	7	3	2	1	0
Gesamt	26	10	10	8	6

Von 13 Personen wurden tätigkeitsassoziierte Beschwerden angegeben, teilweise jedoch auch außerberufliche. An Symptomen wurden genannt: Rhinitis und/oder Konjunktivitis, ekzematöse Hauterscheinungen, Hautrötungen mit und ohne Juckreiz, Quaddelbildung der Haut und Atembeschwerden mit und ohne Reizhusten.

7 der Befragten berichteten über eine nur außerberuflich bestehende allergische Symptomatik mit u.a. Rhinitis und/oder Konjunktivitis sowie Dyspnoe.

Insgesamt 16 von 20 befragten Personen¹⁴ gaben an, teils verschiedene Zahnersatzmaterialien im Mund zu haben. Einzelheiten hierzu siehe Tabelle 5.12 auf Seite 85.

Das von 15 Personen am häufigsten angegebene Zahnersatzmaterial waren die Komposit-Kunststoffe, gefolgt von Amalgam-Füllungen (12 Personen). Jeweils 7 Personen gaben an, Kronen oder In-

¹³Person 11 beendete die Untersuchungen vorzeitig auf eigenen Wunsch. Daten zu dieser Person wurden berücksichtigt und entsprechend mit aufgeführt, soweit sie erhoben werden konnten.

¹⁴Von 6 Teilnehmern lagen uns keine diesbezüglichen Angaben vor.

lays aus hochgoldhaltiger Dentallegierung und/oder Glaskeramik zu tragen. Zirkonoxidkeramik als Zahnersatz wurde nur von 3 Mitarbeitern aus Klinik II genannt.

Gesundheitliche Beschwerden oder Reaktionen auf Zahnersatzmaterialien wurden von 2 der Befragten (Personen 3 und 12) genannt. Von beiden Personen wurde eine Verfärbung der Gingiva durch den Einsatz von metallischem Zahnersatz (hochgoldhaltige Dentallegierung) angegeben.

Tabelle 5.12: Zahnersatzmaterialien: Untersuchungskollektiv

Person	Gold	Komposit	Glaskeramik	Zr-Keramik	Amalgam	Beschwerden
1		+			+	
2	+	+	+		+	
3	+	+	+		+	Gingivafärbung
4						
5		+				
6					+	
7		+			+	
8		+	+			
9		+	+		+	
10	+	+			+	
12	+	+	+	+	+	Gingivafärbung
13		+			+	
14	+	+	+		+	
15	+	+			+	
16		+				
17						
18		+	+	+	+	
19	+	+		+		
24						
26						
Gesamt	7	15	7	3	12	2

+: Material wird als Zahnersatz bei dieser Person verwendet, **leeres Kästchen**: Material wird nicht als Zahnersatz verwendet. **Zr-Keramik**: Zirkonoxidkeramik. Zu nicht aufgelisteten Personen lagen keine Angaben vor.

Unter den Teilnehmern fanden sich 19 Nichtraucher, 4 Ex-Raucher und 3 aktive Raucher. Zwei der Raucher (Personen 23 und 24) hatten einen Zigarettenkonsum von 6 bzw. 1 Packungsjahren (pack year $\hat{=}$ py). Der dritte Raucher war Person 11 mit einem Zigarettenkonsum von 18 py. Person 11 war Mitarbeiter der Klinik II, die Personen 23 und 24 gehörten zu der Gruppe der Studienanfänger. Die 4 Ex-Raucher - jeweils 2 aus Klinik I und II - gaben einen ehemaligen Zigarettenkonsum von gelegentlich (Personen 3 und 9) über 2-3 py (Person 13) bis maximal 5 py (Person 15) an.

Die Nikotin-Karenz der Ex-Raucher betrug 5 (Person 15), 10 (Person 13) bis maximal 20 - 28 Jahre (Personen 3 und 9).

Bei 2 Personen (Personen 3 und 9) waren anamnestisch eine chronische Bronchitis bzw. rezidivierende Bronchitiden bekannt. Bei einer Person (Person 10) bestand in der Vergangenheit der Verdacht auf Bronchitis und eine weitere Person berichtete über bronchitische Beschwerden im Kindesalter mit medikamentöser Therapie bis ins frühe Jugendalter (Person 22). Eine saisonale allergische Asthma bronchiale-Symptomatik wurde von Person 15 angegeben.

Person 3 beklagte ein seit ca. 2 bis 3 Jahren bestehendes Raynaud-Phänomen mit Taubheitsgefühl in den Fingern beidseits, insbesondere während der kalten Jahreszeit. Zudem wurde von ihr über eine Veränderung des Riechempfindens im Verlauf der vergangenen zwei Jahre berichtet.

Von 6 Personen wurden Symptome aus dem Hals-Nasen-Ohren-Bereich genannt. Angegeben wurden Otitis media, Otosklerose, Hörsturz oder Minderung der Hörfähigkeit. Ferner wurden genannt chronische Nasennebenhöhlenentzündung, rezidivierendes Nasenbluten und Septumplastik-Operation. Eine neurologische Erkrankung (Multiple Sklerose, ischämischer Insult) ließ sich bei 2 Teilnehmern eruieren und ebenfalls bei 2 Personen konnte in der Anamnese ein hämatologisches Krankheitsbild (Willebrandt-Jürgens-Syndrom und Verdacht auf Thalassämie) verzeichnet werden.

4 weibliche Teilnehmerinnen gaben eine Hormonsubstitution der Schilddrüse an.

Gynäkologische bzw. urologische Beschwerden oder (Vor-)Erkrankungen wurden von 4 Teilnehmerinnen bzw. 3 Teilnehmern angegeben.

Beschwerden des muskulo-skelettalen Systems gaben insgesamt 5 Teilnehmer (Personen 4, 8, 9, 12 und 14) an. In diesem Zusammenhang beklagten auch 3 Personen regelmäßig bestehende, teils starke Kopfschmerzen. Aus der Gruppe der Studienanfänger nannte keine der 7 befragten Personen muskulo-skelettale Beschwerden.

Eine verstärkte oder chronische Müdigkeit und/oder das Gefühl des Leistungsverlustes wurde von 2 Personen (Personen 7 und 12) beklagt.

Die regelmäßige Einnahme von Medikamenten wurde von insgesamt 15 Personen bejaht. Vorrangig wurden nicht-steroidale Antiphlogistika sowie Hormone zur Schilddrüsensubstitution und zur Kontrazeption angegeben. Andere Medikamente, teils als Bedarfsmedikation, waren Broncholytika und Protonenpumpenhemmer, Tramadol, Urbason und Interferon sowie „Nasenspray“.

5.3.2 Klinische Untersuchung

In der **klinischen Untersuchung** konnten bei 2 von 25 untersuchten Personen (nicht durchgeführt $\hat{=}$ n.d. bei Person 11) ekzematöse und bei einer Person urtikarielle Hautveränderungen festgestellt werden. Zwei Personen wiesen eine Rötung oder eine blutige Verkrustung des äußeren Gehörganges auf. In der anterioren Rhinoskopie ließen sich bei 6 Teilnehmern ein-, teils auch beidseitig gerötete Schleimhäute feststellen.

Bei einer Person fiel ein pigmentierter, erhabener Naevus im Mammabereich im Rahmen der körperlichen Untersuchung auf.

Eine Person gab in der orientierenden **neurologischen Untersuchung** ein Missempfinden im Bereich der linken Körperseite einschließlich der linken Gesichtshälfte an und wies im Seiltänzerengang eine leichte Unsicherheit auf (Person mit bekanntem Zustand nach ischämischem Insult).

Elektrokardiographisch zeigten sich unter Ruhebedingungen bei keinem der untersuchten Teilnehmer wesentliche Anzeichen für Vorliegen einer Herzrhythmusstörung oder einer akuten myokardialen Ischämie.

Der durchschnittliche **Body-Mass-Index** ($BMI \hat{=} \text{Gewicht in Kilogramm} / \text{Körpergröße in Meter zum Quadrat}$) in allen 3 Gruppen betrug 24,04 (Median: 24,0). Der BMI der Teilnehmer lag zwischen 18 und 32. 14 Personen waren mit einem BMI zwischen 18,5 und 24,9 normgewichtig, 8 präadipös (25 - 29,9) und 3 zeigten eine Adipositas Grad I (30 - 34,9). Eine Person war mit 18,3 gering untergewichtig [78].

Nach Gruppen verteilt zeigten die Studienanfänger mit einem BMI von 21,86 den niedrigsten Durchschnittswert gefolgt von der Klinik II mit 24,56. Den höchsten BMI wiesen die Mitarbeiter aus Klinik I mit durchschnittlich 25,10 auf. Nach Geschlecht getrennt waren die weiblichen Teilnehmer mit einem durchschnittlichen BMI von 22,31 leichter als die männlichen, die einen mittleren BMI von 25,77 hatten.

5.3.3 Labor- und Urindiagnostik

Eine Übersicht über relevante pathologische Befundergebnisse aus der Labor- und Urindiagnostik gibt Tabelle 5.13 auf Seite 89.

Das **Blutbild** ließ bei 11 von 25 untersuchten Personen (n.d. bei Person 11) keine Auffälligkeiten erkennen. Als einziger von der Norm abweichender Parameter konnte bei 10 Teilnehmern ein grenzwertig erhöhtes Mittleres Plättchen-Volumen (MPV) festgestellt werden. Hier ist anzumerken, dass die erhöht gemessenen Werte für MPV seitens des verantwortlichen Analyselabors auf die angewandte Methodik zurückgeführt wurden.

Bei einem Teilnehmer (Person 13) konnte bei erniedrigtem MCV und MCH und bei gleichzeitig grenzwertig erniedrigtem Ferritin eine hypochrome, mikrozytäre Anämie als Zeichen eines Eisenmangels festgestellt werden. Bei einer weiteren Person (Person 16) fanden sich Hinweise für eine normochrome normozytäre Anämie mit erniedrigter Erythrozyten- und Retikulozytenzahl sowie erniedrigtem Hämatokrit. In der weiteren hämatologischen Diagnostik ließ sich dieser Verdacht jedoch nicht erhärten. Unter den Studierenden befand sich 1 Person (Person 25), bei der eine hypochrome Anämie nachgewiesen werden konnte.

Im **Differentialblutbild** konnte bei 4 von 25 Untersuchten eine leichte Eosinophilie und bei 7 eine Lymphozytose festgestellt werden.

In der **Immunologie** fand sich bei 4 von 25 Personen eine Erniedrigung der Transferrinsättigung. Bei den Personen 14 und 16 war das Lipoprotein (a) (Lp (a)) - als eigenständiger kardiovaskulärer Risikofaktor - erhöht. Person 16 fiel darüber hinaus durch die zweimalig erhöht gemessenen Parameter Anti-Streptolysin-Titer (ASL) und Creatinkinase (CK) auf. Ferner waren bei ihr Eiweiss und Glukose erhöht sowie Kreatinin und Chlorid. Sowohl CK als auch CK-MB waren erhöht bei Person 18 messbar. Bei ihr lagen zudem die GPT und γ -GT in der **klinischen Chemie** über dem Normbereich und in der Immunologie zeigten sich erhöhte zirkulierende Immunkomplexe.

Die Pankreas-Amylase konnte neben Person 16 auch noch bei 2 weiteren Personen als erhöht bestimmt werden.

Das Cholesterin war bei 3 Personen erhöht, das LDL- und HDL-Cholesterin sowie die Triglyceride jeweils bei einem der 25 Untersuchten.

Die Glomeruläre Filtrationsrate (GFR) zeigte sich bei 4 von 25 Personen erniedrigt.

In der **Urindiagnostik** konnte bei der Differenzierung der Urin-Einzelproteine bei 3 von 18 Personen ein gegenüber dem Referenzwert von 12 mg/l gering erhöhtes α -1-Mikroglobulin bestimmt werden (Person 2: 17,5 mg/l, Person 18: 15,6 mg/l und Person 19: 16,6 mg/l).

Von 8 untersuchten Mitarbeitern aus der Klinik II konnte bei 6 Personen ein erhöhtes Transferrin gemessen werden - diesbezüglich fanden sich bei den Mitarbeitern der Klinik I und bei den Studienanfängern keine Auffälligkeiten.

Ein erniedrigtes spezifisches Gewicht des Urins konnte von den 25 Untersuchten bei 5 Personen gefunden werden. Ebenfalls bei 5 Personen konnte eine erhöhte Zahl von Erythrozyten im Urin nachgewiesen werden - DD Regelblutung, da es sich bei den betreffenden Personen ausschließlich um Frauen handelte. Die Leukozytenzahl im Urin waren bei 2 weiblichen und 1 männlichen Teilnehmer erhöht nachweisbar.

Bezüglich der **Hepatitis-Serologie** konnte für die Mitarbeiter der Klinik I und II (n.d. bei Person 11), auf die Befunde des betriebsärztlichen Dienstes des Universitätsklinikums zurückgegriffen werden: Bei keinem der 18 Mitarbeiter aus den Kliniken I und II fand sich eine positive Hepatitis-B-Serologie bzw. es konnte bei allen ein ausreichend hoher Antikörper-Titer nachgewiesen werden. Alle 18 Untersuchten zeigten zudem einen negativen Befund in der Hepatitis-C-Serologie.

Zeichenerklärung zu Tabelle 5.13, Seite 89:

+ : oberhalb des Normwerts, - : unterhalb des Normwerts, (+) : grenzwertig erhöht, (-) : grenzwertig erniedrigt,

n : Befund in der Kontrolluntersuchung normwertig, **leeres Kästchen**: Untersuchung nicht durchgeführt oder Befund normwertig

5 Ergebnisse

Tabelle 5.13: Wesentliche vom Normwert abweichende Laborbefunde

Personengruppe	Klinik I										Klinik II									Studienanfänger								
Person	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
Kleines Blutbild																												
Leukozyten													+															
Erythrozyten																- / -											-	
Hämoglobin																- / n											-	
Hämatokrit																- / -												
MCV													-															
MCH													-														-	
RDW													+														+	
Retikulozyten																- / (-)											-	
RET-He													-	+														
MPV	+		+	+	+		+			+											+	+	+	+				
Differentialblutbild																												
Neutrophile																											-	
Neutrophile		+																										
Lymphozyten		-	-							-				-	-	- / n					-							
Monozyten					+																							
Eosinophile								+					+									+			+			
Basophile					+																							
Immunologie																												
CRP													+															
Haptoglobin													+					+										
Transferrinsättigung													-	(-)	-				-									
Ferritin													(-)			- / -												
Lp(a)														+		+/ +												
alpha-1-Antitrypsin															-													
ASL																+/ +												
zirkulierende Immunkomplexe																		+										
Klinische Chemie																												
Kallium																-												
Chlorid																+/ n												
Kreatinin																+/ (+)												
GFR			-									-				- / -			-									
Glukose																+/ +		-										
Eweiss																+			+									
CK																+/ +		+										
CK-MB																		+										
GPT																		+										
Gamma-GT																		+										
Pankreas-Amylase														+	+	+/ n												
Lipase																+/ +												
Cholesterin			+											+				+										
HDL-Cholesterin															+													
LDL-Cholesterin																		+										
Triglyceride																		+										
Serum-Elektrophorese																												
alpha-1-Globulin																		+										
Hormone																												
freies T 4					-																							
Gerinnung																												
Fibrinogen													+	(+)														
Urin-Status																												
Leukozyten							+/ n						+					+										
Erythrozyten			+				+/ n						+	+					+									
spezifisches Gewicht			-									-	-		-		-											
pH															+													
Protein																											+	
Urin-Einzelproteine																												
Albumin													+															
alpha-1-Mikroglobulin		+/ n																+	+									
Transferrin													+	+	+			+	+	+								
IgG													+					+	+	+								
Kreatinin															-													
Urin-Sediment																												
Leukozyten							+						+															
Erythrozyten													+															
Zylinder							+																					
SDS-PAGE-Elektrophorese																												
Eweiss																+												
alpha-1-Mikro / Kreatinin																		+										
Hämoglobin													+															
Eweiss / Kreatinin																+	+											
Transferrin / Kreatinin																	+											
Rel. Erhöhung tubuläre Proteine																		+										

5.3.4 Allergiediagnostik

Die Untersuchungsergebnisse werden nachfolgend in Abhängigkeit von der jeweiligen Testmethodik näher erläutert. Einen Überblick über die Befundergebnisse der Allergiediagnostik gibt Tabelle 5.14 auf Seite 93 f..

5.3.4.1 Immunglobulin E

Das **Gesamt-IgE** war bei 4 von 25 untersuchten Personen (n.d. bei Person 11) gegenüber einem Referenzwert von 158 IU/ml erhöht: Person 23 wies einen Wert von 183,6 IU/ml auf. Bei Person 1 betrug das Gesamt-IgE 309,5 IU/ml, bei Person 19 369,3 IU/ml. Der höchste Wert konnte bei Person 22 mit 413,8 IU/ml bestimmt werden. Eine Kontrolle des Gesamt-IgEs im Verlauf zeigte bei Person 1 einen grenzwertigen Befund von 145,2 IU/ml.

Die **serologische Allergiediagnostik auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene** (Roggen, Lieschgras, Birke, Beifuß, Katzen- und Hundeschuppen, Cladosporium herbarum, Dermatophagoides pteronyssinus) ergab bei 24 untersuchten Personen 12 positive Ergebnisse (n.d. bei Personen 4 und 11).

In der **spezifischen IgE-Testung auf die Berufsallergene Formaldehyd und Latex** zeigte sich dagegen bei keiner der 16 untersuchten Personen ein positiver Befund (Formaldehyd: n.d. bei Personen 4, 11, 17 und ES, Latex: Person 13: anamnestische Angabe, n.d. bei Personen 4, 11, 17 und ES).

Anamnestisch gaben 2 Personen (Personen 7 und 19) bei dermale Kontakt zu Methacrylat-haltigen Werkstoffen eine Rötung und/oder einen Juckreiz der Haut an. In der **spezifischen IgE-Testung auf Methylmethacrylat** zeigte sich jedoch weder bei diesen beiden noch bei einer der anderen 25 getesteten Personen eine positive Reaktion (CAP-Klasse 0).

In der **Allergiediagnostik auf die Berufsallergene** Gold (Goldchlorid), Quecksilber (Quecksilberchlorid), Silber (Silberacetat), Nickel (Nickelsulfat), Titan (Titanchlorid), Palladium, Zink (Zinksulfat), Kupfer, Zinn (Zinnchlorid) und Cadmium konnte serologisch ebenfalls bei keiner der untersuchten Personen eine Sensibilisierung nachgewiesen werden.

5.3.4.2 Lymphozytentransformationstest

Im Lymphozytentransformationstest (LTT) konnte bei 4 von 25 untersuchten Personen (Personen 4, 7, 8 und 19; n.d. bei Person 11) eine positive Reaktion auf **Zirkonium** nachgewiesen und bei einer Person (Person 6) eine Typ-IV-Sensibilisierung auf dieses Metall nicht eindeutig ausgeschlossen werden.

Gegenüber **Beryllium** konnte bei keiner der 25 getesteten Personen ein eindeutiger und reproduzierbarer Nachweis für das Vorliegen einer Typ-IV-Sensibilisierung dokumentiert werden.

Zur Verifizierung positiver (Stimulationsindex $\hat{=}$ SI: > 3) und/oder nicht eindeutig positiver bzw. fraglicher (SI: $2 < 3$) Befundergebnisse erfolgte bei einem Teil der Mitarbeiter der Klinik I (Personen 2, 3, 4, 6, 7 und 8) eine Wiederholung der Analyse. Zudem wurde bei 5 dieser 6 Personen (Personen 3, 4, 6, 7 und 8) das Spektrum der untersuchten Stoffe von ursprünglich 2 Metallen (Beryllium und Zirkonium) um weitere 8 (Blei, Cadmium, Gold, Indium, Nickel, Palladium, Quecksilber-Chlorid und Zinn¹⁵) auf insgesamt 10 erweitert.

Eine - teils starke - Typ-IV-Sensibilisierung konnte in der ergänzten Testreihe für alle 5 untersuchten Personen auf die Metalle Cadmium und Nickel festgestellt werden. Auf Quecksilber-Chlorid konnte bei 4 (Personen 3, 4, 7 und 8) und gegenüber Blei bei 3 Personen (Personen 4, 7 und 8) eine positive Reaktion dokumentiert werden. Auf die Metalle Gold und Palladium zeigte als einziger Teilnehmer Person 7 einen positiven Befund.

Für Indium konnte bei 2 (Personen 7 und 8) und für Zinn bei einer Person (ebenfalls Person 7) eine Sensibilisierung nicht eindeutig ausgeschlossen werden.

Für Person 7 konnten im LTT die meisten Typ-IV-Sensibilisierungen dokumentiert werden. Sie zeigte auf insgesamt 7 Metalle eine positive Reaktion und auf 2 Metalle konnte eine Sensibilisierung nicht eindeutig ausgeschlossen werden. Lediglich auf Beryllium reagierte sie wiederholt negativ. Die Personen 4 und 8 zeigten jeweils auf 5 und die Personen 3 und 6 auf jeweils 3 Metalle eine positive Reaktion. Person 19 reagierte von insgesamt 3 getesteten Metallen nur auf Zirkonium positiv.

Von den 4 (bzw. 5) Personen, bei denen im LTT eine Sensibilisierung gegenüber Zirkonium nachgewiesen bzw. nicht eindeutig ausgeschlossen werden konnte, waren 4 Mitarbeiter der Klinik I (Personen 4, 6, 7 und 8) und 1 Mitarbeiter der Klinik II (Person 19). Alle 5 Personen waren Zahnärzte, zwischen 25 und 32 Jahren alt und seit etwa 5 bis 14 Jahren berufstätig (einschließlich Studium).

Unter den Studienanfängern sowie den Teilnehmern, die älter und mehr als 14 Jahre in der Zahnheilkunde beschäftigt waren, befand sich keine Person mit positiver Reaktion auf Zirkonium.

5.3.4.3 Prick-Test

In der Prick-Übersichtstestung auf die ubiquitären Inhalations- und Sofortallergene Gräser-, Baum- und Kräuterpollen, Ragweed, Schimmelpilze (*Alternaria alternata/tenuis*, *Aspergillus niger*, *Cladosporium cladosporioides*, *Rhizopus stolonifer*, *Penicillium chrysogenum*, *Epicoccum nigrum*), Federn (Huhn, Ente) und Milben (*Dermatophagoides pteronyssinus et farinae*) konnte bei 5 von 11 getesteten Teilnehmern (Personen 1, 5, 7, 15 und 18) eine positive Hautreaktion dokumentiert werden.

4 der 5 Personen (Personen 1, 5, 15 und 18) zeigten auch in der serologischen Allergiediagnostik ein positives Befundergebnis.

¹⁵Entsprechend dem vom Analyselabor angebotenen Metall-Profil I

Auf die zusätzlich im Prick-Test getesteten Berufsallergene **Beryllium** (1%ig) und **Zirkonium** (1%ig) fand sich bei keiner der 11 Personen eine positive Hautreaktion. Für Nickel (0,01%ig, 0,1%ig und 1%ig) ließ sich ebenfalls keine positive Reaktion feststellen.

Zeichenerklärung zu Tabelle 5.14 auf Seite 93 f.:

+: positiv bzw. einfach positiv, ++: zweifach positiv, +++: dreifach positiv, -: negativ

LTT: In Klammern ist jeweils der SI angegeben, +: positiv, ++: stark positiv, -: negativ,

(+): Sensibilisierung möglich

ZL: Untersuchung wurde im Zentrallabor des Universitätsklinikums des Saarlandes durchgeführt. **Derma:** Untersuchung wurde in der Klinik für Dermatologie, Venerologie und Allergologie des Universitätsklinikums des Saarlandes durchgeführt. * : anamnestische Angabe

Person 11 nahm an der Allergiediagnostik nicht mehr teil und ist deshalb in der nachfolgenden Tabelle nicht aufgeführt.

Tabelle 5.14: Allergiediagnostik

Personengruppe	Klinik I									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Anamnese										
bekannte Allergie	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-
Schleimhautassoziierte Beschwerden	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
Tätigkeitsassoziierte Symptome	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+
Gesamt-IgE (<158 IU/ml)	309,5 / 145,2	14,3	12,4	15,3	33,8	9,7	14,8	76	4,5	8,3
Inhalationsscreen (ZL)										
Inhalationsscreen (Derma)										
Hausstaubmischung	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Gräserpollen (Frühblüher)	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gräserpollen (Spätblüher)	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Baumpollen (Frühblüher)	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Baumpollen (Spätblüher)	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Kräuterpollen	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tierepithellen	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
PRICK allgemein (Derma)										
Gräserpollen	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Baumpollen	+++	-	-	-	++	-	+	-	-	-
Kräuterpollen	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Alternaria alternata/tenuis	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aspergillus niger	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Cladosporium cladosporium	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Rhizopus stolonifer	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Penicillium chrysogenum	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Epicoccum nigrum	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Feder (Huhn, Ente)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dermatophagoides pteronyssinus	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-
Dermatophagoides farinae	-	-	-	-	++	-	-	-	-	-
Ragweed	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IgE-Testung: Berufsallergene										
Gold	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quecksilber	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silber	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nickel										
Titan										
Palladium										
Zink										
Kupfer										
Zinn										
Cadmium										
Methylmethacrylat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formaldehyd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Latex	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRICK Berufsallergene (Derma)										
Zirkonium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Beryllium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nickel 0,01%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nickel 0,1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Nickel 1%	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Lymphozytentransformationstest										
Beryllium	- (1,1)	(+) (2,2) / - (0,6)	(+) (2,8) / - (1,1)	- (0,4) / (+) (2,4)	- (1,5)	- (1,0) / - (0,4)	- (0,5) / - (1,2)	+ (10,1) / - (0,9) / - (0,7)	- (0,5)	- (0,6)
Blei			- (1,4)	+ (4,2)		- (0,9)	+ (6,9)	+ (4,1) / - (1,5)		
Cadmium			+ (3,8)	+ (3,6)		+ (5,1)	+ (4,2)	+ (8,7) / (+) (2,8)		
Gold			- (1,4)	- (1,4)		- (0,9)	+ (5,0)	- (1,2) / - (1,1)		
Indium			- (1,5)	- (1,6)		- (1,4)	(+) (2,5)	(+) 2,7 / - (1,0)		
Nickel			++ (13,2)	+ (9,4)		+ (8,3)	++ (17,9)	+ (8,0) / + (5,3)		
Palladium			- (1,0)	- (1,4)		- (0,7)	+ (4,1)	- (1,6) / - (0,8)		
Quecksilber-Chlorid			+ (4,4)	+ (4,2)		- (1,6)	+ (11,6)	+ (7,3) / - (1,9)		
Zinn			- (1,1)	- (1,9)		- (0,5)	(+) (2,1)	- (0,9) / - (0,5)		
Zirkonium	- (0,9)	- (1,1)	- (1,0) / - (0,8)	+ (3,3) / + (3,0)	- (1,0)	+ (3,6) / - (1,1)	(+) (2,8) / + (5,8)	(+) (2,4) / + (5,7) / + (5,2)	- (0,9)	- (0,3)
Platin										
Cobalt										
Molybdän										
Chrom										

5 Ergebnisse

Fortsetzung Tabelle 5.14: Allergiediagnostik

Personengruppe	Klinik II									Studienanfänger					
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Personen															
Anamnese															
bekannte Allergie	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-
Schleimhautassoziierte Beschwerden	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	(+)	+	-
Tätigkeitsassoziierte Symptome	-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-
Gesamt-IgE (<158 IU/ml)	8,7	49,3	18,3	34,3	4,4	128	29,6	369,3	30,0	6,7	413,8	183,6	94,6	24,5	16,1
Inhalationsscreen (ZL)	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-
Inhalationsscreen (Derma)															
Hausstaubmischung				-			-								
Gräserpollen (Frühblüher)				+			-								
Gräserpollen (Spätblüher)				+			-								
Baumpollen (Frühblüher)				-			+								
Baumpollen (Spätblüher)				-			+								
Kräuterpollen				-			-								
Tierepithellen				-											
PRICK allgemein (Derma)															
Gräserpollen				+++			-								
Baumpollen				++			++								
Kräuterpollen				+			-								
Alternaria alternata/tenuis				-			-								
Aspergillus niger				-			-								
Cladosporium cladosporium				-			-								
Rhizopus stolonifer				-			-								
Penicillium chrysogenum				-			-								
Epicoccum nigrum				-			-								
Feder (Huhn, Ente)				-			-								
Dermatophagoides pteronyssinus				-			-								
Dermatophagoides farinae				-			-								
Ragweed				-			-								
IgE-Testung: Berufsallergene															
Gold	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Quecksilber		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Silber	-														
Nickel	-	-	-	-	Nickel	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Titan	-														
Palladium	-														
Zink	-														
Kupfer	-														
Zinn	-														
Cadmium		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Methylmethacrylat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Formaldehyd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Latex	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PRICK Berufsallergene (Derma)															
Zirkonium				-			-								
Beryllium				-			-								
Nickel 0,01%				-			-								
Nickel 0,1%				-			-								
Nickel 1%				-			-								
Lymphozytentransformationstest															
Beryllium	- (0,8)	- (1,1)	- (1,7)	- (1,1)	- (0,5)	- (0,7)	- (1,1)	- (1,3)	- (0,6)	- (1,7)	- (1,3)	- (1,0)	- (0,4)	- (1,1)	- (1,0)
Blei															
Cadmium															
Gold															
Indium															
Nickel															
Palladium															
Quecksilber-Chlorid															
Zinn															
Zirkonium	- (0,8)	- (0,7)	- (1,3)	- (1,0)	- (0,4)	- (0,6)	- (1,9)	+ (3,0)	- (1,2)	- (1,4)	- (1,3)	- (0,9)	- (0,4)	- (2,0)	- (1,2)
Platin	- (0,7)														
Cobalt					- (1,1)	- (0,7)									
Molybdän						- (0,8)									
Chrom						- (0,8)	- (1,7)	- (1,0)							

5.3.5 Lungenfunktionsdiagnostik

5.3.5.1 Bodyplethysmographie

Einen Überblick über die Ergebnisse der Lungenfunktionsuntersuchung mit Berücksichtigung von Anamnese und Allergiediagnostik gibt Tabelle 5.15.

Tabelle 5.15: Übersicht wesentlicher klinischer Befunde

Personengruppe	Klinik I										Klinik II									Studienanfänger						
Person	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Anamnese																										
bekannte Allergie	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-	-	+	+	+	-	+	+	-	-	+	-	+	-	+	-	-
Schleimhautass.Beschwerden	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+		+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	+	(+)	+	-
Tätigkeitsass.Beschwerden	+	+	+	-	-	+	+	+	+	+		-	+	+	-	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-
Zigarettenkonsum	-	-	Ex	-	-	-	-	-	Ex	-	R	-	Ex	-	Ex	-	-	-	-	-	-	-	-	R	R	-
Bodyplethysmographie																										
Obstruktion	+	-	+	+	+	+	(-)	+	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	(+)	-	+
Restriktion	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Überblähung	-	-	(+)	-	-	-	+	-	-	-	(+)	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	(+)	-	+
Allergietestung																										
Gesamt-IgE	(+)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-
Inhalationsscreen	+	-	-		+	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-
IgE-Methylmethacrylat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IgE-Latex	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
IgE-Formaldehyd	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LTT-Beryllium	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
LTT-Zirkonium	-	-	-	+	-	(+)	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-
PRICK																										
Ubiquitäre Sofortallergene	+	-	-		+	-	+	-	-	-					+			+								
Beryllium	-	-	-		-	-	-	-	-	-					-			-								
Zirkonium	-	-	-		-	-	-	-	-	-					-			-								

+: positiv bzw. erhöht, -: negativ bzw. erniedrigt, (+): variabel bzw. fraglich positiv, (-): im Normbereich mit Reversibilität, **R**: Raucher, **Ex**: Ex-Raucher, *: anamnestische Angabe, **leeres Kästchen**: Untersuchung wurde bei dieser Person nicht durchgeführt

Lungenfunktionsanalytisch ließ sich bei 6 von 26 Personen (Personen 1, 6, 8, 13, 23 und 26) anhand teils mehrfach durchgeführter Bodyplethysmographien eine variable Atemwegsobstruktion mit Wechsel zwischen teils normwertiger, teils erhöhter Resistance bzw. erniedrigtem Tiffeneau-Index feststellen. Ebenfalls 6 der Untersuchten (Personen 3, 4, 5, 11, 17 und 25) wiesen eine bereits manifeste obstruktive Ventilationsstörung mit erniedrigtem Tiffeneau-Index und/oder erhöhter Resistance (R) auf. Bei Person 5 konnte nach Bronchospasmyse lediglich eine Teilreversibilität dokumentiert werden, siehe Abbildung 5.54. Die Personen 3 und 17 ließen zudem eine periphere Flusslimitation erkennen.

Unter den 6 Personen mit manifester Atemwegsobstruktion befanden sich 4 Teilnehmer (Personen 3, 11, 17 und 25) mit Zeichen der pulmonalen Überblähung: Bei Person 3 zeigte sich ein erhöhtes Residualvolumen (RV), bei den Personen 11 und 17 waren jeweils RV sowie der Quotient aus RV und Totaler Lungkapazität (RV%TLC) erhöht. Ein erhöhter RV%TLC konnte auch bei Person 25 festgestellt werden.

Bei 2 weiteren Personen (Personen 7 und 23) waren ebenfalls Zeichen einer (variablen) pulmonalen Überblähung zu finden: Person 7 hatte wiederholt einen erhöhten RV%TLC und wies mit 0,29 kPaxs/l einen grenzwertigen expiratorischen Widerstand auf (Grenzwert 0,30 kPaxs/l). Nach Bronchospasmyse nahm R ab. Für Person 23 konnte eine variable pulmonale Überblähung mit einmalig erhöht gemessenem RV%TLC (132 %Soll) bei ansonsten unauffälligen RV%TLC-Werten festgestellt werden.

Zeichen einer manifesten Restriktion ließen sich bei keiner der am Untersuchungsprogramm teilnehmenden Personen bodyplethysmographisch erkennen. Lediglich bei Person 19 waren die TLC und Vitalkapazität (VC) geringfügig erniedrigt.

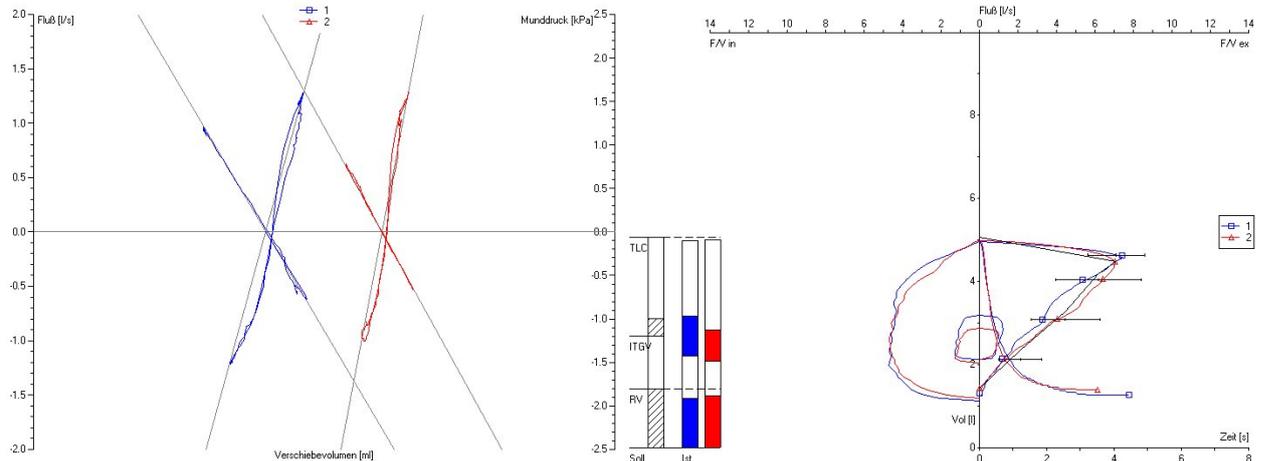


Abbildung 5.54: Bodyplethysmographie Person 5 (links Resistance-Schleifen, rechts Fluss-Volumen-Kurven): Leichtgradige Obstruktion mit peripherer Flusslimitation (blau), nicht vollständig reversibel nach Bronchospasmyse (rot)

5.3.5.2 Spirometrie

Im Rahmen der einmaligen arbeitsmedizinischen Vorstellung in unserem Institut für Arbeitsmedizin wurde bei den Studierenden im ersten Semester neben der Bodyplethysmographie eine Spirometrie durchgeführt. Insgesamt fanden sich in dieser Untersuchung bei 2 Personen (Personen 24 und 25) Zeichen einer obstruktiven Ventilationsstörung. Person 25 war bodyplethysmographisch bereits mit einer manifesten Atemwegsobstruktion auffällig geworden. Bei einer weiteren Person (Person 20) konnte lediglich eine diskrete Minderung des Tiffeneau-Index dokumentiert werden.

Personen 23 und 26, die in der Bodyplethysmographie mit einer variablen Atemwegsobstruktion auffielen, zeigten in der Spirometrie keine Auffälligkeiten.

5.3.5.3 CO-Diffusion

In der CO-Diffusions-Messung zeigten 2 der 22 Untersuchten (Personen 5 und 13) diskrete Auffälligkeiten (n.d. bei Personen 4, 11, 12 und 17): Die TLCOSB war bei Person 5 mit 75,3% vom Soll (%/Soll) leicht erniedrigt, ebenso wie die KCO mit 78,4%/Soll. Person 13 wies eine TLCOSB von 64,1%/Soll auf, in der Kontrolle betrug diese 71%/Soll. Die KCO lag mit initial 77,1%/Soll ebenfalls unter der Sollgrenze, erreichte in einer Kontrollmessung dann aber mit 94,5%/Soll den Normbereich.

5.3.6 eNO-Bestimmung in der Ausatemluft

Die Messung des Stickstoffmonoxids in der Ausatemluft (exhalieretes NO $\hat{=}$ eNO) erfolgte bei 9 von 10 Mitarbeitern der Klinik I (n.d. bei Person 4) im Rahmen der ergänzenden Untersuchungen in unserem Institut für Arbeitsmedizin.

