Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW), Hamburg[1], Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), Paris[2], Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suva), Luzern[3]

Chirurgische Rauchgase

Gefährdungen und Schutzmaßnahmen

U. Eickmann[1], M. Falcy[2], I. Fokuhl[1], M. Rüegger[3], M. Bloch[2]

(eingegangen am 24.08.2010, angenommen am 23.11.2010)

Abstract/Zusammenfassung

Surgical smoke
Hazards and protective measures

Aim: The laser methods and electro-surgical processes used in medical treatment have intensified exposure to pyrolysis products (surgical smoke). Surgical smoke is a mixture of innumerable gases and vapours, liquids and solids with a variety of hazardous local, systemic, reversible and irreversible effects. The thermal decomposition of tissue also results in intensive odour development. It has furthermore been demonstrated that surgical smoke can contain biologically active constituents (cells, cell residues, viruses etc.).

The composition of the smoke and intensity of its production depends on the method of treatment selected and on the tissue to be treated and can fluctuate greatly because of the multifarious influencing factors. For this reason, the German BGW, the Swiss Suva and the French INRS have undertaken a systematic evaluation of the hazards involved and issued joint recommendations for protective measures.

Methods: The working techniques, the variables influencing smoke development and the exposure to which employees are subject were determined on the basis of a comprehensive literature research. The institutions involved formed an expert panel to sort and evaluate the exposure information found and joint recommendations were compiled for the protective measures required for activities which involve regular exposure to surgical smoke.

Results: The exposure of persons working in operating theatres, when expressed for individual substances, lies well below the individual limit values existing for workplaces. However, a mixture of pyrolysis products can only be assessed with a view to minimizing exposure, as many constituents have carcinogenic, mutagenic or teratogenic properties and there is no threshold value for airborne exposures to the vast majority of substances in inhaled smoke.

Conclusions: The recommendations put forward by the work group were summarized in a consensus paper of the International Social Security Association (ISSA). They contain an evaluation of the hazard posed by surgical smoke and depict suitable technical, organizational and personal protective measures. They will be available on the Internet at www.issa.int.

Keywords: surgical smoke – exposure - health risks – protective measures

Chirurgische Rauchgase
Gefährdungen und Schutzmaßnahmen

Ziel: Durch Laserverfahren und elektrochirurgische Verfahren in der medizinischen Behandlung ist die Exposition gegenüber Pyrolyseprodukten (chirurgische Rauchgase) intensiviert worden. Chirurgische Rauchgase stellen eine Mischung aus vielfältigen gas- und dampfförmigen, flüssigen und festen Substanzen dar, die diverse Gefahrstoff-Eigenschaften lokaler, systemischer, reversibler und irreversibler Art aufweisen. Zudem führt die thermische Zersetzung der Gewebe zu einer intensiven Geruchsentwicklung. Außerdem ist auch erwiesen, dass chirurgische Rauchgase biologisch aktive Bestandteile (Zellen, Zellreste, Viren etc.) beinhalten können.

Die Zusammensetzung und Intensität der Rauchgase ist abhängig von dem gewählten Behandlungsverfahren und dem zu behandelnden Gewebe und kann aufgrund der vielfältigen Einflussgrößen auf die Freisetzung stark schwanken. Daher haben sich die deutsche BGW, die schweizerische Suva und das französische INRS mit einer systematischen Gefährdungsbeurteilung und einer gemeinsamen Empfehlung für Schutzmaßnahmen befasst.

Methode: Auf der Grundlage einer umfangreichen Literaturrecherche wurden die Arbeitstechniken und die Einflussgrößen auf die Rauchentstehung und die Exposition der Beschäftigten ermittelt. Im Rahmen eines Expertenpanels der beteiligten Institutionen wurden diese vorgefundenen Expositionsinformationen gesichtet und bewertet und eine gemeinsame Empfehlung für die notwendigen Schutzmaßnahmen erstellt.

Ergebnisse: Die Exposition der Beschäftigten in Operationsbereichen liegt, bezogen auf einzelne Stoffe, weit unterhalb einzelner bestehender Arbeitsplatzgrenzwerte. Jedoch kann ein Gemisch aus Pyrolyseprodukten nur unter dem Aspekt der Expositionsminimierung beurteilt werden, da viele Inhaltsstoffe kanzerogene, mutagene oder teratogene Eigenschaften aufweisen und die weit überwiegende Anzahl der Rauchinhaltsstoffe keinen Luftgrenzwert besitzt.

Schlussfolgerungen: Die Empfehlungen der Arbeitsgruppe wurden in einem Konsenspapier der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS) zusammengefasst. Sie umfassen eine Bewertung der Gefährdung durch chirurgische Rauchgase sowie eine Darstellung geeigneter technischer, organisatorischer und persönlicher Schutzmaßnahmen. Sie werden im Internet über die Adresse www.issa.int abrufbar sein.

Schlüsselwörter: chirurgische Rauchgase – Exposition – Gefährdung – Schutzmaßnahmen

Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed 2011; 46: 014–023

Einleitung

Seit vielen Jahren sind chirurgische Verfahren bekannt, bei denen durch Hitzeeinwirkung oder durch Ultraschall Gewebe schonend zertrennt, verschorft oder Blutungen gestillt werden können. Dazu gehören Arbeiten mit elektrochirurgischen Geräten (Andreasson et al. 2009; Ball 2004) sowie Arbeiten mit dem Laser oder mit dem Ultraschallskalpell (ASORN 2002). Hinzu kommen besondere Tätigkeiten wie z. B. das Entfernen von Knochenzement mit Ultraschalleinrichtungen in der Revisionsendoprothetik (Aldinger et al. 2004).

