

Carsten Roth, Wolfgang Sunder
Jan Holzhausen, Harald Budelmann
Inka Dreßler, Petra Gastmeier, Andrea Stiller

Bauliche Hygiene im Krankenhaus
Leitfaden zur baulichen Entwicklung
von Krankenhäusern aus hygienischen
Gesichtspunkten – vom Gebäude
bis zum Detail

F 3072

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2018

ISBN 978-3-7388-0133-0

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

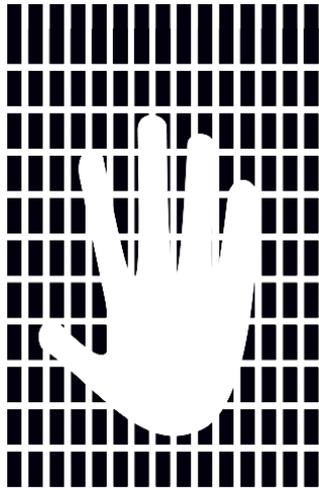
Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/tauforschung



H Y B A U +

ABSCHLUSSBERICHT | JANUAR | 2017

Bauliche Hygiene im Krankenhaus

Langtitel: Leitfaden zur baulichen Entwicklung von Krankenhäusern aus hygienischen Gesichtspunkten - vom Gebäude bis zum Detail

Das Forschungsprojekt wird mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

(Aktenzeichen: SWD - 10.08.18.7-14.04)

Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Forschende Einrichtungen:

Technische Universität Braunschweig:

IIKE - Institut für Industriebau und konstruktives Entwerfen **Projektleitung**

Univ.-Prof. M. Arch. Carsten Roth
Dipl.-Ing. Architekt Wolfgang Sunder
Dipl.-Ing. Architekt Jan Holzhausen
Pockelsstr. 3 | D- 38106 Braunschweig
Tel +49 531 391-2544 | Fax +49 531 391-5948
Email: w.sunder@tu-bs.de | <http://www.iike.tu-bs.de>

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz - IBMB

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Harald Budelmann
Inka Dreßler, M. Sc.
Beethovenstr. 52 | D- 38106 Braunschweig
Tel + 49 531 391 5584 | Fax +49 531 391-5900
Email: I.Dressler@ibmb.tu-bs.de |

Charité Berlin:

Institut für Hygiene und Umweltmedizin

Univ.-Prof. Dr. med. Petra Gastmeier
Andrea Stiller
Hindenburgdamm 27 | D- 12203 Berlin
Tel +49 30 450 570233 | Fax +49 30 8445 3682
Email: andrea.stiller@charite.de | hygiene.charite.de

Forschungspartner und Förderer:

- Deutsches Kupferinstitut Berufsverband e.V.
- Franz Kaldewei GmbH & Co. KG, Ahlen
- Gruppe objectmöbel-concept, Lüdinghausen
 - + Kusch + Co, Hallenberg
 - + Reiss Büromöbel, Bad Liebenwerder
 - + Resopal, Groß-Umstadt
 - + Hornschuh, Weißbach
- Meiko Maschinenbau GmbH & Co. KG, Offenburg
- OWA Odenwald Faserplattenwerk GmbH, Amorbach
- Planungsgruppe Schweitzer & Partner, Braunschweig
- Saint-Gobain Glass France, Courbevoie/ Aachen
- Sana Kliniken AG, Ismaning
- Schön Klinik Verwaltung GmbH, Prien am Chiemsee
- Sika Deutschland GmbH, Stuttgart
- Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH
- Tarkett Holding GmbH, Frankenthal
- Vorwerk & Co. Teppichwerke GmbH & Co. KG, Hameln

Gutachter:

Bereich BAU

Herr Hildebrand, Abteilungsleiter Bauplanung
Stabsstelle Planen und Bauen, Medizinische Hochschule Hannover (MHH)

Bereich HYGIENE

Herr Prof. Dr. Rüden, Leiter Zentrale Krankenhaushygiene,
HELIOS Kliniken, Berlin

Bereich MATERIAL

Herr Dr. Juling
Fachgebiet Baustoffmikroskopie,
MPA Material-Prüf-Anstalt, Bremen

Förderträger:

**BBSR Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Geschäftsbereich
des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit
(BMUB)**

Forschungsinitiative Zukunft Bau

Dipl. Ing. Guido Hagel
Ref. II 3 Forschung im Bauwesen
Deichmanns Aue 31-37 | 53179 Bonn
Tel. +49 228 99401 1482
Guido.Hagel@BBR.Bund.de | www.bbsr.bund.de

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeiner Teil	7
1.1	Ziel des Forschungsvorhabens	7
1.2	Begründung des Forschungsvorhabens.....	7
1.3	Arbeitsprogramm des Forschungsvorhabens.....	8
1.4	Forschungstreffen	12
1.5	Publikationen und Vorträge.....	14
2	Arbeitspakete BAU	16
2.1	Recherche Gesetze, Normen und Richtlinien	17
2.2	Experteninterviews Kliniken und Planer	31
2.3	Umfrage zur baulichen Struktur von Krankenhäusern (KISS).....	44
2.4	Ideallayout - Musterlösungen bestimmter Funktionsbereiche	58
3	Arbeitspakete MATERIAL	66
3.1	Analyse der Anforderungen.....	66
3.2	Reinigungsversuche	76
3.3	Besiedlungsversuche.....	91
4	Arbeitspakete HYGIENE	104
4.1	Systematisches Review	104
4.2	Umfrage zur baulichen Hygiene im Rahmen von KISS.....	111
5	Fazit	121
5.1	Empfehlungen.....	122
5.2	Planungsempfehlungen Operation.....	123
5.3	Planungsempfehlungen Zentrale Notfallaufnahme.....	124
5.4	Planungsempfehlungen Intensivstation	126
5.5	Planungsempfehlungen Krankenhaus Allgemein	127
6	Anlagen	129
6.1	Literaturverzeichnis	129

6.2	Abbildungsverzeichnis	138
6.3	Tabellenverzeichnis	142
6.4	Bildquellen	144
6.5	Autorenbestätigung.....	144
ANHANG A.....		145
	Versuchsergebnisse zum Einfluss des Grundmaterials auf die Persistenz von Mikroorganismen (Staph. Aureus)	145
	Versuchsergebnisse zum Einfluss des Erregers auf die Persistenz	146
ANHANG B.....		147
	Darstellung der Partikelrückstände an den untersuchten Proben	147
	Erzielte Ergebnisse an den untersuchten Proben	158
	Beurteilung der Reinigbarkeit bei Hausstaub.....	159

1 Allgemeiner Teil

1.1 Ziel des Forschungsvorhabens

Ziel des Forschungsvorhabens ist die Optimierung der Planung und Umsetzung hygiesicherer Krankenhausbauten als Folgeprojekt des durch die "Zukunft BAU"-Initiative geförderten Projektes Praxis: Krankenhausbau. Im Fokus der Forschungsarbeit stehen dabei folgende Bereiche:

Optimale hygiesichere baulich-funktionale Abläufe im Krankenhaus:

Krankenhausbauten stellen aufgrund Ihrer Komplexität die beteiligten Planer, Betreiber und Bauschaffenden vor große Herausforderungen. Dabei sind der bauliche Zustand und die Prozessabläufe einer Klinik neben dem Hygienemanagement ein wichtiger Gesichtspunkt bei der Bekämpfung von kritischen Infektionen. Eine Analyse der baulichen Schwachstellen mit einer Risikobewertung besonders kritischer Funktionsstellen ist dringend erforderlich. Die Darstellung optimaler Funktionszusammenhänge gewährleistet einen idealen, den hygienischen Anforderungen entsprechenden Patientenabläufe durch die Funktionsbereiche des Krankenhauses.

Optimaler Einsatz hygiesicherer Materialien:

Verwendete Materialien können nach ihrem Einsatzort und der Nutzung aus hygienischen Gesichtspunkten klassifiziert werden. Diese Zuordnungen und die Materialeigenschaften entscheiden über eine Besiedlung und Ausbreitung von Keimen auf den Oberflächen. Die neuartige interdisziplinäre Betrachtung der Materialeigenschaften überlagert mit der Raum-Prozess-Organisation mündet in einem Leitfadens zur Planung hygiesicherer Krankenhausbauten.

1.2 Begründung des Forschungsvorhabens

Die Änderung des Infektionsschutzgesetzes, die Hygieneskandale einzelner Kliniken, der Anstieg multiresistenter Keime, die Angst der Patienten sich in der Klinik mit einem Keim zu infizieren, all dies macht es für die Krankenhausträger unumgänglich sich vornehmlich mit dem Thema Hygiene zu beschäftigen.

Nach Angaben des Bundesgesundheitsministeriums erkrankten jährlich 400.000 bis 600.000 Patienten an krankenhausspezifischen Infektionen d.h. diese Patienten haben sich im Rahmen einer stationären oder ambulanten Behandlung zusätzlich zu ihrer primären Leiden eine weitere behandlungspflichtige Erkrankung eine sogenannte Krankenhausinfektion zugezogen. Dies stellt nicht nur einen großen wirtschaftlichen Schaden, sondern auch einen Imageverlust für die Betreiber dar.

Neben dem prozessorientierten Hygienemanagement ist der baulich funktionelle Zustand einer Klinik ein relevanter Gesichtspunkt bei der Bekämpfung von krankenhausspezifischen Infektionen. Fehlende Isolationsmöglichkeiten auf den Pflegestationen und im Aufnahmebereich, ungenügende oder flächenmäßig zu klein dimensionierte Nebenraumzonen in Funktionsabteilungen wie Endoskopie, Zentral OP, Intensiv, fehlende Trennung von reinen und unreinen Bereichen, falsch eingesetzte Baumaterialien, unzureichende Reinigungsmöglichkeiten: All dies sind Defizite, welche durch Prozess- und Managementoptimierung nicht allein kompensiert werden können.

Der im Krankenhaus-Rating-Report von 2011 bezifferte Investitionsrückstau von 14 Mrd. € im Krankenhausbausektor bietet die Chance, dass nun identifizierte Thema der baulichen Hygiene in diese große Bauinvestition ganzheitlich mit zu integrieren.

1.3 Arbeitsprogramm des Forschungsvorhabens

Die Forschungsziele sollen über folgende Phasen bearbeitet werden:

Definition der Anforderungen:

Über eine Klassifizierung von üblicher Weise im Krankenhaus verwendeter Materialien, einer Bau- und Prozessanalyse und einer Bewertung internationaler wissenschaftlichen Erkenntnisse der Medizin und Hygiene sollen auf breiter Ebene in Planung, Bau und Betrieb von Krankenhausbauten aktuelle hygienerelevanter Anforderungen an Krankenhausbauten gesammelt, ausgewertet und strukturiert dokumentiert werden. Auf dieser Basis sollen im Projektteam zukunftsrelevante Anforderungen abgeleitet werden. Diese werden aggregiert und als Anforderungsprofil hygiesicherer Krankenhäuser bereitgestellt.

Analyse/Adaption der Lösungskonzepte der Fachdisziplinen:

Die drei teilnehmenden Fachdisziplinen Architektur, Hygiene und Baustoff analysieren hygienespezifische Lösungsansätze auf ihre Eignung für die Planung, den Bau und den Betrieb von Krankenhäusern. So sollen auf der einen Seite Materialeigenschaften charakterisiert (z.B. Materialart, Oberflächengenauigkeit, Porosität etc.) und in Ihrer Beanspruchung durch Keime gegenüber gestellt werden. Auf der anderen Seite soll über eine Risikobewertung besonders kritischer Funktionsstellen (wie z.B. OP, Endoskopie, Sterilisation, Intensiv, Notaufnahme etc.) Lösungsansätze für optimale hygienesicherer Funktionsstellenbeziehungen im Krankenhaus entwickelt werden.

Erarbeitung eines ganzheitlichen Lösungskonzepts der Fachdisziplinen:

Die identifizierten Teillösungen bezüglich baulich-funktioneller Gebäudestruktur und Materialeinsatz werden zu einem ganzheitlichen Lösungsansatz zusammengeführt. Ergebnis kann z.B. die Erarbeitung einer konstruktiven Detailplanung unter Berücksichtigung der spezifischen Baustoffeigenschaften sein.

Zeitplan



Abbildung 1: Zeitschiene des Forschungsprojektes, 26 Monate Laufzeit

AP-1: Vertiefende Recherche (Dauer: 2 Monate)

Recherche Gesundheitswesen: Es gilt die Studien über zu erwartende Entwicklungen im Gesundheitswesen zu erfassen, die Auswirkungen auf den Krankenhausbau und hygienespezifische Szenarien abzuleiten.

AP-2: Analyse der Anforderungen (Dauer: 9 Monate)

2.1 Raumebene

IIKE: Beschreibung der funktionalen Abhängigkeiten (Prozessorganisation) einzelner Raumbereiche (Funktionsbereiche/ Funktionsstellen) und deren Anordnung zueinander.

IBMB: Festlegung der technischen Anforderung in diesen Bereichen (Temperatur, Feuchte, Luftwechsel, Abschluss).

Charité: Input: Örtliche Definition des Keimauftritts

Interdisziplinär: Klassifizierung und Ableitung - Anforderungen an den Raum

2.2 Bauteilebene

IIKE: Erfassung Abläufe, Raumeigenschaften und Ausstattung (geometrische Anforderungen)

IBMB: Analyse der Anforderungen an einzelne Bauteile (z.B. Boden- und Wandbereiche von Sanitäranlagen, OP, etc.) unter Beachtung technischen / hygienischen Anforderungen an den gesamten Raum

Charité: Input: Keimdefinition nach Häufigkeit, Gefährdung und zukünftiger Entwicklung

Interdisziplinär: Klassifizierung und Ableitung - Anforderungen an das Bauteil

2.3 Detail-/Materialebene

IIKE: Beschreibung der Anforderungen an die Detailkonstruktion (Fügungseigenschaften) unter Beachtung der Möglichkeit zur Reinigung / Desinfektion

IBMB: Analyse der technischen Anforderungen an das Material unter Beachtung der Umgebungsbedingungen (Temperatur, Feuchte) und der hygienischen Anforderungen (direkter/indirekter Kontakt)

Charité: Input: Interdisziplinär: Klassifizierung und Ableitung - Anforderungen an das Detail

AP-3: Erarbeitung Anforderungskatalog (Dauer: 3 Monate)

IIKE: Ableitung der Anforderungen an die Prozess-Organisation von den Raumzusammenhängen bis zum Detail

IBMB: Zusammenstellung physikalischer, mechanischer und chemischer Materialeigenschaften als Auswahlkriterien, die zur Erfüllung der technischen und hygienischen Anforderungen unabdingbar sind.

