

Version März 2011

Factsheet

Chirurgische Rauchgase – Gefährdungen und Schutzmassnahmen

Brigitte Merz, Martin Rügger, Edgar Käslin, Udo Eickmann, Michel Falcy, Inga Fokuhl, Martine Bloch

Verschiedene chirurgische Verfahren erzeugen Rauchgase, denen die Mitarbeitenden in Operationsbereichen ausgesetzt sein können. Der aktuelle Wissensstand bezüglich Zusammensetzung der Rauchgase und die potentiellen Gefährdungen sowie die bisherigen Erfahrungen bei exponiertem Personal werden kurz dargestellt und Empfehlungen für angemessene Schutzmassnahmen bei Tätigkeiten mit Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen beschrieben.

Verschiedene chirurgische Verfahren, bei denen durch Hitzeeinwirkung oder Ultraschall Gewebe schonend zertrennt oder verschorft wird und Blutungen gestillt werden - z.B. mit Elektrokautern, Lasern oder mit dem Ultraschallskalpell - erzeugen Rauchgase. Dies gilt auch für besondere Tätigkeiten wie z.B. das Entfernen von Knochenzement mit Ultraschalleinrichtungen in der Revisionsendoprothetik [1].

Chirurgische Rauchgase stellen eine Mischung von gas- und dampfförmigen sowie partikulären Schadstoffen dar, deren Zusammensetzung je nach Verfahren sowie der Art der Anwendung und des Eingriffes sehr unterschiedlich sein kann. Auf Grund der toxiologischen Eigenschaften der Bestandteile sowie Erkenntnissen aus in vitro Versuchen und einzelnen Tierexperimenten ist anzunehmen, dass von diesen Rauchgasen gesundheitsschädliche Auswirkungen auf das exponierte Personal ausgehen können.

Eine Arbeitsgruppe der Sektion Gesundheitswesen der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS) hat auf der Grundlage einer umfassenden Literaturrecherche eine Gefährdungsbeurteilung der Tätigkeiten mit Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen vorgenommen und eine gemeinsame Position zu den notwendigen Schutzmassnahmen erarbeitet.

In dem entstandenen Arbeitspapier für Arbeitsschutzexperten [2, 3] werden die Zusammensetzung und die chemischen und biologischen Wirkungen der Inhaltsstoffe, die bislang bekannt gewordenen Auswirkungen chirurgischer Rauchgase auf den Menschen sowie die Einflussgrößen auf die Exposition der Beschäftigten und ausgehend vom Vorsorgeprinzip die abgeleiteten Schutzmassnahmen beschrieben.

Im Folgenden werden die Inhalte zusammenfassend dargestellt.

Zusammensetzung chirurgischer Rauchgase

Die Rauche, die bei einem chirurgischen Eingriff mit Hilfe eines Lasers oder Elektrokauters erzeugt werden, enthalten eine komplexe Mischung biologischer, zellulärer, partikel- und gas- bzw. dampfförmiger Inhaltsstoffe. Hauptbestandteil ist Wasserdampf (bis zu 95%), der als Transportmedium für die anorganischen und organischen chemischen sowie die biologischen Schadstoffe dient.

Die Größe der entstehenden Partikel reicht von weniger als 10 Nanometer bis zu mehr als 200 Mikrometer. Der mittlere Partikeldurchmesser hängt unter anderem von der Intensität der Energieeinwirkung auf das Gewebe ab. Angegeben werden [4] für:

- Elektrokauter → mittlerer Partikeldurchmesser $d < 0,1 \mu\text{m}$
- Laser (Gewebeabtragung) → mittlerer Partikeldurchmesser $d \text{ ca. } 0,3 \mu\text{m}$
- Ultraschallskalpell → mittlerer Partikeldurchmesser $d \text{ ca. } 0,35 - 6,5 \mu\text{m}$.

Dies bedeutet, dass ein sehr großer Teil dieser Rauchpartikel eingeatmet werden kann und alveolengängig ist.

Je nach eingesetztem Verfahren und behandeltem Gewebe unterliegt die quantitative Zusammensetzung des Rauches großen Schwankungen [5].

