

Luftübertragene Infektionen im Krankenhaus

Steffen Engelhart

Institut für Hygiene und Öffentliche
Gesundheit der Universität Bonn

Bedeutung der Luft für die Übertragung von Krankheiten

- Hippokrates (400 v. Chr.) Einfluss von Luft, Wasser und Ort auf Gesundheit
- Galen (2.Jhd. n. Chr.) bei häufigen Krankheitsfällen mit rascher Sterblichkeit Atemluft als Ursache erwägen
- Pestepidemie 14.Jh
- „Miasmen“-Theorie vorherrschendes Paradigma bis ins 19. Jhd. („Malaria“)
- Rolle der Kontaktübertragung Charles Chapin (1910) „On the Sources and Modes of Infection“ wird neues Paradigma für die nächsten 35 Jahre
- Thesen und untersuchungen zur Tbc-Übertragung (William Firth Wells ab 1935, Richard Riley u.a.)

Übersicht

- Aerogene Infektionen bei immunkompetenten Personen
- Aerogene Infektionen bei immunsupprimierten Personen
- Rolle der Luft bei postoperativen Wundinfektionen

I. Aerogene Infektionen bei immunkompetenten Personen

Luft- oder Tröpfchenübertragung („airborne“ oder „droplet“ transmission)?

- Unscharfe Abgrenzung
- Vorschlag Roy und Milton NEJM 2004:
„obligate“, „präferentielle“ und „opportunistische“
Aerosolübertragung
 - obligat luftübertragbar (= Infektionen, die üblicherweise nur durch Aerosoldeposition in der Lunge verursacht werden: z.B. Tuberkulose)
 - präferentiell luftübertragbar (= Agenzien, die über multiple Wege Infektionen initiieren können, aber vorzugsweise über Aerosole übertragen werden, die in der Lunge deponiert werden)
 - opportunistisch luftübertragbar (Agenzien, die üblicherweise über andere Wege Infektionen initiieren, dies aber auch selten über die Lunge)

„Mikrobielle Exposition“

- $>10^{29}$ Bakterien auf der Erde
(= 100 000 000 000 000 000 000 000 000 000)
- $>10^{14}$ Bakterien am/im Menschen
- pathogene Bakterien stellen nur die
(mikroskopische) Spitze des größten aller
biologischen Eisberge dar

Table 4. Microorganisms associated with airborne transmission*

	Fungi	Bacteria	Viruses
Numerous reports in health-care facilities	<i>Aspergillus</i> spp.+ <i>Mucorales</i> (<i>Rhizopus</i> spp.) ^{97, 115}	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> +	Measles (rubeola) virus ¹⁶⁸⁻¹⁷⁰ Varicella-zoster virus ¹⁶²⁻¹⁶⁶
Atypical, occasional reports	<i>Acremonium</i> spp. ^{105, 206} <i>Fusarium</i> spp. ¹⁰² <i>Pseudoallescheria boydii</i> ¹⁰⁰ <i>Scedosporium</i> spp. ¹¹⁶ <i>Sporothrix cyanescens</i> ^{¶118}	<i>Acinetobacter</i> spp. ¹⁶¹ <i>Bacillus</i> spp. ^{¶160, 207} <i>Brucella</i> spp. ^{**208-211} <i>Staphylococcus aureus</i> ^{148, 156} Group A <i>Streptococcus</i> ¹⁵¹	Smallpox virus (variola) ^{§188, 189} Influenza viruses ^{181, 182} Respiratory syncytial virus ¹⁸³ Adenoviruses ¹⁸⁴ Norwalk-like virus ¹⁸⁵
Airborne in nature; airborne transmission in health care settings not described	<i>Coccidioides immitis</i> ¹²⁵ <i>Cryptococcus</i> spp. ¹²¹ <i>Histoplasma capsulatum</i> ¹²⁴	<i>Coxiella burnetii</i> (Q fever) ²¹²	Hantaviruses ^{193, 195} Lassa virus ²⁰⁵ Marburg virus ²⁰⁵ Ebola virus ²⁰⁵ Crimean-Congo virus ²⁰⁵
Under investigation	<i>Pneumocystis carinii</i> ¹⁵¹	—	—

* This list excludes microorganisms transmitted from aerosols derived from water.