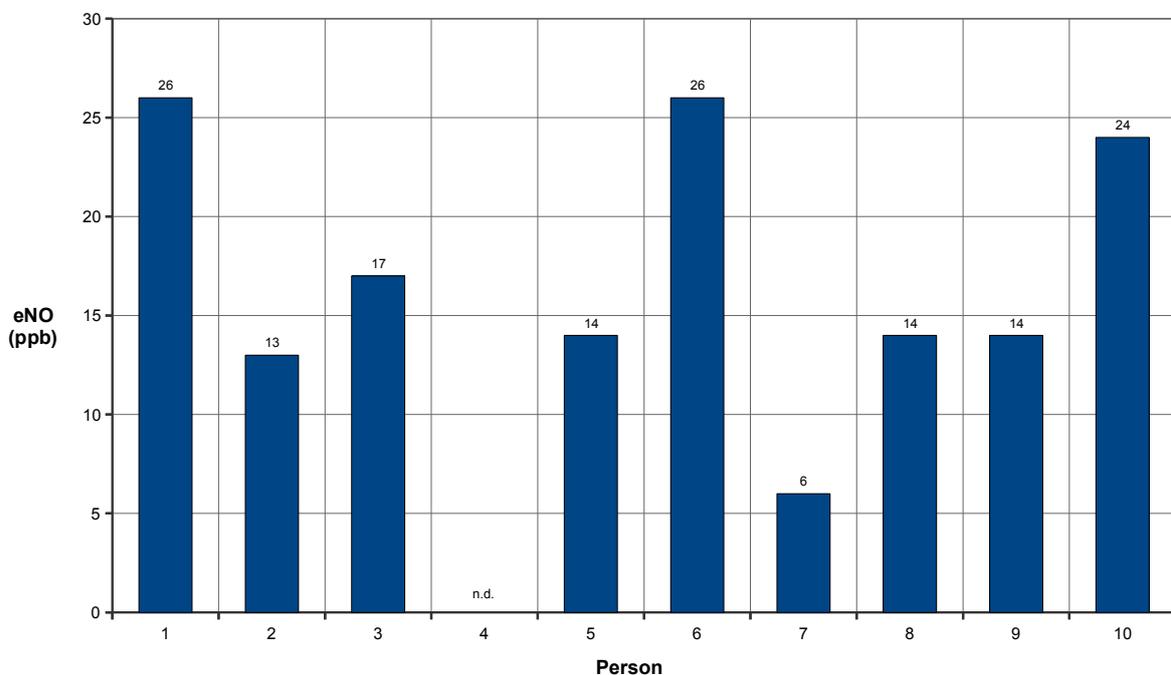


Abbildung 5.55: eNO: Mitarbeiter Klinik I

(n.d.: Messung wurde bei dieser Person nicht durchgeführt)

Die Messwerte lagen in einem Bereich von 6 bis 26 parts per billion (ppb), siehe Abbildung 5.55. Personen 1 und 6, die beide eine positive Allergiediagnostik aufwiesen (Person 1: positiver Prick-Übersichtstest und positive serologische Allergietestung, Person 6: rezidivierende, generalisierte urtikarielle Hautveränderungen), zeigten jeweils einen eNO-Wert von 26 ppb. Person 10 hatte einen eNO-Wert von 24 ppb - bei ihr war die Allergiediagnostik unauffällig.

Person 5, die bodyplethysmographisch eine manifeste Atemwegsobstruktion zeigte und sowohl im Prick-Test als auch serologisch positiv auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene reagierte,

wies eine eNO-Konzentration von 14 ppb auf. Person 7, die ebenfalls im Prick-Test ein positives Ergebnis aufwies, hatte einen eNO-Wert von 6 ppb.

Bei den Personen 2, 3 sowie 8 und 9 lagen die eNO-Konzentration zwischen 13 und 17 ppb.

Die eNO-Messungen erfolgten bei den Mitarbeitern der Klinik II im Rahmen der Untersuchungen am Arbeitsplatz. Die Ergebnisse werden daher in Kapitel 5.4.2 dargestellt.

Von den 7 Studierenden im ersten Semester waren bei 3 Personen eNO-Werte in einem Bereich von 42 bis 135 ppb messbar, siehe Abbildung 5.56.

Die höchsten Werte hatte in dieser Gruppe Person 24 mit einer Konzentration von 117 bzw. 135 ppb in der Kontrollmessung. Bei ihr lag eine positive Allergianamnese mit neurodermitischen Beschwerden im Kindesalter sowie allergischen Hautreaktionen auf Chlor vor.

Person 22, welche anamnestisch keine allergisch bedingten Auffälligkeiten aufwies, bei der jedoch ein Gesamt-IgE von 413,8 IU/ml bestimmt werden konnte, zeigte in der Erstuntersuchung eine eNO-Konzentration von 65 ppb und in der Kontrolle von 69 ppb. Bei Person 25 betrug das eNO 42 und 48 ppb. Anamnestisch waren bei ihr ekzematöse Hautveränderungen und allergische Beschwerden mit einer asthmatischen Komponente bekannt. Die anderen 4 Studierenden hatten eNO-Konzentrationen von 6 bis maximal 11 ppb.

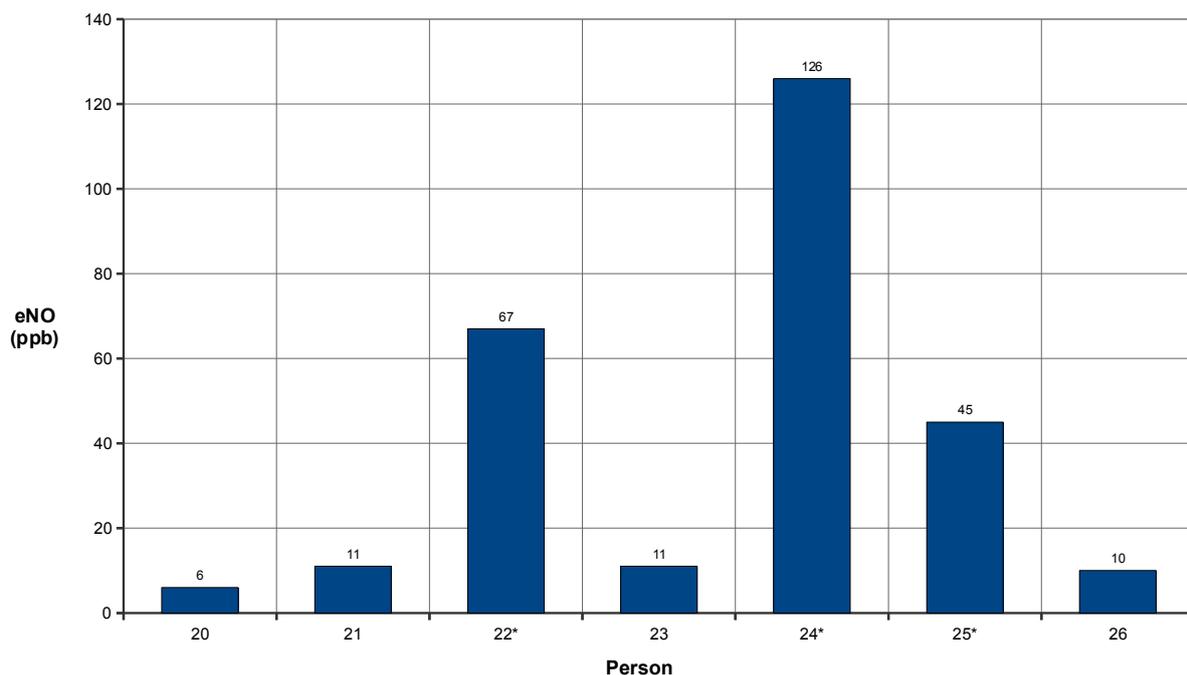


Abbildung 5.56: eNO: Studierende im ersten Semester

(*: Bei 2 durchgeführten Messungen wurde der Mittelwert herangezogen)

5.3.7 Bestimmung der Atemexhalat-Parameter

Bei den Studierenden im ersten Semester erfolgte die Bestimmung der Atemexhalat-Parameter Wasserstoffperoxid und pH im Rahmen der Vorstellung in unserer Poliklinik. Die Messungen waren folglich nicht arbeitsparallel und wurden unabhängig von der Tageszeit durchgeführt.

5.3.7.1 Wasserstoffperoxid

Die Werte für Wasserstoffperoxid (H_2O_2) lagen bei den Studienanfängern in einem Bereich von 0 bis maximal 280 nmol/l. Durchschnittlich lagen die H_2O_2 -Konzentrationen bei 120 ± 39 nmol/l (Mittelwert \pm Standardfehler des Mittelwertes $\hat{=}$ MW \pm SEM). Der Median betrug 100 nmol/l, siehe Abbildung 5.57.

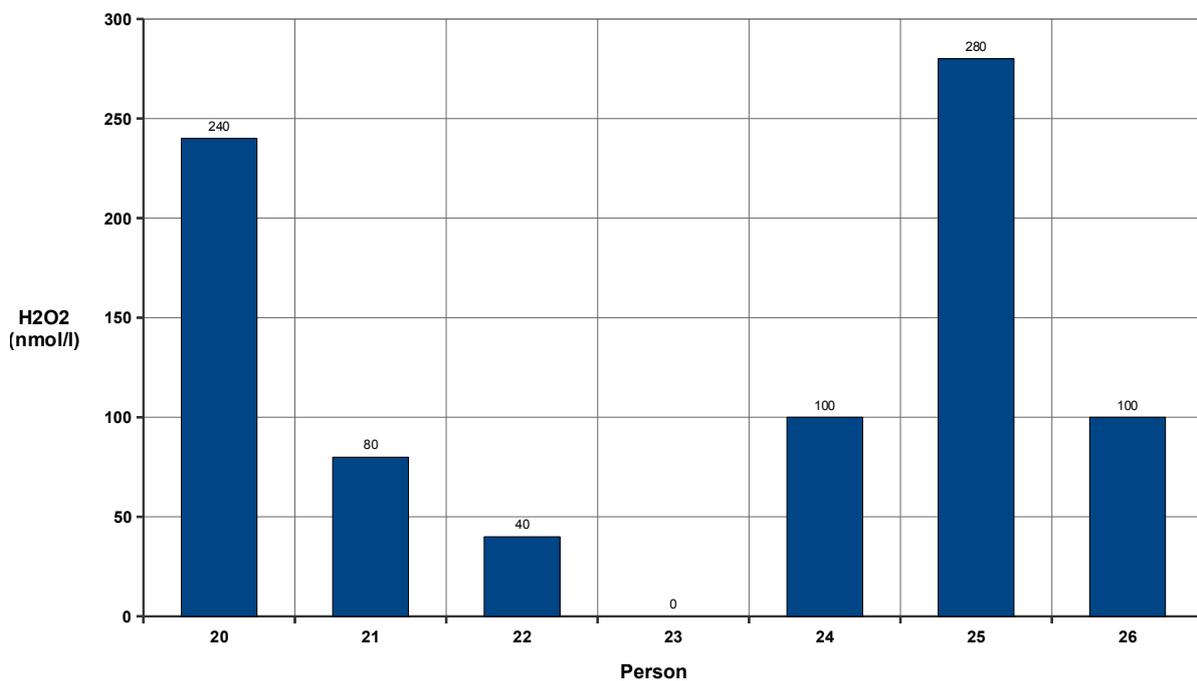


Abbildung 5.57: H_2O_2 -Konzentration: Studierende im ersten Semester

5.3.7.2 pH-Messung

Der pH-Wert im EBC lag bei 5 der 7 Studienanfänger bei 7,0 und bei den anderen beiden bei 6,8 (Person 25) bzw. 7,2 (Person 24). Der durchschnittliche pH-Wert betrug $7,0 \pm 0,04$.

5.3.7.3 Zytokine

Die einmalige Bestimmung der Parameter IL-6, -8 und -12p70 sowie $\text{IFN-}\gamma$ und VEGF als präklinische Marker im Atemexhalat erbrachte bei den Studierenden im ersten Semester als Ergebnis bei allen 7 Personen einen „0“ - Wert, Einzelheiten siehe Tabelle 5.16 auf Seite 114.

5.3.8 Zytopathologische Diagnostik

Die zytopathologischen Untersuchungen des Nasenabstrichs der rechten und linken Nasenhöhle sowie des Sputums erbrachten bei allen 9 untersuchten Personen aus Klinik I (n.d. bei Person 4) jeweils einen negativen zytopathologischen Befund ohne Hinweise auf entzündliche Veränderungen oder Zellatypien.

Bei den Mitarbeitern aus Klinik II konnte dagegen bei 6 von 8 Untersuchten (n.d. bei Person 11) im Nasenabstrich sowohl einseitig als auch teils beidseitig eine vermehrte Anzahl an Granulozyten als Zeichen eines mäßig- bis mittelgradigen florid entzündlichen Zellbilds nachgewiesen werden (Personen 12, 13, 15, 16, 17 und 19), siehe Abbildung 5.58. Zellatypien konnten bei keiner der untersuchten Personen diagnostiziert werden.

Bei Person 16 ließen sich zudem in der Sputum-Zytologie kokkoide, actinomycesartige Erregerformationen erkennen. Person 19 wies neben einem leicht entzündlichen Zellbild im Nasenabstrich auch eine diskrete florid entzündliche Veränderung im Sputum mit einer erhöhten Anzahl an Granulozyten auf.

In der zytologischen Urin-Analyse bei den 8 Teilnehmern aus Klinik II (n.d. bei Klinik I) zeigten sich keine wesentlichen pathologischen Befunde (bei einer weiblichen Person waren wenige Erythrozyten nachweisbar, DD Menstruation).

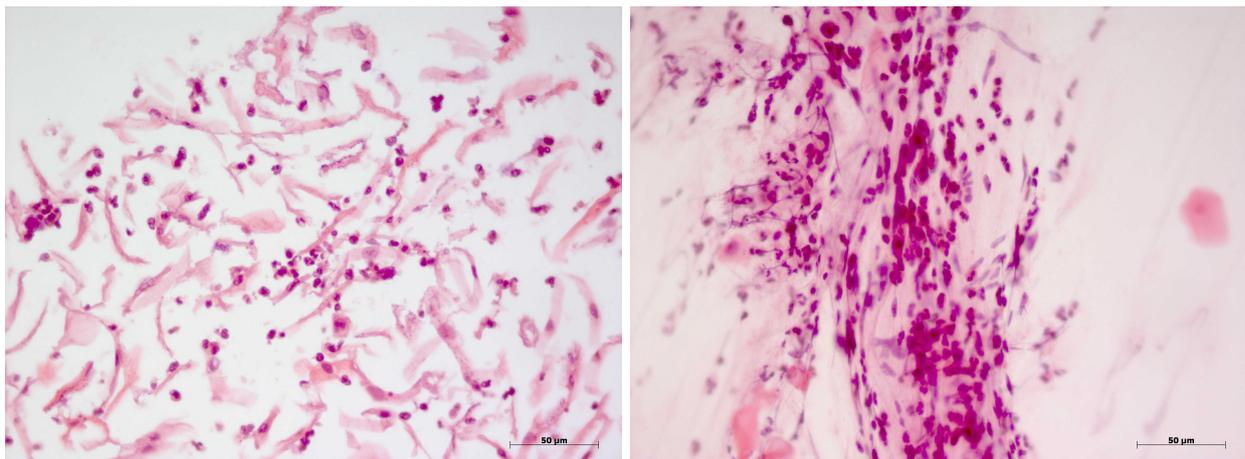


Abbildung 5.58: Zytopathologische Untersuchung von Sputum (links) und Nasenabstrich (rechts) mit florid entzündlichem Zellbild (400-fache Vergrößerung, HE-Färbung)

5.3.9 Bildgebende Diagnostik

Eine konventionelle Röntgen-Aufnahme des Thorax wurde bei 5 der 26 Personen (Personen 2, 3, 14, 15 sowie 18) durchgeführt. Bei Person 2 lag zudem ein älterer Fremdbefund zum Vergleich vor. Bei Person 13 konnte ebenfalls auf einen uns zur Verfügung gestellten Fremdbefund zurückgegriffen werden.

Hinweise für eine interstitielle Lungenerkrankung ließen sich bei keiner der Personen feststellen. Bei

den Personen 2 und 13 waren keine Auffälligkeiten ersichtlich. Bei Personen 15 und 18 fanden sich neben einem unauffälligen Lungenparenchym Zeichen einer Trichterbrust bzw. einer Skoliose der Brustwirbelsäule. Kleine rechtsbetonte Pleurakuppenschwielen konnten bei Person 14 festgestellt werden.

5.3.10 Ultraschalluntersuchung der Bauchorgane

Im Rahmen des ergänzten Programms erfolgte bei 7 der insgesamt 9 Mitarbeiter aus der Klinik II eine Ultraschalluntersuchung der Bauchorgane (n.d. bei Personen 11 und 19).

Diese Untersuchung erbrachte bei 4 der Personen einen unauffälligen Befund. Bei den Personen 12 und 16 konnte eine geringgradige Splenomegalie dargestellt werden und bei Person 13 zeigte sich der Verdacht auf eine Steatosis hepatis Grad I.

5.3.11 Zusammenfassung der klinischen Befunde

Von dem insgesamt 26 Personen umfassenden Kollektiv klagten 17 der Befragten über schleimhautassoziierte Beschwerden und 13 gaben eine tätigkeitsassoziierte Beschwerdesymptomatik mit Rötung der Haut, Reizung der Augen oder Atembeschwerden mit Husten und Dyspnoe an.

Eine Person gab eine seit wenigen Jahren bestehende Raynaud-Symptomatik sowie eine Veränderung des Riechempfindens an.

Lungenfunktionsanalytisch konnte bei 12 (bzw. 13 - bei Person 7 lagen die Werte im Grenzbereich, sie wird nachfolgend in Klammer mitgezählt) Teilnehmern eine variable oder bereits manifeste obstruktive Ventilationsstörung festgestellt werden. 5 (6) dieser Personen wiesen zudem eine pulmonale Überblähung auf. Eine manifeste Restriktion war bei keinem Teilnehmer nachzuweisen. Zwei der 12 lungenfunktionsanalytisch auffälligen Personen waren aktive Raucher.

In der serologischen Allergiediagnostik auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene konnte bei 6 (7) der 12 (13) bodyplethysmographisch mit einer Atemwegsobstruktion auffälligen Personen eine Sensibilisierung nachgewiesen werden. In der spezifischen IgE-Testung auf die Berufsallergene Methylmethacrylat, Latex und Formaldehyd zeigte keine der untersuchten Personen ein positives Befundergebnis.

Auf Beryllium konnte ebenfalls, sowohl im LTT als auch im Prick-Test, bei keinem der getesteten Teilnehmer eine Sensibilisierung festgestellt werden. Dagegen konnte bei 2 Zahnärzten und 2 Studierenden im höheren klinischen Semester auf Zirkonium eine Typ-IV-Sensibilisierung nachgewiesen und bei einem weiteren zahnärztlichen Mitarbeiter nicht eindeutig ausgeschlossen werden. Bei den Studienanfängern war keine Zirkonium-Sensibilisierung nachweisbar.

Eine Typ-I-Reaktion auf Zirkonium ließ sich im Prick-Test bei keinem Teilnehmer nachweisen.

In der ausführlichen Labor- und Urindiagnostik fanden sich bei keinem Teilnehmer wesentliche vom Normwert abweichende Befunde. Die Hepatitis-Serologie bzgl. HBV und HCV zeigte sich bei allen Untersuchten unauffällig.

Alle Mitarbeiter der Kliniken I und II zeigten einen negativen zytopathologischen Befund in Nasenabstrich, Sputum und Urin. Bei 6 von 8 untersuchten Mitarbeitern der Klinik II ließ sich ein florid entzündliches Zellbild im Nasenabstrich dokumentieren.

Die bildgebende Diagnostik sowie die Ultraschalluntersuchung der Bauchorgane ließen bei keinem der Teilnehmer eine wesentliche Pathologie erkennen.

5.4 Arbeitsplatz-Diagnostik

Nach einem arbeits- und expositionsfreien Wochenende wurde bei den teilnehmenden Mitarbeitern der Klinik I jeweils Montag morgens vor Arbeitsbeginn mit den arbeitsparallelen Untersuchungen begonnen. Vor Ort wurden prä- und postexpositionell, d.h. vor Arbeitsbeginn und nach Arbeitsende, im frisch gewonnenen und kondensierten Atemexhalat (EBC) die Wasserstoffperoxid-Konzentration (H_2O_2) und der pH-Wert bestimmt. Ferner wurde eine Spirometrie durchgeführt. Die Messungen erfolgten jeden Tag und endeten nach einer Arbeitswoche Freitag nachmittags. Die Zytokin-Bestimmungen im EBC erfolgten sukzessive, vgl. Kapitel 4.4.3.1.

Bei den teilnehmenden Mitarbeitern der Klinik II erfolgte die arbeitsparallele Diagnostik ebenfalls prä- und postexpositionell; die Untersuchungen beschränkten sich auf 2 nicht unmittelbar aufeinander folgende Arbeitstage innerhalb einer Arbeitswoche. Zusätzlich wurde bei diesen Teilnehmern das Stickstoffmonoxid in der Ausatemluft (eNO) bestimmt.

Ausnahmen: Bei Person 11 war aus organisatorischen Gründen zwischen 1. und 2. Messtag ein zeitlicher Abstand von 10 Tagen. Zudem konnten bei ihr nur 3 Messungen durchgeführt werden. Bei Person 14 erfolgten auf Grund eines internen Arbeitsplatzwechsels mit einer damit verbundenen wesentlichen Verringerung der arbeitsplatzbezogenen Expositionen die Messungen nur an einem Tag.

5.4.1 Spirometrie

5.4.1.1 Mitarbeiter der Klinik I

In der Spirometrie konnten in der präexpositionellen, Montag morgens durchgeführten Anfangsmessung unter den 10 teilnehmenden Personen der Klinik I insgesamt 6 Personen (Personen 1, 3, 4, 5, 6 und 8) mit Zeichen einer manifesten obstruktiven Ventilationsstörung und 3 Personen (Personen 2, 9 und 10) mit einer variablen Atemwegsobstruktion ausgemacht werden. Eine (mindestens einmalige) Zunahme der Atemwegsobstruktion mit Anstieg der Resistance und Abfall des Tiffeneau-Index über den Tag war bei 6 der 10 Personen zu verzeichnen (Personen 2, 3, 4, 5, 8 und 10). Bei 1 Person (Person 7) fand sich ein einmaliger Abfall der Resistance im Vergleich zur präexpositionellen Messung und bei 3 Personen ließ sich keine signifikante Veränderung der Obstruktions-Parameter im Tagesverlauf feststellen. Im Wochenverlauf zeichnete sich bei 4 Personen (Personen 2, 3, 4 und 5) eine zunehmende Tendenz der Atemwegsobstruktion ab - bei den anderen 6 Teilnehmern ließ sich diesbezüglich keine Veränderung dokumentieren.

Bei der 1. Messung Montag morgens zeigte sich bei Person 1 eine beginnende Atemwegsobstruktion mit erniedrigtem Tiffeneau-Index und vermindertem peripherem Fluss. Eine Zunahme der Atemwegsobstruktion im Tages- oder Wochenverlauf konnte nicht festgestellt werden. Bodyplethysmographisch fand sich bei Person 1 eine variable Atemwegsobstruktion.

Person 2 zeigte initial eine unauffällige Spirometrie mit diskret verminderter VC. Im Verlauf konnte dann eine vermutlich tätigkeitsassoziierte variable Atemwegsobstruktion mit Zunahme im Tages- und Wochenverlauf dokumentiert werden.

Eine obstruktive Ventilationsstörung mit Anstieg sowohl im Tages- wie auch Wochenverlauf mit vermindertem Tiffeneau-Index, peripherer Flusslimitation und grenzwertiger R war bei Person 3 zu verzeichnen. Person 3 war bodyplethysmographisch ebenfalls mit einer obstruktiven Ventilationsstörung auffällig.

Eine vermutlich arbeitsplatzbezogene Zunahme der Atemwegsobstruktion mit leichter Abnahme des Tiffeneau-Index bei grenzwertiger Resistance konnte bei Person 4 festgestellt werden. Zudem fand sich zu Wochenbeginn eine Verminderung der VC. Bodyplethysmographisch ließ sich ebenfalls eine obstruktive Ventilationsstörung feststellen.

Person 5, die bereits in der Bodyplethysmographie durch eine teilreversible Atemwegsobstruktion auffällig war, zeigte auch in der arbeitsparallelen Spirometrie eine Atemwegsobstruktion (erniedrigter Tiffeneau-Index, erhöhter Atemwegswiderstand und periphere Flusslimitation) mit zunehmender Tendenz im Tages- und Wochenverlauf.

Bei Person 6 konnten Zeichen einer beginnenden Atemwegsobstruktion ohne eindeutige Tages- oder Wochendynamik festgestellt werden.

Person 7, die bodyplethysmographisch Zeichen einer variablen Atemwegsobstruktion zeigte, fiel lediglich durch einen einmaligen Abfall von R am 1. Messtag sowie einen einmaligen Anstieg des Atemwegswiderstandes am 2. Messtag bei ansonsten unauffälliger Spirometrie auf.

Zeichen einer variablen Atemwegsobstruktion mit einmaliger Abnahme des Tiffeneau-Index und gleichzeitiger Zunahme der Resistance im Tagesverlauf war bei Person 8 zu dokumentieren. Bodyplethysmographisch war bei Person 8 eine variable Atemwegsobstruktion festzustellen.

Bei der in der Bodyplethysmographie unauffälligen Person 9 fand sich auch in der arbeitsparallelen Spirometrie bei einmaligem Anstieg des Atemwegswiderstandes kein wesentlicher Hinweis auf eine obstruktive Ventilationsstörung.

Bei Person 10 war eine variable Atemwegsobstruktion mit an zwei Tagen (2. und 3. Messtag) im Tagesverlauf abfallendem Tiffeneau-Index und Zunahme der peripheren Flusslimitation bei ansonsten unauffälliger Spirometrie zu messen. Person 10 war bodyplethysmographisch unauffällig.

5.4.1.2 Mitarbeiter der Klinik II

Von den 9 untersuchten Mitarbeitern der Klinik II zeigten sich in der arbeitsparallelen Spirometrie bei insgesamt 3 Personen Zeichen der obstruktiven Ventilationsstörung mit gleichzeitig zunehmender Atemwegsobstruktion im Tagesverlauf (Personen 11, 13 und 17). Die anderen Personen waren spirometrisch unauffällig.

Alle 3 Personen waren - korrelierend zu diesem Ergebnis - bodyplethysmographisch mit Zeichen einer variablen (Person 13) bzw. bereits manifesten (Personen 11 und 17) Atemwegsobstruktion auffällig, vgl. hierzu Kapitel 5.3.5.1.

5.4.2 eNO-Bestimmung in der Ausatemluft

Die arbeitsparallele Bestimmung von Stickstoffmonoxid in der Ausatemluft zeigte bei den Mitarbeitern der Klinik II (n.d. bei Person 11) eNO-Werte in einem Bereich zwischen 9 und 156 ppb, siehe Abbildung 5.59. Von den 8 mit dieser Methodik untersuchten Personen ließen 2 bei allen vier Messungen erhöhte Messwerte erkennen (Personen 13 und 15). Bei 2 weiteren Personen konnte einmalig bei der letzten Messung eine Erhöhung der eNO-Konzentration (Personen 12 und 16) dokumentiert werden.

Bei Person 13 konnten jeweils morgens vor Tätigkeitsaufnahme eNO-Werte von 46 und 44 ppb und nach Arbeitsende am Nachmittag Werte von 38 und 49 ppb gemessen werden. Bei Person 13 (Ex-Raucher) waren langjährig bestehende allergiebedingte haut- und schleimhautassoziierte Beschwerden bekannt, zudem konnte aktuell bei ihr in der serologischen Testung eine positive Reaktion auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene nachgewiesen werden. Lungenfunktionsanalytisch fand sich bei Person 13 eine variable Atemwegsobstruktion.

Die höchsten Werte mit 156 und 150 ppb vor bzw. 134 ppb (Kontrolle: 112 ppb) und 99 ppb nach Exposition konnten bei Person 15 beobachtet werden, die gleichfalls Ex-Raucher, lungenfunktionsanalytisch jedoch unauffällig war. Person 15 gab anamnestisch ebenfalls schleimhautassoziierte Beschwerden an und auch sie reagierte sowohl im Prick-Test als auch serologisch positiv auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene.

Die Personen 12 und 16 zeigten bei der letzten Messung einen mit 38 bzw. 32 ppb gering erhöhten eNO-Wert. Person 12 gab anamnestisch einen Stockschnupfen an. Person 16 zeigte in Bezug auf Allergien eine blande Anamnese. Der Inhalationsscreen war bei beiden unauffällig.

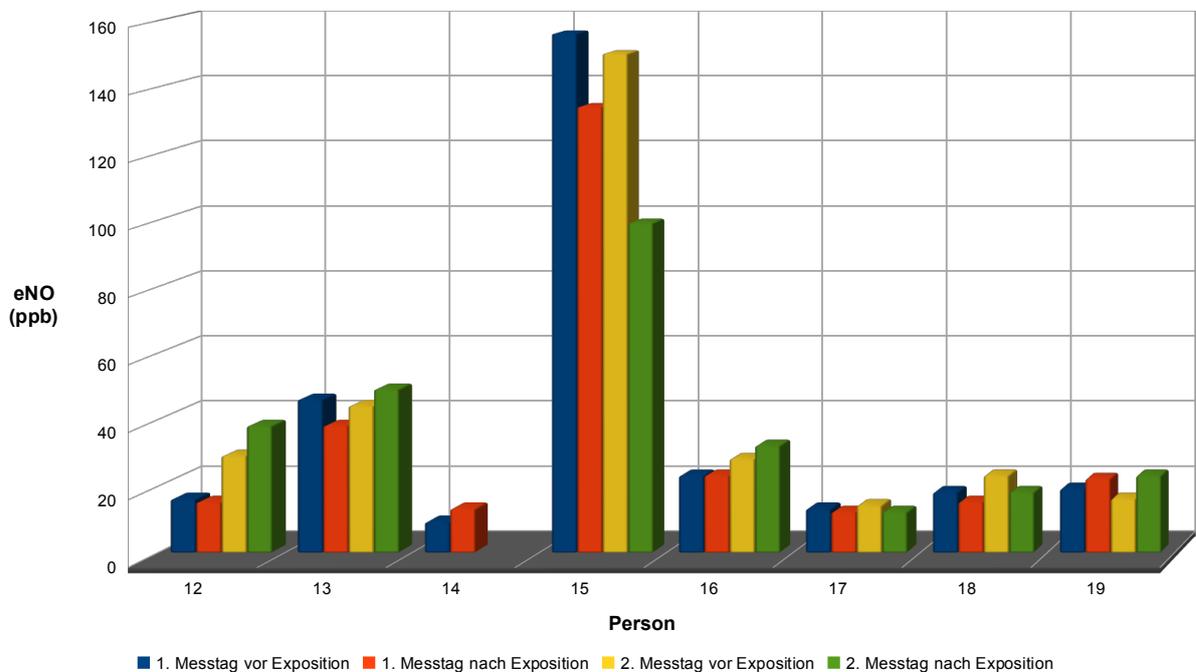


Abbildung 5.59: eNO-Messung: Mitarbeiter der Klinik II (n.d. bei Person 11)

5.4.3 Bestimmung der Atemexhalat-Parameter

5.4.3.1 Wasserstoffperoxid

Die Konzentrationen von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) im frisch kondensierten Atemexhalat als Marker für oxidativen Stress lagen bei allen 19 untersuchten Mitarbeitern der Kliniken I und II in einem Bereich von 0 bis 1.860 nmol/l. Die durchschnittliche H_2O_2 -Konzentration aller Mitarbeiter betrug 402 ± 30 nmol/l (MW \pm SEM), der Median lag bei 320 nmol/l.

Bei den zahnärztlichen Mitarbeitern der Kliniken I und II (einschließlich der beiden Studierenden im höheren Semester) betrug die durchschnittliche H_2O_2 -Konzentration 369 ± 60 nmol/l, bei den Zahnmedizinischen Fachangestellten lag diese bei 291 ± 47 nmol/l.

Präexpositionell konnte bei dem zahnärztlichen und assistierenden Personal im Atemexhalat eine mittlere H_2O_2 -Konzentration von 235 ± 27 nmol/l gemessen werden. Im Tagesverlauf war ein Anstieg der H_2O_2 -Konzentration auf Werte von 457 ± 66 nmol/l zu verzeichnen ($p = 0,004$). Im Mittel betrug die Zunahme 221 nmol/l.

Zu den Messergebnissen der einzelnen Person siehe Abbildung 5.60 und nachfolgende Abschnitte.

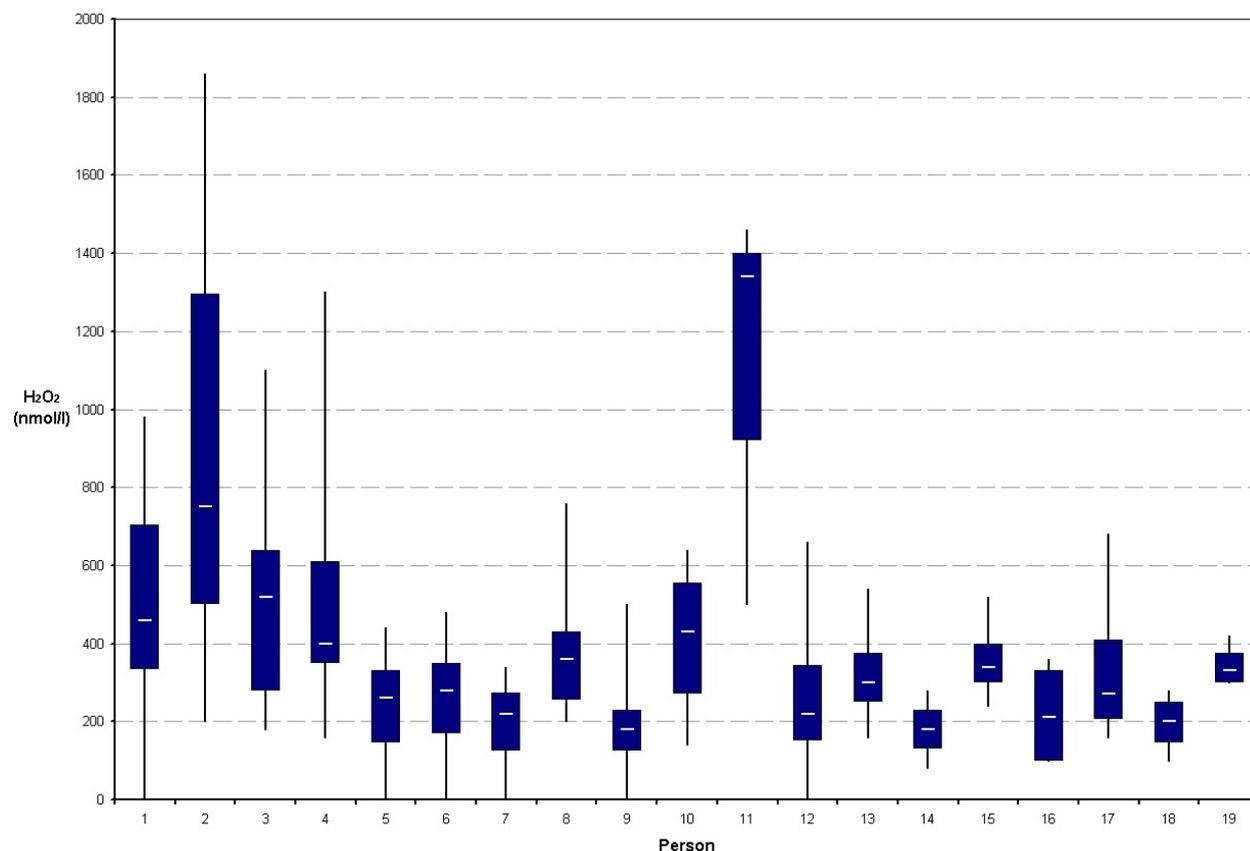


Abbildung 5.60: H_2O_2 -Messung: Mitarbeiter der Kliniken I und II
(angegeben sind Minimal- und Maximal-Wert, 25. und 75. Perzentile, Median)

Mitarbeiter der Klinik I

Die H_2O_2 -Werte dieser 10 untersuchten Mitarbeiter bewegten sich in einem Bereich zwischen 0 und 1.860 nmol/l und die mittlere Konzentration betrug 415 ± 35 nmol/l (Median 340 nmol/l).

Bei 3 Personen (Personen 1, 3 und 9) kam es im Verlauf der Messungen mindestens einmal (maximal zweimal) zu einer Abnahme der H_2O_2 -Konzentration im Tagesverlauf. Bei den anderen 7 Teilnehmern fand sich jeweils in der 2. Tagesmessung im Vergleich zur morgendlichen präexpositiven Messung eine Zunahme des H_2O_2 -Wertes, vgl. hierzu beispielhaft Abbildung 5.61 auf Seite 108. Bei 5 der 10 untersuchten Personen (Personen 1, 6, 7, 9 und 10) zeigten sich im Wochenverlauf ansteigende H_2O_2 -Konzentrationen. Dagegen fand sich bei 4 der Teilnehmer (Personen 2, 3, 4 und 8) eine rückläufige Wochendynamik und bei einer Person blieb die Konzentration über die Woche vergleichsweise konstant (Person 5).

Die H_2O_2 -Konzentrationen für Person 1 zeigten Werte von 0 bis 980 nmol/l mit einem Durchschnittswert von 503 ± 109 nmol/l (Median 460 nmol/l). An den Messtagen 2, 3 und 4 konnte jeweils eine H_2O_2 -Zunahme im Tagesverlauf, am 5. Tag dagegen eine Abnahme registriert werden (an Tag 1 erfolgte keine Messung). Im Wochenverlauf zeigte sich insgesamt eine Zunahme der H_2O_2 -Konzentration.

Bei Person 2 bewegten sich die Konzentrationen von H_2O_2 in einem Bereich von 200 bis maximal 1.860 nmol/l, durchschnittlich betrugen sie 918 ± 182 nmol/l (Median 750 nmol/l). Es konnte an allen fünf Messtagen eine Tageszunahme der H_2O_2 -Konzentration gemessen werden. Im Wochenverlauf ließ sich jedoch eher eine abnehmende Tendenz erkennen.

Zwischen 180 und 1.100 nmol/l betrugen die H_2O_2 -Konzentrationen bei Person 3. Der Durchschnitt lag bei 513 ± 99 nmol/l bzw. der Median bei 520 nmol/l. Am 1. Messtag erfolgte aus organisatorischen Gründen nur einmalig vor Arbeitsbeginn eine Messung. An den Messtagen 2, 3 und 5 konnte jeweils eine Zunahme, am 4. Messtag eine Abnahme des H_2O_2 -Wertes über den Tag festgestellt werden. Über die Woche fand sich eine H_2O_2 -Konzentrationsabnahme.

