

Aus dem Institut für Hygiene und Umweltmedizin
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Assoziation zwischen baulichen Aspekten von Krankenhäusern
und dem Auftreten von nosokomialen Infektionen

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor rerum medicinalium (Dr. rer. medic.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Andrea Haekyung Stiller

aus Berlin

Datum der Promotion: 22.09.2017

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Zusammenfassung	
1.1 Abstrakt (Deutsch)	3
1.2 Abstract (Englisch)	4
1.3 Einführung	5
1.4 Methodik	5-6
1.5 Ergebnisse	6-14
1.6 Diskussion	14-17
1.7 Referenzen	18-20
2. Eidesstattliche Versicherung	21
3. Anteilserklärung	22
4. Publikationen	
4.1 Ausstattung mit Händedesinfektionsmittelspendern und Einbettzimmern in Hinblick auf die Infektionsprävention – eine Bestandsaufnahme in Deutschland	23-28
4.2 ICU ward design and nosocomial infection rates: a cross-sectional study in Germany	29-33
4.3 Relationship between hospital ward design and healthcare-associated infection rates: a systematic review and meta-analysis	34-43
5. Lebenslauf	44
6. Publikationsliste	45
7. Danksagung	46

1. Zusammenfassung

1.1 Abstrakt

Hintergrund: Krankenhausarchitektur rückt immer stärker in den Fokus bei der Prävention von nosokomialen Infektionen.

Ziel: Die vorliegende Arbeit beinhaltet eine systematische Literaturanalyse zur Ausstattung mit Händedesinfektionsmittelspendern, Einbettzimmern, Patientenzimmergröße und Bettenabstand.[1] Desweiteren wurden Krankenhäuser, die am Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System (KISS) teilnehmen, in Bezug auf bauliche Strukturen befragt[2] und eine Risikofaktorenanalyse durchgeführt.[3]

Ergebnisse: Im systematischen Literaturreview wurden drei Studien identifiziert, die den positiven Einfluss bettnaher Händedesinfektionsmittelspender auf die Händehygiene-Compliance feststellten. Die Metaanalyse von neun Studien zeigte insgesamt einen Vorteil für die Patientenversorgung im Einbettzimmer gegenüber Mehrbettzimmern für nosokomiale Infektionen und den nosokomialen Erwerb von multiresistenten Erregern. An der KISS-Umfrage nahmen 621 Normalstationen, 534 Intensivstationen, 156 hämato-/onkologische und 127 neonatologische Stationen von 621 Krankenhäusern teil. Während die Patientenbetten auf Intensivstationen und neonatologischen Stationen in hohem Maße mit bettnahen Händedesinfektionsmittelspendern ausgerüstet waren, lag die Ausstattungsrate auf Normalstationen und hämato-/onkologischen Stationen unter 50%. Lediglich 27,1% der Intensivbetten und 6,4% der Normalstationsbetten waren im Einbettzimmer aufgestellt. Es zeigten sich keine klaren Assoziationen zwischen baulichen Faktoren und dem Auftreten von nosokomialen Infektionen und nosokomialen Erwerb von multiresistenten Erregern.

Diskussion: Die vorliegende Untersuchung zeigte nur einen schwachen Zusammenhang zwischen baulichen Strukturen und nosokomialen Infektionsraten. Es stellte sich allerdings heraus, dass einige strukturelle Parameter des Krankenhauses wie etwa die Ausstattung mit Händedesinfektionsmittelspendern, die Raumgröße und das Verhältnis von Ein- zu Mehrbettzimmern noch Verbesserungspotential bieten.

1.2 Abstract

Background: There is increasing interest in the influence of hospital's infrastructure as a contributing factor to multifaceted infection control strategies.

Objective: We performed a systematic review of the literature on accessibility of hand rub dispensers, single-bed rooms, patient room size and space between patient beds.[1] An electronic questionnaire was sent to hospitals participating in the nosocomial infection surveillance system (KISS) to collect operational infrastructure data and perform a multivariate analysis.[2,3]

Results: The systematic review of the literature identified three studies that showed a significant improvement of hand hygiene compliance with the implementation of accessible dispensers near the patient bed. Meta-analysis of nine eligible studies showed the benefit of single-bed rooms on the acquisition of health-care associated colonization with multi-resistant bacteria and infection rates. Completed questionnaires were received from 621 hospitals with 621 medical wards, 534 intensive care units (ICU), 156 hemato-/oncological and 127 neonatal wards. While most beds on neonatal and intensive care units are equipped with a hand rub dispenser at the bedside, the equipment rate on medical and hemato-/oncological wards is below 50%. Moreover, only 27.1 % of ICU beds and 6.4 % of medical ward beds are in single-bed rooms. Our multivariate analysis showed no clear statement for the association between infrastructural factors and nosocomial infections or acquisition of multi-drug resistant organisms.

Discussion: The systematic review and multivariate analysis on ICUs showed a relationship between the hospital's infrastructure and nosocomial infection rates only to a minor extent. Nonetheless, the current hospital's infrastructure, especially equipment with hand rub dispensers, single-bed rooms and room size, seems to be in need of improvement.

1.3 Einführung:

Die zunehmende Resistenzentwicklung von multiresistenten Erregern (MRE) und die Prävention des Erwerbs dieser Erreger während einer stationären Behandlung sind von höchster Bedeutung für die moderne Medizin.[4] In einer Punkt-Prävalenzstudie in dreißig europäischen Ländern mit 947 Krankenhäusern und 231.459 eingeschlossenen Patienten wurde zwischen 2011 und 2012 vom European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) eine Prävalenz von 5,7% für Patienten mit einer im Krankenhaus erworbenen Infektion (nosokomiale Infektion) gefunden.[5] In Deutschland wird die Prävalenz mit 5,1% angegeben.[6] Präventionsmaßnahmen setzen zum einen bei der Verhinderung der Selektion, z.B. durch eine rationale Antibiotikaaanwendung, und zum anderen bei der Vermeidung der Transmission an. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Maßnahmen zur Reduktion der Transmission. Die Untersuchung baulicher Elemente im Krankenhaus im Zusammenhang mit der Infektionsprävention ist deshalb von hohem Interesse.[7] In der Literatur werden vor allem folgende Faktoren diskutiert: Ausstattung der Patientenzimmer mit Händedesinfektionsmittelspendern, Einbettzimmer im Vergleich zu Mehrbettzimmern und Patientenzimmergröße bzw. Bettenabstand.[8-11] Aktuell ist die Evidenzlage für den Zusammenhang von Krankenhausarchitektur und Infektionskontrolle allerdings noch nicht ausreichend, um sichere Schlussfolgerungen daraus zu ziehen. Ziel dieser Arbeit war zum einen die Erhebung der baulichen Ist-Situation in Deutschland[2], eine systematische Literaturanalyse zu den genannten drei Faktoren[1] sowie eine entsprechende Risikofaktorenanalyse[3].

1.4 Methodik:

Wir führten eine Datensuche zu Studien durch, die den Einfluss des unmittelbar vom Patientenbett erreichbar lokalisierten Händedesinfektionsmittelspenders im Patientenzimmer auf die Händehygiene-Compliance betrachten (Thema 1). Außerdem erfolgte eine systematische Literaturanalyse von Publikationen, die den Einfluss von Einbettzimmern (Thema 2) und Patientenzimmergröße bzw. den Abstand zwischen Patientenbetten (Thema 3) auf nosokomiale Infektionen und nosokomial erworbene MRE untersuchen. Die systematische Suche erfolgte in Medline (via Pubmed), EMBASE (via OvidSP) und im Cochrane Central Register of Controlled Trials (Central).

Es wurden Reviews überprüft und systematische Review-Artikel. Die jeweiligen Referenzlisten wurden manuell nach geeigneten Artikeln durchsucht, die bei der elektronischen Literatursuche eventuell nicht eingeschlossen waren. Es wurden alle Originalarbeiten, die zwischen dem 1. Januar 1990 und dem 31.12.2015 auf Englisch, Deutsch, Französisch oder Spanisch veröffentlicht worden sind. Ausgeschlossen wurden Studien, bei denen der Volltext auch nach Kontaktaufnahme mit den Autoren nicht verfügbar war, oder bei denen es sich um Duplikate handelte bzw. die Studien berichteten über dieselben Daten wie vorangegangene Untersuchungen. Außerdem wurden Briefe an den Herausgeber, Berichte über Ausbrüche auf einer Station, Konferenzabstrakte, Review-Artikel und Empfehlungen ausgeschlossen. Insgesamt wurden drei systematische Suchstrategien durchgeführt, um folgende Themen zu erfassen:

- Thema 1: Bettnahe erreichbare Händedesinfektionsmittelspender und Händehygiene-Compliance
- Thema 2: Einbettzimmer und nosokomiale Kolonisations- und Infektionsraten
- Thema 3: Patientenzimmergröße/Abstand zwischen Patientenbetten und nosokomiale Kolonisations- und Infektionsraten

Zusätzlich wurde eine Fragebogenerhebung durchgeführt, um zu klären ob die Krankenhausstruktur (bettnahe Händedesinfektionsmittelspender, Zimmerverteilung, Zimmergröße) einen Einfluss auf die MRE-Last und die Anzahl von nosokomialen Infektionen hat. Hierfür wurden alle am Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System (KISS) teilnehmenden Krankenhäuser (n=1.357) kontaktiert. Die Befragung erfolgte von März bis Juni 2015.

1.5 Ergebnisse:

Im Folgenden werden zunächst die Ergebnisse der systematischen Literaturanalyse und anschließend die Befragungsergebnisse vorgestellt. Für das systematische Review konnten insgesamt 15 Studien eingeschlossen werden. Für die Fragestellung bezüglich Händedesinfektionsmittelspendern waren drei Studien geeignet (Tabelle 1). Neun Studien untersuchten den Vorteil von Einbettzimmern und Mehrbettzimmern zu nosokomialen Infektionen und nosokomial erworbenen MRE und waren für die

Durchführung einer Metaanalyse geeignet (Tabelle 3). Den Zusammenhang zwischen Raumgröße bzw. Bettenabstand und Infektionsraten untersuchten weitere drei Studien (Tabelle 5).

Die Befragung der KISS-Krankenhäuser zur baulichen Struktur auf Stationsebene und im Patientenzimmer ergab Daten von 621 Normalstationen, 156 hämato-/onkologischen Stationen, 127 neonatologischen Stationen und 534 Intensivstationen (ITS) aus 621 Krankenhäusern. Von den 534 ITS konnten für 266 (49,8 %) Daten über nosokomiale Infektionen und für 146 (27,3 %) Daten über MRE aus der KISS-Datenbank (2014/2015) zugeordnet und für die Assoziationsanalyse berücksichtigt werden.

Thema 1: Bettnah erreichbare Händedesinfektionsmittelspender und Händehygiene-Compliance

In das systematische Review zu dieser Fragestellung wurden drei Studien eingeschlossen (Tabelle 1). Birnbach und Kollegen beobachteten die Händehygiene-Compliance von 52 freiwillig teilnehmenden Ärzten in einem Patientenzimmer-Replikat. Es erfolgte eine randomisierte Verteilung in zwei gleich große Gruppen. Während einer Gruppe ein Händedesinfektionsmittelspender direkt neben dem Patientenbett zur Verfügung gestellt wurde, befand sich der Spender bei der anderen Gruppe neben der Eingangstür gegenüber dem Patientenbett. Es zeigte sich eine deutlich höhere Compliance-Rate für die Ärzte der Gruppe mit dem Spender direkt am Patientenbett im Vergleich zu den Ärzten, die vom Spender gegenüber vom Patientenbett Gebrauch machten.