Bei der qualitativen Analyse wurden zahlreiche organische Pyrolyseprodukte wie aromatische Kohlenwasserstoffe, Cyanwasserstoff, Formaldehyd und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe nachgewiesen. Ebenso entstehen wie bei jedem Verbrennungsprozess auch bei den elektrochirurgischen Verfahren anorganische Schadstoffe wie Kohlenstoffoxide (CO und CO_2), Schwefel- und Stickoxide sowie Ammoniak.

In den Partikeln der freigesetzten Rauche oder Aerosole fand sich zudem biologisches Material wie intakte Zellen, Zellfragmente, Blutzellen und virale DNS-Fragmente. Experimentell liessen sich aus Laserrauch lebensfähige Bakterien züchten und zwar *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus* und *Mycobacterium tuberculosis* [6].

Im Rauch konnten ebenfalls Viren nachgewiesen werden. Die meisten Arbeiten galten dem Humanen Papilloma Virus (HPV); so wurde die DNS dieses Virus mehrfach in Proben von Rauch nachgewiesen, der bei der Laser-Koagulation von Warzen entsteht [7, 8, 9,10]. Es erwies sich allerdings als schwierig, die Infektiosität dieser viralen DNS zu bestimmen [7,11].

Fletcher wies lebensfähige Melanomzellen im Rauch aus der Elektrokauterisation eines Melanoms nach [12]. Bei einem Eingriff im Leistungsbereich von 30 W war die Anzahl der lebensfähigen Zellen geringer als im 10 W Leistungsbereich.

Potentielle Gefährdungen durch chirurgische Rauchgase

Die zu dieser Thematik zur Verfügung stehende toxikologische Literatur ist sehr umfangreich. Sie beruht aber hauptsächlich auf in vitro Untersuchungen sowie einigen tierexperimentellen Studien. Die daraus abgeleiteten Gesundheitsgefahren für das exponierte Personal erscheinen plausibel und auf Grund von Quervergleichen mit Untersuchungen aus der Umweltmedizin nachvollziehbar. Dies gilt für die Wirkung von Partikeln im Vergleich mit Feinstaub und ihrer potenziellen Infektiosität ebenso wie für die toxikologischen Eigenschaften verschiedener Schadstoffe, die in chirurgischen Rauchgasen nachgewiesen werden können.

Die Inhaltsstoffe von chirurgischem Rauch können dosisabhängig akute Symptome in Form von Kopfschmerzen, Schwächegefühl, Übelkeit, Muskelschwäche sowie auch Reizungen der Augen und der Atemwege verursachen.

Neben akuten, allgemeintoxischen Wirkungen und Infektionen sind auch spezifische Wirkungen theoretisch denkbar. Bisher sind nur die Mutagenese und das Krebsrisiko als spezifische Wirkungen chirurgischer Rauchgase bewertet worden; die Anzahl der Untersuchungen ist allerdings gering und gestattet keine endgültige Schlussfolgerung.

Details zur Toxikologie und Wirkung einzelner Inhaltsstoffe von Rauchgasen und des gesamten Rauchgasgemisches sind in der oben genannten Publikation [2] beschrieben.

Erfahrungen beim Menschen

Vergleichsweise wenige Daten existieren zur Frage, ob die beschriebenen Gefährdungen für das exponierte Personal tatsächlich von Bedeutung sind. Exponierte Beschäftigte berichten allerdings über deutliche Geruchsbelästigungen während der Arbeit [13,14,15]. Einzelne Fallberichte über wahrscheinlich beruflich erworbene Larynxpapillome bei Laserrauch exponiertem OP Personal wurden publiziert. Eine bei einer Krankenschwester diagnostizierte Larynxpapillomatose wurde als Berufskrankheit anerkannt; die Pflegekraft hatte bei Behandlungen von Papillomatosen assistiert [16]. Es gibt aber kaum epidemiologische Studien, die auf breiterer Basis untersucht haben, ob sich die auf Grund der Laboruntersuchungen zu erwartenden Gefährdungen bei den Betroffenen tatsächlich in nachweisbarem Ausmaß manifestieren.

Einige Autoren haben versucht, der unbefriedigenden Datenlage mit Hilfe einer Risikoevaluation zu begegnen [17], d.h. auf Grund der vorhandenen theoretisch-toxikologischen Kenntnisse einerseits und der Art und dem Ausmaß der Expositionen andererseits die mögliche gesundheitliche Gefährdung des Personals quantitativ zu bewerten.

