



issa

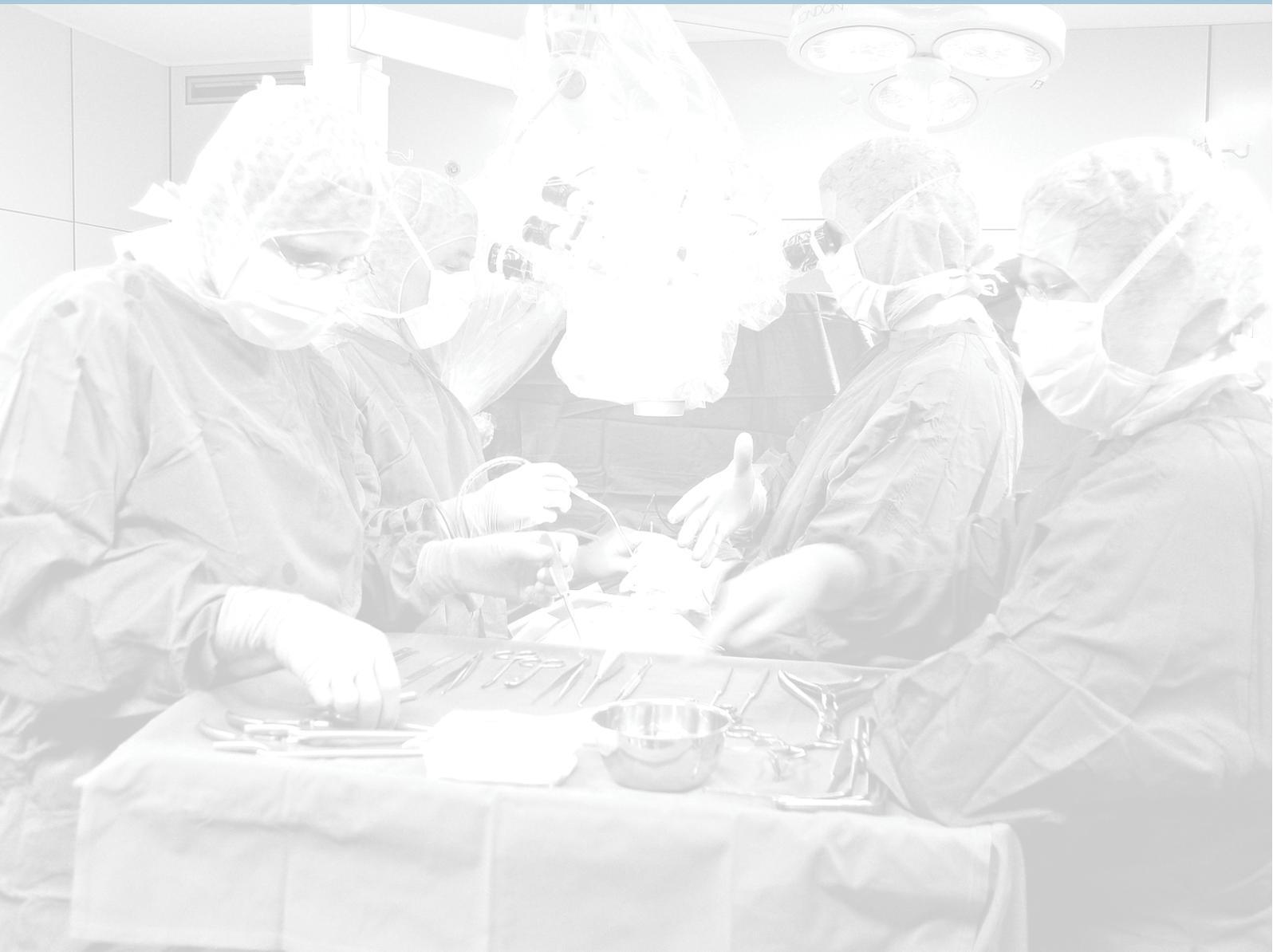
INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT | IVSS

Sektion für den Arbeitsschutz im Gesundheitswesen



Chirurgische Rauchgase: Gefährdungen und Schutzmaßnahmen

Arbeitspapier für Arbeitsschutzexperten in betroffenen gesundheitsdienstlichen Einrichtungen



Chirurgische Rauchgase: Gefährdungen und Schutzmaßnahmen

Autoren

PD Dr. Ing. Udo Eickmann (Vorsitz Arbeitsgruppe)
Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW),
Hamburg (D)

Dr. med. Michel Falcy
Institut national de recherche et de sécurité (INRS)
Paris (F)

Dr. rer. nat. Inga Fokuhl
Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW),
Hamburg (D)

Dr. med. Martin Rügger
Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva)
Luzern (CH)

Unter Mitarbeit von

Martine Bloch
Institut national de recherche et de sécurité (INRS)
Paris (F)

Dr. med. Brigitte Merz
Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva)
Luzern (CH)

Herausgeber

Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und
Berufskrankheiten im Gesundheitswesen
D 22089 Hamburg, Pappelallee 33/35/37
Deutschland

Layout

Susanne Stamer
Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW),
Hamburg (D)

ISSA Prevention Series
ISBN 978-92-843-7194-5
ISSN 1015-8022 No Serie 2058
© IVSS 2011

Inhalt

Vorwort 4

1	Einleitung.....	5
2	Zusammensetzung und Wirkung chirurgischer Rauchgase....	6
2.1	Qualitative Zusammensetzung	6
2.1.1	Partikuläre Zusammensetzung	7
2.1.2	Organische Schadstoffe.....	8
2.1.3	Anorganische Schadstoffe	8
2.1.4	Biologische Schadstoffe.....	9
2.2	Wirkungen der Inhaltsstoffe	10
2.2.1	Partikel	10
2.2.2	Chemische Schadstoffe	11
2.2.3	Biologische Schadstoffe.....	13
2.3	Gesundheitliche Auswirkungen.....	14
2.3.1	Allgemeine Wirkungen	14
2.3.2	Spezifische Wirkungen	15
2.4	Erfahrungen beim Menschen.....	16
2.5	Zusammenfassende Bewertung	19
3	Expositionen bei Tätigkeiten mit Rauchentwicklung und ihre Bewertung	20
3.1	Beschreibung der Stoffquellen (vgl. auch Kapitel 2).....	20
3.2	Beschreibung der Expositionsdeterminanten	21
3.2.1	Chirurgische Arbeitsgeräte	21
3.2.2	Einrichtungen zur Rauchabsaugung.....	23
3.2.3	Raumlufttechnische Anlagen	25
3.2.4	Tätigkeiten.....	26
3.2.5	Arbeitsorganisatorische Aspekte	26
3.2.6	Individuelle Einflüsse	27
3.2.7	Qualitätssichernde Aspekte	27
3.3	Beschreibung der Exposition	27
3.3.1	Vorliegende Messdaten	28
3.3.2	Weitere Expositionsinformationen	31
3.4	Bewertung der Expositionen	32
4	Schutzmaßnahmen	34
4.1	Substitution	34
4.2	Technische Schutzmaßnahmen	35
4.3	Organisatorische Schutzmaßnahmen	38
4.4	Persönliche Schutzmaßnahmen	38
4.5	Arbeitsmedizinische Vorsorge	39

5	Information und Unterweisung.....	40
6	Überwachung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen.....	41
7	Zusammenfassung	43
8	Quellenverzeichnis	45

Vorwort

Seit 1993 bearbeitet eine Arbeitsgruppe der Sektion Gesundheitswesen der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS) aktuelle Probleme des Arbeitsschutzes im Gesundheitsbereich. Dabei geht es ausnahmslos um Aspekte des Umganges mit chemischen Arbeits- und Gefahrstoffen.

Die Arbeitsgruppe setzt sich aus Mitarbeitenden der deutschen Berufsgenossenschaft Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW, Frau Dr. I. Fokuhl), des Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS, Herr Dr. M. Falcy, Frau M. Bloch) und der Schweizerischen Unfallversicherungsanstalt (Suva, Herr Dr. M. Rügger, Frau Dr. B. Merz) zusammen. Den Vorsitz der Arbeitsgruppe führt derzeit Herr Dr. U. Eickmann der BGW.

Die bisher publizierten Schriften zum sicheren Umgang mit Zytostatika, mit Desinfektionsmitteln, mit Anästhesiegasen sowie bei der Aerosolbehandlung mit Pentamidin und Ribavirin richteten sich primär an Spezialisten der Arbeitssicherheit.

Dagegen wendet sich die aktuelle Publikation in besonderem Maße an das Personal von Operationseinrichtungen, das gegenüber chirurgischen Rauchgasen exponiert ist. Die Schrift möchte nicht nur Kenntnisse und Fakten zur bestehenden Gefährdung vermitteln, sondern vor allem aufzeigen, welche Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit der Exponierten getroffen werden können.

Die Verfasser hoffen, dass der vorliegende Text bei den Betroffenen Interesse findet und zur Verhütung von gesundheitlichen Beeinträchtigungen oder gar Krankheiten durch chirurgische Rauchgase beiträgt.

1 Einleitung

Seit vielen Jahren sind chirurgische Verfahren bekannt, bei denen durch Hitzeeinwirkung und neuerdings auch durch Ultraschall Gewebe schonend zertrennt, verschorft oder Blutungen gestillt werden können. Dazu gehören

- Arbeiten mit elektrochirurgischen Geräten, z.B. Elektrokaatern mit insbesondere monopolaren und bipolaren Elektroden (etwa bei der Tumorentfernung, z.B. Peritonektomie (Andreasson, Anundi et al., 2008), Laparoskopie und andere endoskopische Eingriffe (Ball, 2004))
- Arbeiten mit dem Laser (z.B. in der Ophthalmologie, Excimer-Laser (ASORN, 2002))
- besondere Tätigkeiten wie z.B. die Entfernung von Knochenzement mit Ultraschalleinrichtungen in der Revisionsendoprothetik (Aldinger et al., 2004)

Alle diese Verfahren erzeugen Rauche, deren Zusammensetzung detailliert erforscht und beschrieben worden ist und von denen man auf Grund von in vitro Versuchen und einzelnen Tierexperimenten annehmen muss, dass von ihnen gesundheitsschädigende Auswirkungen auf das exponierte OP-Personal ausgehen können.

Die Rauche 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 ausfällt. Ob und wenn ja in welchem Ausmaß sich diese Auswirkungen tatsächlich in Form fassbarer Krankheiten und gesundheitlicher Beeinträchtigungen beim betroffenen Personal manifestieren, ist dagegen nur ansatzweise erforscht. Seit einigen Jahren befassen sich auch große Arbeitsschutzinstitutionen wie das amerikanische NIOSH mit der Expositionsbeschreibung und der Ableitung von Schutzmaßnahmen. Allein in den USA wird die Zahl der im Gesundheitsdienst betroffenen Personen auf mehrere hunderttausend Beschäftigte geschätzt (Ball, 2004). In Europa muss man aufgrund der noch größeren Bevölkerungszahl von mindestens einer ähnlichen Anzahl ausgehen.

Ausgehend vom Vorsorgeprinzip, das heißt der Idee, potenzielle Gesundheitsgefahren von Anfang an und präventiv so weit wie möglich auszuschließen bzw. zu minimieren, ist es das Ziel dieser Publikation, die Gefahren durch chirurgische Rauchgase anhand bisher vorhandener Literaturdaten aufzuzeigen und darzulegen, welche Maßnahmen sinnvoller Weise festgelegt werden sollten, um dem betroffenen OP Personal einen risikoadäquaten Schutz vor Belästigung und möglichen Erkrankungen zu bieten.

Die Schrift richtet sich an das betroffene Personal, (Chirurgen, technische Operationsassistentinnen) und an Arbeitssicherheitsexperten des

Gesundheitswesens, verantwortliche Leiter von Krankenhäusern und Gesundheitseinrichtungen sowie andere an der Thematik interessierte Kreise.

2 Zusammensetzung und Wirkung chirurgischer Rauchgase

Die Rauche, die bei einer chirurgischen Inzision oder einem Eingriff mit Hilfe eines Lasers erzeugt werden, stellen nach Aussage der Operateure eine geruchliche Belästigung dar. Es fragen sich jedoch nur wenige Betroffene, ob diese Gas, Dampf oder feste Partikel emittierenden Verfahren auch ein gesundheitliches Risiko darstellen.

Die Exposition besteht in einer komplexen Mischbelastung biologischer, zellulärer, partikelförmiger und gas- bzw. dampfförmiger Art. Häufig ist diese Belastung erheblich, denn im Laufe verschiedener chirurgischer Eingriffe wie zum Beispiel zur Krebsverkleinerung kann die Resektion eines Tumors, des parietalen Bauchfells, verschiedener innerer Organe sowie die Elektrokoagulation von Tumorknötchen an der Oberfläche des viszeralen Bauchfells zwischen 2 und 12 Stunden dauern, womit eine lang dauernde Exposition gegenüber chirurgischem Rauch bestehen kann (Sugarbaker, 2003). Dieses mit der Elektrokoagulation kombinierte Verfahren wird in der Vorbereitung auf hyperthermische Chemotherapien angewandt und setzt eine große Menge Rauch frei.

Noch vor einer Erforschung der potenziellen Gefährdungen durch diese Verfahren ist es wichtig, die Bestandteile der chirurgischen Rauchgase qualitativ, und wenn möglich auch quantitativ, zu bestimmen.

2.1 Qualitative Zusammensetzung

Je nach eingesetztem Verfahren und behandeltem Gewebe unterliegt die quantitative Zusammensetzung des Rauchs großen Schwankungen (Al Sahaf et al., 2007). Es ist allerdings möglich, sich einen Eindruck über die qualitative Zusammensetzung zu verschaffen. Dies soll im Folgenden gezeigt werden.

Physiologisch bedingt ist Wasserdampf der Hauptbestandteil des Rauchs und der Aerosole. Sein Gehalt wird auf bis zu 95% geschätzt, was wahrscheinlich mit der Art der bearbeiteten Gewebe zusammenhängt. Dieser Wasserdampf wirkt wie ein Transportmedium für die anderen Komponenten (Al Sahaf, 2007).

2.1.1 Partikuläre Zusammensetzung

Die Größe der entstehenden Partikel reicht von mehr als 200 Mikrometer bis zu weniger als 10 Nanometer. Der mittlere Partikeldurchmesser hängt unter anderem von der Intensität der Energieeinwirkung auf das Gewebe ab. Angegeben werden für (Alp, Bijl et al., 2006):

- 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 wird und sich in den Lungenbläschen ablagern kann. Die quantitative Bestimmung der Fraktion an Partikeln im Nanometerbereich ist sicherlich nicht in ausreichendem Masse erfolgt und ihre Auswirkungen sind derzeit nicht bekannt. Unlängst erschienene Artikel versuchen eine Antwort auf dieses aktuelle Thema zu geben. Andréasson et al. (2008) maß die Partikelemission und -größe im Verlauf von Eingriffen bei Bauchfellkarzinosen oder anderen Eingriffen am Verdauungsapparat. Die Messungen lagen zwischen 1 und $10 \mu\text{m}$ bei den „klassischen“ Partikeln und zwischen $0,02$ und $1 \mu\text{m}$ bei den „nanometrischen“ Partikeln (Hinweis: Die Grenze zu „Nanopartikeln“ wird in der Literatur bei einem Partikeldurchmesser von $0,1 \mu\text{m}$ gezogen). Die Probenahme erfolgte in Höhe der Atemwege. Die Ergebnisse weisen bei vollintensiven, d.h. mit hohen Spannungen durchgeführten Kauterisationen von Bauchfellkarzinosen auf eine höhere Exposition hin als beim Einsatz klassischer Verfahren (hier: bei Resektion von Dickdarmkrebs). Die kumulierten Werte liegen bei $9,3 \times 10^6$ Partikel $\text{ml}^{-1}\text{h}^{-1}$ gegenüber $4,8 \times 10^5$ Partikel $\text{ml}^{-1} \text{h}^{-1}$ bei personenbezogenen Probenahmen und $2,6 \times 10^6$ Partikel $\text{ml}^{-1} \text{h}^{-1}$ gegenüber $3,9 \times 10^4$ bei Probenahmen in der Raumluft. Die Ergebnisse werden durch Brüske-Hohfeld et al. (2008) bestätigt, die die Exposition gegenüber ultrafeinen Partikeln ($0,01$ bis $1 \mu\text{m}$) während unterschiedlicher chirurgischer Eingriffe evaluiert hat. Zu den belastendsten Verfahren gehören die Elektrokauterisation und die Gewebekoagulation mittels Argonlaser. Die Verfasser stellten durchschnittliche Konzentrationen von $1\,930$ Partikeln cm^{-3} fest mit einem Höchstwert von $18\,3000$ bei der Elektrokauterisation von Gewebeverwachsungen. Die höchsten Konzentrationen wurden bei einem Eingriff an einem Leber-Hämangiom gemessen: Durchschnitt $12\,200$ – Höchstwert $490\,000$ Partikel cm^{-3} . Im Gegensatz zur Entfernung der Gallenblase verursacht die Ablation eines Tumors im hinteren Bauchraum und die Operation eines Leistenbruchs eine hohe Belastung mit Schadstoffen.