Giannitsioti und Kollegen untersuchten die Händehygiene-Compliance auf zwei internistischen Abteilungen.[12] Während in Abteilung A die Patientenbetten mit einem Desinfektionsmittelspender am Bettgitter ausgestattet waren, befanden sich in Abteilung B die Desinfektionsmittelspender an den Zimmerwänden. Es wurde die Anzahl aller Indikationen für Händehygiene und durchgeführte Indikationen über den Zeitraum eines Monats anonym festgehalten. Nachdem Abteilung B auch mit Spendern am Bettgitter ausgestattet worden war, wurde die Händehygiene erneut in beiden Abteilungen erfasst. Für Abteilung B zeigte sich eine Verbesserung der Compliance-Rate von 36,4% auf 51,5%, während die Compliance-Rate in Abteilung A fast konstant blieb (36,4% vs. 35,9%).

Thomas und Kollegen beobachteten den durchschnittlichen Desinfektionsmittelverbrauch pro Tag über drei Zeiträume.[13] Sie begannen mit einer Kontrollphase von 95 Tagen auf einer 16-Betten-Intensivstation mit acht Desinfektionsmittelspendern, die sich sowohl im als auch außerhalb des Patientenzimmers befanden. Darauf folgte eine experimentelle Phase über 93 Tage auf einer neu gebauten Intensivstation, auf der an jedem Patientenbett eine Trapezstange mit einem Spender befestigt war. Für diesen Zeitraum zeigte sich mit einer 50%igen Steigerung des Desinfektionsmittelverbrauchs eine signifikante Verbesserung im Vergleich zur Kontrollphase.

Insgesamt führte die bettnahe Lokalisation des Händedesinfektionsmittelspenders in allen drei Studien zu einer Verbesserung der Händehygiene-Compliance.

Tabelle 1: Ergebnisse aus dem systematischen Review zum Einfluss des bettnah erreichbaren Händedesinfektionsmittelspenders

Studienziel	Intervention	Ergebnis	
Untersuchung des Effekts der Spenderlokalisierung auf die Händehygiene-Compliance (n=3)	Bettnah erreichbare Händedesinfektionsmittelspender	Birnbach und Kollegen, 2010 Giannitsioti und Kollegen, 2009 Thomas und Kollegen, 2009	Vorteil

Die Fragbogenerhebung zeigte, dass die geforderte Ausstattung der Patientenzimmer mit Händedesinfektionsmittelspendern in unmittelbarer Nähe, definiert als in Armlänge vom Patientenbett zu erreichen (WHO Guidelines, 2009), auf neonatologischen Stationen mit einem Bettenanteil von 84,3% (1.738/2.061) am höchsten ist, gefolgt von 73,5% (5.013/6.817) auf ITS. Eine weitaus niedrigere Ausstattungsrate der Patientenbetten findet sich mit 42,5% (1.679/3.954) auf hämato-/onkologischen Stationen und 31,5% (6.984/22.189) auf Normalstationen (Tabelle 2).

Auf den KISS-Intensivstationen war der 100%ige Bettenanteil mit Händedesinfektionsmittelspender in Armlänge vom Patientenbett in der Risikofaktorenanalyse weder ein Risiko noch ein Vorteil für nosokomiale Infektionen

und nosokomial erworbene MRE gegenüber Intensivstationen, deren Ausstattungsgrad unter 100% lag.

Tabelle 2: Ergebnisse aus der Befragung der Krankenhäuser bezüglich ihrer Ausstattung mit Händedesinfektionsmittelspendern im Patientenzimmer

Studienziel	Ergebnis		
Erfassung der aktuellen Ausstattung der Patientenbetten mit bettnahen Händedesinfektionsmittelspendern	Stationsart	Betten mit Spender in Armlänge	Anteil [%]
	Normalstation (n=621)	6.984	31,5
	Intensivstation (n=534)	5.013	73,5
	Neonatologie (n=127)	1.738	84,3
	Hämato- /Onkologie (n=156)	1.679	42,5

Thema 2: Einbettzimmer und nosokomiale Kolonisations- und Infektionsraten

Im systematischen Review konnten neun Studien identifiziert werden, in denen bezüglich nosokomialer Infektionen und nosokomial erworbener MRE Einbettzimmer im Vergleich zu Mehrbettzimmern oder offenen Stationen untersucht wurden (Tabelle 3).[14-22] Alle bis auf eine Studie fanden auf Intensivstationen statt. Das Studiendesign war vorwiegend die Beobachtung vor und nach der Intervention mit oder ohne Kontrollgruppe. Die untersuchte Intervention war die Implementierung von Einbettzimmern aufgrund von Stationsrenovierung oder Umzug der Station in ein neues Gebäude. Sechs Studien zeigten einen signifikanten Vorteil von Einbettzimmern für das geringere Auftreten von nosokomialen Infektionen und nosokomial erworbenen MRE.[16-21] Dagegen zeigten sich Einbettzimmer in drei Studien nicht als Einflussfaktor.[14, 15, 22]

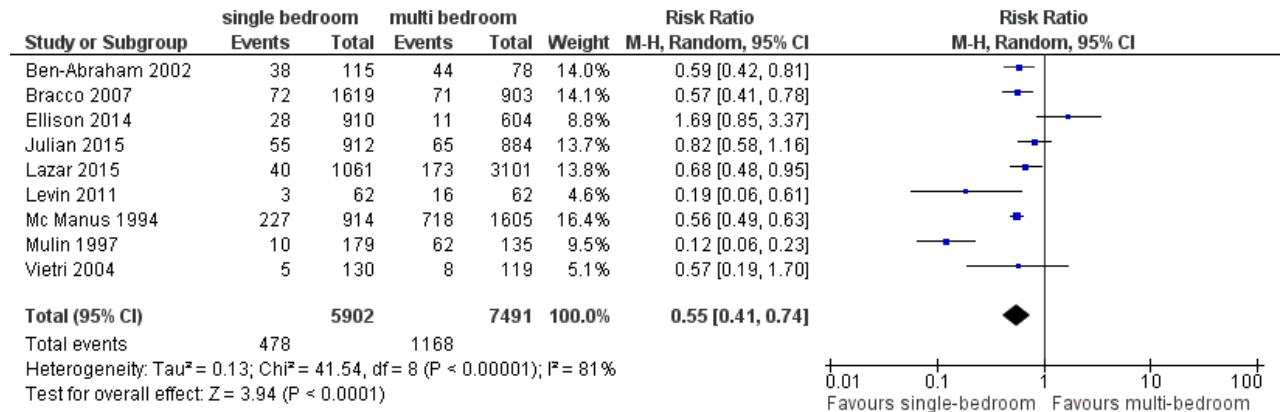
Tabelle 3: Ergebnisse aus dem systematischen Review zum Einfluss von Einbettzimmern auf nosokomiale Infektionen und nosokomial erworbene MRE

Studienziel	Intervention	Ergebnis	
Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Einbett- gegenüber Mehrbettzimmern und nosokomialen Infektionen und nosokomial erworbene MRE	Einbettzimmer	Bracco und Kollegen, 2007 Ben-Abraham und Kollegen, 2002 Lazar und Kollegen, 2015 Levin und Kollegen, 2011 McManus und Kollegen, 1994 Mulin und Kollegen, 1997	Vorteil
		Ellison und Kollegen, 2014 Julian und Kollegen, 2015 Vietri und Kollegen, 2004	Kein Vor- oder Nachteil

Die Metaanalyse dieser neun Studien zeigte einen signifikanten Vorteil von Einbettzimmern verglichen zu Mehrbettzimmern oder offenen Stationen bezüglich nosokomialen Infektionen und nosokomial erworbene MRE (Relatives Risiko (RR):0,55; 95%KI:0,41-0,74; Abbildung 1). Die separate Metaanalyse von zwei Studien, die explizit den nosokomialen Erwerb von MRE untersuchten, zeigte einen signifikanten Vorteil der Einbettzimmer (RR:0,52; 95%KI:0,32-0,85). Sechs Studien, die den Endpunkt Sepsis untersuchten, wurden ebenfalls separat analysiert.^{16-20, 22} Während drei dieser Studien ein niedrigeres Auftreten der nosokomialen Sepsis bei Unterbringung der Patienten im Einbettzimmer feststellten, zeigte sich bei den anderen drei Studien kein Unterschied. Die Metaanalyse dieser sechs Studien zeigte insgesamt einen signifikanten Vorteil der Einbettzimmer im Vergleich zu Mehrbettzimmern oder offenen Stationen für die nosokomiale Sepsisprävention (RR:0,64; 95%KI:0,53-0,76).

Insgesamt gesehen zeigte sich, dass die Versorgung der Patienten im Einbettzimmer einen Vorteil für nosokomiale Infektionen und nosokomial erworbene MRE aufwies verglichen zur Patientenversorgung im Mehrbettzimmer oder auf offenen Stationen.

Abbildung 1: Forest plot zur Darstellung der Studien des systematischen Reviews – Vergleich Einbett- vs. Mehrbettzimmer, Endpunkt nosokomialer Erwerb eines multiresistenten Erregers



Die von uns befragten Intensivstationen verfügten über einen Bettenanteil im Einbettzimmer von 27,1% (1.846/6.817), 11,3% (772/6.817) besaßen eine Schleuse bzw. Vorzone. Auf hämato-/onkologischen Stationen lag der Einbettzimmeranteil bei 13,5% (532/3.954). Normalstationen zeigten mit einem Bettenanteil von 48,3% (10.714/22.189) den Schwerpunkt bei Zweibettzimmern, gefolgt von 45,4% (10.064/22.189) der Betten in Mehrbettzimmern. Lediglich 6,4% (1.411/22.189) der Normalstationsbetten waren in Einbettzimmern aufgestellt. Eine ähnliche Rate fanden wir auf den neonatologischen Stationen, deren Einbettzimmeranteil bei 7,8% (160/2061) lag (Tabelle 4).

Auf Intensivstationen zeigte der Einbettzimmeranteil in der Risikofaktorenanalyse keinen Zusammenhang mit nosokomialen Infektionsraten. Es zeigten sich jedoch niedrigere Inzidenzdichten für die Sepsis, wenn der Anteil der Zweibettzimmer auf einer Intensivstation über dem Median (40%) lag im Vergleich zu Stationen deren Zweibettzimmeranteil bei und unter dem Median (40%) lag (OR: 0,66; 95%CI: 0,51-0,86).

Tabelle 4: Ergebnisse aus der Befragung der Krankenhäuser bezüglich ihrer Patientenzimmerverteilung

Studienziel	Ergebnis				
Erfassung der aktuellen Zimmerverteilung	Stationsart		Anzahl	Anteil auf Station [%]	
	Normalstation (n=621)	Einbettzimmer		1.411	14,2
		Zweibettzimmer		5.357	54,0
		Mehrbettzimmer		3.153	31,8
	Intensivstation (n=534)	Einbettzimmer		1.846	44,7
		Zweibettzimmer		1.947	47,1
		Mehrbettzimmer		341	8,2
	Neonatologie (n=127)	Einbettzimmer		160	20,7
		Zweibettzimmer		251	32,5
		Mehrbettzimmer		361	46,8
	Hämato- /Onkologie (n=156)	Einbettzimmer		532	26,3
		Zweibettzimmer		1.097	54,2
		Mehrbettzimmer		395	19,5

Thema 3: Patientenzimmergröße/Abstand zwischen Patientenbetten und nosokomialen Kolonisations- und Infektionsraten

Es wurden drei Studien identifiziert, die in das Review eingeschlossen werden konnten (Tabelle 5).[23-25] Die Studien kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Eine größere Fläche des Patientenzimmers wurde sowohl mit verringertem als auch erhöhtem Auftreten von Infektionen assoziiert.

