

THM CAMPUS GIESSEN
Technische Hochschule Mittelhessen

Aerogene Risikofaktoren im OP – Komplexität und Lösungspotentiale

Prof. Dr. med. Dipl.-Ing. **H.-M. Seipp**
Technische Gebäudeausstattung im Krankenhaus
Facharzt für Hygiene + Umweltmedizin
Obmann DIN 1946-4

Risikobetrachtung von Operationsräumen

unter Berücksichtigung aktueller rechtlicher, technischer und prozessualer Entwicklungen:

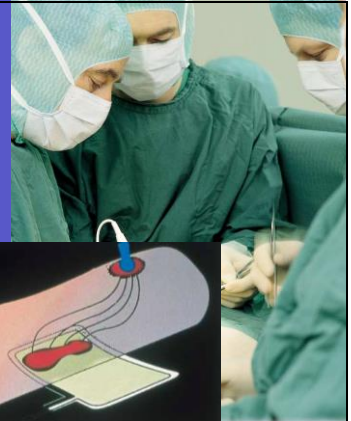
- Arbeitsschutz:**
 - **2015** BGV- „Chirurgischer Rauch“ aus Laser- / HF-Anwendungen
 - **2018** Begrenzung Schallpegel
 - Behaglichkeitsrisiken (MET / CLO)
- DIN 1946-4:** **2018** Raumluftechnik
- Infektionsschutz:** **2018** RKI-Richtlinie: OP-Infektionen
- Medizinprodukte:** Neubewertung „Partikel als Patienten-Risiko“ (ISO 19227 Implants for surgery)
- Narkosegase:** ISO-/SEVO-/DES-Fluran: Verteilung im OP analog Partikeln ≤ 300 nm ($\varnothing$ Akkumulation)
- Energie-Effizienz:** EU-Ökodesign-RL → EN 16798-Reihe

1. Arbeitsschutz „Chirurgische Rauchgase“

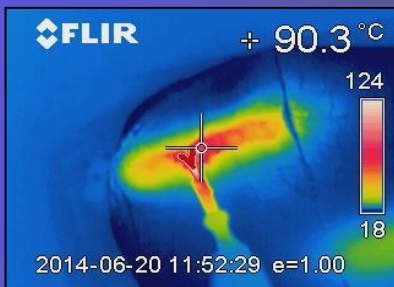
P. Hailmo, O. Naess:
Laryngeal papillomatosis with human papilloma-virus DNA contracted by a laser surgeon. Dep. Otorhinolaryngology and Pathology, Ullevaal Hospital, Oslo, Norway, Eur Arch Otorhinolaryngol (1991) 248 : 425-427



HF-Chirurgie



Induzierte Temperaturen
im Gewebe / SS-Gase: $(80-) \leq 140$ °C



HF-Chirurgie



„Surgical Smoke“ – Zusammensetzung

Partikelgrößen: < 10 nm bis > 200 µm

Mittlerer Partikeldurchmesser (d) abhängig von der Intensität der Energieeinwirkung auf das Gewebe:

- Hf-Chirurgie / Elektrokauter d < 0,1 µm
- Laser (Gewebeabtragung) d ca. 0,3 µm
- Ultraschallskalpell d ca. 0,35-6,5 µm

→ ca. 50 % der inhalierten SS-Partikel sind Alveolen-gängig und werden in der Lunge abgeschieden

Die Anwendungshäufigkeit von Hf-Chirurgie & Laser hat in den letzten 10 Jahren massiv zugenommen

→ Verkürzung der OP-Zeiten (≤ 30 %) vs. erhöhtes Personal-Risiko

1. Arbeitsschutz

Umwelt Bundes Amt (2011)

Risikobewertung von NANO-Produkten

... Dokument mit erster Bilanz aus > 80 Projekten Sicherheitsforschung zur Nanotechnologie, die die beteiligten Ressort-Forschungseinrichtungen auf Grundlage der gemeinsamen Forschungsstrategie aus dem Jahr 2007 selbst durchgeführt oder an externe Institutionen vergeben haben.



Umwelt Bundes Amt (2011)

Prüfung und Bewertung der Wirkung von NANO-Partikeln

c) Nanomaterialien sind ferner darauf zu prüfen, ob sie als lungenbläschen-gängige **granuläre bio-beständige Stäube** ohne bekannte signifikante spezifische Toxizität (GBS) zu klassifizieren sind.

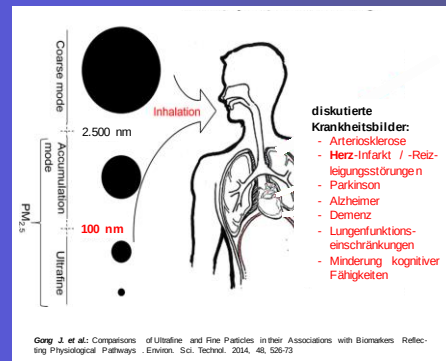
GBS besitzen keine über eine Partikelwirkung hinausgehende stoffspezifische Toxizität und sind

– per definition – im biologischen Milieu beständig

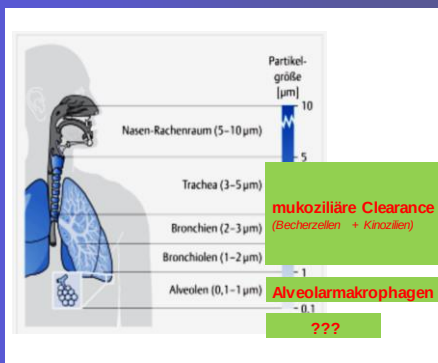
... können bis in die tiefen Atemwege / Lungenbläschen gelangen und dort u. U. entzündliche Prozesse

verursachen (Asbestose, Silikose ...)

UFP –
Teilfraktion
der PM_{2,5}



UFP –
(patho-)physiologische
toxikologische
Aspekte



UFP –
(patho-)physiologische
toxikologische
Aspekte

Alveolarmakrophagen (AM) → Fresszellen, 12-30 µm

- Aufnahmekapazität: ca. 6 % Eigenvolumen [12]
- lysieren Partikel / Mikroorganismen (≥ 300 nm [15]) mittels Enzymen + Sauerstoffradikalen in Lysosomen
- lysosomal **nicht eliminierbare Partikel**:
A) AM wandert durch Alveolenwand zu mediastinalen Lymphknoten → Blutkreislauf
B) Entzündungsreaktion lockt neutrophile Granulozyten an → Entzündung / Immunantwort
- Partikel-Halbwertszeit in Alveolen: ca. 400 Tage [11]

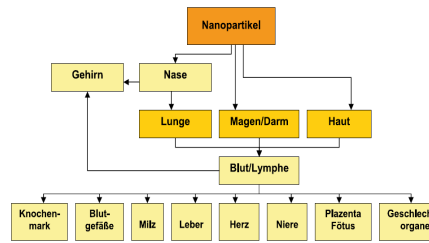
UFP

- keine AM-Aktivierung → < 100 nm
→ keine Aktivierung Neutrophiler Granulozyten
→ keine UFP Elimination
- UFP binden an **innere Mitochondrien-Membran**
→ Enzym-Freisetzung ggf. Selbstzerstörung [16]
- hohe UFP-Beladung der Phagosomen setzen toxische Stoffe frei → Schädigung anderer AM-Organellen