2.1.2 Organische Schadstoffe

Im Rauch wurden zahlreiche organische Pyrolyseprodukte gefunden, wobei die nachfolgende Aufzählung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt: Aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylole), Cyanwasserstoff (HCN), Formaldehyd und natürlich auch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (s. Tab. 1).

Mehrere Verfasser haben versucht, die chemischen Bestandteile im chirurgischen Rauch genauer zu bestimmen (s. Kap. 3) Unter anderem kommen sie zum Schluss, dass die Zusammensetzung der Rauche sehr unterschiedlich ist und von der Art des Eingriffs und der verwendeten Geräte abhängt.

Al Sahaf et al. (2007) hat wiederholt auf das Vorhandensein von Kohlenwasserstoffen, Nitrilen, Fettsäuren und Phenolen hingewiesen. Er hat Analysen unter verschiedenen Einsatzbedingungen durchgeführt und konnte so quantitative Unterschiede bei den Schadstoffen im Rauch feststellen.

Tabelle 1: Qualitative Auflistung der wesentlichen chemischen, überwiegend organischen Bestandteile im Rauch von Chirurgie-Lasern (Barrett).

Acetonitril	Formaldehyd
Acetylen	Kohlenmonoxid
Acrolein	Kresol
Acrylonitril	Methan
Alkylbenzole	Phenol
Benzol	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Butadien	Propen
Butan	Pyridin
Buten	Pyrrol
Cyanwasserstoff	Styrol
Ethan	Toluol
Ethylen	Xylol

2.1.3 Anorganische Schadstoffe

Wie bei jedem Verbrennungsprozess entstehen auch bei elektrochirurgischen Verfahren Kohlenstoffoxide (CO und CO₂), Schwefel- und Stickstoffoxide sowie Ammoniak. Diese Stoffe verursachen Reizungen der Atemwege oder Gewebhypoxien.

2.1.4 Biologische Schadstoffe

Wie bereits erwähnt, setzt die Verdampfung von Gewebe über Laser oder elektrochirurgische Eingriffe Rauch und Aerosole frei, die große Mengen an Partikeln enthalten können. Es kann sich um intakte Zellen, Zellfragmente, Blutzellen und um virale DNA-Fragmente handeln.

Aus Laserrauch konnten lebensfähige Bakterien gezüchtet werden, und zwar *Bacillus subtilis*, *Staphylococcus aureus*, aber auch Mycobakterien wie *Mycobacterium tuberculosis* (Walker, 1990).

Schon im Jahr 1987 hatte Byrne et al. (1987) die Verteilung und die Überlebensfähigkeit von Bakterien nach CO₂-Laser-Behandlung untersucht. Hierfür belegte er Röhrchen mit einem Nährmedium, das mit *Escherichia coli* und *Staphylococcus aureus* beimpft war. Das Innere dieser Röhrchen wurde anschliessend mit einem Laser bestrahlt und der entstehende Rauch gesammelt. Dieser enthielt lebensfähige Keime, insbesondere Staphylokokken.

Des Weiteren konnten im Rauch infektiöse Viren wie HIV (Humanes Immunschwäche-Virus), HBV (Hepatitis B-Virus), BPV (Bovines Papilloma-Virus) und HPV (Humanes Papilloma-Virus) nachgewiesen werden. Die Art der Belastung mit Mikroorganismen hängt zu einem großen Teil von der Art der durchgeführten Eingriffe ab. Die meisten Arbeiten gelten dem Humanen Papilloma-Virus; so wurde die DNA dieses Virus mehrfach in Proben von Rauch nachgewiesen, der bei der Laser-Koagulation von Warzen entsteht (Garden, 1988; Sawchuk, 1989; Kashima, 1989; Gloster, 1995). Eine bei einer Krankenschwester diagnostizierte Larynxpapillomatose wurde sogar als Berufskrankheit anerkannt; die Pflegekraft hatte bei Behandlungen von Papillomatosen assistiert (Calero, 2003) (siehe auch Kap. 2.2).

Es ist schwierig, die Lebensfähigkeit von im Rauch nachgewiesener DNA zu bestimmen, da es dafür keinen speziellen Test gibt. Im Jahre 1988 untersuchte Garden den Rauch von CO₂-Lasern auf DNA des bovinen Papillomavirus (BPV) und des humanen Papillomavirus (HPV), ohne den Nachweis zu erbringen, dass diese DNA noch ansteckend war. Ergänzt wurde diese Forschungsarbeit durch die Inokulation von eingefangenen Rauch während der Entfernung von bovinen Feigwarzen mittels CO₂-Laser auf drei Schafe. Zwei der drei Tiere entwickelten einen charakteristischen Tumor an der Übertragungsstelle (Garden, 1988, 2002).

Im Rahmen eines in-vitro-Versuchs beimpfte Johnson et al. (1991) Zellkulturen mit HI-Viren. Er setzte diese Kulturen der Wirkung verschiedener medizinischer Geräte aus, die üblicherweise Aerosole erzeugen. Nur Geräte, die so genannte „kalte“ Aerosole erzeugen, konnten lebensfähige Viren übertragen. Rauch aus Elektrokoagulations- oder Schneidgeräten enthielt hingegen keine lebensfähigen Viren. Im Jahre 1991 entdeckte Baggish seinerseits (1991) virale HIV DNA im Rauch eines CO₂-Lasers, der auf einer

infizierten Zellkultur benutzt worden war. Die Analyse erfolgte in diesem Fall mit Hilfe der Polymerase-Kettenreaktion (PCR).

Fletcher et al. (1999) wies lebensfähige Melanomzellen im Rauch aus der Elektrokauterisation eines Melanoms nach. Bei einem Eingriff im hohen Leistungsbereich (30 W) war die Anzahl der lebensfähigen Zellen geringer als bei 10 W.

2.2 Wirkungen der Inhaltsstoffe

Chirurgischer Rauch kann dosisabhängig Symptome einer akuten Intoxikation in Form von Kopfschmerzen, Schwächegefühl, Übelkeit, Muskelschwäche sowie auch Reizungen der Augen und der Atemwege verursachen. Insbesondere Asthmatiker reagieren recht häufig empfindlich auf eingeatmete Partikel.

Ferner kann der Rauch einen unangenehmen Geruch hervorrufen, der vom Personal häufig als störend beschrieben wird, und den Operateur in seiner Sicht auf den OP-Bereich behindern.

2.2.1 Partikel

Die Wirkung von Partikeln auf den Organismus hängt von ihrer Größe und der chemischen Zusammensetzung ab. So werden beispielsweise Partikel unter $3\mu\text{m}$ in Deutschland als „alveoläre Fraktion“, diejenigen kleiner als $10\mu\text{m}$ als „thorakale Fraktion“ bezeichnet. Teilchen dieser Größe vermögen in den Bronchialbaum einzudringen, lagern sich dort ab und können Zellschädigungen verursachen. Die Wirkungen sind unterschiedlich. Sie reichen von der einfachen Überlastung der Atemwege durch inerte Partikel (z.B. Titandioxid) über lokal irritierende Wirkungen (Rhinitis, Bronchitis) bis zu bösartigen Tumoren (Nasennebenhöhlen, Bronchien). Ein Teil kann auch in den Blutkreislauf gelangen und systemisch toxische Effekte hervorrufen (Metalle).

Besonders hinzuweisen ist auf die Partikel im Nanobereich, bezüglich deren Toxizität für den Menschen zurzeit wenig bekannt ist. Die Mehrzahl der vorhandenen Daten stammt aus Zell- und Tierversuchen.

Immerhin konnte gezeigt werden, dass die ultrafeinen luftgetragenen Schmutzpartikel, die über Industrie- und Dieselmotorabgase emittiert werden, toxische Effekte aufweisen, die für den Menschen gesundheitsgefährdend sind (Atemwegsallergien, Rhinitiden, Bronchitiden, Herz/Kreislaufprobleme, insbesondere bei empfindlichen Personen). Gewisse Bestandteile, die sich in Laserrauchen finden lassen, können auch in verschmutzter Luft nachgewiesen werden.

Im Weiteren ist eindeutig gezeigt worden, dass nanometrische Partikel im Vergleich zu mikro- oder makroskopischen Partikel gleicher stofflicher Zusammensetzung eine unterschiedliche Toxizität aufweisen (z.B. nanometrisches Titandioxid).

2.2.2 Chemische Schadstoffe

Für Detailangaben zur Toxikologie der im Folgenden besprochenen Substanzen wird auf die "Fiches toxicologiques" des INRS oder die "GESTIS" Stoffdatenbank der DGUV verwiesen (www.inrs.fr bzw. www.gestis.de). Die beschriebenen Wirkungen sind allgemeiner Natur und beziehen sich in der Regel nicht direkt auf die bei elektrochirurgischen Verfahren auftretenden Konzentrationen.

Zur Familie der **aromatischen Kohlenwasserstoffe** gehören im Wesentlichen drei chemische Verbindungen. Das von der IARC für den Menschen als krebserregend eingestufte **Benzol** kann Knochenmarkaplasie und Leukämien hervorrufen. Akute Expositionen äußern sich in einer Depression des Zentralnervensystems. Gefühl der Schwäche, der Trunkenheit, Übelkeit, Schwindel, Kopfschmerz, Narkose – diese Symptome treten bei Konzentrationen auf, die über denen in den chirurgischen Rauchgasen liegen.

Toluol und **Xylol** haben dieselben depressiven Eigenschaften auf das zentrale Nervensystem. Ferner bewirken sie Reizungen der Haut, der Augen- und der Atemwegsschleimhaut.

Gruppe der Aldehyde: sowohl **Formaldehyd**, **Acetaldehyd** als auch **Acrolein** sind drei Irritantien, die die Luftwege reizen. Sie wirken bereits bei niedriger Konzentration und können an der Bronchialschleimhaut erhebliche Schäden verursachen. Im Übrigen ist Formaldehyd ein Allergen für Haut und Atmungsorgane und ein Kanzerogen für die Nasennebenhöhlen.

PAK: Zu den beobachteten Beschwerden bei polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) zählen Reizungen des Auges, der Nase, des Rachenbereiches, der Haut und der Atemwege, verstärkte Müdigkeit, Kopfschmerzen, Übelkeit sowie Schlafstörungen. Manche Berichte erwähnen nicht maligne Erkrankungen der Lunge wie Bronchitis, Emphysem und Asthma.

Eine Reihe von **polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen** (darunter Benzo[a]pyren oder Dibenzo[a,h]anthracen) haben eine nachgewiesene krebserregende Wirkung und sind von der Europäischen Union als krebserzeugende Stoffe der Kategorie 2, im Einzelfall auch Kategorie 1B, eingestuft worden. Auch andere aromatische Verbindungen wie bestimmte Heterozyklen (zum Beispiel Benzonaphthothiophen) oder substituierte PAK können eine genotoxische Aktivität aufweisen.

Kresole: Die drei Kresolisomere können das Nervensystem beeinträchtigen und Verdauungsstörungen sowie Dermatosen hervorrufen. Ferner wurden mehr oder weniger schwere Schädigungen von Leber, Niere und Lunge beobachtet. Die Kresole gelangen über Mund, Haut oder Atmung in den Körper und nach einer starken Kontamination leiden die Personen schnell unter Reizungen der Augen mit Bindehautentzündung, Kopfschmerzen, Gefühl der Trunkenheit, Seh- und Hörstörungen, Tachykardie sowie Dyspnoe. Wiederholte Expositionen führen zu Erbrechen, Appetitlosigkeit, neurologischen Beschwerden, Kopfschmerz, Gefühl der Trunkenheit und Dermatosen.

Phenol reizt die Augen sowie die Augen- und Atemwegsschleimhaut. Chronische Expositionen führen zu Schluckbeschwerden, Erbrechen, Diarrhöe, Hämaturie, Appetitlosigkeit, Kopfschmerz, Benommenheit, Verhaltenstörungen, dunklem Harn und flüchtigen Hautrötungen.

HCN: Die im Laserrauch vorliegenden Mengen an **Cyanwasserstoff** (HCN) können keine akuten Symptome hervorrufen, allerdings ist eine chronische Vergiftung bei häufig exponierten Menschen nicht ausgeschlossen. Eine solche zeigt sich in der Regel in Kopfschmerzen, einem Schwächegefühl, Schwindel, Zittern, Übelkeit, Erbrechen, Magenschmerzen, Gewichtsverlust und Bindehautentzündung. Zudem können auch Beschwerden der Schilddrüse auftreten.

CO: Die Symptome für eine beginnende Vergiftung sind eher unspezifisch: Kopfschmerz, Schwindel, Schwächegefühl und Verdauungsprobleme. Die schwerwiegendsten Formen können zum Koma und zum Tod führen; ernsthafte neurologische Spätfolgen sind möglich. Das Problem der chronischen Vergiftung ist Gegenstand von Diskussionen; sie soll Ausgangspunkt einer Gefäßschädigung sein und damit das Myokard-Infarkt-Risiko erhöhen ebenso wie dasjenige gewisser neurologischer Erkrankungen, zu denen (beispielsweise) der M. Parkinson zählen könnte.

Die nachstehende Tabelle fasst die wesentlichen toxischen Wirkungen verschiedener Schadstoffe in Laserrauch zusammen (Frenette, 2003).

Tabelle 2: Chemische Verbindungen im chirurgischen Rauch und ihre gesundheitlichen Auswirkungen (Frenette, 2003).

Acetonitril ¹	Kreosot ³	2-Methylfuran
Acetylen	1-Decen	6-Methylphenol
Wasserstoffcyanid ¹	2,3 Dihydro-Inden ¹	2 Methylpropanol
Palmitinsäure	Ethan	PAK ³
Acrolein ¹	Ethylen	Phenol ^{1,9}
Acrylonitril ^{1,2,5}	Ethylbenzol	Polypropylen ^{1,8}
Alkylbenzolsulfonat	Formaldehyd ^{1,2,4,8}	Pyridin ^{1,11}
Benzaldehyd ¹	Furfural ^{1,2,9}	Pyrrol
Benzol ^{1,3,4,9,11}	Indol ¹	Styrol ¹
Nitrilbenzol	Isobutan	Toluol ^{9,11}
Butadien ^{1,2,4,9}	Methan	Xylol ¹¹
Schwefelkohlenstoff ^{1,6,7}	3-Methylbutan	m-Kresole ^{1,11}
Kohlenmonoxid ⁷		

- 1- Reizt Haut und Atemwege
- 2- Verdacht auf Kanzerogenität beim Menschen
- 3- Nachgewiesen kanzerogen beim Menschen
- 4- Verdacht auf Mutagenität beim Menschen
- 5- Verdacht auf Mutagenität beim Tier
- 6- Beeinträchtigt die Spermien beim Mann
- 7- Asphyxians und toxisch für Embryo und Foetus
- 8- Sensibilisierende Wirkung auf Atemwege möglich
- 9- Verdacht auf Teratogenität beim Tier
- 10- Verdacht auf Teratogenität beim Menschen
- 11- Depression des zentralen Nervensystems

Die nicht gekennzeichneten Substanzen sind entweder toxikologisch ungenügend charakterisiert oder weisen in starker Konzentration ausschließlich eine asphyktische Wirkung auf.