Tabelle 5: Ergebnisse aus dem systematischen Review zum Einfluss der Patientenzimmergröße bzw. Fläche pro Patientenbett auf nosokomiale Infektionen und nosokomial erworbene MRE

Studienziel	Intervention	Ergebnis	
Untersuchung des Zusammenhangs zwischen Patientenzimmergröße bzw. Fläche pro Patientenbett und nosokomialen Infektionen und nosokomial erworbenen MRE	Größere Patientenzimmergröße bzw. Fläche pro Patientenbett bzw. Inkubator	Jones und Kollegen, 2012 Yu und Kollegen, 2007	Vorteil
		Jou und Kollegen, 2015	Nachteil

Unsere Umfrage zeigte geringe Unterschiede bei der Zimmergröße von Einbettzimmern auf den Stationen der verschiedenen Fachbereiche. Im Median betrug die Raumgröße der Einbettzimmer auf Intensivstationen 18m² (IQR:15-21), 17m² (IQR:15-20) auf hämato-/onkologischen Stationen und 16m² (IQR:14-20) sowohl auf neonatologischen als auch Normalstationen (siehe Tabelle 3). Größere Variabilität der Werte zeigten sich bei den Zweibettzimmern: 19m² (IQR:15-25) in der Neonatologie, 22m² (IQR:20-25) auf der Normalstation sowie hämato-/onkologischen Station und 28m² (IQR:23-33) auf der Intensivstation (Tabelle 3).

Die Zimmergröße zeigte bei der Risikofaktorenanalyse weder einen Zusammenhang mit geringeren noch erhöhten Inzidenzdichten für die untersuchten nosokomialen Infektionen und nosokomial erworbenen MRE auf Intensivstationen.

Tabelle 6: Ergebnisse aus der Befragung der Krankenhäuser bezüglich ihrer Patientenzimmergröße

Studienziel	Ergebnis		
Erfassung der aktuellen Patientenzimmergröße	Zimmergröße		
	Stationsart		Median (Interquartilsabstand) [m ²]
	Normalstation	Einbettzimmer	16 (14-20)
		Zweibettzimmer	22 (20-25)
		Mehrbettzimmer	30 (28-35)
	Intensivstation	Einbettzimmer	18 (15-21)
		Zweibettzimmer	28 (23-33)
		Mehrbettzimmer	-
	Neonatologie	Einbettzimmer	16 (14-20)
		Zweibettzimmer	19 (15-25)
		Mehrbettzimmer	-
	Hämato-/Onkologie	Einbettzimmer	17 (15-20)
		Zweibettzimmer	22 (20-25)
		Mehrbettzimmer	31 (26-36)

1.4 Diskussion:

Das Ziel dieser Arbeit war die Erstellung eines systematischen Literaturreviews und einer Metaanalyse zu baulichen Faktoren im Krankenhaus im Zusammenhang mit Infektionsprävention. Darüber hinaus wurde die Krankenhausarchitektur in Deutschland erfasst und eine Risikofaktorenanalyse mit Infektionsdaten für Intensivstationen durchgeführt.

Das systematische Review und die Metaanalyse zeigten den Vorteil von in der Nähe zum Patientenbett lokalisierten Händedesinfektionsmittelspendern für die Händehygiene-Compliance und Einbettzimmern gegenüber Mehrbettzimmern für nosokomiale Infektionen und nosokomial erworbene MRE. Für die Zimmergröße bzw.

Bettenabstand konnte keine ausreichende Literatur gefunden werden, um sichere Schlussfolgerungen ziehen zu können.

Die Erhebung der baulichen Ist-Situation zeigte Defizite sowohl in der Ausstattung der Patientenzimmer mit Händedesinfektionsmittelspendern als auch der Patientenzimmergröße und Aufstellungsrate von Patientenbetten in Einbettzimmern. Die Risikofaktorenanalyse zeigte keine klaren Assoziationen zwischen baulichen Faktoren und dem Auftreten von nosokomialen Infektionen und nosokomialen Erwerb von MRE.

Der im systematischen Review festgestellte Vorteil von bettnahen Händedesinfektionsmittelspendern für die Händehygiene-Compliance stützt die Empfehlungen sowohl der WHO, die das Aufstellen des Spenders in Armlänge vom Patientenbett vorschlägt, als auch der Centers for Disease Control and Prevention (CDC) aus den Vereinigten Staaten, das auf eine leichte Erreichbarkeit von jedem Patientenbett hinweist.[26, 27] Dementsprechend sind nach den vorliegenden Daten unserer Erhebung zur Krankenhausarchitektur hämato-/onkologische Stationen mit 42,5% (1.679/3.954) und Normalstationen mit 31,5% (6.984/22.189) der Patientenbetten mit bettnahem Spender ungenügend ausgestattet. Hier sollte zeitnah eine Nachrüstung stattfinden, um eine optimale Händehygiene-Compliance zu ermöglichen.

Der fehlende Vorteil bezüglich nosokomialer Infektionen und nosokomial erworbener MRE auf Intensivstationen, deren Patientenbetten alle mit einem direkt erreichbaren Desinfektionsmittelspender ausgestattet waren, liegt vermutlich darin begründet, dass Intensivstationen regulär mit einem Desinfektionsmittelspender in jedem Patientenzimmer ausgestattet sind. Die Lokalisation kann jedoch über „eine Armlänge vom Patientenbett“ hinausgehen und dadurch unterschieden sich die Intensivstationen mit einer bettnahen Spenderausstattung unter 100% nur marginal von der Vergleichsgruppe mit 100%-iger Ausstattung.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der Stationsarchitektur ist das Patientenzimmer per se. Das Facility Guidelines Institute (FGI) aus den Vereinigten Staaten empfiehlt die Patientenversorgung mit einer Mindestfläche von 18,58m² pro Patientenbett vorzugsweise im Einbettzimmer durchzuführen.[28] In Deutschland liefert die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) konkrete Vorgaben.[29] Sie rät zur ausschließlichen Ausstattung mit 20m² großen Einbettzimmern mit Schleuse und 40m² großen Zweibettzimmern. Dabei sollte

mindestens ein Isolierzimmer je sechs Betten auf einer Station vorhanden sein. Die von uns befragten Intensivstationen entsprachen nicht dem FGI-Kriterium Einbettzimmer zu bevorzugen und erfüllten auch nicht die Anforderungen der DIVI. Die Hälfte der Einbettzimmer auf den von uns befragten Intensivstationen erreichten die Mindestflächenangaben der FGI, jedoch kamen nur 3% (55/1.846) den DIVI Empfehlungen nach.

Deutschland hat noch keine entsprechenden Richtlinien für Normalstationen etabliert. Allerdings fordert die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut in ihren neuen Empfehlungen für Neuplanungen und Sanierungen einen Einbettzimmeranteil von 10-20% an der Gesamtbettzahl nicht zu unterschreiten.[30]

Die Evidenzlage für Einbettzimmer als Maßnahme für die Infektionskontrolle ist weitaus günstiger. Die Belegung eines Einbettzimmers erschwert sicherlich eine Kontaktübertragung zwischen benachbarten Patienten. Darüber hinaus werden räumliche Grenzen geschaffen, welche die Händehygiene-Compliance des Krankenhauspersonals erhöhen.[31] Nach Entlassung des Patienten lässt sich eine Schlussreinigung und Desinfektion erheblich leichter in einem Einbettzimmer durchführen. Möglich ist, dass die bevorzugte Versorgung multimorbider Patienten im Einbettzimmer in der Risikofaktorenanalyse zu einem scheinbar protektiven Einfluss der Zweibettzimmer geführt hat.

Zukünftige Planungen von Neubauten und Sanierungen sollten bettnah erreichbare Händedesinfektionsmittelpender auf allen Stationen berücksichtigen, um langfristig eine flächendeckende Ausstattung zu erreichen. Weitaus schwieriger gestaltet sich die Veränderung der Einbettzimmeranzahl auf den Stationen. Wesentliche Faktoren sind neben dem größeren Flächenbedarf die höheren Bau- und Betriebskosten im Vergleich zu Zweibett- oder Mehrbettzimmern. Maben und Kollegen stellten in ihrer Untersuchung 2015 um 5% höhere Baukosten für ein Krankenhaus mit 100%-iger Einbettzimmerausstattung gegenüber 50%-iger Einbettzimmerausstattung fest.[32] Höhere Betriebskosten entstanden aufgrund der aufwendigeren Reinigung der Patientenzimmer mit einem Mehrkostenaufwand von 1.160 € pro Bett pro Jahr. In einer Simulationsstudie führten Sadatsafavi und Kollegen eine Kosten-Nutzen-Analyse für die Umgestaltung von Mehrbettzimmern mit insgesamt acht Betten zu acht Einbettzimmern auf einer Intensivstation durch.[33] Sie stellten die Kostenersparnis durch verhinderte

nosokomiale Infektionen entstehenden Baukosten und jährlichen Betriebskosten gegenüber. Eine Kostendeckung wurde hier nach fünf Jahren erreicht.

Im systematischen Review analysierten wir vorwiegend Studien, die die Parameter vor und nach einer Intervention erhoben. Hier kann die allgemeine Verbesserung der medizinischen Versorgung im Laufe der Zeit zu verzerrten Studienergebnissen und in der Folge ebenso verzerrten Ergebnissen der Metaanalyse geführt haben. Aus unserer Sicht handelt es sich hierbei um eine Limitation, auch wenn hiervon drei Studien nicht betroffen waren.[14-16] Bei der Befragung der Intensivstationen sehen wir die Gefahr eines Selektionsbias. Um die Arbeitslast für die Teilnahme an der Befragung zu begrenzen, wurden die Ansprechpartner gebeten, eine für ihr Krankenhaus repräsentative Normalstation und eine oder mehrere Intensivstationen auszuwählen. Da insgesamt gesehen jedoch eine sehr große Anzahl an unterschiedlichen Krankenhäusern und Intensivstationen teilgenommen hat, dürfte dieser Bias die Gesamtaussage unserer Untersuchung kaum beeinflussen.

Eine Stärke der vorliegenden Arbeit ist die große Anzahl der befragten Krankenhäuser (n=621) und Intensivstationen (n=534). Zudem wurde im Literaturreview der Einfluss von drei unterschiedlichen baulichen Faktoren auf nosokomiale Infektionen und nosokomialen Erwerb von MRE behandelt.

Zusammenfassend kann man sagen, dass zukünftige Planungen von Neubauten und Sanierungen die unmittelbar erreichbaren Händedesinfektionsmittelpender an jedem Patientenbett auf allen Stationen berücksichtigen sollten, um langfristig eine flächendeckende Ausstattung zu erreichen.

Gut konzipierte, kontrollierte Studien für die genauere Untersuchung architektonischer Einflüsse auf nosokomiale Infektionsraten könnten die aktuelle Evidenzlücke schließen und darüber hinaus eine fundierte Basis hinsichtlich internationaler und nationaler Empfehlungen für zukünftige Planungen von Neubauten und Sanierungen schaffen.