UFP – (patho-)physiologische toxikologische Aspekte

UFP passieren physiologische Barrieren

- **Plazentaschranke:** Blutkreislauf Mutter / Fötus
- **Blut-Hirn-Schranke:** Astrozyten / Oligodendrozyten
- **Blut-Hoden-Schranke:** Sertolizellen schränken
- **Blut-Luft-Schranke:** Alveolarepithelzellen Typ I



UBA 2012: 1. Bilanz zur gemeinsamen Forschungsstrategie der Ressortforschungsrichtungen des Bundes "Nanotechnologie - Gesundheit und Umweltschwermetalle" (2007/11)

NANO Partikel → EU-Parlament (Jan. 2012)

... „natürlicher oder hergestellter Wirkstoff oder nicht wirksamer Stoff“, der „Partikel in ungebundenem Zustand, als Aggregat oder Agglomerat enthält und bei dem mindestens 50 % der Partikel in der Anzahlgrößenverteilung ein oder mehrere Außenmaße im Bereich von **1-100 nm** haben“

Ultrafeine Partikel → DGUV

... UFP entstehen insbesondere als Kondensationsprodukte bei thermischen und chemischen Gasphasenreaktionen

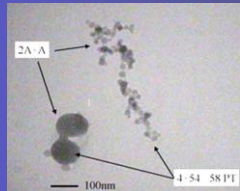
Beispiele: Schweißrauche, Metallrauche, Polymer-Rauche, technische Ruße, Pyrogene, amorphe Kieselsäure, partikelförmige Dieselmotor-Emissionen

Die zunächst entstehenden Partikel ≤ 1 nm können sich kurz nach ihrem Entstehen zu größeren Teilchenagglomeraten zusammenlagern

Ultrafeine Partikel und NANO-Partikel

- bilden Agglomerate / Aggregate bzw. können sich aus diesen wieder lösen

DFG: Ultrafeine Aerosole, deren Agglomerate und Aggregate, Aerosole in: Gesundheits- und Arbeitsmedizinische Toxikologie, Arbeitsmedizinische Begründungen von Mark Warten, H. Greim, Hrsg. (1998) 1-4 Verlag Chemie, Weinheim



- **aktuell:** intensive Forschung zur möglichen Freisetzung kleinerer UFP / Nanopartikel aus Agglomeraten / Aggregaten im Körper
- medizinisch-toxikologischen Erkenntnisse zur UFP-Beurteilung an Arbeitsplätzen noch unzureichend
- **keine** (1) Expositionsgrenzwerte, (2) anerkannte Messmethode

Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS, 2011)

... sieht für den Arbeitsschutz bei Tätigkeiten mit **Nanomaterialien** derzeit „keinen unmittelbaren Anpassungsbedarf auf Verordnungsebene“.

ABER: Konkretisierung der Vorgaben von § 6 Abs. 12 der Gefahrstoffverordnung zur Festlegung von Arbeitsschutzmaßnahmen **für Gefahrstoffe**, zu deren gefährlichen Eigenschaften noch **keine / nur unzureichende Informationen**, z. B. aus toxikologischen Prüfungen, **vorliegen**.

Empfehlung der Berufsgenossenschaft¹ (2011) der Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege (BGW), **Hamburg** + Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS), **Paris** + Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (Suv), **Luzern**

→ „**Geeigneten Atemschutz vor partikulären Komponenten der chirurgischen Rauchgase bieten Masken, die mindestens der Schutzklasse FFP-2 entsprechen.**“

¹Arbeitsmed. Sozialmed. 14 Umweltmed. 46, 01, 2011

Tsang et al. World Journal of Surgical Oncology 2014, 12(1):10

WORLD JOURNAL OF SURGICAL ONCOLOGY

RESEARCH Open Access

Cancer risk of incremental exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in electrocautery smoke for mastectomy personnel

nan-shan Tsang¹, Shih-feng Liu², Jian-hua Tang², Li-hua Tang², Shen-Chih Lee², Yao-ben Liu² and Gueh-Huei Chen^{2*}

Abstract

Background: Electrocautery applications in surgical operations produce visible smoke in the operating room. Because of the incomplete combustion of electrical current in the tissue and blood vessels during electrocautery, significant quantities of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) are released in the form of smoke.

Methods: The particle number concentration and the concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the smoke were investigated in 10 mastectomy cases to estimate the potential risk for surgical staff. The particle number concentration and the concentration of PAHs in the smoke were measured with a particle number and mass concentration monitor. The smoke was collected, filtered, and analyzed by gas chromatography-mass spectrometry.

Results: Significant polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) concentrations were found in the smoke during surgical operations. The average particle number concentration and the average PAH concentration in the smoke were 1.1 × 10⁶ particles/cm³ and 1.1 × 10⁻⁶ g/cm³, respectively. The average particle number concentration and the average PAH concentration in the smoke were 1.1 × 10⁶ particles/cm³ and 1.1 × 10⁻⁶ g/cm³, respectively. The average particle number concentration and the average PAH concentration in the smoke were 1.1 × 10⁶ particles/cm³ and 1.1 × 10⁻⁶ g/cm³, respectively.

Conclusion: The carcinogenic effect of PAHs in the smoke during surgical operations should not be overlooked. The use of an effective electrocautery smoke removal apparatus is strongly suggested to decrease the PAH exposure to surgical staff.

Keywords: Cancer risk, Electrocautery smoke, Polycyclic aromatic hydrocarbons, Surgical staff, Tissue coagulating force

Background

Electrocautery is a common surgical technique used in many surgical procedures. It is a technique that uses electrical energy to cut, coagulate, or destroy tissue. The smoke generated during electrocautery is a complex mixture of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), carbon monoxide, and other toxic substances. PAHs are known to be carcinogenic and can cause lung cancer, liver cancer, and other types of cancer. The smoke generated during electrocautery is a complex mixture of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), carbon monoxide, and other toxic substances. PAHs are known to be carcinogenic and can cause lung cancer, liver cancer, and other types of cancer.

Tsang et al. 2014

PAH-Tumor-Risiko
(Polycyclic Aromatic
Hydrocarbons)

Verhältnis der PAH-
Belastung der **SS-
Partikel vs. Gase**
(Inhalationshöhe
Operateure) im Mittel
131 : 1,4 ng/m³

→ 93-fach höheres
Tumor-Risiko durch
SS-Partikel vs. Gase
→ Anästhesie höheres
Risiko: längere An-
wesenheit im OP

Gefahrstoffe in Einrichtungen der medizinischen Versorgung – TRGS 525

GMBI 2015 S. 542 v om 10.7. 2015

8.1 Chirurgische Rauchgase

8.1.1 Gefährdungen

- Gas- bzw. dampfförmige Substanzen ... flüchtige Substanzen mit **kanzerogenen, mutagenen und reproduktionstoxischen (CMR)-Eigenschaften** im Spurenbereich nachgewiesen
- Partikuläre Belastungen der Beschäftigten bestehen zum großen Teil aus ultrafeinen Partikeln.
- **können** bei den Laser- oder elektrochirurgischen Verfahren **kurzzeitig einige mg/m³** betragen.