In einer Fragebogenuntersuchung bei 4200 Mitgliedern der amerikanischen Gesellschaft für Lasermedizin und der amerikanischen Gesellschaft für dermatologische Chirurgie fanden Gloster und Roenigk [10], dass die 570 antwortenden Ärzte im Vergleich zur Bevölkerung der Region von Olmsted (Minnesota) bzw. zu den zwischen 1988 und 1992 wegen Warzen in der Mayo Clinic behandelten Patienten keine signifikant höhere Rate derartiger Hautveränderungen aufwiesen. Allerdings fanden sich bei den chirurgisch

tätigen Dermatologen die Warzen hauptsächlich an den Händen, im Gesicht und im nasopharyngealen Bereich. Bei den in der Mayo Clinic behandelten Patienten konnte dagegen ein signifikant von demjenigen der Chirurgen abweichendes Verteilungsmuster beobachtet werden. Bei den Patienten waren vorwiegend die Fußsohlen und der Anogenitalbereich betroffen.

Auch wenn die Gloster Studie einige Schwachpunkte aufweist (z. B. niedrige Rücklaufquote), lässt sie doch den Schluss zu, dass für die exponierten Medizinalpersonen möglicherweise ein geringes gesundheitliches Risiko durch infektiöse Partikel bestehen könnte.

In einer kleinen Fragebogenuntersuchung 2001 durch das NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) [13,14,15] berichtete knapp die Hälfte der 48 Teilnehmenden über mindestens ein Symptom, das sie mit der Exposition gegenüber OP Rauchen in den der Studie vorangegangenen 4 Wochen in Verbindung brachten. Der Häufigkeit nach geordnet waren dies Kopfschmerzen, brennendes Gefühl in Nase und Rachen, rhinitische Beschwerden, Augenreizungen, Husten sowie andere, vor allem Asthma ähnliche Beschwerden.

Die bislang einzige prospektive Studie zur Frage gesundheitlicher Schädigungen durch OP Rauche wurde von Gates publiziert [18]. Die Autoren untersuchten dabei ein 1976 erstmals rekrutiertes und später wiederholt nachuntersuchtes Kollektiv von ursprünglich 121.700 Krankenschwestern (Nurses´ Health Study, NHS) mit der Frage einer möglichen Assoziation zwischen OP-Rauch Exposition und dem Auftreten eines Bronchuskarzinoms. Es zeigte sich dabei keine signifikante Assoziation zwischen der Dauer der OP-Rauch Exposition und dem Auftreten von Bronchuskarzinomen.

Diese wenigen epidemiologischen Daten vermögen die Zweifel und Vorbehalte an der klinischen Relevanz der vorwiegend experimentell nachgewiesenen gesundheitlichen Gefährdungen durch OP Rauche weder zu bestätigen noch auszuräumen.

Expositionsdeterminanten

Die Rauchgasemission ist in Abhängigkeit der Leistung des eingesetzten Verfahrens sowie des behandelten Gewebes sehr unterschiedlich und unterliegt zudem während des Eingriffes grossen Schwankungen.

Bei verschiedenen chirurgischen Eingriffen ist die Rauchgasbelastung erheblich und langandauernd wie zum Beispiel bei der Resektion von Tumoren, des parietalen Peritoneums oder verschiedener innerer Organe [19]. Erhebliche Mengen von Rauch entstehen insbesondere bei der Elektrokauterisation von Tumorknötchen, wenn diese vor einer intraperitonealen Chemotherapie von der Oberfläche des viszeralen Peritoneums entfernt werden müssen.

Die Exposition der Beschäftigten zu chirurgischen Rauchgasen ist von verschiedenen Faktoren abhängig:

- Dem chirurgischen Arbeitsgerät
- Den Einrichtungen zur Rauchgasabsaugung
- Der Raumluftechnischen Anlage
- Der Art der Eingriffes
- Der Arbeitsorganisation
- Den individuellen Einflussgrößen des Operateurs und des Patienten

Bewertung der Expositionen

Die Informationen über die personenbezogene Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen sind insgesamt unvollständig. Dennoch können einige grundsätzliche Aussagen getroffen werden:

- Gasförmige Komponenten
Die Belastung durch gas- bzw. dampfförmige Substanzen ist beim Einsatz von Laser- oder elektrochirurgischen Verfahren in modernen OP-Räumen relativ gering. Es kann zwar zu Geruchsbelästigungen kommen, allerdings werden die existierenden Luftgrenzwerte für Substanzen wie z.B. Toluol, Butanon oder Ethylbenzol bei weitem nicht erreicht. Es ist aber zu beachten, dass es sich hier um ein heterogenes Gemisch unterschiedlicher Schadstoffe handelt; die Möglichkeiten der Bewertung solcher Gemische auf der Grundlage von Grenzwerten der Einzelsubstanzen sind limitiert. Andererseits finden sich in den Rauchen flüchtige Substanzen mit cmr-Eigenschaften (cancerogen, mutagen, reproduktionstoxisch) wie z.B. Benzol. Wie bei anderen vergleichbaren Pyrolyseprodukten, z.B. Tabakrauch, muss daher das allgemeine Gebot der Expositionsminimierung beachtet werden.
- Partikelförmige Komponenten
Die Luftkonzentrationen aller Partikel können bei den hier beschriebenen Prozessen einige mg/m^3 betragen und somit die Luftwege der Beschäftigten schon aufgrund ihrer Menge belasten (Allgemeiner Staubgrenzwert in der Schweiz: alveolengängige Fraktion = $3 \text{ mg}/\text{m}^3$; einatembare Fraktion = $10 \text{ mg}/\text{m}^3$). Es müssen daher adäquate Schutzmaßnahmen ergriffen werden.
Die entstehenden partikulären Belastungen der Beschäftigten bestehen zum großen Teil aus sehr feinen Partikeln (nanoskalige Partikel). Eine abschließende Bewertung der auftretenden Belastung mit diesen nanoskaligen Partikeln ist heute noch nicht möglich. Wegen der Fähigkeit von Nanopartikeln, außerhalb der klassischen Aufnahmepfade an alle Stellen des Körpers zu gelangen (sog. Translokation), könnten Belastungen mit diesen Materialien zusätzliche Wirkungen verursachen.

- Biologische Komponenten

Eine Verbreitung biologisch aktiver Zellen und Zellbestandteile durch elektrochirurgische oder Lasereingriffe ist wahrscheinlich. Die dadurch entstehende Exposition lässt sich zwar noch nicht quantifizieren. Aus Präventionsgründen sollte aber die Freisetzung von Rauchen vermieden werden.

- Geruchsbelästigung

Pyrolyseprodukte von menschlichem Gewebe verbreiten unangenehme Gerüche, die oft als ekelerregend empfunden werden.

Die Problematik der Exposition zu chirurgischen Rauchgasen ist zwar häufig den Betroffenen bekannt, Maßnahmen zur deren Verringerung werden aber bislang nicht konsequent getroffen.

Eine abschliessende Bewertung der Gesundheitsgefährdung, welche von chirurgischen Rauchgasen ausgeht, ist zurzeit mangels ausreichender und kohärenter wissenschaftlicher Daten und epidemiologischer Studien nicht möglich. Aufgrund des Vorsorgeprinzips ist jedoch die Umsetzung angemessener Schutzmassnahmen angezeigt.

Schutzmassnahmen

Zur Vermeidung der Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen bieten sich die klassischen Schutzmassnahmen an, die auch an technischen Arbeitsplätzen zur Expositionsvermeidung oder -reduzierung eingesetzt werden. Auch an medizinischen Arbeitsplätzen ist zudem die übliche Rangfolge der Wahl von Schutzmassnahmen zu beachten, d.h. zuerst die Vermeidung einer Gefährdung (Substitution), dann der Einsatz von technischen Schutzmassnahmen (Kapselung der Gefahr, Quellenabsaugungen etc.), dann der Einsatz organisatorischer Schutzmassnahmen (Einsatzpläne etc.), und erst zuletzt der Einsatz persönlicher Schutzmassnahmen (Atemschutzmaske etc.).

Als Entscheidungsgrundlage für die zu treffenden Schutzmassnahmen ist eine Gefährdungsbeurteilung zu erstellen.

Technische Schutzmassnahmen

Die Absaugung von chirurgischen Rauchgasen an der Entstehungsstelle ist die technisch beste Schutzmassnahme. Dabei lassen sich folgende Empfehlungen formulieren:

- chirurgische Absaugsysteme

Wenn die Menge des chirurgischen Rauches gering ist, kann ein chirurgisches Absauggerät (klassische Wandabsaugungen) mit einem zwischengeschalteten Einmalfilter verwendet werden, um den Rauch aus dem Operationsfeld zu entfernen [20,21,22].