Referenzen

1. Stiller A, Salm F, Bischoff P, Gastmeier P (2016) Relationship between hospital ward design and healthcare-associated infection rates: a systematic review and meta-analysis. *Antimicrobial resistance and infection control*
2. Stiller A, Schroder C, Gropmann A, Schwab F, Behnke M, Geffers C, Holzhausen J, Sunder W, Gastmeier P (2016) [Analysis of contemporary hospital infrastructure pertaining to infection prevention in Germany]. *Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz*
3. Stiller A, Schroder C, Gropmann A, Schwab F, Behnke M, Geffers C, et al. ICU ward design and nosocomial infection rates: a cross-sectional study in Germany. *The Journal of hospital infection*. 2017;95(1):71-5.
4. (2009) WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee. In: WHO Guidelines on Hand Hygiene in Health Care: First Global Patient Safety Challenge Clean Care Is Safer Care. World Health Organization., Geneva
5. European Center for Disease Prevention and Control. Point Prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European hospitals 2011-2012. Stockholm: ECDC; 2013
6. Behnke M, Hansen S, Leistner R, Diaz LA, Gropmann A, Sohr D, Gastmeier P, Piening B (2013) Nosocomial infection and antibiotic use: a second national prevalence study in Germany. *Deutsches Arzteblatt international* 110:627-633
7. Hall KK, Kamerow DB (2013) Understanding the role of facility design in the acquisition and prevention of healthcare-associated infections. *HERD: Health Environments Research & Design Journal* 7:13-17
8. Dettenkofer M, Seegers S, Antes G, Motschall E, Schumacher M, Daschner FD (2004) Does the architecture of hospital facilities influence nosocomial infection rates? A systematic review. *Infection control and hospital epidemiology : the official journal of the Society of Hospital Epidemiologists of America* 25:21-25
9. Kendall A, Landers T, Kirk J, Young E (2012) Point-of-care hand hygiene: preventing infection behind the curtain. *American journal of infection control* 40:S3-10
10. Zimring C, Denham ME, Jacob JT, Cowan DZ, Do E, Hall K, Kamerow D, Kasali A, Steinberg JP (2013) Evidence-based design of healthcare facilities: opportunities for research and practice in infection prevention. *Infection control and hospital epidemiology : the official journal of the Society of Hospital Epidemiologists of America* 34:514-516
11. Ulrich RS, Zimring C, Zhu X, DuBose J, Seo HB, Choi YS, Quan X, Joseph A (2008) A review of the research literature on evidence-based healthcare design. *Herd* 1:61-125
12. Birnbach DJ, Nevo I, Scheinman SR, Fitzpatrick M, Shekhter I, Lombard JL (2010) Patient safety begins with proper planning: a quantitative method to improve hospital design. *Quality & safety in health care* 19:462-465
13. Giannitsioti E, Athanasia S, Antoniadou A, Fytrou H, Athanassiou K, Bourvani P, Kanellakopoulou K, Kouvelas K, Papadopoulos A, Plachouras D, Giamarellou H (2009) Does a bed rail system of alcohol-based handrub antiseptic improve compliance of health care workers with hand hygiene? Results from a pilot study. *American journal of infection control* 37:160-163
14. Thomas BW, Berg-Copas GM, Vasquez DG, Jackson BL, Wetta-Hall R (2009) Conspicuous vs customary location of hand hygiene agent dispensers on alcohol-based hand hygiene product usage in an intensive care unit. *The Journal of the American Osteopathic Association* 109:263-267; quiz 280-261
15. Ellison J, Southern D, Holton D, Henderson E, Wallace J, Faris P, Ghali WA, Conly J (2014) Hospital ward design and prevention of hospital-acquired infections: A prospective clinical trial. *The Canadian journal of infectious diseases & medical microbiology = Journal canadien des maladies infectieuses et de la microbiologie medicale / AMMI Canada* 25:265-270
16. Julian S, Burnham CA, Sellenriek P, Shannon WD, Hamvas A, Tarr PI, Warner BB (2015) Impact of neonatal intensive care bed configuration on rates of late-onset

- bacterial sepsis and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* colonization. *Infection control and hospital epidemiology : the official journal of the Society of Hospital Epidemiologists of America* 36:1173-1182
17. Bracco D, Dubois MJ, Bouali R, Eggimann P (2007) Single rooms may help to prevent nosocomial bloodstream infection and cross-transmission of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in intensive care units. *Intensive care medicine* 33:836-840
 18. Ben-Abraham R, Keller N, Szold O, Vardi A, Weinberg M, Barzilay Z, Paret G (2002) Do isolation rooms reduce the rate of nosocomial infections in the pediatric intensive care unit? *Journal of critical care* 17:176-180
 19. McManus AT, Mason AD, Jr., McManus WF, Pruitt BA, Jr. (1994) A decade of reduced gram-negative infections and mortality associated with improved isolation of burned patients. *Archives of surgery (Chicago, Ill : 1960)* 129:1306-1309
 20. Lazar I, Abukaf H, Sofer S, Peled N, Leibovitz E (2015) Impact of conversion from an open ward design paediatric intensive care unit environment to all isolated rooms environment on incidence of bloodstream infections and antibiotic resistance in Southern Israel (2000 to 2008). *Anaesthesia and intensive care* 43:34-41
 21. Mulin B, Rouget C, Clement C, Bailly P, Julliot MC, Viel JF, Thouverez M, Vieille I, Barale F, Talon D (1997) Association of private isolation rooms with ventilator-associated *Acinetobacter baumannii* pneumonia in a surgical intensive-care unit. *Infection control and hospital epidemiology : the official journal of the Society of Hospital Epidemiologists of America* 18:499-503
 22. Levin PD, Golovanevski M, Moses AE, Sprung CL, Benenson S (2011) Improved ICU design reduces acquisition of antibiotic-resistant bacteria: a quasi-experimental observational study. *Critical care (London, England)* 15:R211
 23. Vietri NJ, Dooley DP, Davis CE, Jr., Longfield JN, Meier PA, Whelen AC (2004) The effect of moving to a new hospital facility on the prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *American journal of infection control* 32:262-267
 24. Jou J, Ebrahim J, Shofer FS, Hamilton KW, Stern J, Han JH (2015) Environmental transmission of *Clostridium difficile*: association between hospital room size and *C. difficile* Infection. *Infection control and hospital epidemiology : the official journal of the Society of Hospital Epidemiologists of America* 36:564-568
 25. Jones AR, Kuschel C, Jacobs S, Doyle LW (2012) Reduction in late-onset sepsis on relocating a neonatal intensive care nursery. *Journal of paediatrics and child health* 48:891-895
 26. Yu IT, Xie ZH, Tsoi KK, Chiu YL, Lok SW, Tang XP, Hui DS, Lee N, Li YM, Huang ZT, Liu T, Wong TW, Zhong NS, Sung JJ (2007) Why did outbreaks of severe acute respiratory syndrome occur in some hospital wards but not in others? *Clinical infectious diseases : an official publication of the Infectious Diseases Society of America* 44:1017-1025
 27. Pittet D, Allegranzi B, Boyce J (2009) The World Health Organization Guidelines on Hand Hygiene in Health Care and their consensus recommendations. *Infection control and hospital epidemiology : the official journal of the Society of Hospital Epidemiologists of America* 30:611-622
 28. Boyce JM, Pittet D (2002) Guideline for Hand Hygiene in Health-Care Settings. Recommendations of the Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee and the HIPAC/SHEA/APIC/IDSA Hand Hygiene Task Force. *American journal of infection control* 30:S1-46
 29. Facility Guidelines Institute. (2014) Guidelines for Design and Construction of Hospitals and Outpatient Facilities. American Society for Healthcare Engineering, Chicago, IL
 30. Deutsche interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI). (2010) Empfehlungen zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen In:Deutsche interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) Available from: <http://www.divi.de/empfehlungen/intensivmedizin.html> [last assessed March 2016].
 31. Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention. (2015) Infektionsprävention im Rahmen der Pflege und Behandlung von Patienten mit

- übertragbaren Krankheiten Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz 58:1151-1170
32. VanSteelandt A, Conly J, Ghali W, Mather C (2015) Implications of design on infection prevention and control practice in a novel hospital unit: the Medical Ward of the 21st Century. *Anthropology & medicine* 22:149-161
 33. Maben J, Griffiths P, Penfold C, Simon M, Anderson JE, Robert G, Pizzo E, Hughes J, Murrells T, Barlow J (2016) One size fits all? Mixed methods evaluation of the impact of 100% single-room accommodation on staff and patient experience, safety and costs. *BMJ quality & safety* 25:241-256
 34. Sadatsafavi H, Niknejad B, Zadeh R, Sadatsafavi M (2016) Do cost savings from reductions in nosocomial infections justify additional costs of single-bed rooms in intensive care units? A simulation case study. *Journal of critical care* 31:194-200

Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Andrea Haekyung Stiller, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Assoziation zwischen baulichen Aspekten von Krankenhäusern und dem Auftreten von nosokomialen Infektionen“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an den ausgewählten Publikationen entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Anteilerklärung an den erfolgten Publikationen

Andrea Haekyung Stiller hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation 1:

[Andrea Stiller, Christin Schröder, Alexander Gropmann, Frank Schwab , Dr. Michael Behnke, PD Dr. Christine Geffers, Jan Holzhausen, Wolfgang Sunder, Prof. Dr. Petra Gastmeier],

[„Ausstattung mit Händedesinfektionsmittelspendern und Einbettzimmern in Hinblick auf die Infektionsprävention – eine Bestandsaufnahme in Krankenhäusern in Deutschland“], [Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz], [2016]

Beitrag im Einzelnen (bitte kurz ausführen):

Durchführung der Fragebogenuntersuchung, deskriptive Datenauswertung, Verfassen des Manuskripts

Impact factor: 1.499

Publikation 2:

[Andrea Stiller, Christin Schröder, Alexander Gropmann, Frank Schwab, Michael Behnke, Christine Geffers, Wolfgang Sunder, Jan Holzhausen, Petra Gastmeier], [“ICU ward design and nosocomial infection rates – a cross sectional study in Germany”], [Journal of Hospital Infection], [2016]

Beitrag im Einzelnen (bitte kurz ausführen):

Durchführung der Fragebogenuntersuchung, Datenauswertung in Zusammenarbeit mit den Mathematikern des Hygieneinstituts, Verfassen des Manuskripts

Impact factor: 2.655

Publikation 3:

[Andrea Stiller, Florian Salm, Peter Bischoff, Petra Gastmeier],

[“Relationship between hospital ward design and healthcare-associated infection rates: a systematic review and meta-analysis”],

[Antimicrobial Resistance and Infection Control], [2017]

Beitrag im Einzelnen (bitte kurz ausführen):

Literaturrecherche, Durchführung der Metanalyse, Verfassen des Manuskripts

Impact factor: 2.716

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers/der betreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

Ausstattung mit Händedesinfektionsmittelspendern und Einbettzimmern in Hinblick auf die Infektionsprävention – eine Bestandsaufnahme in Krankenhäusern in Deutschland

Andrea Stiller, Christin Schröder, Alexander Gropmann, Frank Schwab , Dr. Michael Behnke, PD Dr. Christine Geffers, Jan Holzhausen, Wolfgang Sunder, Prof. Dr. Petra Gastmeier

<http://dx.doi.org/10.1007/s00103-016-2384-x>

ICU ward design and nosocomial infection rates: a cross-sectional study in Germany

Andrea Stiller, Christin Schröder, Alexander Gropmann, Frank Schwab, Michael Behnke, Christine Geffers, Wolfgang Sunder, Jan Holzhausen, Petra Gastmeier

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhin.2016.10.011>

REVIEW

Open Access



Relationship between hospital ward design and healthcare-associated infection rates: a systematic review and meta-analysis

Andrea Stiller*, Florian Salm, Peter Bischoff and Petra Gastmeier

Abstract

Background: The influence of the hospital's infrastructure on healthcare-associated colonization and infection rates has thus far infrequently been examined. In this review we examine whether healthcare facility design is a contributing factor to multifaceted infection control strategies.

Methods: We searched PubMed/MEDLINE, EMBASE and Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL) from 1990 to December 31st, 2015, with language restriction to English, Spanish, German and French.