Gefahrstoffe in Einrichtungen der medizinischen Versorgung – TRGS 525

GMBI 2015 S. 542 v om 10.7.2015

8.1.2 Schutzmaßnahmen

... Gefährdungen erfordern, dass ... das allgemeine Gebot der Expositionsminimierung beachtet werden muss und geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen sind:

1. Verwendung von **Handstücken mit integrierter Absaugung** **oder** getrennte Lokalabsaugung
2. Geräte, bei deren Verwendung chirurgische Rauchgase zu erwarten sind, sollen nur in Eingriffsräumen (z. B. Operationsräumen) mit **modernen raumluftechnischen Anlagen**, z. B. nach **DIN 1946 Teil 4**, eingesetzt werden

Gefahrstoffe in Einrichtungen der medizinischen Versorgung – TRGS 525

GMBI 2015 S. 542 v om 10.7.2015

8.1.2 Schutzmaßnahmen

3. Beschäftigte sind ... über die Entstehungsmechanismen des Rauches und raucharme Benutzung der Geräte zu **informieren**
 4. Sind Rauchgas-Gefährdungen ... technisch und organisatorisch nicht zu beseitigen, ist im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung zu entscheiden, ob z. B. **verbesserte Lüftung** **ODER** Partikel-filtrierende **FFP-2-Halbmasken** erforderlich werden
- ... Der **normale „medizinische Mundschutz“** ist kein geeignetes Mittel, um sich gegenüber chirurgischen Rauchgasen zu schützen

Gefahrstoffverordnung

§ 7 Grundpflichten

(4) Der Arbeitgeber hat Gefährdungen der Gesundheit und der Sicherheit der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen **auszuschließen**.

Ist dies (*Substitution*) nicht möglich, hat er sie auf ein **Minimum zu reduzieren**.

Diesen Geboten hat der Arbeitgeber durch die Festlegung und Anwendung geeigneter **Schutzmaßnahmen** wie folgt zu entsprechen haben:

Rangfolge „STOP“:

- 1. **Substitution**, Vermeidung
- 2. **Technische Lösung**
- 3. **Organisationsänderung**
- 4. **Persönliche** Schutzmaßnahmen (zeitlich befristet !)

Gefahrstoffverordnung

§ 7 Grundpflichten

(4) Der Arbeitgeber hat Gefährdungen der Gesundheit und der Sicherheit der Beschäftigten bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen **auszuschließen**.

Ist dies (*Substitution*) nicht möglich, hat er sie auf ein Minimum zu reduzieren.

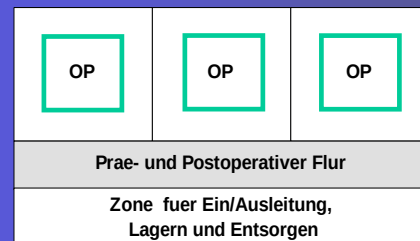
Diesen Geboten hat der Arbeitgeber durch die Festlegung und Anwendung geeigneter **Schutzmaßnahmen** Rechnung zu tragen – in der folgenden Rangfolge:

Rangfolge „STOP“:

- 1. **Substitution**, Vermeidung
- 2. **Technische Lösung**
- 3. **Organisationsänderung**
- 4. **Persönliche** Schutzmaßnahmen (zeitlich befristet !)

„STOP“-Reihenfolge:

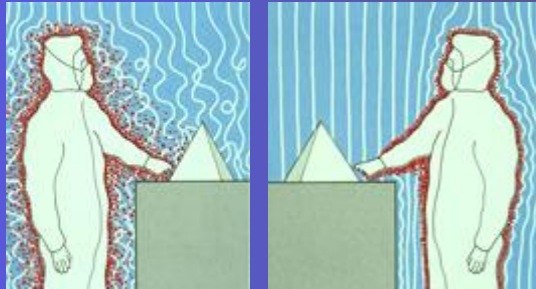
- 1. **Substitution**, Vermeidung
- 2. **Technische Lösung** → **DIN / ÖNORM**
- 3. **Organisationsänderung**
- 4. **Persönliche** Schutzmaßnahmen (zeitlich befristet !)



TAV-Systeme: Zuluftdecke

Mischlüftung (TVS)
→ 3.500 m³/h

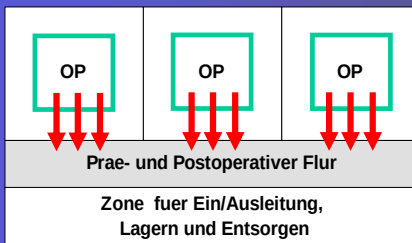
Turbulenzarme Lüftung (TAV)
→ 10.500 m³/h



Unterbindung des Luft- Transportes in den Inhalations- bereich der Operateure



→ Überströmung von OP-Luft in Flure **begrenzen** –
zum Schutz Dritter



Characterisation of Exposure to Ultrafine Particles from Surgical Smoke by Use of a Fast Mobility Particle Sizer
Siri Fentad Ragde^{1,2*}, Rikke Bremming Jørgensen³ and Solveig Forveland^{1,2}

¹Department of Occupational Medicine, N. Christy Hospital, Trondheim University Hospital, Trondheim, 7015 Trondheim, Norway;
²Department of Industrial Medicine, Trondheim University Hospital, Trondheim, 7015 Trondheim, Norway;
³Department of Industrial Medicine and Technology Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 7015 Trondheim, Norway

ABSTRACT
Introduction: Electrosurgery is a method based on a high frequency current used to cut tissue and coagulate small blood vessels during surgery. Surgical smoke is generated due to the heat caused by electrosurgery. The carcinogenic potential of this smoke was assessed already in the 1980s and there has been a growing interest in the potential adverse health effects of exposure to the particles in surgical smoke. Surgical smoke is known to contain ultrafine particles (UFPs) but the knowledge about the exposure to UFPs produced by electrosurgery is limited. The aim of the study was therefore to characterise the exposure to UFPs generated during different types of surgical procedures and in different job groups in the operating room, and to characterise the particles in the smoke.
Methods: Personal exposure measurements were performed on nine surgeons, assistant surgeons, scrub nurses, and assistants working during the different surgical procedures (laparoscopic, laser assisted, open surgery, and electrosurgery). The exposure, surgery, and measurement duration of the procedure (TVS), the measurement were performed with a Fast Mobility Particle Sizer (FMPS) to measure the exposure to UFPs during the procedure and to characterise the particles in the smoke. The particles were investigated using Laser Microprobe Methods.
Results: The exposure to UFPs was highest during laparoscopic and laser assisted surgery (LAP) and laser assisted surgery (LAS) and lowest during laparoscopic and laser assisted surgery (LAS) and laser assisted surgery (LAS). The different job groups had similar exposure during the same type of surgical procedure. The use of electrosurgery resulted in short term high peak exposure (highest maximum peak value 272 000 particles cm⁻³ in smoke UFPs). The size distribution of particles was similar between the different types of surgical procedures, when electrosurgery, laparoscopic surgery, and LAS were performed. UFPs produced by LAS had a dominating peak at 20 nm, while smoke produced by electrosurgery had a dominating peak at 20 nm and a secondary peak at 20 nm and a secondary peak at 20 nm. The results show that electrosurgery is a source of UFPs and that the exposure to UFPs is highest during electrosurgery. The results show that electrosurgery is a source of UFPs and that the exposure to UFPs is highest during electrosurgery.