+ Refer to the text for references for these disease agents.

§ Airborne transmission of smallpox is infrequent. Potential for airborne transmission increases with patients who are effective disseminators present in facilities with low relative humidity in the air and faulty ventilation.

¶ Documentation of pseudoepidemic during construction.

** Airborne transmission documented in the laboratory but not in patient-care areas

Luft- und Tröpfchenübertragung

- **Tröpfchenübertragung (short-range airborne infection)**
- Große Tröpfchen $>60\mu\text{m}$
- Kleine Tröpfchen $>10\mu\text{m}$
- Distanz i.d.R. $<1\text{m}$
- Austrocknungs-empfindliche Erreger
- **Luftübertragung (long-range aerosol transmission)**
- Tröpfchenkerne $<10\mu\text{m}$
- Maximale Distanz größer, Übertragung auch über kürzere Distanz möglich
- Trockenheitsresistentere Erreger

Basis-Reproduktionszahl R_0

(Sekundärfälle in einer vollständig suszeptiblen Population)

Infektionskrankheit	R_0
Masern	15-17
Keuchhusten	15-17
Varizellen	10-12
Mumps	10-12
Röteln	7-8
Diphtherie	5-6
Pocken	4-7
Influenza	1,68-20
SARS	2-3

Freisetzungskinetik

- Bis zu 40 000 Tröpfchen bei 1x Niesen
- Evaporation ? Tröpfchendurchmesser 0,5-12 μ m
- 1x Husten oder 5 min Sprechen ? ca. 3000 Tröpfchenkerne (interindividuelle Unterschiede)
- Tröpfchentransport beim Sprechen bis zu 1m, bei Niesen weiter
- Sedimentationsgeschwindigkeit für 3m Höhe: 20 μ m-Partikel ca. 4 min, 10 μ m 17min, 1-3 μ m-Partikel nahezu unbegrenzt in der Luft

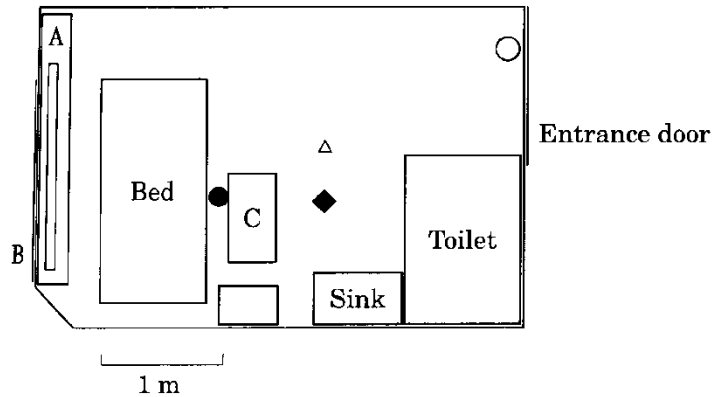


Figure 1 Schematic of a single inpatient room. Floor sample, taken at a distance of 0 m (●), 1 m (▲), and 3 m (○) from bed. ◆, airsampler; A, air conditioner; B, window; C, overbed table.

Table II MRSA environmental contamination in the single rooms of inpatients with MRSA infection or colonization

	Level of MRSA contamination, cfu/10cm ²	
	Infection (N = 10)	Carrier (N = 3)
Floor 0	5.9 ± 3.4	2.2 ± 1.1
Floor 1	4.9 ± 3.2	2.0 ± 1.3
Floor 3	4.4 ± 3.2	2.0 ± 1.8
Bedsheet	3.7 ± 2.9	1.2 ± 1.2
Overbed Table	3.4 ± 2.4	1.2 ± 1.3
Clothing	3.5 ± 1.3	0.7 ± 0.8
Hands	4.3 ± 2.9	0.9 ± 0.9
Floor 0'	6.1 ± 3.2	2.3 ± 1.7
Bedsheet'	0.4 ± 0.6	0.1 ± 0.3

Data are given as mean ± SD. cfu; colony-forming unit. Floor 0'; floor at a distance of 1 m from the bed at 1 hour after bedmaking. Bedsheet'; bedsheet at 1 hour after bedmaking.