Charité: Ergänzende mikrobiologische Untersuchungen der hygienischen Eigenschaften der Materialien unter den beschriebenen Anwendungsbedingungen.
Interdisziplinär: Zusammenfassung und Überlagerung der einzelnen Disziplinen zu einem ganzheitlichen Anforderungskatalog

AP-4: Entwicklung Lösungskonzepte - Umsetzungsmethoden/Systeme/Prototypen
(Dauer: 9 Monate)

4.1 Detail-/Materialebene

IIKE/IBMB: Entwicklung Material: Musterdetails, Materialien und Materialkombinationen, welche aus technischen, hygienischen und wirtschaftlichen Aspekten geeignet sind

Charité: Rückkopplung hygienespezifische Machbarkeit

4.2 Bauteilebene

IIKE/IBMB: Bauteilbeschreibungen als Musterlösungen: Entwicklung Detail: Detailvorschläge zur Ausführung von Bauteilen - Entwicklung eines Lösungskataloges

Charité: Rückkopplung hygienespezifische Machbarkeit

4.3 Raumebene

IIKE/IBMB: Lösungsansatz als funktionales Raumkonzept: Entwicklung Raumkonzept: Musterlösung in Form eines beschreibenden Raumkonzeptes unter Beachtung der Arbeitsabläufe

Charité: Rückkopplung hygienespezifische Machbarkeit

AP-5: Evaluation/Dokumentation - Interdisziplinärer Leitfaden (Dauer: 3 Monate)

5.1 Abschlussbericht - Leitfaden

Erarbeitung praxisorientierten Leitfaden (konkrete Planungs-, Bau- und Betriebsempfehlungen für die Umsetzung hygienesicherer Krankenhausbauten)

1.4 Forschungstreffen

Die inhaltliche Auseinandersetzung und Bearbeitung fand überwiegend an den beteiligten Instituten statt. Um die gewünschte und erforderliche praxisnahe Rückkopplung der Anforderungen und Ergebnis zu erreichen, wurden in regelmäßigen Abständen Forschungstreffen mit den Industriepartnern und den Gutachtern abgehalten. Die im Folgenden dargestellte Liste soll einen Eindruck zu Zielsetzung, Terminierung, und Beteiligung des jeweiligen Treffens geben:

Großes Forschungstreffen 1

26.08.2014, 11:00-15:00 Uhr

Institut für Industriebau und Konstruktives Entwerfen (IIKE), TU Braunschweig

Inhalt:

- Vorstellung des Forschungsprojektes (Problemfeld, Lösungsansätze, Strategie)
- Vorstellung Projektorganisation (Förderträger, Ablaufplan des Forschungsprojektes)
- Übersicht Fragenkatalog für Partner

Teilnehmer: sämtliche Industriepartner und Gutachter

Großes Forschungstreffen 2

23.09.2015, 11:00-15:00 Uhr

Firma KALDEWEI, Ahlen

Inhalt:

- Vorstellung der Forschungsergebnisse: Recherche Regeln und Verordnungen (IIKE), Experteninterviews (IIKE), Ideallayout (IIKE), Systematische Review (Charité Berlin), Umfrage zur baulichen Struktur von Krankenhäusern, KISS (Charité Berlin und IIKE), Analyse der Anforderungen auf Raum-, Bauteil- und Materialebene (IBMB), Untersuchung zur Reinigbarkeit und Besiedlungsneigung (IBMB)

Teilnehmer: sämtliche Industriepartner und Gutachter

Großes Forschungstreffen 3

27.06.2016, 11:00-15:30 Uhr

Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Charité Universitätsmedizin Berlin

Inhalt:

- Ergebnisse Systematisches Review: Systematische Identifizierung und kritische Bewertung der Studien (Charité Berlin)
- Ergebnisse KISS-Datenanalyse zu Umfrage bauliche Hygiene: Analyse abgefragter baulicher Strukturen als Einflussfaktor auf nosokomiale Infektionsraten (Charité Berlin)
- Ergebnisse Besiedlungsversuche (IBMB)
- Ergebnisse Reinigungsversuche (IBMB)

- Vorstellung erarbeiteter Handlungsempfehlungen für den Bau und den Prozess für die Bereiche Krankenhaus Allgemein, Intensivstation, Operation, Notfallaufnahme (IIKE)

- Vorstellung Empfehlungen an das Material für die Bereiche Krankenhaus Allgemein, Intensivstation, Operation, Notfallaufnahme (IBMB)

Teilnehmer: sämtliche Industriepartner, Förderträger und Gutachter

Workshop Ausstatter

13.05.2015, 11:00-15:30 Uhr,

Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (IBMB), TU Braunschweig

Inhalt: Anforderung Hygiene, Integrativer Lösungsansatz

Teilnehmer: Industriepartner im Bereich Ausstattung

Workshop Planer

20.05.2015, 11:00-15:30 Uhr, Institut für Industriebau und Konstruktives Entwerfen (IIKE), TU Braunschweig

Inhalt: Abfrage Anforderungen ausgesuchter Funktionsbereiche, Erarbeitung Ideal-Layout ausgesuchter Funktionsbereiche

Teilnehmer: Klinikbetreiber und -planer

Workshop Möbelhersteller

20.01.2016, 10:00-15:30 Uhr, Firma KUSCH+CO, Schmalenberg

Inhalt: Abfrage Anforderungen Möbel und Oberflächen in hygiene relevanten Bereichen des Krankenhauses

1.5 Publikationen und Vorträge

Publikationen

Stiller A, Schroder C, Gropmann A, et al. [ICU ward design and nosocomial infection rates - a cross sectional study in Germany Journal of Hospital Infection] Journal of Hospital Infection. (akzeptiert)

Stiller A, Salm F, Bischoff P, Gastmeier P [Relationship between hospital ward design and healthcare-associated infection rates: a systematic review and meta-analysis]. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 2016

Stiller A, Schroder C, Gropmann A, et al. [Analysis of contemporary hospital infrastructure pertaining to infection prevention in Germany]. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz. 2016;59(8):986-91.

Budelmann H, Dreßler I, Holzhausen J, Sunder W: „Leitfaden zur baulichen Hygiene im Operationssaal“ in: Ernst & Sohn Special Bauten des Gesundheitswesens, S. 57 - 60

Dreßler I, Honisch M, Ziegler L, Budelmann H, Bockmühl D: „Einfluss von Material und Oberflächeneigenschaften auf die Persistenz von Staphylococcus aureus auf krankenhausbewohnten Oberflächen) in: Hygiene und Medizin (41) 9 S. 131-138

Budelmann H, Dreßler I: „Beurteilung der Reinigbarkeit von Oberflächen bei partikulärer Kontamination“ in Chemie Ingenieur Technik (eingereicht 06-2016)

Dreßler I, Jin X, Budelmann H, Kasal B: "Über den Zusammenhang von Haftkraft und Reinigung von Mikropartikeln auf strukturierten Oberflächen" in: Chemie Ingenieur Technik (eingereicht 10-2016)

Holzhausen J, Knöfler P, Riechel C, Sunder W; *Zukunft.Klinik.Bau. Strategische Planung von Krankenhäusern*, Springer Vieweg, 1. Auflage 2015, 212 Seiten, Hrsg. Roth C, Dombrowski U, Fisch M

Vorträge

Forschungsprojekt HYBAU+ Bauliche Hygiene im Krankenhausbau, 12. AKG Fachtagung, 24.04.2015, Hannover (Holzhausen)

Effektivere medizinische Genesung durch bauliche Prozessoptimierung und Infektionsprävention - Neuste Forschungsentwicklungen, Fachtagung Gesundheitsbauten, 10.11.2015, Hamburg Business Center, Eppendorf (Holzhausen)

Bauliche Infektionsprävention im Krankenhaus - neuste Forschungsentwicklung, 1. Expertentreffen Change Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, 17.10.2016, Campus Uniklinik Kiel (Holzhausen)

Structural Hygiene: Making Hospitals Safe, Kongress „Building the Future of Health“, 3. Juni 2016, Universitätsklinikum Groningen (Sunder)

Infektionsprävention - Neuste Forschungsentwicklungen, Fachtagung "Gesundheitsbauten" Köln, 8. Juni 2016, München, 26. November 2015 (Sunder)

Bauliche Hygiene im Spital - eine neue Studie, Kongress „Konzepte für das Spital der Zukunft“, Luzern, 22. Oktober 2015 (Sunder)

Bauliche Infektionsprävention im Krankenhaus - neuste Forschungsentwicklung, Ulmer Symposium Krankenhaushygiene, Ulm, 29. April 2015 (Sunder)

Das zukunftsfähige Krankenhaus - interdisziplinäres Zusammenwirken von Bauwesen, Komfort und Prozessoptimierung Gesundheitswirtschaftskongress Hamburg, 24. Sept. 2014 (Sunder)

2 Arbeitspakete BAU

Für die effektive Bekämpfung von Infektionen müssen optimale Strategien für das Krankenhaus der Zukunft entwickelt werden. Viele bauliche und organisatorische Aspekte sind dabei zu beachten. Die Entwicklung von Räumen und Raumzusammenhängen in hygienekritischen Bereichen eines Krankenhauses unter infektionspräventiven Gesichtspunkten hat daher ein großes Innovationspotential. Ziel der Arbeitspakete des Bereiches BAU ist daher die Analyse baulich-funktionaler Aspekte und die Bewertung von Defiziten in den Operation, Notfallaufnahme und Intensivstation. Die Ergebnisse münden in die Formulierung hygiesicher Empfehlungen für die Planung und Umsetzung beim Bau. Die folgenden vier Arbeitsziele stehen dabei im Mittelpunkt der Betrachtung:

- A. Einordnung, Gliederung und Hierarchisierung von Gesetzen, Verordnungen und Empfehlungen privater Organisationen im Hinblick baufunktionaler Anforderungen
- B. Durchführung von Experteninterviews, um Erkenntnisse über das Verhalten von Personen zu gewinnen, die sich im Berufsalltag mit dem Thema der Krankenhaushygiene in den Funktionsbereichen Operation, Notfallaufnahme und Intensivstation beschäftigen
- C. Durchführung einer breit angelegten Datenerhebung an deutschen Kliniken zur Ermittlung baulicher Defizite in den hygienekritischen Bereichen
- D. Recherche unterschiedlicher Lösungskonzepte in den in den Funktionsbereichen Operation, Notfallaufnahme und Intensivstation unter Beachtung der Arbeitsabläufe und hygienischer Machbarkeit

2.1 Recherche Gesetze, Normen und Richtlinien

Anlass

Die Beachtung von Hygienevorgaben in einem Risikobereich wie der eines Krankenhauses muss sowohl von Ärzten und Pflegekräften als auch von allen pflegenahen Dienstleistungen konstant auf gleichem, hohem Niveau bleiben, um in der Bekämpfung von Infektionen langfristig erfolgreich zu sein.

Zur Vermeidung bzw. Reduzierung von nosokomialen Infektionen existieren verschiedene Regelungen. Gesetze, Verordnungen und Empfehlungen stellen einen sinnvollen Rahmen dar, um eine gemeinsame Vorgehensweise zu strukturieren. Dabei ist neben dem prozessorientierten Hygienemanagement der baulich-funktionale Zustand einer Klinik ein relevanter Gesichtspunkt.

Ziel

In diesem Arbeitspaket sollen wesentliche Standards zur Infektionsprävention im Hinblick der baufunktionalen Anforderungen strukturiert dargestellt und entsprechend der Wertigkeit in die Abschnitte gesetzliche Regelungen, Verordnungen und Regelungen privater Organisationen aufgeteilt werden. Grafische Darstellungen sollen beispielhaft die räumliche Übertragung gesetzlicher Verbindlichkeiten im Sinne infektionspräventiver Maßnahmen aufzeigen. Abschließend wird eine Bewertung und Einordnung der rechtlichen Rahmenbedingungen vorgenommen.

Methode

A. Gesetze

Infektionsschutzgesetz (IfSG)

Das deutsche Infektionsschutzgesetz (IfSG) ist seit dem 1. Januar 2001 in Kraft. Es regelt die Prävention und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen. Zentrale Bedeutung des Gesetzes haben die vorbeugenden Maßnahmen zur Übertragung von Krankheiten auf den Menschen, die schnelle Erfassung von Infektionen und die Vermeidung weiterer Verbreitung. Der Schweregrad der Infektion und die Art der Übertragung sind dabei nicht entscheidend. Hervorzuheben ist dabei der Paragraph 23, in dem die Erfassung und Bewertung von multiresistenten Erregern sowie nosokomialen Infektionen gesetzlich geregelt sind. Auch wird bestimmt, dass beim

Robert Koch Institut eine Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) eingerichtet wird (IfSG 2011).

Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention

Die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) veröffentlicht fortlaufend Empfehlungen zu hygiene relevanten Themen, wie der Reinigung und Desinfektion von Flächen, den Umgang mit multiresistenten Keimen oder der Betriebsorganisation von Funktionsbereichen (KRINKO 2002). Die Mitglieder der Kommission werden durch das Bundesministerium für Gesundheit und der Landesgesundheitsbehörden benannt. Die Mitglieder kommen aus den Bereichen Hygiene, Medizin und Mikrobiologie.

Empfehlungen zur baulich-funktionalen Gestaltung wie dem Raumbedarf, der Raumgröße und der Lage von hygiene relevanten Räumen in einem Krankenhaus sowie zur Qualität des zu verwendenden Materials werden im Rahmen der Richtlinien ausgesprochen. Im Zuge der Gesetzesänderung des IfSG vom 28. Juli 2011 zur Verbesserung der Hygienequalität in Krankenhäusern und bei medizinischen Behandlungen werden „die Leiterinnen und Leiter von Krankenhäusern und anderen medizinischen Einrichtungen dazu verpflichtet, die nach dem Stand der medizinischen Wissenschaft erforderlichen Präventionsmaßnahmen zur Infektionsvermeidung und gegen resistente Erreger durchzuführen. Die Empfehlungen der Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) und die Empfehlungen der neuen Kommission beim Robert Koch-Institut werden als der dafür geltende Standard geregelt. Die Empfehlungen sind unter Berücksichtigung aktueller infektionsepidemiologischer Auswertungen stetig weiterzuentwickeln.“ (KRINKO 2010) Auf Basis wissenschaftlicher Studien und theoretischen Begründungen hat die Kommission bereits im Jahr 1999 eine Kategorisierung ihrer einzelnen Empfehlungen eingeführt um die Umsetzung der Hygienerichtlinien zu gewährleisten.

Dabei wurde auch die Kategorie IV eingeführt, die jene Empfehlungen hervorhebt, die als allgemein verbindliche Rechtsvorschrift zu beachten sind. Im Folgenden werden die weiteren Kategorien und die dazugehörigen Aussagen dargestellt:

Kategorie IA: Diese Empfehlung basiert auf gut konzipierten systematischen Reviews oder einzelnen hochwertigen randomisierten kontrollierten Studien.

Kategorie IB: Diese Empfehlung basiert auf klinischen oder hochwertigen epidemiologischen Studien und strengen, plausiblen und nachvollziehbaren theoretischen Ableitungen.

Kategorie II: Diese Empfehlung basiert auf hinweisenden Studien/Untersuchungen und strengen, plausiblen und nachvollziehbaren theoretischen Ableitungen.

Kategorie III: Maßnahmen, über deren Wirksamkeit nur unzureichende oder widersprüchliche Hinweise vorliegen, deshalb ist eine Empfehlung nicht möglich.

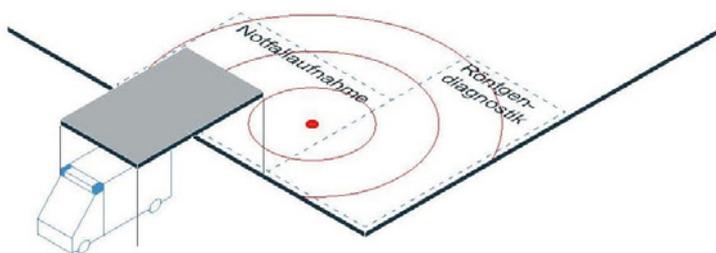


Abbildung 2: RKI KRINKO Empfehlung Notaufnahme Krankenfahrt

Empfehlung der KRINKO (2002)

Anforderungen der Hygiene bei Operationen und anderen invasiven Eingriffen

Kat. I

- Alle Räume müssen ihren Funktionen entsprechen Einzelne OP-Einheiten bzw. Operationsabteilungen für bestimmte operative Disziplinen bzw. für Operationen bestimmten Kontaminationsgrades vorzuhalten, kann unter hygienischen, unter ausstattungs-technischen oder unter organisatorischen Aspekten zweckmäßig sein.
- Die Operationsabteilung ist gegenüber dem übrigen Krankenhaus **abgetrennt**
- Der Zugang erfolgt für das Personal über Personalumkleideräume (**Personalschleusen**), für Patienten durch den Patientenübergaberaum oder eine Übergabefläche
- Innerhalb der OP-Abteilung ist eine Trennung der Flurwege (für Patienten, Personal, Güter etc.) mit Ausnahme ausgewiesener Sterilgutflure nicht erforderlich
- OP-Räume sollen in sich abgeschlossen sein und wenige, aber ausreichend dimensionierte Türen haben
- Wasserarmaturen und Bodeneinläufe innerhalb von OP-Räumen sind unzulässig
- Narkoseein-/ausleitung kann im OP-Raum oder in davor vorgesehenen Raum bzw. Flächenbereich durchgeführt werden, dabei können diese für mehrere OP-Räume in deren Nähe zusammengefasst werden
- Räume oder Flächen zur Händewaschung und -desinfektion können für mehrere beieinanderliegende OP-Räume zusammengefasst werden
- der Personalumkleideraum (Personalschleuse) ist baulich und/oder funktionell in **eine reine und eine unreine Seite zu trennen**
- Patientenübergaberaum/-fläche: **in reine und unreine Seite unterteilt**. Für ambulanten Operationsbetrieb sind zusätzlich Patientenumkleiden vorzusehen
- der Aufwachraum liegt bevorzugt am **Übergang OP-Abteilung / übriges Krankenhaus**.