Ragde et al. 2016
.... short term peak concentrations of
> E+10 particles / m³

Risikoabschätzung intraoperativer Inhalation:

Intraoperative Belastung : E+10 Partikel/m³ ≥ 10 nm

Peakverteilung : Faktor 100

Worst-Case (Max) : Faktor 10

→ **Reduktionsziel: ≤ 13 LOG**

→ Reduktionspotentiale

TAV-Systeme: 2-3 LOG (99 - 99,9 % !)

Mobile Absaugung 1-1,8 LOG (95 % !)

FFP-2 0,9* LOG

Mund-Nasenschutz (chir.) 0,2* LOG

*: Primärer Einfluss: Masken-Fixierung + Bart / -länge

DIN 1946-4 / 2018 **ÖNORM** / 2019

3.1 Begriffe

3.1.2 Chirurgische Rauchgase („Surgical Smoke“)

intraoperativ durch elektrochirurgische und Laser-Verfahren freigesetzte Mischung aus **vielfältigen gas- / dampfförmigen, flüssigen und festen Substanzen, die diverse Gefährstoff-Eigenschaften** lokaler, systemischer, reversibler und irreversibler Art gegenüber Personen aufweisen

Thermische Zersetzung von Gewebe → Freisetzung von

- Pyrolyseprodukten (z. B. Kohlenmonoxid, Formaldehyd und Blausäure ...)
- Feinstaub- / Ultrafeinpartikel (UFP)
- biologisch aktive Bestandteile: vitale (Tumor-) Zellen, Zellreste, Viren etc.

DIN 1946-4 / 2018**3.1 Begriffe****3.1.14 Operationsraum Ia**

bauliche Raumeinheit mit zentralem Schutzbereich und vertikal ausgerichteter, turbulenzarmer Verdrängungsströmung (TAV), die im Schutzbereich einen **> 300-fachen Luftwechsel (1/h)** sicherstellt und dadurch eine Reduktion des intraoperativen Bakterieneintrags (Sedimentation) um **> 90 %** im Vergleich zum Operationsraum der Raumklasse Ib erreicht

3.1.15 Operationsraum Ib

bauliche Raumeinheit mit turbulenter Verdünnungsströmung (TVS), bei der Zuluft für einen **20- bis 25-fachen Luftwechsel (1/h)** über Schwebstofffilter-Luftauslässe eingebracht wird

DIN 1946-4 / 2018**4 Allgemeine Grundsätze****4.1 Beteiligung von Krankenhaushygieniker, Hygiene- und Sicherheitsingenieur**

„Bei der Planung, der Ausführung, dem Betrieb und der Instandhaltung von RLT-Anlagen müssen **durch den Betreiber der Einrichtung** beteiligt werden

- ein **Krankenhaushygieniker**,
- ein **Hygiene-Ingenieur**
- ein **Sicherheitsingenieur**,

um den technischen Regelwerken und rechtlichen Anforderungen aus den Hygieneverordnungen der Länder sowie des Arbeitsschutzes entsprechen zu können.“

→ CAVE: **Fachverantwortlichkeit !**

4.2 Notwendigkeit raumluftechnischer Anlagen

Raumluftechnische Anlagen können ... erforderlich werden ... aufgrund ... :

- Außenluftbedarfs für Personen
- Anforderungen des Infektionsschutzes
- **Vorgaben des Arbeitsschutzes**
- Schutzes von Medizinprodukten.

Zur Bewertung der Notwendigkeit einer RLT-Anlage sind **physikalische** (z. B. Heiz- und Kühllasten), **bauliche** (z. B. innenliegende Räume) und **klimaphysiologische** (z. B. thermische Behaglichkeit) Bedingungen ebenso zu berücksichtigen wie **mutagene, allergene oder toxische Belastungen** (z. B. **Chirurgische Rauchgase**).

5 Raumklassen / Anforderungen**5.1 Allgemeines**

Für die **Bemessung des „Außenluftvolumenstroms“** zu versorgender Räume sind

... **zunächst die inneren Stofflasten (Feuchte, chemische Schadstoffe, Rauchgase, Geruchsstoffe etc.) für jeden Raum** zu ermitteln.

.... nach den Vorschriften der

- Gefahrstoffverordnung,
- Technische Regeln für Gefahrstoffe (TRGS),
- Arbeitsstättenverordnung mit Arbeitsstättenregeln,
- Biostoffverordnung mit Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe (TRBA)

Tabelle 1: Raumluftechnische Mindestanforderungen**1.1 OP-Räume**

Mindestanforderung: Vor der **Planung von Überströmöffnungen** in angrenzenden Räume/Flure sind insbesondere Gesundheitsgefahren aus der Anwendung von Röntgen-/(Laser-) Strahlen und **Chirurgische Rauchgase** sowie **Narkosegasen** zu beachten.

Maßnahmen: **Überströmöffnungen** auf ein notwendiges Minimum beschränken; Überströmung vorzugsweise über Türfugen.

Der **Außenluftanteil** muss sicherstellen, dass Gesundheitsgefahren durch Schadgase (Narkosegase, Desinfektionsmittel, **Chirurgische Rauchgase** etc.) ausgeschlossen sind.

6.7.3 Überströmungen

... müssen insbesondere Gefahren aus der Anwendung von Röntgen- und sonstigen (Laser-) Strahlen berücksichtigen und ausschließen, dass Strahlung von einem Raum in einen anderen gelangen kann.

... durch Überströmungen dürfen in angrenzenden Räumen / Fluren keine Gesundheitsgefahren, z. B. durch **Chirurgische Rauchgase, Narkosegase**, entstehen.

Behaglichkeits-Risiken im OP – DIN EN ISO 7730

Ausschluss von Gefährdungen durch abweichende

- **Raumtemperatur / Wärmestrahlung / Luft-Feuchte**
→ MET / CLO (Feuchte- / Körper-Schweißbildung)
- **Strömungsgeschwindigkeiten**
→ Zugluft

OP-Raumtemperatur: Schweiß-Bildung / -Freisetzung beim OP-Team / Infektionsrisiken

- Noble WC: Dispersal of bacteria from human skin. (1976) Proceedings of the International Symposium on Contamination Control, Copenhagen, Denmark: Publ. s.n.: 16-24
- Mitchell NJ, Evans DS, Kerr A: Reduction of skin bacteria in theatre air with comfortable non-woven disposable clothing for operating theatre staff. (1988) Br Med J 1:696-698
- Mills SJC, Holland DJ, Hardy AE: Operative field contamination by the sweating surgeon. Aust J J Surg. (2000) 70 (12): 837-839
- Woodhead K, Taylor EW, Bannister G, et al.: Behaviour and rituals in the operating theatre. (2002) J Hosp Infect 51:241-255
- Moorby K, Munz Y, Doss A, Bann S, Dazi A: The effect of stress-inducing conditions on the performance of a laparoscopic task. (2003) SurgEndosc 17:1483-1484
- Arora S, Sevdalis N, Nassis D, Woloszynowicz M, Darzi A, Kneebone R: The impact of stress on surgical performance: a systematic review of the literature. (2004) Surgery 147:318-330
- Daren ME, Machan JT, D'Giovanni CW, Ehrlich MG, Glickman RG: Preventing operating rooms for prevention of intraoperative hypothermia during total knee and hip arthroplasties. (2005) J Bone Joint Surg 26:1350-1386
- Eisen DB: Surgeon's gab and infection control: what the evidence? J Am Acad Dermatol. (2011) 64:960e-120
- Bert RJ, Inaba K, Sullivan M, Okoye O, Siboni S, Minnelli M, Teixeira PG, Demetriades D: The impact of heat stress on operative performance and cognitive function during simulated laparoscopic operative tasks. (2015) Surgery 157: 87-95
- Taylor L, Watkins SL, Marshall H, Dascombe BJ, Foster J: The impact of different environmental conditions on cognitive functions: a focused review. Front Physiol (2016) 6:372
- Dunn JC, Kusnezov N, Koehler LR, Orr JD: The Sweaty Surgeon: Raising Ambient Operating Room Temperature Benefits Neither Patient nor Surgeon. J Bone Joint Surgery, American Volume (2017) 99 e27 1-3, doi: 10.2106/JBJS.16.00846