Ein Teil der organischen Schadstoffe gehört zur heterogenen Gruppe der „flüchtigen organischen Verbindungen“ (VOC), einer Mischung aus Substanzen verschiedener chemischer Familien, die sich in unterschiedlichen Konzentrationen in der Luft von Wohnräumen nachweisen lassen.

2.2.3 Biologische Schadstoffe

Es gibt nur sehr wenige Arbeiten, die ein Bild von den Gefahren vermitteln, die mit der biologischen Wirkung durch Inhalation von Laserrauch im OP-Bereich verbunden sind. Neben allgemeinen Wirkungen wurden im Wesentlichen mutagene und kanzerogene Wirkungen berücksichtigt.

2.3 Gesundheitliche Auswirkungen

2.3.1 Allgemeine Wirkungen

Die allgemeinen Wirkungen/Symptome wurden durch Alp (Alp, 2006) auf Basis der üblichen (bekannten) Bestandteile im Laserrauch in einem Register erfasst. Dieses Verzeichnis stammt nicht aus einer epidemiologischen Untersuchung, sondern es handelt sich um eine Liste mit theoretisch denkbaren Gefahren dieser Bestandteile. Sie umfasst mögliche akute (Reizung) und chronische (Krebserkrankungen) Wirkungen der Einzelstoffe.

Tabelle 3: Denkbare Gesundheitsgefahren durch chirurgische Rauchgase (nach Alp, 2006):

Augenreizungen	Hypoxie, Benommenheit
Tränenfluss	Kolik
Niesen	Kardiovaskuläre Beschwerden
Reizungen des Nasen-Rachen-Raumes	Hepatitis
Akute oder chronisch entzündliche Veränderung des Atemtrakts (Bronchitis, Asthma, Emphysem)	HIV-Infektion
Kopfschmerzen	Dermatosen
Schwäche	Anämie
Übelkeit, Erbrechen	Leukämie
Angst/Unruhe	Karzinom

In zwei Versuchsstudien von Baggish und seinen Mitarbeitern (1987, 1988) wurde die Möglichkeit einer Reizwirkung auf die Atemwege nachgewiesen. Bei einer dieser Studien an Ratten verursachte die intraalveoläre Instillation von Partikeln aus der Gewebeerddampfung durch CO₂-Laser eine interstitielle kongestive Pneumonie, eine Bronchiolitis und ein Emphysem. Bei dem anderen Versuch mit CO₂ Laser Rauch exponierten Ratten kam es zu einer Reizung der Lunge. Diese Wirkung war weniger ausgeprägt, wenn der Rauch zuerst über ein handelsübliches Absaugsystem geleitet worden war. Keinerlei Wirkung (weder klinisch noch histologisch) wurde festgestellt, wenn die Ratten gegenüber Rauch ausgesetzt wurden, der zuvor durch ein Hochleistungsfiltersystem mit Auffangen von Partikeln bis zu einer Größe von 0,1 Mikrometer geführt worden war.

Auch Freitag et al. (1987) weist die Reizwirkung von Laserrauch auf die Atmung nach. Die Konzentration für die exponierten Schafe lag bei 0,92 mg Partikel l⁻¹ mit einem mittleren Durchmesser von 0,54 Mikrometer. In

diesem Fall wurde die Reizwirkung über eine Analyse der Zellen bewertet, die man durch bronchoalveoläre Lavage gewonnen hatte.

2.3.2 Spezifische Wirkungen

Bisher sind nur die Genotoxizität und die Zytotoxizität als spezifische Wirkungen chirurgischer Rauchgase bewertet worden; die Anzahl der Untersuchungen ist allerdings gering und gestattet keine endgültige Schlussfolgerung.

Genotoxizität

An untersuchten Wirkungen unter Versuchsbedingungen wurde lediglich die Mutagenität mit Hilfe des Ames-Test (mit oder ohne Aktivatoren) untersucht.

Tomita et al. (1981) evaluierte das mutagene Potenzial von Rauch eines CO₂ Lasers, der auf der Schleimhaut einer Hundezunge eingesetzt worden war. Die Kondensationsprodukte stammten aus der Rauchabsaugung über ein Filterpapier und anschließender Verdünnung mit DMSO. Die auf diese Weise erzeugte Mischung wurde mit den im Ames-Test verwendeten Salmonellen-Stämme TA 98 und TA 100 geprüft. Das Ergebnis war positiv auf TA 98 (mit und ohne metabolische Aktivierung) und auf TA 100 (mit metabolischer Aktivierung S9-Mix aus Rattenleber nach Induktion durch Polychlorobiphenyle).

Gatti et al. (1992) führte eine ähnliche Untersuchung durch, allerdings auf Basis einer Luftprobe, die während einer Mastektomie mit einem Elektroskalpell gewonnen worden war. Das auf diese Weise erhaltene Kondensationsprodukt wurde ebenfalls mit den Salmonellen-Stämmen TA 98 und TA 100 getestet. Bei gleichzeitiger Anwesenheit eines metabolischen Aktivators (S9 Mix aus Rattenleber nach Induktion durch Aroclor 1254) wurde eine mutagene Aktivität bei TA 98 nachgewiesen.

Obwohl diese Ergebnisse positiv sind, sind sie leider nur wenig zahlreich. Sie sind nicht unbedingt für jeden Rauch repräsentativ, der von Lasern in Abhängigkeit ihrer Leistung, des behandelten Gewebes und der Umgebung erzeugt wird.

Zytotoxizität

Der Rauch, der unter Versuchsbedingungen durch wiederholte Schnitte mit einem Hochfrequenz-Elektro-Skalpell auf einer Schweineleber gebildet wurde, ist auf eine Kultur aus Mammakarzinomzellen (MCF-7) geleitet worden. Die Lebensfähigkeit dieser Zellkultur verringerte sich dadurch um mindestens 30%, was auf eine Zytotoxizität des Rauchs hinweist. Dieser unter besonderen Bedingungen durchgeführte Versuch (in Helium-Atmosphäre) ist allerdings für Rauche in OP-Sälen nicht unbedingt repräsentativ (Hensman, 1998).

2.4 Erfahrungen beim Menschen

In den vorangegangenen Abschnitten des Kapitels 2 sind die von chirurgischen Rauchen und Partikeln ausgehenden Gesundheitsgefährdungen umfassend dargestellt worden. Die zu dieser Thematik zur Verfügung stehende toxikologische Literatur ist sehr umfangreich (siehe Kap. 8). Ihr liegen aber hauptsächlich in vitro Untersuchungen sowie einige tierexperimentelle Studien zu Grunde. 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.

Vergleichsweise wenige Daten existieren dagegen zur Frage, ob die beschriebenen Gefährdungen für das exponierte Personal tatsächlich von praktischer Bedeutung sind. Neben einzelnen Fallberichten über wahrscheinlich berufliche erworbene Larynxpapillome bei Laserrauch exponiertem OP Personal, gibt es 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. Dieser Mangel an Kenntnissen wird folglich auch in verschiedenen Verlautbarungen beklagt:

„a specific link between exposure to surgical smoke and adverse health effects to perioperative personnel has not been made“ (Ulmer, 2008),

„the long term effects of surgical smoke on surgeons and theatre personnel have not been determined“ (Al Sahaf et. al., 2007),

„further research using authentic surgical conditions rather than laboratory simulations may produce more convincing findings to assist regulatory agencies such as the OSHA“, (Bigony, 2007),

„many surgeons and OR personnel argue that they have been exposed to surgical smoke for years with no ill effects“(Barrett, 2003).

Andere Autoren haben versucht, der unbefriedigenden Datenlage mit Hilfe einer Risikoevaluation zu begegnen (Scott, 2004), 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 diesem Abschnitt soll deshalb näher auf die wenigen praxisrelevanten Untersuchungen eingegangen werden, also auf diejenigen, welche sich vorwiegend mit der Frage beschäftigen, in welchem Ausmaß das OP

Personal tatsächlich von Belästigungen und Erkrankungen durch OP Rauche betroffen ist. Dazu gehören Fallberichte sowie epidemiologische Daten.

Hallmo (1991) beschrieb den Fall eines Chirurgen mit einem Kehlkopfpapillom, der im Laufe seiner Tätigkeit regelmäßig und über längere Zeit gegenüber Laserrauchen exponiert war, welche sich jeweils beim Abtragen von anogenitalen Warzen bildeten. Hier wurde keine andere Kontaktmöglichkeit mit dem Virus gefunden. Auch bei einer Krankenschwester wurde eine Larynxpapillomatose diagnostiziert und als Berufskrankheit anerkannt; die Pflegekraft hatte bei Behandlungen von Papillomatosen assistiert (Calero, 2003). Auch in diesem Falle hatte man keine andere Kontaktmöglichkeit identifizieren können.

In einer Fragebogenuntersuchung bei 4200 Mitgliedern der amerikanischen Gesellschaft für Lasermedizin und der amerikanischen Gesellschaft für dermatologische Chirurgie, fanden Gloster und Roenigk (1995), 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 (5,4% versus 4,9%, $p = 0.569$). Ein Vergleich mit älteren Literaturangaben zeigt tatsächlich, dass die Warzenhäufigkeit in der Bevölkerung mit 2,8 – 5% angegeben wird (Beutner, 1991), also nicht wesentlich von den Ergebnissen von Gloster abweicht. Allerdings fanden sich bei den chirurgisch tätigen Dermatologen 58% der Warzen an den Händen, 26% im Gesicht und 13% im nasopharyngealen Bereich. Bei den in der Mayo Clinic behandelten Patienten konnte dagegen ein signifikant von demjenigen der Chirurgen abweichendes Verteilungsmuster beobachtet werden, indem bei den Patienten vorwiegend die Fußsohlen und der Anogenitalbereich betroffen waren.

Die Gloster Studie zeigt weiterhin, dass das Beachten von Schutzmaßnahmen (Rauchabsaugungen, Handschuhe, Masken, Augenschutz, besondere OP-Kleidung) keinen Einfluss auf die Häufigkeit von Warzen bei den Chirurgen hatte. Auch ein kumulativer Effekt im Sinne einer zunehmenden Inzidenz von Warzen in Abhängigkeit zur Dauer der Verwendung eines CO₂ Lasers konnte nicht gezeigt werden. Auch wenn die Gloster Studie einige Schwachpunkte aufweist (z. B. niedrige Responserate), lässt sie doch den Schluss zu, dass für die exponierten Medizinalpersonen möglicherweise ein geringes gesundheitliches Risiko durch eingeatmete infektiöse Partikel bestehen könnte.

Eine einfachere, kleinere Fragebogenuntersuchung wurde 2001 durch das NIOSH durchgeführt (King, McCullough, 2006). Sie betraf eine 687 Betten Klinik in Dunedin, Florida. 48, das heißt 80% der ausgeteilten Fragebogen, wurden retourniert. 43,7% der Teilnehmenden berichteten 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 (Mehrfachnennungen möglich): Kopfschmerzen

(16,7%), brennendes Gefühl in Nase und Rachen (12,5%), rhinitische Beschwerden (12,5%), Augenreizungen (10,4%), Husten (10,4%), sowie andere, v.a. atemwegsbezogene Beschwerden (8,4%). Insgesamt 28 Antwortende (58,3%) gaben an, sich durch den Geruch der OP Rauche belästigt zu fühlen. Auch äußerten diejenigen Befragten eindeutig mehr Symptome, welche 50% und mehr ihrer Arbeitszeit in unmittelbarer Nähe des Operationsfeldes verbrachten.

Die einzige prospektive Studie, die bisher zur Frage gesundheitlicher Schädigungen durch OP Rauche publiziert worden ist, ist diejenige von Gates et al. (2007). Die Autoren untersuchten dabei ein 1976 erstmals rekrutiertes und später wiederholt nachuntersuchtes Kollektiv von ursprünglich 121 700 Krankenschwestern (Nurse Health Study) mit der Frage einer möglichen Assoziation zwischen OP Rauch Exposition und dem Auftreten eines Bronchuskarzinomes. Gefragt wurde konkret nach der Anzahl Jahre, die die Teilnehmerinnen vor 1984 im OP tätig waren (als Surrogat für die Exposition gegenüber chirurgischen Rauchen). Außerdem wurden alle Fälle von Bronchuskarzinomen gesammelt, die bei den Explorandinnen bis spätestens zum Studienabschluss im Jahre 2000 aufgetreten waren. Unter Berücksichtigung einer ganzen Reihe von möglichen Confoundern (Alter, Aktiv- und Passivrauchen, BMI, diätetische Faktoren, körperliche Aktivität) wurden fünf Expositionsgruppen gebildet. Unter Verwendung verschiedener statistisch epidemiologischer Modelle zeigte sich dabei keine signifikante Assoziation zwischen der Dauer der OP Rauch Exposition und dem Auftreten von Bronchuskarzinomen. Es ergab sich nicht einmal eine Tendenz in Richtung einer Dosis Wirkungsbeziehung bei den höheren Expositionsgruppen. Im Gegenteil, die Gruppe mit der längsten Exposition wies sogar ein signifikant erniedrigtes relatives Risiko für Bronchuskarzinome auf, ein Resultat, das auch seitens der Autoren nicht überzeugend erklärt werden konnte.

Diese wenigen epidemiologischen Daten vermögen die eingangs geäußerten Zweifel und Vorbehalte an der klinischen Relevanz der vorwiegend experimentell nachgewiesenen gesundheitlichen Gefährdungen durch OP-Rauche nicht vollständig auszuräumen. Das führt dazu, dass die Problematik zwar den meisten Betroffenen bekannt ist, dass aber Maßnahmen zur deren Verringerung weder konsequent getroffen noch gesetzlich gefordert werden, auch wenn bisher, vor allem von nicht behördlichen Institutionen und Berufsverbänden, verschiedentlich Empfehlungen publiziert worden sind.

In einer Internet basierten Umfrage, die 2007 in den USA und in Kanada unter OP Personal (fast ausschließlich OP Assistenz Personal) durchgeführt worden ist, konnte gezeigt werden, dass bei Benutzung von Elektrokautern in der Regel zwischen 8 und 59% der Operateure eine spezielle Absaugvorrichtung und in 17 - 67% die fest installierte OP Wandabsaugung verwendeten. Die prozentualen Unterschiede erklären sich durch den unterschiedlichen Einsatz der Geräte je nach Art des Eingriffes (am häufigsten

bei Abtragung von Condylomen, eher selten bei der Entfernung maligner Hautveränderungen (Elektrokauter) bzw. im Rahmen von laparoskopischen Eingriffen (Laser). Im Weiteren hat die Umfrage ergeben, dass bei der Verwendung von Elektrokautern in 80 – 96% der Fälle keine (amerikanisch zertifizierten) N95 Masken, sondern nicht zertifizierte Masken, d.h. übliche Chirurgenmasken getragen worden sind. Diese unterschiedlichen Häufigkeiten in der Verwendung von Schutzvorrichtungen widerspiegelt das Ausmaß der jeweiligen individuellen Risikoperzeption und zeigt nach Ansicht der Autoren auch, dass die Mehrzahl des exponierten Personals ungenügend geschützt ist (Edwards, 2008).