- mobile Rauchgasabsaugungen

Für größere Mengen an Rauchgasen sollten eigenständige (mobile) Rauchabsaugsysteme verwendet werden, die gegenüber chirurgischen Absaugsystemen eine über zwanzigfach höhere Absaugleistung aufweisen können.

Mobile Rauchgasabsaugungen werden von den Herstellern sowohl für die Laserchirurgie als auch die Elektrochirurgie angeboten.

Bei der Auswahl des Gerätes ist auch auf den Geräuschpegel zu achten, der sowohl durch das Aggregat selbst als auch durch den Absaugvorgang entstehen kann.

Bei den üblichen Absaugsystemen mit Luftrückführung sollte das **Filtersystem** sowohl partikelförmige als auch gas-/dampfförmige Substanzen zurückhalten können. Werden chirurgische Rauchgase regelmäßig in schlecht gelüfteten Räumen freigesetzt, wie z.B. in Praxis- oder Ambulanzräumen mit nur natürlicher Lüftung, kann es wegen der Geruchsbelästigung und wegen der Freisetzung auch gas- und dampfförmiger Pyrolyseprodukte sinnvoll sein, den Einsatz von Aktivkohlefiltern in den Absaugeinrichtungen vorzusehen.

- Technische Raumlüftungen

Medizinische Behandlungsräume verfügen in der Regel über eine technische Raumlüftung nach nationalen Vorgaben, die den dort notwendigen hygienischen Bedürfnissen Rechnung tragen. OP Lüftungen müssen beispielsweise die Keim- und Partikelanzahl in der Luft reduzieren und gleichzeitig die entstehende Wärmelast und die Gefahrstoffemissionen sicher aus dem Raum abführen. Dies kann über verschiedene Luftzufuhr- und -ableitsysteme erfolgen, etwa über deckennahe Lufteinleitungen und bodennahe Luftauslässe, oder über Laminarflow-Decken, die über dem OP-Feld angebracht sind und eine turbulenzarme Luftströmung von oben nach unten garantieren sollen. Dabei werden große Luftmengen benötigt, die etwa bei 1000 – 2000 m³/h Frischluft liegen. Dies entspricht einem ca. 10 bis 20 fachen stündlichen Luftwechsel.

Geringe Mengen an Rauchgasen werden von technischen Lüftungen dieses Ausmaßes schnell aus dem Raum geführt. Es kommt zu keiner relevanten Anreicherung der Rauchgase in den einzelnen Arbeitsbereichen.

Die technischen Raumlüftungen in OPs sind bei den oben genannten Frischluftmengen ca. 20 bis 40 Mal leistungsfähiger als eine mobile Rauchgasabsaugung. Die technische Raumlüftung sollte daher unter diesen Umständen von der mobilen Rauchgasabsaugung nicht wesentlich beeinflusst werden.

- Absaugung von Rauch aus Endoskopen

Eine Absaugung von Rauchen aus Körperhöhlen, z.B. bei endoskopischen Eingriffen, ist technisch aufwändig. Diese Rauchgase stellen kein arbeitsmedizinisches Problem für die behandelnden Personen dar, sondern sind wegen der Beeinflussung der Sicht bei den endoskopischen Behandlungen eher ein Problem für den Chirurgen, welches im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter behandelt werden soll.

Organisatorische Schutzmassnahmen

- Überwachung der Wirksamkeit von Schutzmassnahmen

Eine Überwachung der getroffenen Schutzmassnahmen hilft, den Schutzstandard der Beschäftigten zu sichern. Die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmassnahmen (z.B. Lüftungseinrichtungen, Absaugeinrichtungen) ist in regelmäßigen Abständen kritisch zu kontrollieren. Weiterhin sollte regelmäßig überprüft werden, ob die Gefährdungsbeurteilung als Entscheidungsgrundlage für die getroffenen Massnahmen noch aktuell ist und ob sie die realen Verhältnisse vor Ort ausreichend berücksichtigt.

- Arbeitspläne

Durch arbeitsorganisatorische Massnahmen wie z.B. die Erstellung wirksamer Arbeitspläne ist dafür zu sorgen, dass eine möglichst effektive Trennung eines Großteils der Beschäftigten und der entstehenden chirurgischen Rauchgase erreicht wird.