OP-Raumtemperatur: Schweiß-Bildung / -Freisetzung beim OP-Team / Infektionsrisiken

- Mills SJC, Holland DJ, Hardy AE: Operative field contamination by the sweating surgeon. Aust J Z J Surg. (2000) 70 (12): 837-839

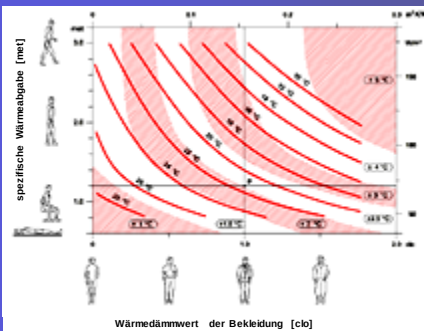
→ "The sweating surgeon may be more likely to contaminate the surgical field than the non-sweating surgeon.

It is important for orthopaedic surgeons, ..., to be aware of this and to take measures to minimize sweating in the operating theatre."

Thermische Behaglichkeit – Zusammenhang „MET und CLO“

DEUTSCHE NORM		Mai 2006
	DIN EN ISO 7730	DIN
ICS 13.040.20; 13.180	Ersatz für DIN EN ISO 7730:2006-03	
Ergonomie der thermischen Umgebung – Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit (ISO 7730:2005); Deutsche Fassung EN ISO 7730:2005		

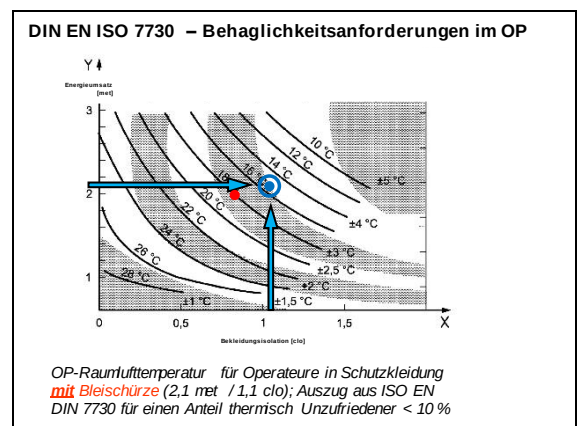
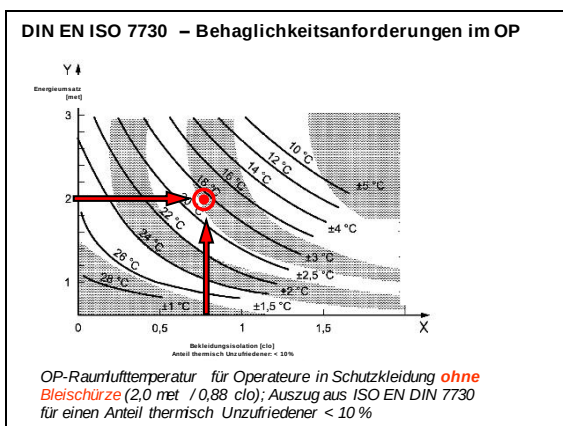
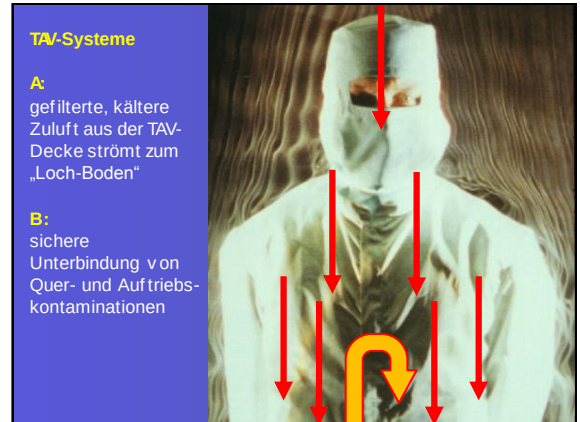
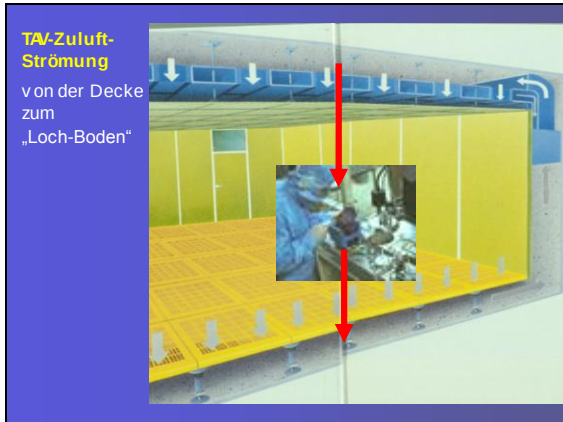
Thermische Behaglichkeit – Zusammenhang „MET und CLO“

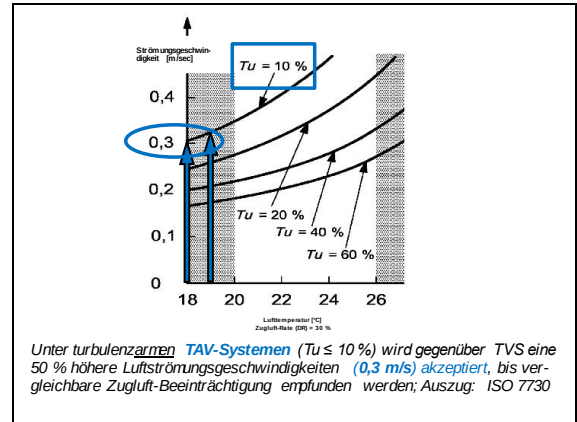
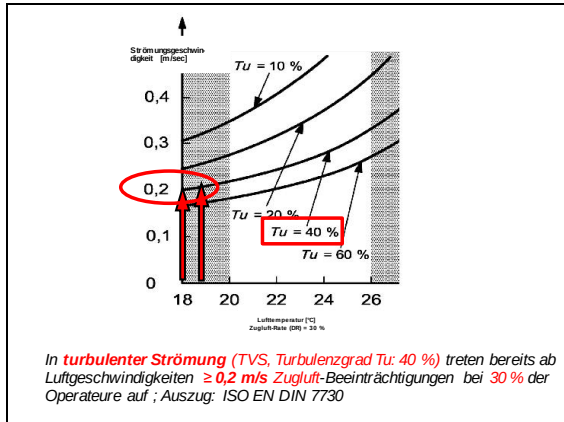


DIN EN ISO 7730

Industrielle Reinraumtechnik







2. Infektionsschutz

RKI-Empfehlung, 2018 – „Prävention postoperativer Wundinfektionen“

Zielsetzung:

Schutz von PatientInnen sowie der Schutz von MitarbeiterInnen vor nosokomialen bzw. berufsbedingten Infektionen.