Ähnlich in Bezug auf die Datenlage, aber zurückhaltender in der Interpretation, erweist sich eine Studie von Spearman und Mitarbeitern (2007). Sie verschickten 169 Fragebogen an Chirurgen, chirurgisch tätige Spezialisten sowie leitende OP-Schwestern der englischen Region Wessex, mit dem Ziel, einen Überblick über das Problembewusstsein bezüglich Gesundheitsgefahren durch OP-Rauche einerseits und die dagegen getroffenen Maßnahmen andererseits zu gewinnen. Von den insgesamt 111 Antwortenden gaben 97% an, öfters oder immer Diathermie im OP zu verwenden. Dabei waren lediglich 51% der Chirurgen der Meinung, dass OP-Rauche gesundheitsschädlich seien, jedoch 78% der chirurgisch tätigen Spezialisten und sogar 91% der leitenden OP-Schwestern. 60, 58 und 64% von ihnen vertraten die Auffassung, dass die aktuell getroffenen Schutzmassnahmen ungenügend seien. 43% der Chirurgen und 70% der chirurgisch tätigen Spezialisten pflegten OP Rauche abzusaugen, die große Mehrzahl von ihnen allerdings mit Hilfe der fest installierten Wandabsauganlage. Zusätzliche Schutzmaßnahmen (v.a. spezielle Masken) wurden lediglich von 7% der Chirurgen und von 20% der chirurgisch tätigen Spezialisten getroffen. Die Autoren schließen unter anderem aus diesen Daten, dass „knowledge of the dangers of surgical smoke is limited, but is a cause for concern amongst staff exposed to surgical smoke in theaters.“

2.5 Zusammenfassende Bewertung

Die bisher in Kapitel 2 aufgezeigten Daten zeigen unzweifelhaft, dass auf Grund von in vitro Untersuchungen und Tierversuchen ein fundiertes toxikologisches Wissen bezüglich der Gefährdung von OP-Rauchen vorhanden ist. Die praktische Auswirkungen dieses Wissens auf das exponierte OP-Personal ist bisher aber kaum bzw. nur in geringem Ausmaß belegt worden. Das führt bei Vielen dazu, dass die Umsetzung der Erkenntnisse und der daraus sich ergebenden Maßnahmen nur zögerlich an die Hand genommen wird. Diese abwartende Haltung wird zusätzlich durch vielerorts fehlende konkrete Vorgaben der für die Arbeitssicherheit verantwortlichen Behörden begünstigt. Es geht letztendlich um die Frage, ob Maßnahmen zur Verminderung einer Gesundheitsgefahr für Arbeitnehmende erst bei Vorliegen ausreichender und kohärenter wissenschaftlicher Daten ergriffen werden sollen, einschließlich solcher aus epidemiologischen Studien

oder ob vielmehr ein proaktives Vorgehen gem. dem Vorsorgeprinzip angezeigt ist. Da dieses wesentlich weiter geht und im Vergleich mit einem „post hoc“ Vorgehen mit Mehraufwand verbunden ist, werden rasch Kostenfragen und solche der Verhältnismäßigkeit ins Spiel gebracht. Es handelt sich deshalb auch um einen politischen Prozess, der in den einzelnen Ländern unter Umständen unterschiedlich beurteilt wird.

Fest steht, dass die Exposition gegenüber OP-Rauchen auf Grund von gut belegten toxikologischen Daten mit ernsthaften gesundheitlichen Gefahren einhergehen kann. Mit den folgenden Ausführungen soll deshalb aufgezeigt werden, was zur Verminderung dieser Gefahren zu unternehmen ist. Es versteht sich von selbst, dass dies unter Respektierung der nationalen Gesetzgebungen zu erfolgen hat.

3 Expositionen bei Tätigkeiten mit Rauchentwicklung und ihre Bewertung

Wie in den vorangegangenen Kapiteln dargestellt wurde, entstehen bei verschiedenen medizinischen Tätigkeiten gasförmige und partikelförmige Emissionen (chirurgische Rauchgase), die das OP-Personal belasten können.

Wie in der Einleitung erwähnt, wird allein in den USA die Zahl der im Gesundheitsdienst betroffenen Personen auf mehrere hunderttausend Beschäftigte geschätzt (Ball, 2004). In Europa muss man aufgrund der noch größeren Bevölkerungszahl von mindestens einer ähnlichen Anzahl betroffener Beschäftigter ausgehen.

3.1 Beschreibung der Stoffquellen (vgl. auch Kapitel 2)

Die Intensität der Stoff-Freisetzung und die Zusammensetzung der gasförmigen und festen Phasen hängen von der Art der Energiequelle, der Art des behandelten Gewebes sowie von der Dauer und dem Umfang der Gewebebehandlung ab.

Im Bereich der Laseranwendungen findet man in der Literatur exemplarische Werte für die Partikelemissionen bis ca. 120 mg min^{-1} bei einer Laser-Leistungsdichte von $7,2 \text{ kW cm}^{-2}$, wobei die Behandlung von Fettgewebe die größten Emissionen hervorrief, gefolgt von Lebergewebe. Die geringsten Partikelemissionen entstanden bei der Behandlung von Hautgewebe (Wäsche, Wagner et al., 1993).

Die gesamte Vaporisationsrate, die also auch die Emission gasförmiger Komponenten umfasst, liegt noch höher (z.B. bei $200 - 600 \text{ mg min}^{-1}$ beim Lasereinsatz (Wäsche, Albrecht et. al., 1995).

3.2 Beschreibung der Expositionsdeterminanten

Die Tätigkeiten im Gesundheitswesen, bei denen chirurgische Rauchgase freigesetzt werden, können an einem Arbeitsplatz von Behandlung zu Behandlung variieren und hängen von einer Vielzahl organisatorischer und technischer Einflussgrößen ab, die die Belastung der Beschäftigten verstärken oder verringern können. Es ist bekannt, dass sowohl die kurzfristigen Luftbelastungen während eines Tages als auch die längerfristigen, auf Arbeitsschichten bezogenen Luftbelastungen während eines größeren Zeitraumes (z.B. eines Monats oder eines Jahres) variieren (z.B. Rappaport, 1998).

Im Folgenden werden mögliche Expositionsdeterminanten auf die Belastung der Beschäftigten durch chirurgische Rauchgase vorgestellt.

3.2.1 Chirurgische Arbeitsgeräte

Chirurgische Rauchgase entstehen bekanntlich durch die Einwirkung von thermischer Energie auf unterschiedliche Gewebearten, wobei es zu Bräunungen des Gewebes, zu Schnitten und Koagulationen, Verbrennungen und Verdampfungen des Gewebes kommen kann (VDI-Sonderband, 1998). Der Energieübertrag auf das Gewebe kann durch Lichtwellen (Laser) oder durch elektrischen Strom (elektrochirurgische Geräte), aber auch durch Ultraschall erfolgen.

a) Laser

Die Anwendung des Lasers in der Medizin hängt zum einen von medizinischen Notwendigkeiten ab (z.B. der Frage, welches Gewebe mit welcher Energie/Intensität behandelt werden soll) und zum anderen von technischen Faktoren, wie z.B. von den optischen Eigenschaften des zu behandelnden Gewebes (Reflexion, Absorption, Streuung, Transmission etc.). Es werden daher verschiedene Laser verwendet. Die folgende Tabelle bietet eine Übersicht über die wichtigsten Typen (nach Merkblatt ED 5009 des INRS, 2004):

Tabelle 4: Medizinisch genutzte Lasertypen (nach Merkblatt ED 5009 des INRS, 2004)

LasermEDIUM	Wellenlänge (in Nanometern)	Betriebsart kontinuierlich/gepulst	Frequenz	Energie/ Leistung	Verwendung
Excimer	190 bis 350, 248, 308	Gepulst	1 bis 400 Hz	einige Jouls	Angioplastie, Ophthalmologie
Metalldämpfe (Gold) Plasma	511 und 578 Or : 628	Gepulst	10 kHz	5 bis 20 W	Dermatologie, plastische Chirurgie, Phototherapie
Helium-Neon	632	Kontinuierlich		0,1 bis 50 mW	Akupunktur, Sportmedizin, ästhetische Medizin, Rheumatologie
Argon-Krypton (Plasma)	488 - 515 - 647 - 976	Kontinuierlich		0,1 bis 20 W	Dermatologie, Ophthalmologie, Photokoagulation, plastische Chirurgie
Kohlenmonoxid CO	5 300	Kontinuierlich		1 bis 20 W	ORL, Gynäkologie, Dermatologie, Odontologie
Kohlendioxid CO ₂	10 600	Gepulst – Kontinuierlich	10 kHz	100 J bis 100 W	kardiovaskuläre Eingriffe, ORL, Dermatologie, Gynäkologie, plast. Chirurgie, Gastroenterologie, Odontologie
Erbium-YAG	2 930	Gepulst	einige Hz	10 Jcm ²	Dermatologie, kombinierte Effekte mit CO ₂ und Excimer Lasern, Ophthalmologie
YAG Frequenzver- doppelung Kr Kristall	532	gepulst – kontinuierlich	1 bis 50 Hz	1 bis 120 W	Dermatologie
Rubin	694	Gepulst	einige Hz	10 oder 50 mJ	Photolithotripsie, Dermatologie, Zertrümmerung von Nierensteinen
Laserdioden	850	gepulst – kontinuierlich		einige W	Ophthalmologie, Angioplastie
Neodym-YAG Frequenzverdoppelung mit KDP, KTP Kristall	1 064 532 (Frequenzverdoppelung)	gepulst – kontinuierlich	1 bis 50 Hz	1 bis 60 W	ORL, Gynäkologie, Urologie, Neurologie, Allgemeinchirurgie, Odontologie, Ophthalmologie, Dermatologie
Titansaphir	700 bis 1 070 - verdop- pelt: 350 bis 535	gepulst – kontinuierlich	1 bis 50 kHz	einige mJ - 1 W	Phototherapie
Holmium-YAG	2 100	Gepulst	1 bis 5 Hz	0,5 bis 100 J cm ⁻²	Lithotripsie
Farbstofflaser	320 bis 1 200 vorwiegend: 504 und 630	gepulst – kontinuierlich		einige W	Photolithotripsie, Phototherapie, Dermatologie, Photochemotherapie, Photokoagulation

Die Wirkung der Laser auf das Gewebe hängt von der **Art** des Lasers ab (siehe Tab. 4), von der energetischen **Leistung** des Lasers (Leistung/Fläche) und von der **Betriebsart**, ob er also gepulst verwendet wird oder im kontinuierlichen Betrieb. In Abhängigkeit von der schädigenden Wirkung der Laser auf Menschen werden sie in Europa in verschiedene **Laserklassen** eingeteilt, von Klasse 1 (ungefährlich) bis zu Klasse 4 (sehr gefährlich für die Augen und gefährlich für die Haut, auch bei diffus gestreuter Strahlung; zudem Brand- und Explosionsgefahren). Medizinische Laser entsprechen in den meisten Anwendungsfällen der Laserklasse 4. (Bezüglich der Definition der Laserklassen: → siehe EN 60825-1).

b) Elektrochirurgische Geräte (electro surgical units –ESU)

Bei elektrochirurgischen Eingriffen werden Geräte mit hochfrequenten Strömen (>300 kHz) und mit Leistungen von wenigen Watt bis zu einigen hundert Watt eingesetzt. Die elektrische Energie fließt dabei über **monopolare Elektroden** zu, wobei am Patienten an einer geeigneten Stelle eine großflächige Neutralelektrode angebracht wird, über die der Strom abfließen kann. Bei **bipolaren Elektroden** fließt der Strom nur zwischen den eng beieinander liegenden Polen. Die thermische Energie führt an den Stellen hoher elektrischer Energiedichte in Abhängigkeit von der **Stromstärke**, der gewählten **Spannung** und **Frequenz** des Stromes und abhängig von der gewählten **Elektrodenform** zur Austrocknung des Gewebes, zur Koagulation, evtl. zur oberflächlichen Verkohlung durch Funkenentladung der dicht über dem Gewebe geführten Elektrode und zur Schneidwirkung mit Hilfe kleinflächiger Elektroden, an denen durch explosionsartiges Verdampfen der Zellflüssigkeiten an der Schnittstelle das Gewebe getrennt und an den Schnittkanten koagulierte wird.

c) andere Geräte (z.B. Revisionsendoprothetik)

Die Entfernung von kunststoffbasiertem Knochenzement (in der Regel aus Methylmethacrylat) aus der Markhöhle großer Knochen, z.B. beim Austausch künstlicher Hüftgelenke, kann mit ultraschallgetriebenen Werkzeugen erfolgen.

3.2.2 Einrichtungen zur Rauchabsaugung

Eine der wesentlichen Einflussgrößen auf die Freisetzung von chirurgischen Rauchgasen ist die unmittelbare Absaugung der Emissionen an der Entstehungsstelle. Durch diese Maßnahme gelangt ein Großteil der Dämpfe, Gase oder Partikel gar nicht bis in den Atembereich der Beschäftigten. Bei diesen lokalen Absaugeinrichtungen unterscheidet man folgende Ausführungen:

- Absaugungen an den Handstücken von Lasern oder ESU
Die Hersteller von Laser- bzw. ESU-Geräten bieten Absaugeinrichtungen an, die in die Handstücke der Geräte integriert sind. Durch

diese Bauart befindet sich die Absaugöffnung immer in gleicher Entfernung zur Entstehungsstelle der Rauchgase.

- stationäre Wandabsaugeinrichtungen
Bei stationären Wandabsaugeinrichtungen werden die abgesaugten Rauchgase nicht mehr in die Raumluft zurück geführt, sondern über ein zentrales Absaugsystem nach außen geleitet. Vorher müssen allerdings die abgesaugten Luftmengen über Filter gereinigt werden, um eine Kontamination der Leitungssysteme zu vermeiden. Gegenüber den mobilen Absaugeinrichtungen besitzen die stationären Wandabsaugungen eine geringere Absaugleistung.
- Getrennte, mobile Absaugeinrichtungen
Eine andere Bauart stellen eigenständige, meist mobile Absaugeinrichtungen dar, bei denen die Absaugdüse vom Laser oder dem ESU-Handstück getrennt ist. In diesem Fall muss die Lokalabsaugung der Position des Handstückes nachgeführt werden. Die abgesaugten Rauchgase müssen zudem in der mobilen Einheit ausreichend gefiltert werden, um die Luft in die Raumluft zurückführen zu können. Die mobilen Absaugeinrichtungen besitzen eine deutlich höhere Absaugleistung als die stationären Wandabsaugeinrichtungen.

Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Freisetzungsrates an Rauchgasen und damit auf die Exposition der Beschäftigten sind im Falle der lokalen Absaugeinrichtungen:

- die Absaugleistung (Liter Minute^{-1}):
mit wachsender Absaugleistung steigt der Erfassungsgrad einer Absaugung
- die Luftgeschwindigkeit an der Absaugöffnung (m s^{-1}):
mit zunehmender Luftgeschwindigkeit steigt der Erfassungsgrad. Mit wachsendem Durchmesser der Absaugdüse nimmt allerdings die Luftgeschwindigkeit bei gleichbleibender Absaugleistung quadratisch ab.
- der Abstand der Ansaugöffnung von der Emissionsquelle:
die Luftgeschwindigkeit an der Emissionsquelle nimmt mit der Entfernung von der Ansaugöffnung quadratisch ab.
- die spezifische Filterleistung in Abhängigkeit von den zu filtrierenden Substanzen:
Die verwendeten Filter müssen Gase, Dämpfe und Partikel zurückhalten. Dies tun sie nur bis zu einem gewissen Wirkungsgrad.
- die Art und der Grad der Luftrückführung
Da die zurück geführte Luft nicht vollständig frei von Rauchgasen ist, beeinflusst das Ausmaß einer Luftrückführung die Schadstoffkonzentration im Raum.