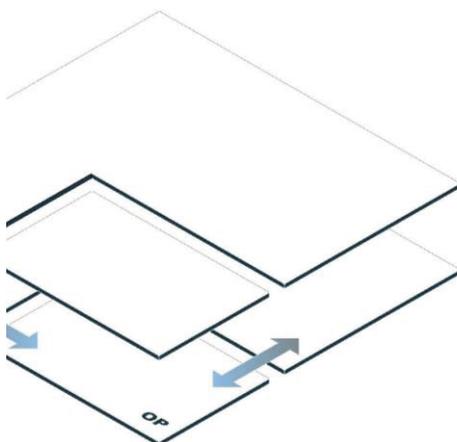


Abbildung 3: RKI KRINKO Empfehlung OP Schleusen (ab Mitte 2017 ist eine neue KRINKO-Empfehlung geplant)

Empfehlung der KRINKO (2002)

Anforderungen der Hygiene bei Operationen und anderen invasiven Eingriffen

Kat. IV

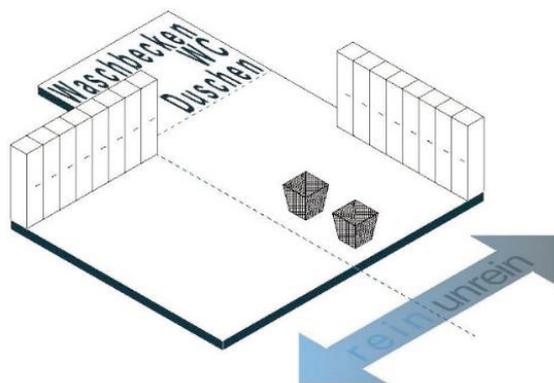


Abbildung 4: RKI KRINKO Empfehlung OP Umkleiden

RKI
Richtlinie für Krankenhaus und Infektionsprävention

4.3.1 Pflegeeinheiten - Gestaltung

Kat. II

- **in Pflegeeinheiten sollten keine zentralen Einrichtungen liegen**

- Krankenzimmer sollten maximal 4 Betten haben - der Abstand zwischen den Betten sollte mindestens 1m betragen (**vgl. Intensivpflege**)

-Sanitäreinrichtungen (WC, Waschbecken, Dusche) sollte möglichst in Verbindung mit dem Krankenzimmer stehen

Weitere hygienerelevante Gesetze

- Medizinproduktegesetz (MPG 2002)
- Arzneimittelgesetz (AMG 2005)
- Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrW/AbfG 1994)

B. Verordnungen

Auf der Ebene der Verordnungen existieren in Bezug auf baufunktionellen Anforderungen u.a. die Bauordnung, die Krankenhausverordnungen verschiedener Bundesländer, die Trinkwasserverordnung, aber auch die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure HOAI zu nennen. Verordnungen können erlassen werden, wenn ein Gesetz existiert, in dem die Ermächtigung zum Erlass dieser Verordnung niedergeschrieben ist.

- Bauordnung (BauO)

Die Errichtung, die Änderung und den Abbruch von Gebäuden werden in jedem Bundesland in der jeweiligen Landesbauordnung geregelt. Vorlage für die Länderbauordnungen stellt die Musterbauordnung, letzter Stand November 2002, dar, die von den Bauministern der Länder herausgegeben wurde. Dennoch bestehen in den Landesbauordnungen bei der Regelung von Bau- und Umbaumaßnahmen etliche Unterschiede. Die Landesbauordnungen setzen sich u.a. mit den Bereichen Brandschutz, Abstandsflächen, Begriffserklärungen, Rettungswegen, Barrierefreiheit, Baugenehmigung und -Überwachung auseinander. Die Überwachung und Einhaltung der Vorschriften übernehmen die örtlichen Behörden. Die Architekten und Bauherren sind dazu verpflichtet, bei der Planung, Genehmigung und Ausführung eines Bauvorhabens die Regelungen der jeweiligen Landesbauordnung zu beachten (Bauordnung Berlin 2005).

- Sonderbauvorschriften Krankenhaus

Neben den allgemeinen Bauordnungen, die sich in erster Linie mit dem Wohnungsbau beschäftigen haben einige Bundesländer ergänzend Verordnungen erlassen, die sich mit speziellen Anforderungen von Sonderbauten, wie Hochhäuser, Schulen oder Industriebauten auseinandersetzen. Sonderregelungen für Krankenhäuser führen die folgenden sechs Bundesländer:

Brandenburg: Verordnung über bauaufsichtliche Anforderungen an Krankenhäuser und Pflegeheime im Land Brandenburg BbgKPBauV - Brandenburgische Krankenhaus- und Pflegeheim-Bauverordnung Vom 21. Februar 2003, letzte Änderung 2006 (BbgKPBauV 2003)

Berlin: Verordnung über die Errichtung und den Betrieb von Krankenhäusern, Krankenhausaufnahme, Führung von Krankengeschichten und Pflegedokumentation und Katastrophenschutz in Krankenhäusern (KhBetVO 2006)

Sachsen-Anhalt: KrBauR - Richtlinie über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern
Vom 21. Mai 2002 (KrBauR 2002)

Nordrhein-Westfalen: Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern
KhBauVO - Krankenhausbauverordnung Vom 21. Februar 1978, seit 2009 außer Kraft
gesetzt (KhBauVO 1978)

Schleswig-Holstein: Standardprogramm für Krankenhäuser in Schleswig-Holstein Stand
Februar 2007 (KRH in SH 2007)

Saarland: Richtlinie über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern
KhBauR - Krankenhausbaurichtlinie Vom 1. März 2003 (KhBauR 2003)

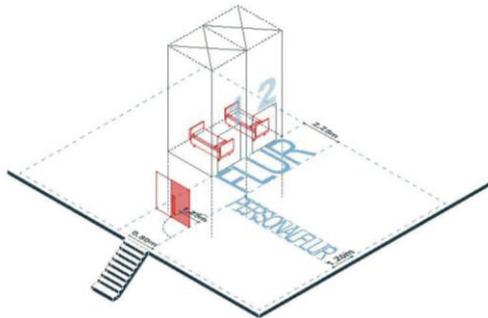
Muster-Krankenhausbauverordnung (KhBauVO)

Auf Grund der geringen Anzahl von Vorgaben für den Bau und Betrieb von Krankenhäusern auf Länderebene in sechs Bundesländern, kann bei Bedarf die Muster-Krankenhausbauverordnung genutzt werden. Diese stammt aus dem Jahr 1976 und wurde damals in Anlehnung an die Musterbauverordnung erarbeitet (seit 2009 außer Kraft gesetzt). Inhaltlich werden in dieser Verordnung Leitlinien zu den Themen Brandschutz, Hygiene, Belüftung, Belichtung sowie Raumgröße und Raumaufteilung festgelegt. Die über die Jahrzehnte veränderten Anforderungen an den Bau und Betrieb von Gebäuden führen dazu, dass die Muster-Krankenhausbauverordnung nicht mehr aktuell ist und dringend überarbeitet werden müsste. Die Muster-Krankenhausbauverordnung wird dennoch von vielen Planern als Orientierungshilfe genutzt. (KhBauVO 1978)

Sonderbauregeln der Länder

Verordnung über bauaufsichtliche Anforderungen an Krankenhäuser und Pflegeheime im Land Brandenburg - Brandenburgische Krankenhaus- und Pflegeheim- Bauverordnung - BbgKPBauV

§ 7 (1) § 8 (3) § 9 (5) §12 (3)



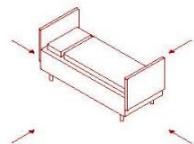
- die lichte Breite von Fluren im gesamten Krankenhaus muss mindestens **2,25m** betragen
- in Fluren, die nur dem Personal zugänglich sind, genügt eine Breite von **1,20m**
- notwendige Treppen müssen eine Breite von mindestens **1,50m** haben
- Türen, durch die Kranke liegend befördert werden, müssen mindestens **1,25m** breit sein
- es sind im **Intensivbereich mindestens zwei** Bettenaufzüge erforderlich

Abbildung 5: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Flure

Sonderbauregelungen der Länder

Verordnung über Errichtung und Betrieb von Krankenhäusern, Krankenhausaufnahme, Führung von Krankengeschichten und Pflegedokumentationen und Katastrophenschutz in Krankenhäusern - KhsVO Berlin

Intensivpflege



- die Krankbetten müssen von allen vier Seiten zugänglich sein

Abbildung 6: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Intensivpflege

Sonderbauregelungen der Länder

Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern - Krankenhausbauverordnung - KhBau-VONRW (Musterbauordnung)

Richtlinien über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern in Saarland

Krankenhausbaurichtlinie KhBauR

Verordnung über Errichtung und Betrieb von Krankenhäusern, Krankenhausaufnahme, Führung von Krankengeschichten und Pflegedokumentationen und Katastrophenschutz in Krankenhäusern - KhsVO Berlin

- Spielräume und Spielplatz müssen vorhanden sein

- der Aufnahmeraum muss von Außen zugänglich sein

- für Kinder genügen 2/3 der mindest Grundflächen für Pflegezimmer

- es müssen Beschäftigungs- und Spielräume vorhanden sein

- ein für Schulunterricht geeigneter Raum ist vorzusehen, wenn Kinder durchschnittlich länger als vier Wochen behandelt werden

Kinderpflegebereich

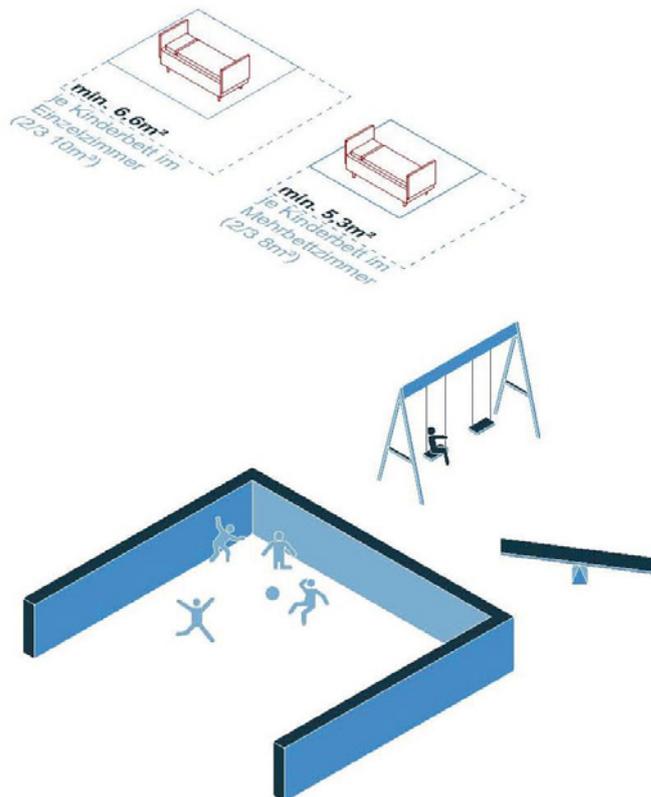


Abbildung 7: Beispiel Sonderbauregelungen der Länder Kinderpflegebereich

Sonderbauregelungen der Länder
Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern - Krankenhausbauverordnung - KhBau-VONRW (Musterbauordnung)
Richtlinien über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern in Saarland
Krankenhausbaurichtlinie KhBauR

- für je 10 Betten muss mindestens ein Toilettenbecken vorhanden sein.

Pflegebereich allgemein

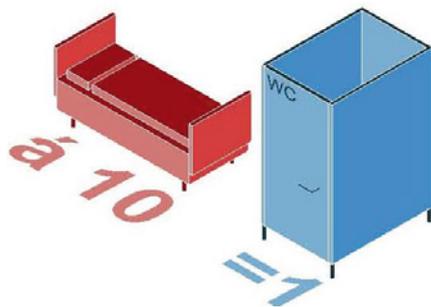


Abbildung 8: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Pflegebereich allgemein

Sonderbauregelungen der Länder
Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern - Krankenhausbauverordnung - KhBau-VONRW (Musterbauordnung)
Richtlinien über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern in Saarland
Krankenhausbaurichtlinie KhBauR

- Bettenzimmer müssen mindestens folgende Grundfläche je Bett haben (ohne Schleusen, Wasch- und Aborträume, sowie eingebaute Wandschränke):
Einbettzimmer: 10m²
Mehrbettzimmer: 8m²

Pflegebereich allgemein

- die lichte Raumhöhe muss mindestens 3,00m betragen
- bei Raumtiefe >5,50m muss die Raumhöhe mindestens 2,70 betragen

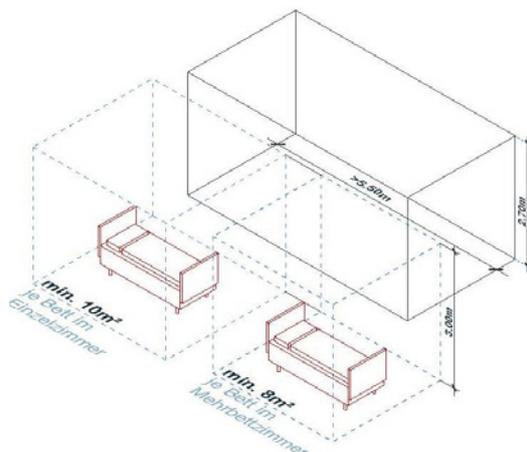


Abbildung 9: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Raumzuschnitt

Sonderbauregelungen der Länder
Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern - Krankenhausbauverordnung - KhBau-VONRW (Musterbauordnung)
Richtlinien über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern in Saarland
Krankenhausbau richtlinie KhBauR

Pflegebereich allgemein

- Bettenzimmer müssen mindestens folgende Grundfläche je Bett haben (ohne Schleusen, Wasch- und Aborträume, sowie eingebaute Wandschränke):
Einbettzimmer: 10m²
Mehrbettzimmer: 8m²

- die lichte Raumhöhe muss mindestens 3,00m betragen
- bei Raumtiefe >5,50m muss die Raumhöhe mindestens 2,70 betragen

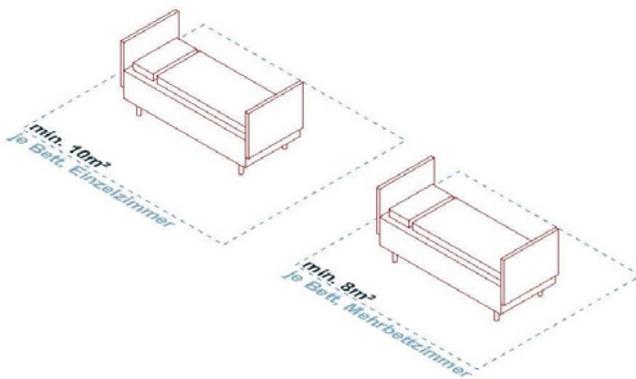


Abbildung 10: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Grundflächen Zimmer

Sonderbauregelungen der Länder
Richtlinien über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern in Saarland
Krankenhausbau richtlinie KhBauR

- auf jedem Geschoss muss mindestens ein Toilettenraum sein, der auch von Behinderten genutzt werden kann

Pflegebereich allgemein

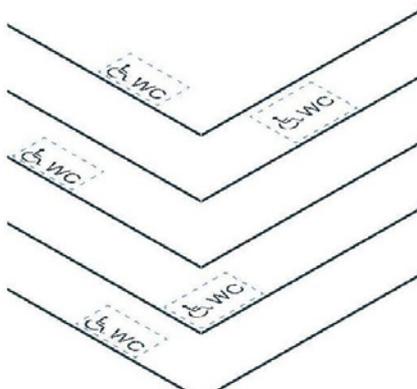


Abbildung 11: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Behinderten WC

Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI)

Bei planerischen Leistungen, die von einem Architekten oder Bauleiter erbracht werden, greift die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure, neuste Fassung 17. Juli 2013 (HOAI 2013). In dieser Verordnung sind für die Planung von Neu- und Umbaumaßnahmen die gültigen Vergütungssätze der Planer in neun Leistungsphasen gemäß Planungs- und Baufortschritt gegliedert. Sie umfassen von der Grundlagenermittlung über die Genehmigungsplanung bis hin zur Bauüberwachung und Dokumentation sämtliche Stationen eines Bauvorhabens. Die Gliederung in Leistungsphasen hilft dem Planer eines Krankenhauses bei der Einschätzung, zu welchem Zeitpunkt der Aspekt der baulichen Hygiene in den Planungsprozess eingebunden werden sollte.

Weitere hygienerrelevante Verordnungen

- Verordnung zur Hygiene und Infektionsprävention in medizinischen Einrichtungen (MedHygVO 2010)
- Trinkwasserverordnung (TrinkWV 2001)
- Biostoffverordnung (BiostoffVO 1999)

C. Regelungen privater Organisationen

Ergänzend zu den Gesetzen und Verordnungen gibt es eine Vielzahl von Richtlinien und Empfehlungen von privaten Organisationen, die von fachkundigen Ausschüssen aufgestellt werden und konkrete Handlungsanweisungen auf dem Gebiet der Hygiene geben. Es sind Regeln, die in der Wissenschaft als theoretisch richtig erkannt sind und feststehen, in der Praxis bei dem nach neustem Erkenntnisstand vorgebildeter Techniker durchweg bekannt sind und sich aufgrund fortdauernder praktischer Erfahrung bewährt haben.

- DIN-Normen

Die wichtigste und international bekannteste Normorganisation in Deutschland ist das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN), das 1917 gegründet wurde. Als eingetragener, privatwirtschaftlich organisierter Verein erarbeitet die DIN im Konsensverfahren Normen, die durch die Einbindung verschiedenster Interessengruppen erreicht wird.