NICHT jedoch:

- Arbeitsschutz (Stäube, Gase, Behaglichkeit (Kälte, Hitze / Schweißbildung, Zugscheinungen, Strahlenschutz etc.
- Gefahren aus Medizinprodukten (toxische, allergische, Schnitt-/Quetsch-/Stichverletzungen ...) für Patienten, Mitarbeiter und Dritte
- Energieeffizienz

2. Infektionsschutz

RKI-Empfehlung, 2018: Laminar Air flow (LAF) / turbulenzarme Verdrängungsströmung (TAV)

„Grundsätzlich kommt einem eventuellen Erregereintrag aus der Luft im Rahmen von Operationen eine nachrangige Bedeutung in der Manifestation einer SSI zu.“

„Unter den aktuell verfügbaren Techniken bietet sich für die Versorgung mit partikelarmer und keimarmer Luft TAV an – wegen der schnellen Verdrängung und der starken Verdünnung eventuell belasteter Luft.“

„Es kann als gesichert angesehen werden, dass durch Zufuhr bakterienfrei filtrierter TAV-Luft die mikrobielle Luftbelastung reduziert werden kann“

2. Infektionsschutz

.... „Die Effekte der TAV gegenüber turbulenter Mischlüftung sind in Bezug auf die signifikant höhere Reduktion der Erreger- und Partikelast im Schutzbereich (OP-Feld, sterile Tische) und im Raumhintergrund unter definierten Bedingungen in zahlreichen Studien nachgewiesen“

ARTICLE IN PRESS

American Journal of Infection Control xxx (2012) 1–6

Contents lists available at ScienceDirect

American Journal of Infection Control

journal homepage: www.elsevier.com/locate/ajic

Major article

Bacterial burdens in the operating room: Impact of airflow systems

Tobias Hirsch MD^{a,b}, Helmine Hubert MSc^c, Sebastian Fischer MD^b, Armin Lahmer MD^c, Marcus Lehnhardt MD^d, Hans-Ulrich Steinau MD^e, Lars Steintraesser MD^f, Hans-Martin Seipp MD^{c,*}

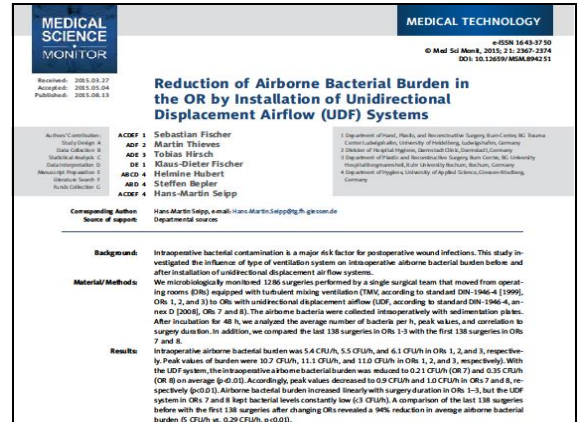
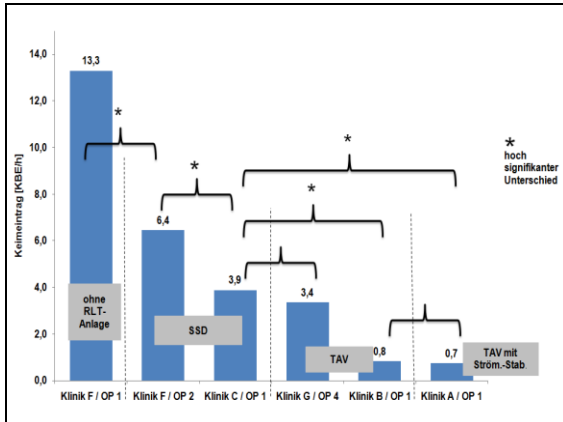
^aDepartment of Plastic and Reconstructive Surgery, Barm Herzog, BC University Hospital Bergmannsheil, Ruhr University Bochum, Bochum, Germany
^bDepartment of Plastic and Reconstructive Surgery, Barm Herzog, BC University Hospital Bergmannsheil, University of Duisburg, Essen, Germany
^cUniversity of Applied Sciences, Bochum, Germany

Keywords:
 Wound infection
 Surgery
 Ventilation systems
 Surgical site infection
 Contamination

Background: Wound infections present one of the most prevalent and frequent complications associated with surgical procedures. This study analyzes the impact of currently used ventilation systems in the operating room to reduce bacterial contamination during surgical procedures.

Methods: Four ventilation systems (window-based ventilation, supported air nozzle canopy, low-turbulence displacement airflow, and low-turbulence displacement airflow with flow stabilizer) were analyzed. Two hundred seventy-seven surgical procedures in 6 operating rooms of 5 different hospitals were analyzed for this study.

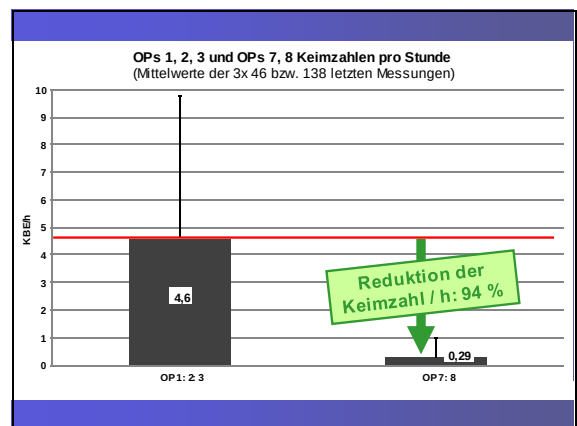
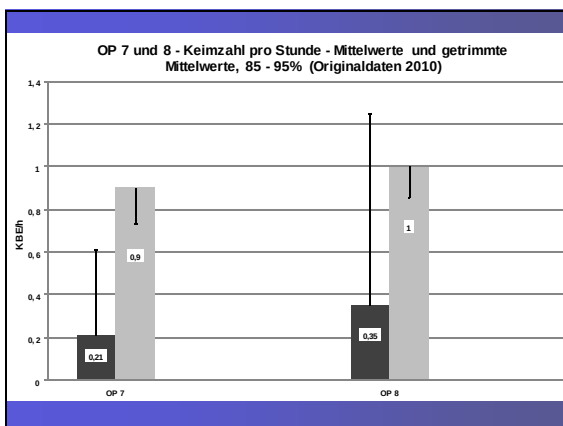
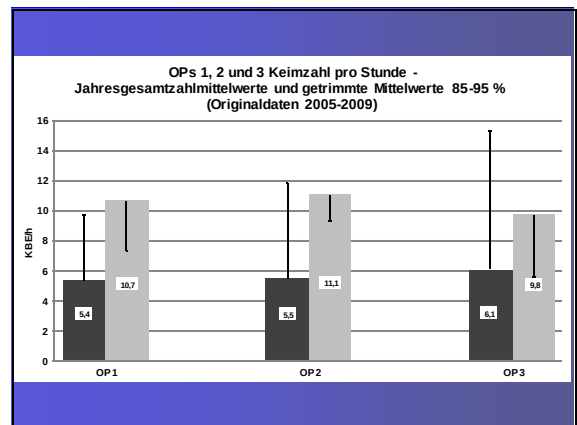
Results: Window-based ventilation showed the highest intraoperative contamination (13.3 colony-forming units [CFU]/h) followed by supported air nozzle canopy (6.4 CFU/h; $P < .001$ vs window-based ventilation) and low-turbulence displacement airflow (4.4 and 0.8 CFU/h; $P < .001$ vs window-based ventilation and supported air nozzle canopy). The highest protection was provided by the low-turbulence displacement airflow with flow stabilizer (0.7 CFU/h), which showed a highly significant difference compared with the best supported air nozzle canopy theatre (3.9 CFU/h; $P < .001$). Furthermore,