Man erkennt sehr schnell, dass die Einflussgrößen auf die Wirksamkeit der Rauchgaserfassung nicht voneinander unabhängig sind (z.B. Luftgeschwindigkeit, Absaugleistung und Düsendurchmesser) und dass diese Größen jeweils auf die anstehenden Anwendungsanforderungen angepasst werden müssen. Weitere Informationen zu diesem Thema finden sich in Kapitel 4.2.

3.2.3 *Raumluftechnische Anlagen*

Die bei der medizinischen Behandlung entstandenen und nicht abgesaugten Rauchgase verteilen sich in der Umgebungsluft des Behandlungsraumes. Durch die vorhandene Raumlüftung werden die freigesetzten Schadstoffe verdünnt und aus der Atemluft der Beschäftigten transportiert. Dabei können folgende Einflussgrößen auf die Exposition der Beschäftigten identifiziert werden:

- die Lüftungsart (natürliche bzw. technische Lüftung) und damit die in den Arbeitsbereich eingebrachten Frischluftmengen.
Die effektive Lüftung an den Arbeitsplätzen der Beschäftigten beeinflusst maßgeblich die Exposition der Beschäftigten. Dabei ist eine natürliche Lüftung in der Regel nicht ausreichend, vielmehr erreicht man in medizinischen Behandlungsräumen nur mit einer technischen Lüftung den notwendigen Luftaustausch, um Schadstoffe wirksam aus dem Atembereich von Beschäftigten und Patienten zu entfernen.
- die Art und Richtung der Luftführung (z.B. Laminarflow-Decke, bodennahe Lüftungsöffnungen), Lüftungsrichtungen (von oben nach unten bzw. von unten nach oben).
- Die chirurgischen Rauchgase entstehen durch thermische Prozesse, sie sind heiß und steigen daher grundsätzlich in die Luft auf. Wird die Luft an den betroffenen Arbeitsplätzen von oben nach unten zugeführt, wie es z.B. bei Verwendung einer Laminarflow-Decke geschieht, erweisen sich die heißen Rauchgase als Störkomponenten, die die Wirksamkeit der Lüftung negativ beeinflussen.
- der Grad der Lufrückführung in den Arbeitsbereich.
- Sofern die Raumluft teilweise wieder in Arbeitsbereiche zurückgeführt wird, werden auch noch vorhandene Anteile der chirurgischen Rauchgase wieder zurück geführt. Dies erhöht die Belastung der Beschäftigten.
- die Art und der Wirkungsgrad der vorhandenen Luftfilter.
- Partikel und Gase/Dämpfe in den Rauchgasen verlangen unterschiedliche Filterungsmethoden zur Luftreinigung. Die Filterkomponenten besitzen unterschiedliche Wirkungsgrade der Luftreinigung.

- Die Abscheidung von Schwebstoffen/ Partikeln wird in der Regel mit High Efficiency Particulate Airfiltern (HEPA-Filter) vorgenommen. Diese Filter können auch kritische Partikelgrößen (0,1-0,3 µm) mit bis zu 99,995 % Abscheidegrad aus der Luft entfernen (nach EN 1822-1: 1998).
- Die Diskussion der Auswirkungen noch kleinerer Partikel (ultrafeine oder Nanopartikel) führte zum Einsatz noch feinerer Filter, sogenannter ULPA-Filter (Ultra Low Penetration Air Filter). Hier kann der Abscheidegrad gegenüber HEPA-Filtern noch einmal um den Faktor 1000 besser sein.
- Die Entfernung von Gasen/Dämpfen aus der Umgebungsluft verlangt den Einsatz von Aktivkohlefiltern, in denen einzelne Gas- oder Dampfmoleküle an den Oberflächen adsorbiert werden können. Insbesondere wenn die abgesaugte Luft teilweise oder vollständig wieder in den Arbeitsbereich geführt werden soll, können geruchsintensive Gase nur so aus der Luft entfernt werden.

3.2.4 Tätigkeiten

Die Art der medizinischen Behandlung und der Umfang des Eingriffes sowie die betroffene Körperstelle bzw. das betroffene Gewebe sind wichtige Einflussgrößen auf die Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen. So bestimmen die Wahl des eingesetzten Lasers oder des elektrochirurgischen Gerätes die in Abschnitt 3.2.1 beschriebenen Parameter. Die Einsatzdauer der für die Emissionen verantwortlichen Geräte beeinflusst die Menge der gesamten freigesetzten chirurgischen Rauchgase, während die Dauer des Eingriffes für die gesamte Exposition (Menge x Zeit) relevant ist. Natürlich hat auch die Art des Gerätebetriebes (z.B. gepulst oder Dauerbetrieb) einen wichtigen Einfluss auf die freigesetzte Rauchgasmenge. Weiterhin beeinflusst die Art der Behandlung die Emissionsfreisetzung: Endoskopische Behandlungen führen zu anderen Rauchbelastungen als offene Eingriffe. Zusätzlich wird erfahrungsgemäß eine Person, die sich unmittelbar an der Emissionsstelle (am OP-Feld) befindet, höher belastet als eine Person, die sich in weiterer Entfernung im Raume aufhält.

3.2.5 Arbeitsorganisatorische Aspekte

Neben den schon aufgeführten Einflussgrößen muss die Anzahl der durchgeführten Eingriffe mit Rauchentwicklung pro Zeit (Schicht, Tag, etc.) für die Expositionshöhe der Beschäftigten berücksichtigt werden.

Weiterhin sind für eine Beurteilung der gesamten Belastung der Beschäftigten alle anderen chemischen Einflüsse zu berücksichtigen, z.B. durch

Desinfektions- oder Sterilisationsarbeiten, durch Anästhetika oder durch Reinigungsarbeiten etc..

3.2.6 *Individuelle Einflüsse*

Viele der genannten Einflussgrößen sind einfach zu ermitteln und messbar. Dies gilt nicht für personenbezogene Einflüsse auf die Exposition, die durch individuelle und evtl. zeitlich schwankende Faktoren bestimmt werden, wie etwa:

- die Qualifikation des Operateurs, bezogen auf die konkret durchzuführende Behandlung,
- die Erfahrung der Beschäftigten mit der durchzuführenden Behandlung,
- ganz individuelle Einflüsse wie z.B. die persönliche Arbeitstechnik, die Sauberkeit, die Tagesform, etc.
- patientenindividuelle Einflüsse, z.B. adipöse Patienten, die Tumorausdehnung, etc.

3.2.7 *Qualitätssichernde Aspekte*

Letztlich dürfen auch die Einflüsse Qualität sichernder Faktoren auf die technischen Geräte nicht vergessen werden. Dazu gehört die regelmäßige Prüfung / Wartung der technischen Geräte sowie der Absaugungen und Lüftungseinrichtungen. Man denke nur an die notwendigen Filterwechsel an den Absaugungen zur Sicherstellung der angegebenen Absaugleistung.

3.3 **Beschreibung der Exposition**

Bei den emittierten chirurgischen Rauchgasen handelt es sich um Vielstoffgemische aus gasförmigen, dampfförmigen und partikelförmigen Komponenten (vgl. Kapitel 2). Bei Analysen der Rauchgase konnten verschiedenste Einzelsubstanzen identifiziert werden, überwiegend Kohlenwasserstoffe, Nitrile, Fettsäuren und Phenole. Von diesen sind Formaldehyd, Acrolein, Mischungen aus Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol und polyaromatische Kohlenwasserstoffe von besonderer Bedeutung (vgl. Kapitel 2). Hinzu kommen Zellreste des behandelten Gewebes und, falls vorhanden, DNA-Reste von Viren (Gloster, Roenigk, 1995).

Die vielen Komponenten aus unterschiedlichen Aggregatzuständen sind schwer zu messen. Es ist deshalb nicht erstaunlich, dass nur sehr wenige quantitative Informationen zu personenbezogenen Belastungen durch chirurgische Rauchgase vorliegen.

3.3.1 Vorliegende Messdaten

a) Lasergeräte

Die publizierten Informationen über die entstehenden inhalativen Belastungen bei der medizinischen Anwendung von Lasern reichen bis in die 1970er Jahre zurück. Kashima et al. (1991) verweisen in ihrer Arbeit zur Identifikation menschlicher Papillomavirus (HPV)- DNA in CO₂-Laser-Rauch schon auf Arbeiten von Mihashi et al. (1975), die intakte Zellen, Zellfragmente und Verbrennungsprodukte im Laserrauch nachweisen konnten. Kashima et al. konnten bei Patienten mit „recurrent respiratory laryngeal papillomatosis (RRP)“, die mit einem CO₂-Laser behandelt worden waren, nachweisen, dass HPV-DNA in Proben aus der Ausatemluft der Patienten vorhanden war. Sie fanden dies in 17 von 22 Proben der RRP-Patienten, während Kontrolluntersuchungen an anderen Patienten keinerlei HPV-DNA zeigten. Sie bestätigten damit Untersuchungen von Garden et al. (1988), die bei der Warzenbehandlung bovine und humane PV-DNA in Laserrauch fanden. Eine Quantifizierung der biologischen Belastung bzw. eine Gefährdungsbeurteilung für die Beschäftigten konnten die Autoren noch nicht vornehmen.

Auch bei anderen Laseranwendungen muss mit der Freisetzung von einatembaren Partikeln unbekannter biologischer Aktivität gerechnet werden. Taravella et al. (2001) konnten dies z.B. für die Anwendung von Excimerlasern in der Augenheilkunde nachweisen. Sie fanden in Luftproben einige wenige Partikel mit einem geometrischen mittleren Durchmesser von 0,22 µm +/- 0,056 µm. Eine Bewertung der nicht weiter quantifizierten Exposition gegenüber den Partikeln war ihnen nicht möglich.

Wäsche et al. (VDI-Sonderband, 1998) untersuchten in einem Forschungsvorhaben die Vorgänge und Pyrolyseprodukte bei der Laserbehandlung menschlichen Gewebes. Sie beschrieben detailliert die Wechselwirkung der Laserenergie mit den Zellen und konnten in ausgiebigen Analysen des Rauches eine Vielzahl von Pyrolysechromatogrammen verschiedenster Gewebearten erstellen und flüchtige sowie partikuläre Substanzen identifizieren. Für die Anwendung von CO₂-Lasern wurde die Vaporisationsrate für Leber-, Muskel- und Fettgewebe ermittelt, die für Leistungsdichten von ca. 0,1 – 10 kW cm⁻² etwa bei 17,5 mg min⁻¹ (W Laserleistung)⁻¹ lag. Die Laserleistung lag bei den Untersuchungen bei 10, 20 und 40 Watt. Es wurden ebenfalls Verteilungsdichten der Partikeldurchmesser im Rauch aufgenommen und nachgewiesen, dass der weit überwiegende Anteil der Partikeldurchmesser kleiner als 1 µm ist und ein nicht unerheblicher Anteil der Partikel den Durchmesser von 100 nm unterschreitet.

Binding und Wäsche (1998) führten modellhafte Messungen bei Laseranwendungen in einem Operationssaal durch. Es handelte sich dabei um die Laserung von Leber mit einem CO₂-Laser (Leistung = 20 W,

Strahldurchmesser 0,6-1,2 mm, aktive Laserzeit = 5 Min.) über 30 Minuten. Die Messergebnisse lagen bei 3 bis 8 mg m⁻³ alveolengängige Aerosolkonzentration im Atembereich des Chirurgen.

Die Messung flüchtiger organischer Emissionsprodukte über 5 Minuten (Laserzeit) am Arbeitsplatz des Chirurgen ergab die in der Tabelle 5 aufgeführten Werte. Es ist auffällig, dass bei geringerer Leistungsdichte höhere VOC-Konzentrationen auftreten, allerdings auf einem insgesamt niedrigen Niveau ($\mu\text{g m}^{-3}$ entspricht der Größenordnung ppb).

Tabelle 5: Immissionskonzentrationen ausgewählter VOC am chirurgischen Arbeitsplatz (Quelle: Binding und Wäsche, 1998).

Name	Leistungsdichte ca. 4 kW cm ⁻² Luftkonzentration [$\mu\text{g m}^{-3}$]	Leistungsdichte ca. 0,3 kW cm ⁻² Luftkonzentration [$\mu\text{g m}^{-3}$]
n-Butanal	43±8	91±25
2-Butanon	12±2	14±3
3-Methylbutanal	80±16	203±19
2-Methylbutanal	69±4	138±11
Benzol	60±5	64±4
Pyrrrol + Pyridin	34±4	52±7
Toluol	23±9	41±15
Ethylbenzol	7±1	5±3
Styrol	9±3	3±1

b) Elektrochirurgische (ESU) - Geräte

Barrett und Garber (2003) verweisen in einem Review-Artikel auf hohe Expositionswerte gegenüber Acrylnitril (1,0 – 1,6 ppm) und Cyanwasserstoff (ca. 10 ppm), die bei laparoskopischen Behandlungen aufgetreten sind (Wu, Luttmann et al., 1997). Ebenso berichten sie über extrem hohe Benzolkonzentrationen von bis zu 7,4 mg m⁻³ in der OP-Raumluft. Dabei ist allerdings nicht zu erkennen, ob es sich hier um kurze oder kürzeste Luftbelastungen handelt oder um „Schichtmittelwerte“, die mit Arbeitsplatzgrenzwerten verglichen werden können.

Die Autoren berichten weiter über eine partikuläre Belastung bei einer elektrochirurgischen Brustverkleinerung, die bei 0,4 bis 9,4 mg m⁻³, gemessen als Luftkonzentration in der OP-Luft, lag.

Das amerikanische NIOSH führte in verschiedenen Krankenhäusern Untersuchungen der Belastung bei elektrochirurgischen Behandlungen durch (King, McCullough, 2006 a,b,c). Bei diesen Untersuchungen wurde an mehreren Tagen die Operationstätigkeit der Beschäftigten dokumentiert und sowohl die zu erwartenden flüchtigen Substanzen als auch die partikulären

Belastungen gemessen. Die Ergebnisse der Untersuchungen waren in allen Einrichtungen ähnlich:

- Es wurden nur die flüchtigen Substanzen Formaldehyd, Acetaldehyd und Toluol mit nennenswerten Konzentrationen nachgewiesen.
- Die Konzentrationsniveaus dieser Komponenten waren jedoch stets weit unterhalb der in den USA zulässigen Luftkonzentrationen an Arbeitsplätzen.

Die Arbeiten des NIOSH sind ausführlich dokumentiert, allerdings fehlen jegliche Hinweise auf vorliegende Expositions determinanten, sodass die ermittelten Luftkonzentrationen nicht mit den getroffenen Schutzmaßnahmen (Absaugungen, Raumlüftungen) in Verbindung gebracht werden können.

Hollmann et al. (2004) führten Messungen in unmittelbarer Nähe (ca. 2 cm) der elektrochirurgischen Eingriffsstelle aus und konnten dabei verschiedene Gefahrstoffe nachweisen (siehe Tab. 6). Die von ihnen gemessenen Gefahrstoffkonzentrationen stellen obere Konzentrationswerte (Worst Case Werte) einer möglichen Exposition dar, da sich die chirurgischen Rauchgase noch nicht in der Umgebungsluft verdünnen konnten.