Für Person 4 konnte an allen fünf Messtagen eine Zunahme im Tagesverlauf gemessen werden, wobei sich auch hier insgesamt eher ein Konzentrationsrückgang im Verlauf der Arbeitswoche feststellen ließ. Die Werte bewegten sich zwischen 160 und 1.300 nmol/l, der Mittelwert betrug 548 ± 113 nmol/l (Median 400 nmol/l).

Bei Person 5 nahmen die H_2O_2 -Werte im Tagesverlauf an allen fünf Tagen zu. Eine wesentliche Wochendynamik ließ sich nicht erkennen. Insgesamt lagen die Werte bei ihr zwischen 0 und 440 nmol/l mit einem Durchschnitt von 236 ± 41 nmol/l bzw. Median von 260 nmol/l.

In einem Bereich von 0 bis 480 nmol/l lagen die H_2O_2 -Konzentrationen bei Person 6. Die Werte nahmen im Verlauf von vier Messtagen zu (aus organisatorischen Gründen wurde am 5. Tag keine Messung durchgeführt). Der Durchschnitt betrug 255 ± 62 nmol/l, der Median 280 nmol/l. An allen Messtagen war eine Zunahme der H_2O_2 -Konzentration im Tagesverlauf zu verzeichnen.

Person 7 zeigte Konzentrationen von 0 bis 340 nmol/l H_2O_2 . Der Mittelwert betrug 202 ± 35 nmol/l bzw. der Median 220 nmol/l. An allen Messtagen und im Wochenverlauf konnte eine Zunahme von H_2O_2 gemessen werden.

Ebenfalls täglich konnte bei Person 8 eine Tageszunahme, jedoch mit insgesamt rückläufiger Wochentendenz gezeigt werden. Die H_2O_2 -Konzentrationen bewegten sich zwischen 200 und 760 nmol/l. Die durchschnittliche Konzentration betrug 386 ± 57 nmol/l, der Median lag bei 360 nmol/l. Der höchste H_2O_2 -Wert konnte postexpositionell am 3. Tag gemessen werden. Person 8 gab für diese Messung an, zuvor im Rahmen wissenschaftlicher Tätigkeit Umgang mit Chemikalien (u.a. Glutaraldehyd, Formaldehyd, Ethanol) gehabt zu haben.

Für die Person 9 fand sich an den Tagen 1 und 4 jeweils eine Abnahme der H_2O_2 -Konzentration und an den Tagen 2, 3 und 5 eine Zunahme. Die bei ihr gemessenen H_2O_2 -Werte schwankten zwischen 0 und maximal 500 nmol/l, der Mittelwert war 182 ± 44 nmol/l und der Median lag bei 180 nmol/l. Über die Messwoche fand sich eine H_2O_2 -Zunahme.

Die H_2O_2 -Konzentrationen bei Person 10 schwankten im Wochenverlauf zwischen 140 und 640 nmol/l mit ansteigender Wochentendenz (Mittelwert 410 ± 57 nmol/l, Median 430 nmol/l). Es konnte täglich eine Zunahme der H_2O_2 -Konzentration im Tagesverlauf gemessen werden, siehe Abbildung 5.61.

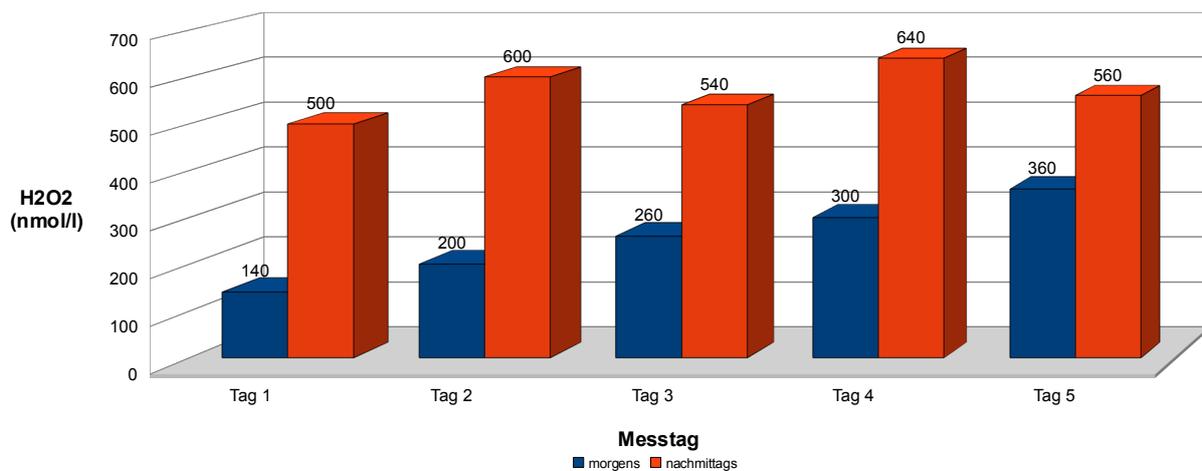


Abbildung 5.61: Person 10: H_2O_2 -Messung im Tages- und Wochenverlauf

Mitarbeiter der Klinik II

Bei den Mitarbeitern der Klinik II bewegten sich die Konzentrationen für H_2O_2 in einem Bereich von 0 bis 1.460 nmol/l. Der Mittelwert betrug 361 ± 54 nmol/l, der Median lag bei 300 nmol/l. Im Tagesverlauf stieg die H_2O_2 -Konzentration an jeweils beiden Messtagen bei 4 der 9 untersuchten Personen an (Personen 13, 17, 18 und 19). Eine einmalige Abnahme der Konzentration im Tagesverlauf konnte bei den Personen 12 und 15 beobachtet werden.

Bei Person 11 wurden insgesamt 3 Messungen durchgeführt. Die Einzelwerte betragen 500, 1460 und 1340 nmol/l. Der Mittelwert lag bei 1.100 nmol/l und der Median betrug 1.340 nmol/l.

Der Konzentrationsbereich für Person 12 bewegte sich zwischen 0 und 660 nmol/l bei einem Mittelwert von 275 nmol/l und einem Median von 220 nmol/l. Für den 1. Messtag konnte eine Zunahme, für den 2. Tag eine Abnahme des H₂O₂-Wertes beobachtet werden.

Person 13 zeigte H₂O₂-Werte zwischen 160 und 540 nmol/l. Die durchschnittliche H₂O₂-Konzentration betrug 325 nmol/l, der Median lag bei 300 nmol/l. An beiden Messtagen nahm die Konzentration im Tagesverlauf zu.

Person 14 wurde auf Grund der nicht mehr unmittelbar gegebenen tätigkeitsassoziierten Exposition nur an einem Tag untersucht. Die H₂O₂-Werte betragen vor Arbeitsbeginn 80 und nach Ende der Arbeitszeit 280 nmol/l.

Eine Zunahme am 1. Messtag bzw. eine Abnahme am 2. Messtag konnte bei Person 15 beobachtet werden. Bei ihr lagen die Werte zwischen 240 und 520 nmol/l. Der mittlere Wert betrug 360 nmol/l, der Median 340 nmol/l.

Bei Person 16 zeigten sich Werte zwischen 100 und 360 nmol/l (Mittelwert 220 nmol/l, Median 210 nmol/l). Am 1. Tag konnte im Tagesverlauf keine Änderung, am 2. Tag dann eine Zunahme der H₂O₂-Konzentration gemessen werden.

Eine Zunahme der H₂O₂-Konzentration an beiden Messtagen fand sich bei Person 17. Der Messbereich betrug 160 bis maximal 680 nmol/l bei einem mittleren H₂O₂-Wert von 345 nmol/l (Median 270 nmol/l).

Ebenfalls eine Zunahme im Tagesverlauf an beiden Tagen war für Person 18 nachweisbar. Die Werte bewegten zwischen 100 und 280 nmol/l (Mittelwert 195 nmol/l, Median 200 nmol/l).

H₂O₂-Konzentrationen von 300 bis 420 nmol/l und eine Tageszunahme an beiden Messtagen waren bei Person 19 zu messen. Der Mittelwert betrug 345 nmol/l und Median 330 nmol/l.

5.4.3.2 pH-Messung

Die Werte für den pH bewegten sich bei allen 19 untersuchten Personen der Kliniken I und II in einem Bereich zwischen 5,6 und 9,4. Durchschnittlich betrug der im Atemexhalat gemessene pH-Wert $6,95 \pm 0,04$ bei einem Median von 6,95.

Bei den zahnärztlichen Mitarbeitern der Kliniken I und II einschließlich der beiden Studierenden im höheren Semester betrug der durchschnittliche pH-Wert $6,89 \pm 0,08$. Bei den zahnmedizinischen Fachangestellten lag der mittlere pH-Wert bei $7,10 \pm 0,04$.

Präexpositionell konnte bei dem zahnärztlichen und assistierenden Personal im Atemexhalat ein mittlerer pH-Wert von $6,85 \pm 0,07$ gemessen werden. Im Tagesverlauf war ein Anstieg des pH-Wertes auf $7,07 \pm 0,06$ zu verzeichnen ($p = 0,023$).

Zu den Messergebnissen der einzelnen Person siehe Abbildung 5.62 und nachfolgende Abschnitte.

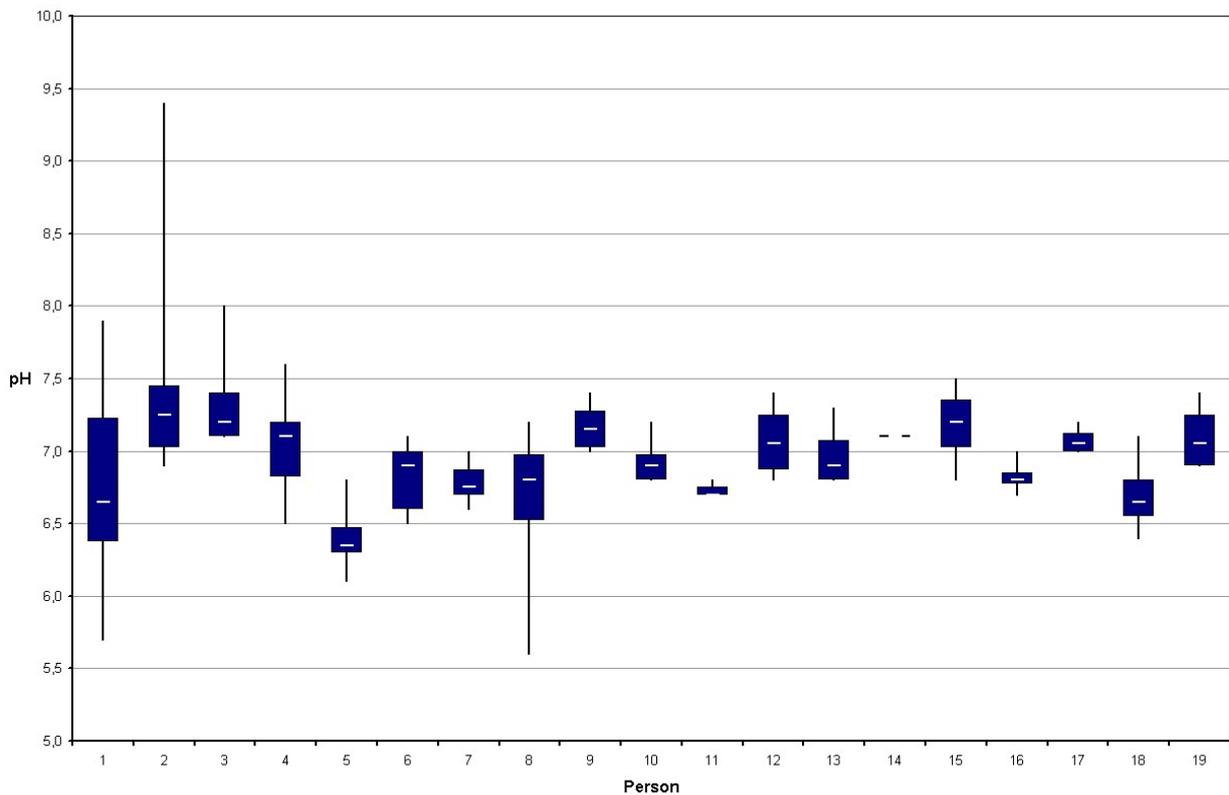


Abbildung 5.62: pH-Messung: Mitarbeiter der Kliniken I und II
(angegeben sind Minimal- und Maximal-Wert, 25. und 75. Perzentile, Median)

Mitarbeiter der Klinik I

Der pH-Wert betrug bei den 10 Mitarbeitern der Klinik I im Durchschnitt $6,96 \pm 0,05$ und bewegte sich bei den einzelnen Personen in einem Bereich von 5,6 bis 9,4. Der Median betrug 6,9. Von den 10 Teilnehmern konnte bei 6 Personen (Personen 3, 4, 5, 6, 7, und 10) ein Anstieg des pH-Wertes im Messverlauf und bei 3 Personen (Personen 1, 2 und 9) eine pH-Abnahme dokumentiert werden, vgl. hierzu beispielhaft Abbildung 5.63 auf Seite 112. Bei einem Teilnehmer (Person 8) konnte keine wesentliche Wochendynamik des pH festgestellt werden.

Bei Person 1 lag der pH zwischen 5,7 und 7,9 und der Mittelwert betrug $6,79 \pm 0,26$, der Median lag bei 6,65. An drei Tagen konnte im Tagesverlauf eine Zu- und an einem Tag eine Abnahme gemessen werden. Insgesamt fand sich eine abnehmende pH-Wochendynamik.

Ebenfalls eine abnehmende Wochendynamik konnte bei Person 2 dokumentiert werden. Bei ihr konnten für den pH Werte im Bereich von 6,9 bis maximal 9,4 gemessen werden. Mittelwert bzw. Median lagen bei $7,44 \pm 0,23$ bzw. 7,25. An den Tagen 1 und 5 konnte im Tagesverlauf jeweils eine pH-Abnahme und an den Tagen 2 und 4 eine pH-Zunahme registriert werden. Am 3. Tag zeigte sich keine Veränderung zwischen prä- und postexpositionell gemessenem pH.

Zwischen 7,1 und 8,0 schwankten bei Person 3 die pH-Werte mit steigender Dynamik im Wochenverlauf. Der mittlere Wert der pH-Messungen lag bei $7,34 \pm 0,1$, der Median bei 7,20. Es konnte

jeweils an zwei Tagen eine pH-Zunahme (Tag 4 und 5) bzw. eine Abnahme (Tag 2 und 3) dokumentiert werden. An Tag 1 erfolgte nur eine einmalige pH-Messung.

Bei Person 4 betrug der durchschnittliche pH-Wert $7,08 \pm 0,11$ (Median 7,10), die Werte bewegten sich in einem Bereich von 6,5 bis 7,6 und ließen über die Woche eine Zunahme erkennen. An den beiden ersten und letzten Messtagen nahm der pH im Tagesverlauf zu, am mittleren Tag der Untersuchungswoche, dem Mittwoch, fand sich dagegen eine Abnahme.

Eine Zunahme des pH-Wertes im Tages- und Wochenverlauf fand sich bei Person 5. Die pH-Werte bewegten sich von 6,1 bis maximal 6,8. Der durchschnittliche pH lag bei $6,37 \pm 0,07$, der Median bei 6,35.

Bei Person 6 konnte an jeweils zwei Tagen eine Abnahme (1. und 3. Messtag) bzw. eine Zunahme (2. und 4. Messtag) verzeichnet werden - am 5. Tag erfolgte keine Messung. Die Werte für den pH lagen zwischen 6,5 und 7,1 bei einem Durchschnittswert von $6,83 \pm 0,08$ (Median 6,90). Insgesamt stiegen die pH-Werte über die Woche verteilt an.

Für Person 7 konnten Werte im Bereich von 6,6 bis 7,0 mit ansteigender Wochentendenz dokumentiert werden. Der Mittelwert betrug $6,77 \pm 0,04$, der Median lag bei 6,75. Am 1. bzw. 5. Tag zeigte sich eine Ab- bzw. Zunahme des pH-Wertes, an den drei mittleren Messtagen fand sich keine Veränderung im Tagesverlauf.

Eine Abnahme für den Tag 1 und eine Zunahme des pH-Wertes für die Folgetage konnte bei Person 8 ausgemacht werden. Der durchschnittliche pH-Wert lag bei $6,68 \pm 0,14$ (Median 6,80). Die Werte bewegten sich zwischen 5,6 und 7,2; eine wesentliche Wochendynamik ließ sich nicht ausmachen.

Eine Tages-Ab- bzw. Zunahme im Wechsel konnte bei Person 9 mit insgesamt absteigender Wochendynamik beobachtet werden. Die Werte lagen dabei zwischen 7,0 und 7,4 und betrug im Mittel $7,16 \pm 0,05$, der Median lag bei 7,15.

Person 10 zeigte ebenfalls eine zunehmende pH-Wochendynamik mit pH-Werten von 6,8 bis 7,2 bei einem Mittelwert von $6,92 \pm 0,21$ (Median 6,90). Am ersten und letzten Messtag kam es zu einer pH-Abnahme im Tagesverlauf, an den drei mittleren Tagen jeweils zu einer Zunahme, vgl. hierzu beispielhaft Abbildung 5.63 auf Seite 112.

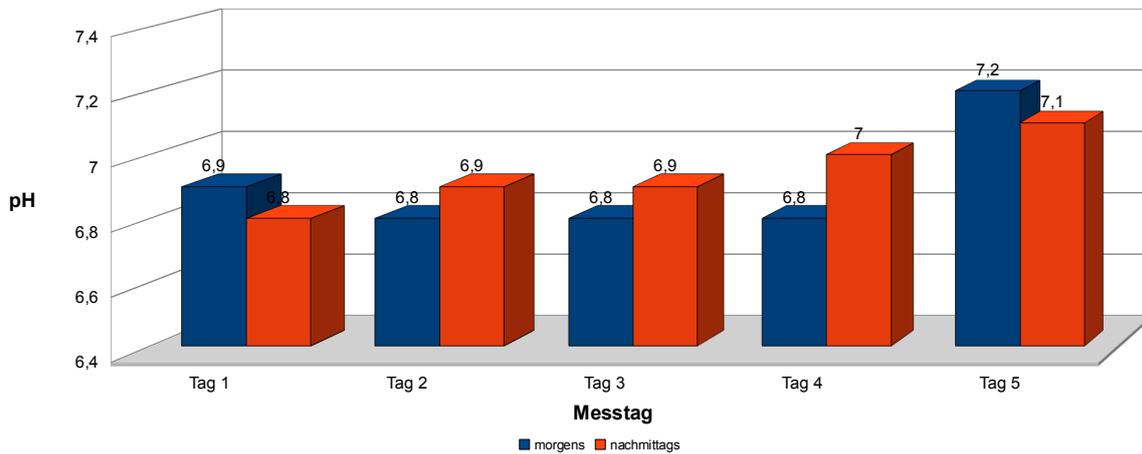


Abbildung 5.63: Person 10: pH-Messung im Tages- und Wochenverlauf

Mitarbeiter der Klinik II

Bei den Mitarbeitern der Klinik II bewegten sich die pH-Werte in einem Bereich zwischen 6,4 und 7,5. Der Durchschnittswert lag bei $6,97 \pm 0,04$, der Median betrug 7,0. Unter den 9 Teilnehmern konnte bei 4 Personen (Personen 13, 17, 18 und 19) an beiden Messtagen jeweils eine Abnahme des pH-Wertes im Tagesverlauf dokumentiert werden. Bei den Personen 12, 15 und 16 kam es dagegen an einem Tag zu einer Zunahme und am anderen Messtag zu einer Abnahme des Wertes im Tagesverlauf.

Person 11 zeigte bei 3 pH-Messungen Werte von 6,7, 6,8 und 6,7. Am 1. Messtag kam es zu einer Zunahme des pH-Wertes.

Eine Zunahme am 1. und eine Abnahme am 2. Messtag konnte bei Person 12 verzeichnet werden. Bei ihr lagen die Werte zwischen 6,8 und 7,4 (Mittelwert 7,08, Median 7,05).

Bei Person 13 fand sich zweimalig eine pH-Tageszunahme. Der pH-Wert bewegte sich dabei in einem Bereich von 6,8 bis 7,3. Der Mittelwert betrug 6,98, der Median 6,90.

Bei Person 14 wurden - wie bereits erwähnt - nur an einem Tag die Messungen durchgeführt. Bei ihr betrug der pH-Wert bei beiden Messungen jeweils 7,10.

Eine Zunahme am 1. und eine Abnahme am 2. Messtag konnte für die Person 15 dokumentiert werden. Bei ihr lag der Mittelwert bei 7,18 (Median 7,20) und die Werte schwankten zwischen 6,8 und 7,5.

Umgekehrt war es bei Person 16, hier nahm am 1. Tag der pH im Tagesverlauf ab und stieg am 2. Messtag dann an. Die Werte lagen zwischen 6,7 und 7,0 (Mittelwert 6,83, Median 6,80).

Bei Person 17 kam es an beiden Messtagen zu einer pH-Zunahme. Die Werte lagen zwischen 7,0 und 7,2 (Mittelwert 7,08, Median 7,05).

Person 18 zeigte ebenfalls an beiden Tagen eine Tageszunahme im Verlauf. Die Werte für den pH betragen 6,4 bis maximal 7,1 bei einem Mittelwert von 6,70 bzw. einem Median von 7,05.

Auch Person 19 zeigte an jeweils beiden Tagen eine pH-Zunahme. Der pH bewegte sich in einem Bereich von 6,9 bis 7,4. Durchschnittlich lagen die Werte bei 7,10, der Median betrug 6,9.

5.4.3.3 Zytokine

Die Ergebnisse der arbeitsparallelen Bestimmung der präklinischen Marker IL-6, -8 und -12p70 sowie IFN- γ und VEGF im exhalieren Atemkondensat über einen Zeitraum von einer Arbeitswoche von den 8 Mitarbeitern (Personen 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9 und 10) der Klinik I sind in Tabelle 5.16 auf Seite 114 dargestellt.

Für den überwiegenden Teil der Proben konnte kein Zytokinnachweis erbracht werden. Die Detektionsgrenze lag nach Herstellerangaben des Analysekits bei 1 pg/ml.

5 Ergebnisse

Tabelle 5.16: Ergebnisse der Zytokin-Bestimmung im Atemkondensat (Klinik I und Studienanfänger)

Person	Laufende Proben-Nummer	Human IFN-gamma		Human IL-12p70		Human IL-6		Human IL-8		Human VEGF	
		Sample Concentration	korrigierte Konzentration [pg/ml]								
1	1	1,9	2,3	0,4	0,5	0,3	0,3	0,7	0,8	3,3	4,1
	2	2,3	3,3	0,4	0,5	0,2	0,3	0,6	0,9	5,2	7,4
2	1	3,2	2,7	0,9	0,8	0,6	0,5	1,1	0,9	12,5	10,4
	2	3,6	3,6	0,5	0,5	0,3	0,3	1,2	1,2	10,2	10,2
5	1	4,8	0,6	1,0	0,1	0,6	0,1	1,2	0,2	24,2	3,3
	2	0	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1,3	0,2
	4	0	0	0	0	0	0	0,4	0	2,3	0,2
	5	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0,1	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0,6	0,1	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	0,5	0,1	0	0
	9	0	0	0	0	0	0	0,4	0,1	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0,4	0,1	0	0
	11	1,8	1,1	0,6	0,4	0,3	0,2	1,4	0,9	6,6	4,1
	12	1,4	0,8	0,0	0,0	0,2	0,1	0,8	0,5	3,5	1,9
6	1	0	0	0	0	0	0	7,6	2,1	154,8	43,0
	2	0	0	0	0	0	0	0,2	0,1	0	0
	3	271,1	39,9	55,4	8,2	22,0	3,2	605,0	89,0	6557,0	964,3
	4	1,5	0,3	0	0	0,2	0	0,3	0,1	2,3	0,5
	5	0,5	0,2	0	0	0	0	0,6	0,2	0,8	0,3
	6	0,8	0,2	0	0	0	0	0,6	0,2	1,5	0,4
	7	0	0	0	0	0	0	0,6	0,2	1,5	0,5
	8	0	0	0	0	0	0	0,6	0,2	0	0
7	1	43,4	5,9	15,6	2,1	6,4	0,9	459,2	62,1	2408,6	325,5
	2	0	0	0	0	0	0	0,5	0,1	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0,4	0,1	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0,7	0,2	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0,6	0,1	1,2	0,3
	6	0	0	0	0	0	0	0,5	0,2	0	0
	7	1,8	0,6	0,3	0,1	0,2	0,1	0,8	0,3	3,1	1,0
	8	1,0	0,4	0	0	0,2	0,1	0,7	0,3	1,9	0,7
	9	0	0	0	0	0	0	0,7	0,2	0	0
	10	0	0	0	0	0,2	0,1	0,4	0,1	0,8	0,3
8	1	0	0	0	0	0,1	0	0,4	0,1	1,9	0,5
	2	0	0	0	0	0	0	0,4	0,1	0,0	0,0
	3	0	0	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0
	4	3,2	1,2	0,7	0,3	0,2	0,1	0,6	0,2	5,6	2,2
	5	0	0	0	0	0	0	0,6	0,4	0	0
	6	0,8	0,4	0	0	0,2	0,1	0,6	0,3	1,2	0,6
	7	0	0	0	0	0	0	0,5	0,3	0	0
	8	1,2	0,7	0,5	0,3	0,3	0,1	0,8	0,5	2,3	1,3
	9	0,6	0,3	0	0	0	0	0,4	0,2	3,1	1,5
	10	0,6	0,2	0	0	0,3	0,1	0,9	0,3	3,5	1,2
9	1	0	0	0	0	0	0	0,7	0,3	0,5	0,2
	2	133,9	55,8	31,7	13,2	9,3	3,9	67,8	28,3	925,3	385,5
	3	0	0	0	0	0	0	0,4	0,2	0	0
	4	1,5	0,6	0,4	0,2	0,2	0,1	0,6	0,2	1,9	0,8
	5	0,7	0,4	0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	3,1	1,8
	6	0	0	0	0	0,2	0,1	0,8	0,4	3,1	1,4
	7	231,0	92,4	68,9	27,6	15,0	6,0	248,0	99,2	2571,1	1028,5
	8	0	0	0	0	0	0	0,7	0,2	0	0
	9	0,6	0,3	0,5	0,3	0,2	0,1	0,7	0,3	2,3	1,1
	10	0	0	0	0	0	0	0,8	0,5	0	0
	11	0,4	0,2	0	0	0,2	0,1	0,6	0,2	2,3	0,9
	12	1,9	1,6	0,4	0,4	0,3	0,3	1,1	0,9	7,8	6,5
10	1	0,6	0,1	0,3	0,1	0,2	0	0,8	0,2	5,6	1,3
	2	2,0	0,4	0,5	0,1	0,3	0,1	0,8	0,1	4,1	0,8
	3	0	0	0,3	0,1	0,2	0,1	0,9	0,3	0	0
	4	1,1	0,3	0,5	0,2	0,2	0,1	0,7	0,2	3,7	1,1
	5	3,6	1,4	0,8	0,3	0,6	0,2	0,9	0,4	10,2	3,9
	6	0	0	0	0	0,1	0,0	0,7	0,2	1,2	0,4
	7	4,8	1,6	0,5	0,2	0,4	0,1	0,3	0,1	14,4	4,8
	8	1,2	0,3	0,3	0,1	0,3	0,1	1,1	0,3	4,3	1,3
	9	0	0	0	0	0,2	0,1	0,8	0,2	1,5	0,5
	10	3,5	1,1	0,6	0,2	0,4	0,1	1,0	0,3	6,6	2,1
	11	0,7	0,2	0,5	0,1	0,3	0,1	0,9	0,3	5,6	1,7
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
22	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
23	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
24	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

5.4.4 Zusammenfassung der Diagnostik am Arbeitsplatz

Die arbeitsparallelen Untersuchungen erfolgten bei den Mitarbeitern der Klinik I über einen Zeitraum von einer Woche und bei den Mitarbeitern der Klinik II an zwei nicht unmittelbar aufeinander folgenden Arbeitstagen innerhalb einer Arbeitswoche. Durchgeführt wurde jeweils prä- und postexpositionell eine Spirometrie, zudem wurden H_2O_2 -Konzentration und pH-Wert (neben weiteren Parametern) im Atemexhalat gemessen. Bei den Mitarbeitern aus Klinik II wurde zusätzlich das eNO bestimmt.

Von den 10 Mitarbeitern der Klinik I zeigten 6 Personen in der Spirometrie zu Messbeginn eine manifeste und 3 eine variable Atemwegsobstruktion. Eine Zunahme der Atemwegsobstruktion mit Anstieg der Resistance und einem Abfall des Tiffeneau-Index über den Tag konnte bei 6 der Teilnehmer dokumentiert werden. Im Wochenverlauf war bei 4 Personen eine Zunahme der Atemwegsobstruktion nachweisbar.

3 der 9 Mitarbeiter aus Klinik II wiesen ebenfalls eine obstruktive Ventilationsstörung mit gleichzeitig zunehmender Atemwegsobstruktion im Tagesverlauf auf.

Die H_2O_2 -Konzentrationen im Atemexhalat bewegten sich bei allen 19 Untersuchten aus den Kliniken I und II in einem Bereich von 0 bis 1.860 nmol/l. Die durchschnittliche Konzentration betrug 402 ± 30 nmol/l (Median 320 nmol/l). Die durchschnittliche H_2O_2 -Konzentration betrug bei den zahnärztlichen Mitarbeitern der Kliniken I und II einschließlich der beiden Studierenden im höheren Semester 369 ± 60 nmol/l und bei den zahnmedizinischen Fachangestellten 291 ± 47 nmol/l. 7 der 10 Personen aus Klinik I wiesen im Tagesverlauf eine steigende H_2O_2 -Konzentration auf. Bei 4 Mitarbeitern der Klinik II kam es ebenfalls zu einem Anstieg der H_2O_2 -Konzentration im Tagesverlauf.

Im Wochenverlauf konnte bei 5 Teilnehmern der Klinik I ein Ansteigen der H_2O_2 -Konzentration dokumentiert werden.

Der im Atemexhalat gemessene pH-Wert betrug bei allen 19 Untersuchten der Kliniken I und II durchschnittlich 6,95 (Median ebenfalls 6,95), die Einzelwerte lagen dabei in einem Bereich zwischen 5,6 und 9,4. Im Allgemeinen ließ sich ein Ansteigen des pH-Wertes im Tagesverlauf dokumentieren. Bei den zahnärztlichen Mitarbeitern der Kliniken I und II einschließlich der beiden Studierenden im höheren Semester betrug der durchschnittliche pH-Wert $6,89 \pm 0,08$. Bei den zahnmedizinischen Fachangestellten lag der pH-Durchschnittswert bei $7,10 \pm 0,04$.

Bei 6 von 10 Teilnehmern aus Klinik I konnte eine Zunahme des pH-Wertes im Verlauf der Messungen festgestellt werden.

Eine eindeutige Wochendynamik ließ sich bei den Mitarbeitern der Klinik II dagegen nicht erkennen.

6 Diskussion

6.1 Potentielle Gefährdungen und ihre Beurteilung

Methacrylate und moderne Materialien wie Zirkonium, bei deren Verarbeitung Partikel im Nanomaßstab freigesetzt werden, können für neue Gefährdungen verantwortlich sein.

In der heutigen Zahnheilkunde finden neben seit langem bewährten Materialien zunehmend und immer breitflächiger neue Werkstoffe - teils auch unter Anwendung moderner Be- und Verarbeitungstechniken - Einsatz. Während noch bis vor einigen Jahren Silberamalgam als der bedeutendste Restaurationswerkstoff in der Geschichte der Zahnmedizin galt [6], setzen sich heute Dentallegierungen aus einer Vielzahl ganz unterschiedlicher Metalle zusammen oder es werden nanopartikuläre Materialien oder auch moderne Werkstoffe wie Zirkonium als Zahnersatzmaterial verwendet. Der Umgang mit neuen Werkstoffen kann folglich auch mit einer Änderung der berufsspezifischen Expositionen für das zahnmedizinische Personal verbunden sein. Gefährdungen können bei der Herstellung wie auch der Verarbeitung solcher Materialien auftreten. Insbesondere bei der mechanischen Bearbeitung mit (schnell)rotierenden Instrumenten kann es zu teils inhalativen, teils auch dermalen Expositionen kommen.

Zahnärztliche Werkstoffe können unter Berücksichtigung ihrer Zusammensetzung vielfältige toxiologisch relevante Eigenschaften aufweisen. Viele Stoffe sind für den Menschen ungefährlich, bei anderen wiederum müssen wegen der Gefahr gesundheitlicher Schäden Schutzvorkehrungen getroffen oder Grenzwerte eingehalten werden.

Von großer Bedeutung sind v.a. die auf Haut und Schleimhaut reizend und potentiell sensibilisierend wirkenden (Methyl-)Methacrylate. Sie können zu erythematösen und ekzematösen Hautveränderungen oder allergisch bedingten Atemwegsobstruktionen führen [1, 69, 103, 127]. Ferner wurde über Sensibilitätsstörungen im Bereich des kontaktierten Hautareals berichtet. Nach Durchdringen der Haut können die Monomere zu einer lokalen Schädigung sowohl der sensorischen als auch der motorischen Nerven führen [69, 91, 147].

Aktuell wurden bei unseren Untersuchungen nur von einem Teilnehmer anamnestisch Sensibilitätsstörungen der Finger angegeben. Es handelte sich dabei um eine seit 44 Jahren in der Zahnheilkunde beschäftigte Person mit regelmäßigem Umgang und dermale Kontakt mit (Methyl-)Methacrylat-haltigen Werkstoffen. Inwieweit hier eine (Methyl-)Methacrylat-induzierte nervale Schädigung vorlag, ließ sich nicht mit Bestimmtheit sagen, da die von uns empfohlene weiterführende Diagnostik

mit neurologischer und angiologischer Abklärung noch nicht erfolgte. Ein Zusammenhang lässt sich jedoch bis zum Beweis des Gegenteils nicht ausschließen.

Insbesondere in früheren Jahren stellten Latex-haltige Untersuchungshandschuhe eine große gesundheitliche Gefährdung für das (zahn-)medizinische Personal dar [74, 103]. Durch Umstellung auf Latex-freie Produkte und dank breit angelegter Aufklärungs- und Präventionskampagnen konnte in den vergangenen Jahren ein Rückgang der Latex-bedingten Beschwerden verzeichnet werden [73, 74].

Verschiedene in der Zahnmedizin verwendete Metalle, allen voran Nickel, aber auch andere Metalle, wie z.B. Gold, besitzen ein sensibilisierendes Wirkpotential und können zu allergischen Reaktionen der Haut führen, vgl. Tabelle 5.1, Seite 30. Ebenfalls potentiell allergen wirken zahlreiche Inhaltsstoffe von Reinigungs- und Desinfektionsmitteln (z.B. Glutaraldehyd oder Formaldehyd). Sie können Ekzeme der Haut oder auch eine Obstruktion der Atemwege hervorrufen [46]. Viele der Reinigungs- und Desinfektionsmittel wirken zusätzlich auch irritativ-toxisch, wodurch es gleichfalls zu einer Schädigung von Haut und Atemwegen kommen kann. Andere in der Zahnmedizin verwendete Materialien wie Siliciumdioxid oder die Metalle Cobalt, Chrom und Molybdän besitzen ein fibrogenes Potential und können Lungenfibrosen verursachen (Zahntechnikerpneumokoniose) [81]. Substanzen wie Beryllium, Nickel, Quecksilber, Glutaraldehyd und Glyoxal weisen zudem kanzerogene Eigenschaften auf. Bis zu seinem Verbot 1993 - aber mit Sicherheit auch darüber hinaus - stellte Asbest, vorwiegend im zahntechnischen Bereich, einen weiteren Gefahrstoff dar [100]. Asbest ist von der Deutschen Forschungsgemeinschaft als krebserzeugend Kategorie 1 eingestuft [37]. Neben benignen kann Asbest v.a. maligne Veränderungen der Pleura und der Lunge verursachen. Für viele der verwendeten Stoffe existiert zur Zeit keine Einstufung hinsichtlich ihres arbeitsmedizinisch-toxikologischen Wirkpotentials durch die DFG.

Zahnmedizinische Produkte und Werkstoffe enthalten neben der eigentlichen Hauptschubstanz bisweilen noch weitere Inhaltsstoffe wie z.B. Stabilisatoren (z.B. Hydrochinon oder Resorcin) oder Weichmacher (Dibutyl-Phthalat) etc. Diese Additive können gleichfalls über ein haut- und/oder schleimhautreizendes sowie sensibilisierend wirkendes Potential verfügen und zu einer gesundheitlichen Beeinträchtigung der Beschäftigten durch entsprechenden Umgang führen. So können z.B. Dentalgipse neben Calciumsulfat, das selbst reizend wirken kann, zudem Lösemittel (Alkohol, Aceton etc.), verschiedene Säuren (Phosphorsäure etc.) oder auch Mineralien und Kunststoffe etc. enthalten, die gleichfalls reizen und zu Reaktionen an Schleimhäuten von Atemwegen oder Konjunktiven sowie zu Schädigungen der Haut führen können [43].

Ein damit häufig verbundenes, v.a. aus arbeitsmedizinischer und sicherheitstechnischer Sicht bestehendes Problem ist die Tatsache, dass eine Vielzahl der Inhaltsstoffe bzw. der Additive nicht oder nicht ausreichend deklariert ist. Eine allgemeine europaweite Überprüfung des Umgangs mit Chemikalien und der zugrunde liegenden Sicherheitsdatenblätter förderte keineswegs eine einheitliche und sicherheitstechnisch zufriedenstellende Handhabung zutage. Vielmehr zeigte sich ein hoher Prozentsatz inakzeptabler qualitativer Mängel in den Sicherheitsdatenblättern [22].

Zu beachten ist zudem, dass - wie oben gezeigt - nur ein Teil der in Dentallegierungen, zahnmedizinischen Prothesen- und Komposit-Kunststoffen verwendeten Substanzen durch die DFG in Bezug auf ihre arbeitsmedizinisch-toxikologischen Wirkungen auf den Menschen eingestuft ist [37].