- Information der Beschäftigten

Die Beschäftigten in Operationseinheiten können sich am besten vor chirurgischen Rauchgasen schützen, wenn sie über die Entstehungsmechanismen des Rauchs, die dadurch bestehenden Gefährdungen und die möglichen Schutzmassnahmen informiert sind.

Persönliche Schutzmassnahmen

Sind eine wirksame Absaugung und eine ausreichende Raumlüftung vorhanden, besteht während den chirurgischen Eingriffen aus Sicht des Arbeitnehmerschutzes keine Notwendigkeit, zusätzliche persönliche Schutzmassnahmen zu ergreifen, vielmehr bestimmen dann allein die hygienischen Anforderungen an die Durchführung chirurgischer Eingriffe, welche Schutzmassnahmen für die Beschäftigten erforderlich sind.

Der normale medizinische Mundschutz (surgical mask) stellt eine hygienische Massnahme dar, die gegenüber gas- oder dampfförmigen Substanzen keinen adäquaten Schutz bietet. Er hält auch keine kleinstskaligen Partikel zurück, die bei Pyrolysevorgängen entstehen können. Ebenso ist dieser Mundschutz kein geeignetes Mittel, um sich gegen biologische Risiken (Viren, Zellteile) zu schützen.

Geeigneter Atemschutz vor partikulären Komponenten der chirurgischen Rauchgase sind partikelfiltrierende Halbmasken gemäss EN 149:2001 + A1:2009 (mindestens Filterklasse FFP2) [23]. Gas- und dampfförmige Komponenten können nur durch geeignete Aktivkohlefilter zurückgehalten werden.

Bei Instandhaltungsarbeiten an Lüftungs- und Filteranlagen sind auf der Grundlage einer Gefährdungsermittlung geeignete persönliche Schutzmassnahmen zu ergreifen.

Arbeitsmedizinische Vorsorge

Zurzeit verfügt die Arbeitsmedizin nur über sehr wenige Kriterien für eine medizinische Vorsorge bei den hier präsentierten Tätigkeiten und Expositionen. Bis jetzt sind praktisch keine Erkrankungen durch chirurgische Rauche bekannt geworden. Eine spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung mit dem Ziel einer Früherkennung von Erkrankungen durch Exposition zu chirurgischen Rauchen ist deshalb nicht sinnvoll. Vorsorgeprogramme, die im Wesentlichen auf die Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen ausgerichtet sind, werden nach unseren Kenntnissen nirgends routinemässig durchgeführt.

Für die weiteren Details wird auf die umfassende Broschüre der IVSS verwiesen [2].