Shiomori, T. et al.

Evaluation of bedmaking-related airborne and surface methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* contamination,

J. Hosp. Inf. 2002; 50: 30-35

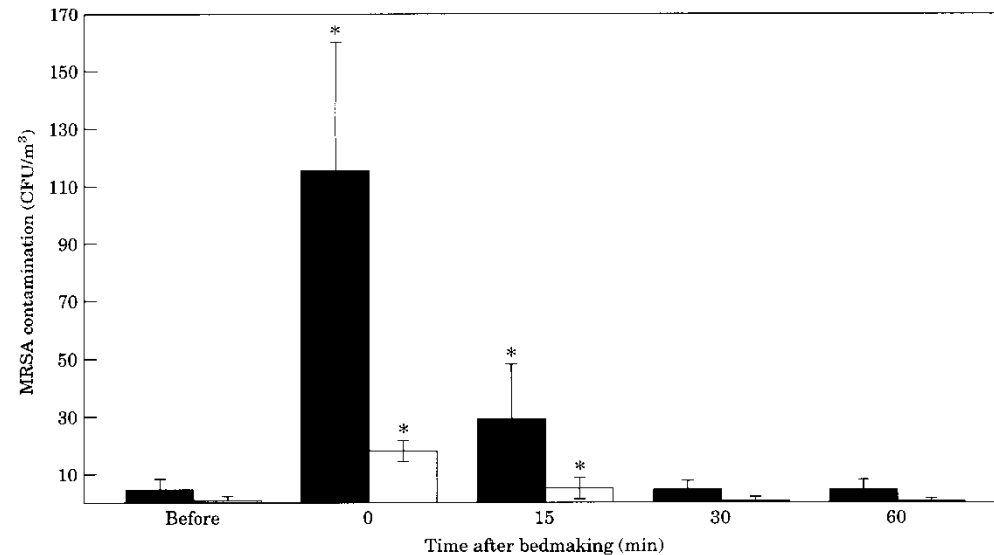


Figure 2 Air contamination with MRSA in the single rooms of inpatients with MRSA infection and colonization before, during and after bedmaking. ■, Inpatients with MRSA infection (N = 10). □, Inpatients with MRSA colonization (N = 3). *, P < 0.01.

„Cloud“ health-care workers?

- Aus Ausbruchsuntersuchungen Hinweise auf Einzelpersonen mit besonderer Umgebungskontamination
- Bordetella pertussis, Gruppe-A-Streptokokken und Staphylokokkus aureus/MRSA beobachtet
- Wahrscheinlich Erhöhte Erregerfreisetzung durchvirale Atemtraktinfektion in Verbindung mit erheblicher Atemtraktkolonisation
- Hypothese

Nosokomiale Bordetella-Pertussis- Ausbrüche mit möglicher Luftübertragung

Autor	Jahr	Abteilung	Personal	Patienten
Kurt	1972	Pädiatrie	9	2
Linnemann	1975	Pädiatrie	13	6
Addis	1991	Pflegeheim	5	4
Christie	1995	Pädiatrie	87	1
Nouvellon	1999	Pädiatrie	1	1

Nosokomiale Gruppe-A-Streptokokken- Ausbrüche mit möglicher Luftübertragung

Autor, Jahr	Personal	Quelle	Abteilung	Patienten
McKee, 1968	Pfleger	Rektum	Gynäkologie	11
Schaffner, 1969	Anästhesist	Rektum	Chirurgie	20
Berkelman, 1982	OP- Schwester	Vagina	Chirurgie	10
Mastro, 1990	OP- Techniker	Kopfhaut	Chirurgie	20

Prävention und Kontrolle

- Tröpfchenübertragung (short-range)
 - Standardhygienemassnahmen
 - PSA (persönliche Schutzausrüstung)
- Luftübertragung (long-range)
 - Lüftungstechnische Massnahmen
 - PSA