Wie in vielen anderen Bereichen von Industrie und Forschung (Lack-, Kosmetik- oder Gummi-industrie), so werden auch in der modernen Zahnheilkunde in immer größer werdendem Umfang Materialien im Nanomaßstab verwendet [114].

Nanopartikel sind gezielt hergestellte Partikel mit einem Durchmesser von unter 100 nm in mindestens einer Dimension. Ultrafeine Partikel oder Nanoobjekte können - im Vergleich zu größeren Partikeln bei gleichem Ausgangsmaterial - mitunter völlig andere physikalische Charakteristika hinsichtlich ihrer Löslichkeit, Leitfähigkeit und katalytischen Wirksamkeit aufweisen. Auf Grund ihrer geringen Größe kommt es zu einer Änderung ihrer toxikologischen Eigenschaften, so dass Stoffe, die bisher als atoxisch und inert galten, unerwartet negative gesundheitliche Effekte bewirken können. So können Nanopartikel nach Inhalation zu entzündlichen Reaktionen an Bronchien und Alveolen führen, Lungenfibrosen verursachen oder bereits bestehende Lungenerkrankungen wie ein Asthma bronchiale oder eine chronische Bronchitis verschlimmern. Ferner können Nanopartikel auch über das Riechepithel und den Nervus olfactorius ins Gehirn gelangen. Eine Aufnahme von Nanopartikeln über den Nervus trigeminus und sensorische Nervenfasern des Tracheobronchialtraktes wird diskutiert [114]. Es konnte gezeigt werden, dass ultrafeine Partikel nach inhalativer Aufnahme die alveolo-kapilläre Schranke überwinden und sich rasch über das Herz-Kreislauf-System in verschiedene Organsysteme (Leber und Nieren sowie ableitende Harnwege) verteilen können [117]. Nanoobjekte können eine endotheliale Dysfunktion mit gesteigerter Ausschüttung des gewebespezifischen Plasminogenaktivators (t-PA) bewirken, aber auch zu einer gesteigerten Thrombozytenaggregation oder einer Destabilisierung von arteriosklerotischen Plaques führen [114]. In Tierversuchen ließ sich zeigen, dass Kohlenstoffnanoröhren - in Analogie zum Asbest - Mesotheliome des Bauchfells verursachen können [129, 155].

In der Zahnheilkunde finden Nanopartikel bzw. nanoskalige Materialien z.B. als so genannte Nanofüller in modernen Komposit-Kunststoffen, aber auch in Zahncremes Verwendung [35, 88, 114]. Produkten zur Mundhygiene können Apatit-Nanopartikel zugesetzt werden, um die Bildung von Plaques auf der Zahnoberfläche zu reduzieren. Wie Untersuchungen erkennen ließen, kann durch nanoskaligen Hydroxylapatit eine Remineralisierung des Zahnschmelzes bewirkt und gleichzeitig eine weitere Demineralisierung verlangsamt werden [76]. Inwieweit es durch den Umgang mit diesen Materialien und insbesondere durch die mechanische Bearbeitung von nanoskalige Materialien enthaltendem Zahnersatz zu einer Freisetzung von Nanopartikeln und einer damit verbundenen Gefährdung des zahnmedizinischen Personals (aber auch des Patienten) kommen kann, ist bisher noch nicht ausreichend bekannt. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass Füllstoffe von Kompositen wie Siliciumdioxid oder Barium- und Strontiumsilikatgläser sowie Ytterbium- und Yttriumfluorid biologisch nahezu gänzlich inert sind und auf Grund ihrer geringen Löslichkeit keine relevante gesundheitliche Gefahr darstellen - sofern sie nicht in größerer Konzentration als scharfkantiger Schleifstaub freigesetzt werden [90].

Dass es zu einer Freisetzung von ultrafeinen Partikeln durch die mechanische Bearbeitung von dentalen Werkstoffen kommen kann, konnte anhand unserer Untersuchungen demonstriert werden.

So ließ sich in der rasterelektronenmikroskopischen Analyse von Partikelproben, welche während der mechanischen Bearbeitung eines provisorischen Zahnersatzes aus Komposit-Kunststoff mit einer diamantierten Trennscheibe gewonnen wurden, zeigen, dass neben großen, bis mehrere 100 nm messenden Partikeln auch zahlreiche sehr kleine Teilchen freigesetzt wurden, die - mindestens in einer Dimension - einen Durchmesser von unter 100 nm aufwiesen. Elementanalytisch konnten in diesen Partikeln neben Silicium auch Aluminium sowie Ytterbium und Fluor identifiziert werden. Es ist davon auszugehen, dass die Partikel vom bearbeiteten Komposit-Kunststoff stammen, da Kompositen zur Freisetzung von Fluoriden Ytterbiumfluorid-haltige (YbF_3) Partikel zugegeben werden, letztgenannte Elemente jedoch in dentalen Schleifkörpern keine Verwendung finden [88, 139].

Auch bei der mechanischen Bearbeitung von anderen Zahnersatzmaterialien wie hochgoldhaltiger Dentallegierung und Zirkonoxidkeramik mit (schnell) rotierenden Instrumenten konnte nachgewiesen werden, dass es zu einer Freisetzung von nanoskaligen Partikeln kommen kann. So waren in Partikelproben aus der Raumluft, die während Schleifarbeiten an einer hochgoldhaltigen Dentallegierung sowie einer Brückenversorgung aus Zirkonoxidkeramik gewonnen wurden, neben wiederum größeren, mitunter mehrere μm messenden Partikeln auch Partikel von unter 100 nm nachweisbar. Mittels EDX-Analyse konnten diese ultrafeinen Partikel auf Grund ihrer elementaren Zusammensetzung eindeutig dem jeweils bearbeiteten Werkstück, sprich der hochgoldhaltigen Dentallegierung bzw. der Zirkonoxidkeramik, zugeordnet werden.

Die Gewinnung von Partikelproben aus der Raumluft erfolgte im Allgemeinen während Schleifarbeiten, bei denen die Wasserkühlung/-spülung ausgeschaltet war und/oder ohne Absaugung. Diese Tätigkeiten waren daher meist mit hohen bis sehr hohen Partikelkonzentrationen verbunden. Unter Verwendung der Wasserkühlung/-spülung und bei gleichzeitiger Absaugung oder bei laufender, in beiden Dentallaboren jeweils am Arbeitsplatz fest installierter Absaugung konnte dann in weiteren Untersuchungen bei Ausübung derselben Tätigkeit eine Reduktion der Partikelkonzentration um das bis zu 20-fache dokumentiert werden.

Es ist mit Sicherheit anzunehmen, dass mit Reduktion der Gesamtzahl der Partikel unmittelbar nach deren Freisetzung infolge einer effizienten Wasserkühlung/-spülung und dazu parallel erfolgreicher Absaugung auch eine Reduktion des Anteils an ultrafeinen Partikeln verbunden ist. Dies bedeutet, dass es folglich neben einer Reduktion von inhalierbaren und alveolengängigen Stäuben im μm -Bereich auch zu einer Reduktion der Exposition gegenüber ultrafeinen Schleifstäuben kommt. Sensibilisierungen jedoch können dosisunabhängig hervorgerufen werden, so dass trotz bisweilen deutlich verminderter Schleifstaubexposition eine Restgefährdung für Anwender und assistierendes Personal, aber auch für Patienten, nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann.

Dennoch lässt sich anhand der genannten Untersuchungen exemplarisch verdeutlichen, dass durch Einsatz entsprechender präventiver Maßnahmen effektiv die Exposition reduziert werden kann.

Eine weiteres bedeutendes in der Zahnheilkunde verwendetes Material ist Zirkonium. Es wird seit etwa 10 Jahren zunehmend in der Zahnheilkunde in Stiften, Kronen- und Brückenversorgungen

eingesetzt und hat sich mittlerweile als ein Zahnersatzmaterial mit hervorragenden Eigenschaften wie Biokompatibilität und Ästhetik erwiesen. Zirkonium wird dabei vorwiegend mit Yttrium, einem Seltenerdmetall, stabilisiert. Moderne Zirkon-Keramiken weisen häufig eine Materialzusammensetzung von ca. 95% Zirkoniumdioxid und ca. 5% Yttriumoxid auf.

Zirkonium kann bei einer Inkorporation nach inhalativer wie auch dermalen Exposition zu unterschiedlichen gesundheitlichen Effekten führen. Beim Menschen wurden nach inhalativer Aufnahme chronische Bronchitiden, Asthma bronchiale und fibrotische Veränderungen der Lunge beschrieben. An der Haut kann Zirkonium zu granulomatösen Veränderungen führen [9, 105, 156]. In einem speziellen Fall konnte Zirkonium als auslösende Ursache für eine exogen-allergische Alveolitis (EAA) identifiziert werden. Die EAA ist eine Überempfindlichkeitsreaktion vom Typ III und Typ IV nach Coombs und Gell, bei der es im Verlauf zu fibrotischen Veränderungen der Lunge kommen kann [13]. Bei diesem besonderen Fall handelte es sich um eine langjährig gegenüber Zirkonium exponierte Arbeiterin, die unter rezidivierenden pulmonalen Infekten litt. Histologisch fanden sich in Lungengewebeproben und axillären Lymphknoten epitheloidzellige Granulome mit Einschlüssen von doppelbrechenden Kristallen, welche rasterelektronenmikroskopisch und elementanalytisch als intrazelluläre Zirkonium-Einschlüsse ausgemacht werden konnten [97, 144].

Ein anderes Metall, bei dem es, analog zu Zirkonium, ebenfalls zu der Ausbildung von granulomatösen Veränderungen in der Lunge mit teils extrapulmonaler Manifestation - vorwiegend der Haut - kommen kann, ist Beryllium. Beryllium ist Auslöser der chronischen Berylliose, einer allergischen Reaktion vom verzögerten Typ (Typ IV). Neben der chronischen Berylliose kann Beryllium die akute toxische Berylliose hervorrufen oder auch eine akute Dermatitis nach dermalen Beryllium-Kontakt verursachen. Der Nachweis einer chronischen Berylliose wird durch eine In-vitro-Proliferation von Lymphozyten durch die gemeinsame Kultivierung mit Beryllium im Lymphozytenproliferations- oder -transformationstest (LTT) erbracht. Weitere Kriterien zur Diagnosesicherung sind der Nachweis oder die hohe Wahrscheinlichkeit einer direkten oder indirekten Exposition gegenüber Beryllium sowie ein Krankheitsbild, das ansonsten als Sarkoidose diagnostiziert werden würde [116].

Früher wurde Beryllium in Nickel-Chrom-Legierungen zugesetzt. Es darf jedoch auf Grund seiner toxischen Eigenschaften seit der Resolution CEN/TC 55 vom Februar 2002 in Dentallegierungen nur noch mit einem Masseanteil von 0,02% vorkommen [145]. Nach Angaben der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (ETEM) werden Dentallaboratorien jedoch wieder Beryllium-haltige Dentallegierungen angeboten [16]. Beryllium ist nachweislich krebserzeugend und in der MAK-Liste als Karzinogen der Kategorie 1 bewertet [37].

6.2 Partikelkonzentrationsmessungen

Durch die mechanische Bearbeitung von dentalen Werkstoffen kommt es zur Freisetzung von nanoskaligen Partikeln. Messungen bei zahnärztlichen und zahntechnischen Routinearbeiten lassen unauffällige, bei speziellen Tätigkeiten jedoch sehr hohe Spitzenwerte erkennen, welche allerdings durch Wasserkühlung/-spülung und durch Absaugung weitgehend reduziert werden können.

Die Entstehung von Partikeln und Aerosolen in zahnärztlichen Behandlungsräumen und zahntechnischen Laboreinrichtungen stellt eine der wesentlichen tätigkeitsassoziierten Expositionen des Personals dar. „Klassische“ Quellen für die Entstehung von Partikeln und Aerosolen in zahnmedizinischen Einrichtungen sind die mechanische Bearbeitung von Zähnen und Zahnersatzmaterialien unter Verwendung von Winkel- und Handstücken, Ultraschall-Zahnstein-Entfernungshandstücken oder Polierscheiben, ferner auch die intraorale Kühlung bzw. Spülung mit und ohne Abblasen und Trocknen mit Druckluft [150].

Bei intraoralen Schleif- und Bohrarbeiten sowohl unter Wasserkühlung/-spülung als auch ohne Verwendung von Wasser konnte die Entstehung von Aerosolen festgestellt werden. Die Aerosolbildung ist zum einen auf die Verwendung des Wassers selbst und zum anderen auf den im Mund vorhandenen Speichel zurückzuführen [77]. Die bei den verschiedenen zahnärztlichen Tätigkeiten entstehenden Aerosole können dabei neben abgetragenen Zahnmaterial auch Bakterien und Viren sowie Schleifpartikel von intraoral verarbeiteten Zahnersatzmaterial enthalten. Studien konnten belegen, dass Zusammenhänge zwischen bei der Zahnbehandlung freiwerdenden Aerosolen und pulmonalen Infekten bestehen können [77].

Aerosol-Tröpfchen im Durchmesser von $50 \mu\text{m}$ und größer fallen nach ihrer Entstehung relativ rasch in einem Flugbahn-ähnlichen Verlauf zu Boden. Kleinere Aerosol-Tröpfchen vermögen dagegen bis zu 30 Minuten in der Luft schwebend zu verweilen. Sie können damit eine Gefahr für die Beschäftigten durch inhalative Aufnahme der darin enthaltenen Mikroorganismen oder auch toxischen Materialien darstellen [77].

Die potentiellen Quellen für die Entstehung und Freisetzung von feinen und ultrafeinen Partikeln sind vielfältig. Insbesondere Verbrennungsprozesse wie z.B. das Abbrennen von Kerzen, aber auch Reinigungsaktivitäten und mechanische Abriebe von Oberflächen lassen die Teilchenkonzentration ansteigen [2]. Innenraummessungen in Wohnungen und Häusern ergaben Teilchenkonzentrationen von wenigen tausend bis zu mehreren hunderttausend Partikeln pro cm^3 Luft [59] - u.a. in Abhängigkeit vom Vorliegen einer Partikelquelle im Innenraum wie z.B. Raucherhaushalt, Heizungs- oder Herdanlage oder offene Flammen wie Kerzen etc. [2].

Außen- bzw. Umweltuntersuchungen von Partikeln haben bei Messungen auf der Insel Helgoland Konzentrationen im Größenbereich von ca. $5.000 \text{ pt}/\text{cm}^3$ Luft und bei Vergleichsmessungen in Frankfurt etwa $32.000 \text{ pt}/\text{cm}^3$ ergeben [26]. In Stadtgebieten zählt der Straßenverkehr zu den wichtigsten Quellen für die Entstehung von feinen und ultrafeinen Partikeln [20].

Bei der Bestimmung der Partikelkonzentration in zahnärztlichen Einrichtungen konnten von Sotiriou et al. eine durchschnittliche Hintergrundbelastung von ca. 2.100 Teilchen/cm³ Luft (1.670 bis 2.710 pt/cm³) und während der zahnärztlichen Tätigkeit mittlere Konzentrationen im Bereich von 5.200 bis 10.400 pt/cm³ Luft (1.300 bis maximal annähernd 100.000 pt/cm³) gemessen werden [150].

Im Vergleich zu den von Sotiriou et al. angegebenen Hintergrundkonzentrationen lagen die bei unseren Untersuchungen messbaren Raumkonzentrationen ohne Aktivitäten sowohl in den beiden zahnmedizinischen Kliniken als auch in dem jeweils der Klinik angeschlossenen zahntechnischen Labor mit Werten zwischen 4.000 und (selten) 10.000 pt/cm³ deutlich höher. Grund hierfür könnten andere klimatische Bedingungen oder Lüftungsverhältnisse der Räume sein [21].

Unsere Messungen ergaben während der zahnärztlichen Patientenbehandlung ohne den Einsatz von (schnell) rotierenden Instrumenten und Wasserkühlung/-spülung sowie ohne die Verwendung von Druckluft zum intra- oder extraoralen Ab- und Trockenblasen keine wesentlichen Konzentrationsänderungen im Vergleich zu den Hintergrundkonzentrationen. Dies war auf Grund einer fehlenden Partikel freisetzenden Quelle auch zu erwarten.

Intraorale Arbeiten mit (schnell) rotierenden Instrumenten mit und ohne Wasserkühlung/-spülung unter Absaugung waren, wenn überhaupt, nur mit geringen Anstiegen der Teilchenkonzentration verbunden. Dies dürfte auf die gezielte intraorale Absaugung durch das assistierende zahnmedizinische Fachpersonal mittels eines Handsaugers zurückzuführen sein, wie auch Untersuchungen von Akbar-Khanzadeh et al. demonstrieren konnten [3].

Das Bearbeiten von auf Komposit-Kunststoff basierendem temporärem Zahnersatz außerhalb der Mundhöhle mit einer diamantierten Trennscheibe ließ dagegen Spitzenkonzentrationen bis etwa 425.000 pt/cm³ erkennen, sofern keine parallele Absaugung erfolgte. Unter dem Einsatz der gezielten Absaugung mit einem Handsauger durch das assistierende Personal konnten dann im Vergleich zur Hintergrundkonzentration zwar nach wie vor leicht erhöhte, jedoch mit maximal 24.000 pt/cm³ Luft um ein Vielfaches niedrigere Partikelkonzentrationen gemessen werden.

Anhand dieser Untersuchungen lässt sich demonstrieren, dass durch den Einsatz einer gezielten Absaugung sowohl beim intra- als auch extraoralen Bohren und Schleifen eine Freisetzung von Partikeln und Aerosolen und eine damit verbundene Gefährdung für Zahnarzt und assistierendes Personal effizient reduziert werden kann.

Spitzenkonzentrationen bis über 180.000 pt/cm³ konnten im Rahmen von Wurzelkanalbehandlungen dann wiederholt gemessen werden, wenn für das endgültige und dichte Abfüllen des Wurzelkanals eine Flamme entzündet wurde, um die in den Kanal eingeführten Kautschukstifte mit einem über der Flamme erhitzten metallenen Instrument abzutrennen. Generell lassen Verbrennungsprozesse die Teilchenkonzentration ansteigen, so dass sich die bei dieser speziellen Tätigkeit reproduzierbar hoch gemessenen Partikelzahlen eindeutig auf einen solchen Verbrennungsprozess bzw. die offene Flamme zurückführen ließen.

Beim intraoralen Spülen und dem daran angeschlossenen Ab- bzw. Trockenblasen mit Druckluft nach Bohr- und Schleifarbeiten waren Spitzenkonzentrationen bis über 150.000 pt/cm^3 messbar. Es ist davon auszugehen, dass es sich hierbei vorwiegend um Aerosole handelte [77]. Inwieweit in diesen Aerosolen Schleifpartikel und biologische Bestandteile enthalten waren, wurde nicht explizit untersucht, ist jedoch als sehr wahrscheinlich anzunehmen [77].

Während der Bearbeitung einer mit Glaskeramikglasur überzogenen Zirkonoxidkeramik-Krone aus Yttrium-dotiertem Zirkoniumdioxid ohne Absaugung zeigten sich beim Beschleifen der Glasur mit einem Diamantschleifkörper Teilchenkonzentrationen bis annähernd 170.000 pt/cm^3 Luft. Beim Schleifen der Zirkonoxidkeramik selbst ließen sich dann Konzentrationen bis 45.000 pt/cm^3 messen. Bei Verwendung der Wasserkühlung/-spülung und parallel erfolgender Absaugung durch das assistierende Personal reduzierte sich die Partikelkonzentration sowohl beim Schleifen der Glaskeramik als auch beim Bearbeiten der Zirkonoxidkeramik auf einen Größenbereich von 3.000 bis 5.700 pt/cm^3 , welcher sich nur geringfügig oberhalb der zuvor gemessenen Raum-Hintergrundkonzentration von $< 3.000 \text{ pt/cm}^3$ bewegte.

Elektronenoptisch fanden sich in Partikelproben, die beim Schleifen der Glaskeramikglasur gewonnen wurden, vorwiegend Partikel in der Größenordnung von mehreren μm . In der Elementanalyse ließ sich in diesen Partikeln neben Silicium als Hauptbestandteil auch Aluminium nachweisen. Interessanterweise fand sich bei der elektronenoptischen Analyse dieser Partikelproben ein im Durchmesser ca. 450 nm messendes Partikel, das elementanalytisch eindeutig als Zirkonium-haltiges Partikel identifiziert werden konnte. Von Seiten des die Schleifarbeiten durchführenden zahnärztlichen Mitarbeiters wurde zum Zeitpunkt der Gewinnung dieser Partikelprobe angegeben, dass bis dahin nur die Glaskeramikglasur und nicht die eigentliche Zirkonoxidkeramik beschliffen worden sei. Anhand dieser Untersuchung lässt sich verdeutlichen, dass in der zahnärztlichen (wie auch sicherlich in der zahntechnischen) Routine nicht immer mit Sicherheit bestimmt werden kann, welche Art von Schleifstaub aktuell freigesetzt wird. Zu beachten ist, dass es auch durch Abnutzung des Schleifkörpers selbst zu einer Freisetzung von Partikeln kommen kann. Gegebenenfalls können sich hierdurch Änderungen der Exposition und damit auch der Gefährdung für den Anwender selbst, aber auch für Dritte ergeben. Entsprechend ist darauf zu achten, dass alle erforderlichen Schutzmaßnahmen angewandt werden [62, 166].

Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung der beim Schleifen von Zirkonoxidkeramik gewonnenen Partikelproben ließ neben μm -großen Partikeln auch eine Vielzahl an ultrafeinen Partikeln mit einem Durchmesser von $< 100 \text{ nm}$ erkennen. Elementanalytisch konnte als Hauptbestandteil eindeutig Zirkonium identifiziert werden. Prinzipiell muss - wie auch unsere Untersuchungen zeigen konnten - bei der mechanischen Bearbeitung von Zirkonoxidkeramik mit (schnell) rotierenden Instrumenten davon ausgegangen werden, dass es zu einer Freisetzung von alveolengängigen und auch nanoskaligen Zirkonium-haltigen Partikeln kommt. Durch die Freisetzung von Zirkonium-haltigen Partikeln kann es zu einer inhalativen Exposition und Gefährdung sowohl für den Anwen-

der als auch für anwesende Dritte kommen. Zirkonium wirkt potentiell sensibilisierend und bereits geringe Dosen können eine Sensibilisierung verursachen. Die Aufnahme von Zirkonium kann zu granulomatösen Veränderungen der Lunge, aber auch anderer Organe führen, vgl. hierzu Kapitel 5.1.1.1 sowie Seite 119.

Sotiriou et al. konnten in ihren Untersuchungen zeigen, dass sich bei Bohrarbeiten der überwiegende Teil der Partikel aus Teilchen in einer Größenordnung von kleiner als 500 nm zusammensetzt und dass nur ein geringer Teil der Partikel mehr als 1 μm misst. Beim Schleifen und Bohren freigesetzte Partikel können sowohl vom Zahnersatzmaterial als auch vom Schleifkörper selbst stammen. Sie können dementsprechend in ihrer Zusammensetzung unterschiedliche Materialien wie Aluminium, Silicium, aber auch Zirkonium etc. aufweisen [150].

Ähnliche Ergebnisse konnten anhand unserer Untersuchungen ebenfalls dokumentiert werden, wie die elektronenoptischen und elementanalytischen Untersuchungen von Partikelproben aus der Raumluft während der Bearbeitung verschiedener Dentalmaterialien erkennen ließen.

Die elektronenoptische Untersuchung von Partikelproben, die beim Bearbeiten von PMMA-Kunststoff mit einer diamantierten Trennscheibe aus der Raumluft gewonnenen wurden, zeigten, dass es bei dieser Art der mechanischen Bearbeitung sowohl zur Freisetzung von größeren, teils μm -messenden Partikeln als auch von feinem und ultrafeinem Schleifstaub mit Partikeln in der Größenordnung von unter 100 nm kommt. In der energiedispersiven Röntgenmikroanalyse konnten als Bestandteile Silicium, Ytterbium, Fluor sowie Aluminium und Eisen nachgewiesen werden. Die Partikel stammten vom Dentalwerkstoff, vgl. hierzu Seite 118. Vergleichbare Ergebnisse erbrachten auch die Untersuchungen von Partikelproben, die beim Beschleifen von Zirkonium-haltigen Dentalkeramiken und hochgoldhaltigen Dentallegierungen gewonnen wurden. Auch hier ließen sich sowohl die gröberen als auch die feinen und teils nanoskaligen Partikel eindeutig dem jeweils bearbeiteten Werkstoff zuordnen.

Schleifarbeiten von hochgoldhaltigen Dentallegierungen im zahntechnischen Labor ließen bei ausgeschalteter Absaugung Teilchenkonzentrationen von maximal etwa 35.000 pt/cm³ Luft entstehen. Die Teilchenkonzentrationen schwankten dabei u.a. in Abhängigkeit vom jeweils verwendeten Schleifkörper und der Messdistanz. Die höchsten Konzentrationen fanden sich bei Verwendung einer Fräse, die niedrigsten beim Polieren mit einem Silikonpolierer (Brownie[®], Greenie[®]). Rasterelektronenmikroskopisch zeigten sich in Partikelproben, welche beim Beschleifen dieser hochgoldhaltigen Dentallegierungen mit einem Diamantschleifkörper gewonnen wurden, neben sehr großen Partikeln von 50 μm und mehr auch Partikel in der Größenordnung von deutlich unter 1 μm . Bei Arbeiten mit der Fräse sowie beim Polieren mit einem Silikon- bzw. Gummipolierer gewonnene Partikelproben ließen Teilchen im nanoskaligen Maßstab (ca. 52 nm), teils als einzelne Partikel, teils in agglomeriertem Zustand erkennen.

Beim Polieren einer hochgoldhaltigen Dentallegierung mit einem Silikonpolierer lagen die Teilchenkonzentrationen deutlich unterhalb der Werte, wie sie beim Bearbeiten mit der Fräse gemessen wurden. Grund hierfür kann sein, dass während des Poliervorgangs primär ultrafeine Partikel freigesetzt werden, die auf Grund der Van-der-Waals-Wechselwirkungen rasch zu größeren Partikeln agglomerieren und dann oberhalb der Detektionsgrenze des CPC 3007 mit $1\ \mu\text{m}$ liegen [93, 101]. Dagegen kommt es bei der Verwendung einer Fräse zur Freisetzung größerer Partikel, die weniger stark bzw. nicht agglomerieren und somit detektiert und gezählt werden können.

Sehr hohe Partikelkonzentrationen von über $400.000\ \text{pt}/\text{cm}^3$ konnten bei Simulationsversuchen in unserem Labor mit einem Mattierungsspray, welches für den Einsatz von CAD/CAM-Systemen bestimmt ist, gemessen werden. Als Zusammensetzung wird vom Hersteller eine Pigmentsuspension in Ethanol angegeben, welche mittels Treibgas und einer Vernebelungsdüse zur detaillierten Kantendarstellung auf den präparierten Zahnstumpf aufgesprüht wird. Rasterelektronenmikroskopisch konnten große, durchschnittlich mehrere μm messende Agglomerate nachgewiesen werden, die sich aus vorwiegend 100 bis 200 nm großen Primärpartikeln zusammensetzten. Daneben fanden sich auch zahlreiche deutlich kleinere Partikel mit einer Größe unter 100 nm. Mittels EDX-Analyse konnten Silicium, Magnesium sowie Titan als Bestandteile nachgewiesen werden. Inwieweit eine Deagglomeration dieser Teilchen nach inhalativer Aufnahme in den Atemwegen und/oder der Lunge stattfindet, lässt sich anhand unserer Untersuchungen nicht sagen - mit der Möglichkeit muss jedoch gerechnet werden.

Der Einsatz des Mattierungssprays findet vorwiegend im Patientenmund statt. Lediglich als Neben-anwendung wird von Herstellerseite die extraorale Anwendung (Gipsstumpf oder Gipsmodell) genannt. Die intraorale Anwendung bedeutet jedoch folglich nicht nur eine inhalative Exposition für den Anwender, sondern stellt v.a. eine Exposition und eine gegebenenfalls damit verbundene Gefährdung für den Patienten dar. Die Möglichkeit der inhalativen Aufnahme ist für den Patienten insbesondere dann gegeben, wenn kein Kofferdam eingesetzt wird und der Patient nicht durch die Nase atmet.

Zu dieser Fragestellung sind bereits Folgeuntersuchungen in Zusammenarbeit mit der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde des Universitätsklinikums des Saarlandes geplant, bei denen neben Messungen am Patientenmodell (Phantom) auch Untersuchungen am Patienten selbst im Vordergrund stehen werden. Zusätzlich wird bei den Exponierten ein prä- und postexpositionelles Biomonitoring auf Titan in Blut und Urin erfolgen.

6.3 Allergiediagnostik

Früher häufige Allergene wie Latex treten in den Hintergrund. Andere Allergene wie (Methyl-)Methacrylate und Zirkonium sind vermehrt anzutreffen.

Expositionen gegenüber sensibilisierenden Arbeitsstoffen können in der Zahnmedizin vielfältig sein. Neben ekzematösen Hautveränderungen, einer Typ IV-Überempfindlichkeitsreaktion, stehen vorwiegend allergisch bedingte Atemwegsobstruktionen vom IgE-vermittelten Sofort-Typ im Vordergrund [103]. (Methyl-)Methacrylate und Latex (letzteres rückläufig) gelten bei zahnmedizinischem Personal als zwei Hauptauslöser für ein berufsbedingtes Asthma bronchiale bzw. eine bronchiale Hyperreagibilität. Weitere potente Allergene wie Glutar- und Formaldehyd oder Chlorhexidin, die beispielsweise in Reinigungs- und Desinfektionspräparaten enthalten sein können, sind ebenfalls von großer Bedeutung [87, 109, 128].

In den vergangenen Jahren wurde bei zahnmedizinischem Personal eine Zunahme von (Methyl-)Methacrylat-assoziierten Atemwegsbeschwerden verzeichnet. Diese sind auf ein immer breiteres Anwendungsgebiet dieser Materialien und auf ein verstärktes Umstellen von „klassischen“ Zahnersatzmaterialien wie Amalgam auf (Methyl-)Methacrylat-haltigen Zahnersatz (Komposit-Kunststoffe) zurückzuführen [128].

Erfreulicherweise konnte in der serologischen Allergiediagnostik auf die Berufsallergene Methylmethacrylat (MMA), Latex und Formaldehyd bei keinem der Teilnehmer unserer Untersuchungen eine Sensibilisierung vom IgE-vermittelten Sofort-Typ (Typ I) nachgewiesen werden.

Anders als bei der gleichfalls durch Methacrylat-Kunststoffe ausgelösten Typ-IV-vermittelten Kontaktdermatitis, für deren Diagnostik mittels Epikutan-Test verschiedene Methacrylate, wie zum Beispiel Ethylenglycol-Dimethacrylat (EGDMA), 2-Hydroxyethylmethacrylat (HEMA) oder Methylmethacrylat als Testsubstanzen zur Verfügung stehen [41], gestaltete sich bereits die Suche nach einem Labor, welches eine spezifische IgE-Testung auf Methacrylate durchführt, schwierig. Als akkreditiertes Labor, das eine solche Testung in seinem Programm anbietet, konnte letztendlich das Labor Dr. Stein und Kollegen, Betriebsstätte Labor Aprath, Velbert, Deutschland, ausfindig gemacht werden. Serologisch getestet werden konnte allerdings nur auf die Substanz Methylmethacrylat. Dies hat zur Folge, dass - trotz negativer Befunde in der spezifischen IgE-Testung auf MMA - bei allen getesteten Teilnehmern eine mögliche Typ-I-Sensibilisierung auf andere Methacrylate nicht ausgeschlossen werden kann. Dieser Sachverhalt ist insbesondere bei jenen Personen von Bedeutung, die bodyplethysmographisch mit einer Atemwegsobstruktion auffällig waren und bei denen sich bisher noch kein auslösendes Allergen nachweisen ließ.

Eine Hauttestung der Teilnehmer mittels Prick-Test auf die in den beiden Zahnkliniken regelmäßig verwendeten Methacrylate wurde jedoch im Hinblick auf die damit verbundene Gefahr einer iatrogenen Sensibilisierung oder gar Ausbildung einer anaphylaktischen Reaktion nach Rücksprache mit der Universitätshautklinik nicht durchgeführt [8].

Als Grund für die negativen Ergebnisse der Allergietestung auf Latex ist v.a. die Umstellung von gepuderten Naturlatexhandschuhen auf allergenarme und puderfreie Latexhandschuhe oder andere geeignete Handschuhe, wie Vinyl- oder Nitrilhandschuhe, anzusehen (TRGS 540¹).

Verdeutlicht wird dies, wenn man das Ergebnis einer in den Jahren 1997 und 1998 von der Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW) bundesweit durchgeführten Präventionskampagne betrachtet, welche zum Ziel hatte, über die gesundheitlichen Risiken gepudelter Latexhandschuhe aufzuklären. Infolge der Aufklärungskampagne stieg die Zahl derjenigen Zahnärzte, die latexfreie oder ungepuderte allergenarme Latexhandschuhe verwenden, von anfangs weniger als 40% auf über die Hälfte (insgesamt 57%) an. Parallel konnte ein deutlicher Rückgang der bei der Berufsgenossenschaft eingehenden Meldungen hinsichtlich einer im Zusammenhang zu Latex stehenden Berufskrankheit von initial 1262 Fällen im Jahr 1998 auf 228 im Jahr 2003 verzeichnet werden [73, 74].

Formaldehyd ist ein nach wie vor weit verbreiteter Arbeitsstoff im Gesundheitsdienst. Obwohl es als giftig, ätzend, hautsensibilisierend und möglicherweise auch krebserzeugend (Kategorie 4) eingestuft ist, wird es vielfach zur Desinfektion, Sterilisation und Konservierung verwendet [37, 45]. Bei Durchsicht der regelmäßig in Klinik I verwendeten Desinfektions- und Reinigungsmittel sowie einer Vielzahl weiterer dentaler Materialien und Werkstoffe konnte Formaldehyd in keinem der Produkte als Inhaltsstoff ausfindig gemacht werden. Dies kann ein Grund dafür sein, dass bei keinem der Untersuchten eine positive Reaktion auf Formaldehyd festgestellt werden konnte. Ähnliches ist auch für die Mitarbeiter der Klinik II anzunehmen, bei denen ebenfalls keiner der Getesteten eine positive Reaktion zeigte. Erwartungsgemäß waren die Reaktionen bei den Studienanfängern auf Formaldehyd negativ.

Ein weiteres in der Zahnheilkunde anzutreffendes, in manchen Dentallegierungen bis zu 70 Gewichtsprozent ausmachendes, sehr potentes Allergen ist Nickel [169]. Nickel kann über eine Typ-IV-Reaktion zu ekzematösen Hautveränderungen führen. Aber auch Typ-I-Reaktionen mit dem klinischen Beschwerdebild eines (berufsbedingten) Asthma bronchiale können vorkommen [109, 119]. Von den 26 am Programm teilnehmenden Personen konnten insgesamt 25 auf eine Überempfindlichkeitsreaktion bzgl. Nickel getestet werden. Die Testung unterschied sich jedoch hinsichtlich Verfahren bzw. Reaktionstyp und Gruppe:

Von den 10 teilnehmenden Mitarbeitern der Klinik I wurden 9 Personen im Prick-Testverfahren auf eine Nickel-induzierte Typ-I-Allergie getestet. Zusätzlich wurde bei 5 dieser 9 Personen ein LTT auf Nickel zum Ausschluss einer Typ-IV-Reaktion durchgeführt. Bei den Mitarbeitern der Klinik II sowie den Studierenden im ersten Semester erfolgte dagegen ausschließlich eine serologische Testung (spezifisches IgE).

¹TRGS: Technische Regeln für Gefahrstoffe werden vom Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS) erarbeitet und vom Bundesministerium für Arbeit und Soziales bekanntgegeben. Sie geben den Stand der Technik, Arbeitsmedizin, Arbeitshygiene und sonstigen wissenschaftlichen Erkenntnisse hinsichtlich Inverkehrbringen und Umgang wieder.

Ausnahmen: Bei den Personen 15 und 18 wurde zusätzlich eine Prick-Testung durchgeführt und bei den Personen 4 und 11 erfolgte auf Grund vorzeitiger Beendigung der Untersuchungen keine Allergietestung auf Nickel.

Eine IgE-vermittelte Reaktion auf Nickel konnte bei keiner der getesteten Personen, weder serologisch noch kutan, nachgewiesen werden. Nickel ließ sich folglich bei 10 der 12 Personen (n.d. bei Personen 4 und 11), die bodyplethysmographisch mit Zeichen einer obstruktiven Ventilationsstörung auffällig waren, als mögliches auslösendes Allergen mit hoher Wahrscheinlichkeit ausschließen. Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass ein unauffälliges Befundergebnis im Prick-Test nicht automatisch dem Ausschluss einer Sensibilisierung gleichbedeutend sein muss. So berichteten Novey et al. über einen in der Galvanik arbeitenden Patienten mit tätigkeitsassoziiertes Asthma bronchiale-Symptomatik, der zwar negativ im Prick-Test reagierte, jedoch in der Serologie ein positives Befundergebnis auf Nickel zeigte [119].

Im Lymphozytentransformationstest (LTT) dagegen konnte bei allen 5 getesteten Personen eine mitunter sehr starke Typ-IV-Sensibilisierung auf Nickel nachgewiesen werden. Eine entsprechende Klinik war jedoch bei keinem festzustellen. Lee et al. konnten bei einem Zahntechniker-Kollektiv, von dem anamnestisch annähernd die Hälfte die Entwicklung eines allergischen Kontaktekzems im Laufe der Berufstätigkeit angab, im Patch-Test bei fast 20% der Teilnehmer eine positive Reaktion auf Nickel nachweisen [102].

Eine weiterführende diesbezügliche Diagnostik erfolgte auf Grund einer fehlenden Klinik aktuell bei keinem Teilnehmer. Es wurde jedoch den betroffenen Personen empfohlen, bei Auftreten entsprechender Symptome bei einem Allergologen vorstellig zu werden. Eine außerberufliche Komponente ist selbstverständlich auf Grund der weiten Verbreitung von Nickel nicht auszuschließen.

Als weiteres Typ-I-Allergen wurde auf das Metall Cadmium getestet. Bei keinem der Getesteten ließ sich eine positive Reaktion verzeichnen.

Person 12 wurde auf Grund der beruflichen Anamnese als einziger Teilnehmer serologisch auf die Metalle Silber, Titan, Palladium, Zink, Kupfer und Zinn getestet. Ein positiver Befund war für keines der Metalle festzustellen.