Alle diese Verfahren erzeugen Rauche, von denen man aufgrund von in vitro Versuchen und einzelnen Tierexperimenten annehmen muss, dass von ihnen gesundheitsschädliche Auswirkungen auf das exponierte OP-Personal ausgehen können. Dennoch werden diese Gefahren in vielen gesundheitsdienstlichen Einrichtungen nicht ausreichend wahrgenommen und empfohlene Arbeitsschutzmaßnahmen nicht oder nur ungenügend umgesetzt. Aus diesem Grunde hat eine Arbeitsgruppe der Sektion Gesundheitswesen der IVSS eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt, gestützt darauf eine Gefährdungsbeurteilung derjenigen Tätigkeiten erstellt, bei denen chirurgische Rauchgase entstehen und daraus die vorliegende gemeinsame Empfehlung bezüglich notwendiger Schutzmaßnahmen erarbeitet.

Zusammensetzung chirurgischer Rauchgase

Die Rauche, die bei einem chirurgischen Eingriff mit Hilfe eines Lasers oder Elektrokauters erzeugt werden, bestehen aus einer komplexen Mischung biologischer, zellulärer, partikelförmiger und gas- bzw. dampfförmiger Substanzen. Exponierte Beschäftigte berichten über deutliche Geruchsbelästigungen während der Arbeit (King et al. 2006a–c).

Je nach eingesetztem Verfahren und behandeltem Gewebe unterliegt die quantitative Zusammensetzung des Rauchs großen Schwankungen (Al Sahaf et al. 2007). Es ist allerdings möglich, Aussagen über die qualitative Zusammensetzung zu machen.

- *Wasserdampf:* Physiologisch bedingt ist Wasserdampf der Hauptbestandteil des Rauchs und der Aerosole (bis zu 95 %). Dieser Wasserdampf wirkt wie ein Transportmedium für die anderen Komponenten (Al Sahaf et al. 2007).
- *Partikuläre Zusammensetzung:* Die Größe der entstehenden Partikel reicht von über 200 Mikrometer bis zu weniger als 10 Nanometer. Der mittlere Partikeldurchmesser hängt u. a. von der Intensität der Energieeinwirkung ab. Angegeben werden (Alp et al. 2006):
  - Elektrokauter: mittlerer Partikeldurchmesser d < 0,1 µm
  - Laser (Gewebeabtragung): mittlerer Partikeldurchmesser d ca. 0,3 µm
  - Utraschallskalpell: mittlerer Partikeldurchmesser d ca. 0,35–6,5 µm.

  Dies bedeutet, dass ein sehr großer Teil dieser Rauchpartikel eingeatmet wird und sich in der Peripherie der Lunge ablagern kann. Andréasson et al. (2008) maß die Emission und Größe von Partikeln im Verlauf von Eingriffen bei Bauchfellkarzinosen oder am Verdauungsapparat, und zwar unterteilt nach „klassischen“ und „nanometrischen“ Partikeln (Die Grenze zu „Nanopartikeln“ wird in der Literatur bei einem Partikeldurchmesser von 0,1 µm gezogen). Die Probenahme erfolgte in Höhe der Atemwege. Die Ergebnisse wiesen bei voltintensiven, d. h. mit hohen Spannungen durchgeführten Kauterisationen von Bauchfellkarzinosen auf eine höhere Exposition hin als beim Einsatz klassischer Verfahren (hier: Resektion von Dickdarmkrebs). Die Ergebnisse wurden durch Brüske-Hohlfeld et al. (2008) bestätigt.
- *Organische Stoffe:* Im Rauch wurden zahlreiche organische Pyrolyseprodukte gefunden, z. B. aromatische Kohlenwasserstoffe (Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol), Cyanwasserstoff, Formaldehyd und natürlich polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK; Alp et al. 2006; Al Sahaf et al. 2007; Andréasson et al. 2008). Al Sahaf (2007) hat Analysen unter verschiedenen Einsatzbedingungen durchgeführt und konnte so quantitative Unterschiede bei den Gefahrstoffen im Rauch feststellen.
- *Anorganische Stoffe:* Wie bei jedem Verbrennungsprozess entstehen auch bei elektrochirurgischen Verfahren Kohlenstoffoxide (CO und CO_2), Schwefel- und Stickstoffoxide sowie Ammoniak. Diese Stoffe verursachen Reizungen der Atemwege oder Gewebehypoxien.
- *Biologische Substanzen:* Die Verdampfung von Gewebe über Laser oder bei elektrochirurgischen Eingriffen setzt Rauch und Aerosole frei, die große Mengen an Partikeln enthalten können. Es kann sich um intakte Zellen, Zellfragmente, Blutzellen und virale DNA-Fragmente handeln.

Aus Laserrauch konnten lebensfähige Bakterien gezüchtet werden, und zwar *Bacillus subtilis, Staphylococcus aureus,* aber auch Mykobakterien wie *Mycobacterium tuberculosis* (Walker 1990; Byrne et al. 1987).

Des Weiteren wurden im Rauch infektiöse Viren wie HIV (humanes Immunschwächevirus), HBV (Hepatitis-B-Virus), BPV (bovines Papillomavirus) und HPV (humanes Papillomavirus) nachgewiesen. Die meisten Arbeiten gelten dem humanen Papillomavirus; so wurde die DNA dieses Virus mehrfach in Proben von Rauch nachgewiesen, der bei der Laserkoagulation 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).