MNS und Atemschutzmasken

- Mund-Nasen-Schutz (MNS)
(=OP-Maske, chirurgische Maske,
Medizinprodukt, prEN 14683)
- partikelfiltrierende Halbmaske
(DIN EN 149)
- Atemschutzmaske
(= filtrierende Atemschutzgeräte)

Partikelfiltrierende Halbmaske (DIN EN 149)

Klasse	Max. Filterdurchlass
FFP1	20%
FFP2	6%
FFP3	1%

FFP = face filtering piece

SARS bei Intensiv-Pflegepersonal in Toronto (Loeb et al., EID 2004)

	MNS/N95 getragen	MNS/N95 nicht getragen
SARS-Infektion	3	5
Keine SARS- Infektion	20	4

Relatives Risiko 0,23 (CI95: 0,07-0,78)

relatives Risiko N95 vs. MNS 0,5 (nicht signifikant)

Massnahmen zur Verhinderung einer (nosokomialen) Tb-Übertragung

- Frühe Diagnose und Einleitung adäquater Therapie!
- Isolierungsmassnahmen
- Patient
 - Hustenhygiene
 - Mund-Nasen-Schutz
- Personal
 - allgemeine Hygiene
 - Atemschutz bei bes. Gefährdung, evtl. Schutzkleidung
 - Ausbildung bzw. Schulung
- Arbeitsplatz
 - adäquate Desinfektion, korrekte Raumlüftung

	USA CDC 2005	Kanada PHAC 1996	GB BTS 2000	Schweiz SUVA 1999	D DZK/DGHM 1997/2004
Luftwechsel pro h	>6 exist. >12 neu	>6 exist. >9 neu	k.A.	>6	k.A.
Unterdruck bei sens. Tb	++	+	(+) immunsuppr. Mitpatienten	+	-
Unterdruck bei MDR-Tb	++	++	++	++	++
Abluft nach aussen (oder HEPA)	++	++	-	++	(++)
UV-C	+ Erhöhung der LWR	(+) unklar	-	+	-

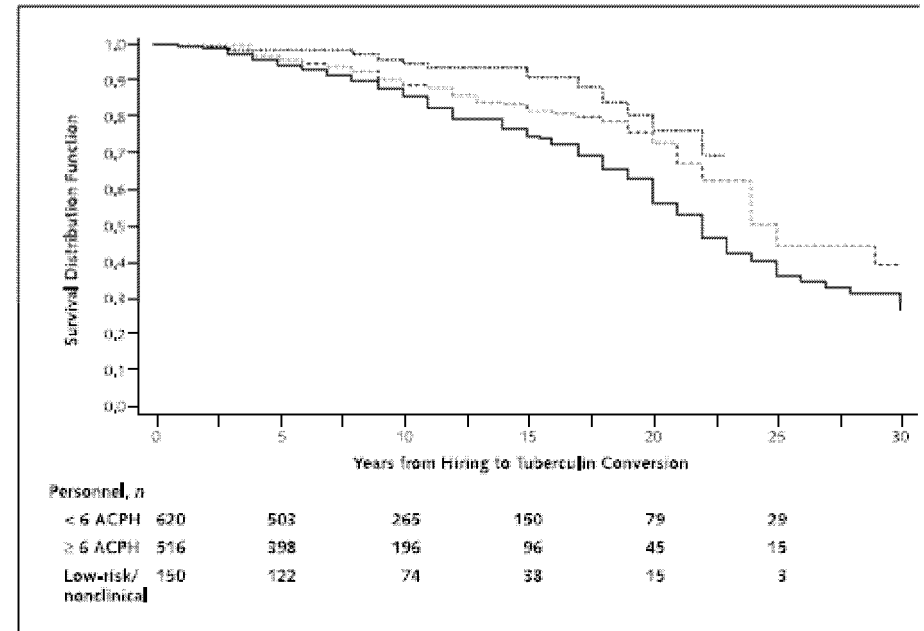
Luftwechselraten (LW) und Zeit (min) für 99% bzw. 99,9%ige Reduktion luftgetragener Kontaminanten