Leitgedanke der Organisation ist es, Normen anzuregen, zu organisieren und herauszugeben, die zum Nutzen der Gesellschaft und im Interesse der Öffentlichkeit sind. Das Themenfeld ist groß und betrifft Bereiche wie die Innovation in der Wirtschaft, die Sicherung von Gebrauchstauglichkeit, die Qualitätssicherung, die Gesundheit oder den Verbraucherschutz. Die allgemein anerkannten Regeln der Technik sollen bei der Erarbeitung der Normen eingehalten werden; der aktuelle Wissensstand der Technik muss ebenfalls beachtet werden.

Für den Bau von Krankenhäusern gibt die DIN 13080 die Gliederung des Krankenhauses in Funktionsbereiche und Funktionsstellen und die Strukturierung der Flächen nach krankenhausesrelevanten Funktionen vor (DIN 13080 1990). Im Rahmen der Bedarfs-, Entwurfs- und Bauplanung unterstützt sie die Beurteilung und Auswertung von Krankenhäusern. Durch die einheitliche Bezeichnung, Darstellung und Zuordnung von Funktionsbereichen und -räumen dient sie als Grundlage für die Verständigung zwischen dem Planer, dem Bauherrn, der Behörde und den ausführenden Firmen. Die dadurch entwickelte Struktur der Funktionen mit den im Krankenhaus bekannten Begriffen ist umfassend und verständlich. Für 2015 ist eine Neufassung der DIN 13080 geplant. Eine weitere für den Krankenhausbau relevante Norm ist die DIN 1946-4, die Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens betreffen (DIN 1946-4 (2008)).

- **Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlich medizinischen Fachgesellschaften (AWMF), Arbeitskreis „Krankenhaus- und Praxishygiene**

Insgesamt 168 medizinische Fachgesellschaften sind derzeit der AWMF angeschlossen. Sie gibt Empfehlungen für ihren jeweiligen Fachbereich heraus. Diese werden in vier Relevanzstufen unterteilt. Dabei ist die Klassifikation S1 Handlungsempfehlungen von Expertengruppen von geringerer und die Klassifikation S3 Evidenz- und konsensbasierte Leitlinie von höchster Relevanz. Für den baulich-funktionalen Bereich sind die Empfehlungen des Arbeitskreises Krankenhaus- und Praxishygiene von Bedeutung (AWMF 2009).

- **VDI Richtlinie**

Der Verein Deutscher Ingenieure gibt eine Reihe von VDI-Richtlinien heraus. Anhand von Beurteilungs- und Bewertungskriterien bieten die Richtlinien Entscheidungshilfe für ein einwandfreies bautechnisches Vorgehen.

Da VDI Richtlinien als Empfehlungen keine verbindlichen Vorschriften (Gesetz oder Verordnung) sind, entbindet es den Anwender auch nicht von der eigenen Verantwortlichkeit für sein Handeln. VDI Richtlinien erhalten öffentliche Anerkennung

und einen rechtlichen Stellenwert durch die Aufnahme in Gesetze, Rechtsverordnungen und andere Vorschriften. Im Bereich des Krankenhausbaus und der Hygiene sind die VDI-Richtlinie 6023 Hygiene in Trinkwasserinstallationen und die VDI-Richtlinie 6022 Raumluftechnik, Raumlufqualität von Bedeutung. Des Weiteren existiert seit 2013 ein VDI-Fachausschuss zu dem Thema Nachhaltigkeit in Bau und Betrieb von Krankenhäusern, das sich u.a. auch mit dem Themenfeld der Hygiene beschäftigt (VDI-Richtlinie 6022, 2011) (VDI-Richtlinie 6023, 2013).

- **DIVI:**

Die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin ist ein Zusammenschluss von persönlichen Mitgliedern, wissenschaftlichen Gesellschaften und Berufsfachverbänden mit dem Ziel der Förderung der Intensivmedizin. Für die Intensivstation existiert die Empfehlung zur Struktur und Ausstattung von Intensivtherapiestationen (2010).

Zusammenfassung

Die Übersicht der wesentlichen Gesetze, Verordnungen und Regelungen privater Organisationen zur Infektionsprävention im Hinblick der baufunktionalen Anforderungen zeigt, dass es eine große und in Teilen unübersichtliche Vorschriftenlage zur Krankenhaushygiene gibt. Hinzu kommt, dass einige Regelwerke eigene Abstufungssysteme entwickelt haben (RKI Richtlinien oder AWMF-Leitlinien). Es existiert kein übergeordnetes Regelwerk bzw. Standardwerk. Die Bewertung der vorliegenden Unterlagen hat zwei übergeordnete Problembereiche herausstellen können.

1. KRINKO Empfehlungen: Die vom Robert-Koch-Institut herausgegebenen Empfehlungen zu baulich-funktionalen Maßnahmen im Krankenhaus machen den mit Abstand größten Anteil ein. Wenige der von der KRINKO publizierten Empfehlungen zum Krankenhausbau sind evidenzbasiert; das heißt, sie beruhen auf wissenschaftlichen Daten. Erst seit 1998 sind die herausgegebenen Empfehlungen in die Kategorien Ia, Ib, II, III, IV je nach wissenschaftlicher Evidenz eingeteilt. Demnach wird zum Beispiel die Kategorie Ia (Maßnahme für Kliniken dringend empfohlen) vergeben, wenn die Maßnahme genügend wissenschaftlich belegt ist. Für die Kategorie III besteht keine Verpflichtung der Umsetzung, da diese durch Studien nicht belegt ist.

Maßnahmen der Kategorie IV beziehen sich auf gesetzliche Vorschriften. Sollte es zu einer rechtlichen Auseinandersetzung kommen, so ist davon auszugehen, dass die Außerachtlassung von Empfehlungen der Kategorie Ia im einzelnen Fall haftungsrechtlich unbeachtlich ist. Bisher wurden von der Hygienekommission allerdings nur sehr wenige wissenschaftlich belastbare Maßnahmen der Kategorie Ia „Baumaßnahmen betreffend“ herausgegeben.

2. Krankenhausbauverordnungen: Für die Errichtung eines Krankenhauses gelten die allgemeinen Bauvorschriften des jeweiligen Bundeslandes. In Nordrhein-Westfalen gibt es eine eigene Verordnung betreffend den Bau und Betrieb von Krankenhäusern (KhBauVO, sog. Krankenhausbauverordnung), an welche sich einige andere Bundesländer angelehnt haben. In den Bundesländern Brandenburg, Berlin, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein und Saarland bestehen hingegen eigene Verordnungen. In der Krankenhausbauverordnung der einzelnen Bundesländer sind demnach die allgemeinen Vorschriften zur Art der Bebauung eines Grundstückes, Bauvorschriften für Gebäudeteile, sowie Anforderungen an Raumgröße und Raumgruppen unterschiedlich gewichtet und beschrieben. Eine länderübergreifende einheitliche Krankenhausbauverordnung existiert allerdings nicht. Architekten, die sich mit dem Krankenhausbau befassen, stehen immer wieder vor der Situation, hygienische Anforderungen in ihren Planungen umzusetzen, die von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich verstanden werden. Eine länderübergreifende Krankenhausbauverordnung würde die Planung von hygienerobusten Krankenhäusern erleichtern.

2.2 Experteninterviews Kliniken und Planer

Anlass

Hintergrund der Befragung soll die Erfassung von Informationen, wie z.B. das alltägliche oder das beabsichtigte Nutzerverhalten und Meinungen, Vorstellungen und Motivationen von jenen Personen sein, die sich im beruflichen Alltag mit dem Thema der Krankenhaushygiene insbesondere in den hygienerelevanten Bereichen Operation, Notfallaufnahme und Intensivstation beschäftigen

Ziele

1. Ziel der Expertenbefragung ist die Kompetenz und das im Alltag umgesetzte Verhalten der Klinikmitarbeiter im Bereich der Hygiene zu erfassen, um zu ermitteln, ob daraus überhaupt konkrete Handlungsempfehlungen im Bereich der baulichen Hygiene abgeleitet werden können.
2. Darüber hinaus sollen organisatorische und alltägliche Aspekte der Klinikmitarbeiter im Bereich der Hygiene betrachtet werden, insbesondere
 - a) Persönlicher Bezug zum Thema Hygiene
 - b) Etwaige Defizite in den hygienekritischen Bereichen
 - c) Mögliche Vorschläge zur Verbesserung von Räumen und Abläufen in Bezug auf Hygiene und Infektionsprävention
3. Ziel ist es, die Kompetenz von Fachplanern (Architekten und Technischen Leitern) zu erfassen und diese mit dem Nutzerverhalten und den Meinungen der Klinikmitarbeiter abzugleichen.

Methode

Anhand der Methode der *Qualitativen Inhaltsanalyse* nach Mayring sollen Aussagen zur baulichen Hygiene der Bereiche Operation, Notfallaufnahme und Intensivstation getroffen werden (Mayring 2010). Das Ziel ist es, eine systematische überprüfbare Textanalyse zu erstellen, die trotz der Interpretationsbedürftigkeit und Bedeutungsfülle sprachlichen Materials wissenschaftlichen Ansprüchen gerecht wird.

Die Interviews wurden an Kliniken in Schleswig-Holstein, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen zwischen Dezember 2014 und April 2015 durchgeführt. Bei den

Krankenhäusern handelt es sich um ein Haus der Maximalversorgung mit 1.400 Betten, zwei Häuser der Schwerpunktversorgung mit jeweils 700 Betten und einem Haus der Regelversorgung mit 500 Betten. Die Interviewpartner sind zum einen Pfleger oder Ärzte der Bereiche Operation, Notfallaufnahme und Intensivstation und zum anderen Hygieneleiter und Technischer Leiter an dem jeweiligen Klinikum sowie Architekten im Bereich Krankenhausplanung.

Die im Rahmen der Forschungsarbeit interviewten Experten verfügen über langjährige Berufserfahrung. Die Anfrage des Interviews zu den Teilnehmern wurde immer über die Geschäftsführung der jeweiligen Klinik gestellt. Absolute Vertraulichkeit und Anonymität bei der Durchführung der Befragung und der Auswertung des Materials wurde den Kliniken zugesichert.

Den Teilnehmern war freigestellt, ob sie an der Befragung teilnehmen möchten. Die Gespräche erfolgten als halbstrukturierte Interviews. Das heißt, der Interviewer hat einen Leitfaden mit Fragen verwendet, die konkrete Formulierungen und Reihenfolge konnte jedoch variieren. Das Leitfaden-Interview bestand aus 17 Fragen. Jedes Interview hatte ein Zeitfenster von ca. 40 Minuten. Bei Bedarf konnte das Gespräch auch verlängert werden, um dem Gesprächspartner den angemessenen Raum für die Darstellung seiner Fachexpertise zu geben bzw. um Verständnisfragen zu stellen.

Als Örtlichkeit standen Besprechungsräume in den jeweiligen Kliniken zur Verfügung. Die Interviews wurden bewusst nicht auf den Stationen der Teilnehmer geführt, um möglichst wenig abgelenkt zu sein. Die Aufzeichnungen der Gespräche erfolgten digital und jedem Gesprächsteilnehmer lag der Grundriss der jeweiligen Station vor. Dadurch konnten die Befragten bestimmte Bereiche markieren bzw. erklären.

Die Auswertungsmethode der *Qualitativen Inhaltsanalyse* nach Mayring erfolgt nach einer der drei möglichen Strategien: 1. Zusammenfassung, 2. Explikation und 3. Strukturierung. Im Rahmen dieser Projektarbeit wird die Zusammenfassung als Analyseverfahren angewendet, das durch Mayring wie folgt beschrieben wird: „Ziel der Analyse ist es, das Material so zu reduzieren, dass die wesentlichen Inhalte erhalten bleiben und durch Abstraktion einen überschaubaren Corpus zu schaffen, der immer noch Abbild des Grundmaterials ist.“ Dies erfolgt anhand des Herausfilterns von übergeordneten Aussagen in Form von Kategorien. Das zur Verfügung stehende digitale Material wird in einer Reihe von Schritten systematisch gekürzt und auf die wesentlichen Aussagen reduziert. Durch diese Vorgehensweise werden Kategorien mit unterschiedlichen thematischen Setzungen entwickelt. Dadurch wird das umfangreiche Material sortiert und in die jeweiligen Kategorien zusammengefasst.

Nach Mayring erfolgt die *Qualitative Inhaltsanalyse* anhand des schematischen Stufenmodells:

- A. Paraphrasierung
- B. Generalisierung auf das Abstraktionsniveau
- C. Erste Reduktion
- D. Zweite Reduktion

Die Kurzformulierung von Texteinheiten stellt den ersten Schritt des Ablaufmodells dar. Hier erfolgt die Streichung von Ausschmückungen und die Reduzierung in eine grammatische Kurzform und eine vereinheitliche Sprachebene. Der zweite Schritt ist dann die Abstrahierung und die Vereinheitlichung des Sprachniveaus. Im dritten Schritt werden die reduzierten Formulierungen der Texte als Kategorien zusammengefasst, die für das Forschungsthema von Bedeutung sind. Der abschließende vierte Schritt stellt die Bündelung von Kategorien mit ähnlichem Inhalt dar. Das Kategoriensystem wird in einer Tabelle zur besseren Verständlichkeit dargestellt (siehe Tabelle 1). Für die finale Bewertung der formulierten Kategorien werden die jeweiligen Antworten auf die gestellte Frage nach prozentualer Häufigkeit aufgelistet.

Kliniken, Befragte Personen, Funktion	1. Bezug zum Thema Hygiene		KATEGORIEN	AUSWERTUNG
Markierung nach DIN 13080		1. Welchen hygienerelevanten Vorgaben müssen Sie beachten?		
Bereich nach DIN 13080	Interviewpartner/ Funktion			
Klinik Niedersachsen				
1.01 Aufnahme und Notfallversorgung			K'1 Vorgaben des klinikinternes Informationsportal (ausgearbeitet von der Hygieneabteilung)	n=17 K'1= 9, 4xA, 1xH, 3xP 52,9%
1.09 Operation	Chirurg und Hygienebeauftragter	es gibt Hygienepläne für das Haus sehr umfangreiche Werke zu Thema,	K'2 Reinigung und Desinfektion von Oberflächen und Materialien in Mittel/Zeit/Person K'4	K'2= 4, 1xFM, 2xP, 1xH 23,5%
2.01 Allgemeinmedizin			Händehygiene K'5	K'4= 3, 2xFM, 1xP 17,6%
2.03 Intensivmedizin	Intensivstation, OP	RKI-Richtlinien, Infektionsschutzgesetz	Persönliche Hygiene, wie das Tragen von Kleidung, Schmuck, Kopfbedeckung K'6	K'5= 1, 1xP 5,9%
3.00 Verwaltung (Facility Management)	FM-Leitung	Haushygiene Händedesinfektion	Hygienerelevante Gesetze und Verordnungen, wie z.B. Infektionsschutzgesetz, Trinkwasserverordnung, Krankenhausbauverordnung K'7	K'6= 6, 2xP, 4xH 35,3%
Hygieneabteilung	Hygienefachkraft	Nds. Landeshygieneverordnung Infektionsschutzgesetz RKI Richtlinien/Krinko-Kommission	RKI-Richtlinien K'8 DIN-Normen, wie DIN 1946 K'11 Lebensmittelhygiene K'12	K'7= 8, 2xP, 4xH, 2xA 47,0% K'8= 4, 1xFM, 3xH 23,5%

Tabelle 1: Beispiel der Kategorisierung von Textmaterial aus der Befragung

Ergebnis (n=17)

Frage 1: Welche hygienerelevanten Vorgaben müssen Sie beachten?

53% Vorgaben des klinikinternen Informationsportals (ausgearbeitet von der Hygieneabteilung)

47 % RKI-Richtlinien

35 % Hygienerelevante Gesetze und Verordnungen, wie z.B. Infektionsschutzgesetz, Trinkwasserverordnung, Krankenhausbauverordnung

24 % DIN-Normen, wie DIN 1946

24 % Reinigung und Desinfektion von Oberflächen und Materialien

Frage 2: Gibt es regelmäßige Schulungen zum Thema Hygiene in Ihrem Krankenhaus und wenn ja, welche?

44% Regelmäßige Hygieneschulungen, 2 x Jahr

28% Schulungen bei besonderen Anlässen

22% Einführungsschulung bei Neueinstellungen

22% Regelmäßige Hygieneschulungen, 4 x Jahr

11% Schulungen auf Anfrage

Frage 3: Gibt es regelmäßige Qualitätskontrolle zur Sicherung der Hygienevorgaben und wenn ja, welche?

100% Ja

44% Regelmäßige Hygieneschulungen, 2 x Jahr

76% Interne Begehungen

41% Externe Begehungen

29% Gutachten von Gewerbeaufsichtsamt, Gesundheitsamt

23% Entnahme von Stichproben

18% Legionellen-Kontrolle

Frage 4: Präventionsstrategien: Welche baulichen Hygiene-Maßnahmen kennen Sie in Ihrem Krankenhaus / auf Ihrer Station?