Neben den in unserem Untersuchungsprogramm getesteten Typ-I-Allergenen existieren in der Zahnheilkunde noch eine Vielzahl weiterer Substanzen mit potentiell allergenen Eigenschaften. Zu nennen sind hier u.a. verschiedene Inhaltsstoffe von Desinfektions- und Reinigungsmitteln wie z.B. Glutaraldehyd, Chlorhexidin, Chloramin T sowie Duft- oder Parfümstoffe. Des Weiteren steht das in Wurzelfüllungsmaterialien und Dentalharzen vorkommende, aus Koniferen gewonnene Kolophonium unter Verdacht, neben Dermatosen auch IgE-vermittelte Atemwegsobstruktionen verursachen zu können [48, 109]. Ein möglicher ursächlicher Zusammenhang mit den bei unserem Kollektiv festgestellten Atemwegsobstruktionen kann für diese und auch weitere potentiell sensibilisierend wirkende Substanzen nicht ausgeschlossen werden.

Vor dem Hintergrund der Analogie von Zirkonium und Beryllium (beide Elemente können eine allergische Reaktion vom verzögerten Typ auslösen, beide können zu granulomatösen Veränderungen der Lunge führen und bei beiden kann es zu extrapulmonalen Manifestationen kommen) erfolgte die Konzeption der spezifischen allergologischen Diagnostik. Insgesamt konnte der LTT auf Beryllium und Zirkonium bei 25 der 26 am Untersuchungsprogramm teilnehmenden Personen durchgeführt werden.

Erfreulicherweise ließ sich bei keinem der 25 Untersuchten eine Typ-IV-Sensibilisierung auf Beryllium nachweisen. 9 von 10 Mitarbeitern der Klinik I sowie die Personen 15 und 18 der Klinik II wurden im Rahmen der weiterführenden Allergiediagnostik im Prick-Test zudem neben den ubiquitären Inhalations- und Sofortallergenen auch auf Beryllium (1%ig) getestet. Eine positive Typ-I-Reaktion auf Beryllium konnte bei keinem Getesteten dokumentiert werden.

Dieses erfreuliche Ergebnis kann auf der einen Seite als Resultat und erfolgreiche Bestätigung der Umsetzung der Resolution CEN/TC 55 angesehen werden, wonach Beryllium nur noch in sehr geringem Umfang verwendet werden darf [145]. Inwieweit Beryllium in den hier verarbeiteten Dentallegierungen enthalten war, wurde allerdings nicht untersucht. Es wurde davon ausgegangen, dass man sich in den Kliniken innerhalb der Grenzen der Resolution CEN/TC 55 bewegt. Auf der anderen Seite konnte in früheren Untersuchungen gezeigt werden, dass für die Ausbildung einer Sensibilisierung gegenüber Beryllium eine genetische Disposition existiert und bereits geringste Expositionen für die Entwicklung einer Berylliose ausreichend sein können. Für Exponierte sind Erkrankungsraten von 2 bis 16% angegeben. Pro Jahr entwickeln etwa 10% der Beryllium-Sensibilisierten eine manifeste Berylliose. Zu berücksichtigen ist auch, dass es noch Jahrzehnte nach Exposition zu einer Erkrankung kommen kann [116].

Im Lymphozytentransformationstest auf Zirkonium allerdings konnte - im Gegensatz zu Beryllium - bei 4 von insgesamt 25 Getesteten ein positives Befundergebnis dokumentiert und bei einer weiteren Person (nachfolgend jeweils in Klammer mit aufgezählt) eine Sensibilisierung auf Zirkonium nicht eindeutig ausgeschlossen werden. Im ergänzend durchgeführten Prick-Test zeigte keine der 11 getesteten Personen eine Typ-I-Reaktion auf Zirkonium (1%ig) - getestet wurden auch 3 (bzw. 4) der 5 Personen mit positivem LTT-Befund.

Erwartungsgemäß zeigte - auf Grund fehlender beruflicher Exposition - keiner der 7 Studienanfänger im LTT eine positive Reaktion auf Zirkonium.

3 der 4 Personen mit nachgewiesener Zirkonium-Sensibilisierung sowie die Person mit nicht eindeutig reproduzierbarem LTT-Ergebnis waren Mitarbeiter der Klinik I. Darunter befanden sich auch jene zwei Studierenden im klinischen Abschnitt, die zu den Mitarbeitern der Klinik I gezählt wurden (vgl. Kapitel 4.1). Die positiv getesteten Mitarbeiter der Klinik I gaben jedoch berufsanamnestisch keinen oder einen nur sehr marginalen tätigkeitsassoziierten Kontakt zu Zirkonium an, etwa im Rahmen kleiner Korrekturarbeiten an Zirkonium-haltigem Zahnersatz wie z.B. Kronen. Anamnestisch ließ sich bei diesen 4 Teilnehmern das Tragen von Zirkonium-haltigem Dentalersatz und eine gegebenenfalls damit verbundene Sensibilisierung gegenüber Zirkonium ausschließen.

Person 19, ein Mitarbeiter der Klinik II, gab als Einziger der auf Zirkonium positiv getesteten Teilnehmer einen regelmäßigen beruflichen Umgang mit Zirkonium an. Kontakt bestand im Rahmen von wissenschaftlichen Laborarbeiten, bei denen das Verhalten von Zirkonoxidkeramik während der Bearbeitung mit unterschiedlichen Schleifkörpern untersucht wurde. Person 19 war dabei über mehrere Jahre regelmäßig gegenüber Zirkonium-haltigen Schleifstäuben inhalativ exponiert. Zudem war Person 19 selbst Träger von Zirkonium-haltiger Dentalkeramik.

Es ließen sich somit im Gegensatz zu den anderen 3 (bzw. 4) Teilnehmern mit positivem LTT auf Zirkonium für Person 19 sowohl eine berufliche wie auch außerberufliche Exposition mit einer damit verbundenen Möglichkeit der Sensibilisierung feststellen.

Andere Personen allerdings, wie die Personen 12 und 18, die ebenfalls Träger Zirkonium-haltigen Zahnersatzes und gleichfalls im Rahmen ihrer Berufstätigkeit regelmäßig inhalativ gegenüber Zirkonium-haltigen Schleifstäuben exponiert waren, ließen dagegen kein positives Befundergebnis im LTT erkennen. Anzunehmen ist daher, dass - in Analogie zu Erkrankungen durch Beryllium - weitere (individuelle) Faktoren für die Ausbildung einer Sensibilisierung gegenüber Zirkonium von Bedeutung sind [116].

Auffallend war, dass nur Personen im Alter von 25 bis 32 Lebensjahren und mit einer Berufstätigkeit zwischen 5 und 14 Jahren eine Zirkonium-Sensibilisierung aufwiesen. Bei Teilnehmern, die jünger waren und/oder erst mit dem Studium begonnen hatten sowie bei älteren Teilnehmern mit z.T. langer Berufstätigkeit ließ sich dagegen keine Sensibilisierung auf Zirkonium nachweisen.

Überraschenderweise zeigten mehr Mitarbeiter von Klinik I eine Zirkonium-Sensibilisierung im Vergleich zu den Mitarbeitern der Klinik II, von denen nur Person 19 einen positiven Befund aufwies. Dieser Befund überraschte insofern, als dass die Mitarbeiter der Klinik I anamnestisch keinen bzw. einen nur seltenen und sehr geringen beruflichen Kontakt gegenüber Zirkonium-haltigen Materialien angaben, wohingegen die Mitarbeiter der Klinik II berufsanamnestisch über regelmäßige bis täglich stattfindende Schleif- und Korrekturarbeiten an Zirkonium-haltigen Zahnersatzmaterialien berichteten.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwieweit die Ausbildung einer Typ-IV Sensibilisierung gegenüber Zirkonium von der Höhe und der Dauer der (inhalativen) Exposition abhängig ist bzw. welche individuellen Faktoren gegebenenfalls die Suszeptibilität für eine Zirkonium-Sensibilisierung zusätzlich oder sogar dominierend beeinflussen können.

Richtungsweisend könnten in dieser Frage die Ergebnisse einer weiteren unsererseits durchgeführten Untersuchung bei Beschäftigten aus dem Bereich der chemischen Nanotechnologie sein. Bei einem Kollektiv, das langjährig und regelmäßig und bisweilen sehr stark inhalativ gegenüber Zirkonium exponiert war, konnte bei über der Hälfte der Untersuchten eine Sensibilisierung auf Zirkonium festgestellt werden [113]. Differenziert man nun nicht in Mitarbeiter der Kliniken I und II, sondern betrachtet diese insgesamt und vergleicht sie mit den Ergebnissen der Studienanfänger sowie den untersuchten Beschäftigten aus der Nanotechnologie, so stellt man fest, dass mit zunehmender

Exposition gegenüber Zirkonium auch der Anteil der Zirkonium-sensibilisierten Personen ansteigt. Fand sich unter den Studienanfängern noch kein Teilnehmer mit einer positiven Reaktion, so zeigte bereits ein Viertel der Mitarbeiter der Zahnkliniken eine Sensibilisierung. Die höchste Zahl an Zirkonium-Sensibilisierten mit 5 von 10 untersuchten Personen konnte bei dem am stärksten exponierten Untersuchungskollektiv, bestehend aus den Beschäftigten der Nanotechnologie, dokumentiert werden [113].

Auf Grund der Ergebnisse unserer Untersuchungen kann also ein Zusammenhang zwischen der Höhe sowie evtl. Dauer der Exposition und der Ausbildung einer Sensibilisierung gegenüber Zirkonium zumindest nicht ausgeschlossen werden.

Bisher ist die Datenlage hierzu nicht ausreichend und unter arbeits- und präventivmedizinischer Betrachtung bedarf es dringend weiterer Forschung, insbesondere da Zirkonium und seine Verbindungen zunehmend breitere Anwendung finden.

Kritisch anzumerken ist jedoch, dass die Angaben in der Literatur bzgl. der Validität des Lymphozytentransformationstests teilweise uneinheitlich oder gar widersprüchlich sind. Gilt der LTT in der Diagnostik der chronischen Berylliose zum Nachweis einer Spättyp-Reaktion auf Beryllium als Goldstandard [19] und wird diesem Testverfahren zum Nachweis einer Metallallergie von manchen Autoren eine hohe Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit sowie Sensitivität und Spezifität attestiert [162], so wurde von Seiten des Robert Koch-Instituts (RKI) eine Empfehlung zum Nachweis einer Kontaktallergie auf z.B. Nickel mittels LTT nur unter Vorbehalt ausgesprochen. Zum Nachweis einer Allergie gegenüber anderen Substanzen erfolgte vom RKI überhaupt keine Empfehlung [135].

Vor dem Hintergrund der Analogie von Beryllium und Zirkonium erfolgte trotz teilweise widersprüchlicher Literaturangaben und hoher Kosten und nicht zuletzt auf Grund des Mangels an alternativen Testmöglichkeiten im Rahmen unseres umfassenden Diagnostikprogramms die Testung auf eine Sensibilisierung gegenüber Zirkonium (und weiteren Metallen) mittels des Lymphozytentransformationstests.

Im Verlauf wurde bei 5 Personen zur Verifizierung des LTT-Ergebnisses eine Wiederholung der Bestimmung durchgeführt. Dabei ließ sich bei einer Person ein zuvor negatives Befundergebnis auf Zirkonium bestätigen. Bei zwei weiteren Personen konnte der anfängliche Verdacht mit fraglichem Befund ($SI: 2 < 3$) durch eine positive Reaktion mit einem Stimulationsindex von > 3 erhärtet werden. Ein erst positiver und in der Kontrolle dann negativer Befund war bei einer Person zu dokumentieren. Lediglich bei einem Teilnehmer konnte eine eindeutige Sensibilisierung auf Zirkonium reproduzierbar nachgewiesen werden. Person 19, der einzige Mitarbeiter der Klinik II mit positiver Reaktion auf Zirkonium, wurde allerdings nur einmalig getestet.

Zur weiteren Verifizierung der Messergebnisse ist eine Wiederholung der Messung bei den Mitarbeitern der Kliniken I und II geplant.

Interessanterweise zeigten die beiden Studierenden im klinischen Abschnitt, die - wie beschrieben - zu den Mitarbeitern der Klinik I gezählt wurden, ein positives LTT-Befundergebnis auf Zirkonium. Von beiden wurde allerdings kein wissentlicher Kontakt zu Zirkonium angegeben. Da beide Studierenden zum Zeitpunkt unserer Untersuchungen bereits Kurse in den Räumlichkeiten der Klinik II, in der Zirkonium regelmäßig und in größerem Umfang als Zahnersatzmaterial Anwendung findet, absolviert hatten, sollte bei diesen eine Exposition als so genannter Bystander und die damit verbundene Möglichkeit einer Sensibilisierung diskutiert werden.

Eine diesbezügliche Diskussion sollte auch insbesondere unter dem Aspekt erfolgen, dass in der elektronenoptischen Analyse von Partikelproben, die in Klinik II beim Schleifen einer Zirkonoxidkeramik mit Glaskeramikglasur gewonnen worden waren, sowohl beim Beschleifen der Glasur als auch der Zirkonoxidkeramik selbst Zirkonium-haltige Partikel in einer Größenordnung von kleiner 500 nm sowie im Nanomaßstab nachgewiesen werden konnten. Feine und v.a. ultrafeine Partikel können nach ihrer Freisetzung mehrere Minuten bis zu einer halben Stunde schwebend in der Atmosphäre verweilen und damit eine inhalative Exposition für anwesende Personen darstellen [77]. Eine Exposition gegenüber freigesetzten Zirkonium-haltigen Partikeln sowie die damit verbundene Gefahr kann daher über geraume Zeit hinweg gegeben sein. Dies gilt sowohl für den die Arbeiten durchführenden Beschäftigten selbst als auch für jene Personen, die sich entweder in unmittelbarer räumlicher Nähe zu den Schleifarbeiten befinden oder sich zu einem späteren Zeitpunkt dorthin begeben.

Zu berücksichtigen ist jedoch, dass in den Räumen der Klinik II eine automatische Raumlüftung installiert ist und bei Hintergrundmessungen dort lediglich wenige tausend Partikel pro cm^3 Luft gemessen werden konnten. Die Gefahr der inhalativen Exposition und einer damit verbundenen Aufnahme von bisweilen mehrere Minuten zuvor generierten Partikeln oder Aerosolen ist im Hinblick darauf zwar mit hoher Wahrscheinlichkeit als vergleichsweise gering anzunehmen - gänzlich auszuschließen ist sie allerdings nicht. Es empfiehlt sich daher aus arbeits- und präventivmedizinischer Sicht, weiterhin alle „erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes“ (§ 3 (1) ArbSchG) einzuhalten und „Stäube . . . an der Austritts- oder Entstehungsstelle möglichst vollständig“ durch eine entsprechende Absaugung zu erfassen (Anhang III Nr. 2.3 (5) der GefStoffV) [62, 166].

Partikelproben zur elektronenoptischen Analyse wurden allerdings nur während und nicht vor und nach den oben beschriebenen Tätigkeiten gewonnen. Aussagen zur Größe und Zusammensetzung der Partikel, wie sie als Hintergrundbelastung im Raum vorliegen oder auch zur Dauer ihres Nachweises nach speziellen Tätigkeiten können daher zum jetzigen Zeitpunkt (noch) nicht getroffen werden. Messungen sind diesbezüglich jedoch in Vorbereitung.

Eine andere, außerberuflich bestehende Möglichkeit der Exposition und eine damit verbundene Gefahr der Typ-IV-Sensibilisierung gegenüber Zirkonium kann durch den Gebrauch von Zirkonium-haltigen Deodorants gegeben sein. Trotz Gefahr der Sensibilisierung und der Ausbildung granulomatoöser Veränderungen der Haut findet Zirkonium zur Schweißhemmung in Deodorants Anwendung [156]. Die Abklärung dieses Aspektes bleibt einer weiteren Untersuchung vorbehalten.

6.4 Lungenfunktionsuntersuchung

Lungenfunktionsuntersuchungen lassen Atemwegsobstruktionen erkennen. Gründe hierfür können sowohl beruflicher wie auch außerberuflicher Art sein.

Atemwegserkrankungen und Erkrankungen der Lunge stellen neben Dermatosen einen wesentlichen Anteil der arbeitsbedingten Beschwerden bei in der Zahnmedizin beschäftigttem Personal dar [103]. Zu ihnen sind hier obstruktive Atemwegserkrankungen bzw. eine bronchiale Hyperreagibilität - ausgelöst durch allergen und/oder irritativ-toxisch wirkende Arbeitsstoffe - zu nennen, zum anderen fibrotische Lungenveränderungen durch die meist langjährige inhalative Exposition gegenüber Schleifstäuben (Zahntechnikerpneumokoniosen) [98, 99].

Die Untersuchung der Lungenfunktion stellte einen Schwerpunkt unseres arbeitsmedizinischen Diagnostikprogramms dar, da die Atemwege für viele inhalative berufliche und auch außerberufliche Gefahrstoffe die Haupteintrittspforte in den menschlichen Organismus darstellen. Die Lungenfunktionsuntersuchungen ließen bei 12 (bzw. 13 - bei einer Person lagen die Werte im Grenzbereich; sie wird nachfolgend jeweils in Klammer mitgezählt) der insgesamt 26 untersuchten Teilnehmer eine variable oder bereits manifeste obstruktive Ventilationsstörung erkennen. Im Rahmen der prä- und postexpositionellen Spirometrie konnte ebenfalls bei 12 von 19 Untersuchten der Kliniken I und II eine arbeitsparallele Atemwegsobstruktion mit z.T. zunehmender Tages- und Wochendynamik diagnostiziert werden. Insgesamt fanden sich bei 9 von 19 untersuchten Mitarbeitern der Kliniken I und II sowohl bodyplethysmographisch in unserem Institut als auch tätigkeitsparallel am Arbeitsplatz Zeichen der Atemwegsobstruktion mit erniedrigtem Tiffeneau-Index und/oder erhöhtem Atemwegswiderstand (R). 3 Mitarbeiter der Klinik I waren bodyplethysmographisch unauffällig, zeigten jedoch in der Spirometrie eine arbeitsparallele Atemwegsobstruktion mit Zunahme im Tages- sowie Wochenverlauf.

Von den 12 (13) bodyplethysmographisch mit variabler oder bereits manifester Atemwegsobstruktion auffälligen Teilnehmern konnte bei 6 (7) Personen eine positive Reaktion auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene teils serologisch im Inhalationsscreen, teils im Prick-Test nachgewiesen werden. Zwei Teilnehmer zeigten zudem passend zu den Ergebnissen der Allergiediagnostik ein erhöhtes Gesamt-IgE.

Bei Person 11 ließen sich lungenfunktionsanalytisch ebenfalls eine manifeste obstruktive Ventilationsstörung und Zeichen der pulmonalen Überblähung dokumentieren. Wie bereits erwähnt, konnte auf Grund der vorzeitigen freiwilligen Beendigung der Untersuchungen bei Person 11 keine Allergiediagnostik durchgeführt werden. Person 11 wies allerdings mit etwa 18 py den höchsten Zigarettenkonsum auf. Zwischen dem Zigarettenrauchen und der Entstehung einer chronischen obstruktiven Atemwegserkrankung besteht ein direkter kausaler Zusammenhang [94]. Es ist daher anzunehmen, dass bei Person 11 das langjährige Rauchverhalten der primär ausschlaggebende Faktor für die Ent-

stehung der Atemwegsobstruktion mit Überblähung ist. Jedoch muss auch berücksichtigt werden, dass dieser Teilnehmer tätigkeitsassoziiert langjährig gegenüber Schleifstäuben exponiert war. Eine berufliche Komponente kann daher nicht ausgeschlossen werden.

Im Zuge unserer Untersuchungen konnte bei insgesamt 7 (8) von 12 (13) Personen mit bodyplethysmographisch auffälliger Lungenfunktion als mögliche Ursache ein außerberuflicher Zusammenhang aufgezeigt werden. Trotz negativer Allergiediagnostik hinsichtlich diverser Berufsallergene kann jedoch auch eine berufliche Komponente nicht ausgeschlossen werden.

Bei 4 Mitarbeitern der Klinik I sowie einem Studierenden im ersten Semester konnte kein auslösendes Allergen für die bei diesen Teilnehmern diagnostizierten Atemwegsobstruktionen verifiziert werden. Dies wiederum könnte zumindest bei den Klinikmitarbeitern ein Hinweis auf einen möglichen tätigkeitsassoziierten Zusammenhang sein. Aus arbeits- und präventivmedizinischer Sicht bedarf es daher weiterer Abklärung. Regelmäßige betriebsmedizinische Kontroll- bzw. Vorsorgeuntersuchungen sind anzustreben.

6.5 Atemexhalatuntersuchungen

Hinweise auf Zusammenhänge zwischen H_2O_2 -Konzentration im Atemexhalat und tätigkeitsassoziierter Exposition; pH-Werte unauffällig.

Die Atemwege stellen für viele umwelt- und auch arbeitsbedingte Schadstoffe die Haupteingangspforte in den menschlichen Organismus dar. Nach inhalativer Aufnahme können reizend oder auch allergisierend wirkende Stoffe zu entzündlichen Reaktionen an den Bronchien und der Lunge führen. Diagnostisch stehen verschiedene Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Die Messung von Entzündungsmarkern und Stoffwechselmetaboliten im exhalierten Atemkondensat (EBC) stellt dabei eine noch relativ junge, nicht-invasive Methode zur Untersuchung entzündlicher Veränderungen an Bronchien und Lunge dar. Bestimmen lässt sich eine Vielzahl unterschiedlicher Biomarker, z.B. Leukotriene, Prostaglandine oder Zytokine [82].

Für unsere Untersuchungen haben wir uns primär auf die Bestimmung der Konzentration von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) als Marker des oxidativen Stresses und des pH-Wertes im Atemexhalat, einem Marker für die Azidifikation, fokussiert. Es erfolgte zusätzlich die Analyse der Marker IL-6, IL-8 und IL-12p70 sowie IFN- γ und VEGF.

In der überwiegenden Mehrzahl der Atemexhalatproben konnte jedoch kein Zytokinnachweis erbracht werden. Hier ist anzumerken, dass es durch den Kondensatortyp selbst im Rahmen der Atemexhalat-Gewinnung zu einer Beeinflussung des EBCs kommen kann, wie Untersuchungen von Hoffmeyer et al. zeigen konnten [83]. Des Weiteren gilt zu berücksichtigen, dass das von uns untersuchte Kollektiv vergleichsweise gesund war, wohingegen in der Literatur vorwiegend schwer lungenkranke Patienten mit exazerbierter chronischer Bronchitis oder Bronchialkarzinom untersucht wurden [65, 66]. Beim jetzigen Stand der Untersuchungstechnik muss einschränkend festgehalten werden, dass diese - bisher sehr aufwendige und kostenintensive - Analysemethodik offensichtlich keine wesentlichen neuen Erkenntnisse zu einer so speziellen, wie der unsererseits gestellten Frage liefern kann.

H_2O_2 im Atemexhalat

H_2O_2 wird sowohl von Lungengesunden als auch - und vor allem - von Personen mit Lungenerkrankung freigesetzt. Es kann bereits in Ruheatmung im Atemkondensat bestimmt werden. Freigesetzt wird H_2O_2 von neutrophilen und eosinophilen Granulozyten, von Makrophagen sowie Epithelzellen. Es gilt als sensitiver Marker für entzündliche Veränderungen der Atemwege und der Lunge [86].

Für die Bestimmung von H_2O_2 im Atemexhalat existieren verschiedene Messmethoden, wie z.B. die Spektrophotometrie oder die Fluorometrie. Für unsere Untersuchungen wählten wir die amperometrische Messung mittels Enzymsensor nach Umsetzung von H_2O_2 zu $2\text{H}^+ + \text{O}_2 + 2\text{e}^-$ durch eine Peroxidase. Sie ermöglicht eine schnelle und sensible Analyse dieses nicht stabilen Parameters [104]. Die Kontamination durch im Speichel enthaltenes H_2O_2 konnte mittels Bestimmung der Amylase im EBC ausgeschlossen werden.

Junge, lungengesunde Nichtraucher weisen H_2O_2 -Konzentrationen von 0 bis $0,9 \mu\text{mol/l}$ auf [86]. Nowak et al. berichteten über „Norm“-Werte für gesunde, nichtrauchende Personen im Bereich von $0,05 \pm 0,07 \mu\text{mol/l}$ (MW \pm SD) [120] und Marek et al. gaben für gesunde junge Nichtraucher eine H_2O_2 -Schwankungsbreite von 80 bis 1.330 nmol/l bei einer mittleren Konzentration von 550 nmol/l an [110]. Nach Becher gelten H_2O_2 -Werte unter 500 nmol/l als normal [15].

Anstiege der H_2O_2 -Konzentration im Atemkondensat können bei gesunden älteren Personen, bei Rauchern und bei Lungenerkrankten wie Patienten mit einer chronisch obstruktiven Lungenerkrankung (COPD) oder mit einem Acute Respiratory Distress Syndrom (ARDS) gemessen werden [36, 86]. Ein Ansteigen der H_2O_2 -Konzentration soll bei Patienten mit COPD einer Exazerbation vorausgehen und eine Aussage über den Therapieverlauf bzw. -erfolg zulassen [110]. Erhöhte H_2O_2 -Konzentrationen konnten auch bei Patienten mit grippalem Infekt im Vergleich zu gesunden Nichtrauchern festgestellt werden [92]. Bei Patienten mit intermittierend-mildem Asthma bronchiale werden im Mittel niedrigere Konzentrationen für H_2O_2 angegeben als für Personen mit chronisch-mildem oder mit mäßigem Asthma bronchiale [108]. Desweiteren konnten bei Patienten mit Bronchiektasien [107] und an einem Nicht-Kleinzelligen Bronchialkarzinom Erkrankten erhöhte H_2O_2 -Konzentrationen gemessen werden [32].

Die bei unserem Untersuchungskollektiv gemessenen H_2O_2 -Konzentrationen bewegten sich in einem Bereich von 0 bis maximal 1.860 nmol/l . Die mittlere H_2O_2 -Konzentration betrug für die Teilnehmer der Kliniken I und II $402 \pm 30 \text{ nmol/l}$ (MW \pm SEM) bei einem Median von 320 nmol/l . Bei den Studienanfängern lag der Durchschnittswert bei $120 \pm 39 \text{ nmol/l}$ und der Median bei 100 nmol/l .

Bei 14 der insgesamt 19 untersuchten Personen aus den Kliniken I und II bewegte sich die mittlere H_2O_2 -Konzentration in einem Bereich zwischen 180 und 410 nmol/l . Dies spiegelt einen Konzentrationsbereich wider, wie er allgemein auch in der Literatur für lungengesunde Personen angegeben wird [15, 86, 110].

Unter diesen 14 Personen befand sich allerdings auch eine Person mit anamnestisch fraglicher (Person 10) sowie eine Person mit diagnostizierter chronischer Bronchitis (Person 9). Zudem waren 5 Teilnehmer darunter, die mit Zeichen einer Obstruktion der Atemwege sowohl bodyplethysmographisch als auch spirometrisch auffielen.

Als Marker von entzündlichen Veränderungen der Atemwege steigt das H_2O_2 - u.a. in Abhängigkeit vom Schweregrad der Erkrankung - auf Grund der vermehrten Freisetzung in der Atemluft und somit auch im Atemkondensat an. Eine Obstruktion der unteren Atemwege kann mit entzündlichen Veränderungen einhergehen. Daher wären bei jenen 5 Personen, die bodyplethysmographisch mit einer Atemwegsobstruktion imponierten, durchaus auch höhere H_2O_2 -Werte zu erwarten gewesen - insbesondere bei jenen 3 Personen, bei denen zusätzlich eine positive Allergiediagnostik auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene wie z.B. bei einem allergischen Asthma bronchiale nachgewiesen werden konnte [49, 108].

Bei den anderen 5 der 19 Mitarbeiter der Zahnkliniken I und II (Personen 1, 2, 3, 4 und 11) betrug die mittlere H_2O_2 -Konzentration 503 bis 1.100 nmol/l. Die höchste gemessene H_2O_2 -Konzentration für die einzelne Person betrug dabei 980, 1.100, 1.300, 1.460 und 1.860 nmol/l.

Die Personen 1, 3, 4 und 11 waren sowohl bodyplethysmographisch als auch spirometrisch mit einer Atemwegsobstruktion auffällig. Person 11 wies zudem Zeichen der pulmonalen Überblähung auf. Bodyplethysmographisch unauffällig war dagegen Person 2. Sie zeigte lediglich in der tätigkeitsparallelen Spirometrie am ersten Messtag eine variable Atemwegsobstruktion.

Bei Person 1 waren H_2O_2 -Konzentrationen zwischen 0 und 980 nmol/l messbar; die mittlere Konzentration betrug 503 ± 109 nmol/l (Median 460 nmol/l). Bei ihr konnte sowohl in der serologischen wie auch kutanen Allergiediagnostik auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene ein positiver Befund dokumentiert werden. Bodyplethysmographisch ließ sich bei Person 1 wiederholt eine reversible obstruktive Ventilationsstörung feststellen, die als Ausdruck eines allergisch bedingten Asthma bronchiale gedeutet werden darf. Lungenfunktionsanalytisch und allergiediagnostisch konnte folglich insgesamt ein Ergebnis dokumentiert werden, das mit den erhöhten H_2O_2 -Konzentrationen zu vereinbaren ist [49, 108].

Bei Person 2, die mit 1.860 nmol/l den höchsten H_2O_2 -Wert in diesem Kollektiv aufwies, betrug die mittlere H_2O_2 -Konzentration 918 ± 182 nmol/l, der Median lag bei 750 nmol/l. Person 2 war Nichtraucher. In der Allergiediagnostik ließ sich bei ihr sowohl serologisch als auch kutan weder auf die getesteten Berufs- noch auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene eine Typ-I-Allergie nachweisen. Die Lungenfunktionsuntersuchung und auch die Bildgebung zeigten keine relevanten Auffälligkeiten. Zu Beginn unserer Messungen litt Person 2 an einer leichten Erkältung, die im Verlauf der Messwoche rückläufig war.

Jöbbs et al. konnten bei Personen im Stadium einer akuten Erkältung im Atemkondensat erhöhte Werte für H_2O_2 nachweisen. Zum Zeitpunkt der Erkältung zeigte keiner der von Jöbbs et al. untersuchten Probanden signifikante Änderungen in der Lungenfunktion [92]. Es ist daher anzunehmen, dass die hohen H_2O_2 -Werte bei Person 2 in einem ursächlichen Zusammenhang zu der anamnestisch angegebenen Erkältung stehen. Hiermit zu vereinbaren ist auch, dass am ersten Messtag, an dem die Erkältung ihren Höhepunkt hatte, die höchsten Konzentrationen von H_2O_2 gemessen werden konnten, und dass die hohen H_2O_2 -Konzentrationen parallel zu den Erkältungsbeschwerden im Verlauf der Messwoche rückläufig waren. Die Kontrolle im beschwerdefreien Intervall ließ keine erhöhten H_2O_2 -Konzentrationen mehr erkennen.

Bei Person 3 bewegten sich die H_2O_2 -Konzentrationen zwischen 180 und 1.100 nmol/l, der Mittelwert lag bei 513 ± 99 nmol/l (Median 520 nmol/l). Im Verlauf der Messwoche war eine Abnahme der Konzentration zu erkennen. In der serologischen und kutanen Allergiediagnostik auf sowohl ubiquitäre als auch berufsspezifische Allergene war keine Sofort-Typ-Sensibilisierung nachweisbar. Lungenfunktionsanalytisch konnte bei Person 3 bodyplethysmographisch wie auch spirometrisch eine obstruktive Ventilationsstörung dokumentiert werden. Im Tages- und Wochenverlauf konnte zudem eine Zunahme der Atemwegsobstruktion festgestellt werden. Während der tätigkeitsparallelen Partikelmessung konnten bei Person 3, welche im zahntechnischen Labor beschäftigt ist,

mehrfach Konzentrationen von 100.000 bis über 150.000 pt/cm³ Luft gemessen werden. Hohe Partikelkonzentrationen konnten vorwiegend während Tätigkeiten bei gleichzeitigem Gebrauch eines Bunsenbrenners, aber auch bei Schleif- und Polierarbeiten von Werkstücken aus PMMA und in geringerem Umfang beim Bearbeiten verschiedener Dentallegierungen gemessen werden. Hohe H₂O₂-Konzentrationen ließen sich insbesondere an jenen Tagen dokumentieren, an denen arbeitsparallel auch hohe Partikelkonzentrationen verzeichnet werden konnten. Inwieweit ein Zusammenhang zwischen der inhalativen Exposition gegenüber freigesetzten feinen und ultrafeinen Partikeln und der Freisetzung von H₂O₂ in den Atemwegen besteht, kann derzeit noch nicht mit Sicherheit gesagt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass ultrafeine Partikel - u.a. in Abhängigkeit von Material und Oberflächengröße - durch Inhalation zu oxidativem Stress durch Aktivierung von Entzündungszellen und folglich auch zu einem Anstieg der im Atemexhalat nachweisbaren H₂O₂-Konzentration führen können [111, 114]. Die Messwerte bei Person 3 sprechen jedenfalls dafür.

Bei Person 4 bewegten sich die H₂O₂-Konzentrationen in einem Bereich von 160 bis 1.300 nmol/l bei einer mittleren Konzentration von 548 nmol/l ± 113 (Median 400 nmol/l). Im Wochenverlauf konnte bei ihr eine Abnahme des H₂O₂-Wertes beobachtet werden. Person 4 wies bodyplethysmographisch ebenfalls eine Atemwegsobstruktion mit tätigkeitsparalleler Zunahme im Tages- und auch im Wochenverlauf auf. Auf Grund der vorzeitigen freiwilligen Beendigung der Untersuchungen war die Erhebung einer ausführlichen Allergiediagnostik nicht möglich. Die Bestimmung des Gesamt-IgEs sowie die serologische Testung auf das Berufsallergen Methylmethacrylat erbrachten bei Person 4 einen unauffälligen Befund. Person 4 war zu Beginn der Messwoche mit der Herstellung und mechanischen Bearbeitung eines hochgoldhaltigen Zahnersatzes beschäftigt. Dabei kam es zeitweise zur Exposition gegenüber hochgoldhaltigen Schleif- und Polierstäuben. Auffallend war, dass bei Person 4 - vergleichbar zu Person 3 - ebenfalls dann hohe H₂O₂-Werte gemessen werden konnten, wenn von ihr zahntechnische Arbeiten im Labor durchgeführt wurden, die mit einer Exposition gegenüber Schleif- und Polierstäuben verbunden waren. Zusätzlich konnte bei ihr eine tätigkeitsparallele Zunahme des Atemwegswiderstandes im Tages-, aber auch im Wochenverlauf festgestellt werden. Im Hinblick auf die wiederholte Zunahme von Atemwegswiderstand und H₂O₂-Konzentration im EBC unter Exposition muss bei Person 4 ebenfalls ursächlich von einem tätigkeitsassoziierten Zusammenhang ausgegangen werden. Anzunehmen ist, dass es auf Grund der inhalativen Aufnahme von Schleif- und Polierstäuben sowie gegebenenfalls weiterer inhalativer Gefahrstoffe zu einer Reizung mit Aktivierung von Entzündungszellen und folglich entzündlichen Veränderungen der Atemwege kam.

Person 11 wies mit 1.460 nmol/l die zweithöchste H₂O₂-Konzentration auf. Bei ihr konnten ebenfalls auf Grund der vorzeitigen freiwilligen Beendigung des Untersuchungsprogramms nur 3-mal im Atemkondensat die H₂O₂-Konzentration (und der pH-Wert) bestimmt werden; eine Allergiediagnostik ließ sich aus demselben Grund nicht durchführen. In der Lungenfunktionsprüfung fand sich bei Person 11 eine manifeste obstruktive Ventilationsstörung mit Zunahme im Tagesverlauf. Bodyplethysmographisch zeigten sich zudem Zeichen einer pulmonale Überblähung. Im Einklang mit den Befunden der Lungenfunktionsuntersuchungen konnte bei Person 11 ein langjähriger aktiver Zigarettenkonsum von 18 py dokumentiert werden. Hiermit vereinbar sind auch die vergleichsweise

hohen H_2O_2 -Konzentrationen im EBC [86, 96]. Berücksichtigt werden muss jedoch, dass Person 11 als zahntechnischer Mitarbeiter tätigkeitsassoziiert sowohl inhalativ als auch dermal gegenüber verschiedenen dentalen Werkstoffen sowie deren Schleifstäuben und Dämpfen exponiert ist. Folglich muss neben einer prinzipiellen Schädigung von Atemwegen und Lunge durch inhalierten Zigarettenrauch auch zusätzlich von einer möglichen schädigenden Beeinflussung durch die inhalative Aufnahme potentieller arbeitsbedingter Gefahrstoffe wie z.B. PMMA-haltiger Schleifstäube oder Schleifstäube von Dentalmetallen ausgegangen werden.

Bei Person 8, einem Mitarbeiter der Klinik I, wurde die höchste H_2O_2 -Konzentration postexpositionell nach Umgang mit Chemikalien (u.a. Glutaraldehyd, Formaldehyd und Ethanol) und Exposition gegenüber deren freiwerdenden Dämpfen gemessen. Gleichzeitig konnte für diesen Tag auch der höchste Anstieg der H_2O_2 -Konzentration im Tagesverlauf (um 400 nmol/l) verzeichnet werden. Generell kam es bei Person 8 im Tagesverlauf zu einem Anstieg der H_2O_2 -Konzentration. Anzunehmen ist deshalb, dass es durch Exposition und inhalative Aufnahme der potentiell irritativ-toxisch wirkenden Dämpfe von Glutar- und Formaldehyd zu einer Reaktion der bronchialen Schleimhaut mit vermehrter Freisetzung von H_2O_2 als Marker für oxidativen Stress kam [45, 46].

Die H_2O_2 -Konzentrationen bei den Studierenden im ersten Semester bewegten sich mit Werten von 0 bis 280 nmol/l in einem Bereich, wie er allgemein in der Literatur für Gesunde angegeben wird [15, 86, 110]. Die mittlere H_2O_2 -Konzentration betrug 120 ± 39 nmol/l.