LW/h	99%	99,9%
2	138 min	207 min
4	69 min	104 min
6	46 min	69 min
12	23 min	35 min
15	18 min	28 min
20	7 min	14 min
50	3 min	6 min

Kaplan-Meier-Analyse Tuberkulinkonversion beim Personal nach Tätigkeitsbeginn

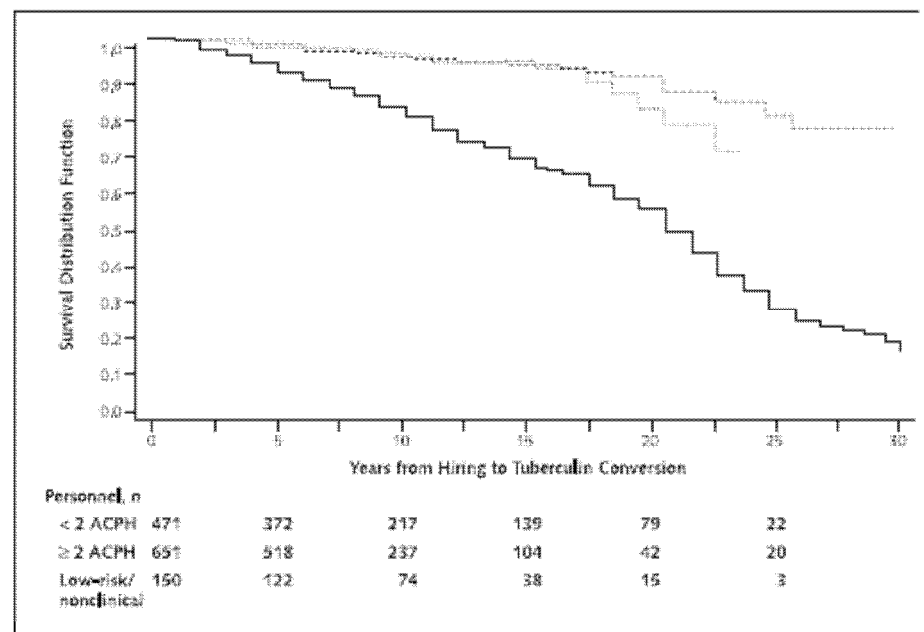
(Menzies et al. Ann Intern Med 2000)

<6/>6 LW/h in
Isolierungsräumen



stratifiziert nach
Tätigkeit bei

<2/>2 LW/h in Nicht-
Isolierungsbereichen



II. Aerogene Infektionen bei immunsupprimierten Personen

Table II Number of patients with different underlying diseases and associated mortality

Underlying disease	No. of patients	Mortality (%)
Haematologic malignancy	299	57.6
Solid organ transplantation		55.9
Renal transplantation	36	
Liver transplantation	8	
Other immunocompromised patients		52.3
High-dose steroid therapy	15	
Neonates	5	
Other malignancy	4	
Chronic lung disease	2	
ICU patients ('high risk')	2	
No exact classification possible	49	
Patients without severe immunodeficiency		39.4
Thoracic surgery	25	
Cataract surgery	5	
ICU patients ('low risk')	5	
Other surgical patients	3	
Total	458	55.0

ICU, intensive care unit.