Results: We identified three studies investigating accessibility of the location of the antiseptic hand rub dispenser. Each of them showed a significant improvement of hand hygiene compliance or agent consumption with the implementation of accessible dispensers near the patient bed. Nine eligible studies evaluated the impact of single-patient rooms on the acquisition of healthcare-associated colonization and infections in comparison to multi-bedrooms or an open ward design. Six of these studies showed a significant benefit of single-patient bedrooms in reducing the healthcare-associated colonization and infection rate, whereas three studies found that single-patient rooms are neither a protective nor risk factor. In meta-analyses, the overall risk ratio for acquisition of healthcare-associated colonization and infection was 0.55 (95% CI: 0.41 to 0.74), for healthcare-associated colonization 0.52 (95% CI: 0.32 to 0.85) and for bacteremia 0.64 (95% CI: 0.53 to 0.76), all in favor of patient care in single-patient bedrooms.

Conclusion: Implementation of single-patient rooms and easily accessible hand rub dispensers located near the patient's bed are beneficial for infection control and are useful parts of a multifaceted strategy for reducing healthcare-associated colonization and infections.

Keywords: Hospital architecture, Single-patient room, Hand hygiene compliance, Hospital room size, Healthcare-associated infection, Ward design

Background

Preventing healthcare-associated infections, especially with multidrug-resistant bacteria, is paramount for patient safety [1]. In a point prevalence survey conducted between 2011 and 2012 in thirty European countries with 947 acute care hospitals and including 231 459 patients, the European Center for Disease Prevention and Control (ECDC) found a prevalence of 5.7% of healthcare-associated infections (HAI) [2]. There

is still insufficient evidence of any correlation between hospital design and infection control. Moreover, the guidelines for healthcare facilities are often vague in their formulation of infrastructural characteristics due to limited evidence in this field of research. While the German Commission for Hospital Hygiene and Infection Control (KRINKO) recommends 10–20% single-patient rooms in a normal care unit, the Facility Guidelines Institute (FGI) recommends performing all patient care in single-patient rooms in its Guidelines for Design and Construction of Hospitals and Outpatient Facilities [3, 4]. According to this, the ratio of single-patient rooms in hospitals is increasing in Europe as well as in North America [5, 6].

* Correspondence: andrea.stiller@charite.de
Institute of Hygiene and Environmental Medicine, National Reference Center for the Surveillance of Nosocomial Infections, Charité University Medical Center Berlin, Hindenburgdamm 27, D-12203 Berlin, Germany



© The Author(s). 2016 **Open Access** This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The Creative Commons Public Domain Dedication waiver (<http://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/>) applies to the data made available in this article, unless otherwise stated.

Providing hand rub dispensers in patient rooms at the point of care can be a contributing factor for hand hygiene compliance. The proper procedure of hand disinfection has been proven to be one of the most effective infection control measures, however attaining compliance is a challenge [7, 8]. In addition to the number of patients occupying in one single room, the amount of space assigned for each patient within this room is also an important factor. Theoretically speaking, the less space that is provided for patients and healthcare workers within a room, the higher the risk for the transmission of pathogens and for breaches in infection prevention measures possibly leading to an increase in infections. Current directives vary in their recommended square footage for patient rooms: 18.58 m² per bed on critical care units (ICU) in the United States, 25 m² for single-patient rooms or 40 m² for multiple-patient rooms on German ICU's [4, 9]. The FGI recommends 13.94 m² per patient bed in single-patient rooms and 11.15 m² per patient bed in multiple-patient rooms on critical care units [4]. Germany has not established guidelines for medical/surgical units, whereas the FGI proposes 11.15 m² per patient bed in single-patient rooms and 9.29 m² in multiple-patient rooms [4].

We analyzed available evidence on three crucial aspects of hospital infrastructure: the influence of single-patient rooms, the size of the patient room and the accessibility of antiseptic hand rub dispenser's location.

Methods

Search strategy

The systematic review was done according to the PRISMA guidelines [10] except for registration. We searched for studies that examined the impact of the accessibility of the antiseptic hand rub dispenser's (AHRD) location inside the patient's room on hand hygiene compliance and/or healthcare-associated infection rates (topic 1). We also searched for studies, which investigated the influence of single patient rooms (topic 2) and the patient's room size (topic 3) on healthcare-associated colonization or infection rates, especially caused by multi-drug resistant organisms.

We searched the databases Medline (assessed via Pubmed), EMBASE (assessed via OvidSP) and the Cochrane Central Register of Controlled Trials (CENTRAL). The detailed search strategy used for Medline (Pubmed) for each topic is shown in the Appendix (Tables 2–4).

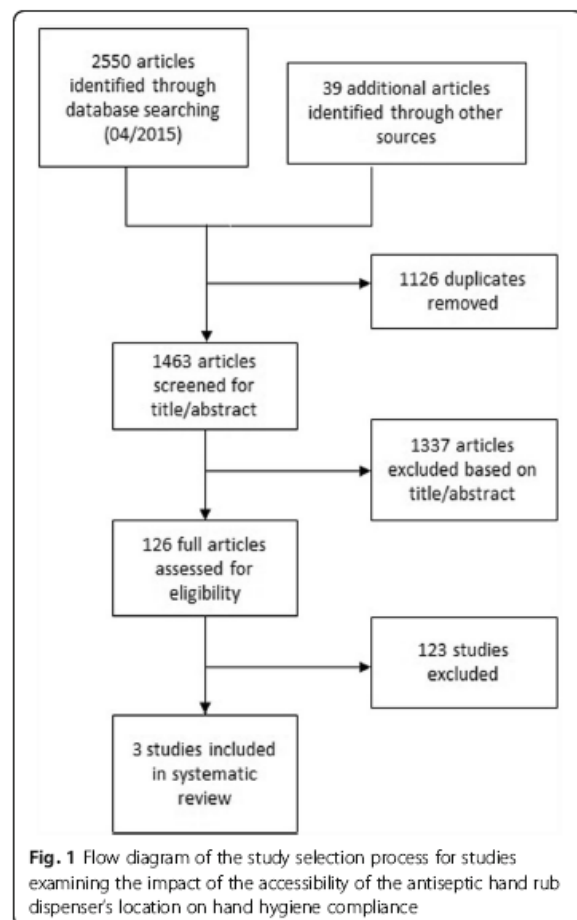
We screened reviews, systematic review articles and searched the reference lists of eligible articles manually to identify any relevant article not captured by the automated electronic literature search. We searched for full-text articles in English, German, French or Spanish. We included any type of study or trial related to the research questions with a time limit for publication between January 1st, 1990 and December 31st, 2015.

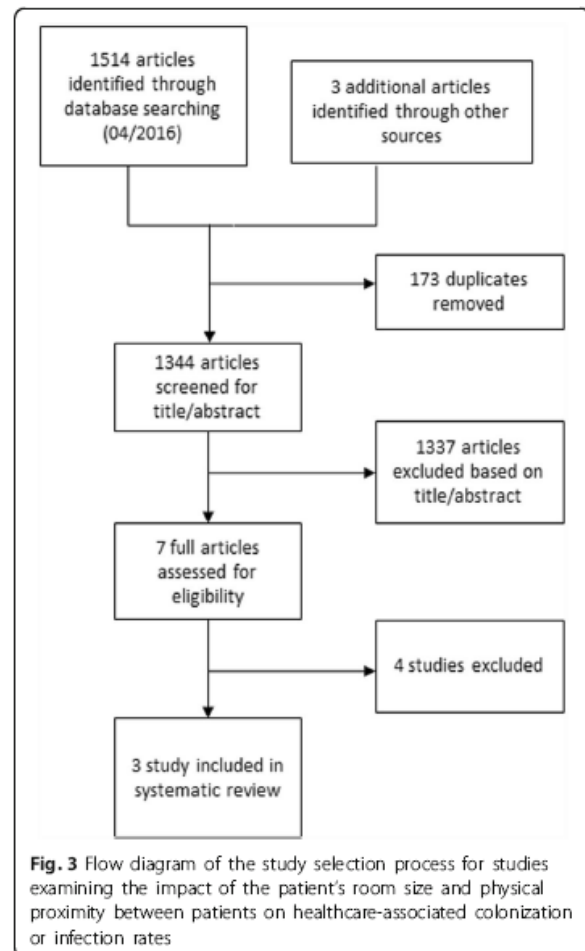
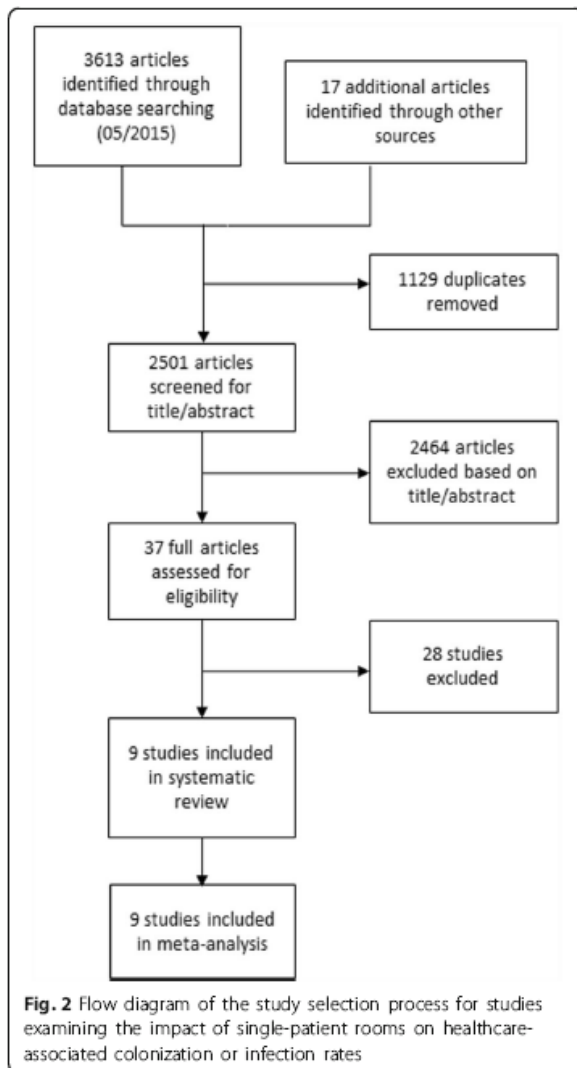
Studies were excluded if they were irrelevant to our research question, noncompliant with the selected language criteria, the full text was unavailable for review despite contacting the authors, if they were duplicate references, publications reporting the same data, reports of outbreaks on individual wards or meeting abstracts. Studies that were conducted in long-term care facilities were also not considered. Finally, letters to the editor, review articles and recommendations were excluded as well.

Two authors independently applied the inclusion criteria to the identified articles assessing studies for eligibility. Disagreements between the reviewers were resolved by consensus. We used the ICROMS tool to perform an assessment of the risk of bias of the studies included in the review [11]. The screening and selection process is shown in Figs. 1, 2 and 3.

Topic 1: Accessibility of the antiseptic hand rub dispenser's location and hand hygiene compliance

We included studies, in which the accessibility of different locations of the antiseptic hand rub dispenser inside





the patient's room were evaluated with regard to the hand hygiene compliance rate or agent consumption volume. The hand hygiene compliance rate was measured as the percentage of performances counted through direct observation or counted indirectly through agent consumption. Studies investigating hand washing without an antiseptic agent did not meet our inclusion criteria. Additionally, we eliminated studies, which monitored the effect of multimodal intervention programs, or which did not examine the accessibility of the hand rub dispenser inside the patient's room, for example poster campaigns, staff audits or visual design tools such as signs or lights. Additional studies that we eliminated examined the effect of different dispenser locations associated with an introduction of hand hygiene measures, or investigated dispenser locations outside the patient

room, for example on the ward corridor, in the operating theatre, or within the examination room.