44 % Raumluftechnische Anlagen

44 % Isolierung

38 % Oberflächenmaterialien

31 % Schleusen

19% Fenster in den Türen und Zwischenwänden

Frage 5: Wurden Sie und Ihre Berufsgruppe schon einmal in die Planung von Neu-/ Umbaumaßnahmen eingebunden?

75 % Ja

44% Einbindung in den gesamten Planungsprozess

25% Nein

19% Einbindung in strategische Planung (Grobplanung)

12% Einbindung während der Bauphase

Frage 6: Welche hygienekritischen Bereiche sehen Sie im Krankenhaus bzw. auf Ihrer Station?

44 % Hygienekritische Bereiche im Krankenhaus: Intensivstation, OP, Notfallaufnahme, Endoskopie, ZSVA, Neonatologie, Apotheke, Kardiologie, Station mit MRSA

19 % Flur, Normal- und Intensivstation (zu eng, zu wenig Abstellfläche, zu lange Wege)

19 % Lagerräume, Normal- und Intensivstation, Notfall (zu wenig, geringe Abstellfläche, reiner u. unreiner Bereich in einem Raum)

19 % OP (Keine Ein- und Ausschleusung vorhanden, wenig Bewegungsfläche, Wechsel funktioniert nicht, Einleit- und Aufwachraum hat Überschneidung mit den sonst. Funktionsbereichen der Klinik, Übergang Instrumente von Rüsten zum OP-Feld)

Frage 7: Welche hygienekritischen Details sehen Sie in hygienerelevanten Räumen?

25 % Türen (Schleusentüren ohne Automatik (Intensiv), offenstehende Türen (OP), Patientenzimmer ohne Tür (Intensiv), Schäden durch Transport)

19 % Einsatz falscher Materialien (im Patientenzimmer, im Patientenbad, Arbeitsflächen)

19 % Unzureichende Lüftungstechnik (im Patientenbad, nicht zugänglich)

Frage 8: Markieren sie anhand des Planmaterials die Bereiche hinsichtlich Hygienerelevanz (1=sehr hoch, 4=sehr niedrig) hier Planmaterial!

Hygienerelevante Bereich **Normalpflege**, grobe Hierarchisierung

- Isolierzimmer
- Sanitärraum
- Patientenbad
- Arbeitsräume, rein
- Arbeitsräume, unrein
- Patientenzimmer
- Flurbereich
- Aufenthaltsraum
- Behandlungsräume
- Stützpunkt
- Konferenz
- Büros

Hygienerelevante Bereich **Intensivpflege**, grobe Hierarchisierung

- Patientenzimmer, Mehrbett
- Patientenzimmer, Einzel
- Schleuse
- Medikamentenlager
- Lager Steril Gut
- Leitstelle
- Umkleide
- Flurbereich
- Sanitärraum
- Lager
- Aufenthaltsraum
- Spülraum
- Büros

Hygienerrelevante **Bereich Krankenhaus**, grobe Hierarchisierung

- Intensivstation
- OP
- Apotheke
- Notaufnahme
- Endoskopie
- Hämatologie
- Onkologie
- Neonatologie
- Chirurgische Station
- Internistische Station
- Reha
- Kantine
- Verwaltung

Hygienerrelevante **Bereiche OP**

- OP-Feld
- Instrumentenvorbereitung
- ZSVA im OP
- OP-Saal als ganzes
- Einschleusung
- Einleitung
- Schleusenanlage 3-Kammer-System
- Holding-Area; vor und nach OP

Hygienerrelevante **Bereiche Notfall**

- Triage - Schockraum (Ankunft infektiöser Patient)
- Eingriffsraum
- Behandlungsraum
- Rest

Frage 9: Welche hygienekritischen Abläufe sehen Sie im Krankenhaus bzw. auf Ihrer Station?

65 % Patientenmanagement Notaufnahme (Overcrowding Situationen auf Flur, Übergabe „ins Haus“ von Notaufnahme zur Station)

41 % OP Saal (Ein-Aus-Leitung Patient, Sterilgutmanagement)

41 % Ver- und Entsorgung (Dimensionierung und Ablauf auf Normal- und Intensivstation, OP)

35 % Zu lange und kreuzende Wege zwischen wichtigen Funktionsstellen (OP-Aufwachraum, Notaufnahme- Intensiv - OP, Übersichtlichkeit der Funktionen)

Frage 10: Gibt es Räume / Bereiche, die in Bezug auf Hygiene falsch geplant sind (z.B. Größe, Lage, Belüftung etc.)? hier Planmaterial!

43 % Lagerräume zu klein dimensioniert

22 % Patientenzimmer und -bäder zu klein dimensioniert

22 % Zu wenig Einzelzimmer mit Schleuse

22 % Stationsstützpunkt und Medikamentenausgabe zu klein dimensioniert

22 % Fehlende oder zu klein dimensionierte Personenschleusen

14 % OP zu klein dimensioniert

Frage 11: Wo sind Ihre Unsicherheiten beim Thema Hygiene?

41 % Unsicherheit aufgrund fehlender eindeutiger Handlungsempfehlungen für die Mitarbeiter

41 % keine Unsicherheiten

29 % Umgang mit hochinfektiösen Patienten

19 % Unsicherheit aufgrund unterschiedlicher Auffassungen der Hygienefachkreise

Frage 12: Liegen die Herausforderungen eher im materialtechnischen Oberflächenbereich oder im Prozessablauf?

70 % Prozessablauf

18 % beides gleichwertig

12 % Materialtechnische Oberflächen

Frage 13: Wo sehen Sie den höchsten Verbesserungsbedarf in der Anordnung von Räumen auf Ihrer Station in Bezug auf Hygiene? hier Planmaterial!

47 % Mehr Lagerflächen

33 % Ein-Aus-Schleusung + Sterilgutprozess OP

27 % Ausreichend Räume für Isolation von Patienten

20 % Mehr Personenschleusen

20 % Bessere Orientierung auf Funktionsstelle nötig

Frage 14: Welche Abläufe auf Ihrer Station würden Sie in Bezug auf Hygiene verbessern? hier Planmaterial!

54 % Patientenhandlingprozesse

27 % Sterilgutprozesse OP

14 % Belegungsmanagement verbessern

Frage 15: Würde Sie eine Unterbringung aller Patienten in Einzelzimmern begrüßen?

50% Nein, aber Anpassung der Anzahl der Einzelzimmer in Abhängigkeit der Erkrankung

50% Nein

0% Ja

Frage 16: Welche Eigenschaften sehen Sie bei der Oberflächenreinigung als maßgeblich an?

73 % glatt, nicht rau

55 % wischdesinfizierbar, desinfektionsmittelbeständig

36 % langlebig

Frage 17: Welches Krankenhaus in Deutschland (bzw. Ausland) ist in Bezug auf Hygiene vorbildlich und warum?

55 % Kein Vorbild

5 % BG-Häuser aufgrund der hohen Vorschriftenlage

5 % eines mit septischer Station oder nach Männer und Frauen getrennt

5 % Notaufnahme: Klinikum Fürth und UKE Hamburg

5 % Charité Intensivstation

Frage 17: Weitere Anmerkungen?

Keine

Zusammenfassung:

Die Durchführung der Interviews anhand eines Leitfadens hat sich als Erhebungsinstrument für die Auswertung von Expertenwissen durchaus bewährt. Die Gespräche wurden zwar anhand der 17 Fragen des standardisierten Leitfadens durchgeführt, es blieb aber genug Zeit für spontane Anmerkungen und Themen. Es hat sich gezeigt, dass in den Gesprächen häufig Defizite an Hand von Beispielen in bestimmten Alltagssituationen erklärt wurden. Durch die Auswertung des umfangreichen Textmaterials durch die Methode der *Qualitativen Inhaltsanalyse* nach Mayring konnte Wissen herausgefiltert und über das Kategoriensystem strukturiert und definiert werden. Außerdem hat es sich als Vorteil erwiesen, dass die Gespräche nicht im direkten Arbeitsumfeld, sondern räumlich getrennt wurden. Die Teilnehmer waren dadurch angehalten ihre Äußerungen räumlich zu beschreiben. Das zur Verfügung gestellte Planmaterial wurde von allen Teilnehmern gerne zur Beschreibung der Ausführungen verwendet.

Da der Leitfaden die Interviews in Fragebereiche entsprechend der wissenschaftlichen Einordnung dieses Forschungsprojektes gegliedert ist, können folgende Aussagen in Bezug auf Fragestellung der baulichen Hygiene formuliert werden:

- Einrichtung eines klinikinternen bzw. bundesweiten Hygiene- Informationsportals ist sinnvoll.
- Klinikmitarbeiter müssen noch eindeutiger Handlungsempfehlungen zum Thema Hygiene erhalten.
- Klinikmitarbeitern ist die Sinnhaftigkeit von baulichen Maßnahmen zur Infektionsprävention bewusst (wie Barrieremaßnahmen, Material etc.)
- Hygienekritische Funktionsbereiche sind OP, Intensiv und Notfall.
- Hygienekritische Bereiche sind Bewegungsflächen im Pflegebereich, OP, Notfall; Abstell- und Lagerfläche; Personenschleusen OP und Notfall.
- Eine Vielzahl von hygienekritischen Details spielen eine Rolle, besonders Türen, Materialien und Arbeitsflächen
- Besonderer Fokus bei den Abläufen ist bei den Schnittstellen zu sehen, wie OP-Saal und Aufwachraum oder Notfallaufnahme und Klinik.

- Ver- und Entsorgungskreisläufe sind hygienerrelevant.
- Räume (z.B. Lager, Patientenzimmer, Schleusen) müssen ausreichend dimensioniert und in genügender Anzahl bereitgestellt werden.
- Die größten Herausforderungen bei der baulichen Hygiene liegen im Prozessablauf.
- Die Quote der Einzelzimmer muss in Abhängigkeit des Krankheitsbildes der Station erfolgen.
- Hygienerobuste Materialien sollten glatt, desinfektionsmittelbeständig und langlebig nutzbar sein.

2.3 Umfrage zur baulichen Struktur von Krankenhäusern (KISS)

Anlass

Der heterogene Zusammenschluss von Forschungseinrichtungen in diesem Projekt hat die Möglichkeit eröffnet, dass erstmals bundesweit der Zustand von baulichen Strukturen in deutschen Krankenhäusern mit Hilfe des Krankenhaus-Infektions-Surveillance-Systems (KISS) der Charité Berlin abgefragt werden konnte.

Ziel

Bei der Befragung sollte der IST-Zustand der baulichen Struktur der Krankenhäuser in Deutschland erfasst werden. Die Umfrage umfasste hierbei die Betrachtungsstufe von der Lage des Krankenhauses, ob städtisch oder ländlich, über die Kubatur des Hauses, den geometrischen Aufbau der Funktionsbereiche bis hin zum Detail wie z.B. die Ausstattung der Räume mit Händedesinfektionsmittelspendern. Auf dieser Grundlage sollte eine erste Einschätzung der tatsächlichen baulichen Situation der Krankenhäuser gegenüber den entsprechenden Empfehlungen zur baulichen Infektionsprävention dargestellt werden. Im Ergebnis sollte hier die Spanne zwischen SOLL- und IST-Zustand aufgezeigt werden, um entsprechenden Handlungsbedarf in bestimmten Bereichen aufzudecken.

Auf der anderen Seite sollten die gewonnenen Erkenntnisse der baulichen Struktur mit den Erkenntnissen der Erhebung der Infektionsraten der entsprechenden Funktionsbereiche überlagert werden, um einen möglichen Zusammenhang der baulichen Struktur mit dem Aufkommen bestimmter Infektionen zu erkennen. Diese Auswertung wird in Kap. 4.2 beschrieben.

Methode

Die Befragung aller an KISS partizipierenden Krankenhäuser erfolgte von März bis Juni 2015. Die Umfrage wurde als Online-Fragebogen an die für KISS zuständigen Mitarbeiter (Krankenhaustygieniker und Hygienefachkräfte) geschickt. Die Umfrage erhob eine weite Bandbreite an Daten wie z.B. Baujahr des Krankenhauses, Zeiträume baulicher Veränderungen sowie bauliche Strukturen des Krankenhausgebäudes und selektiver Abteilungen. Weitere abgefragte Aspekte waren unter anderem die Anzahl von Einzel-, Doppel- und Mehrbettzimmern, die Zimmergröße und die Erreichbarkeit eines Händedesinfektionsmittelspenders in Armlänge vom Patientenbett sowie die Distanz vom Pflegestützpunkt zum entferntesten Patientenzimmer. Zur Abfrage der

baulichen Strukturen entwickelte das Institut für Industriebau und Konstruktives Entwerfen der TU Braunschweig Piktogramme, die in den Fragebogen integriert wurden. Die aus der Befragung gewonnenen Daten wurden mithilfe von Methoden der deskriptiven Statistik bearbeitet.

Ergebnis

Die Einladung zur Teilnahme wurde an 1357 Krankenhäuser verschickt. Es konnten ein Fragebogen für das ganze Krankenhaus und je ein Kurzfragebogen für Intensivstationen und neonatologische Stationen beantwortet werden. Der Umfragezeitraum umfasste März bis Juni 2015. 621 Krankenhäuser nahmen an der Umfrage teil. Dies entspricht einer Response-Rate von 46 %. Der Fragebogen zu den Intensivstationen wurde von 534 Stationen aus 368 Krankenhäuser beantwortet. Von 246 angefragten Krankenhäusern gaben 127 der neonatologischen Stationen Daten zu ihren baulichen Strukturen an.

Im Folgenden die Auswertung des Fragebogens:

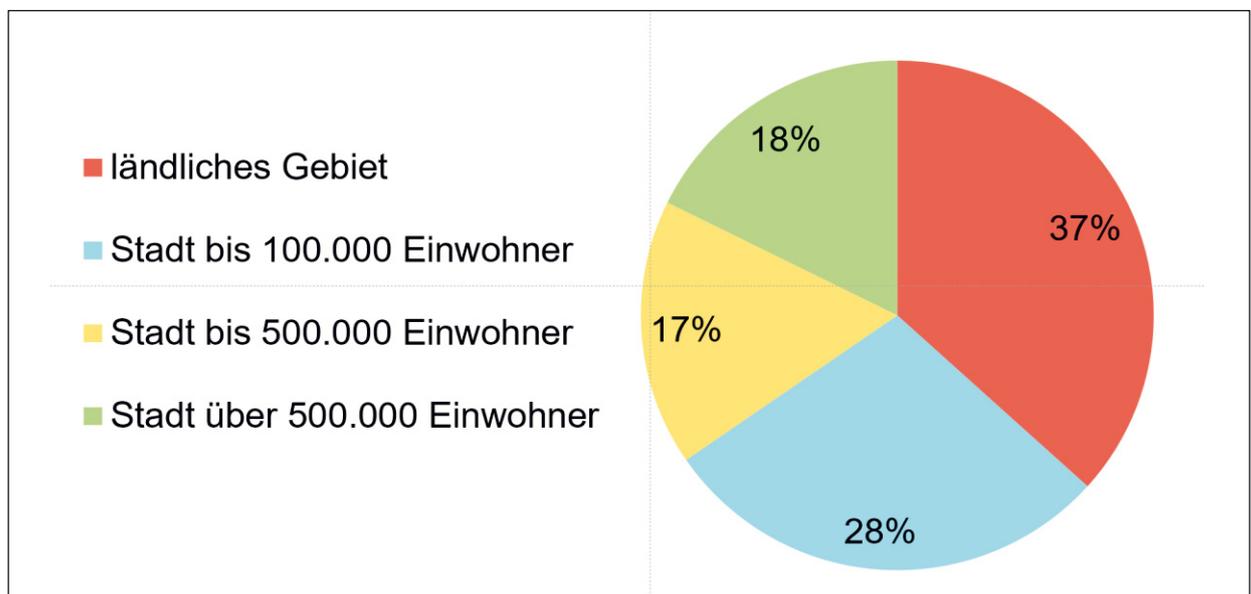


Abbildung 12: Wo befindet sich Ihr Krankenhaus?