Garden untersuchte den Rauch von CO_2-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 eingefangenem Rauch während der Entfernung von bovinen Feigwarzen mittels CO_2-Laser auf drei Schafe. Zwei der drei Tiere entwickelten einen charakteristischen Tumor an der Übertragungsstelle (Garden 1988, 2002).

Im Rahmen eines In-vitro-Versuchs beimpften 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 erzeugten, konnten lebensfähige Viren übertragen. Rauch aus Elektrokoagulations- oder Schneidgeräten enthielt hingegen keine lebensfähigen Viren. Im Jahre 1991 entdeckte Baggish virale HIV-DNA im Rauch eines CO_2-Lasers, der auf einer infizierten Zellkultur benutzt worden war. Fletcher et al. (1999) wiesen lebensfähige Melanomzellen im Rauch aus der Elektrokauterisation eines Melanoms nach.

Toxische Wirkungen

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 und Gase. Ferner kann

der Rauch einen sehr unangenehmen Geruch hervorrufen, der vom Personal oft als störend beschrieben wird.

Die toxische Wirkung ergibt sich aus der Fülle der Einzelwirkungen der oben aufgeführten Stoffe und Stoffgruppen. Durch das Vorliegen eines Stoffgemischs ergibt sich eine komplexe Situation, bei der die Gesamttoxizität kaum der Summe der toxischen Wirkungen einzelner Komponenten entsprechen dürfte. Eine differenzierte Darstellung dieses Sachverhaltes ergibt sich im Übrigen aus dem Arbeitspapier der IVSS-Arbeitsgruppe (2010).

- *Allgemeine Wirkungen:* Die allgemeinen Wirkungen/Symptome bei exponierten Beschäftigten wurden durch Alp (2006) auf Basis der 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 und reicht von Augenreizungen und Niesen bis zu HIV-Infektionen und Karzinomen.
  In zwei Versuchsreihen wurde von Baggish und Mitarbeitern (1987, 1988) die Möglichkeit einer Reizwirkung auf die Atemwege nachgewiesen. Bei einer dieser Studien an Ratten verursachte die intraalveoläre Instillation von Partikeln aus der Gewebeverdampfung durch CO_2-Laser eine interstitielle kongestive Pneumonie, eine Bronchiolitis und ein Emphysem. Bei dem anderen Versuch mit CO_2-Laserrauch exponierten Ratten kam es zu Reizungen der Lungen.
  Freitag et al. (1987) wiesen die Reizwirkung von Laserrauch auf die Atemorgane von Schafen nach. Die Konzentration für die exponierten Tiere lag bei 0,92 mg Partikel/l mit einem mittleren Durchmesser von 0,54 Mikrometer. Der Effekt wurde über eine Analyse der Zellen bewertet, die man durch bronchoalveoläre Lavage gewonnen hatte.
- *Spezifische Wirkungen:* Bisher sind nur die Mutagenese und das Krebsrisiko als spezifische Wirkungen chirurgischer Rauchgase bewertet worden; die Anzahl der Untersuchungen ist allerdings gering und gestattet keine endgültige Schlussfolgerung.
  - *Genotoxizität:* An untersuchten Wirkungen unter Versuchsbedingungen wurde lediglich die Mutagenität mit Hilfe des Ames-Tests betrachtet. Tomita et al. (1981) evaluierten das mutagene Potenzial von Rauch eines CO_2-Lasers, der auf der Schleimhaut einer Hundezunge eingesetzt worden war. Gatti et al. (1992) führten eine ähnliche Untersuchung auf Basis einer Luftprobe durch, die während einer Mastektomie mit einem Elektroskalpell gewonnen worden war.
  - *Zytotoxizität:* Rauch, der unter Versuchsbedingungen durch wiederholte Schnitte mit einem Hochfrequenzelektroskalpell 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 tatsächliche Verhältnisse in OP-Sälen nicht unbedingt repräsentativ (Hensman 1998).

▶ Erfahrungen beim Menschen

In den vorangegangenen Abschnitten sind die von chirurgischen Rauchen und Partikeln ausgehenden Gesundheitsgefährdungen dargestellt worden. Dieser Thematik liegen aber hauptsächlich In-vitro-Untersuchungen sowie einige tierexperimentelle Studien zugrunde. Dennoch erscheinen die daraus abgeleiteten Gesundheitsgefahren für das exponierte Personal 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 aufgrund der Laboruntersuchungen zu erwartenden Gefährdungen bei den Betroffenen tatsächlich in nachweisbarem Ausmaß manifestieren. Dieser Mangel an Kenntnissen wird folglich auch in verschiedenen Verlautbarungen beklagt (Ulmer 2008; Al Sahaf et al. 2007; Bigony 2007; Barrett 2003), wobei das Statement von Ulmer exemplarisch aufgeführt wird: *"A specific link between exposure to surgical smoke and adverse health effects to perioperative personnel has not been made"* (Ulmer 2008).

Andere Autoren haben versucht, der unbefriedigenden Datenlage mit Hilfe einer Risikoevaluation zu begegnen (Scott 2004), d. h. aufgrund der vorhandenen theoretisch-toxikologischen Kenntnisse einerseits und der Art und dem Ausmaß der Expositionen andererseits die mögliche gesundheitliche Gefährdung des Personals quantitativ zu bewerten.

Im Folgenden soll näher auf die wenigen praxisrelevanten Untersuchungen eingegangen werden, also auf diejenigen, die sich vorwiegend mit der Frage beschäftigt haben, 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, die 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 zahlreichen 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 u. 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 % vs. 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.