Tabelle 6: Rauchgasbestandteile bei der Elektrokauterisation, deren berechnete Konzentration und die zulässige Arbeitsplatzkonzentration, sofern vorhanden (Quelle: Hollmann et al. (2004))

CAS-Nr.	Stoff	Formel	Nachweisgrenze [ppm V]	Konzentration [ppm V]	zulässige Arbeitsplatzkonzentration [ppm V] Schweiz, 2001
100-80-1	1-Methyl-3-vinylbenzol	C ₉ H ₁₀	0,3	12	nv
106-99-0	1,3-Butadien	C ₄ H ₆	0,016	1,5	5,0
107-12-0	Propionitril	C ₃ H ₅ N	1,1	18	nv
108-88-3	Toluol	C ₇ H ₈	0,2	17	50
556-64-9	Thiocyansäuremethylether	CH ₃ SCN	0,4	22	nv
592-76-7	1-Hepten	C ₇ H ₁₄	0,1	8,5	nv
74-85-1	Ethylen	C ₂ H ₄	0,000 07	0,065	10000
7664-41-7	Ammoniak	NH ₃	0,000 07	0,12	20
872-05-9	1-Decen	C ₁₀ H ₂₀	0,8	190	Nv
98-01-1	2-Furaldehyd	C ₅ H ₄ O ₂	0,2	24	2
115-11-7	Methylpropen	C ₄ H ₈	0,02	7,2	nv

nv = nicht vorhanden CAS = **C**hemical **A**bstracts **S**ervice - Erfassungsnummer

Moot et al. (2007) untersuchten ebenfalls den Rauch aus elektrochirurgischen Eingriffen auf flüchtige organische Verbindungen und fanden unmittelbar an der Entstehungsstelle des Rauches Zyanwasserstoff (3-51 ppm), Acetylen (2-8 ppm) und 1,3-Butadien (0,15-0,69 ppm).

Barrett und Garber (2003) konnten feststellen, dass Kohlenmonoxid einer der wesentlichen Inhaltstoffe von chirurgischem Rauch ist, der bei Behandlungen in peritonealen Höhlen in Konzentrationen von mehreren hundert ppm nachgewiesen werden kann.

Brüske-Hohlfeld et al. (2008) stellten bei Untersuchungen mehrerer Operationen mit Laser und Ultraschall-Skalpell fest, dass durch die Energieeintragungen nanometrische Partikel und größere Partikel ($<1\mu\text{m}$) entstehen. Sie fanden Peak-Konzentrationen von über $100\,000\text{ Partikel cm}^{-3}$.

c) weitere Geräte

Die exemplarische Messung von Pyrolyseprodukten bei der Entfernung von Knochenzement aus Oberschenkelknochen unter Modellbedingungen (Aldinger, Kleine, Goebel et al., 2001) ergab in der Atemluft des Operateurs Luftkonzentrationen bis zu 20 mg m^{-3} Methylmethacrylat (MMA). In der aufsteigenden Rauchfahne wurden MMA-Konzentrationen von 140 mg m^{-3} gemessen. Die gravimetrische Messung der auf einem Glasfaserfilter abgeschiedenen Rauchpartikelmasse ergab einen Wert von $76,89\text{ mg}$ in 7 Minuten, entsprechend einer Partikelemissionsrate von ca. 11 mg min^{-1} . Die Höhe der MMA-Emissionen kann gegebenenfalls dadurch erklärt werden, dass bei den Modelluntersuchungen Leichenknochen verwendet wurden, in die erst bei der Vorbereitung der Tests Knochenzement eingebracht worden war. Dieses Material könnte eine höhere MMA-Restbelastung besitzen als jahrelang gealtertes Material.

Die gaschromatographische und massenspektrometrische Analyse der flüchtigen Pyrolyseprodukte ergab in diesem speziellen Fall den Nachweis von nur wenigen Komponenten: dies waren Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Acrylsäuremethylester, Methylmethacrylat und Dimethyl-p-toluidin.

3.3.2 Weitere Expositionsinformationen

Im Vergleich zu den vorliegenden Daten zur Freisetzung von Substanzen bei den besprochenen Behandlungsmethoden sind die existierenden Messinformationen zu den personenbezogenen Expositionen rar und sehr lückenhaft. Daher ist es sinnvoll, auch andere, nicht messtechnische Methoden der Expositionsermittlung anzuwenden, die eine zusätzliche Auswertung der vorliegenden Messinformationen ermöglichen. Hier bieten sich insbesondere Expositionsmodelle an, die unter Berücksichtigung der Informationen über die Schadstoffquellen, die technischen, räumlichen und arbeitsorganisatorischen Rahmenbedingungen eine Aussage zur Luftbelastung der Beschäftigten unter Variation der Expositions determinanten zulassen (DIN EN 689, 1995; TRGS 400, 2008; TRGS 402, 2008; Eickmann, 2008).

Binding und Wäsche (1998) berechneten für eine Laserbehandlung der Leber mit einem CO_2 -Laser (Leistung 30 W , Laserzeit 5 und 30 Minuten) in einem

100 m³-Operationssaal bei einer stündlichen Luftwechselrate von 19 eine **Toluol-Konzentration** von bis zu 3,5 µg m⁻³ als Spitzenwert für die fünfminütige Laserzeit. Bei 30 Minuten Laserzeit wurden unter sonst gleichen Bedingungen ca. 4,5 µg m⁻³ als mittlere Toluolkonzentration im OP-Bereich berechnet.

Berücksichtigt man, dass die Belastungen des Chirurgen aufgrund seiner räumlichen Nähe zur Schadstoffquelle höher ist, und wendet ein dafür geeignetes 2-Zonen-Expositionsmodell an (Nicas, 1996), so ergibt sich für ihn eine Spitzenbelastung von 25,5 µg m⁻³ und eine mittlere Exposition über die OP-Dauer von 4,4 µg m⁻³ jeweils für 5 Minuten Laserzeit. Bei 30-minütiger Laserzeit beträgt die Spitzenbelastung für die Chirurgen 26,4 µg m⁻³ und die mittlere Toluol-Exposition über die OP-Dauer 25,98 µg m⁻³. Die geringe Abweichung zwischen Spitzenbelastung (26,4 µg m⁻³) und mittlerer Belastung (25,98 µg m⁻³) bei der längeren Expositionszeit erklärt sich dadurch, dass bei hohen Luftwechselzahlen schon nach wenigen Minuten stationäre Expositionsbedingungen im OP gegeben sind, bei denen sich die Spitzenbelastung und gemittelte Werte schnell angleichen. Die Exposition des Chirurgen ist etwa 6,1-mal höher als die mittlere Exposition des sonstigen Personals im OP-Bereich.

Die **partikuläre Exposition** der Beschäftigten im OP kann aufgrund der dokumentierten Daten zur Substanzfreisetzung bei der Laser-Chirurgie (Wäsche, Albrecht, 1995) deutlich höher in gesundheitsschädlichen Bereichen liegen. Geht man orientierend davon aus, dass die bei der Behandlung eingebrachte thermische Leistung des Lasers oder eines ESU vollständig zur Verdampfung von Zellmaterialien verwendet wird und die entstehende Aerosolkonzentration die von Wäsche und Albrecht angegebenen 13 Prozent in die Luft emittierter Stoffe erreicht, so entsteht eine mittlere partikuläre Exposition des Chirurgen von ca. 1,6 mg m⁻³ über die OP-Dauer (Rahmenbedingungen: 5 Minuten Laserzeit, 20 W Leistung, OP-Dauer 30 Minuten, 110 m³-OP, Lüftung ca. 2 000 m³ h⁻¹). Die kurzzeitige Spitzenbelastung liegt übrigens bei 10,6 mg m⁻³. Eine Verdopplung der Laserzeit auf 10 Minuten erhöht die mittlere Luftkonzentration auf 3,5 mg m⁻³, die Spitzenkonzentration aber nur auf 11 mg m⁻³.

Die thermische Leistung der elektrochirurgischen Geräte kann wesentlich größer als bei dem betrachteten Laser sein, allerdings wird diese Leistung nur zum Teil für die Verdampfung von Zellmaterialien verwendet. Es kommt vielmehr auch zu den bekannten Effekten der Erwärmung, Bräunung und Koagulation des Gewebes bis hin zur Karbonisierung.

3.4 Bewertung der Expositionen

Wie die zurückliegenden Betrachtungen zeigen, sind die Informationen über die personenbezogene Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen

insgesamt unvollständig. Dennoch können einige grundsätzliche Aussagen getroffen werden:

- Bewertung der gasförmigen 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 (vgl. Tab. 7) Andererseits finden sich in den Rauchen flüchtige Substanzen mit cmr-Eigenschaften wie z.B. Benzol. Wie bei anderen vergleichbaren Pyrolyseprodukten, z.B. Tabakrauch, muss daher das allgemeine Gebot der Expositionsminimierung beachtet werden.

Tabelle 7: Luftgrenzwerte einzelner Inhaltstoffe in chirurgischen Rauchgasen. (Quelle: GESTIS-Datenbank: „Internationale Grenzwerte für chemische Substanzen“; siehe www.dguv.de/ifa/de/gestis/limit_values/index.jsp; Stand 05.07.2010)

Land	Angaben in [mg m ⁻³] Schichtmittelwert/Kurzzeitwert		
	Toluol	Butanon	Ethylbenzol
D	190/760	600/600	440/880
F	192/384	600/900	88,4/442
CH	190/760	590/590	435/435
USA/NIOSH	375/560	590/885	435/545

- Bewertung der partikelförmigen Komponenten

Die entstehenden partikulären Belastungen der Beschäftigten bestehen zum großen Teil aus sehr feinen Partikeln (nanometrische Partikel). Die Luftkonzentrationen 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 Deutschland: alveolengängige Fraktion = 3 mg m⁻³ einatembare Fraktion = 10 mg m⁻³. Europäischer Feinstaubgrenzwert = 40 µg m⁻³). Es müssen daher adäquate Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

- Bewertung von Partikeln im Nanobereich

Eine abschließende Bewertung der auftretenden Belastung mit ultrafeinen Partikeln im Nanobereich ist heute noch nicht möglich. Wegen der Fähigkeit von Nanopartikeln, außerhalb der klassischen Aufnahmepfade an alle Stellen des Körpers zu gelangen (sog. Translokation), können auch geringe Belastungen mit diesen Materialien zur Zeit nicht als unproblematisch angesehen werden.

- Bewertung der biologischen Komponenten

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

- Bewertung der Geruchsbelästigung
Pyrolyseprodukte von menschlichem Gewebe verbreiten sehr unangenehme Gerüche, die oft als ekelerregend empfunden werden.

4 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 und zum großen Teil schon in Abschnitt 3.2 „Expositions determinanten“ vorgestellt worden sind. Auch an medizinischen Arbeitsplätzen ist die Reihenfolge der Wahl von Schutzmaßnahmen im Sinne der Europäischen Arbeitsschutzrichtlinie zu beachten:

I.	Vermeidung einer Gefährdung (Substitution)
II.	Einsatz von technischen Schutzmaßnahmen (Kapselung der Gefahr, Lokalabsaugungen)
III.	Einsatz organisatorischer Schutzmaßnahmen (Trennung von Mensch und Gefahr)
IV.	Einsatz persönlicher Schutzmaßnahmen (Atemschutzmaske etc.)

Die folgenden Abschnitte fassen die Empfehlungen verschiedener Fachkreise zur Reduzierung der Exposition chirurgischer Rauchgase zusammen und stellen auch die Empfehlungen des INRS, der Suva und der BGW dar (Quellen: Ball, 2005, 2001; Barrett et al., 2003; Frenette, 2003; NIOSH, 1999; TRGS 525, 1998).

4.1 Substitution

Die Auswahl einer medizinischen Behandlungsmethode unterliegt der Therapiefreiheit und der Verantwortung des behandelnden Arztes und dem für den Patienten zu erwartenden Nutzen. Im Weiteren beschränkt sie sich auf diejenigen, die der einzelne Arzt beherrscht. Dennoch muss bei der Auswahl der Behandlungsmethode die zu erwartende Exposition der Beschäftigten berücksichtigt werden. Es bietet sich daher an, schon im Vorfeld einer Behandlung Kriterien aufzustellen, die als kritische Faktoren für den Einsatz

elektrochirurgischer Verfahren oder Laserverfahren abzuwägen sind. Hierzu können gehören:

- besondere biologische Gefährdungen (bakterielle oder virale Gefährdungen)
- mangelnde technische Ausrüstungen der Behandlungsräume (z.B. fehlende Lüftungen).

Gemessen an der Fülle der Einsatzmöglichkeiten der hier beschriebenen Behandlungsmethoden muss aber davon ausgegangen werden, dass es nur wenige Möglichkeiten des Ausweichens auf andere Verfahren gibt.

Können keine anderen gleichwertigen medizinischen Behandlungsmethoden, die die Beschäftigten weniger belasten, eingesetzt werden, muss auf technische, organisatorische und persönliche Schutzmaßnahmen zurückgegriffen werden.

4.2 Technische Schutzmaßnahmen

Die Absaugung von Chirurgischen Rauchgasen an der Entstehungsstelle ist die technisch sinnvollste Schutzmaßnahme. Andere Verfahren, die die Trennung von chirurgischen Rauchgasen von den Beschäftigten sicherstellen, z.B. ferngesteuerte Eingriffsmethoden o.ä., sind zwar denkbar, aber in der Praxis nicht relevant.

Bisher beschreiben technische Normen (z.B. in den USA (osha.gov/SLTC/laserelectrosurgeryplume/standards.html)) und Deutschland (DIN EN 60601-2-22 Beiblatt 1, 2006) allgemeine Schutzziele zur Sicherheit der Beschäftigten, aber keine detaillierten Anforderungen an die Rauchabsaugungen. Dennoch lassen sich folgende Empfehlungen formulieren:

a) chirurgische Absaugsysteme

Wenn die Menge des chirurgischen Rauches gering ist, kann ein **geeignetes** Absauggerät mit einem zwischengeschalteten Einmalfilter verwendet werden, um den Rauch aus dem Operationsfeld zu entfernen (DIN EN 60601 und Ball, 2005). Der zwischengeschaltete Filter soll eine Kontamination der Absaugleitungssysteme und deren Korrosion verhindern. Die klassischen Wandabsaugungen sind in der Regel nicht leistungsstark genug, größere Mengen an Rauchgasen abzusaugen. Hier sollten eigenständige (mobile) Rauchabsaugsysteme verwendet werden, die eine über zwanzigfach höhere Absaugleistung aufweisen können. Während die chirurgischen Absaugsysteme Saugleistungen von bis zu 100 l min^{-1} aufweisen, liegen sie bei eigenständigen Systemen in der Größenordnung $\text{m}^3 \text{ min}^{-1}$ (vgl. Abschnitt b).

b) mobile Rauchgasabsaugungen

Individuelle Rauchgasabsaugungen werden von den Herstellern sowohl für die Laserchirurgie als auch die Elektrochirurgie angeboten. Dabei gibt es sowohl in das Handstück integrierte Systeme als auch getrennte Einheiten. Diese Systeme bestehen in der Regel aus

- dem eigentlichen Absauggerät
- dem Filtersystem für partikuläre und gas/dampfförmige Substanzen
- einem Schlauch, der mit dem Handstück oder einem Absaugrohr verbunden ist
- dem Handstück oder dem Absaugrohr.