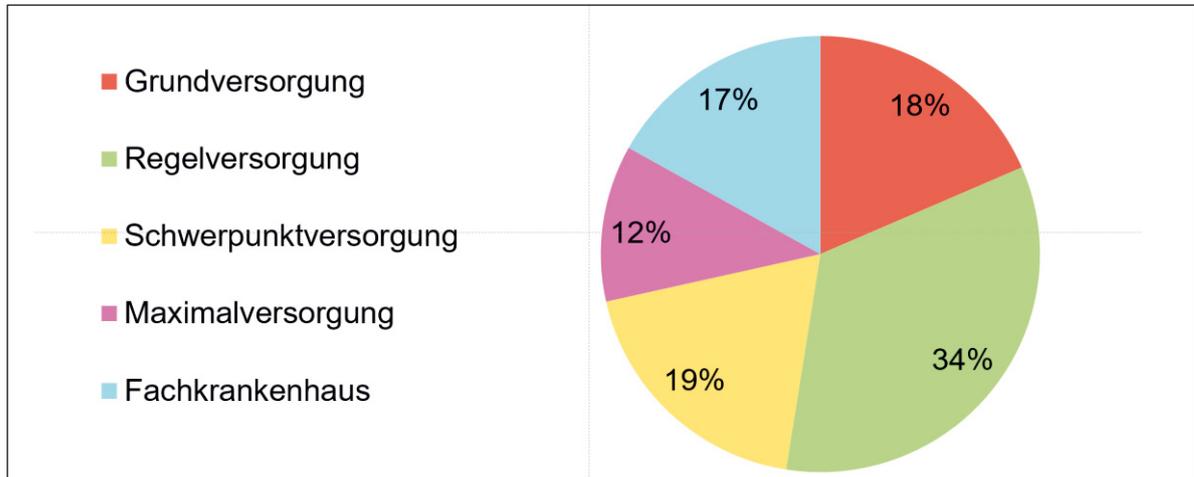


Abbildung 13: Welche Versorgungsstufe hat Ihr Krankenhaus?

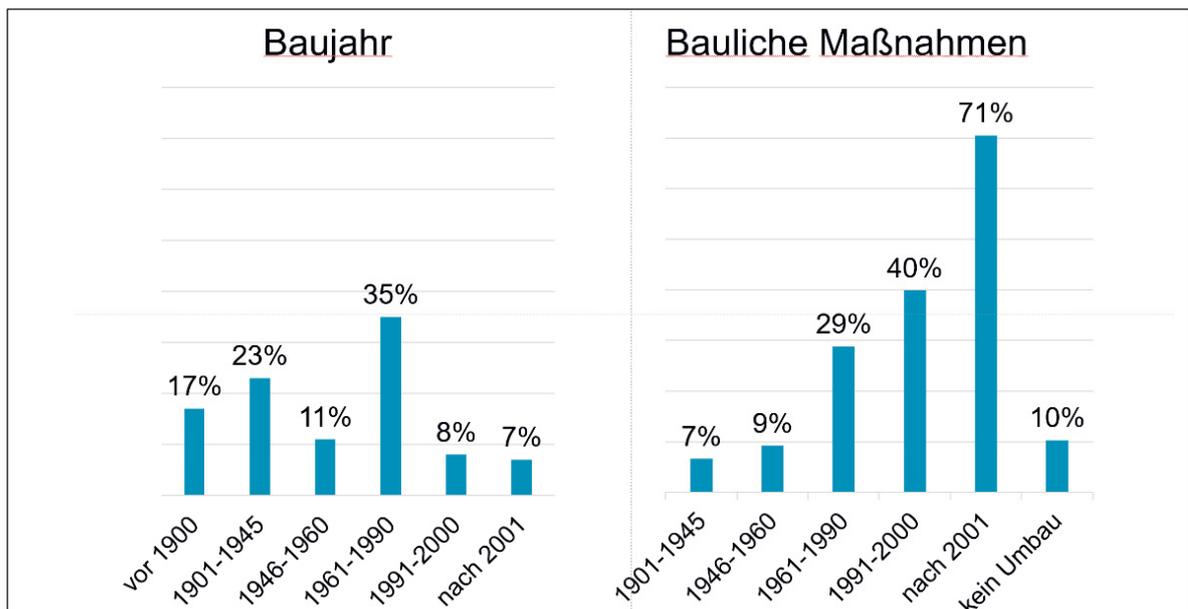


Abbildung 14: Wann wurde Ihr Krankenhaus errichtet und wann wurde das Krankenhaus im nennenswerten Umfang umgebaut/erweitert?

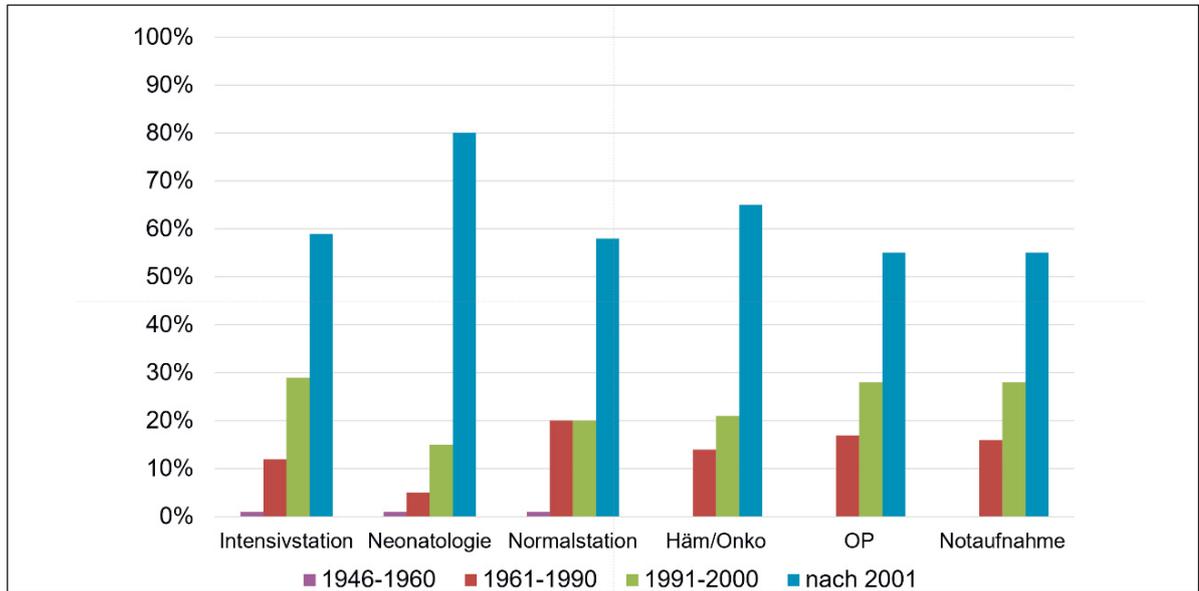


Abbildung 15: Wann fand die letzte bauliche Maßnahme auf Ihrer Station statt?

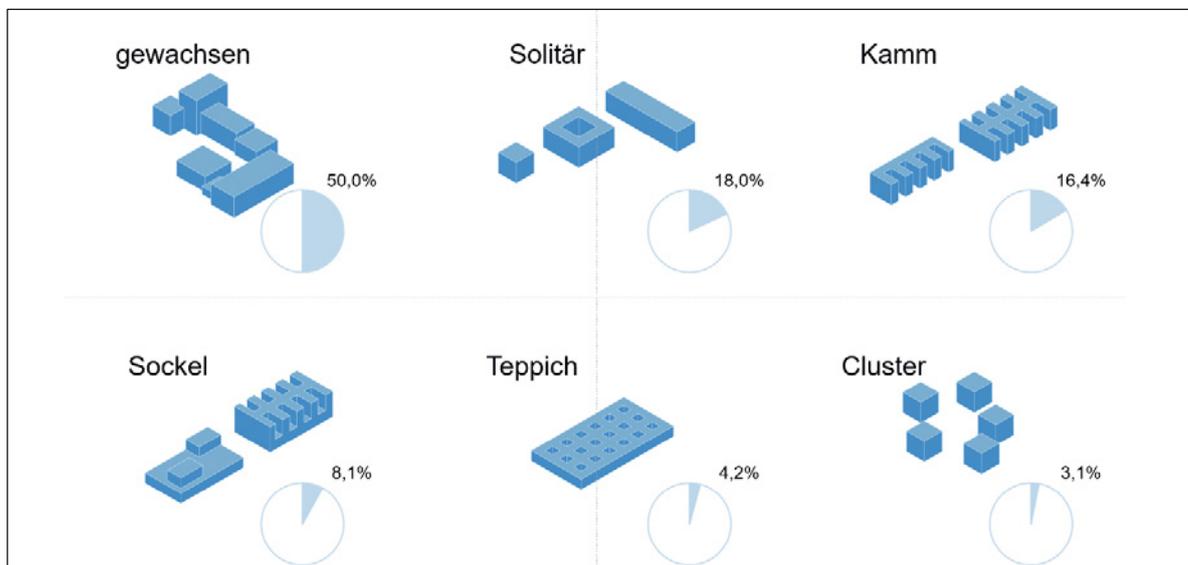


Abbildung 16: Wie ist die bauliche Struktur Ihres Krankenhauses?

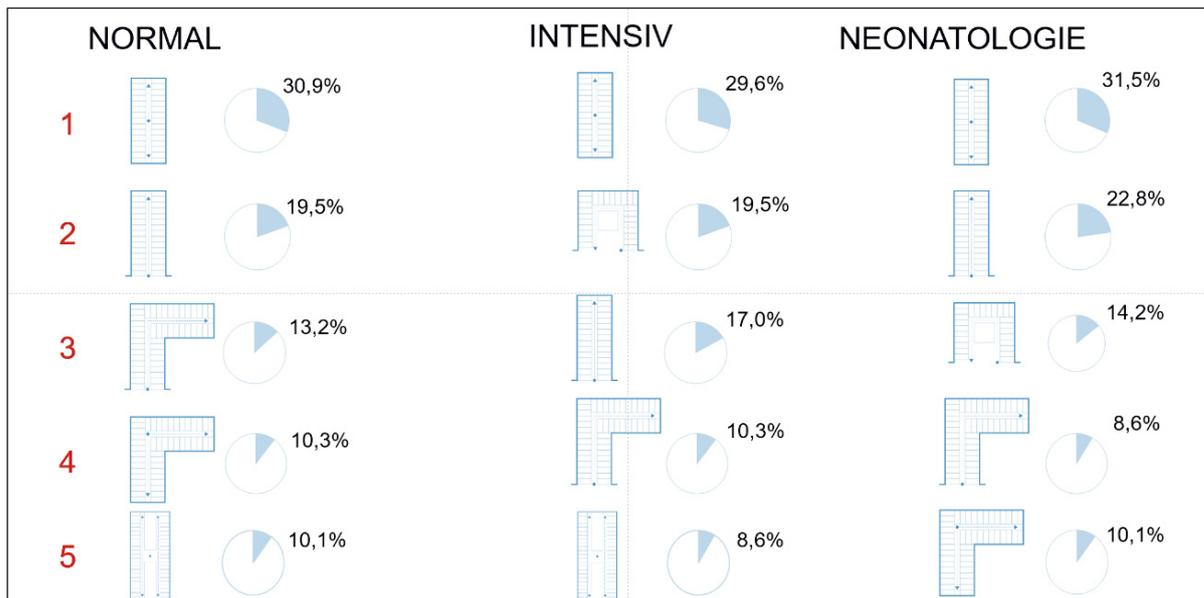


Abbildung 17: Ranking Struktur und Aufbau der Stationen

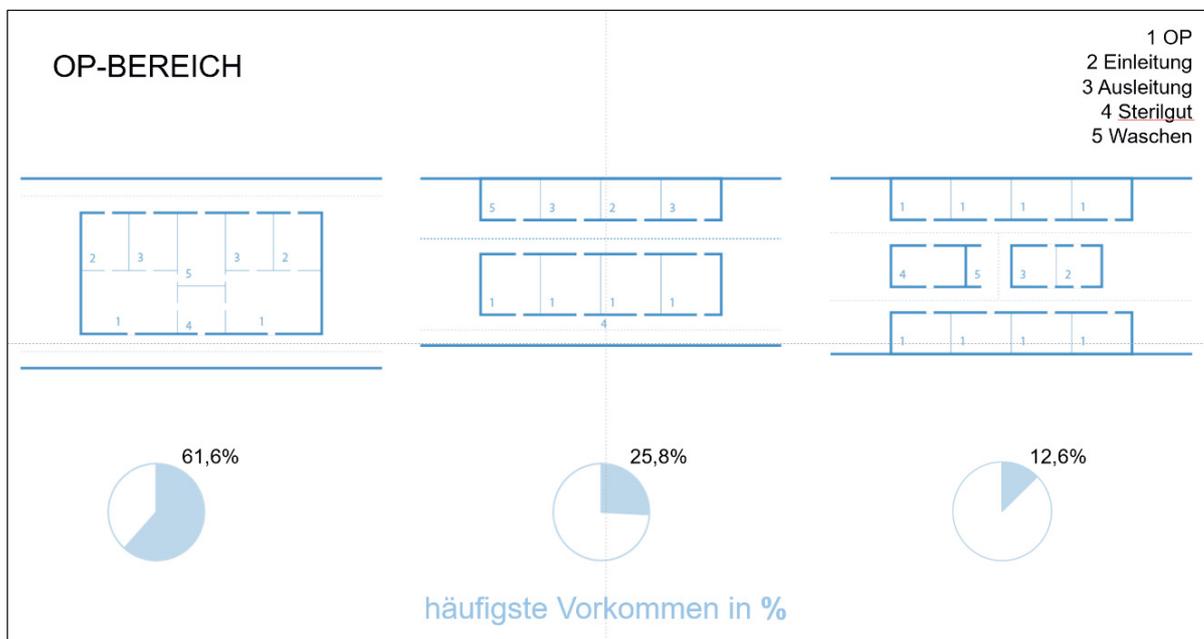


Abbildung 18: Wie ist die bauliche Struktur Ihrer OP-Abteilung?

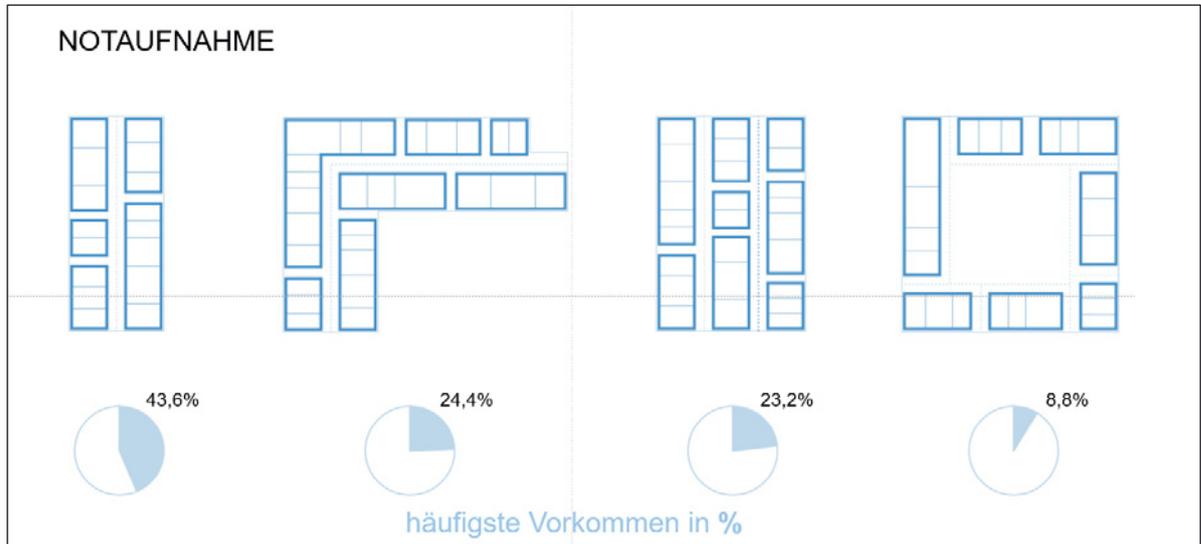


Abbildung 19: Wie ist die bauliche Struktur Ihrer Notaufnahme?