Eine einfachere, kleinere Fragebogenuntersuchung wurde im Jahr 2001 durch das NIOSH durchgeführt (King u. 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, vor allem 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, die 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 erfasstes 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 Bronchuskarzinoms. 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. Dabei zeigte sich 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 höher Exponierten. 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.

Die bisher aufgezeigten Daten zeigen, dass aufgrund von In-vitro-Untersuchungen und Tierversuchen ein fundiertes toxikologisches Wissen bezüglich der Gefährdung von OP-Rauchen vorhanden ist. Die praktischen Auswirkungen dieses Wissens auf das exponierte OP-Personal ist bisher aber kaum bzw. nur in geringem Ausmaß belegt worden. Das führt dazu, dass die Umsetzung der Erkenntnisse und der daraus sich ergebenden Maßnahmen oft nur zögerlich an die Hand genommen wird (Spearman 2007; Edwards 2005). Diese abwartende Haltung wird zusätzlich durch vielerorts fehlende konkrete Vorgaben der für die Arbeitssicherheit verantwortlichen Behörden begünstigt.

Fest steht, dass die Exposition gegenüber OP-Rauchen mit ernsthaften gesundheitlichen Gefahren einhergehen kann. Mit den folgenden Ausführungen soll deshalb aufgezeigt werden, was zur Verminderung dieser Gefahren zu unternehmen ist.

▶ Einflussgrößen auf die Rauchbelastung

Die Intensität der Stofffreisetzung und die Zusammensetzung der gasförmigen und festen Phasen hängen u. a. 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 und zwar für Partikelemissionen bis ca. 120 mg/min bei einer Laserleistungsdichte von 7,2 kW/cm², wobei die Behandlung von Fettgewebe die größten Emissionen hervorruft, gefolgt von Lebergewebe. Die geringsten Partikelemissionen entstehen bei der Behandlung von Hautgewebe (Wäsche et al. 1993).

Die gesamte Vaporisationsrate, die also auch die Emission gasförmiger Komponenten umfasst, liegt noch höher (z. B. bei 200–600 mg/min beim Lasereinsatz; Wäsche et al. 1995).

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

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).

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 Lasermedien verwendet, z. B. Excimer, Helium-Neon, Kohlendioxid, Neodym-YAG (Merkblatt 5009 des INRS 2004).

Die Wirkung der Laser auf das Gewebe hängt von seiner Art, seiner energetischen Leistung (Leistung/Fläche) und von seiner Betriebsart (gepulst oder kontinuierlicher Betrieb) ab. In Abhängigkeit von der schädigenden Wirkung der Laser auf den 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 Fällen der Laserklasse 4. (Bezüglich der Definition der Laserklassen siehe EN 60825-1.)

Elektrochirurgische Geräte („electro surgical units", ESU). Bei elektrochirurgischen Eingriffen werden hochfrequente Ströme (> 300 kHz) 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 koaguliert wird.

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 die Absaugungen an den Handstücken von Lasern oder ESU, stationäre Wandabsaugeinrichtungen sowie Getrennte, mobile Absaugeinrichtungen.

Die wesentlichen Einflussgrößen auf die Freisetzungsrate an Rauchgasen und damit auf die Exposition der Beschäftigten sind im Falle der lokalen Absaugeinrichtungen die Absaugleistung (Liter/Minute), die Luftgeschwindigkeit an der Absaugöffnung (m/s), der Abstand der Ansaugöffnung von der Emissionsquelle, die spezifische Filterleistung in Abhängigkeit von den zu filtrierenden Substanzen und die Art und der Grad der Luftrückführung.

Man erkennt 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 aktuellen Anforderungen angepasst werden müssen.

Raumlufttechnische 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 Gefahrstoffe 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 Art und Richtung der Luftführung (z. B. Laminarflow-Decke, bodennahe Lüftungsöffnungen), Lüftungsrichtungen (von oben nach unten bzw. von unten nach oben),
- der Grad der Luftrückführung in den Arbeitsbereich,
- 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-Air“(HEPA)-Filtern 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, so genannter 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 die einzelnen Gas- oder Dampfmoleküle an den Oberflächen adsorbiert werden können. Insbesondere geruchsintensive Gase können nur so aus der Luft entfernt werden, falls diese teilweise oder vollständig wieder in den Arbeitsbereich zurückgeführt werden soll.

Tätigkeiten

Die Art der medizinischen Behandlung und der Umfang des Eingriffs sowie die betroffene Körperstelle bzw. das betroffene Gewebe sind wichtige Einflussgrößen auf die Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen. Die Einsatzdauer der für die Emissionen verantwortlichen Geräte beeinflusst die Menge der gesamten freigesetzten chirurgischen Rauchgase, während die Dauer des Eingriffes für die gesamte Expositionsdauer eine Rolle spielt. Natürlich hat auch die Art des Gerätebetriebes (z. B. gepulst oder Dauerbetrieb) einen 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.

Weitere Aspekte

Neben den schon aufgeführten Einflussgrößen können noch weitere Faktoren die Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen beeinflussen:

- arbeitsorganisatorische Effekte (Zahl der täglichen Eingriffe),
- individuelle Einflüsse (Qualifikation des Behandelnden, Zustand des Patienten etc.),
- qualitätssichernde Aspekte (Prüfungen/Wartungen technischer Einrichtungen).

▶ Beschreibung der Exposition

Die emittierten chirurgischen Rauchgase bilden ein schwer zu messendes Vielstoffgemisch aus unterschiedlichen Aggregatzuständen. So ist es nicht erstaunlich, dass nur sehr wenige quantitative Informationen zu personenbezogenen Belastungen durch chirurgische Rauchgase vorliegen.