Literatur

- [1] **Aldinger P.R.;** Kleine H.; Goebel A.; Eickmann U.; Breusch S.J.; Schadstoffemissionen bei der Entfernung von Knochenzement mit Ultraschallgeräten in der Revisionsendoprothetik. Biomed. Technik 2001; 46: 287-289.
- [2] **IVSS,** Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten im Gesundheitswesen: Eickmann U.; Falcy M.; Fokuhl I.; Rüeegger M.; Bloch M.; Chirurgische Rauchgase – Gefährdungen und Schutzmassnahmen, Hamburg 2010, erhältlich unter www.issa.int. oder www.suva.ch
- [3] **Eickmann U.;** Falcy M; Fokuhl I; Rüeegger M; Bloch M.; Chirurgische Rauchgase - Gefährdungen und Schutzmaßnahmen. Arbeitsmed. Sozialmed.Umweltmed. 2011; 46: 14-23.
- [4] **Alp E.;** Bijl D.; Bleichrodt R.P.; Hansson B.; Voss A.; Surgical smoke and infection control. Journal of Hospital Infection 2006; 62: 1-5.
- [5] **Al Sahaf O.S.;** Vega-Carrascal I.; Cunningham F.O.; McGrath J.P.; Bloomfield F.J.; Chemical composition of smoke produced by high-frequency electrosurgery. Ir J Med Sci 2007; DOI 10.1007/s11845-007-0068-0. 176: 229-232.
- [6] **Walker B.;** High efficiency filtration removes hazards from laser surgery. Br J Theatre Nurs 1990; 27,6: 10-12.
- [7] **Garden J.M.;** O'Bannion M.K.; Shelnitz L.S.; Pinski K.S.; Bakus A.D.; Reichmann M.E.; Sundberg J.P.; Papillomavirus in the vapor of carbon dioxide laser-treated verrucae. JAMA 1988; 259,8: 1199-1202.
- [8] **Sawchuk W.S.;** Weber P.J.; Lowy D.R.; Dzubow L.M.; Infectious papillomavirus in the vapor of warts treated with carbon dioxide laser or electrocoagulation: detection and protection. J Am Acad Dermatol 1989; 21,1: 41-9.
- [9] **Kashima H.K.;** Kessis T.; Mounts P.; Shah K.; Polymerase chain reaction identification of human papillomavirus DNA in CO₂ laser plume from recurrent respiratory papillomatosis. Otolaryngology-Head and Neck Surgery 1991; 104,2: 191-195.
- [10] **Gloster H.M.;** Roenigk R.K.; Risk of acquiring human papillomavirus from the plume produced by the carbon dioxide laser in the treatment of warts. Journal of the American Academy of Dermatology 1995; 32,3: 436-441.
- [11] **Garden J.M.;** O'Bannion M.K.; Bakus A.D.; Olson C.; Viral disease transmitted by laser-generated plume (Aerosol). Arch Dermatol 2002; 138: 1303-1307.
- [12] **Fletcher J.N.;** Mew D.; DesCoteaux J.G.; Dissemination of melanoma cells within electrocautery plume. Am J Surg 1999; 178,1: 57-59.
- [13] **King B.;** McCullough J.; Health Hazard Evaluation Report. HETA ,#2000-0402-3021 Inova Fairfax Hospital Falls Church, Virginia. November 2006 (2006a).
- [14] **King B.;** McCullough J.; Health Hazard Evaluation Report. HETA ,#2001-0066-3019 Morton Plant Hospital Dunedin, Florida. October 2006 (2006b).

- [15] **King B.;** McCullough J.; Health Hazard Evaluation Report. HETA ,#2001-0030-3020 Carolinas Medical Center Charlotte, North Carolina. November 2006 (2006c).
- [16] **Calero L.;** Brusis T.; Larynxpapillomatose – erstmalige Anerkennung als Berufskrankheit bei einer OP-Schwester. Laryngo-Rhino-Oto 2003; 82: 790-793.
- [17] **Scott E.;** Beswick A.; Wakefield K.; The Hazards of Diathermy Plume. Part 1: The Literature Search. British Journal of Perioperative Nursing 14 2004; 9, 409-414. Part 2: Producing Quantified Data. British Journal of Perioperative Nursing 14 2004; 10: 452-456.
- [18] **Gates M.A.;** Feskanich D.; Speizer F.E.; Hankinson S.E.; Operating room nursing and lung cancer risk in a cohort of female registered nurses. Scand J Work Environ Health 2007; 33: 140-7.
- [19] **Sugarbaker P.H.;** Peritonectomy procedures. Surg Oncol Clin N Am 2003; 12: 703-27.
- [20] **DIN EN 60601-22;** Medizinische elektrische Geräte - Teil 2-22: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale für chirurgische, therapeutische und diagnostische Lasergeräte IEC 76/314/CDV:2005; Deutsche Fassung prEN 60601-2-22:2005 VDE 0750-2-22:2005-11.
- [21] **DIN EN 60601-2-22 Beiblatt 1;** Sicherheit von Lasereinrichtungen – Leitfaden für die sichere Anwendung von Laserstrahlung am Menschen IEC/TR 60825-8-2006; Oktober 2007.
- [22] **Ball K.;** Controlling Surgical Smoke: A Team Approach. Information Booklet 2004. IC Medical Inc. 2002 W. Quail Avenue, Phoenix, AZ 85027.
- [23] **EN 149;** Atemschutzgeräte – Filtrierende Halbmasken zum Schutz gegen Partikel – Anforderungen, Prüfung, Kennzeichnung; Deutsche Fassung EN 149:2001 + A1:2009

Autorengruppe

Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern (CH):

Dr. med. Brigitte Merz, Dr. med. Martin Rüegger, Dr. phil. nat. Edgar Käslin

Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW), Hamburg (D):

PD Dr. Ing. Udo Eickmann, Dr. rer. nat. Inga Fokuhl

Institut national de recherche et de sécurité (INRS) Paris (F):

Dr. med. Michel Falcy, Martine Bloch