Das **Absauggerät** muss für eine angemessene Absaugleistung unter Betriebsbedingungen sorgen. Dabei werden ca. $0,5 - 0,75 \text{ m s}^{-1}$ (entsprechend 100 bis 150 Fuß Minute⁻¹) als eine ausreichende Absauggeschwindigkeit an der Düse angesehen (NIOSH, 1998). Bei einem Düsendurchmesser von 20 mm entspricht dies einem Luftvolumenstrom von ca. $0,6 \text{ bis } 0,9 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, bei einem Durchmesser des Absaugrohres von 100 mm liegt er bei ca. $15 \text{ bis } 20 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$. Wie bei einem Staubsauger wird die Absaugleistung durch ein rotierendes Turbinenrad erreicht und sie hängt von dem Widerstand in der Absaugleitung und im Filtersystem ab. Verstopfungen in den Leitungen können die Absaugleistung deutlich reduzieren. Bei der Auswahl des Gerätes sollte man auch auf den Geräuschpegel 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 reduzieren können. Während in der Literatur Absaugeinrichtungen mit Aktivkohlefiltern und ULPA-Filtern (Ultra Low Penetration Air) empfohlen werden (Ball, 2005), haben sich diese Empfehlungen bisher nicht in den normativen Vorgaben durchsetzen können. Die NIOSH-Publikation von 1998 empfiehlt HEPA-Filter (High Efficiency Particulate Air), drängt aber nicht zu Aktivkohlefiltern. Die Norm DIN EN 60601-2-22 (Beiblatt1) empfiehlt ULPA-Filter, die bei einer Partikelgröße von mindestens $0,1 \mu\text{m}$ einen Rückhaltewirkungsgrad von mindestens 99,999% aufweisen. Diese Forderung entspricht der Expositionsbeurteilung im Abschnitt 3.4, die eine Gefährdung besonders durch partikuläre Substanzen ergab. Allerdings wurden bei der Empfehlung des NIOSH (1998) noch keine Expositionen gegenüber ultrafeinen, im Nanometerbereich angesiedelten Partikeln berücksichtigt. Hier steht eine endgültige Bewertung der Exposition wegen des noch mangelhaften toxikologischen Wissens weiterhin aus.

Werden allerdings chirurgische Rauchgase regelmäßig in schlecht gelüfteten Räumen freigesetzt, wie z.B. in Praxis- oder Ambulanzräumen mit nur natürlicher Lüftung, ist es wegen der Geruchsbelästigung und wegen der

Freisetzung auch gas- und dampfförmiger Pyrolyseprodukte zu empfehlen, Aktivkohlefilter in den Absaugeinrichtungen einzusetzen.

Austauschbare Filter sollten regelmäßig kontrolliert und entsprechend den Herstellerempfehlungen gewechselt werden. Da die Partikelfilter unter Umständen biologisch aktive Zellen oder Zellbruchstücke speichern, sollte ein Filterwechsel unter hygienischen Mindestanforderungen ablaufen (Ball, 2004). Dies umfasst mindestens die Verwendung von Einmalhandschuhen und das Ablegen der gebrauchten Filter in Plastiktüten zur weiteren Abfallentsorgung. Im Rahmen des Abfallmanagement sollte auf der Grundlage einer Bewertung der anfallenden Operationen entschieden werden, ob die Filter als allgemeiner Abfall oder als gefährlicher, evtl. infektiöser Abfall angesehen werden müssen. (Hinweis: In Deutschland gibt es z.B. die Abfallbezeichnung AS 15 02 02 „Aufsaug- und Filtermaterialien (einschließlich Ölfilter a. n. g.), Wischtücher und Schutzkleidung, die durch gefährliche Stoffe verunreinigt sind“)

Schlauch und Absaugdüse bzw. Handstück stellen einen zusätzlichen, die Absaugleistung reduzierenden Widerstand dar. Sie sollten daher in Länge und Form für den speziellen Einsatz angepasst sein. Der Erfassungsgrad einer Rauchabsaugung ist umso größer, je näher die Düse an der Entstehungsstelle des Rauches positioniert ist (kleiner 5 cm). Dies spricht einerseits für die Verwendung von Handstücken mit einer integrierten Absaugung und entspricht auch dem Stand der Technik in der Laseranwendung. Andererseits kann die Integration die Handhabbarkeit des Handstückes erschweren und die Akzeptanz einer Absaugung bei den Chirurgen reduzieren.

c) Technische Raumlüftungen

Medizinische Behandlungsräume verfügen in der Regel über eine technische Raumlüftung nach nationalen Vorgaben, die den dort notwendigen hygienischen Bedürfnissen Rechnung tragen (z.B. DIN 1946 Teil 4). 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 $1000 - 2000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ Frischluft liegen. Dies entspricht einem stündlichen Luftwechsel von ca. 10 bis 20.

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. Anders ist dies bei Operationen mit aufwendigen Elektrokoagulationen. Zwar sind die technischen Raumlüftungen in OPs bei den oben genannten Frischluftmengen ca. 20 bis 40 mal leistungsfähiger als eine mobile Rauchgasabsaugung, eine

wesentliche Beeinflussung der Raumlüftung durch die Rauchgasabsaugung sollte daher unter diesen Umständen nicht zu erwarten sein. Da die aus dem OP-Raum abgeführte Luft in der Regel in den OP-Flur und die umliegenden Einleit- und Umbetträume abströmt, verteilen sich somit auch die Rauchgase in diesen Räumen. Nicht zuletzt die starken Gerüche der chirurgischen Rauchgase wirken sich störend auf den gesamten OP-Betrieb aus.

d) 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.

4.3 Organisatorische Schutzmaßnahmen

Es bietet sich an, durch arbeitsorganisatorische Maßnahmen wie z.B. die Erstellung wirksamer Arbeitspläne dafür zu sorgen, dass eine möglichst effektive Trennung eines Großteils der Beschäftigten und der entstehenden chirurgischen Rauchgase erreicht wird.

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. Bei den regelmäßigen **arbeitsschutzbezogenen Unterweisungen** sollten daher auch diese Themen aufgeführt und die Einflüsse der verschiedenen Expositions determinanten besprochen werden. Einige Hersteller von Rauchgasabsaugungen bieten zu diesen Zwecken Lehrmaterialien an, die für diese Unterweisungen genutzt werden können.

Arbeitsschutzunterweisungen sollten erstmalig vor Beginn der Tätigkeit eines Beschäftigten durchgeführt werden, ebenso bei wesentlichen Änderungen in Arbeitsabläufen und ansonsten regelmäßig, zum Beispiel jährlich und in Übereinstimmung mit den nationalen Vorgaben. Dies kann auch eine schriftliche Dokumentation der Unterweisung beinhalten.

4.4 Persönliche Schutzmaßnahmen

a) bei chirurgischen Eingriffen

Sind eine wirksame Absaugung und eine ausreichende Raumlüftung vorhanden, besteht keine Notwendigkeit, persönliche Schutzmaßnahmen zu ergreifen. Vielmehr bestimmen dann allein die hygienischen Anforderungen an die Durchführung chirurgischer Eingriffe, welche persönlichen 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.

Persönliche Schutzmaßnahmen gegenüber chemischen und/oder biologischen Gefährdungen müssen vielmehr in Europa der europäischen PSA-Richtlinie entsprechen und die dort genannten Anforderungen erfüllen, insbesondere den Nachweis der Einhaltung technischer Standards (PSA-RL 89/686/EWG).

Geeigneter Atemschutz vor partikulären Komponenten der chirurgischen Rauchgase sind Masken mindestens der Schutzklasse FFP2. Diese Partikel schützen allerdings nicht gegen nanoskalige Partikel. Gas- und dampfförmige Komponenten können nur durch geeignete Aktivkohlefilter zurückgehalten werden.

b) bei Wartungsarbeiten

Da die Partikelfilter der Rauchgasabsaugungen unter Umständen biologisch aktive Zellen, oder Bakterien und Viren mit unterschiedlicher Lebensdauer speichern, sollte ein Filterwechsel unter Berücksichtigung der üblichen hygienischen Maßnahmen und unter Verwendung von Einmalhandschuhen, ablaufen.

4.5 Arbeitsmedizinische Vorsorge

Zurzeit verfügt die Arbeitsmedizin nur über sehr wenige Kriterien für eine medizinische Vorsorge bei den hier präsentierten Tätigkeiten und Expositionen. Wie gezeigt worden ist, sind bis jetzt praktisch keine Erkrankungen durch OP-Rauche bekannt geworden, und es fragt sich, ob solche in Zukunft überhaupt fassbar werden. Dies scheint zurzeit eher nicht der Fall zu sein. Eine spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung mit dem Ziel einer Früherkennung OP-Rauch induzierter Erkrankungen ist deshalb weder sinnvoll noch möglich.

Vorsorgeprogramme, die im Wesentlichen auf die Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen ausgerichtet sind, werden nach unseren Kenntnissen nirgends routinemäßig durchgeführt.

Da aber in vielen Ländern regelmäßig allgemeine arbeitsmedizinische/betriebsärztliche Untersuchungen durchgeführt werden, kann man sie dazu nützen, das Rauchgas exponierte Personal ärztlich zu überwachen, um eventuell auftretende Gefährdungen frühzeitig erkennen und in geeignetem Sinne intervenieren zu können. Sinnvoll ist außerdem, dass Personen mit individueller Prädisposition – etwa einer eingeschränkten Immunabwehr oder

allenfalls vorbestehender Atemwegserkrankungen – im Rahmen dieser Untersuchungen erkannt und von Expositionen gegenüber chirurgischen Rauchgasen ferngehalten werden könnten. Eine solche Vorsorgeuntersuchung müsste sich vorwiegend auf das Erheben der entsprechenden Anamnese, einen klinischen Status und allenfalls die Durchführung ausgewählter Laboruntersuchungen sowie einer Spirometrie beschränken. Die erhobenen Expositionsdaten sollten in den medizinischen Dokumentationsunterlagen festgehalten werden.

Man darf aber davon ausgehen, dass im Rahmen der in den meisten Institutionen des Gesundheitswesens üblichen Eintritts- und Kontrolluntersuchungen des Personals auch auf die Belange der Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen eingegangen wird oder eingegangen werden könnte. Dieses ist aus Sicht der Arbeitsgruppe das zurzeit sinnvollste Vorgehen.

5 Information und Unterweisung

Die in den zurückliegenden Kapiteln beschriebenen Behandlungsmethoden im Rahmen medizinischer Eingriffe werden nur von Fachleuten ausgeführt, die genaue Kenntnisse über die therapeutischen und technischen Vor- und Nachteile der eingesetzten Verfahren haben. Diese Spezialisten sind aufgrund ihres Fachwissens dafür verantwortlich, dass andere Personen in den Behandlungsräumen soweit über mögliche Gefährdungen informiert sind, dass ein sicheres Arbeiten für alle Beteiligten gewährleistet ist. Dabei stellen die Gefährdungen durch chirurgische Rauchgase nur eine Gefährdungsart neben vielen anderen dar wie z.B. derjenigen durch Infektionserreger, elektrische Einrichtungen, Gefährdungen durch scharfe und spitze Gegenstände, oder chemische Gefährdungen durch Desinfektionsmittel, Arzneistoffe, Anästhetika etc.

Die europäische Arbeitsschutzrahmenrichtlinie (89/391/EWG) verlangt, dass jeder Arbeitnehmer zum Zeitpunkt seiner Einstellung, seiner Versetzung oder einer Veränderung seines Aufgabenbereiches, der Einführung oder Änderung von Arbeitsmitteln oder der Einführung einer neuen Technologie, eine ausreichende und angemessene Unterweisung über Sicherheit und Gesundheitsschutz, insbesondere in Form von Informationen und Anweisungen, erhält, die eigens auf seinen Arbeitsplatz oder seinen Aufgabenbereich ausgerichtet ist.

Die genaue Ausgestaltung der Unterweisungen, ihre regelmäßige Wiederholung und ihre Dokumentation muss unter Berücksichtigung nationaler Vorgaben (z.B. zu medizinischen Geräten oder zu chemischen Stoffen) getroffen werden.

Unterweisungen zum Arbeitsschutz lassen sich faktisch nicht von den notwendigen fachlichen Abstimmungen in einem OP-Team trennen, da bei

Laser- bzw. elektrochirurgischen Verfahren im Sinne einer guten Arbeitspraxis zumeist nicht zwischen der OP-Technik und Arbeitsschutzmaßnahmen differenziert werden kann.

Als Inhalte einer Unterweisung zum Schutz vor chirurgischen Rauchgasen bieten sich z.B. die folgenden Themen an:

- Informationen zu den gefährdenden Eigenschaften der entstehenden Pyrolyseprodukte bei Laser- oder elektrochirurgischen Verfahren.
- Informationen zu den weiteren Gefährdungen bei den verwendeten Arbeitsverfahren.
- Informationen über die genauen Arbeitsabläufe.
- Informationen über die Einflussgrößen, die die Belastung durch chirurgische Rauchgase verändern (Expositions determinanten).
- Informationen zu den zu treffenden Schutzmaßnahmen: sowohl lokale Maßnahmen wie z.B. Absaugungen als auch räumliche Maßnahmen wie z.B. die Raumlüftung.
- Informationen zur Reinigung und Instandhaltung/ Wartung der eingesetzten Geräte.
- Informationen zur Gefährdungsbeurteilung: unter welchen Bedingungen werden die getroffenen Maßnahmen als ausreichend für die Beschäftigten angesehen?

Hilfestellungen für strukturierte Unterweisungen können aus verschiedenen Publikationen herangezogen werden, die großteils in Kap. 8 zusammengestellt sind. Z.B. gibt es:

- Informationen einzelner Medizingeräte-Hersteller,
- die publizierten Gefährdungsbeurteilungen und strukturierten Darstellungen der notwendigen Schutzmaßnahmen von NIOSH, ASORN etc.
- Merkblätter zu Laserverfahren wie z.B. das österreichische Merkblatt M140 der AUVA.

6 Überwachung der Wirksamkeit von Schutzmaßnahmen

Eine Überwachung der getroffenen Schutzmaßnahmen hilft, den Schutzstandard der Beschäftigten zu sichern. Daher sollten die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen (z.B. Lüftungseinrichtungen, Absaugeinrichtungen) und das Verhalten der Beschäftigten in regelmäßigen Abständen kritisch überprüft werden.

- Alle eingesetzten Geräte müssen in gutem technischem Zustand sein. Wartungsarbeiten an den Geräten, die als medizinische Geräte oft spezielle Sicherheits- und Funktionsanforderungen erfüllen müssen, sind nach den Herstellerangaben oder nach den gültigen nationalen Vorgaben durchzuführen.
- Eine technische Raumlüftung muss nach den nationalen Vorgaben gewartet werden (in Deutschland gelten z.B. für den Krankenhaus- bzw. Gesundheitsbereich DIN EN 1946-4. Dies betrifft z.B. die Sicherstellung der ausgelegten Lüftungsleistung, notwendige Filterwechsel oder Anforderungen an die Hygiene).
- Lokale Absaugeinrichtungen (Local Exhaust Ventilation – LEV) müssen nach den jeweiligen Herstellerangaben oder nationalen Vorgaben gewartet werden. Auch dies betrifft die Sicherstellung der garantierten Absaugleistung, die Durchführung der notwendigen Filterwechsel sowie die notwendigen Maßnahmen zur Garantie der Hygiene-Standards).
- Die Persönliche Schutzausrüstung (PSA) muss in Europa der PSA-Richtlinie 89/686/EWG und der PSA-Benutzerrichtlinie 89/656/EWG entsprechen. Atemschutzmasken müssen nach jedem Eingriff (bei Einmalartikeln) oder regelmäßig entsprechend den Herstellerangaben ausgetauscht werden.
- Regelmäßige Unterweisung der Handelnden (Ärzte und Assistenzpersonal, Pflegepersonal, Techniker) gemäß Kapitel 5: Ziel ist der Erhalt der Qualität der arbeitsorganisatorischen Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen.
- Die Durchführung von individuellen Messungen in der Atemluft der Beschäftigten zur Ermittlung der Luftkonzentrationen liefert an vielen, z.B. industriellen Arbeitsplätzen die Beurteilungsgrundlage für die Wirksamkeit der getroffenen Schutzmaßnahmen. Im Rahmen der bei medizinischen Eingriffen entstehenden Pyrolyseprodukte ist dies allerdings nicht hilfreich und nicht sinnvoll, da ein medizinischer oder technischer Vergleichswert zur Beurteilung dieses komplexen Vielstoffgemisches fehlt und eine Leitkomponente bisher nicht definiert werden konnte. Dies gilt im Übrigen auch für Messungen im biologischen Material.

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.

7 Zusammenfassung

Seit der Einführung von Laserverfahren und elektrochirurgischen Verfahren in der medizinischen Behandlung ist die Exposition gegenüber den entstehenden Pyrolyseprodukten (chirurgische Rauchgase) thematisiert und untersucht worden.