Vorliegende Messdaten

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 CO_2-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 CO_2-Laser behandelt worden waren, zeigen, dass in Luftproben aus dem Atembereich des Operationsteams HPV-DNA vorhanden war. Sie fanden diese in 17 von 22 Proben der RRP-Patienten, während Kontrolluntersuchungen an anderen Patienten keinerlei HPV-DNA zeigten. Damit bestätigten sich Untersuchungen von Garden et al. (1988), die bei der Warzenbehandlung bovine und humane PV-DNA in Laserrauch gefunden hatten. Eine Quantifizierung der biologischen Belastung bzw. eine Gefährdungsbeurteilung für die Beschäftigten konnten die Autoren jedoch 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 mittleren geometrischen Durchmesser von 0,22 µm ± 0,056 µm. Eine weitergehende Bewertung der ansonsten nicht quantifizierten Exposition gegenüber den Partikeln war ihnen allerdings nicht möglich.

Wäsche et al. (VDI-Sonderband 1998) untersuchten in einem Forschungsvorhaben die Vorgänge und Pyrolyseprodukte bei der Laserbehandlung menschlichen Gewebes. Für die Anwendung von CO_2-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^{-1} (Laserleistung) lag. Die Laserleistungen lagen bei den Untersuchun-

gen bei 10, 20 und 40 Watt. Es wurden ebenfalls Verteilungsdichten der Partikeldurchmesser im Rauch bestimmt und nachgewiesen, dass der weit überwiegende Anteil der Partikeldurchmesser kleiner als 1 µm ist und sogar 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 CO_2-Laser (Leistung = 20 W, Strahldurchmesser 0,6–1,2 mm, aktive Laserzeit = 5 min) über 30 min. Die Messergebnisse lagen bei 3–8 mg m^{-3} alveolengängige Aerosolkonzentration im Atembereich des Chirurgen.

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 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, in der OP-Luft gemessen, bei 0,4–9,4 mg m^{-3} lag.

Das amerikanische NIOSH führte in verschiedenen Krankenhäusern Untersuchungen der Belastung bei elektrochirurgischen Behandlungen durch (King u. McCullough 2006a,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 waren in allen untersuchten Einrichtungen ähnlich:

- es wurden nur die Substanzen Formaldehyd, Acetaldehyd und Toluol als flüchtige Substanzen mit nennenswerten Konzentrationen nachgewiesen,
- die Konzentrationsniveaus dieser Komponenten waren jedoch stets weit unterhalb der in den USA zulässigen Luftkonzentrationen.

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

Tabelle 1: Rauchgasbestandteile bei der Elektrokauterisation, deren berechnete Konzentration und deren zulässige Arbeitsplatzkonzentration, sofern vorhanden (Hollmann et al. 2004)

Table 1: Components of smoke produced during electrocauterization, their calculated concentrations and their maximum workplace concentrations (limit values), if available (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_9H_{10}	0,3	12	nv
106-99-0	1,3-Butadien	C_4H_6	0,016	1,5	5,0
107-12-0	Propionitril	C_3H_5N	1,1	18	nv
108-88-3	Toluol	C_7H_8	0,2	17	50
556-64-9	Thiocyansäure-methylether	CH_3SCN	0,4	22	nv
592-76-7	1-Hepten	C_7H_{14}	0,1	8,5	nv
74-85-1	Ethylen	C_2H_4	0,00007	0,065	10000
7664-41-7	Ammoniak	NH_3	0,00007	0,12	20
872-05-9	1-Decen	$C_{10}H_{20}$	0,8	190	nv
98-01-1	2-Furaldehyd	$C_5H_4O_2$	0,2	24	2
115-11-7	Methylpropen	C_4H_8	0,02	7,2	nv

nv = nicht vorhanden, CAS = Chemical Abstracts Service – Erfassungsnummer

Hollmann et al. (2004) führten Messungen in unmittelbarer Nähe (ca. 2 cm) der elektrochirurgischen Eingriffsstelle aus und konnten dabei verschiedene Gefahrstoffe nachweisen (Tabelle 1). 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.

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

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

Brüske-Hohlfeld et al. (2008) stellten bei Untersuchungen mehrerer Operationen mit Laser und Ultraschallskalpell fest, dass durch die Energieeintragungen nanoskalige und größere Partikel (< 1 µm) entstehen. Sie fanden Peak-Konzentrationen von über 100 000 Partikel/cm^3.

▶ 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 beispielsweise Toluol, Butanon oder Ethylbenzol bei weitem nicht erreicht (Tabelle 2). Andererseits finden sich in den Rauchen flüchtige Substanzen mit kanzerogenen, mutagenen und reproduktionstoxischen (cmr-) Eigenschaften wie z. B. Benzol. Wie bei anderen vergleichbaren Pyrolyseprodukten, z. B. Tabakrauch, muss daher das allgemeine Gebot der Expositionsminimierung beachtet werden.
- *Bewertung der partikelförmigen Komponenten:* Die partikulären Belastungen der Beschäftigten bestehen zum großen Teil aus sehr feinen Teilchen im Nanobereich. Die Luftkonzentrationen können bei den hier beschriebenen Prozessen einige mg/m^3 betragen und somit die Luftwege der Beschäftigten schon

Tabelle 2: 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)

Table 2: Threshold concentrations for individual components of surgical smoke in air (Source: GESTIS database on hazardous substances "International limit values for chemical agents"; see www.dguv.de/ifa/en/gestis/limit_values/index.jsp; 05.07.2010)