Bei Person 23, die anamnestisch einen Zigarettenkonsum von 5-6 py angab, wurde ein H_2O_2 -Wert von 0 nmol/l gemessen. Auch wenn „0“-Werte in der Literatur beschrieben wurden, so liegt dennoch der Schluss nahe, dass es sich hierbei um einen Messfehler handelt, zumal Person 23 mit einer variablen Atemwegsobstruktion, einem erhöhten Gesamt-IgE und einem positiven Inhalationsscreen auffällig war und zudem über allergisch bedingte schleimhautassoziierte Beschwerden berichtete [86]. Person 24 wies einen H_2O_2 -Wert von 100 nmol/l auf. Person 24 war ebenfalls Raucher, gab jedoch nur einen marginalen Zigarettenkonsum von 1 py an. Vermutlich ist dieser Konsum zu gering, um sich bisher wesentlich auf die H_2O_2 -Freisetzung auswirken zu können.

Bei den Mitarbeitern der Kliniken I und II erfolgte jeweils prä- und postexpositionell, d.h. morgens vor Arbeitsbeginn und nachmittags nach Beendigung der Arbeit, die Bestimmung der H_2O_2 -Konzentration, um Veränderungen des H_2O_2 im EBC im Tagesverlauf bzw. unter Exposition ausmachen zu können.

Eine zirkadiane Rhythmik konnte nach Becher für die H_2O_2 -Konzentration bei Lungengesunden bisher nicht sicher nachgewiesen werden [15]. Nowak et al. dagegen berichteten, dass die höchsten H_2O_2 -Konzentrationen jeweils gegen 12 und gegen 24 Uhr und die niedrigsten Konzentrationen jeweils gegen 8 und gegen 20 Uhr zu messen sind [121]. Untersuchungen von van Beurden et al. an Gesunden und Patienten mit stabiler COPD konnten ebenfalls eine zirkadiane Rhythmik mit Zunahme der H_2O_2 -Konzentration über den Tag feststellen [18].

Unsere Untersuchungen ließen insgesamt bei 89% der Messungen ein Ansteigen der H_2O_2 -Konzen-

tration im Tagesverlauf erkennen. Bei den zahnärztlichen und assistierenden Mitarbeitern der Kliniken I und II konnte bei der postexpositionellen H_2O_2 -Bestimmung im Vergleich zu der morgendlichen Messung vor Expositionsbeginn eine signifikante Zunahme ($p = 0,004$) der H_2O_2 -Konzentration von 235 ± 27 auf 457 ± 66 nmol/l dokumentiert werden. Differenziert man in zahnärztliches und assistierendes Personal, so fand sich bei den ZA in der postexpositionellen Messung ein signifikanter H_2O_2 -Anstieg ($p = 0,013$). Bei den ZFA ließ sich hingegen kein signifikanter Anstieg ($p = 0,126$) verzeichnen. Hier ist jedoch einschränkend auf die geringe Anzahl der teilnehmenden ZFA hinzuweisen.

Ob und inwieweit es sich bei den Anstiegen der H_2O_2 -Konzentration über den Tag um eine Reaktion auf die inhalative Exposition gegenüber am Arbeitsplatz vorkommenden Gefahrstoffen handelt, lässt sich anhand unseren Untersuchungen nicht mit letzter Sicherheit feststellen, wenn auch einige Untersuchungsergebnisse (z.B. Personen 3, 4 und 8) hierfür sprechen. Hinweise für eine ausreichende Korrelation zwischen H_2O_2 und pH, Lungenfunktion, Spirometrie oder Allergiediagnostik ließen sich nicht erkennen. Vermutet werden muss daher, dass es sich weitgehend um eine physiologische Dynamik handelte. Zur Klärung dieser Frage bedarf es sicherlich weiterer Untersuchungen.

Ein statistischer Vergleich der Berufsgruppen hinsichtlich der Messergebnisse der H_2O_2 -Konzentration wurde auf Grund der Heterogenität des Kollektivs und der begrenzten Teilnehmerzahl nicht durchgeführt. Betrachtet man jedoch die Mittelwerte der einzelnen Berufsgruppen, so ließen unsere Untersuchungen bei den zahnärztlich tätigen Untersuchungspersonen mit einem mittleren Alter von 33 ± 2 Jahre die höchsten H_2O_2 -Konzentrationen (369 ± 60 nmol/l) erkennen. Bei den zahnmedizinischen Fachangestellten, die im Mittel 42 ± 5 Jahre alt waren, betrug die durchschnittliche Konzentration dagegen nur 291 ± 47 nmol/l. Die niedrigsten H_2O_2 -Werte mit 120 ± 39 nmol/l konnten erwartungsgemäß bei den Studierenden im ersten Semester gemessen werden, die im Mittel 22 ± 1 Jahre alt waren.

Die Unterschiede der H_2O_2 -Konzentration zwischen den ZA und den Studienanfängern, aber auch zwischen den ZFA und den Studienanfängern werfen nochmals die Frage auf, ob und inwieweit zwischen Höhe der H_2O_2 -Konzentration und Exposition gegenüber inhalativen Gefahrstoffen ein ursächlicher Zusammenhang vorliegt. Eine Korrelation von H_2O_2 zu pH-Wert oder zu den Atemwegsobstruktionen konnte bei den einzelnen Berufsgruppen nicht festgestellt werden. Ein Zusammenhang zwischen Höhe der H_2O_2 -Konzentration im EBC und Dauer der Exposition lässt sich aber zumindest anhand unserer Ergebnisse nicht ausschließen.

Interessant ist auch, dass bei den im Vergleich zu den ZFA wesentlich jüngeren ZA deutlich höhere H_2O_2 -Konzentrationen messbar waren als dies im Hinblick auf deren Alter zu erwarten gewesen wäre. Nowak et al. konnten eine Zunahme der H_2O_2 -Konzentration mit dem Alter feststellen [121]. Auch van Beurden et al. schlossen anhand ihren Untersuchungen auf eine mögliche Beeinflussung der H_2O_2 -Konzentration durch das Alter, nachdem sie Patienten mit stabiler COPD mit Gesunden desselben Alters (45 - 85 Jahre) untersuchten und dabei keinen signifikanten Unterschied in der H_2O_2 -Konzentration nachweisen konnten [18]. Im Vergleich mit den in der Literatur angegebenen

Daten überraschen die bei unseren Untersuchungen gemessenen Werte, so dass sich auch hier ein arbeitsmedizinischer Zusammenhang nicht ausschließen lässt.

Generell berücksichtigt muss jedoch auch werden, dass es durch die inhalative Aufnahme außerberuflicher Schad- und Gefahrstoffe ebenfalls zu reaktiven, entzündlichen Veränderungen an Atemwegen und Lunge kommen kann [82] und dass auch z.B. im Stadium der akuten Erkältung erhöhte H_2O_2 -Werte im EBC gemessen werden können [92]. Dieser Aspekt wurde bei der Datenerhebung insofern berücksichtigt, als dass die einzelnen Teilnehmer zum Zeitpunkt der Untersuchungen nach außerberuflich bestehenden inhalativen Belastungen und ihrem aktuellem Gesundheitszustand befragt wurden. So gab ein Teilnehmer zu Beginn der Untersuchungen an, an einem leichten Infekt der Atemwege zu leiden; ein anderer berichtete, am Abend zuvor auf einer Veranstaltung viel und laut gesungen zu haben. Bei beiden Personen konnten im Vergleich zu den sonst gemessenen H_2O_2 -Konzentrationen erhöhte Werte dokumentiert werden. Beides deutet jeweils auf eine außerberufliche Komponente hin.

Festhalten lässt sich, dass bei dem zahnärztlichen Personal die höchsten H_2O_2 -Konzentrationen im EBC nachzuweisen waren. Eindeutige Aussagen hinsichtlich der klinischen Relevanz lassen sich jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nicht ableiten, gleichwohl sollten Hinweise auf eine berufliche Komponente weiterverfolgt werden. Hier sind zur weiteren Klärung insbesondere Langzeituntersuchungen an einem größeren und homogeneren Kollektiv angezeigt.

pH-Bestimmung im Atemexhalat

Der pH-Wert im Atemkondensat ist ein Marker für die Azidifikation der Atemwege, verursacht durch entzündliche Veränderungen wie beispielsweise bei einem Asthma bronchiale oder einer COPD [130].

Paget-Brown et al. geben für lungengesunde Personen - unabhängig vom Geschlecht - pH-Werte in einem Bereich von 4,5 bis 8,4 (25 bis 75% Quartil: 7,8 bis 8,1) bei einem Median von 8,0 an [126]. Andere Autoren berichten von Messwerten zwischen 6,88 und 7,90 bei einem Median von 7,55 [151] bzw. berichten über einen mittleren pH-Wert von 7,57 mit einem 95% Konfidenzintervall (CI) von 7,51 bis 7,64 [95].

Bei Patienten mit COPD, Asthma bronchiale oder Bronchiektasien konnten auf Grund entzündlicher Veränderungen mit Aktivierung inflammatorischer Zellen (Neutrophile und Eosinophile) dagegen z.T. wesentlich niedrigere pH-Werte im Atemkondensat gemessen werden. [95]. So ließen sich bei Patienten mit moderatem Asthma bronchiale im EBC pH-Werte von 7,27 (95% CI: 7,15 bis 7,39) und bei Patienten mit Bronchiektasien mittlere pH-Werte von 7,11 (95% CI: 7,04 bis 7,19) messen. Für COPDler werden pH-Werte von 7,16 (95% CI: 7,09 bis 7,23) angegeben.

Geringe Unterschiede lassen sich dagegen bei Patienten mit leichtem Asthma bronchiale im Vergleich zu Lungengesunden feststellen [95]. Gessner et al. konnten bei beatmungspflichtigen Intensivpatienten mit akuter Lungenschädigung (Pneumonie bzw. exazerbierte COPD) EBC-pH-Werte von $5,85 \pm 0,32$ (MW \pm SD) nachweisen [64]. Eine ebenfalls erhöhte Azidifikation mit erniedrigten

pH-Werten im Bereich von 3,3 bis 7,3 (Median 5,9) ließ sich für Patienten mit Bronchialkarzinom nachweisen [32].

Eine eindeutige Korrelation zwischen dem pH-Wert und der Lungenfunktion ließ sich aktuell für die einzelnen Teilnehmer unserer Untersuchungen nicht zeigen.

Bei unserem Kollektiv konnte ein durchschnittlicher pH-Wert von $6,96 \pm 0,04$ (Median 7,0) im Atemexhalat bestimmt werden. Die Einzelwerte bewegten sich in einem Messbereich von 5,6 bis 9,4. Die Mittelwerte der einzelnen Personen lagen zwischen 6,37 und 7,44. Der pH-Durchschnittswert wie auch der Median lagen bei 10 Personen unter 7,0. Von diesen 10 Personen fielen 7 sowohl bodyplethysmographisch als auch in der arbeitsparallelen Spirometrie durch eine Obstruktion der Atemwege auf. Eine weitere Person zeigte lungenfunktionsanalytisch lediglich einen grenzwertigen Atemwegswiderstand. Bei einer anderen Person, die zwar bodyplethysmographisch unauffällig war, jedoch in der arbeitsparallelen Spirometrie eine variable Atemwegsobstruktion mit Zunahme im Tagesverlauf zeigte, betrug der pH-Mittelwert 7,11 (Median 6,90).

Im Vergleich zu den in der Literatur angegebenen orientierenden pH-Normwerten für gesunde Probanden liegen die bei diesem Kollektiv gemessenen Durchschnittswerte z.T. deutlich niedriger oder bewegten sich in Bereichen, wie sie auch für Personen mit einer Lungenerkrankung beschrieben werden. Grund hierfür kann sein, dass wir für unsere Untersuchungen einen pH-Messer einsetzten, der - nach Angaben des Herstellers - keine vorherige Äquilibration des frisch gewonnen EBC notwendig macht. Dagegen stammen viele der in der Literatur angegebenen pH-Werte von Messungen, denen eine Äquilibration des Atemkondensats mit Argon vorausgegangen war. Inwieweit es zu einer Beeinflussung des EBC-pHs durch eine vor der eigentlichen Messung durchgeführte Äquilibration des EBC kommen kann, zeigten Prieto et al.. Sie verglichen mit Argon entlüftetes EBC mit nicht äquilibriertem EBC und konnten demonstrieren, dass Atemkondensat, das zuvor nicht äquilibriert wurde, eine höhere Azidifikation (6,85 bis 7,13) im Vergleich zu äquilibriertem EBC (8,08 bis 8,26) aufwies [130]. Ähnliche Untersuchungen von Bloemen et al. ließen gleichfalls bei pH-Messungen ohne vorherige Entlüftung des Atemexhalats mit einem Median von 6,19 im Vergleich niedrigere pH-Werte erkennen [23]. Berücksichtigt werden muss, dass es außerdem durch den Kondensatortyp selbst, wie er zur EBC-Gewinnung verwendet wird, zu einer Beeinflussung des EBCs und damit auch zu einer Veränderung des EBC-pHs kommen kann [83, 130].

Bei deutlich mehr als der Hälfte (60%) der mehrtägig durchgeführten Messungen bei den Mitarbeitern der Kliniken I und II konnte eine Abnahme der Atemwegsazidifikation anhand eines ansteigenden pH-Wertes im Tagesverlauf (zwischen 0,1 und 2,1) im Atemexhalat registriert werden. In der präexpositionellen Messung konnte bei dem zahnärztlichen und assistierenden Personal im Atemexhalat ein mittlerer pH-Wert von $6,85 \pm 0,07$ gemessen werden, der dann im Tagesverlauf auf einen Wert von $7,07 \pm 0,06$ anstieg ($p = 0,023$). Bei Person 5 ließ sich sogar für alle fünf Messtage eine rückläufige Azidifikation der Atemwege verzeichnen. Annähernd 28% der Messungen ließen dagegen eine Zunahme und 12% keine Änderung des postexpositionell bestimmten pH-Wertes im Vergleich zur vor Arbeitsaufnahme erfolgten Messung erkennen. Die durchschnittliche Tages-

zunahme des pH-Werts mit Abnahme der Atemwegsazidifikation betrug 0,39 (0,1 bis 1,35). Die pH-Wert-Abnahme mit Anstieg der Azidifikation lag im Mittel bei 0,25 (0,1 bis 0,55). Inwiefern es sich hierbei um eine tätigkeitsassoziierte Schwankung des pH als Reaktion auf die inhalative Exposition gegenüber irritativ-toxisch wirkenden Substanzen handeln kann, lässt sich derzeit noch nicht beurteilen. Vermutet werden muss allerdings vorrangig, dass es sich bei den Messergebnissen um eine Widerspiegelung der physiologischen Schwankungsbreite handelt, wie Untersuchungen an Gesunden erkennen ließen, bei denen pH-Abweichungen im Tagesverlauf von bis zu 3,5% gemessen werden konnten [86].

6.6 eNO in der Ausatemluft

Schwankungen des eNO in der Ausatemluft eher außerberuflich begründet.

Die Bestimmung des Stickstoffmonoxids in der Ausatemluft (eNO) stellt eine ebenfalls noch relativ neue Methodik zur Untersuchung entzündlicher Veränderungen der Atemwege dar. Bewährt hat sich diese Untersuchung hauptsächlich in der Diagnostik und Verlaufskontrolle des Asthma bronchiale oder auch der angeborenen ziliären Dyskinesie [12].

Für gesunde, nicht rauchende Erwachsene - unabhängig vom Geschlecht - und ohne atopisches Beschwerdebild werden eNO-Normwerte zwischen 5 und 20 ppb angegeben. Bei Rauchern können in Abhängigkeit vom Zigarettenkonsum mit 2 bis 6 ppb signifikant geringere eNO-Werte in der Ausatemluft gemessen werden [12]. Andere Autoren berichten über eNO-Werte zwischen 11 und 22,3 ppb (25. bis 75. Perzentile), wobei sich Unterschiede zwischen Geschlecht, Raucherstatus und Atopie- sowie Asthmaanamnese erkennen lassen (angegeben sind jeweils 25. bis 75. Perzentile: ♀ Nie-Raucherin: 11,7 - 21,5 ppb, ♂ Nie-Raucher: 13,7 - 25,5 ppb, ♀ Ex-Raucherin: 11,1 - 21,9 ppb, ♂ Ex-Raucher: 13,1 - 25,4 ppb, ♀ Raucherin: 7,0 - 15,2 ppb, ♂ Raucher: 8,4 - 16,2 ppb, Nie-Raucher/Atopiker: 13,8 - 30,1 ppb, Nie-Raucher/Nicht-Atopiker: 12,1 - 22,0 ppb, Raucher/Atopiker: 9,1 - 17,2, Nie-Raucher/Asthmatiker: 14,6 - 31,4 ppb, Nie-Raucher/Nicht-Asthmatiker: 12,7 - 23,5 ppb, Raucher/Asthmatiker: 6,6 - 18,9) [123]. Olivieri et al. geben eNO-Referenzwerte im Bereich von 1,6 bis 21,5 ppb (3,6 bis 18,2 ppb für die 5. bis 95. Perzentile) für gesunde, nicht rauchende Frauen und von 2,6 bis 28,8 ppb (4,5 bis 20,6 ppb für die 5. bis 95. Perzentile) für gesunde, nicht rauchende Männer an [124].

Die Bestimmung der eNO-Konzentration in der Ausatemluft wurde bei den am Untersuchungsprogramm teilnehmenden Mitarbeitern der Klinik I und den Studierenden im ersten Semester jeweils einmalig im Rahmen der arbeitsmedizinischen Vorstellung in unserem Institut durchgeführt. Im Gegensatz hierzu erfolgte die eNO-Messung bei den Mitarbeitern der Klinik II arbeitsparallel an zwei nicht direkt aufeinander folgenden Arbeitstagen innerhalb einer Arbeitswoche jeweils prä- und postexpositionell.

Bei 24 der insgesamt 26 teilnehmenden Personen konnte eine Bestimmung der eNO-Konzentration in der Ausatemluft durchgeführt werden. Die Konzentrationen bewegten sich dabei in einem Bereich von 6 bis maximal 156 ppb.

Geht man von den oben genannten orientierenden Normwerten aus, so konnten bei insgesamt 5 Personen reproduzierbar erhöhte eNO-Konzentrationen zwischen 38 und 156 ppb gemessen werden. Bei diesen 5 Personen ließ sich im Inhalationsscreen eine Typ-I-Sensibilisierung auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene nachweisen. Unter den 5 Personen befanden sich zudem 2 Teilnehmer, bei denen bodyplethysmographisch eine obstruktive Ventilationsstörung nachgewiesen werden konnte.

Die eNO-Ergebnisse für die 5 oben genannten Teilnehmer liegen in Bezug auf die Absolutwerte deutlich oberhalb der Werte, wie sie von Olin et al. für sowohl Gesunde als auch für Atopiker beschrieben wurden. Unabhängig vom Absolutwert spiegeln unsere Ergebnisse jedoch klar und mitunter sehr eindrucksvoll die allgemeine Tendenz wider, dass die eNO-Konzentration bei Personen mit Allergien bzw. obstruktiver Ventilationsstörung im Sinne eines allergischen Asthma bronchiale im Vergleich zu gesunden Nichtrauchern wesentlich höher ist [12, 124].

Person 15 wies mit Werten zwischen 99 und 156 ppb mit Abstand die höchsten eNO-Konzentrationen auf. Bei ihr war anamnestisch eine Atopie und eine saisonale Asthma bronchiale-Symptomatik bekannt. Lungenfunktionsanalytisch war sie aktuell unauffällig. Ursächlich hierfür kann evtl. ein nicht dicht schließendes Gaumensegel sein, infolge dessen es zu einer Vermischung von nasalem mit bronchialen NO kommen kann. Die nasale NO-Konzentration liegt im Vergleich zum bronchialen NO um ein Vielfaches höher [12].

Person 24, bei der als Raucher niedrige eNO-Werte [12] zu erwarten gewesen wären, wies die insgesamt zweithöchsten eNO-Konzentrationen mit 117 und 135 ppb auf. Anzunehmen ist, dass bei diesem Teilnehmer primär die Atopieneigung und nicht der marginale Zigarettenkonsum von etwa 1 py für die Höhe des eNO in der Ausatemluft wesentlich ist bzw. dass der bisherige Zigarettenkonsum zu gering ist, um sich negativ auf die eNO-Konzentration auswirken zu können.

Die Personen 12 und 16 fielen jeweils bei der letzten Messung, d.h. postexpositionell am 2. Messtag, durch höhere Werte (38 und 32 ppb) im Vergleich zu den vorherigen Messungen auf. Eine konkrete Ursache hierfür ließ sich nicht eruieren. Jedoch gaben beide Personen an, am Abend zuvor auf einer Veranstaltung laut und viel gesungen zu haben. Inwiefern sich Singen auf das eNO auswirkt, ist bisher nicht bekannt - ein Effekt durch die Anstrengung ist jedoch durchaus denkbar.

Unauffällige eNO-Werte konnten bei insgesamt 12 der 24 untersuchten Personen gefunden werden. Unter diesen 12 Personen befanden sich jedoch wiederum 4 Teilnehmer, die bodyplethysmographisch mit einer Atemwegsobstruktion und gleichzeitig einem positiven Befundergebnis in der Typ-I-Allergietestung auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene auffielen. Bei diesen 4 Teilnehmern hätten eigentlich höhere eNO-Werte erwartet werden können. Bei einer weiteren Person, bei der ebenfalls eine positive Typ-I-Allergiediagnostik bei allerdings unauffälliger Lungenfunktion dokumentiert werden konnte, wären auch höhere eNO-Konzentrationen zu erwarten gewesen [12, 123].

Bei Person 23, die mit einer variablen Atemwegsobstruktion und positivem Inhalationsscreen auffiel, konnte - als aktiver Raucher mit einem Zigarettenkonsum von etwa 5-6 py, Alter: 22 Jahre - eine eNO-Konzentration von 11 ppb gemessen werden. Der Wert lag im Vergleich zum Gesamtkollektiv deutlich unterhalb der durchschnittlichen eNO-Konzentration (34 ppb, Median 21 ppb) und korreliert mit Angaben für Raucher in der Literatur [12, 123].

6.7 Infektionskrankheiten

Impfungen und Präventionsmaßnahmen zeigen Erfolge. Konsequente Beachtung der Schutzbestimmungen gegen Infektionserkrankungen ist weiterhin unabdingbar.

In der Zahnheilkunde sind unter den viralen Hepatitiden vorwiegend die parenteral übertragbaren Hepatitis-B-, C- und D-Virusinfektionen von Bedeutung, die durch Übergang in eine chronische Form und Leberzirrhose auch zu malignen Lebertumoren führen können. Die über den enteralen Infektionsweg übertragenen Hepatitis-A- und -E-Viren sind dabei von untergeordneter Bedeutung [148]. Früheren Untersuchungen zufolge war das Risiko für zahnärztliches Personal, an einer Hepatitis-B-Virus-Infektion zu erkranken, im Vergleich zur Normalbevölkerung um das 3-fache erhöht [118]. Andere Autoren berichteten sogar über ein 5- bis 6-fach erhöhtes Infektionsrisiko bzw. darüber, dass mit steigender Anzahl der Berufsjahre auch das Risiko einer Infektion ansteigt. So betrug noch vor Jahren die HBV-Durchseuchungsrate bei zahnärztlichem Personal nach 5 Berufsjahren etwa 15% und stieg nach 15 Berufsjahren bereits auf 40% an. Nach 45 Berufsjahren waren etwa 70% des zahnärztlichen Personals HBV-positiv [154].

Erfreulicherweise fand sich in unseren aktuellen Untersuchungen bei keinem der 18 Mitarbeiter der Kliniken I und II ein positiver Befund hinsichtlich einer HBV-Infektion bzw. es konnte für alle untersuchten Personen ein ausreichend hoher Impfschutz nachgewiesen werden.

Das unauffällige Befundergebnis der Hepatitis-B-Serologie kann zum einen als Ausdruck eines hohen Hygienebewusstseins der Mitarbeiter sowie als Erfolgsbestätigung der WHO-Empfehlung zur flächendeckenden Hepatitis-B-Impfung von 1992 angesehen werden [133]. Zum anderen kam es in den vergangenen Jahren zu einem zunehmenden Wissen über Kontaminationen, mögliche Übertragungswege sowie spezielle Risikogruppen für eine Hepatitis-B-Infektion (und andere Infektionskrankheiten), was zu vielfältigen präventiven und hygienischen Maßnahmen sowohl im ambulanten wie auch stationären (zahn-)medizinischen Bereich geführt hat. Auch haben gesetzliche Vorschriften und Regelungen zu einer Verbesserung des Arbeitsschutzes geführt. So ist der Unternehmer nach § 2 (1) der Unfallverhütungsvorschrift („Grundsätze der Prävention“, BGV A 1 / GUV-V A 1) verpflichtet, „die erforderlichen Maßnahmen zur Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren (...) zu treffen“ und es dürfen nur dann Personen, die während ihrer Tätigkeit einer Infektionsgefährdung ausgesetzt sind, beschäftigt werden, wenn diese fristgerecht entsprechenden Vorsorgeuntersuchungen (G 42 - Tätigkeiten mit Infektionsgefährdung) durch einen ermächtigten Arzt unterzogen worden sind (§ 3 und Anlage 1 der Unfallverhütungsvorschrift „Arbeitsmedizinische Vorsorge“ (BGV A 4)). Neben der Impfprävention stellen die Verwendung von besonderer Wäsche und Hygienebekleidung, die Optimierung der Abfallentsorgung mit Nutzung spezieller Abwurfbehältnisse sowie die Verwendung von Einmalartikeln, Sicherheitskanülen oder auch die Sterilisation und Desinfektion weitere wesentliche präventive Maßnahmen zur Vermeidung einer Infektion von gefährdetem Personal dar [7, 154].

Das Robert Koch-Institut empfiehlt darüber hinaus, bei expositionsgefährdeten Personengruppen im Gesundheitswesen bereits während deren Ausbildung bzw. im Studium eine Hepatitis-B-Impfung

durchzuführen [133]. Die Biostoffverordnung (BioStoffV) besagt hierzu in § 2 (4), dass „zu den Tätigkeiten . . . auch der berufliche Umgang mit Menschen . . . , biologischen Produkten, Gegenständen und Materialien zählt, wenn bei diesen Tätigkeiten biologische Arbeitsstoffe freigesetzt werden können und dabei Beschäftigte mit den biologischen Arbeitsstoffen direkt in Kontakt kommen können“. Ferner besagt § 2 (8), dass „den Beschäftigten . . . Schüler, Studenten und sonstige Personen, insbesondere an wissenschaftlichen Einrichtungen Tätige, die Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen durchführen“, gleichstehen [167].

Dies hat zur Folge, dass der Arbeitgeber auf Grund seiner unabdingbaren Fürsorgepflicht² „auf der Grundlage der Gefährdungsbeurteilung für eine angemessene arbeitsmedizinische Vorsorge zu sorgen“ hat [168]. Dementsprechend müssen vom Gesetzgeber her alle Studierenden der Zahnmedizin (und auch der Humanmedizin) ab dem Zeitpunkt, ab dem Kontakt zu Patienten besteht, im Hinblick auf eine potentielle Infektionsgefährdung dem zuständigen betriebsärztlichen Dienst zur Durchführung einer arbeitsmedizinischen Vorsorgeuntersuchung nach Grundsatz 42 vorgestellt werden. Hierbei handelt es sich nach § 4 Abs. 1 und 2 der ArbMedVV um eine Pflichtuntersuchung, was bedeutet, dass der Arbeitgeber eine Tätigkeit vom Beschäftigten - hier Studierenden - nur dann ausüben lassen darf, wenn ihm die Bescheinigung über die gesundheitliche Unbedenklichkeit anhand der erforderlichen Pflichtuntersuchung zuvor erteilt worden ist [62, 168].

Den Handlungsbedarf zeigte eine 2004 veröffentlichte Untersuchung zur Frage der Umsetzung der Biostoffverordnung an deutschen Medizinischen Fakultäten. Demnach wurde zwar an 31 von 35 befragten Fakultäten eine Untersuchung und Impfung den Studierenden der Medizin angeboten, jedoch beschränkten sich die Angaben v.a. auf Studierende im Praktischen Jahr. Erfreulicherweise konnten die Autoren im weiteren zeitlichen Ablauf eine deutliche Verbesserung der Situation feststellen [146].

An unseren Untersuchungen nahmen 2 Studierende teil, die sich im höheren klinischen Abschnitt des Studiums befanden und eigenständig unter Aufsicht Zahnbehandlungen am Patienten vornahmen. Im Rahmen unserer Untersuchungen wurde erstmalig eine betriebsärztliche Untersuchung bei diesen beiden Studierenden durchgeführt. Die betriebsmedizinische Untersuchung erfolgte nach Rücksprache mit dem Betriebsärztlichen Dienst des Universitätsklinikums und der Universität des Saarlandes in Homburg. Angezeigt wäre jedoch eine entsprechende Untersuchung aller (exponierten) Studierenden.

In der Hepatitis-C-Serologie konnte ebenfalls für alle 18 untersuchten Mitarbeiter der Kliniken I und II ein unauffälliger Befund dokumentiert werden. Insbesondere durch den Umgang mit scharf geschliffenen und spitzen Instrumenten bei gleichzeitig räumlich begrenztem intraoralem Arbeitsfeld können sich für zahnmedizinisches Personal Gefahrensituationen hinsichtlich einer HCV-Infektion (aber auch anderer parenteral übertragbarer Infektionskrankheiten) ergeben. In Bezug auf die HCV-Durchseuchungsrate von Zahnärzten und sonstigen im Gesundheitswesen beschäftigten Personen

²Die unabdingbare Fürsorgepflicht begründet sich im Wesentlichen auf §§ 618 Abs. 1 und 2, 619 BGB, § 62 HGB; erwähnt wird sie in § 3 Abs. 1 und 2 ArbSchG.

divergieren die Aussagen. Die Angaben reichen von einer nicht signifikant erhöhten Durchseuchungsrate bis zu einem deutlich erhöhten relativen Risiko für Zahnärzte gegenüber anderen Ärzten bzw. der Normalbevölkerung [10, 84]. Für kieferchirurgisch tätige Zahnärzte ließ sich ein erhöhtes Risiko nachweisen [85]. Es wurde auch von Fällen berichtet, bei denen es bereits durch Spritzer infektiösen Blutes in die Konjunktiven bzw. bei Exposition gegenüber nicht intakter Haut zu einer Infektion kam [34].

Da bisher kein Impfstoff zum Schutz vor einer Hepatitis-C-Infektion zur Verfügung steht, gilt als wichtigste Möglichkeit zur Verhinderung einer Übertragung von Hepatitis C die konsequente Einhaltung und Durchführung aller erforderlichen Hygiene- und Vorsichtsmaßnahmen beim Umgang mit Patienten. Gleiches gilt selbstverständlich auch für das HI-Virus [133].

Hinsichtlich der Verhütung einer Hepatitis-A-Infektion empfiehlt sich - trotz geringem beruflichem Risiko für zahnmedizinisches Personal - aus arbeits- und präventivmedizinischer Sicht die Durchführung einer Schutzimpfung. Dies ist nicht zuletzt auch unter dem Aspekt zu betrachten, dass sich zwar eine große Zahl von Hepatitis-A-Infektionen außerberuflich z.B. während einer Urlaubsreise im Ausland ereignet, sich dies jedoch als Folge negativ durch Krankheitsausfall auf die Arbeitskraft und Leistungsfähigkeit des Beschäftigten auswirken kann.

6.8 Prävention und Arbeitsschutz

Arbeitsmedizinische Betreuung aller Beschäftigten im Dentalbereich ist in einer sich ständig verändernden Arbeitswelt weiterhin notwendig.

Prävention und Arbeitsschutz sind zwei Kernaufgaben der modernen Arbeitsmedizin. So gehört nach § 3 des ASiG zu den gesetzlichen Aufgaben des Betriebsarztes, dass dieser „den Arbeitgeber beim Arbeitsschutz und bei der Unfallverhütung in allen Fragen“ unterstützt [63]. Der Arbeitgeber ist nach § 3 Abs. 1 des ArbSchG bzw. § 3 Abs. 1 der ArbMedVV verpflichtet, „die erforderlichen Maßnahmen des Arbeitsschutzes unter Berücksichtigung der Umstände zu treffen, die Sicherheit und Gesundheit der Beschäftigten bei der Arbeit beeinflussen“ [62]. Die arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung beinhaltet dabei alle entscheidenden arbeitsmedizinischen Maßnahmen zur Vermeidung arbeitsbedingter gesundheitlicher Gefahren. Vorsorge zielt auf eine Verbesserung des Gesundheitsschutzes des Einzelnen und aller Beschäftigten.

Prävention und Arbeitsschutz sind gerade bei Zahnärzten sowie assistierendem Personal und Zahn-technikern, die bei Ausübung ihres Berufes inhalativ und dermal gegenüber einer Vielzahl potentieller Gefahrstoffe exponiert sind, von großer Bedeutung. Expositionen können bestehen gegenüber haut- und schleimhautsensibilisierenden, irritativ-toxisch oder reizend wirkenden Arbeitsstoffen. Ferner kann es aber auch zu Expositionen gegenüber Substanzen kommen, die ein fibrogenes oder sogar humankanzerogenes Wirkpotential aufweisen. Neuerdings werden zunehmend moderne Werkstoffe und Materialien im Nanomaßstab als Zahnersatzmaterialien eingesetzt, deren Wirkpotential bisher noch nicht gänzlich bekannt und abzuschätzen ist.

Unsere Untersuchungen zur Bestimmung der Partikelfreisetzung ließen einerseits während verschiedener zahnärztlicher Tätigkeiten wie Kontrolle des Zahnstatus oder intraoralem Bohren und Schleifen im Allgemeinen keine relevante Zunahme der Partikelkonzentration erkennen. Niedrige Konzentrationen konnten vorwiegend auf eine gezielte intraorale Absaugung durch das assistierende Personal zurückgeführt werden. Ähnliche Ergebnisse ließen sich auch bei Messungen in den beiden zahntechnischen Laboren festhalten.

Andererseits ließen sich aber bei bestimmten Tätigkeiten auch hohe bis z.T. sehr hohe, meist kurzfristige Spitzenkonzentrationen sowohl im zahnärztlichen als auch im zahntechnischen Bereich dokumentieren. So konnten beim Schleifen eines provisorischen Zahnersatzes auf Basis eines Komposit-Kunststoffes Konzentrationen bis zu mehreren 100.000 pt/cm³ gemessen werden, als diese Arbeiten - wie in der Routine häufig üblich - ohne die gezielte Absaugung mittels Handsauger durch eine weitere, assistierende Person vorgenommen wurden. Ferner ließen sich beispielsweise auch beim Abblasen mit Druckluft von zuvor mechanisch bearbeiteten Werkstücken oder auch der Hände (und z.T. der Kleidung) seitlich vom Arbeitsplatz in den Dentallaboren kurzfristig Spitzenkonzentrationen von deutlich über 100.000 pt/cm³ Luft messen.

Vor dem Hintergrund, dass es durch Inhalation der bei diesen Tätigkeiten freiwerdenden feinen und ultrafeinen Schleifstäube zu adversen Effekten an Atemwegen und Lunge (bei Berührung auch der Haut) kommen kann, ist hier aus arbeits- und präventivmedizinischer Sicht weiterer Handlungsbedarf gegeben. Diesbezüglich konnten unsere Untersuchungen zeigen, dass unter Verwendung einer entsprechenden Absaugung mittels Handsauger oder am Arbeitsplatz installierter Absaugeinrichtung eine Reduktion der Partikelkonzentration sehr effektiv, teils bis zum zwanzigfachen oder bis auf Hintergrundniveau bewirkt werden konnte. Damit verbunden ist folglich auch eine Reduktion der Exposition und des Risikos der inhalativen Gefahrstoffaufnahme. Anhang III der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) schreibt bei Tätigkeiten mit Exposition gegenüber einatembaren Stäuben die möglichst vollständige Erfassung und Entsorgung der freiwerdenden Stäube an der Entstehungsquelle vor. In Anlehnung an die GefStoffV Anhang III sowie § 4 des ArbSchG könnte daher sowohl technisch, z.B. durch Anbringen einer Halterung zum Fixieren eines Handsaugers am Behandlungsplatz, als auch organisatorisch, durch eine assistierende Person, welche den Handsauger führt, auch in der Routine eine effektive Reduktion der Teilchenkonzentration gewährleistet werden [62, 166]. In diesem Zusammenhang sei auch nochmals explizit darauf hingewiesen, dass - wie unsere Untersuchungen zur Partikelfreisetzung und -zusammensetzung beim Beschleifen von Zahnersatz aus Zirkonoxidkeramik zeigen konnten - nicht immer mit absoluter Sicherheit festzustellen ist, welches Dentalmaterial aktuell bearbeitet bzw. von welchem Material Schleifstaub freigesetzt wird. Es kann somit unter Umständen eine völlig andere Gefahrstoffexposition vorherrschen als zunächst angenommen. Es empfiehlt sich deshalb aus arbeits- und präventivmedizinischer Sicht, prinzipiell alle erforderlichen sicherheitstechnischen Maßnahmen zu Reduktion der Partikelfreisetzung und Erfassung freigesetzter Partikel einzuhalten.

In Bezug auf die Partikelfreisetzung in Dentallaboren ist noch anzumerken, dass sich dort gerade durch Verwendung einer am Arbeitsplatz installierten Absaugung eine potentielle Gefahrstoffexposition ergeben kann. Häufig wird nämlich der abgesaugte Schleifstaub in einer unter der Arbeitsplatte befindlichen Schublade ohne Deckel aufgefangen und gesammelt. Der Schubladeninhalt, d.h. die Partikel, muss folglich vom Personal regelmäßig geleert und gereinigt werden, wodurch sich unter Umständen wiederum eine erneute, v.a. inhalative Gefahrenexposition ergeben kann. Zur Quantifizierung und Qualifizierung einer damit verbundenen Gefährdung bedarf es jedoch weiterer Untersuchungen.

Teilchenspitzenkonzentrationen ließen sich gleichfalls bei der Verwendung offener Flammen sowohl im zahnärztlichen wie auch zahntechnischen Bereich messen. Insbesondere bei Messungen im zahntechnischen Bereich waren gerade bei der Verwendung eines Bunsenbrenners hohe Teilchenkonzentrationen messbar, die sich durch eine adäquate Raumlüftung rasch und effizient reduzieren ließen. Aus arbeits- und präventivmedizinischer Sicht empfiehlt es sich daher, auf eine konsequente Raumlüftung mit Frischluftzufuhr zu achten.