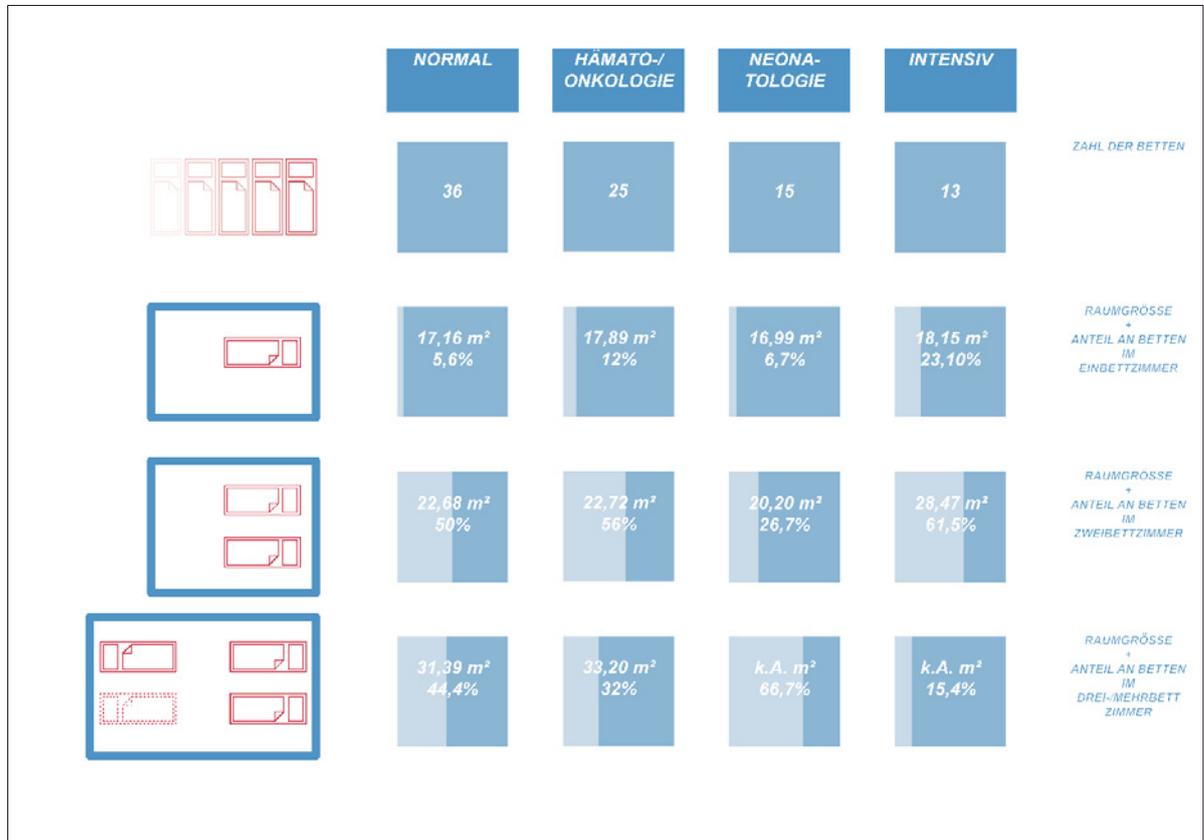


Abbildung 20: Zimmervergleich der unterschiedlichen Stationen zur Bettenanzahl und Raumgröße

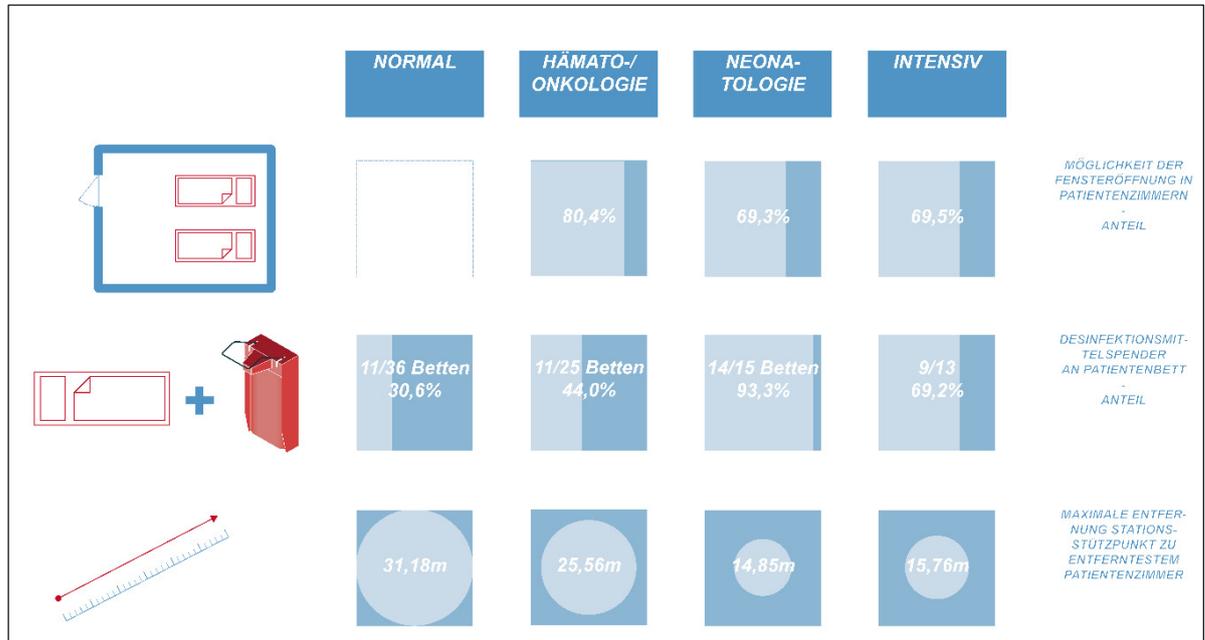


Abbildung 21: Vergleich der Stationen zur Fensteröffnung, Anteil Desinfektionsmittelspender, Entfernung zum Pflegestützpunkt

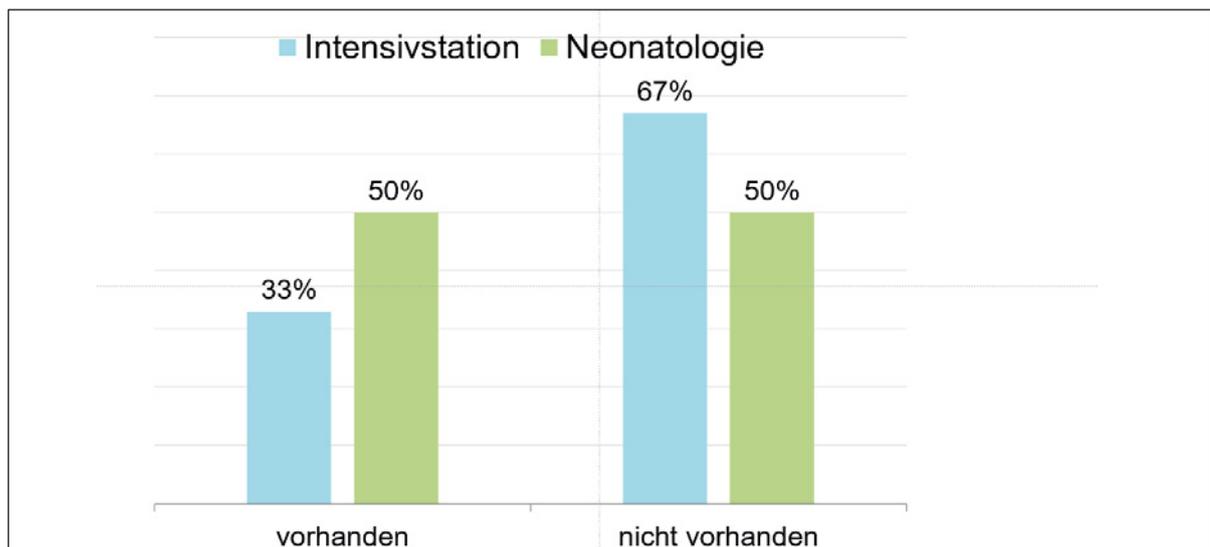


Abbildung 22: Ist ein Eingriffsraum auf Ihrer Station vorhanden?

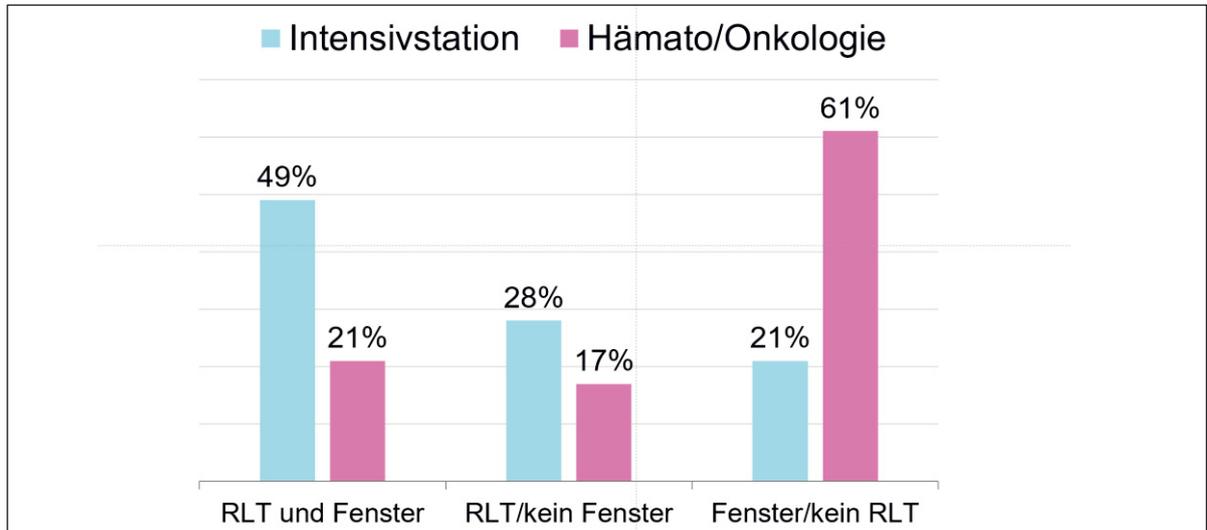


Abbildung 23: Verfügt Ihre Station über Raumlufftechnik (RLT) und lassen sich die Fenster öffnen?

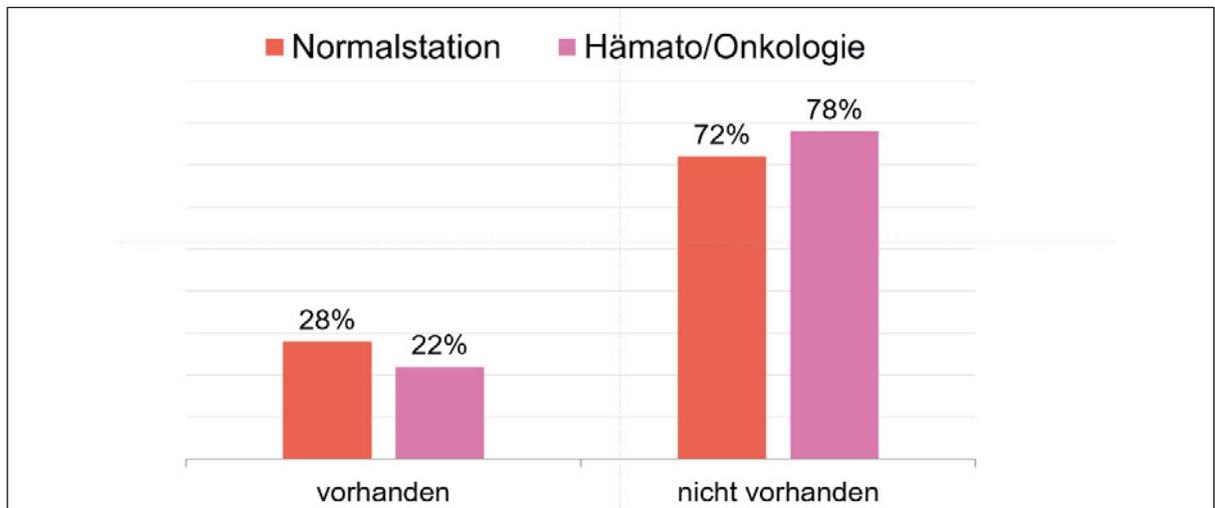


Abbildung 24: Sind Patientenzimmer ohne eigene Toilette im Zimmer vorhanden?

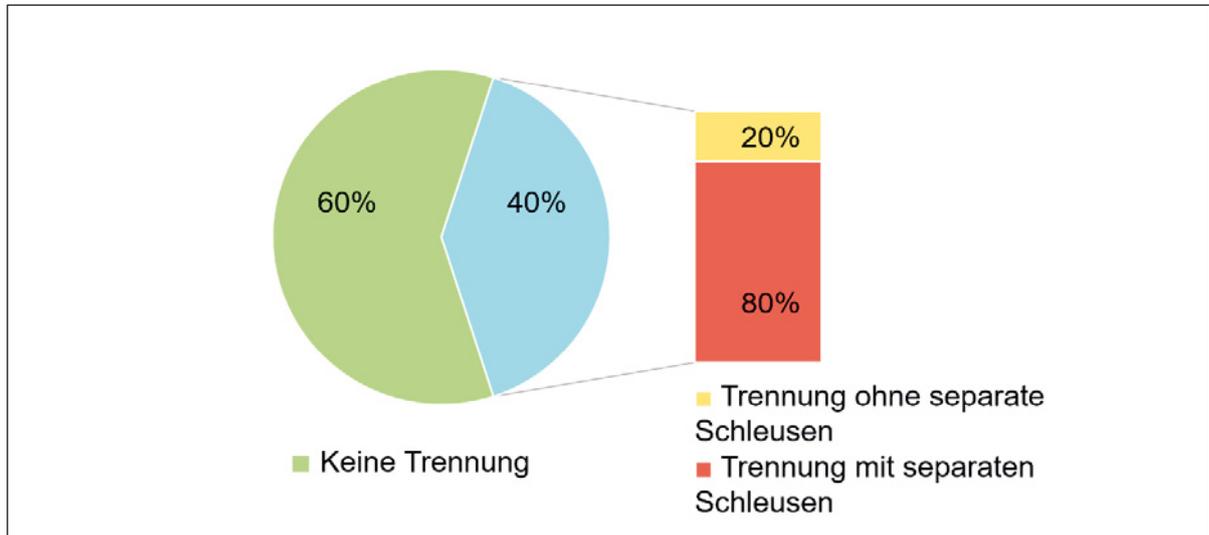


Abbildung 25: OP-Bereich: Liegt eine Trennung von septischen und aseptischen OP-Sälen vor und sind separate Schleusen für den aseptischen OP vorhanden?

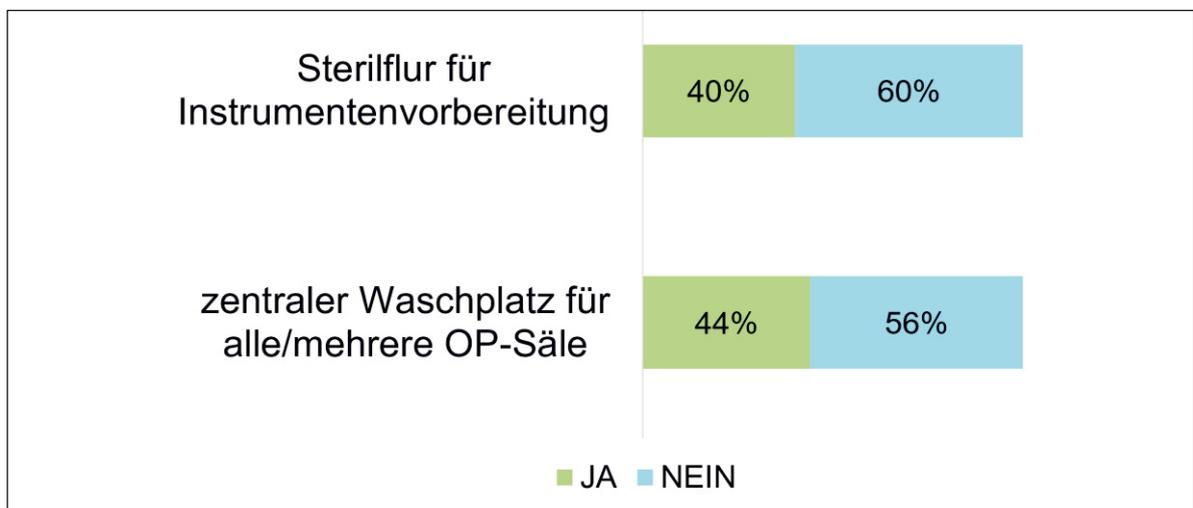


Abbildung 26: OP-Bereich: Ist ein Sterilflur für die Instrumentenvorbereitung vorhanden und gibt es einen zentralen Waschplatz für alle oder mehrere OP-Säle?