Land	Schichtmittelwert/Kurzzeitwert [mg/m³]		
	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

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 nanoskaligen Partikeln:* Eine abschließende Bewertung der auftretenden Belastung mit ultrafeinen Partikeln im Nanobereich ist heute noch nicht möglich. Wegen der Fähigkeit von nanoskaligen Partikeln, außerhalb der klassischen Aufnahmepfade an alle Stellen des Körpers zu gelangen (sog. Translokation), können auch geringe Belastungen mit diesen Materialien nicht ohne weiteres als unproblematisch angesehen werden.
- *Bewertung der biologischen Komponenten:* Eine Verbreitung biologisch aktiver Zellen und Zellbestandteile durch elektrochirurgische oder Lasereingriffe darf als wahrscheinlich angesehen werden. Die dadurch entstehende Exposition lässt sich allerdings nicht allgemeingültig quantifizieren. Aus Präventionsgründen sollte daher die Freisetzung von Rauchen vermieden werden.
- *Bewertung der Geruchsbelästigung:* Pyrolyseprodukte vom menschlichen Gewebe verbreiten sehr unangenehme Gerüche, die oft als ekelerregend empfunden werden.

▶ Schutzmaßnahmen

Zur Vermeidung der Exposition gegenüber chirurgischen Rauchgasen bieten sich die klassischen Schutzmaßnahmen an, die auch an technischen Arbeitsplätzen eingesetzt werden und zum großen Teil schon im Abschnitt „Expositionsdeterminanten" vorgestellt worden sind. Auch an medizinischen Arbeitsplätzen ist die Reihenfolge der Wahl von Schutzmaßnahmen im Sinne der Europäischen Arbeitsschutzrichtlinie zu beachten, d. h. zuerst Vermeidung einer Gefährdung (Substitution), dann Einsatz von technischen Schutzmaßnahmen (Kapselung der Gefahr, Lokalabsaugungen), dann Einsatz organisatorischer Schutzmaßnahmen (Trennung von Mensch und Gefahr), und erst zuletzt Verwendung persönlicher Schutzausrüstungen (Atemschutzmaske etc.).

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

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 2001, 2005; Barrett et al. 2003; Frenette 2003; NIOSH 1999; TRGS 525 1998).

Technische Schutzmaßnahmen

Die Absaugung von Chirurgischen Rauchgasen an der Entstehungsstelle ist die technisch sinnvollste Schutzmaßnahme. 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:

Chirurgische Absaugsysteme. Wenn die Menge des chirurgischen Rauchs gering ist, sollte ein chirurgisches 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, um größere Mengen an Rauchgasen abzusaugen. Hier sollten mobile Rauchabsaugsysteme verwendet werden, die eine über zwanzigfach höhere Absaugleistung aufweisen. Während die chirurgischen Absaugsysteme Saugleistungen von bis zu 100 l min^{-1} aufweisen, liegen sie bei eigenständigen Systemen in der Größenordnung m^3 min^{-1} (s. unten).

Mobile Rauchgasabsaugungen. Individuelle Rauchgasabsaugungen werden von den Herstellern sowohl für die Laserchirurgie als auch die Elektrochirurgie angeboten. 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 m s^{-1} als eine ausreichende Absauggeschwindigkeit an der Düse angesehen (NIOSH 1998). Die Absaugleistung 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 (ULPA = 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 µm einen Rückhaltewirkungsgrad von mindestens 99,999 % aufweisen. Diese Forderung entspricht der Expositionsbewertung im Abschnitt „Erfahrungen beim Menschen", die eine Gefährdung besonders durch partikuläre Gefahrstoffe 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 aus.

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

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 wird (< 5 cm). Dies spricht für die Verwendung von Handstücken mit einer integrierten Absaugung.

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). Dabei werden große Luftmengen benötigt, die etwa bei 1000–2000 m^3/h 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.

Die technischen Raumlüftungen in OPs sind 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.

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 eher ein Problem für den Chirurgen, was im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht weiter behandelt werden soll.

Organisatorische Schutzmaßnahmen

Die Beschäftigten in Operationseinheiten können sich am besten vor chirurgischen Rauchgasen schützen, wenn sie über die Entstehungsmechanismen des Rauchs, die dadurch entstehenden Gefährdungen und die möglichen Schutzmaßnahmen informiert sind. Bei den regelmäßigen arbeitsschutzbezogenen Unterweisungen sollten daher auch diese Themen berücksichtigt und die Einflüsse der verschiedenen Expositionsdeterminanten besprochen werden.

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

Persönliche Schutzmaßnahmen

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 insbesondere keine kleinstskaligen Partikel zurück, die bei Pyrolysevorgängen entstehen können. Dieser Mundschutz ist daher kein geeignetes Mittel, um sich gegen biologische Risiken (Viren, Zellteile) zu schützen.

Persönliche Schutzmaßnahmen gegenüber chemischen und/oder biologischen Gefährdungen müssen 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).

Geeigneten Atemschutz vor partikulären Komponenten der chirurgischen Rauchgase bieten Masken, die mindestens der Schutzklasse FFP2 entsprechen. Gas- und dampfförmige Komponenten können nur durch geeignete Aktivkohlefilter zurückgehalten werden.

Arbeitsmedizinische Vorsorge

Zurzeit sind kaum diagnostische Ansätze erkennbar, die für eine arbeitsmedizinische Vorsorge bei den hier präsentierten Tätigkeiten und Expositionen geeignet wären.