Index-Klinikum, 850 Betten

Mikrobiologisches Monitoring mit Sedimentationsplatten auf dem Instrumententisch in 3 TVS-OPs ("Stützstrahldecken") über 5 Jahre

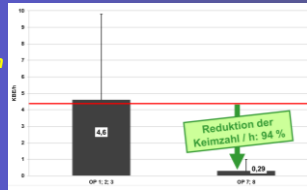
- Neubau eines OP-Trakts mit 8 OPs
- Inbetriebnahme zum Jahreswechsel 2009 / 2010
- DIN-konforme Abnahme: Turbulenzgradmessung
- Wechsel des unveränderten Teams der **Allgemeinchirurgie aus OP-1, -2, -3 zu OPs 7 & 8**
- Weiterführung des Monitoring: 180 Operationen
- Statistischer Vergleich der mikrobiologischen Belastungen "TVS" vs. TAV"



> 90 % Reduktion sedimentierter Bakterien

durch Verdrängungs-Strömung wirkt analog auch auf

- **Narkosegasen**
- **Chirurgischen Rauch**
- **Reiz-/Gefahrstoffe** (Desinfektions- / Reinigungsmittel etc.)



DIN 1946-4 / 2018

4 Allgemeine Grundsätze

4.1 Beteiligung von Krankenhaushygieniker, Hygiene- und Sicherheitsingenieur

„Bei der Planung, der Ausführung, dem Betrieb und der Instandhaltung von RLT-Anlagen **müssen** durch den Betreiber der Einrichtung **beteiligt werden**, ein

- Krankenhaushygieniker,
- Hygiene-Ingenieur,
- Sicherheitsingenieur,

um den technischen Regelwerken und rechtlichen Anforderungen aus den Hygieneverordnungen der Länder sowie des Arbeitsschutzes entsprechen zu können.“

→ CAVE: rechtliche Einzelverantwortlichkeit der Beteiligten

5.3 Raumklasse I

Im Rahmen der Planung hat der **Nutzer Angaben** zu den Operationsarten (z. B. Implantationen alloplastischer Materialien), Operationsdauer, Größe der Operationsfelder und Anzahl sowie Platzierung von OP-Tischen sowie Größe und Anordnung der Instrumententische schriftlich festzulegen.

Auf dieser Basis erfolgt dann die **Festlegung der Raumklassen** durch **Krankenhaushygieniker und Hygiene-Ingenieur**.

→ Implementierung ingenieurtechn. Erkenntnisse:

- Wirkung turbulenter v.s. turbulenzarmer Strömung
- Energie-Effizienz (Ökodesign-RL, EN 16798)
- geringe Druckverluste durch große Zulufdecken

→ Implementierung ingenieurtechn. Erkenntnisse:

....Energie-Effizienz (Okodesign-RL, EN 16798)

→ geringe Druckverluste durch große Zulufdecken
Elektrische Leistungsaufnahme Ventilator P_{el}

$$P_{el} = \frac{\dot{V}_{ges} \cdot \Delta p}{\eta_V}$$

$\dot{V}_{ges}$ = Volumenstrom [m³/s]
 Δp = Druckverlust HEPA-Filter
 η_V = Gesamtwirkungsgrad Ventilator (0,7)

$$\rightarrow 3.500 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 450 \text{ Pa} \rightarrow 625 \text{ W}$$

$$\rightarrow 10.500 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 60 \text{ Pa} \rightarrow 250 \text{ W (-60%)}$$

3. Medizinprodukte

Medizinproduktegesetz / MP-Betreiber-V

→ Schutz von

- Patienten: Gefahr von Gesundheitsschäden, **insbesondere** im Sinne von Infektionen, pyrogenbedingten, allergischen, toxischen Reaktionen, aufgrund veränderter technischer funktioneller MP-Eigenschaften
- Anwender
- Dritte

3. Medizinprodukte

Deutsches Ärzteblatt | Jg. 107 | Heft 44 | 5.11. 2010

MEDIZIN

DEUTSCHTARBEIT

Intraabdominale Adhäsionen

Definition, Entstehung, Bedeutung in der operativen Medizin und Möglichkeiten der Reduktion

Dörthe Brüggemann, Gert Tschertchian, Markus Wallwieser, Kerstin Münster, Hans-Rudolf Tinnberg, Andreas Hackethal

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund: Intraabdominale Adhäsionen treten bei mehr als der Hälfte aller Patienten nach chirurgischen Operationen auf und stellen eine wichtige postoperative Komplikation dar. Sie verhindern normalerweise von anderen Patienten Organen und können durch Ödemreaktionen, chronische Schmerzen, Schmerzen beim Geschlechtsverkehr, Infertilität sowie erhöhte Komplikationsrate bei Folgeoperationen weitreichende Konsequenzen für den betroffenen Patienten haben. Da die äußere Häufigkeit zu erheblichen Kostensteigerungen führen, sollte jeder Arzt bei der Behandlung, dem Folgen und den Möglichkeiten der Reduktion von Adhäsionen vertraut sein.

Methodik: Selektive Literaturrecherche in PubMed und Medline ab 1980. Die Experten-Konferenz-Praktiken der European Society for Organograft Surgery werden revidiert.

Ergebnisse: Die Entstehung von Verwachsungen wird durch Verletzung des Peritoneums ausgelöst, resultiert aus biologischen Wechselwirkungen und wird durch diverse weitere Faktoren beeinflusst. Präventive Maßnahmen

intraabdominale Adhäsionen stellen ein großes ungelöstes Problem der operativen Medizin dar (1). Sie betreffen nach 50 bis 100 Prozent aller chirurgischen Operationen auf und können die Arbeit des chirurgischen Arztes erheblich erschweren (2). Obwohl Darmverwachsungen im Jahr 1989 vom Deutschen Adhäsionskongress im Themenfeld verfestigten (3) und seitdem weitreichende In-vitro- und In-vivo-Studien durchgeführt wurden, existieren in der Literatur weder eine effiziente Adhäsionsreduktion noch eine konsistente standardisierte Klassifikation von adhärenten Verwachsungen von Ausprägung und Schweregrad. Demnach sind Adhäsionen und Adhäsionen im Vergleich mit verschiedenen anderen Faktoren klinisch orientierte Labordiagnostik, Diagnose, Therapie- und Reduktionsmöglichkeiten.