Im Rahmen von Desinfektions- und Reinigungsarbeiten durch das assistierende Personal, bei denen die Reinigungs-/Desinfektionslösung häufig mittels einer Sprühflasche auf Einrichtung und

Instrumente aufgetragen und anschließend mit einem Tuch verwischt wurde, konnten wiederholt kurzfristige Anstiege der Teilchen- bzw. Aerosolkonzentration dokumentiert werden. Inhaltsstoffe von Desinfektions- und Reinigungsmitteln können sowohl allergisierend als auch irritativ-toxisch auf die Schleimhäute der Atemwege wirken und zu Atemwegsobstruktionen führen. Sie stellen damit eine potentielle Gesundheitsgefährdung für Personal, aber auch für Patienten dar. Zur Reduktion der von Desinfektions- und Reinigungsarbeiten ausgehenden inhalativen Gefahrenexposition empfiehlt es sich, sofern möglich, auf das Versprühen der Desinfektions- und Reinigungssubstanzen auf Einrichtungsgegenstände wie zahnärztlicher Behandlungsstuhl und Instrumente zu verzichten und stattdessen die Wischdesinfektion- bzw. -reinigung zu präferieren. Es stehen hierfür fertig imprägnierte Desinfektions- und Reinigungswischtücher oder Tuchspendensysteme zur Verfügung, durch die nur ein definiertes Volumen an Desinfektions- und Reinigungsmitteln abgegeben wird.

Die arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung nach den berufsgenossenschaftlichen Grundsätzen von zahnmedizinischem Personal basiert nach § 3 (1) ArbMedVV „auf Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung“ und erfolgt im Allgemeinen nach den Grundsätzen (G) 24: *Hauterkrankungen* und/oder G 42: *Tätigkeiten mit Infektionsgefährdung* sowie gegebenenfalls nach G 37: *Bildschirmarbeitsplatz* (für Personal, das zusätzlich Arbeiten an einem Computer verrichtet) [168]. Zahnmedizinisches Personal ist neben einer Vielzahl weiterer Expositionen auch häufig im Rahmen seiner Berufsausübung in Kontakt mit potentiell sensibilisierend oder irritativ-toxisch wirkenden Substanzen, infolge dessen es zu obstruktiven Veränderungen der Atemwege kommen kann. Im Rahmen unserer Untersuchungen ließ sich immerhin bei 5 Teilnehmern eine Atemwegsobstruktion diagnostizieren, bei der ein ursächlicher Zusammenhang mit der Arbeit nicht ausgeschlossen erscheint.

Im Sinne einer verantwortungsbewussten betriebsärztlichen Betreuung empfiehlt es sich daher - trotz evtl. geringer Exposition, jedoch vor dem Hintergrund, dass Sensibilisierungen dosisunabhängig ausgelöst werden können - die arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung um die Untersuchung nach G 23: *Obstruktive Atemwegserkrankung* zu ergänzen. Die Vorsorgeuntersuchung nach G 23 beinhaltet sowohl in der Erst- als auch in den mindestens alle 12 bis 36 Monate wiederholten Nachuntersuchungen neben der Arbeitsanamnese die Frage nach arbeitsplatzbezogenen Beschwerden wie z.B. Fließschnupfen und Niesen, Augenbrennen, Atembeschwerden sowie urtikariellen Dermatosen. Ferner sind eine Lungenfunktionsprüfung und bei entsprechender Anamnese und/oder Klinik eine weiterführende, u.a. arbeitsplatz- und berufsspezifische Diagnostik (Peak-Flow-Messung, Allergiediagnostik etc.) vorgesehen [40]. Beschäftigte, die entsprechende Beschwerden aufweisen, könnten folglich im Sinne der Vorsorgeuntersuchung bzw. Prävention frühzeitig(er) erkannt und betriebsmedizinisch betreut werden.

Wie bereits erwähnt, sind Studierende der Zahnmedizin (und Humanmedizin) nach § 2 Abs. 8 der BioStoffV Beschäftigten, die durch den beruflichen „Umgang mit Menschen, (...), Gegenständen und Materialien“ mit „biologischen Arbeitsstoffen direkt in Kontakt kommen können“ gleichgestellt [167]. Hier gelten die in Kapitel 6.7 ausführlich geschilderten Schutzbestimmungen analog.

Für in Dentallaboren beschäftigte Personen - einschließlich Auszubildende (§ 1 Abs. 2 ArbMedVV bzw. § 2 Abs. 2 ArbSchG) - gilt ebenfalls nach § 3 Abs. 1 der ArbMedVV, dass auf Grundlage einer Gefährdungsanalyse bei entsprechender Gefährdung durch biologische Arbeitsstoffe von einem zur Untersuchung berechtigten Arzt eine arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung nach G 42 verpflichtend durchgeführt werden muss [168]. Im Hinblick auf den Umgang mit auf die Atemwege sensibilisierend, irritativ-toxisch oder reizend wirkenden Arbeitsstoffen wie z.B. (Methyl-)Methacrylate und verschiedene Metalle sollte aus arbeits- und präventivmedizinischen Gründen zahntechnisches Personal gleichfalls nach den Grundsätzen G 23 *Obstruktive Atemwegserkrankungen* und G 24 *Hauterkrankungen* arbeitsmedizinisch untersucht werden.

6.9 Schlussbetrachtung

Zusammenfassend ist festzustellen, dass Zahnärzte sowie assistierendes Personal und Zahntechniker im Rahmen ihrer Berufsausübung sowohl inhalativ als auch dermal gegenüber einer Vielzahl unterschiedlicher Gefahrstoffen exponiert sind. Neben Expositionen gegenüber sensibilisierenden oder irritativ-toxisch wirkenden Arbeitsstoffen können ferner auch Gefahren durch Substanzen mit fibrogenem und/oder sogar humankanzerogenem Wirkpotential bestehen. Zunehmend werden in der Zahnheilkunde moderne Werkstoffe wie Komposit-Kunststoffe oder Zirkonium eingesetzt, welche nanopartikuläre Strukturen entweder originär enthalten oder bei ihrer Verarbeitung entstehen lassen und freisetzen. Hieraus kann ein neues Gefährdungspotential entstehen.

Die Partikelkonzentrationsmessungen ließen bei der routinemäßigen zahnärztlichen wie auch zahn-technischen Tätigkeit unter Verwendung einer Absaugung im Allgemeinen keine relevanten Anstiege der Partikelzahlen feststellen. Einzelne spezifische Arbeitsschritte erzeugten jedoch bisweilen hohe bis sehr hohe, meist kurzfristige Spitzenkonzentrationen, die sich unter Einsatz entsprechender Absaugeinrichtungen z.T. bis auf ein Zwanzigstel oder bis auf annähernd Hintergrundniveau reduzieren ließen. Rasterelektronenmikroskopisch fanden sich in Partikelproben aus der Raumluft neben größeren, teils mehrere Mikrometer messenden Partikeln auch alveolengängige und nanoskalige Partikel, die sich in der EDX-Analyse als Gold-, Zirkonium- und Titan-haltig identifizieren ließen.

Im Rahmen unseres speziell konzipierten, vielschichtigen Untersuchungsprogramms konnte in der serologischen Allergiediagnostik bei keinem der Untersuchten eine Sensibilisierung auf die Berufsallergene Methylmethacrylat, Latex und Formaldehyd festgestellt werden. Bei 6 (bzw. 7 - bei einer Person lagen die Werte in der Lungenfunktionsanalyse im Grenzbereich) von insgesamt 12 (13) Teilnehmern mit nachweisbarer Obstruktion der Atemwege ließ sich mit einer positiven Reaktion auf ubiquitäre Inhalations- und Sofortallergene eine außerberufliche Komponente als mögliche Ursache aufzeigen. Eine weitere Person war seit Jahren aktiver Raucher. Im Gegensatz dazu konnte bei 4 Klinikmitarbeitern sowie bei einem Studienanfänger anhand der bisher erfolgten Allergiediagnostik kein auslösendes Allergen für die Atemwegsobstruktion verifiziert werden. Ein tätigkeitsassoziierter Zusammenhang ist bei den Klinikmitarbeitern zumindest in Betracht zu ziehen.

Im LTT ließ sich bei keinem der Untersuchten eine Sensibilisierung gegenüber Beryllium feststellen. Dagegen konnte bei 2 Zahnärzten und 2 Studierenden im höheren klinischen Semester eine Typ-IV-Sensibilisierung auf das Metall Zirkonium nachgewiesen und bei einem weiteren zahnärztlichen Mitarbeiter nicht eindeutig ausgeschlossen werden. Bei den Studienanfängern war keine Zirkonium-Sensibilisierung nachweisbar.

Abschließend ist festzuhalten, dass Atemwegsobstruktionen bis dato unklarer Genese sowie Sensibilisierungen gegenüber Zirkonium weitere arbeits- und präventivmedizinische Maßnahmen angezeigt erscheinen lassen. Hier eröffnet sich ein neues Feld für arbeitsmedizinische Untersuchungen.

Tabellenverzeichnis

4.1	Untersuchungskollektiv	17
4.2	Untersuchungsprogramm	19
5.1	Metalle in der Zahnheilkunde und ihre Einstufung durch die DFG	30
5.2	Matrix-Kunststoffe in der Zahnheilkunde und ihre Einstufung durch die DFG	36
5.3	Inhaltsstoffe in PMMA-Kunststoffen und ihre Einstufung durch die DFG	38
5.4	Dentalzemente und ihre Hauptbestandteile	41
5.5	Dentalkeramiken und ihre Zusammensetzung	41
5.6	Häufige Inhaltsstoffe in Desinfektionsmitteln und ihre Einstufung durch die DFG	43
5.7	Wurzelkanalsealer und ihre Zusammensetzung	46
5.8	BK-Meldungen in zahnärztlichen und kieferorthopädischen Einrichtungen	48
5.9	BK-Meldungen nach Ziffer 3101	50
5.10	Höhe der Partikelkonzentration bei verschiedenen repräsentativen Tätigkeiten	52
5.11	Allergieassoziierte Beschwerden (Mehrfachnennungen)	84
5.12	Zahnersatzmaterialien: Untersuchungskollektiv	85
5.13	Wesentliche vom Normwert abweichende Laborbefunde	89
5.14	Allergiediagnostik	93
5.15	Übersicht wesentlicher klinischer Befunde	95
5.16	Ergebnisse der Zytokin-Bestimmung im Atemkondensat	114

Abbildungsverzeichnis

5.1	Hintergrundkonzentration: Klinik I	54
5.2	Hintergrundkonzentration: Klinik II	54
5.3	Zahnärztliche Behandlung	55
5.4	Zahnärztliche Behandlung: Untersuchung und Sensibilitätsprüfung mit Kältespray .	56
5.5	Arbeiten mit (schnell) rotierendem Instrument, intraoral	56
5.6	Partikelkonzentrationsmessung während intraoralem Arbeiten	56
5.7	Zahnärztliche Behandlung: Schleif- und Bohrarbeiten im OP-Saal	57
5.8	Zahnärztliche Behandlung: Wurzelkanalbehandlung	58
5.9	Bearbeitung einer Prothese aus Polymethylmethacrylat	58
5.10	Bearbeitung einer Polymethylmethacrylat-Prothese mit der Fräse	59
5.11	PMMA-Schleifen mit Diamantschleifkörper und Trennscheibe	59
5.12	Bearbeitung eines temporären Zahnersatzes aus Komposit-Kunststoff	60
5.13	Bearbeitung eines temporären Zahnersatzes aus Komposit-Kunststoff	60
5.14	PMMA-Schleifen mit einer Trennscheibe ohne und mit Absaugung	61
5.15	Bearbeitung eines Methacrylat-Zahnprovisoriums	61
5.16	REM: Partikelproben von temporärem Zahnersatz (Komposit)	62
5.17	EDX: Schleifpartikel durch die Bearbeitung von MMA-Werkstück	62
5.18	Schleifen von Zirkonoxidkeramik mit Glaskeramikglasur	63
5.19	Schleifen von Glaskeramik, Übersicht	63
5.20	Ausschnittvergrößerung 1: Schleifen von Glaskeramik	64
5.21	REM: Schleifen von Glaskeramik	64
5.22	EDX: Schleifen von Glaskeramik	65
5.23	REM: Schleifen von Glaskeramik-Glasur	66
5.24	EDX: Schleifen von Glaskeramik-Glasur	66
5.25	Ausschnittvergrößerung 2: Schleifen von Yttrium-dotierter Zirkonoxidkeramik . . .	67
5.26	REM: Schleifstaub von Yttrium-dotierter Zirkonoxidkeramik	67
5.27	REM: Schleifstaub von Yttrium-dotierter Zirkonoxidkeramik	68
5.28	EDX: Schleifstaub von Yttrium-dotierter Zirkonoxidkeramik	68
5.29	Mattierungsspray: Übersicht der Versuchsanordnung im Labor	69
5.30	Anwendung eines Mattierungssprays unter Laborbedingungen	70
5.31	REM: Mattierungsspray, Übersicht	70
5.32	REM: Mattierungsspray, 40.000-fache Vergrößerung	71

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

5.33 REM: Mattierungsspray, 60.000-fache Vergrößerung	71
5.34 EDX: Mattierungsspray, Nachweis von Titan	72
5.35 EDX: Mattierungsspray, Nachweis von Titan und Silicium	72
5.36 Partikelkonzentration bei Reinigungs- und Desinfektionsarbeiten	73
5.37 Lageplan des studentischen Behandlungssaales, Klinik I	74
5.38 Studentische Patientenbehandlung im Behandlungssaal, Klinik I	74
5.39 Modellierarbeiten mit Wachs im zahntechnischen Labor	75
5.40 Zahntechnik: Modellierarbeiten mit Wachs	75
5.41 Schleifarbeiten an lighthärtendem Kunststoff im Labor	76
5.42 Zahntechnik: Schleifarbeiten an lighthärtendem Kunststoff	76
5.43 Zahntechnik: Schleifarbeiten an PMMA-Kunststoff	77
5.44 REM: Schleifarbeiten an PMMA-Kunststoff bei 100-facher Vergrößerung	78
5.45 REM: Schleifarbeiten an PMMA-Kunststoff bei 1000-facher Vergrößerung	78
5.46 Bearbeitung einer Nichtedelmetall-Legierung im Labor	79
5.47 Zahntechnik: Schleifarbeiten an einer Nichtedelmetall-Legierung	79
5.48 Zahntechnik: Schleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung	80
5.49 Zahntechnik: Schleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung, Übersicht	81
5.50 Ausschnittvergrößerung 3: Schleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung	81
5.51 Ausschnittvergrößerung 4: Schleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung	81
5.52 REM: Partikelproben vom Schleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung	82
5.53 EDX: Partikelproben vom Schleifen einer hochgoldhaltigen Dentallegierung	82
5.54 Bodyplethysmographie	96
5.55 eNO: Mitarbeiter Klinik I	97
5.56 eNO: Studierende im ersten Semester	98
5.57 H ₂ O ₂ -Konzentration: Studierende im ersten Semester	99
5.58 Zytopathologische Untersuchung	100
5.59 eNO-Messung: Mitarbeiter der Klinik II	105
5.60 H ₂ O ₂ -Messung: Mitarbeiter der Kliniken I und II	106
5.61 H ₂ O ₂ -Messung im Tages- und Wochenverlauf	108
5.62 pH-Messung: Mitarbeiter der Kliniken I und II	110
5.63 pH-Messung im Tages- und Wochenverlauf	112

Literaturverzeichnis

- [1] Aalto-Korte K, Alanko K, Kuuliala O, Jolanki R (2007) Methacrylate and acrylate allergy in dental personnel. *Contact Dermatitis* 57: 324-330
- [2] Afshari A, Matson U, Ekberg LE (2005) Characterization of indoor sources of fine and ultra-fine particles: a study conducted in a full-scale chamber. *Indoor Air* 15: 141-150
- [3] Akbar-Khazandeh F, Milz S, Ames A, Susi PP, Bisesi M, Khuder SA, Akbar-Khazandeh M (2007) Crystalline silica dust and respirable particulate matter during indoor concrete grinding - wet grinding and ventilated grinding compared with uncontrolled conventional grinding. *J Occup Environ Hyg* 10: 770-779
- [4] Approbationsordnung für Zahnärzte, Stand 24.07.2010. Bundesministerium der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH. http://bundesrecht.juris.de/z_pro/BJNR000370955.html
- [5] Arbeitsgruppe Vollkeramik München, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Universität München, München, Deutschland. <http://www.zirkondioxid.de/index.php?id=17>
- [6] Arenholt-Bindslev D, Hörsted-Bindslev P (2005) Amalgam. In: Schmalz G, Arenholt-Bindslev D (eds) *Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe*. Elsevier GmbH, München, pp 62-85
- [7] AWMF-Leitlinie 029/026 (2002) Prävention blutübertragbarer Virusinfektionen. Arbeitskreis „Krankenhaus- & Praxishygiene“ der AWMF
- [8] AWMF-Leitlinie 061/026 (2009) Hauttests zur Diagnostik von allergischen Soforttyp-Reaktionen. Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Allergologie und klinische Immunologie (DGAKI)
- [9] Bartter T, Irwin RS, Abraham JL, Dascal A, Nash G (1991) Zirconium compound-induced pulmonary fibrosis. *Arch Intern Med* 151: 1197-1201
- [10] Bäuerle V, Nowak D (2003) Hepatitis C aus arbeitsmedizinischer Sicht. *Anaesthesist* 52: 459-464
- [11] Baur X (ed) (1998) *Lungenfunktionsprüfung und Allergiediagnostik*. Dustri-Verlag Dr. Karl Feistle, München-Deisendorf, pp 83-86
- [12] Baur X, Barbinova L (2007) Messung von exhalierendem Stickstoffmonoxid. *Deutsches Ärzteblatt* 104 (12): 790-796

- [13] Baur X (2008) Exogen allergische Alveolitiden als Berufskrankheit (BK Nr. 4201). In: Matthys H, Seeger W (eds) Klinische Pneumologie. Springer Medizin Verlag Heidelberg, pp 175-177
- [14] Baur X (2008) Berylliose (BK Nr. 1110). In: Matthys H, Seeger W (eds) Klinische Pneumologie. Springer Medizin Verlag Heidelberg, pp 185-186
- [15] Becher G (2005) Entzündungsmarker im Exhalat. In: Voshaar T, Scheuch G (eds) Aerosole in der Inhalationstherapie. Dusti Verlag Dr. K. Feistle, pp 122-130
- [16] Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (ETEM) (2010) Gesundheitsgefahren durch berylliumhaltige Dentallegierung.
http://www.bgetem.de/htdocs/aktuell/gesundheitsgefahren_dentallegierung.html
- [17] Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege: Berufskrankheiten (BK) - Verdachtsanzeigen sowie anerkannte Fälle für die Jahre 2000, 2005 und 2009
 Informationen auf Anfrage.
- [18] Beurden van WJ, Dekhuijzen PN, Harff GA, Smeenk FW (2002) Variability of exhaled hydrogen peroxide in stable COPD patients and matched healthy controls. *Respiration* 69: 211-216
- [19] Bieger WP (2005) Der LTT in der MELISA-Version - nur bedingt geeignet für Typ IV Metallreaktionen. *J Lab Med* 29: 65-66
- [20] Birmili W (2006) Ultrafeine Partikel in der Atmosphäre. In: Umweltbundesamt (ed) Räumlich-zeitliche Verteilung, Eigenschaften und Verhalten ultrafeiner Aerosolpartikel (< 100 nm) in der Atmosphäre, sowie die Entwicklung von Empfehlungen zu ihrer systematischen Überwachung in Deutschland. Umweltbundesamt (ed) <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3114.pdf>, pp 22-27
- [21] Birmili W (2006) Partikelanzahlkonzentration als Funktion der Meteorologie. In: Umweltbundesamt (ed) Räumlich-zeitliche Verteilung, Eigenschaften und Verhalten ultrafeiner Aerosolpartikel (<100nm) in der Atmosphäre, sowie die Entwicklung von Empfehlungen zu ihrer systematischen Überwachung in Deutschland. <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3114.pdf>, pp 48-52
- [22] BLAC: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Chemikaliensicherheit (ed) (2010) Ergebnisse des 1. REACH-Überwachungsprojekts auf nationaler Ebene im Rahmen von REACH-ENFORCE 1. http://www.blac.de/servlet/is/2146/Bericht_REACH_EN_FORCE_1.pdf?command=downloadContent&filename=Bericht_REACH_EN_FORCE_1.pdf
- [23] Bloemen K, Lissens G, Desager K, Schoeters G (2007) Determinants of variability of protein content, volume and pH of exhaled breath condensate. *Respir Med* 101: 1331-1337
- [24] Borchers L (2005) Modellwerkstoffe. In: Eichner K (ed) Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 4-23

- [25] Böckler M, Piskor M (2007) Berufsgenossenschaft für Feinmechanik und Elektrotechnik. Gefährdungen und Schutzmaßnahmen für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen in der Dentaltechnik. Informationen für den Betriebsarzt 1: 2-4
- [26] Brand P, Gebhart J, Below M, Georgi B, Heyder J (1991) Characterization of environmental aerosols on heligoland island. *Atmospheric Environment* 25: 581-585
- [27] Brockhaus Enzyklopädie (2006) Guttapercha. F.A. Brockhaus GmbH, Leipzig, Bd. 11, p 625
- [28] Brockhaus Enzyklopädie (2006) Kautschuk. F.A. Brockhaus GmbH, Leipzig, Bd. 14, pp 639-640
- [29] Buchter A (Hrsg.) (2009) Diagnostik arbeitsbedingter Erkrankungen und arbeitsmedizinisch-diagnostische Tabellen.
http://archiv.med-rz.uniklinik-saarland.de/mediadb/Uniklinik_Homburg/Kliniken/Arbeitsmedizin/diagnostische_tabellen/diag_tabellen.pdf
- [30] Castro WHM, Meyer VP, Micheelis W (2002) Nacken- und Rückenschmerzen und was sie für den Zahnarzt bedeuten. *ZM* 23: 56
- [31] CeramTec AG, Plochingen, Deutschland: Keramik für ein schönes Lächeln
<http://www.ceramtec.com/de/index/produkte/dentalkeramik/>
- [32] Chan HP, Tran V, Lewis C, Thomas PS (2009) Elevated levels of oxidative stress markers in exhaled breath condensate. *J Thorac Oncol* 4: 172-178
- [33] Christiani DC, Mehta AJ, Yu C-L (2008) Genetic susceptibility to occupational exposures. *Occup Environ Med* 65: 430-436
- [34] Cleveland JL, Cardo DM (2003) Occupational exposures to human immunodeficiency virus, hepatitis B virus, and hepatitis C virus: risk, prevention, and management. *Dent Clin North Am* 47(4): 681-696
- [35] Craig RG, Powers JM, Wataha JC (eds) (2006) Zahnärztliche Werkstoffe. Elsevier GmbH, München, p 65
- [36] Dekhuijzen PN, Aben KK, Dekker I, Aarts LP, Wielders PL, van Herwaarden CL, Bast A (1996) Increased exhalation of hydrogen peroxide in patients with stable and unstable chronic obstructive pulmonary disease. *Am J Respir Crit Care Med* 154: 813-816 (Abstract)
- [37] Deutsche Forschungsgemeinschaft - Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (2010) Stoffliste. MAK- und BAT-Werte-Liste. Mitteilung 46. WILEY-VCH Verlag, Weinheim, pp 17-140
- [38] Deutsche Forschungsgemeinschaft - Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (2010) Krebserzeugende Arbeitsstoffe. MAK- und BAT-Werte-Liste. Mitteilung 46. WILEY-VCH Verlag, Weinheim, pp 142-152

- [39] Deutsche Forschungsgemeinschaft - Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe (2010) Keimzellmutagene. MAK- und BAT-Werte-Liste. Mitteilung 46. WILEY-VCH Verlag, Weinheim, pp 195-196
- [40] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (ed) (2007) G 23 Obstruktive Atemwegserkrankungen. In: Berufsgenossenschaftliche Grundsätze für arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen - Arbeitsmedizinische Vorsorge. Gentner Verlag, Stuttgart, pp 335-345
- [41] Deutsche Kontaktallergie-Gruppe in der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft e.V. Epikutantestreihen der DKG: DKG Zahntechniker – Hauptreihe
<http://www.ivdk.gwdg.de/dkg/index.html>
- [42] DIN EN ISO 6873 Dentalgipse (2007) Normenausschuss Dental (NADENT)
<http://www.nadent.din.de/cmd?level=tpl-untergremium-home&committeeid=54738867&subcommitteeid=54768602&bcrumblevel=3&languageid=de>
- [43] Drysch K, Lindemann W, Dartsch PC (2003) Dentalgips - ein Gefahrstoff? In: Scheuch K, Haufe E (eds) Dokumentationsband über die 43. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. Rindt-Druck, Fulda, pp 269-273
- [44] Eickmann U (2003) Häufig deklarierte Inhaltsstoffe in Desinfektionsmitteln. Berufsgenossenschaft für Gesundheit und Wohlfahrtspflege, Bereich Gefahrstoffe.
http://www.bgw-online.de/internet/generator/Inhalt/OnlineInhalt/Bilder_20und_20Downloads/downloads/Infomaterial/Desinfektionsmittel.pdf,property=download.pdf
- [45] Eickmann U, Thullner I (2006) Berufliche Expositionen gegenüber Formaldehyd im Gesundheitsdienst. Umweltmed Forsch Prax 11(6): 363-368
- [46] Eickmann U, Türk J, Knauff-Eickmann R, Kefenbaum K, Seitz M (2007) Desinfektionsmittel im Gesundheitsdienst - Informationen für eine Gefährdungsbeurteilung. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 1-2: 17-25
- [47] Eisenburg J, Holl J, Weinzierl M, Grunst J, Puttkammer D, Wendl N (1977) Hepatitis B-Risiko bei Zahnärzten. Fortschr Med 19: 1247-1258
- [48] Elms J, Fishwick D, Robinson E, Burge S, Huggins V, Barber C, Williams N, Curran A (2005) Specific IgE to colophony? Occup Med 55: 234-237
- [49] Emelyanov A, Fedoseev G, Abulimity A, Rudinski K, Fedoulov A, Karabanov A, Barnes PJ (2001) Elevated concentrations of exhaled hydrogen peroxide in asthmatic patients. Chest. 120: 1136-1139
- [50] Enderle G, Seidel HJ (2004) BK 1110 - Beryllium. Arbeitsmedizin Fort- und Weiterbildung. Elsevier GmbH, München, pp 446-448

- [51] Enderle G, Seidel HJ (2004) Metaldampffieber. Arbeitsmedizin Fort- und Weiterbildung. Elsevier GmbH, München, p 578
- [52] Falbe J, Regitz M (eds) (1995) Beryllium. Römpp Chemie Lexikon, Thieme-Verlag, Stuttgart, Bd. 1, pp 399-400
- [53] Falbe J, Regitz M (eds) (1995) Harze. Römpp Chemie Lexikon, Thieme-Verlag, Stuttgart, Bd. 3, p1737
- [54] Falbe J, Regitz M (eds) (1995) Kolophonium. Römpp Chemie Lexikon, Thieme-Verlag, Stuttgart, Bd. 3, pp 2305-2306
- [55] Falbe J, Regitz M (eds) (1995) Methacrylate. Römpp Chemie Lexikon, Thieme-Verlag, Stuttgart, Bd. 4, p 2729
- [56] Falbe J, Regitz M (eds) (1995) Polymethylmethacrylate. Römpp Chemie Lexikon, Thieme-Verlag, Stuttgart, Bd. 5, p 3556
- [57] Falbe J, Regitz M (eds) (1995) Wachse. Römpp Chemie Lexikon, Thieme-Verlag, Stuttgart, Bd. 6, pp 4972-4973
- [58] Falbe J, Regitz M (eds) (1995) Zirconium. Römpp Chemie Lexikon, Thieme-Verlag, Stuttgart, Bd. 6, pp 5154-5159
- [59] Fromme H, Gabrio T, Lahrz T, Dietrich S, Sagunski H, Grams H, Link B, Twardella D (2007) Verhalten, Vorkommen und gesundheitliche Aspekte von Feinstäuben in Innenräumen. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (Hrsg.) http://www.lgl.bayern.de/publikationen/doc/umwelt17_feinstaub.pdf, p 30
- [60] Gehre G (2005) Keramische Werkstoffe. In: Eichner K (ed) Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 338-343
- [61] Geis-Gerstorfer J (2005) Nichtedelmetalllegierungen. In: Eichner K (ed) Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, p 130
- [62] Gesetz über die Durchführung von Maßnahmen des Arbeitsschutzes zur Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten bei der Arbeit (Arbeitsschutzgesetz - ArbSchG), Stand: 5.02.2009. Bundesministerium der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH. <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/arbschg/gesamt.pdf>
- [63] Gesetz über Betriebsärzte, Sicherheitsingenieure und andere Fachkräfte für Arbeitssicherheit (ASiG), Stand: 31.10.2006. Bundesministerium der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH. <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/asig/gesamt.pdf>
- [64] Gessner C, Hammerschmidt S, Kuhn H, Seyfarth HJ, Sack U, Engelmann L, Schauer J, Wirtz H (2003) Exhaled breath condensate acidification in acute lung injury. *Respir Med* 97: 1188-1194

- [65] Gessner C, Scheibe R, Wötzel M, Hammerschmidt S, Kuhn H, Engelmann L, Hoheisel G, Gillissen A, Sack U, Wirtz H (2005) Exhaled breath condensate cytokine patterns in chronic obstructive pulmonary disease. *Respir Med* 99: 1229-1240
- [66] Gessner C, Rechner B, Hammerschmidt S, Kuhn H, Hoheisel G, Sack U, Ruschpler P, Wirtz H (2010) Angiogenic markers in breath condensate identify non-small cell lung cancer. *Lung Cancer* 68: 177-184
- [67] GESTIS-Stoffdatenbank, Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (ed). Abfrage: Juni 2010. <http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=templates&fn=main-h.htm>
- [68] GESTIS-Stoffdatenbank: Kolophonium. Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (ed). Abfrage: Mai 2010.
<http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=templates&fn=main-h.htm>
- [69] GESTIS-Stoffdatenbank: Methylmethacrylat. Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (ed). Abfrage: April 2010.
<http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=templates&fn=main-h.htm>
- [70] GESTIS-Stoffdatenbank: Quecksilber. Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (ed). Abfrage: April 2010.
<http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=templates&fn=main-h.htm>
- [71] GESTIS-Stoffdatenbank: Yttrium. Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung. Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (ed). Abfrage: April 2010.
<http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=templates&fn=main-h.htm>
- [72] GESTIS-Stoffdatenbank: Zirkonium(IV)-oxid. Gefahrstoffinformationssystem der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung - Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung (ed). Abfrage: April 2010.
<http://biade.itrust.de/biade/lpext.dll?f=templates&fn=main-h.htm>
- [73] Haamann F (1999) Abschlussbericht über die Schwerpunktaktion der BGW zur Prävention von Latexallergien. BGFA Info Dezember
<http://www.ipa.ruhr-uni-bochum.de/publik/info0499/latex.php>
- [74] Haamann F, Teschke F, Raulf-Heimsoth M (2004) Prävention lohnt sich: Kampagne gegen Latexallergien.
http://www.dguv.de/inhalt/praevention/praev_lohnt_sich/best_practice/latex/latex.pdf

- [75] Hamann C, Rodgers PA, Alenius H, Halsey JF, Sullivan K (2002) Cross-reactivity between gutta-percha and natural rubber latex: Assumptions vs. reality. *J Am Dent Assoc* 133: 1357-1367
- [76] Hannig M, Hannig C (2010) Nanomaterials in preventive dentistry. *Nat Nanotechnol* 5: 565-569
- [77] Harrel SK, Molinari J (2004) Aerosols and splatter in dentistry: a brief review of the literature and infection control implications. *J Am Dent Assoc* 135: 429-437
- [78] Hauner H, Buchholz G, Hamann A, Husemann B, Koletzko B, Liebermeister H, Wabitsch M, Westenhöfer J, Wirth A, Wolfram G (2007) Evidenzbasierte Leitlinie: Prävention und Therapie der Adipositas. Deutsche Adipositas-Gesellschaft, Deutsche Diabetes-Gesellschaft, Gesellschaft für Ernährung, Deutsche Gesellschaft für Ernährungsmedizin (eds). <http://www.adipositas-gesellschaft.de/daten/Adipositas-Leitlinie-2007.pdf>
- [79] Hellwig E, Klimek J, Attin T (eds) (2009) Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln, p 189
- [80] Heppt W (1998) Allergie auf Dentalprodukte. In: Heppt W, Renz H, Röcken M (eds) *Allergologie*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp 257-258
- [81] Hoffmeyer F, van Kampen V, Brüning T, Merget R (2007) Pneumokoniosen. *Pneumologie* 61: 774-797
- [82] Hoffmeyer F, Raulf-Heimsoth M, Merget R, Brüning T (2009) Atemkondensat: Eine neue Matrix zur Erfassung entzündlicher Veränderungen der Atemwege/Lunge. Aktuelle Aspekte aus der Umwelt- und Arbeitsmedizin. *Pneumologie* 63: 426-432
- [83] Hoffmeyer F, Raulf-Heimsoth M, Harth V, Bünger J, Merget R, Brüning T (2009) Einfluss des Kondensatortyps auf die Nachweisbarkeit von Biomarkern im Atemkondensat. Posterbeitrag, 49. Jahrestagung der DGAUM, Aachen
- [84] Hofmann F, Michaelis M, Rieger MA, Hasselhorn HM, Berthold H (1997) Occupational medicine significance of hepatitis C in health care employees. *Gesundheitswesen* 59: 452-60
- [85] Hofmann F, Walker T (eds) (1999) *Arbeitsbedingte Belastungen in der Zahnheilkunde*. ecomed verlagsgesellschaft AG & Co. KG, Landsberg, pp 25-54
- [86] Horváth I, Hunt J, Barnes PJ (2005) Exhaled breath condensate: methodological recommendations and unresolved questions. *Eur Respir J* 26: 523-548
- [87] Jaakkola MS, Leino T, Tammilehto L, Ylöstalo P, Kuosma E, Alanko K (2007) Respiratory effects of exposure to methacrylates among dental assistants. *Allergy* 62: 648-654
- [88] Janda R (2005) Chemie und Physik zahnärztlicher Kunststoffe. In: Eichner K (ed) *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 189-196

- [89] Janda R (2005) Chemie und Physik zahnärztlicher Kunststoffe. In: Eichner K (ed) Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 200-203
- [90] Janda R (2007) Toxikologie der polymerisierbaren Füllungsmaterialien. DFZ 10: 56-63
- [91] Jappe U, Hennies F, Uter W (2005) Zahnmedizin und Nageldesign: Kontaktallergie auf Acrylate und Methacrylate. JDDG 3: 990-993
- [92] Jöbssis RQ, Schellekens SL, Fakkkel-Kroesbergen A, Raatgeep RHC, de Jongste JC (2001) Hydrogen peroxid in breath condensate during a common cold. Mediators Inflamm 10: 351-354
- [93] Koch W (2003) Das dynamische Verhalten von ultrafeinen Aerosolen. In: BIA-Report 7/2003 BIA-Workshop „Ultrafeine Aerosole an Arbeitsplätzen. Hauptverband der gewerblichen Berufsgenossenschaften (HVBG), Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz (BIA) (eds) pp 89-100
- [94] Koczulla AR, Vogelmeier C (2008) COPD. In: Matthys H, Seeger W (eds) Klinische Pneumologie. Springer Medizin Verlag Heidelberg, pp 261-263
- [95] Kostikas K, Papatheodorou G, Ganas K, Psathakis K, Panagou P, Loukides S (2002) pH in expired breath condensate of patients with inflammatory airway diseases. Am J Respir Crit Care Med 165: 1364-1370
- [96] Kostikas K, Papatheodorou G, Psathakis K, Panagou P, Loukides S (2003) Oxidative stress in expired breath condensate of patients with COPD. Chest 124: 1373-1380
- [97] Kotter JM, Zieger G (1992) Sarkoidale Granulomatose nach mehrjähriger Zirkoniumexposition, eine „Zirkoniumlunge“. Pathologie 13: 104-109
- [98] Kronenberger H, Morgenroth K, Tuengerthal S, Schneider M, Meier-Sydow J, Riemann H, Kroidl RF, Amthor M (1980) Pneumokoniosen bei einem Zahntechnikerkollektiv. Atemwegs- und Lungenkrankheiten 6: 279-282
- [99] Kronenberger H, Morgenroth K, Bönning J, Hagenauer R, Meier-Sydow J (1982) Staubbela- stung und Arbeitsplatzhygiene im Dentallabor. Arbeitsmedizin Sozialmedizin Präventivme- dizin 17: 278-281
- [100] Kronenberger H, Abt K, Diefenbach G, Meier-Sydow J, Morgenroth K, Tews K-H (1985) Asbestexposition von Zahntechnikern: Ergebnisse einer Fragebogenerhebung in hessischen und nordrheinwestfälischen Dental-Laboratorien. In: Bolt HM, Piekarski C, Rutenfranz J (eds) Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin e.V. (25. Jahrestagung in Dortmund vom 22. bis 25. Mai 1985. Gentner Verlag Stuttgart, pp 565-569
- [101] Krug N (2005) Mechanismen ultrafeiner Partikel. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 65: 459-461