Da in vielen Ländern wiederkehrende arbeitsmedizinische/betriebsärztliche Untersuchungen allgemeinen Charakters 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.

▶ Literatur

1 Al Sahaf OS, Vega-Carrascal I, Cunningham FO, McGrath JP, Bloomfield FJ. Chemical composition of smoke produced by high-frequency electrosurgery. Ir J Med Sci 2007; 176: 229–232.

2 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).

3 Aldinger PR, Kleine H, Goebel A, Eickmann U, Breusch SJ. Schadstoffemissionen bei der Entfernung von Knochenzement mit Ultraschallgeräten in der Revisionsendoprothetik. Biomed Tech 2001; 46: 287–289.

4 Alp E, Bijl D, Bleichrodt RP, Hansson B, Voss A. Surgical smoke and infection control. J Hos Infect 2006; 62: 1–5.

5 American Society of Ophthalmic Registrered Nurses (ASORN). Recommended Practices for Laser Refractive Surgery. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt, 2002.

6 Andreasson SN, 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 2009; 35: 780–784.

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

8 Baggish M, Baltoyannis P, Sze E. Protection of the rat lung from the harmful effects of laser smoke. Lasers Surg Med 1988; 8: 248–253.

9 Baggish M, Elbakry M. The effects of laser smoke on the lungs of rats. Am J Obstet Gynecol 1987; 156: 1260–1265.

10 Baggish M. Presence of human immunodeficiency virus DNA in laser smoke. Laser Surg Med 1991; 11: 197–203.

11 Ball K. Controlling surgical smoke: A team approach. Information Booklet (2004). Phoenix: IC Medical, 2002.

12 Ball K. The hazards of surgical smoke, Part 1. AANA Journal Course 2001; 69: 125–132.

13 Barret WL, Garber SM. Surgical smoke – a review of the literature. Is this just a lot of hot air? Surg Endosc 2003; 17: 979–987.

14 Bigony L. Risks associated with exposure to surgical smoke plume: a review of the literature. AORN J 2007; 86: 1013–1020.

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

16 Bruske-Hohlfeld I, Preissler G, Jauch KW, Pitz M, Nowak D, Peters A, Wichmann HE. Surgical smoke and ultrafine particles. J Occup Med Toxicol 2008; 3: 31.

17 Byrne PO, Sisson PR, Oliver PD, Ingham R. Carbon dioxide laser irradiation of bacterial targets in vitro. J Hosp Infect 1987; 9: 265–273.

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

19 DIN 1946 Teil 4; Raumlufttechnik –Teil 4: Raumlufttechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens. Berlin: Beuth, 2008.

20 DIN EN 60601-22; Medizinische elektrische Geräte - Teil 2–22: Besondere Festlegungen für die Sicherheit einschließlich der wesentlichen Leistungsmerkmale für chirurgische, therapeutische und diagnostische Lasergeräte (IEC 76/314/CDV:2005); Deutsche Fassung prEN 60601-2-22:2005 VDE 0750-2-22:2005-11.

21 DIN EN 60601-2-22 Beiblatt 1; Sicherheit von Lasereinrichtungen – Leitfaden für die sichere Anwendung von Laserstrahlung am Menschen (IEC/TR 60825-8-2006). Oktober 2007.

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

23 Edwards BE, Reiman RE. Results of a Survey on current surgical smoke control practices. AORN Journal 2008; 87: 739–749.

24 Eickmann U. Methoden der Ermittlung und Bewertung chemischer Expositionen an Arbeitsplätzen. Landsberg/Lech: ecomed Medizin, 2008.

25 Fletcher JN, Mew D, DesCoteaux JG. Dissemination of melanoma cells within electrocautery plume. Am J Surg 1999; 178: 57–59.

26 Freitag L, Chapman GA, Sielczak M, Ahmed A, Russin D. Laser smoke effect on the bronchial system. Lasers Surg Med 1987; 7: 283–288.

27 Frenette Y. Les fumées chirurgicales. Connaissez vous les risques? Travail et Santé 2003; 19: 34–36.

28 Garden JM, O'Bannion MK, Bakus AD, Olson C. Viral disease transmitted by laser-generated plume (Aerosol). Arch Dermatol 2002; 138: 1303–1307.

29 Garden JM, O'Bannion MK, Shelnitz LS, Pinski KS, Bakus AD, Reichmann ME, Sundberg JP. Papillomavirus in the vapor of carbon dioxide laser-treated verrucae: JAMA 1988; 259: 1199–1202.

30 Gates MA, Feskanich D, Speizer FE, Hankinson SE. Operating room nursing and lung cancer risk in a cohort of female registered nurses. Scand J Work Environ Health 2007; 33: 140–147.

31 Gatti JE, Bryant CJ, Noone RB, Murphy JB. The mutagenicity of electrocautery smoke. Plastic Reconstr Surg 1992; 89: 781–786.

32 Gloster HM, Roenigk RK. Risk of acquiring human papillomavirus from the plume produced by the carbon dioxide laser in the treatment of warts. J Am Acad Dermatol 1995; 32: 436–441.

33 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: 619–624.

34 Hallmo P, Naess O. Laryngeal papillomatosis with human papillomavirus DNA contracted by a laser surgeon. Eur Arch Otorhinolaryngol 1991; 248: 425–427.

35 Hensman C, Newman EL, Shimi SM, Cuschieri A. Cytotoxicity of electro-surgical smoke produced in an anoxic environment. Am J Surg 1998; 175: 240–241.