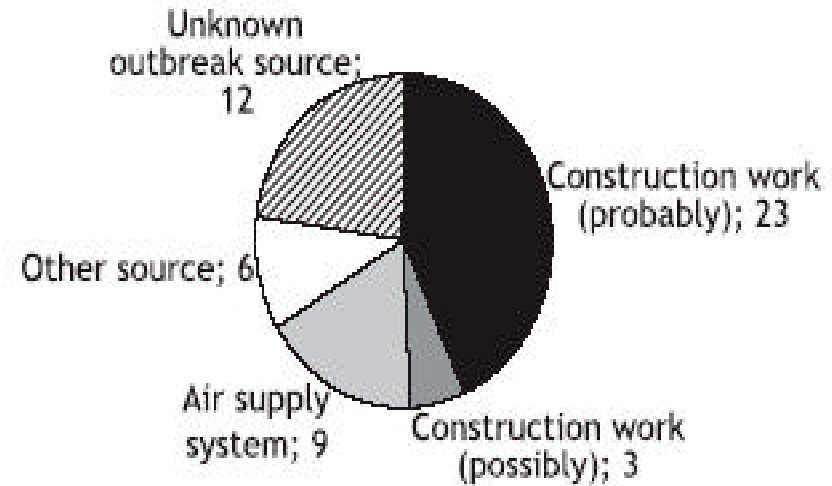


Figure 1 Distribution of sources of nosocomial aspergillus outbreaks.

Vonberg und Gastmeier, JHI (2006)

III. Rolle der Luft bei postoperativen Wundinfektionen

Inokulation und Pathogenese postoperativer Wundinfektionen (POI)

- **ohne bakterielle Besiedelung keine Wundinfektion, aber:**
- **relative** Bedeutung von Keimeinsaat, systemischer und lokaler Wirtsschädigung bisher unklar
- unter konventionellen OP-Bedingungen ca. 30-40% aller (asept.!) Wunden besiedelt
- unter LAF noch knapp 20%
- Übergang Kontamination-Infektion bisher unklar

Infektionsquellen postoperativer Wundinfektionen (POI)

- Endogene Quellen
 - Hautflora des Patienten, Flora des Atem-, Verdauungs-, Urogenitaltraktes bei Eröffnung, Infektionen an entfernten Körperstellen
- Exogene Quellen
 - Personal (v.a. Haut, Respirationstrakt)
 - Umgebung (Oberflächen, Lösungen, Verbände u.a.)
 - Luft (auch bei Endoprothesen kein Haupterregerreservoir, bei meisten OPs keine wesentliche Rolle)

Lidwell-Studie (1982-1983)

8.000 Gelenkersatz-OPs ohne Atemluftabsaugung

- Bei LAF allein Senkung von 3,4% auf 1,6%
- Bei perioperativer Antibiotikaprophylaxe allein Senkung von 3,4% auf 0,8%
- Bei Kombination beider Massnahmen Senkung von 3,4% auf 0,7%

Nicht auf allgemeine chirurgische Eingriffe (ohne Fremdkörper) verallgemeinerbar

Meta-Analyse Nelson (1999; n = 26 Studien)

14.155 HEP ohne Atemluftabsaugung

- Bei LAF allein Senkung von 5,8% auf 0,7%
- Bei perioperativer Antibiotikaprophylaxe allein Senkung von 5,8% auf 1,3%
- Bei Kombination beider Massnahmen Senkung von 5,8% auf 0,6%
- In allen Fällen war aber bei gleichzeitiger perioperativer Antibiotikaprophylaxe Einfluss der LAF statistisch nicht sicherbar

Brandt-Studie (2008)

NRZ-KISS-Daten 2000-2004 aus 18-44 Krankenhäusern

- Bei HEP unter LAF (n=30 OP-Säle) ggü. turbulenter Mischlüftung (n=14) statistisch erhöhte POI-Raten (1,85% vs. 1,31%) und schwere-POI-Raten (1,37% vs. 0,90%)

Aber:

- Diverse methodische Mängel (Anlagenzuordnung, Dimensionierung und Qualifizierung der LAF-Decken retrospektive Datenqualität, Surveillance-Daten, diverse Confounder nicht erfasst)

Prävention des aerogenen Eintrags von Mikroorganismen

- Verwendung von erregerdichter OP-Kleidung und Abdeckmaterialien (Hautschuppen $<20\mu\text{m}$): signifikant niedrigere POI-Raten (Rutala und Weber 2001)
- Dichter Sitz des Mund-Nasen-Schutzes und Personaldisziplin (Sprechen u.a.)
- Begrenzung des OP-Teams auf das erforderliche Minimum und Vermeidung unnötiger Aktivitäten
- Bei HEP Hinweise auf zusätzlichen Schutz durch TAV-Decken
- Klimaphysiologische Aufgaben der RLT vorrangig