Topic 2: Single-patient rooms and healthcare-associated infections/colonization

We included intervention studies that examine the colonization with multidrug-resistant organisms (MDRO) or infection with any type of pathogen by comparing patient care in single bedrooms with multi-bedrooms or with an open ward design. We excluded surveys of single room isolation, in which single patient rooms or patient cohorting in isolation wards were examined as an infection control measure for already colonized or infected patients. Moreover, we removed studies that discussed bundled interventions, for example additional patient decolonization strategies or healthcare worker education programs. We also excluded a prevalence study, in which the routine use of single patient rooms was analyzed as a variable in a multivariate analysis [12]. We also excluded studies that

investigated outcomes other than infection or acquisition of multidrug-resistant organisms, for example psychological effects on patients, economic aspects, and the patient's length of stay or medication errors.

Topic 3: Patient room size/proximity between patients and healthcare-associated infections/colonization

While including studies that investigate healthcare-associated colonization with MDRO or infection with any type of pathogen by analyzing the size of a patient's hospital room and the physical proximity between patients, we excluded studies that examined surface contamination with infectious agents in patient rooms. We also eliminated studies, in which overcrowding was examined as a risk factor, since such studies reported data from outbreak situations or analyzed data irrelevant to our research question.

Statistical analysis

The identified intervention studies concerning single vs. multi-bedrooms provided sufficient data to allow the calculation of a risk ratio (RR). We used Review Manager (RevMan Version 5.0; The Cochrane Collaboration, 2008) to perform meta-analyses using a random-effects model, if appropriate.

Results

Topic 1: Accessibility of the antiseptic hand rub dispenser's location and hand hygiene compliance

We initially identified 2 550 records. Through manual hand search and by consulting reference lists we identified 39 additional articles. We removed 1 126 duplicates and excluded 1 337 articles that were not relevant to the research question. After application of the inclusion criteria we screened the remaining 126 full articles for eligibility (Fig. 1). 123 studies were excluded because they bundled interventions or discussed the introduction of hand hygiene with an antiseptic disinfectant. Eventually, three studies were included in this review (Table 1) [13–15].

Birnbach et al. utilized a real-size replica of a patient room and observed the hand hygiene compliance of 52 voluntarily participating physicians, who were randomly assigned to one of two groups [13]. The physicians in group 1 examined the patient in a room where the hand rub dispenser was located adjacent to the patient. In group 2, the dispenser was located near the entrance door across the patient's bed. The compliance rate of the two equally sized groups showed a significant difference ($p < 0.01$): 14 of 26 physicians in group 1 (53.8%) performed hand hygiene with the dispenser positioned adjacent to the patient, while in group 2 only 3 of 26 (11.5%) performed hand hygiene using the dispenser installed at the entrance door.

Giannitsioti et al. investigated the appropriate performances of hand hygiene compliance in two internal medicine departments [14]. The patient beds in department A were equipped with an alcohol-based handrub antiseptic on each bed rail while department B provided dispensers on each wall of the wards. For one month, the investigators anonymously recorded opportunities for hand hygiene as well as appropriate uses of antiseptic hand rub. Hand hygiene recording was conducted for a second time period after the bed-rail system had been installed in department B. The study revealed an increased hand hygiene compliance rate in department B following implementation of the bed rail system from 36.4 to 51.5% ($p < 0.01$), while the compliance rate in department A remained almost unchanged (36.4% vs. 35.9%). In a follow-up study conducted six months later, investigators recorded 70 uses of 255 opportunities (27.5%) in department A, in contrast to 80 uses of 302 opportunities (26.5%; $p < 0.01$) in department B over a time period of one month.

Thomas et al. investigated the average daily volume use of antiseptic hand rub during three observation periods [15]. They started with a 95-day control period in a 16-bed intensive care unit with eight dispensers, which were located inside the patient rooms as well as outside the patient rooms, i.e., along the floors throughout the ward. During the control period, investigators determined an average daily product use of 188.8 g. Thereafter, a 93-day experimental period was conducted in a newly constructed surgical intensive care unit, in which each bed was equipped with one dispenser. The dispensers were installed on a trapeze-bar apparatus connected directly to the patients' beds. In this period an average daily use of 294.1 g was measured, which reveals statistical significance in comparison with the control period ($p < 0.01$). In a second experimental period, which continued for 61 days, 36 dispensers were provided in the same locations as during the control period. During this experimental period, an average daily product use of 214.8 g was determined without any statistically significant difference in comparison to the control period ($p = 0.2$).

Topic 2: Single-patient rooms and healthcare-associated infections/colonization

We identified 3 613 records and located 17 additional articles through hand-searching and by consulting reference lists. After the removal of 1 129 duplicates, we excluded 2 464 articles that were not relevant to the research question. Applying the inclusion criteria, we screened the remaining 37 full articles assessed for eligibility (Fig. 2). We excluded 28 studies on the basis of the criteria explained above. Ultimately, we identified a total of nine studies, in which single-patient bedrooms are

Table 1 Characteristics of the selected studies

Study	Setting	Objective	Design	Number of patients		Endpoint
				Intervention:	Control:	
Birnbaum et al. [13]	Patient room replica	To investigate the effect of the AHRD's location on hand hygiene compliance (n = 3)	intervention study	Not applicable		hand hygiene compliance
Giannitsioti et al. [14]	Internal medical unit			Not applicable		hand hygiene compliance
Thomas et al. [15]	Surgical ICU			Not applicable		disinfectant consumption
Ber-Abraham et al. [19]	Pediatric ICU	To investigate the association between single bedrooms versus multi bedrooms and healthcare associated colonization or infection rates (n = 9)		115	78	Nosocomial infection, bacteremia
Bracco et al. [18]	Surgical ICU			1619	903	Bacteremia Acquisition of MRSA/ Pseudomonas
Elison et al. [16]	General medical ward			910	604	Infection with or Acquisition of MRSA, CD, VRE
Julian et al. [17]	Neonatal ICU			912	884	CLOS, Acquisition of MRSA
Lazar et al. [21]	Pediatric ICU			1061	3101	Bacteremia
Levin et al. [23]	General ICU			62	62	Bacteremia, Acquisition of any multi-drug resistant organism
McManus et al. [20]	Burn center ICU			914	1605	Bacteremia
Mulin et al. [22]	Surgical ICU			179	135	Infection with <i>Acinetobacter baumannii</i>
Vietri et al. [24]	General medical/surgical ICU			130	119	Acquisition of MRSA
Jones et al. [27]	Neonatal ICU/ Special Care Nursery	To investigate the association of space per cot and infection rates	Prospective observational study	152	149	Late-onset sepsis
Jou et al. [26]	All hospital wards except ICU	To investigate the association between patient room size and healthcare associated infection rates	Case-control study	75	150	Infection with CD
Yu et al. [28]	All hospital wards except pediatrics	To investigate the risk factors for health-care associated outbreaks of severe acute respiratory syndrome	Case-control study	Not applicable		Severe acute respiratory syndrome

Note: AHRD antiseptic hand rub dispenser, ICU intensive care unit, MRSA methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*, CD *Clostridium difficile*, VRE vancomycin-resistant enterococci, CLOS confirmed late onset sepsis

compared with multiple patient bedrooms or with an open ward design with regard to the patient's acquisition of a healthcare-associated colonization with MDRO or infection with any pathogen. These nine studies examined the infectious outcomes of bacteremia, ventilator associated pneumonia, lower respiratory tract infection, gastrointestinal infection, infection of the eye and urinary tract infections (Table 1) [16–24].

The studies were conducted in the United States [17, 20, 24], Canada [16, 18], Israel [19, 21, 23], and France [22]. All but one of the studies were performed in intensive care units. The most frequently used study design was before-intervention and after-intervention observation with or without a control group. The analyzed intervention was the implementation of single patient rooms following ward renovation or moving to a newly built unit. While three studies collected data of the intervention and the

control group simultaneously, other studies investigated the same ward before and after the constructional change [16–18]. Additionally, three studies defined hospital-acquired infection and colonization as events occurring ≥ 72 h after admission in contrast to ≥ 48 h after admission [16, 17, 24].

Six studies showed a significant benefit of single-patient bedrooms in reducing the healthcare-associated colonization with MDRO and infection rate [18–23]. However, three studies found that single-patient rooms are neither a protective factor nor a risk factor for colonization and HAI [16, 17, 24]. A meta-analysis of these nine studies showed a significant benefit of single-patient bedrooms in reducing the healthcare-associated colonization and infection rate compared with patient care in multiple patient bedrooms or with an open ward design (RR: 0.55, 95% CI: 0.41 to 0.74, Fig. 4). Separate meta-analysis of two studies which explicitly reported on

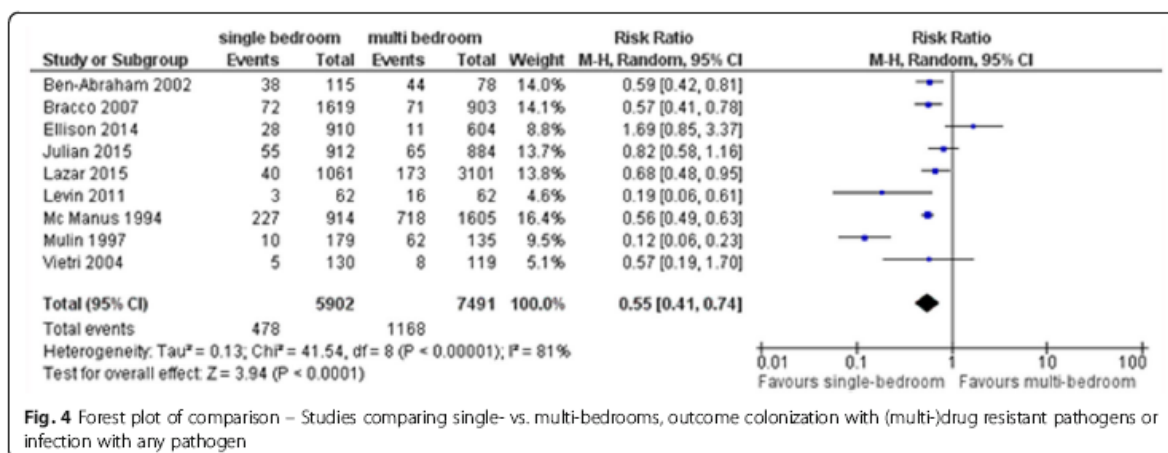


Fig. 4 Forest plot of comparison – Studies comparing single- vs. multi-bedrooms, outcome colonization with (multi-)drug resistant pathogens or infection with any pathogen

colonization with MDRO showed a significant benefit of single-patient bedrooms in reducing the healthcare-associated colonization rate (RR: 0.52, 95% CI: 0.32 to 0.85, Fig. 5). Six studies which reported on the outcome of bacteremia were also analyzed separately [17–21, 23]. While three of these six studies revealed a reduced healthcare-associated bacteremia rate associated with patient care in single-patient bedrooms, the other three studies showed no difference in risk. Meta-analysis of these six studies showed a significant benefit of single-patient bedrooms in reducing the healthcare-associated bacteremia rate compared with patient care in multiple patient bedrooms or with an open ward design (RR: 0.64, 95% CI: 0.53 to 0.76, Fig. 6).

Overall, the treatment of patients in a single-patient room seems to have a significant benefit in reducing the healthcare-associated colonization with MDRO and the infection rate with any pathogen compared to treatment in multiple patient bedrooms (Figs. 4, 5 and 6).

Topic 3: Patient room size/proximity between patients and healthcare-associated infections/colonization

The initial database search resulted in 1 514 records. 173 duplicates were excluded and 1 334 articles were removed since they did not match our inclusion criteria (Fig. 3). We screened the remaining articles and added

three data sources located through manual hand search. One study published in 2000 was excluded due to outdated investigation material dating from 1987 [25]. Ultimately, three studies, which met the inclusion criteria, were included in this review (Table 1) [26–28].