36 Hollmann R, Hort CE, Kammer E, Naegele M, Sigrist MW, Meuli-Simmen C. Smoke in the operating theater: an unregarded source of danger. Plastic Reconstr Surg 2004; 114: 458–463.

37 INRS Merkblatt "Le point des connaissances sur les laser". ED 5009, Institut national de recherche et de sécurité (INRS), 2. Aufl, Paris 2004 (erhältlich unter www.inrs.fr).

38 IVSS (Hrsg). Chirurgische Rauchgase: Gefährdungen und Schutzmaßnahmen. Hamburg: IVSS-Sektion Gesundheitswesen (in Vorbereitung).

39 Johnson GK, Robinson WS. Human immunodeficiency virus-1 (HIV-1) in the vapors of surgical power instruments. J Med Virol 1991; 33: 47–50.

40 Kashima HK, Kessis T, Mounts P, Shah K. Polymerase chain reaction identification of human papillomavirus DNA in CO_2 laser plume from recurrent respiratory papillomatosis. Otolaryngol Head Neck Surg 1991; 104: 191–195.

41 King B, McCullough J. Health Hazard Evaluation Report. HETA ,#2000-0402-3021 Inova Fairfax Hospital Falls Church, Virginia, 2006a.

42 King B, McCullough J. Health Hazard Evaluation Report. HETA ,#2001-0066-3019 Morton Plant Hospital Dunedin, Florida, 2006b.

43 King B, McCullough J. Health Hazard Evaluation Report. HETA,#2001-0030-3020 Carolinas Medical Center Charlotte, North Carolina, 2006c.

44 Mihashi S, Jako GJ, Incze J, Strong MS, Vaughn CW. Laser surgery in otolaryngology. Interaction of CO_2 laser and soft tissue. Ann NY Acad Sci 1975; 267: 263–294.

45 Moot AR, Ledingham KM, Wilson PF, Senthilmohan ST, Lewis DR, 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.

46 Nicas M. Estimating Exposure Intensity in an imperfectly mixed room. AIHA Journal 1996; 57: 542–550.

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

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

49 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.

50 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

51 Rappaport SM. Assessment of long-term exposure to toxic substances in air. Review Ann Occup Hyg 1991; 35: 61–121.

52 Sagar PM, Meagher A, Sobczak S, Wolff BG. Chemical composition and potential hazards of electrocautery smoke. Br J Surg 1996; 83: 1792.

53 Sawchuk WS, Weber P.J, Lowy DR, Dzubow LM. Infectious papillomavirus in the vapor of warts treated with carbon dioxide laser or electrocoagulation: detection and protection. J Am Acad Dermatol 1989; 21: 41–49.

54 Scott E, Beswick A, Wakefield K. The Hazards of Diathermy Plume. Part 1: The literature search. Br J Periop Nursing 2004; 14: 409–414. Part 2: Producing quantified data. Br J Periop Nursing 2004; 14: 452–456.

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

56 Sugarbaker PH. Peritonectomy procedures. Surg Oncol Clin N Am 2003; 12: 703–727.

57 Taravella MJ, Viega J, Luiszer F, Drexler J, Blackburn P, Hovland P, Repine JE. Respirable particles in the excimer laser plume. Elsevier Science Inc., 2001.

58 Tomita Y, Mihashi S, Nagata K, Ueda S, Hirano M, Hirohata T. Mutagenicity of smoke condensates induced by CO_2-laser irradiation and electrocauterization. Mutation Res 1981; 89: 145–149.

59 TRGS 400. Gefährdungsbeurteilung für Tätigkeiten mit Gefahrstoffen. Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 400, Stand Januar 2008 (erhältlich unter www.baua.de).
60 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).
61 TRGS 525. Umgang mit Gefahrstoffen in Einrichtungen zur humanmedizinischen Versorgung. Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS) 525, Stand Mai 1998 (erhältlich unter www.baua.de).
62 VDI-Sonderband. Bewertung von Abbrandprodukten bei der medizinischen Laseranwendung. Sonderband – Laser in der Materialbearbeitung. Düsseldorf: VDI-Technologiezentrum Physikalische Technologien, 1998.
63 Walker B. High efficiency filtration removes hazards from laser surgery. Br J Theatre Nurs 1990; 27: 10–12.
64 Wäsche W, Albrecht H. Investigation of the distribution of aerosols and VOC in plume produced during laser treatment under OR conditions. SPIE 1995; 2624: 270–275.
65 Wäsche W, Albrecht HJ, Müller GJ. Assessment of the risk potential of pyrolysis products in plume produced during laser treatment under OR conditions. SPIE Proceedings 1995; 2323: 455–463.
66 Wäsche W, Wagner G, Albrecht H, Müller G. Analyse der luftgetragenen Abbrandprodukte bei der Laser- und Hochfrequenz-Chirurgie. in Minimale Invasive Medizin. Landsberg, Ecomed 1993, S 35–39.
67 Wu JS, Luttman DR, Meininger TA, Soper NJ. Production and systemic absorption of toxic byproducts of tissue combustion during laparoscopic surgery. Surg Endosc 1997; 11: 1075–1079.

Danksagung. Die Arbeitsgruppe dankt Frau Dr. Brigitte Merz, Suva Luzern, für die wertvollen inhaltlichen Hinweise und für die kritische Diskussion des Manuskripts.

Anschrift für die Verfasser:
Priv.-Doz. Dr.-Ing. Udo Eickmann
Berufsgenossenschaft für Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW)
Fachbereich Gefahrstoffe/Toxikologie
Bonner Str. 337
50968 Köln
E-Mail: Udo.Eickmann@bgw-online.de