Chirurgische Rauchgase stellen eine Mischung aus vielfältigsten gas- und dampfförmigen, flüssigen und festen Substanzen dar, die (fast) alle möglichen Gefahrstoff-Eigenschaften lokaler, systemischer, reversibler und irreversibler Art aufweisen können. Zudem führt die thermische Zersetzung der Gewebe zu einer intensiven Geruchsentwicklung, die von Beschäftigten als stark belästigend bis hin zu ekelerregend empfunden und beschrieben wird. Darüber hinaus ist es erwiesen, dass chirurgische Rauchgase biologisch aktive Bestandteile (Zellen, Zellreste, Viren etc.) beinhalten können.

Die Zusammensetzung der Rauchgase und die Intensität der Rauchentstehung ist abhängig von dem gewählten Behandlungsverfahren und dem zu behandelnden Gewebe und kann aufgrund der vielfältigen Einflussgrößen auf die Freisetzung stark schwanken.

Wesentliche Expositionsdeterminanten sind neben den elektrischen Parametern (Leistung, Stromstärke, Frequenz) die Verfahrensparameter (Elektrodenart und -form, Laserart), die Betriebsart (kontinuierlich, gepulst), das behandelte Gewebe (Fett, Muskel, Organart, etc.) und die räumlichen Parameter (Raumgröße, Lüftungsart, Lüftungsintensität).

Die Exposition der Beschäftigten in Operationsbereichen liegt, bezogen auf einzelne Stoffe, weit unterhalb einzelner bestehender Arbeitsplatzgrenzwerte. Da jedoch viele Inhaltsstoffe kanzerogene, mutagene oder teratogene Eigenschaften aufweisen, kann ein Gemisch aus Pyrolyseprodukten nur unter dem Aspekt der Expositionsminimierung beurteilt werden.

Die wichtigsten abgeleiteten Schutzmaßnahmen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Laser und elektrochirurgische Geräte sowie weitere medizinische Behandlungsmethoden, die mit einer intensiven Freisetzung chirurgischer Rauchgase verbunden sind, sollten nur in technisch gelüfteten Arbeitsbereichen wie z.B. modernen OP-Räumen angewendet werden. Das gilt in besonderem Maße, wenn mit Partikeln aus infektiösem Gewebe oder Tumorzellen gerechnet werden muss.
- Zum Schutz der Beschäftigten sollten die entstehenden Rauchgase so gut wie möglich an der Entstehungsstelle abgesaugt werden.

- Wird die abgesaugte Luft nach einer Filterung in den ansonsten gut gelüfteten Arbeitsbereich zurückgeführt, sollte mindestens ein HEPA-Filter verwendet werden.
- Über den Einsatz von ULPA-Filtern (Ultra Low Penetration Airfilter) in Rauchgasabsaugungen sind die Meinungen geteilt, weil bei den Pyrolysevorgängen ultrafeine (Nano-)Partikel entstehen. Die Diskussion ist nachvollziehbar, da diese Partikel zumindest teilweise in der Lage sind, HEPA-Filter zu durchdringen. Allerdings kann aufgrund der fehlenden arbeitsmedizinisch-toxikologischen Beurteilung der Wirkung von nanoskaligen Partikeln bisher keine allgemeine Empfehlung für den Einsatz von ULPA-Filtern gegeben werden.
- Die Verwendung von Aktivkohlefiltern in gut gelüfteten OP-Bereichen erscheint als nicht angemessen. Falls aber die chirurgischen Rauchgase in schlecht gelüfteten Bereichen, z.B. in natürlich belüfteten Praxisräumen oder in Ambulanzen freigesetzt werden, ist es im Einzelfall schon aus Gründen der Geruchsbelästigung sinnvoll, mobile Rauchgasabsaugungen mit Aktivkohlefiltern zu verwenden.
- Eine spezielle arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchung zum Schutz vor Gefährdungen durch chirurgische Rauchgase dürfte aufgrund des heutigen Kenntnisstandes zurzeit nicht notwendig sein.
- Es versteht sich von selbst, dass alle Beschäftigten über die Gefährdungen durch chirurgische Rauchgase und die festgelegten Schutzmaßnahmen im Behandlungsbereich informiert sein müssen.

8 Quellenverzeichnis

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

Albrecht H.; Wäsche W.; Meier T.; Weber L.; Evaluation of potential health hazards caused by laser produced during medical treatment. In: Proceedings of the 3rd EUREKA Industrial Laser Safety (1995) (info.tuwien.ac.at/iflt/safety/refs/alb95.htm)

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

Alp E.; Bijl D.; Bleichrodt R.P.; Hansson B.; Voss A.; Surgical smoke and infection control. *Journal of Hospital Infection* (2006) 62: 1-5

American Society of Ophthalmic Registered Nurses (ASORN); Recommended Practices for Laser Refractive Surgery. Kendall/Hunt Publishing Company, 405 C Westmark Drive Dubuque IOWA 5 2002

Andreasson S.N.; Anundi H.; Sahlberg B.; Ericsson C.-G.; Wälinder R.; Enlund G.; Pahlman L.; Mahteme H.; Peritonectomy with high voltage electrocautery generates higher levels of ultrafine smoke particles. *Eur J Surg Oncol* (2008) DOI: 10.1016/j.ejso.2008.09.002

AUVA Merkblatt M 140; Medizinische Anwendung des Lasers. Sicherheitsinformationen der Allgemeinen Unfallversicherungsanstalt. Sicherheit Kompakt. HUB – M 140 – 0706 aktualisierte Auflage

Baggish M.; Baltoyannis P.; Sze E.; Protection of the rat lung from the harmful effects of laser smoke. *Lasers Surg Med.* (1988) 8,3: 248-53

Baggish M.; Elbakry M.; The effects of laser smoke on the lungs of rats. *Am J Obstet Gynecol.* (1987) 156,5: 1260-5

Baggish M.; Presence of human immunodeficiency virus DNA in laser smoke. *Laser Surg Med.* (1991) 11: 197-203

Ball K.; Controlling Surgical Smoke: A Team Approach. Information Booklet (2004). IC Medical Inc. 2002 W. Quail Avenue, Phoenix, AZ 85027

Ball K.; The hazards of surgical smoke Part 1. *AANA Journal Course* (2001) 69,2: 125-132

Barret W.L.; Garber S.M.; Surgical smoke – a review of the literature. Is this just a lot of hot air?. *Surg Endosc* (2003). DOI: 10.1007/s00464-002-8584-5. 17: 979-987

Beutner K.R.; Becker T.M.; Stone K.M.; Epidemiology of human papillomavirus infections. *Dermatol. Clin.* 9 (1991) 2: 211-218

Bigony L.; Risks Associated with Exposure to Surgical Smoke Plume: A Review of the Literature. *AORN Journal* 86 (2007) 6, 1013–1020

Binding U.; Wäsche W.; Sicherheits- und Schutzmaßnahmen gegen Abbrandprodukte beim Einsatz medizinischer Laser: Angewandte Lasermedizin – 15. Erg. Lfg. (1998) 12: 1-14. II-4.10. Berlin, Müller, Springer-Verlag

Bruske-Hohlfeld I.; Preissler G.; Jauch K.W.; Pitz M.; Nowak D.; Peters A.; Wichmann H.E.; Surgical smoke and ultrafine particles. Journal of Occupational Medicine and Toxicology (2008) 3: 31. DOI: 10.1186/1745-6673-3-31

Byrne P.O.; Sisson P.R.; Oliver P.D. et Ingham R.; Carbon dioxide laser irradiation of bacterial targets in vitro. Journal of Hospital Infection (1987) 9,3: 265-273

Calero L.; Brusis T.; Larynxpapillomatose – erstmalige Anerkennung als Berufskrankheit bei einer OP-Schwester. Laryngo-Rhino-Oto (2003) 82: 790-793

DIN 1946 Teil 4; Raumluftechnik –Teil 4: Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens. Dezember (2008) Beuth-Verlag, Berlin

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

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)

DIN EN 689; Anleitung zur Ermittlung der inhalativen Exposition gegenüber chemischen Stoffen zum Vergleich mit Grenzwerten und Messstrategie. Beuth Verlag, Berlin (1995)

Edwards B.E.; Reiman R.E.; Results of a Survey on Current Surgical Smoke Control Practices. AORN Journal (2008) 87,4: 739-749

Eickmann U.; Methoden der Ermittlung und Bewertung chemischer Expositionen an Arbeitsplätzen. ecomed Medizin (2008) Landsberg/Lech

Fletcher J.N.; Mew D.; DesCoteaux J.G.; Dissemination of melanoma cells within electrocautery plume. Am J Surg (1999). 178,1: 57-59

Freitag L.; Chapman G.A.; Sielczak M.; Ahmed A.; Russin D.; Laser smoke effect on the bronchial system. Lasers Surg Med (1987). 7,3: 283-8

Frenette Y.; Les fumées chirurgicales. Connaissez vous les risques? Travail et Santé (2003) 19,4: 34-36

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

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

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) 33,2: 140-7

- Gatti J.E.;** Bryant C.J.; Noone R.B.; Murphy J.B.; The mutagenicity of electrocautery smoke. *Plastic and reconstructive surgery* (1992). 89,5: 781-786
- 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
- Gonzalez-Bayon L.;** Gonzalez-Moreno S.; Ortega-Pérez G.; Safety considerations for operating room personnel during hyperthermic intraoperative intraperitoneal chemotherapy perfusion. *Eur J Surg Oncol* (2006). 32,6: 619-24
- Hallmo P.;** Naess O.; Laryngeal papillomatosis with human papillomavirus DNA contracted by a laser surgeon. *Eur Arch Otorhinolaryngol* (1991). 248,7: 425-427
- Hensman C.;** Newman E.L.; Shimi S.M.; Cuschieri A.; Cytotoxicity of electro-surgical smoke produced in an anoxic environment. *Am J Surg* (1998). 175,3: 240-241
- Hollmann R.;** Hort C.E.; Kammer E.; Naegele M.; Sigrist M.W. et Meuli-Simmen C.; Smoke in the Operating Theater: An Unregarded Source of Danger. *Plastic and Reconstructive Surgery* (2004). 114,2: 458-463
- INRS** Merkblatt "Le point des connaissances sur les laser". ED 5009, Institut national de recherche et de sécurité (INRS), 2. Auflage, Paris 2004, erhältlich unter www.inrs.fr
- Johnson GK; Robinson WS;** Human immunodeficiency virus-1 (HIV-1) in the vapors of surgical power instruments. *J Med Virol.* (1991). 33: 47-50
- 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
- King B.;** McCullough J.; Health Hazard Evaluation Report. HETA ,#2000-0402-3021 Inova Fairfax Hospital Falls Church, Virginia. November 2006 (2006a)
- King B.;** McCullough J.; Health Hazard Evaluation Report. HETA ,#2001-0066-3019 Morton Plant Hospital Dunedin, Florida. October 2006 (2006b)
- King B.;** McCullough J.; Health Hazard Evaluation Report. HETA ,#2001-0030-3020 Carolinas Medical Center Charlotte, North Carolina. November 2006 (2006c)
- Mihashi S.;** Jako G.J.; Incze J.; Strong M.S.; Vaughn C.W.; Laser surgery in otolaryngology. Interaction of CO₂ laser and soft tissue. *Ann NY Acad Sci* (1975) 267: 263-294
- Moot A.R.;** Ledingham K.M.; Wilson P.F.; Senthilmohan S.T.; Lewis D.R.; Roake J.; Allardyce R.; Composition of volatile organic compounds in diathermy plume as detected by selected ion flow tube mass spectrometry. *ANZ J. Sur.* (2007) 77: 20-23
- Nicas M.;** Estimating Exposure Intensity in an Imperfectly Mixed Room. *AIHA Journal* (1996) 57: 542-550

NIOSH 1996; Control of smoke from laser/electrical surgical procedures. NIOSH Hazard Controls. HC 11. DHHS (NIOSH) Publication 96-128. Cincinnati: NIOSH (1996): 2 p

NIOSH1998; Control of Smoke From Laser/Electric Surgical Procedures. DHHS (NIOSH) Publication No. 96-128

PSA-Benutzerrichtlinie 89/656/EWG; Richtlinie 89/656/EWG des Rates vom 30. November 1989 über Mindestvorschriften für Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Benutzung persönlicher Schutzausrüstungen durch Arbeitnehmer bei der Arbeit (Dritte Einzelrichtlinie im Sinne des Artikels 16 Absatz 1 der Richtlinie 89/391/EWG), Amtsblatt Nr. L 393 vom 30/12/1989 S. 0018 - 0028

PSA-Richtlinie 89/686/EWG; Richtlinie 89/686/EWG des Rates vom 21. Dezember 1989 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten für persönliche Schutzausrüstungen, Amtsblatt Nr. L 399 vom 30/12/1989 S. 0018 – 0038

Rappaport S.M.; Assessment of long-term exposure to toxic substances in air. Review. Ann. Occup. Hyg. (1991). 35,1: 61-121

Sagar P.M.; Meagher A.; Sobczak S.; Wolff B.G.; Chemical composition and potential hazards of electrocautery smoke. Br J Surg (1996) 83,12: 1792

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

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

Spearmann J.; Tsavellas G.; Nichols P.: Current attitudes and practices towards diathermy smoke . Ann R Coll Surg Engl (2007); 89: 162 - 165

Sugarbaker P.H.; Peritonectomy procedures. Surg Oncol Clin N Am (2003). 12,3: 703-27

Taravella M.J.; Viega J.; Luiszer F.; Drexler J.; Blackburn P.; Hovland P.; Repine J.E. Respirable particles in the excimer laser plume. Elsevier Science Inc. (2001) PII S0886-3350(00)00813-0

Tomita Y.; Mihashi S.; Nagata K.; Ueda S.; Hirano M.; Hirohata T.; Mutagenicity of smoke condensates induced by CO₂-laser irradiation and electrocauterization. Mutation Research (1981) 89,2: 145-149

TRGS 400; Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen. Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 400, Stand Januar 2008; erhältlich unter www.baua.de.

TRGS 402; Ermitteln und Beurteilen der Gefährdungen bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen: Inhalative Exposition. Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 402, Stand Juni 2008; erhältlich unter www.baua.de.

TRGS 525; Umgang mit Gefahrstoffen in Einrichtungen zur humanmedizinischen Versorgung. Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 525, Stand Mai 1998; erhältlich unter www.baua.de.

VDI-Sonderband; Bewertung von Abbrandprodukten bei der medizinischen Laseranwendung. Sonderband – Laser in der Materialbearbeitung. VDI-Technologiezentrum Physikalische Technologien (1998), Graf-Recke-Str. 84, 40239 Düsseldorf

Walker B.; High efficiency filtration removes hazards from laser surgery. Br J Theatre Nurs (1990). 27,6: 10-12

Wäsche W.; Albrecht H.; Investigation of the distribution of aerosols and VOC in plume produced during laser treatment under OR conditions. SPIE 2624 (1995) 270-275

Wäsche W.; Albrecht H.J.; Müller G.J.; Assessment of the risk potential of pyrolysis products in plume produced during laser treatment under OR conditions. SPIE Proceedings (1995). 2323: 455-463

Wäsche W.; Wagner G.; Albrecht H.; Müller G.; Analyse der luftgetragenen Abbrandprodukte bei der Laser- und Hochfrequenz-Chirurgie. *in* Minimale Invasive Medizin. MEDTECH (1993). Ecomed Verlagsgesellschaft mbH & Co.KG, Landsberg. 4,4: 35-39

Wu J.S.; Luttman D.R.; Meininger T.A.; Soper N.J.; Production and systemic absorption of toxic byproducts of tissue combustion during laparoscopic surgery. Surg Endosc (1997) 11: 1075-1079