While the first study describes the outcome of late-onset sepsis (LOS) on a neonatal intensive care unit in Australia [27], the second study investigates *Clostridium difficile* (*C. difficile*) infection in an academic medical center in the United States [26]. The third study measures the incidence of severe acute respiratory syndrome (SARS) in 26 different types of hospitals at different locations in China [28].

Jones et al compared rates of LOS before and after the relocation of a neonatal intensive care unit and special care nursery [27]. Data from July to December 2007 was extracted retrospectively for the control group on the old campus and prospectively from July to December 2008 for the intervention group on the new campus. The space per cot increased from 7.6 m² in the old to 17.4 m² in the new intensive care unit and from 4.8 m² in the old to 10.7 m² in the new special care nursery. Investigators determined that 44 of 149 infants (29.5%) had a clinical infection in the control group, in contrast to 34 of 152 infants (22.4%) in the intervention group (Odds Ratio (OR) 0.69, 95%CI: 0.41 to 1.16; P < 0.16).

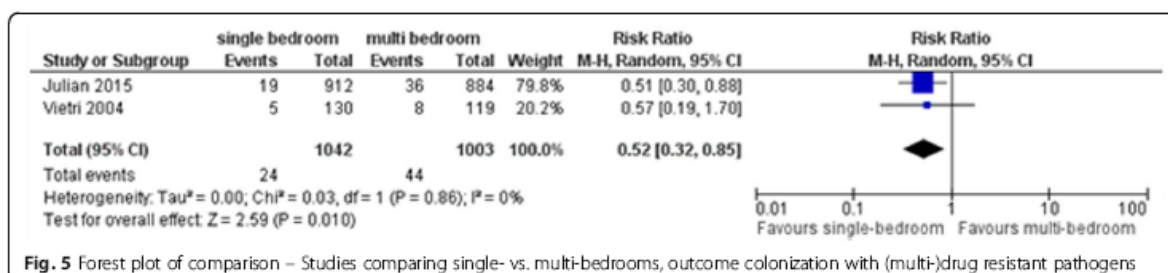


Fig. 5 Forest plot of comparison – Studies comparing single- vs. multi-bedrooms, outcome colonization with (multi-)drug resistant pathogens

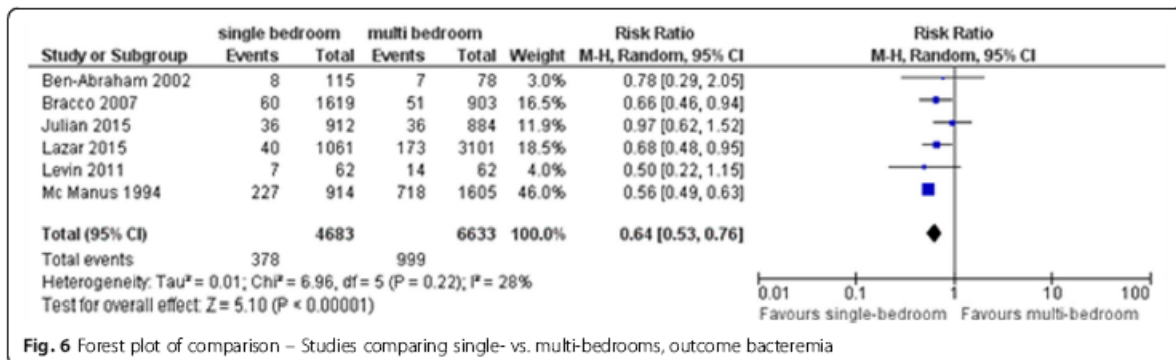


Fig. 6 Forest plot of comparison – Studies comparing single- vs. multi-bedrooms, outcome bacteremia

Episodes of confirmed clinical infection, as a proportion of all septic episodes, occurred significantly more often in the old campus than in the new campus (OR 0.58, 95%CI: 0.34 to 0.99; $P < 0.045$).

Jou et al. evaluated the association between patient room size and acquisition of healthcare-associated *C. difficile* infection [26]. This case-control study surveyed the development of an infection with *C. difficile* during the hospital stay >72 h after admission of patients throughout one year. The control group consisted of patients hospitalized in the same year and was randomly selected. The focus variable was the square footage of the occupied patient room, defined as length x width, at the time of diagnosis. The bivariate analysis showed a significant risk of infection with *C. difficile* associated with a median of 191 square footage [interquartile range (IQR)191-244] compared to 180 square footage (IQR 168-198, OR 2.03, 95%CI: 1.40 to 2.94; $P < 0.01$).

Yu et al. conducted a case-control study to analyze the risk factors for health-care associated severe acute respiratory syndrome (SARS) outbreaks among hospital wards in Hong Kong and Guangzhou [28]. Environmental and administrative factors as well as host factors on 48 case wards (SARS patients were admitted and a super spreading event occurred) and 76 control wards (SARS patients were admitted but no super spreading event occurred) were analyzed. The super spreading event was defined as ≥ 3 cases of SARS in a ward during a period of 2-10 days after index patient admission or a cluster of ≥ 3 cases of SARS during a period of 8 days with unknown sources. The univariate analysis demonstrated that the minimum distance between beds of ≤ 1 m is a significant risk factor associated with health-care associated outbreaks of SARS (OR 3.71, 95% CI: 1.67 to 8.20; $P < 0.001$). Similarly, the multivariate analysis revealed that a having a minimum distance between beds of ≤ 1 m was a significant risk factor in the hospitals in Guangzhou (OR 5.41, 95% CI: 1.51 to 19.30; $P = 0.009$). However, the association was insignificant at hospitals in Hong Kong (OR 5.13, 95% CI:

0.89 to 29.57; $P = 0.07$). Overall, a minimum distance between beds of ≤ 1 m was a significant risk factor associated with health-care associated outbreaks of SARS at all participating hospital wards (OR 3.36, 95% CI: 1.38 to 8.16; $P = 0.008$).

Discussion

The purpose of this review was to systematically identify and analyze primary research studies, wherein infrastructural measures were examined as determining factors for infection control. Our research reveals a strong correlation between hospital ward design and healthcare-associated colonization and infection rates. According to our analysis, the implementation of single-patient rooms and the installation of easily accessible antiseptic hand rub dispensers near patient beds are two important facilitators for infection control. Research data about the relationship between the patient room size or the proximity between patients in adjacent beds and the colonization or rates of infection is scarce. We identified three studies, which had entirely different study environments and outcomes. Jones et al. investigated the space per cot in a neonatal intensive care unit. They concluded that a significant association exists between a higher square footage per cot and lower late-onset sepsis rates [27]. Jou et al. determined an increased risk of nosocomial *C. difficile* infection in patient rooms with larger square footage [26]. Due to the characteristics of the evaluated pathogen *C. difficile*, it is likely that spores contaminated the surface. This is attributable to the fact that a larger room allows more surface to be contaminated, which leads to an increased transmission risk as cleaning in a larger room could be performed rather inadequately [29]. However, transmission seems to be a minor issue for infection with *C. difficile*. Widmer et al. presented a very low rate of transmission in their prospective observational study during an 11-year study period: transmission was detected in 1.3% (6/472) of all contact patients [30].

Another structural aspect was investigated by Yu et al., who investigated the association between the distance between beds and the outcome severe acute respiratory syndrome [28]. They concluded that a minimum of $\geq 1\text{m}$ between beds is needed to reduce the risk of transmission and thus infection. As this outcome describes a pathogen, which is transmitted via droplet infection, it is questionable to transfer their results to other pathogens. More research is needed on this specific topic to further analyze the implications for infection control measures.

Proper hand disinfection has been proven to be one of the most effective infection control measures. It is quite conceivable that factors improving the compliance rate support the barrier against pathogen transmission [7, 8]. We did not identify any studies investigating on the impact of the location of hand-rub dispensers on healthcare-associated infection rates. However, the results of this review indicate that sustainable improvement of hand hygiene compliance can be supported by locating the hand rub dispenser in the point of care and facilitate its accessibility for healthcare workers [31–33]. Therefore, this review confirms the conclusions made by Kendall et al. who suggest to ensure the availability of the hand rub dispenser in the point of care [33]. Likewise, Zingg et al. concluded that a hand-rub dispenser directly in sight of healthcare workers and facilities for hand hygiene at the point of care both improved hand hygiene performance in their systematic review about hospital organization, management and structure for the prevention of HAIs [34]. However, as Giannitsioti et al. found out in their follow-up study, a directly accessible dispenser alone may not lead to a sustained compliance improvement [14]. We suggest that easily accessible hand rub dispensers be placed near the patient's bed at the point of care. This should be combined with other useful compliance improvement measures such as regular staff training and feedback on compliance rates to ensure improved hand hygiene.

The review shows that single-patient rooms are a significant infection control measure in preventing transmission of pathogens from one patient to another due to the fact that no contact transmission can occur either directly from a roommate or indirectly from a healthcare worker taking care of a roommate. Moreover, boundaries that enhance the health care workers' hand hygiene compliance rate are more firmly established [35]. Conversely, infections can also be caused by the acquisition of pathogens from a prior room occupant [36]. However, a single patient room is considerably easier to clean after the discharge of a patient. Therefore, the risk of environmental contamination could be reduced in

comparison to larger and more heavily equipped multi-patient bedrooms.

This review has several limitations. It cannot be ruled out that due to the before-/after-intervention concept the general improvement of medical care over time might have biased the results of some of the studies and consequently biased the results of our meta-analysis (see Figs. 4, 5 and 6). This does not affect three studies [16–18]. Two of these three studies comparing the intervention and control group in the same time period also revealed a benefit in single patient rooms [17, 18]. The study conducted by Ellison et al. is found to be the only statistical outlier [16]. Confirmatively, the authors describe what may have compromised the intervention's potential: shortly after the study began, three single-patient rooms were converted to multi-patient rooms with proximity of 1m between beds. Approximately 50% of the intervention group's patients stayed in these converted rooms. The considerable heterogeneity in the meta-analysis of studies comparing single vs. multi-bedrooms with the outcome of healthcare-associated colonization/infection could be partially explained by the study design. Hagel et al. considered a strong Hawthorne effect on hand hygiene performance, which might attenuate the reported results regarding hand hygiene compliance rate [37].

Conclusion

The review of the available evidence showed that an easily accessible antiseptic hand rub dispenser enhances the healthcare worker's hand hygiene compliance rate on acute care units. Furthermore, meta-analyses revealed the benefit of single-patient rooms in reducing the risk of colonization with (multi-)drug resistant pathogens or infections with any pathogen. In order to reduce the risk of transmission in multi-patient bedrooms, the transmission route of the suspected pathogens should be considered. Consequently, a certain distance between patients' beds should be maintained to prevent droplet transmission and to allow equipment and healthcare workers to move freely between adjacent beds. This leads us to the conclusion that hospital ward design contributes to infection control measures. It is essential to perform further controlled trials to study the effects of an easily accessible AHRD on the hand hygiene compliance rate more precisely and on healthcare-associated infection rates in particular. Well-designed controlled trials investigating the impact of single-patient rooms and the influence of the proximity between patients' beds on the acquisition of healthcare-associated infections and colonization are imperative.

Appendix

Table 2 Search strategy of MEDLINE via PubMed

#	Searches
Architecture = #1	("Hospital Design and Construction"[Mesh]) OR room* OR architect* OR ward* OR locat* OR adheren*
Dispenser = #2	("Hand Disinfection"[Mesh]) OR ("Hand Sanitizers"[Mesh]) OR dispense*
Infection = #3	("Infection Control"[Mesh]) OR transmiss* OR nosocomial* OR health care associated
Time limit = #4	Limit to *1990/01/01*[PDAT] : *2015/12/31*[PDAT]
Language limit = #5	Limit to (English[lang] OR French[lang] OR German[lang] OR Spanish[lang])
#1 AND #2 AND #3 AND #4 AND #5	

Does the location of the hand rub dispenser have an impact on the healthcare worker's hand hygiene compliance and/or patient's healthcare-associated infection rate?