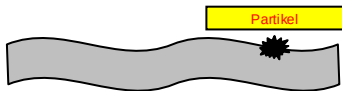
Intraabdominale Adhäsionen stellen ein großes ungelöstes Problem der operativen Medizin dar (1). Sie treten nach 50 bis 100 Prozent aller bauchchirurgischen Operationen auf und können die Arbeit des chirurgisch tätigen Arztes erheblich erschweren (2). Obwohl Dembrowski bereits im Jahr 1889 erste Daten zur Adhäsionsinduktion im Tiermodell veröffentlichte (3) und seitdem weitreichende In-vitro- und In-vivo-Studien durchgeführt wurden, existieren in der Literatur weder eine offizielle Adhäsionsdefinition noch eine anerkannte standardisierte Klassifikation zur objektiven Einteilung von Ausprägung und Schweregrad. Dementsprechend unpräzise sind oftmals die Studienergebnisse und können daher im Vergleich nur unzureichend interpretiert werden. Ebenso fehlen klinisch orientierte Leitlinien bezüglich Diagnosestellung, Therapie und Reduktionsmöglichkeiten.

Granulomatöse Entzündung – Graunulom – Adhäsion

→ Granulomatöse Entzündung

- uniforme chronisch Reaktion mit Beteiligung des Mononukleären-Phagozyten-System
- überwiegend zelluläre Immunantwort (T-Zellen)
- typisch konzentrischer „Zwiebelschalen-Aufbau“, analog TB-Knoten: zentrale Noxe mit MPS-Zellen, darum Lymphozyten + Fibroblasten

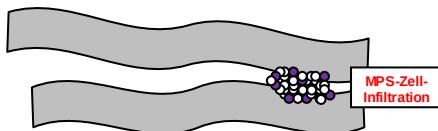
Granulomatöse Entzündung – Graunulom – Adhäsion



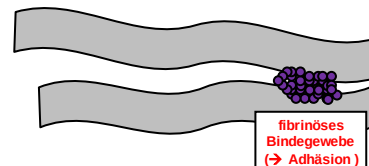
Granulomatöse Entzündung – Graunulom – Adhäsion



Granulomatöse Entzündung – Graunulom – Adhäsion



Granulomatöse Entzündung – Graunulom – Adhäsion



Granulome / Adhäsionen:

Historisch

- Tuberkulose
- Silikose

Literatur 1967 - 1997

- Talkum-Handschuhpulver
- Stärke-Handschuhpulver
- Fussel chirurgischer Verbandmulls (Packs)
- Nahtmaterial

Aktuell

- Partikel-Risiken aus HF- / Laser-Anwendung ?

Foreign material in adhesion formation after abdominal surgery – 1967

- Auftreten von Fremdkörperreaktionen und Bildung von Adhäsionen nach Bauchoperationen bei **309 Patienten** und **49 Versuchstieren**
- Klinische Studie: Anzahl und Lokalisation der Adhäsionen bei wiederholt Operierten
 - 61 % d. F. zeigten Reaktionen auf **Fremdkörper**
- Einfluss von Alter / Geschlecht
 - keine Geschlechterunterschied
 - Anstieg der Granulombildung mit dem Alter

Myllämiemi H.: Foreign material in adhesion, formation after abdominal surgery. Acta Chir, Scan Supp. 377 (1967) 1-43

Foreign material in adhesion formation after abdominal surgery – 1967

- Versuchstiere: Mechanismus zur Adhäsionsbildung in Anwesenheit von Fremdmaterial untersucht
 - Alle benutzen **Fremdmaterialien** [Talkum, Stärke-Handschuhpulver, Fussel chirurgischer Packs (Verbandmull)] verhinderten die Auflösung fibrinöser Adhäsionen
 - dauerhafte Verwachsungen, besonders durch Nahtmaterial

Myllämiemi H.: Foreign material in adhesion, formation after abdominal surgery. Acta Chir, Scan Supp. 377 (1967) 1-43

Do surgical packs cause peritoneal adhesion? – 1979

- Verursachen „chirurgische Packs“ (Gaze) Adhäsionen
- 36 Ratten peritoneal mit Fusseln kontaminiert:
 - Teilkollektiv -1: trockene „Fusseln“
 - Teilkollektiv -2: suspendierte Fussel
- alle kontaminierten Ratten entwickelten Adhäsionen, unabhängig von der Kontaminationsart

Down, R.H.; Whitehead, R.; Watts, J.: Do surgical Packs cause peritoneal adhesions. Australian and New Zealand Journal of Surgery 49-3 (1979) 379-382

Experimental study of starch-induced intraperitoneal adhesions – 1980

- Wirkung von (Handschuh-) Stärkepulver auf die Entwicklung postoperativer Adhäsionen
- 144 „Sprague Dawley“ Ratten:
 1. Stärke **reiche** Handschuhe
 2. Stärke **freie** Handschuhe
 3. Stärke **arme** Handschuhe
- Signifikant weniger Adhäsionen bei der Nutzung **Stärke-freien** Handschuhen und Stärke-armen Handschuhen

McEntee, G.P.; Stuart, R.C.; Byrne, P.J.; Leen, E.; Hennessy, T.P.: Experimental study of starch-induced intraperitoneal adhesions. Br. J. Surg. 77 (1980) 1113-1114

Foreign material in postoperative adhesions – 1996

- Häufigkeitsverteilung von Adhäsionen bei Re-LAP
 - vorwiegend am Bauchnetz (68 %) und am Dünndarm (67 %) vor
 - signifikant mehr nach mehreren Laparotomien
 - signifikant mehr nach abdominalen Abszessen, Hämatomen
 - Nachweis von Adhäsionen korrelierte mit intra-abdominalen Fremdkörpern: Talkum, Verbandmaterialien, Kombination Talkum + Verbandmaterial, Stärke, Nahtmaterial

Luijendijk, R.W.; de Lange, D.C.; Wauters, C.C.; Hop, W.C.; Duron, J.J.; Pajers, J.L.; Campardon, B.R.; Holmdahl, L.; van Geldorp, H.J.; Jeekel, J.: Foreign material in postoperative adhesions. Ann Surg. (1996) 223 (3): 242-248

Post-operative peritoneal adhesions and foreign bodies – 1997

- 107 Patienten mit vorangegangener Laparotomie
 - starke Korrelation zwischen der Umgebung von Vor-OPs mit fremdkörper-bedingten Adhäsionen
- Microbodies (Peroxisomen) und Adhäsionen
 - signifikant mehr Microbodies bei Adhäsionen im Vergleich zu normalem Bauchgewebe

Duron, J.J.: Post-operative Peritoneal Adhesions and Foreign Bodies: Eur J Surg Suppl. (1997) 163, 579: 5-1

Post-operative peritoneal adhesions and foreign bodies – 1997

- Fremdkörper in nachgewiesenen Adhäsionen
 - Handschuhpuder, Textilfasern, chirurgisches Nahtmaterial, Stärke verzögerten die Wundheilung & steigerten postoperative Infektionen
 - Adhäsionen waren Hauptgrund postoperativer Darmverschlüsse

Duron, J.J.: Post-operative Peritoneal Adhesions and Foreign Bodies: Eur J Surg Suppl. (1997) 163, 579: 5-1

Partikel als Risikofaktor – aktueller Änderung der MP-Bewertung

- Operateure / OP-Team
- Patienten → Revision ISO 19227



Hygienetechnische Risiken im Krankenhaus
Erkennung & Prävention

Fortbildungsangebot 2019

11. & 12. September 2019

Trinkwasser (11.09.19)

- Gefährdungsanalyse
- Hygiene-konforme Konzepte für Sanierung und Neubau

Raumluftechnik (12.09.19)

- OP / Intensiv / Stationen