- [102] Lee JY, Yoo JM, Cho BK, Kim HO (2001) Contact dermatitis in Korean dental technicians. *Contact Dermatitis* 45: 13-16
- [103] Leggat PA, Kedjarune U, Smith DR (2007) Occupational health problems in modern dentistry: A review. *Industrial Health* 45: 611-621
- [104] Lehmann C, Rothe M, Becher G (2004) Empfindliche Wasserstoffperoxid-Messung. *LABO* 35: 31-32
- [105] Liippo KK, Anttila SL, Taikina-Aho O, Ruokonen EL, Toivonen ST, Tuomi T (1993) Hypersensitivity Pneumonitis and Exposure to Zirconium Silicate in a Young Ceramic Tile Worker. *Am Rev Respir Dis* 148: 1089-1092
- [106] Lorenz J (ed) (2004) *Pneumologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, p 54
- [107] Loukides S, Horváth I, Wodehouse T, Cole PJ, Barnes PJ (1998) Elevated levels of expired breath hydrogen peroxide in bronchiectasis. *Am J Respir Crit Care Med* 158: 991-994
- [108] Loukides S, Bouros D, Papatheodorou G, Panagou P, Siafakas NM (2002) The relationships among hydrogen peroxide in expired breath condensate, airway inflammation, and asthma severity. *Chest* 121: 338-346
- [109] Malo J-C, Chan-Yeung M (2009) Agents causing occupational asthma. *J Allergy Clin Immunol* 123: 545-550
- [110] Marek E, Mückenhoff K, Streckert HJ, Becher G, Marek W (2008) L-Laktat und H₂O₂-Bestimmung im Atemkondensat unter Ruhebedingungen sowie unter leichter bis mittelgradiger Belastung von jungen gesunden Probanden. *Pneumologie* 62: 541-547
- [111] Mazzoli-Rocha F, Fernandes S, Einicker-Lamas M, Zin WA (2010) Roles of oxidative stress in signaling and inflammation induced by particulate matter. *Cell Biol Toxicol* 26: 481-498
- [112] Mittmann-Frank M, Berger H, Buchter A (2009) Arbeitsmedizinisches und präventivmedizinisches Untersuchungsprogramm bei Exposition mit Nanopartikeln und speziellen oder neuen Materialien. *Zbl Arbeitsmed* 59: 336-343
- [113] Mittmann-Frank M, Berger H, Pföhler C, Bücken A, Wilkens H, Arzt E, Schmitt KP, Wenenmuth G, Hannig M, Buchter A (2010) Klinische und diagnostische Befunde bei Exposition gegenüber Nanopartikeln und neuen Materialien. *Zbl Arbeitsmed* 60: 328-348
- [114] Müller M, Fritz M, Buchter A (2008) Nanotoxikologie. *Zbl Arbeitsmed* 58: 238-252
- [115] Müller-Quernheim J (2002) Chronic beryllium disease. Orphanet:
<http://www.orpha.net/data/patho/GB/uk-CBD.pdf>
- [116] Müller-Quernheim J, Gaede KI, Prasse A, Zissel G (2007) Chronische Berylliose. *Pneumologie* 61: 109-116

- [117] Nemmar A, Hoet PH, Vanquickenborne B, Dinsdale D, Thomeer M, Hoylaerts MF, Vanbilloen H, Mortelmans L, Nemery B (2002) Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation* 105: 411-414
- [118] Niedermeier W, Frösner G, Heine U und Wolf D (1980) Epidemiologische Untersuchungen über die Durchseuchung von Zahnärzten und deren Hilfspersonal mit Hepatitis B in Bayern. *Dtsch. zahnärztl. Z.* 35: 268-271
- [119] Novey HS, Habib M, Wells ID (1983) Asthma and IgE antibodies induced by chromium and nickel salts. *J Allergy Clin Immunol* 72: 407-412
- [120] Nowak D, Kasielski M, Antczak A, Pietras T, Bialasiewicz P (1999) Increased content of thiobarbituric acid - reactive substances and hydrogen peroxide exhalation in the expired breath condensate of patients with stable chronic obstructive pulmonary disease: no significant effect of cigarette smoking. *Respir Med* 93: 389-396
- [121] Nowak D, Kalucka S, Bialasiewicz P, Król M (2001) Exhalation of H₂O₂ and thiobarbituric acid reactive substances (TBARS) by healthy subjects. *Free Radic Biol Med* 30: 178-186
- [122] Ohnmacht P (2005) Zahnärztliche Wachse. In: Eichner K (ed) *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 303-325
- [123] Olin A-C, Rosengren A, Thelle DS, Lissner L, Bake B, Torén K (2006) Height, Age, and Atopy are associated with fraction of exhaled nitric oxide in a large adult general population sample. *Chest* 130: 1319-1325
- [124] Olivieri M, Talamini G, Corradi M, Perbellini L, Mutti A, Tantucci C, Malerba M (2006) Reference values for exhaled nitric oxide (reveno) study. *Respir Res* 7: 94
- [125] Österreichische Gesellschaft für antimikrobielle Chemotherapie (ed) *Infektionsnetz Österreich*, Dokument: Desinfektion. <http://www.infektionsnetz.at/TextExtDesinfektion.phtml>
- [126] Paget-Brown AO, Ngamtrakulpanit L, Smith A, Bunyan D, Hom S, Nguyen A, Hunt JF (2006) Normative data for pH of exhaled breath condensate. *Chest* 129: 426-340
- [127] Pflug B (1996) Dermatosen bei Zahntechnikern. Informationen für den Betriebsarzt. Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik (ed), jetzt: BG Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse. <http://www.bgetem.de/bgetem/index.html>
- [128] Piirilä P, Hodgson U, Estlander T, Keskinen H, Saalo A, Voutilainen R, Kanerva L (2002) Occupational respiratory hypersensitivity in dental personnel. *Int Arch Occup Environ Health* 75: 209-216
- [129] Poland CA, Duffin R, Kinloch I, Maynard A, Wallace WA, Seaton A, Stone V, Brown S, Macnee W, Donaldson K (2008) Carbon nanotubes introduced into the abdominal cavity of mice show asbestos-like pathogenicity in a pilot study. *Nat Nanotechnol* 3: 423-428

- [130] Prieto L, Ferrer A, Palop J, Domenech J, Llusar R, Rojas R (2007) Differences in exhaled breath condensate pH measurements between samples obtained with two commercial devices. *Respir Med* 101: 1715-1720
- [131] Rajaniemi R, Tola S. (1985) Subjective symptoms among dental technicians exposed to the monomer methyl methacrylate. *Scand J Work Environ Health* 11: 281-286
- [132] Robert Koch-Institut (2007) Liste der vom Robert Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 50: 1335-1356
- [133] Robert Koch-Institut (2009) Zur Situation bei wichtigen Infektionskrankheiten in Deutschland - Virushepatitis B, C und D im Jahr 2008. *Epidemiologisches Bulletin* 20: 189-202
- [134] Robert Koch-Institut: Kommission-Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (2006) Infektionsprävention in der Zahnheilkunde - Anforderungen an die Hygiene. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 49: 375-394
- [135] Robert Koch-Institut: Kommission-Umweltmedizin (2008) Qualitätssicherung beim Lymphozytentransformationstest - Addendum zum LTT-Papier der RKI-Kommission „Methoden und Qualitätssicherung in der Umweltmedizin“. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 51: 1070-1076
- [136] Romeo L, Bontempini L, Cazzadori A, Martini S (1994) Interstitial lung granulomas as a possible consequence of exposure to zirconium dust. *Med Lav* 85: 219-22
- [137] Scheiermann N, Kuwert EK, Engelhardt JP (1981) Zur Frage der Gefährdung von Zahnärzten und Zahnarztmitarbeitern durch das Hepatitis-B-Virus. *Dtsch. zahnärztl. Z.* 36: 614-618
- [138] Schiele R (2008) BK 1110: Erkrankungen durch Beryllium oder seine Verbindungen. In: Triebig G, Kentner M, Schiele R (eds) *Arbeitsmedizin Handbuch für Theorie und Praxis*. Gentner Verlag, Stuttgart, pp 121-122
- [139] Schmalz G (2005) Komposit-Kunststoffe. In: Schmalz G, Arenholt-Bindslev D (eds) *Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe*. Elsevier GmbH, München, pp 99-132
- [140] Schmalz G (2005) Glasionomer-Zement. In: Schmalz G, Arenholt-Bindslev D (eds) *Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe*. Elsevier GmbH, München, pp 143-154
- [141] Schmalz G, Thonemann B (2005) Zinkoxid-Eugenol-Zemente. In: Schmalz G, Arenholt-Bindslev D (eds) *Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe*. Elsevier GmbH, München, pp 154-159
- [142] Schmalz G (2005) Dentalkeramik. In: Schmalz G, Arenholt-Bindslev D (eds) *Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe*. Elsevier GmbH, München, pp 169-179

- [143] Schmalz G (2005) Werkstoffe zur Wurzelkanalfüllung. In: Schmalz G, Arenholt-Bindslev D (eds) Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe. Elsevier GmbH, München, pp 182-210
- [144] Schneider J, Freitag F, Rödelspeger K (1994) Durch Zirkonium-Einwirkung am Arbeitsplatz verursachte exogen-allergische Alveolitis (Nr. 4201 BeKV).
Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 29: 382-385
- [145] Schwichtenberg J (2003) Warnung vor berylliumhaltigen Legierungen in der Zahntechnik!
Newsflash FEPPD 1: 2
- [146] Seidel HJ, Binder M (2004) Untersuchung der Medizinstudenten nach der Biostoffverordnung.
Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 39: 514-519
- [147] Seppäläinen AM, Rajaniemi R (1984) Local neurotoxicity of methyl methacrylate among dental technicians. *Am J Ind Med* 5: 471-477
- [148] Setz J, Borneff-Lipp M (2009) Viruskrankheiten in der Zahnarztpraxis. Wissenschaftliche Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.
http://www.dgzmk.ovm.de/stellungnahmen_download.php?id=114
- [149] Shelly WB, Hurley HJ (1958) The allergic origin of zirconium deodorant granulomas. *Br J Dermatol* 70: 75-101
- [150] Sotiriou M, Ferguson SF, Davey M, Wolfson JM, Demokritou P, Lawrence J, Sax SN, Koutrakis P (2008) Measurement of particle concentrations in a dental office. *Environ Monit Assess* 137: 351-361
- [151] Soyer OU, Dizdar EA, Keskin O, Lilly C, Kalayci O (2006) Comparison of two methods for exhaled breath condensate collection. *Allergy* 61: 1016-1018
- [152] Stanley H (2005) Zinkphosphat-Zemente. In: Schmalz G, Arenholt-Bindslev D (eds) Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe. Elsevier GmbH, München, pp 155-143
- [153] Stanley H, Thonemann B (2005) Calciumhydroxid-Zemente. In: Schmalz G, Arenholt-Bindslev D (eds) Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe. Elsevier GmbH, München, pp 159-1169
- [154] Sümnick W, Voigt M, Kramer A (2001) Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. In: Kramer A, Heeg P, Botzenhart K (eds) Krankenhaus- und Praxishygiene. Urban & Fischer Verlag, München, Jena, pp 612-615
- [155] Takagi A, Hirose A, Nishimura T, Fukumori N, Ogata A, Ohashi N, Kitajima S, Kanno J (2008) Induction of mesothelioma in p53 +/- mouse by intraperitoneal application of multi-wall carbon nanotube. *J Toxicol Sci* 33(1): 105-116
- [156] Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten (1998) Zirkonium und seine Verbindungen. 27. Lieferung, Greim H (ed), WILEY-VCH Verlag, Weinheim, pp 1-14

LITERATURVERZEICHNIS

- [157] Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten (2002) Beryllium und seine Verbindungen. 34. Lieferung, Greim H (ed), WILEY-VCH Verlag, Weinheim, pp 1-14
- [158] Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten (2003) Beryllium und seine Verbindungen 37. Lieferung, Greim H (ed), WILEY-VCH Verlag, Weinheim, pp 1-40
- [159] Trautmann A (2006) Allergiediagnose Allergietherapie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 139-140
- [160] Trautmann A (2006) Allergiediagnose Allergietherapie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, pp 206-211
- [161] TSI Incorporated, 500 Cardigan Road, Shoreview, MN, 55126, USA, Standort Deutschland: TSI GmbH, 52068 Aachen,
http://www.tsi.com/uploadedFiles/Product_Information/Literature/Spec_Sheets/3007_5001117_A4.pdf
- [162] Valentine-Thon E, Schiwara HW (2004) Validierung des MELISA-Tests zum Nachweis einer Metallüberempfindlichkeit. J Lab Med 28: 525-533
- [163] Verbund für angewandte Hygiene e.V. Desinfektionsmittel-Liste 2009.
<http://www.vah-online.de/>
- [164] Verordnung über die Berufsausbildung zum Zahnmedizinischen Fachangestellten/zur Zahnmedizinischen Fachangestellten, Stand: 4.07.2001. Bundesministerium der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH.
<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/zahnmedausbv/gesamt.pdf>
- [165] Verordnung über die Berufsausbildung zum Zahntechniker/zur Zahntechnikerin, Stand: 11.12.1997. Bundesministerium der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH
<http://bundesrecht.juris.de/ztechausbv/BJNR318200997.html>
- [166] Verordnung zum Schutz vor Gefahrstoffen (Gefahrstoffverordnung - GefStoffV), Stand: 18.12.2008. <http://www.baua.de/cae/servlet/contentblob/664802/publicationFile/48539/Gefahrstoffverordnung.pdf>
- [167] Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen (Biostoffverordnung - BioStoffV), Stand: 18.12.2008. Bundesministerium der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH. <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/biostoffv/gesamt.pdf>
- [168] Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge (ArbMedVV), Stand: 19.07.2010. Bundesministerium der Justiz in Zusammenarbeit mit der juris GmbH.
<http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/arbmedvv/gesamt.pdf>

LITERATURVERZEICHNIS

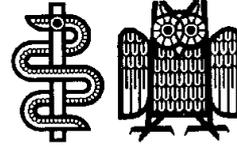
- [169] Wataha JC, Schmalz G (2005) Dentallegierungen. In: Schmalz G, Arenholt-Bindslev D (eds) Biokompatibilität zahnärztlicher Werkstoffe. Elsevier GmbH, München, pp 212-244
- [170] Werfel U, Schneider J, Rödelsperger K, Kotter J, Popp W, Weitowitz HJ, Zieger G (1998) Sarcoid granulomatosis after zirconium exposure with multiple organ involvement. *European Respiratory Journal* 12: 750
- [171] Zirconium granulomas. *Lancet*. 1958 May 31; 1(7031): 1164-1165
- [172] ZIRKON - Information für Zahnärzte. Zirkonzahn GmbH, Gais, Italien
http://www.zirkonzahn.com/CustomerData/1/Files/Documents/DE_Zahnarzt%20Broschüre_web.pdf

Anhang

LITERATURVERZEICHNIS

Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin
der Universität des Saarlandes
und Präventivmedizinisches Zentrum für
arbeits- u. umweltbedingte Erkrankungen
Universitätsklinikum, Gebäude 80.2
66421 Homburg/Saar

☎ 06841
Sekretariat 16-26801
Poliklinik 16-26802
Arbeitsmedizin, Umweltmedizin
Fax 16-26810
E-Mail: amabuc@uniklinikum-saarland.de



Leiter: Univ.-Prof. Dr. med. A. Buchter

E-Mail: amabuc@uniklinikum-saarland.de

Fragebogen: Beschwerden am Arbeitsplatz

Sehr geehrte Kolleginnen und Kollegen,
sehr geehrte Damen und Herren,

zur Unterstützung einer wissenschaftlichen Arbeit mit der Zielsetzung „Objektivierung der Gesundheitsgefährdungen am zahnärztlichen/-technischen Arbeitsplatz und deren Auswirkungen“ bitte wir Sie, die nachfolgenden Fragen genau durchzulesen und möglichst vollständig und nach bestem Wissen zu beantworten. Wir hoffen mit Ihrer Unterstützung und Ihren Angaben eine sehr genaue Beurteilung und Abschätzung Ihres Gesundheitszustandes und den Expositionen an Ihrem Arbeitsplatz erheben zu können.

Die Frageerhebung erfolgt anonymisiert, d. h. Sie sind über einen Probanden-Code registriert und Ihre Angaben sind nicht für Dritte auf Ihre Person zurückführbar.

Für Fragen stehen wir Ihnen selbstverständlich gerne zur Verfügung.

Probanden-Code: _____ (wird durch uns ausgefüllt)

Arbeitsplatz- und Berufsbezogene Daten:

Zimmer-Nr.: _____ Stockwerk: _____ Gebäudeteil/ -Nr.: _____

Aktueller Arbeitsplatz:

Arbeitsbereich: _____

Tätigkeit: _____

Wie viele Stunden arbeiten Sie: _____ h/Tag bzw. pro Woche _____ h/Woche ?

Seit wann sind Sie in diesem Bereich tätig ? _____

Haben Sie vor Ihrer Zeit als Zahnarzt/-ärztin bzw. Zahntechniker/in bzw. zahnmedizinische/r Fachangestellte/r andere

Berufe ausgeübt? ja / nein

Wenn „ja“, welche(n) ? _____

Arbeitsbereich: _____

Tätigkeit: _____

Dauer: _____

Tragen Sie folgende persönliche „Schutzrüstungen“ am Arbeitsplatz ?

Handschuhe: immer meistens selten nie

Mundschutz: immer meistens selten nie

Fragebogen: Beschwerden am Arbeitsplatz, Seite 1

LITERATURVERZEICHNIS

Betreiben Sie Hautschutz ? ja / nein

Wenn „ja“, wie? wie oft?: _____

Räumliche Gegebenheiten zum aktuellen Arbeitsplatz:

Raumgröße: ____ x ____ x ____ (Länge x Breite x Höhe in Metern) Fensteranzahl _____

Fensterrichtung nach _____

Fenster zum Öffnen Lüftungsanlage Heizkörper sonstiges: _____

Fenster sind während der Arbeit eher ganz geöffnet , gekippt oder geschlossen

Raucherraum angrenzend zum Arbeitsplatz: ja / nein (im Freien: ja / nein)

Aufenthaltsraum angrenzend zum Arbeitsplatz: ja / nein

**Bessern sich Ihre Beschwerden in der Freizeit am Wochenende im Urlaub oder werden sie schlimmer ?
Die Beschwerden sind konstant und / oder bleiben unverändert**

Wie häufig und wie viele Krankheitstage haben Sie ungefähr im Jahr ? ____ mal / Jahr insg. ca. ____ Tage

Rauchen Sie ? ja / nein / gelegentlich seit: ____Jahren ____ Zigaretten / Tag

ich habe geraucht ____ Zigaretten / Tag ____ Jahre Karenz seit ____ Jahren

Welche der folgenden Erkrankungen sind bei Ihnen festgestellt worden ?

Hals-/Nasen-/Ohrenerkrankungen:

keine chron. Husten chron. Schnupfen

ständige Behinderung der Nasenatmung

Mandelentzündung Schwerhörigkeit L R Mittelohrentzündung L R

andere: _____

Lungen- und Bronchialkrankheiten:

keine chronische Bronchitis Hyperreagibles Bronchialsystem

Asthma bronchiale Tuberkulose (TBC) Emphysem

Lungenentzündung Tumor Veränderungen der Pleura

andere: _____

Herz- Kreislauferkrankungen:

keine Hypertonie Hypotonie Herzrhythmusstörungen

andere: _____

Fragebogen: Beschwerden am Arbeitsplatz, Seite 2

LITERATURVERZEICHNIS

Stoffwechselerkrankungen:

- keine Zucker/Diabetes Fettstoffwechselstörungen
 Schilddrüsenerkrankungen andere: _____

Orthopädische Erkrankungen, Muskeln, Skelett:

- keine Erkrankung der Wirbelsäule: Hals (HWS) Brust (BWS) Lenden (LWS)
 Gelenkerkrankungen/Arthrose Gicht Knochenbrüche
 andere: _____

Hauterkrankungen:

- keine Ausschlägerkrankungen Schuppenflechte Neurodermitis (Atopisches Ekzem)
 allergisches Ekzem
 Wo: _____, seit wann: _____
 andere: _____

Augen:

- keine Kurzsichtigkeit L R Weitsichtigkeit L R Star L R
 andere: _____

Gynäkologische Erkrankungen:

- keine Zyklusstörungen Fehlgeburt

Sind in Ihrer Familie (Großeltern, Eltern, Geschwister oder Ihren Kinder) folgende Erkrankungen aufgetreten ?

	nein	ja	bei wem ?
Asthma bronchiale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Chronische Bronchitis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Allergien/Neurodermitis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Tumorerkrankung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Stoffwechselerkrankungen (z.B. Diabetes)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
andere: _____			

Gab es in den letzten Jahren wesentliche Änderungen Ihre Gesundheit betreffend ? ja / nein ?

Wenn „ja“, welche ? _____
 und (seit) wann ? _____

LITERATURVERZEICHNIS

Ergänzungen von hier nicht aufgeführten Erkrankungen: (z.B. des Blutes)

Nehmen Sie Medikamente ein ?

nein ja (Geben Sie bitte den Namen des Medikamentes, die Dosis und die Einnahmedauer an)

Wurden bereits spezielle Untersuchungen auf Grund Ihrer Beschwerden durchgeführt ? ja / nein ?

Wenn „ja“, welche?, wann? und wo ?

Allergietestung _____

Lungenfunktionsuntersuchung _____

Röntgenologische Aufnahmen _____

andere _____

Wie beurteilen Sie Ihre Arbeitsumgebung im Vergleich zu Ihrem alten Arbeitsplatz ? (Bitte nur ausfüllen, wenn Sie zuvor woanders gearbeitet haben!)

deutlich verschlechtert	verschlechtert	leicht verschlechtert	unverändert	leicht verbessert	verbessert	deutlich verbessert
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Gibt es evtl. Umwelteinflüsse auf die Sie Ihre Beschwerden zurückführen ? ja / nein ?

Wenn „ja“, welche ?

Arbeitsumfeld Rauchergewohnheiten

Wohnumgebung: Industriegebiet Straßenverkehr Land Großstadt Kleinstadt

Wohninnenraum: Altbau Neubau Haustiere Hobby

Nähere Angaben: _____

Sonstige Bemerkungen oder Angaben:

Fragebogen: Beschwerden am Arbeitsplatz, Seite 4

LITERATURVERZEICHNIS

Beschwerden:

Falls Sie eines der Krankheitszeichen oder Beschwerden (derzeit) haben, geben Sie bitte möglichst genau Intensität, Häufigkeit und Zeitraum des Auftretens an:

	nein	ja	gering	mäßig	stark	selten	häufig	immer	von – bis Monat/Jahr	am Arbeitsplatz	
			falls ja:						___/___ - ___/___	Ja	nein
Trockene Nase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Laufende Nase	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Schnupfen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Häufiges Niesen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Nasenbluten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Veränderungen des Riechempfindens	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Halsschmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Trockener Mund	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Heiserkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Reizhusten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Husten mit Auswurf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Asthmaanfall	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Atemnot	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Atemwegsinfekte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
chron. Bronchitis	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Grippe-ähnl. Symptome	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Reizung der Augen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					

Fragebogen: Beschwerden am Arbeitsplatz, Seite 5

	nein	ja	gering	mäßig	stark	selten	häufig	immer	von – bis Monat/Jahr	am Arbeitsplatz	
			falls ja:						___/___ - ___/___	Ja	nein
Bindehautentzündung	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Geschwollene Lider	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Übelkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Trockene Haut	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Ausschläge	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Juckreiz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Abnorme Müdigkeit	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Schlafstörungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Gedächtnisstörungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Gefühlsstörungen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Mattigkeit, Leistungsverlust	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Kollapsneigung, Schwindel	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Kopfschmerzen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	falls ja: <input type="checkbox"/>	___/___ - ___/___	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					

Wo ? _____

Wo ? _____

Wo ? _____

Wo ? _____

Fragebogen: Beschwerden am Arbeitsplatz, Seite 6

LITERATURVERZEICHNIS

Wenn Sie bei einer der oben genannten Beschwerden mit „ja, am Arbeitsplatz“ geantwortet haben:

Wann treten diese Beschwerden vorwiegend auf ?

kurz nach Betreten des Gebäudes beim Betreten des Arbeitsplatzes vor / während / nach der Pause

bei psychischer Belastung / Anstrengung bei bestimmten Arbeiten welche: _____

bei bestimmten Materialien welche: _____

sonstiges: _____

Wenn Sie bei einer der oben genannten Beschwerden mit „ja“, jedoch „nein, am Arbeitsplatz“ geantwortet haben:

Wann treten diese Beschwerden vorwiegend auf ?

zu Hause bei körperlicher Anstrengung in Ruhe zu bestimmten Jahreszeiten welche: _____

nach Genuss bestimmter Lebensmittel welche: _____

bei psychischer Belastung weitere _____

Fragebogen: Beschwerden am Arbeitsplatz, Seite 7



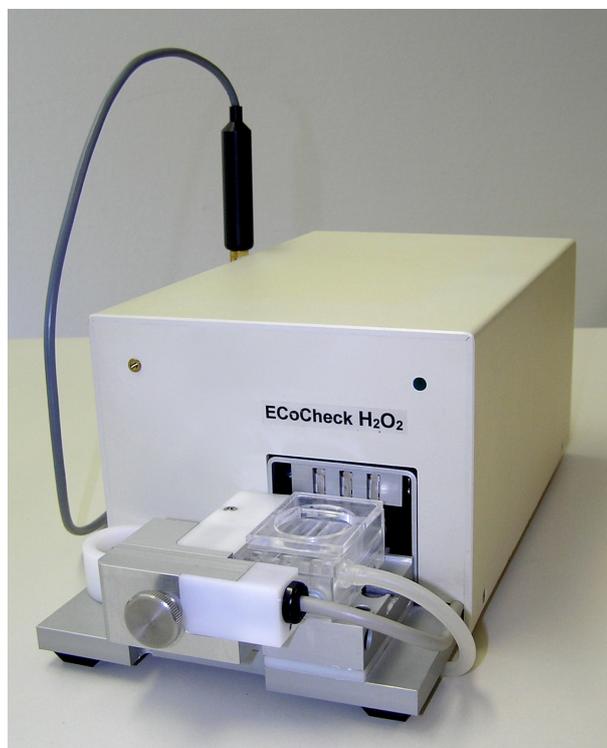
NIOX MINO zur eNO-Messung in der Ausatemluft



Spirometriegerät



ECoScreen Turbo zur EBC-Gewinnung mit angeschlossenem ECoVent



ECoCheck-H₂O₂-Analysegerät mit pH-Meter



Kondensationspartikelzähler CPC 3007



Dynamisches Verdünnungssystem DDS 560

Abkürzungen

AG	Antigen
AK	Antikörper
ArbMedVV	Verordnung zur arbeitsmedizinischen Vorsorge
ArbSchG	Arbeitsschutzgesetz
ASiG	Arbeitssicherheitsgesetz
ASL	Antistreptolysin
BAT	Biologischer Arbeitsstoff-Toleranz-Wert
Be	Beryllium
BGW	Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege
BioStoffV	Biostoffverordnung
BMI	Body-Mass-Index
BSG	Blutkörperchensenkungsgeschwindigkeit
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CAS-Nr.	Chemical Abstract Service-Nummer
CHE	Cholinesterase
CI	Konfidenzintervall
CK	Creatinkinase
CK-MB	Creatinkinase Muscle-Brain
cm³	Kubikzentimeter
CRP	C-reaktives Protein

DD	Differentialdiagnose bzw. differentialdiagnostisch
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
d.h.	das heißt
EAA	Exogen-allergische Alveolitis
EBC	Atemexhalat ($\hat{=}$ exhaled breath condensate)
EDX	Energiedispersive Röntgenmikroanalyse
EKG	Elektrokardiogramm
eNO	exhalierendes Stickstoffmonoxid
ES	Studierende der Zahnmedizin im ersten Semester
et al.	et alii
etc.	et cetera
evtl.	eventuell
γ-GT	Gammaglutamyltransferase
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GFR	Glomeruläre Filtrationsrate
GLDH	Glutamatdehydrogenase
GOT	Glutamat-Oxalacetat-Transaminase
GPT	Glutamat-Pyruvat-Transaminase
HAV	Hepatitis-A-Virus
HbA1c	Hämoglobin A1c
HBV	Hepatitis-B-Virus
HCV	Hepatitis-C-Virus
HDL-Cholesterin	High-Density-Lipoprotein-Cholesterin
HIV	Humanes Immundefizienz-Virus
HNO	Hals-, Nasen- und Ohren (-Heilkunde)
H₂O₂	Wasserstoffperoxid

IFN-γ	Interferon- γ
IgE	Immunglobulin E
IL-6	Interleukin-6
IL-8	Interleukin-8
IL-12	Interleukin-12
INR	International Normalized Ratio
IU/ml	International Unit(s) pro Milliliter
IUIS	International Union of Immunological Societies
K I	Klinik I $\hat{=}$ Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde, Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Matthias Hannig, Universitätsklinikum des Saarlandes
K II	Klinik II $\hat{=}$ Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Direktor: Univ.-Prof. Dr. med. dent. Peter Pospiech, Universitätsklinikum des Saarlandes
LDH	Laktatdehydrogenase
LDL-Cholesterin	Low-Density-Lipoprotein-Cholesterin
Lp(a)	Lipoprotein (a)
LTT	Lymphozytentransformationstest
MAK	Maximale Arbeitsplatz-Konzentration
MKG	Klinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie, Leitung: Univ.-Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Wolfgang J. Spitzer, Universitätsklinikum des Saarlandes
ml	Milliliter
μl	Mikroliter
μm	Mikrometer
MMA	Methylmethacrylat
MPV	Mittleres Plättchen-Volumen
MW	Mittelwert
n.d.	(Untersuchung) nicht durchgeführt

NEM	Nichtedelmetall (-Legierung)
nm	Nanometer
PMMA	Polymethylmethacrylat
ppb	parts per billion
pt/cm³	Partikel/cm ³
PTT	Partielle Thromboplastinzeit
py	packyear $\hat{=}$ Packungsjahr
R	Resistance
REM	Rasterelektronenmikroskop
RKI	Robert Koch-Institut
r/min	Umdrehungen pro Minute
RV	Residualvolumen
RV%TLC	Quotient RV/TLC
SEM	standard error of the mean $\hat{=}$ Standardfehler des Mittelwertes
SD	Standardabweichung
SI	Stimulationsindex
ST	Studierende der Zahnmedizin
TLC	Totale Lungkapazität
TRGS	Technische Regel für Gefahrstoffe
TSH	Thyreoida-stimulierendes Hormon
u.a.	unter anderem
v.a.	vor allem
VC	Vitalkapazität
VEGF	Vascular Endothelial Growth Factor
vgl.	vergleiche
ZA	Zahnärztin bzw. Zahnarzt

ZahnmedAusbV	Verordnung über die Berufsausbildung zum Zahnmedizinischen Fachangestellten/zur Zahnmedizinischen Fachangestellten
ZÄPrO	Approbationsordnung für Zahnärzte
z.B.	zum Beispiel
ZFA	Zahnmedizinische Fachangestellte
ZrO₂	Zirkoniumdioxid
ZT	Zahntechnikerin bzw. Zahntechniker
z.T.	zum Teil
ZTechAusbV	Verordnung über die Berufsausbildung zum Zahntechniker/zur Zahntechnikerin

Danksagung

Besonderer Dank gebührt meinem Doktorvater und Lehrer, Herrn Univ.-Prof. Dr. med. Axel Buchter sowie Herrn Univ.-Prof. Dr. med. dent. Matthias Hannig für das Überlassen dieses interessanten Themas und die großzügige fachliche Unterstützung und Beratung bei der Erstellung dieser Arbeit.

Mein großer Dank gilt insbesondere Frau Dr. med. Michaela Mittmann-Frank für ihre unermüdlige Unterstützung, ihre fachliche und wissenschaftliche Beratung sowie für die hervorragende und freundschaftliche Zusammenarbeit.

Mein Dank gilt allen Kooperationspartnern, insbesondere Herrn PD Dr. S. Rupf, Herrn Dr. F. Al Marrawi und den Mitarbeitern der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde sowie Herrn Univ.-Prof. Dr. P. Pospiech, Herrn Dr. M. Abed Rabbo und den Mitarbeitern der Klinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde.

Ein Dank geht auch an Herrn Prof. Dr. J. Geisel, Herrn Dr. U. Hübner und Frau Dr. H. Schorr für die Durchführung der Laboranalytik, an Herrn Univ.-Prof. Dr. R.M. Bohle und Herrn J. Krämer für die zytopathologischen Untersuchungen und die zur Verfügung gestellten Zytopathologie-Bilder sowie an Frau PD Dr. C. Pföhler aus der Universitätshautklinik.

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. R. Zimmermann und Herrn PD Dr. M. Jung für die Bereitstellung von Geräten und Werkstoffen sowie bei Herrn Univ.-Prof. Dr. G. Wennemuth und Herrn N. Pütz für die elektronenmikroskopischen Untersuchungen.

Ein weiterer Dank geht an Herrn Prof. Dr. J. Schneider und Herrn E. Roth vom Institut und Poliklinik für Arbeits- und Sozialmedizin, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, für die Unterstützung bei der Partikelmessung und -analyse, an Frau Dr. Y. Grenner für die Unterstützung durch den betriebsärztlichen Dienst des Universitätsklinikums des Saarlandes sowie an Frau E. Herrmann für das professionelle Ablichten der Messgeräte.

Mein Dank gilt allen Mitarbeitern des Instituts und Poliklinik für Arbeitsmedizin, die mich stets bei meiner Arbeit unterstützt haben. Besonders möchte ich mich bei Herrn R. Jung für seine allzeit freundliche Mitarbeit und produktive Unterstützung bei der Durchführung der Messungen und für das großzügige Weitergeben seiner L^AT_EX-System-Kenntnisse bedanken.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Teilnehmern an den Untersuchungen für ihre bereitwillige Mitarbeit.

Dank gebührt auch dem Ministerium für Wirtschaft und Wissenschaft des Saarlandes sowie der Universität des Saarlandes für die finanzielle Förderung, ohne die eine so umfangreiche Studie nicht möglich gewesen wäre.

Ich möchte mich ganz besonders bei meinen Eltern für ihre allzeit bedingungslose Unterstützung und ihr Vertrauen bedanken - Ihr seid mir ein Vorbild.

Zuletzt geht mein besonderer Dank an meine Frau Sigrun, die mich bei der Erstellung dieser Arbeit immer unterstützt und mir den dafür nötigen Halt und Freiraum gegeben hat.

Lebenslauf

Name	Hendrik Berger
Wohnort	Lerchesflurweg 72, 66119 Saarbrücken
Geburtsdatum	16. Juni 1977
Geburtsort	Leonberg, Baden-Württemberg
verheiratet mit	Sigrun Berger, geb. Schleisiek
Schulbildung	1983 - 1988 Grundschule Rielingshausen 1988 - 1998 Friedrich-Schiller-Gymnasium, Marbach am Neckar
Wehrdienst	1998 - 1999 Sanitätsdienst, Marineversorgungsschule List, Sylt und Bundeswehrkrankenhaus Ulm
Beruf	1999 - 2000 Bestattungen Raible, Kornwestheim 2000 - 2001 Krankenpflegeausbildung, Bethesda Kranken- haus Stuttgart 2001 Firma Porsche AG, Stuttgart
Studium der Humanmedizin	2001 - 2007 an der Universität des Saarlandes in Homburg/Saar
Praktisches Jahr	Arbeitsmedizin, Institut für Arbeitsmedizin, Universität des Saarlandes Innere Medizin, Universitätsspital Basel, Schweiz Chirurgie, Universitätsspital Zürich, Schweiz

Seit 1. Januar 2008 Arzt in Weiterbildung und wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut und Poliklinik für Arbeitsmedizin der Universität des Saarlandes unter der Leitung von Herrn Univ.-Professor Dr. med. A. Buchter.

Veröffentlichungen

Mittmann M, Berger H, Neis O, Buchter A (2008) Arbeitsmedizinisches Fortbildungssymposium „Asbest: Eine Bilanz aus arbeitsmedizinischer Sicht“. Saarländisches Ärzteblatt 10: 10-15

Mittmann M, Berger H, Neis O, Buchter A (2008) „Doping im Sport“ Umweltmedizinisches Forum der Ärztekammer des Saarlandes am 31. Mai 2008. Saarländisches Ärzteblatt 11: 10-17

Mittmann-Frank M, Berger H, Buchter A (2009) Arbeitsmedizinisches und präventivmedizinisches Untersuchungsprogramm bei Exposition mit Nanopartikeln und speziellen oder neuen Materialien. Zbl Arbeitsmed 59: 336-343

Mittmann-Frank M, Berger H, Pföhler C, Bücken A, Wilkens H, Arzt E, Schmitt KP, Wennemuth G, Hannig M, Buchter A (2010) Klinische und diagnostische Befunde bei Exposition gegenüber Nanopartikeln und neuen Materialien. Zbl Arbeitsmed 60: 328-348

Mittmann-Frank M, Berger H, Rupf S, Wennemuth G, Pospiech P, Hannig M, Buchter A (2010) Expositionen gegenüber Nanopartikeln und neuen Materialien in der Zahnheilkunde. Zbl Arbeitsmed, zur Publikation eingereicht.

Mittmann-Frank M, Karabin B, Berger H, Neis O, Hübner U, Gräber S, Buchter A (2010) LTB 4 im Atemkondensat und exhalierendes Stickstoffmonoxid - eine vergleichende Analyse bei Exposition gegenüber Nanopartikeln. Zbl Arbeitsmed, zur Publikation eingereicht.

Berger H, Mittmann-Frank M, Wennemuth G, Hannig M, Buchter A. Klinische und diagnostische Befunde bei Exposition gegenüber (Nano-)Partikeln und modernen Materialien in der Zahnheilkunde. Vorläufige Angaben, Publikation in Vorbereitung.

Posterbeiträge

Berger H, Mittmann-Frank M, Hannig M, Wennemuth G, Buchter A. (Nano-)Partikel und neue Materialien in der Zahnheilkunde. 50. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGAUM e.V., 16.-19. Juni 2010, Dortmund

Mittmann-Frank M, Berger H, Pföhler C, Bücken A, Wilkens H, Arzt E, Schmitt KP, Wennemuth G, Hannig M, Buchter A. Klinische und diagnostische Befunde bei beruflicher Exposition gegenüber Nanopartikeln und speziellen oder neuen Materialien. 50. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGAUM e.V., 16.-19. Juni 2010, Dortmund

Mittmann-Frank M, Berger H, Kraegeloh A, Hannig M, Wennemuth G, Buchter A. Tätigkeitsparallele Diagnostik bei beruflicher Exposition gegenüber Nanopartikeln und neuen Materialien. 50. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGAUM e.V., 16.-19. Juni 2010, Dortmund

Berger H, Mittmann-Frank M, Hannig M, Wennemuth G, Buchter A. Nanopartikel in der Zahnheilkunde. 51. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGAUM e.V., 9.-12. März 2011, Heidelberg, Abstract eingereicht.

Vorträge

Berger H, Mittmann-Frank M, Buchter A (2009) Arbeitsmedizinisches Untersuchungsprogramm. Arbeitsmedizinisches Symposium: „Gefährdung durch Nanopartikel?“, 27. Juni 2009, Leibniz-Institut für Neue Materialien, Saarbrücken

Berger H, Mittmann-Frank M, Buchter A (2010) Nanopartikel und Gefährdungen in der Zahnmedizin. Arbeitsmedizinisches Symposium „Arbeitsmedizinische Diagnostik bei Exposition mit Nanopartikeln“, 18. September 2010, Homburg/Saar

Berger H, Mittmann-Frank M, Hannig M, Wennemuth G, Buchter A. Untersuchungen zu Gefährdungen von in der Zahnheilkunde beschäftigtem Personal. 51. Wissenschaftliche Jahrestagung der DGAUM e.V., 9.-12. März 2011, Heidelberg, Abstract eingereicht.