Table 3 Search strategy of MEDLINE via PubMed

#	Searches
Architecture = #1	("Health Facility Environment"[Mesh]) OR construct* OR architect* OR design* OR ward*
Single patient room = #2	("Patients' Rooms"[Mesh]) OR single OR single patient OR privat* OR single bed
Infection = #3	("Infection Control"[Mesh]) OR ("Cross Infection"[MeSH Terms]) OR transmiss* OR nosocomial*
Time limit = #4	Limit to *1990/01/01*[PDAT] : *2015/12/31*[PDAT]
Language limit = #5	Limit to (English[lang] OR French[lang] OR German[lang] OR Spanish[lang])
#1 AND #2 AND #3 AND #4	

Do single-patient rooms reduce the transmission/infection rate of healthcare-associated infections and/or colonization caused by multi-drug resistant organisms?

Table 4 Search strategy of MEDLINE via PubMed

#	Searches
Architecture = #1	("Hospital Design and Construction"[Mesh]) OR construct* OR room* OR single patient OR architect* OR design* OR ward* OR privat* OR single bed
Size/Proximity = #2	("Risk Factors"[MeSH Terms]) OR Room size OR square footage OR distance OR proximity
Infection = #3	("Infection Control"[Mesh]) OR ("Cross Infection"[MeSH Terms])
Time limit = #4	Limit to *1990/01/01*[PDAT] : *2015/12/31*[PDAT]
Language limit = #5	Limit to (English[lang] OR French[lang] OR German[lang] OR Spanish[lang])

Does a higher number of square meters per patient bed decrease the transmission/infection rate of healthcare-associated infections?

Abbreviations

AHRD: Antiseptic hand rub dispenser; *C. difficile*: *Clostridium difficile*; ECDC: European center for disease prevention and control; FGI: Facility Guidelines Institute; HAI: Healthcare-associated infections; ICU: Critical care units; KRINKO: German commission for hospital hygiene and infection control; LOS: Late-onset sepsis; MDRO: Multidrug-resistant organisms; SARS: Severe acute respiratory syndrome

Acknowledgement

Not applicable.

Funding

None.

Availability of data and materials

Please contact author for data requests.

Authors' contributions

All authors developed the search strategy for this Review. AS processed and analyzed the data, interpreted the results, and drafted the manuscript. FS, PB and PG contributed to the systematic review, the data extraction, and revision of the manuscript. All authors approved the version of the paper for submission.

Competing interest

The authors declare that they have no competing interests.

Consent for publication

Not applicable.

Ethics approval and consent to participate

Not applicable.

Received: 7 October 2016 Accepted: 22 November 2016

Published online: 29 November 2016

References

1. World Health Organization. WHO Guidelines on Hand Hygiene in Health Care: First Global Patient Safety Challenge Clean Care Is Safer Care. Geneva: World Health Organization; 2009.
2. European Center for Disease Prevention and Control. Point Prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European hospitals 2011–2012. Stockholm: ECDC; 2013.
3. Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention. Infektionsprävention im Rahmen der Pflege und Behandlung von Patienten mit übertragbaren Krankheiten Empfehlung der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch-Institut. Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz. 2015;58(10):151–70.
4. Facility Guidelines Institute. Guidelines for Design and Construction of Hospitals and Outpatient Facilities. 2014th ed. Chicago: American Society for Healthcare Engineering; 2014. p. 421.
5. Detsky ME, Etchells E. Single-patient rooms for safe patient-centered hospitals. *Jama*. 2008;300(8):954–6.
6. Morgan H. Single and shared accommodation for young patients in hospital. *Paediatr Nurs*. 2010;22(8):20–4.
7. Kampf G, Löffler H, Gastmeier P. Hand hygiene for the prevention of nosocomial infections. *Dtsch Arztebl Int*. 2009;106(40):649–55.
8. Pittet D, et al. Effectiveness of a hospital-wide programme to improve compliance with hand hygiene. *Infection Control Programme*. *Lancet*. 2000;356(9238):1307–12.
9. Deutsche interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI). Empfehlungen zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin. Berlin: DIVI; 2010. available at: <http://www.divi.de/empfehlungen/intensivmedizin.html>. Assessed Mar 2016.
10. Liberati A, et al. The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration. *J Clin Epidemiol*. 2009;62(10):e1–e34.
11. Zingg W, et al. Innovative tools for quality assessment: integrated quality criteria for review of multiple study designs (ICROMS). *Public Health*. 2016;133:19–37.

12. Smor AE, et al. Prevalence of colonization and infection with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and vancomycin-resistant *Enterococcus* and of *Clostridium difficile* infection in Canadian hospitals. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2013;34(7):687–93.
13. Birnbach DJ, et al. Patient safety begins with proper planning: a quantitative method to improve hospital design. *Qual Saf Health Care*. 2010;19(5):462–5.
14. Giannitsoti E, et al. Does a bed rail system of alcohol-based handrub antiseptic improve compliance of health care workers with hand hygiene? Results from a pilot study. *Am J Infect Control*. 2009;37(2):160–3.
15. Thomas BW, et al. Conspicuous vs customary location of hand hygiene agent dispensers on alcohol-based hand hygiene product usage in an intensive care unit. *J Am Osteopath Assoc*. 2009;109(5):263–7. quiz 280–1.
16. Ellison J, et al. Hospital ward design and prevention of hospital-acquired infections: A prospective clinical trial. *Can J Infect Dis Med Microbiol*. 2014;25(5):265–70.
17. Julian S, et al. Impact of neonatal intensive care bed configuration on rates of late-onset bacterial sepsis and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* colonization. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2015;36(10):1173–82.
18. Bracco D, et al. Single rooms may help to prevent nosocomial bloodstream infection and cross-transmission of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in intensive care units. *Intensive Care Med*. 2007;33(5):836–40.
19. Ben-Abraham R, et al. Do isolation rooms reduce the rate of nosocomial infections in the pediatric intensive care unit? *J Crit Care*. 2002;17(3):176–80.
20. McManus AT, et al. A decade of reduced gram-negative infections and mortality associated with improved isolation of burned patients. *Arch Surg*. 1994;129(12):1306–9.
21. Lazar I, et al. Impact of conversion from an open ward design paediatric intensive care unit environment to all isolated rooms environment on incidence of bloodstream infections and antibiotic resistance in Southern Israel (2000 to 2008). *Anaesth Intensive Care*. 2015;43(1):34–41.
22. Mulin B, et al. Association of private isolation rooms with ventilator-associated *Acinetobacter baumannii* pneumonia in a surgical intensive-care unit. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 1997;18(7):499–503.
23. Levin PD, et al. Improved ICU design reduces acquisition of antibiotic-resistant bacteria: a quasi-experimental observational study. *Crit Care*. 2011;15(5):R211.
24. Vietri NJ, et al. The effect of moving to a new hospital facility on the prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *Am J Infect Control*. 2004;32(5):262–7.
25. Chang VT, Nelson K. The role of physical proximity in nosocomial diarrhea. *Clin Infect Dis*. 2000;31(3):717–22.
26. Jou J, et al. Environmental transmission of *Clostridium difficile*: association between hospital room size and *C. difficile* infection. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2015;36(5):564–8.
27. Jones AR, et al. Reduction in late-onset sepsis on relocating a neonatal intensive care nursery. *J Paediatr Child Health*. 2012;48(10):891–5.
28. Yu IT, et al. Why did outbreaks of severe acute respiratory syndrome occur in some hospital wards but not in others? *Clin Infect Dis*. 2007;44(8):1017–25.
29. Dancer SJ. The role of environmental cleaning in the control of hospital-acquired infection. *J Hosp Infect*. 2009;73(4):378–85.
30. Widmer A, et al. Transmissibility of *C. difficile* without contact isolation: results from a prospective observational study. Copenhagen: ECCMID; 2015.
31. Cure L, R Van Enk. Effect of hand sanitizer location on hand hygiene compliance. *Am J Infect Control*. 2015;43(9):917–21.
32. Gopal Rao G, et al. Marketing hand hygiene in hospitals—a case study. *J Hosp Infect*. 2002;50(1):42–7.
33. Kendall A, et al. Point-of-care hand hygiene: preventing infection behind the curtain. *Am J Infect Control*. 2012;40(4 Suppl 1):S3–S10.
34. Zingg W, et al. Hospital organisation, management, and structure for prevention of health-care-associated infection: a systematic review and expert consensus. *Lancet Infect Dis*. 2015;15(2):212–24.
35. VanSteelandt A, et al. Implications of design on infection prevention and control practice in a novel hospital unit: the Medical Ward of the 21st Century. *Anthropol Med*. 2015;22(2):149–61.
36. Mitchell BG, et al. Risk of organism acquisition from prior room occupants: a systematic review and meta-analysis. *J Hosp Infect*. 2015;91(3):211–7.
37. Hagel S, et al. Quantifying the Hawthorne Effect in Hand Hygiene Compliance Through Comparing Direct Observation With Automated Hand Hygiene Monitoring. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2015;36(8):957–62.

Submit your next manuscript to BioMed Central and we will help you at every step:

- We accept pre-submission inquiries
- Our selector tool helps you to find the most relevant journal
- We provide round the clock customer support
- Convenient online submission
- Thorough peer review
- Inclusion in PubMed and all major indexing services
- Maximum visibility for your research

Submit your manuscript at
www.biomedcentral.com/submit



Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

Publikationsliste

Publikation 1:

A. Stiller, C. Schroder, A. Gropmann, F. Schwab, M. Behnke, C. Geffers, J. Holzhausen, W. Sunder and P. Gastmeier (2016). "[Ausstattung mit Händedesinfektionsmittelspendern und Einbettzimmern in Hinblick auf die Infektionsprävention – eine Bestandsaufnahme in Krankenhäusern in Deutschland]." Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz **59**(8): 986-991.
Impact factor: 1.499

Publikation 2:

Andrea Stiller, Christin Schröder, Alexander Gropmann, Frank Schwab, Michael Behnke, Christine Geffers, Wolfgang Sunder, Jan Holzhausen, Petra Gastmeier, "[ICU ward design and nosocomial infection rates – a cross sectional study in Germany]", [Journal of Hospital Infection], [Online publication 29-NOV-2016]
Impact factor: 2.655

Publikation 3:

Andrea Stiller, Florian Salm, Peter Bischoff, Petra Gastmeier, [Relationship between hospital ward design and healthcare-associated infection rates: a systematic review and meta-analysis], [Antimicrobial Resistance and Infection Control], [Online publication 12-DEC-2016]
Impact factor: 2.716

Danksagung

Frau Professor Gastmeier danke ich für die Möglichkeit, am Institut für Hygiene und Umweltmedizin promovieren zu dürfen, ihre fachlichen Hinweise und immerwährende freundliche Unterstützung.

Ein herzlicher Dank geht an alle meine Kollegen im Institut für die besondere Arbeitsatmosphäre, insbesondere Florian Salm für die hilfreichen Anregungen und Diskussionen und Solvy Wolke für ihre „mütterlichen Mühen“ während der Erarbeitung meiner Dissertation.

Von Herzen danke ich meiner Familie, insbesondere meiner Schwester, für ihre ausdauernde Unterstützung, die mich motivierte und stets zur Seite stand.

Ein besonderes Dankeschön gebührt meinem Freund Ben und all meinen Freunden, die immer ein offenes Ohr für mich hatten und während der ganzen Zeit ermunterten.