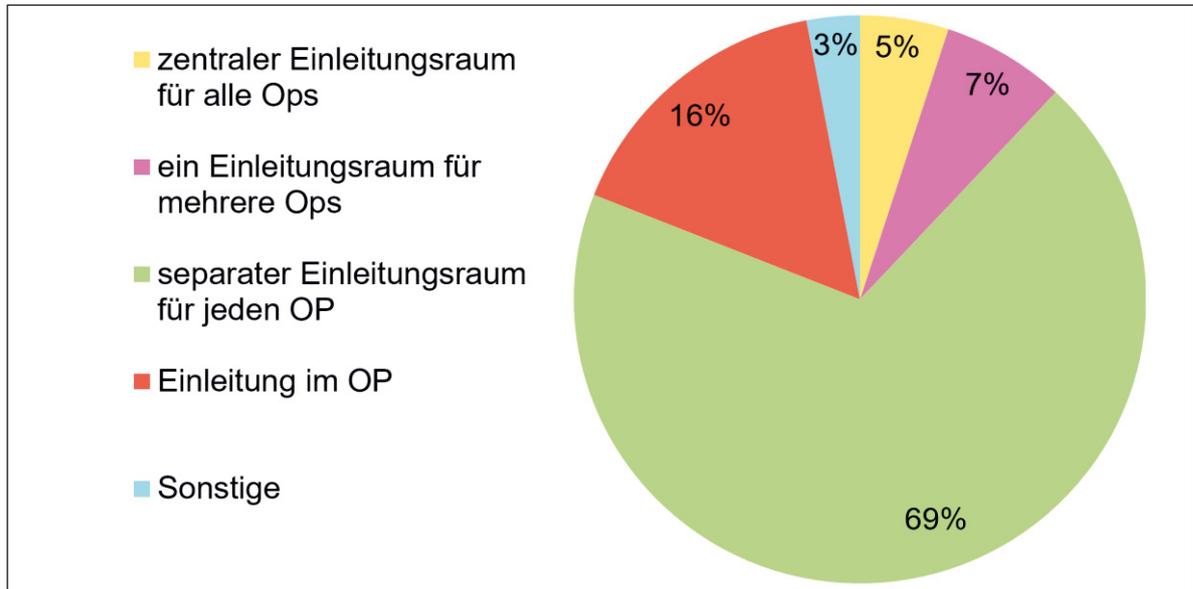


Abbildung 27: OP-Bereich: Wo findet die Einleitung statt?

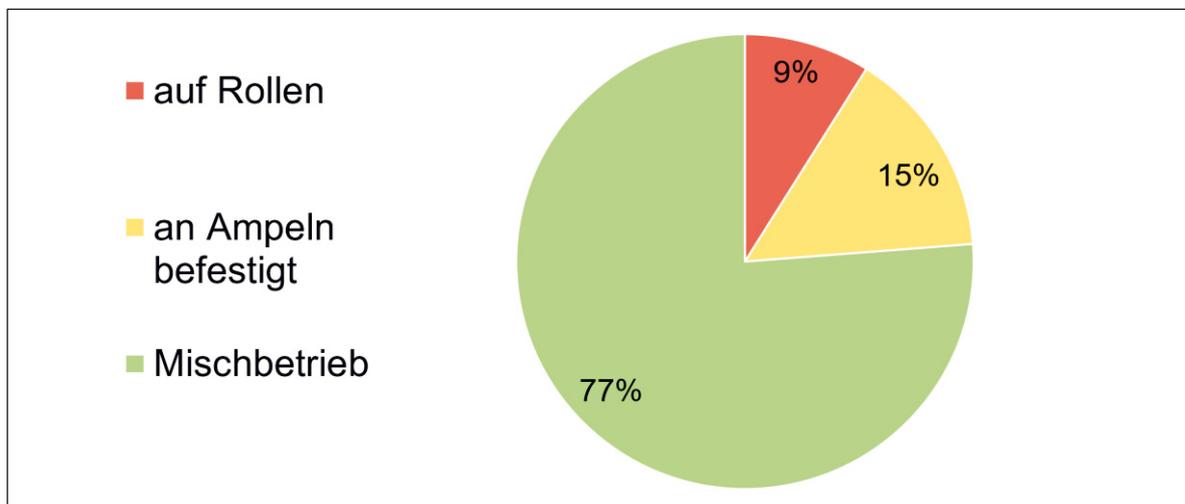


Abbildung 28: Wie sind die technischen Geräte im OP-Saal installiert?

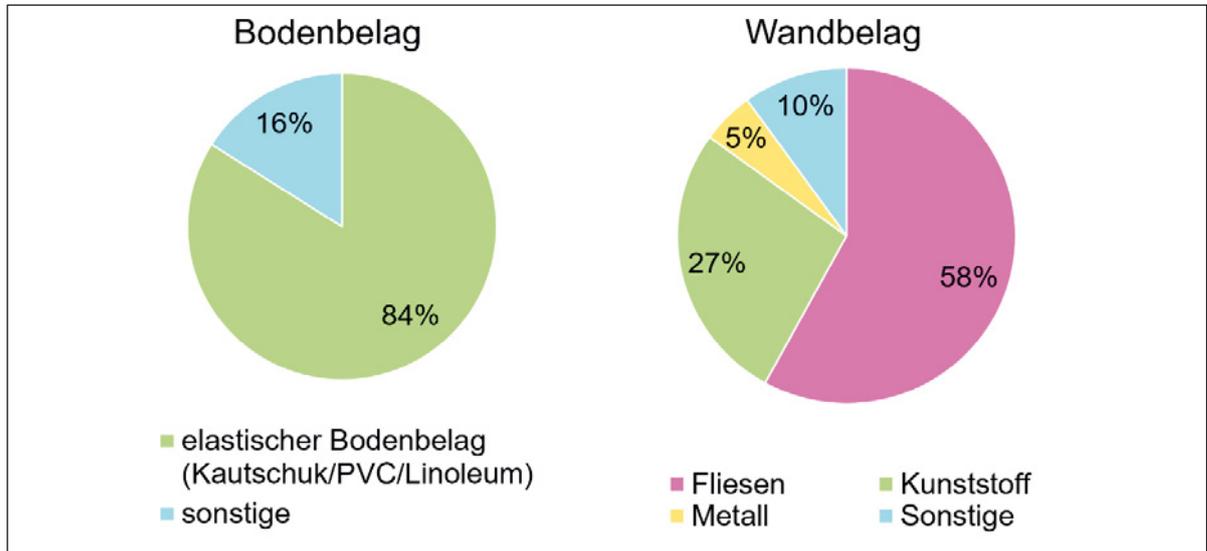


Abbildung 29: Welcher Wand- und Bodenbelag ist in Ihrem OP-Saal vorhanden?

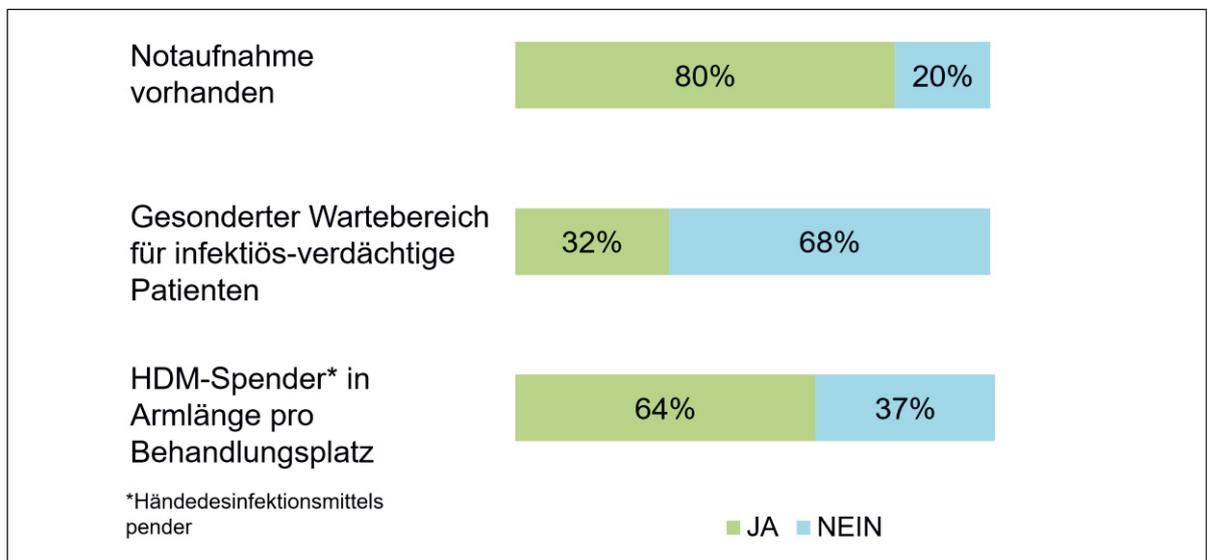


Abbildung 30: Verfügt Ihr Krankenhaus über eine Notaufnahme, ist ein gesonderter Wartebereich für infektiös-verdächtige Patienten vorhanden, gibt es Desinfektionsmittelspender in Armlänge der Patientenliege?

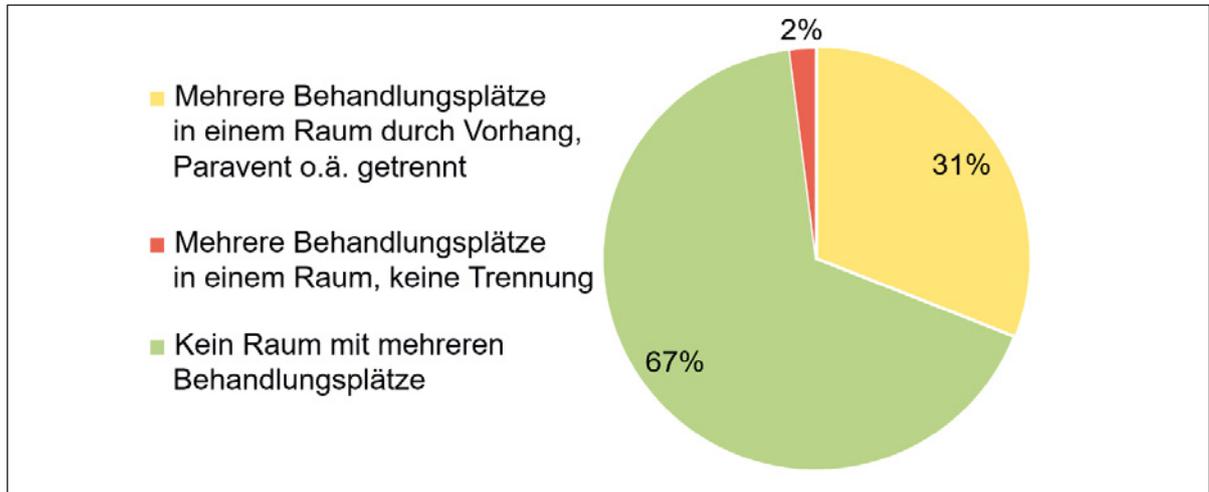


Abbildung 31: Notaufnahme: Sind mehrere Behandlungsplätze in einem Raum vorhanden und sind diese durch einen Vorhang, Paravent o.ä. getrennt?

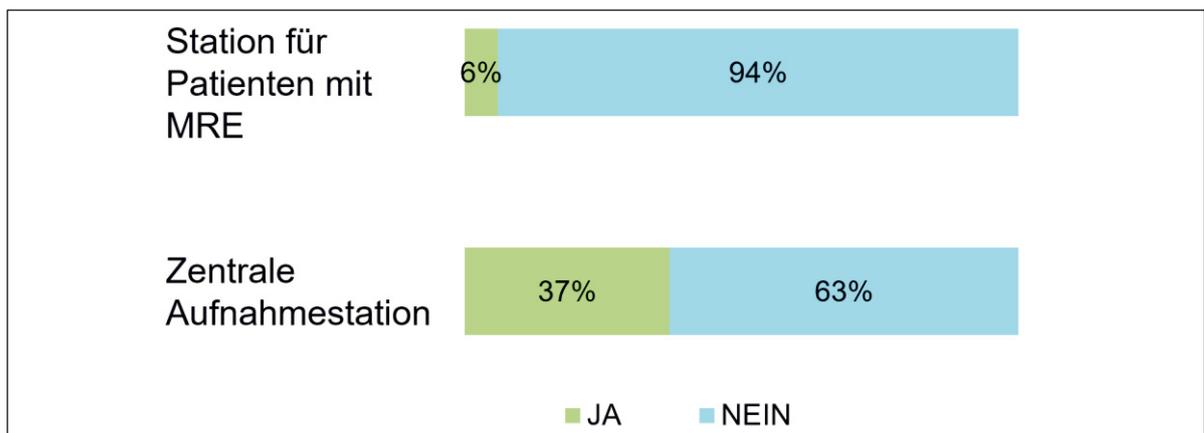


Abbildung 32: Ist eine spezielle Station für Patienten mit MRE vorhanden und gibt es eine zentrale Aufnahmestation?

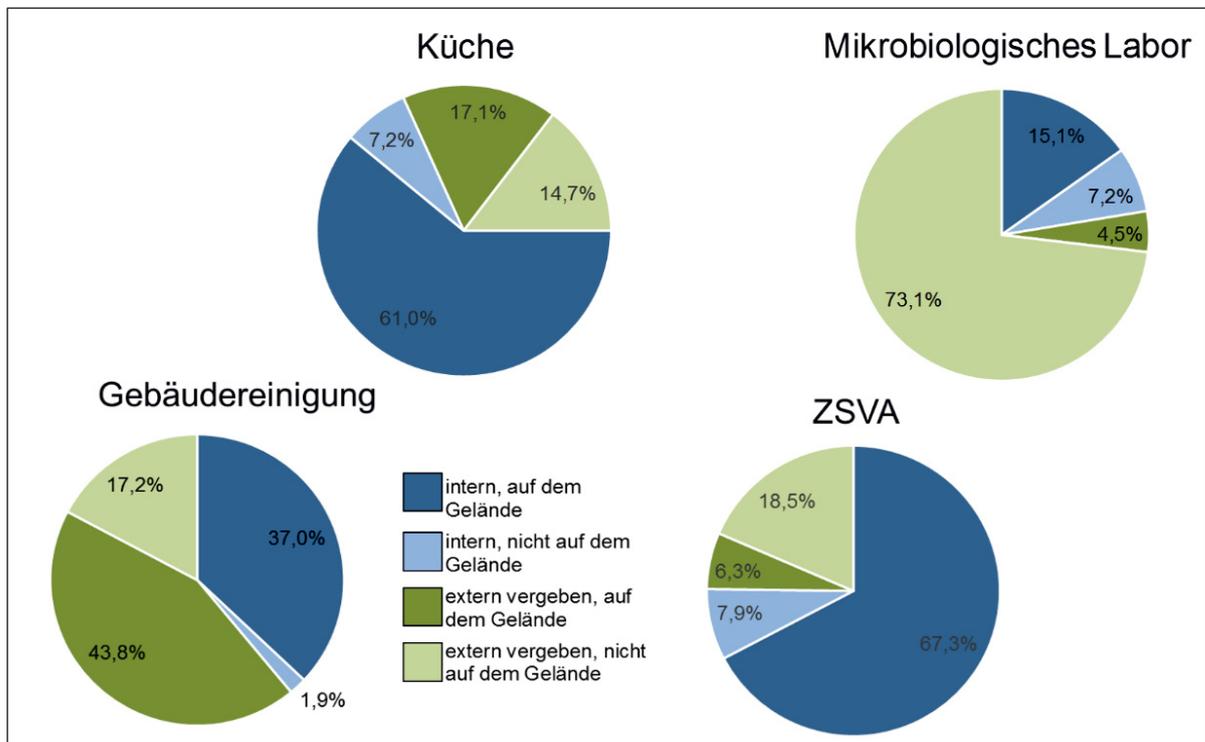


Abbildung 33: Welche der folgenden Dienstleistungen werden extern vergeben und / oder befinden sich auf außerhalb des Krankenhausgeländes?

Zusammenfassung

Die KISS-Umfrage lieferte Ergebnisse über den IST-Zustand der baulichen Struktur der bundesdeutschen Krankenhauslandschaft. Es wurden Daten zu den Strukturen auf Normal- und Intensivstationen sowie auf hämatologisch/onkologischen und neonatologischen Stationen erfasst.

Auch die aktuelle Situation der OP-Bereiche im Hinblick auf strukturelle Zuschnitte wie z.B. Angaben zu Sterilflur oder Lage der Aus- und Einleitbereiche, Einsatz von Materialoberflächen, Ausstattung von Medizintechnik oder Trennung der OP-Bereiche für besondere OP-Verfahren (septisch-aseptisch) wurde erfasst.

Aussagen zu Bereichen der Notaufnahme im Hinblick auf Art und räumlichen Zuschnitt der Behandlungsplätze oder zum Verhältnis der Separation von infektiös-verdächtigen Patienten gemacht werden.

Das größte Potential dieser Erhebung ist jedoch ihr Abgleich mit den aktuellen Empfehlungen zur baulichen Infektionsprävention aus der Literatur und Expertengesprächen. Hier wird deutlich, welches Verbesserungspotential im Bereich

der baulichen Hygiene aufgearbeitet werden muss. Exemplarisch ist hierbei die Empfehlung der KRINKO aus 2015 zu nennen, die einen Einzelzimmeranteil von 10-20 % auf Normalpflegestationen bei Neuplanungen und Sanierungen vorsieht. Dieser liegt zurzeit bei 6,4 %.

Diese und alle weiteren Ableitungen sind im Kapitel der Planungsempfehlungen erfasst.

2.4 Ideallayout - Musterlösungen bestimmter Funktionsbereiche

Anlass

Im AP4 sollten Lösungskonzepte auf der Raumebene, d.h. in der Betrachtung ausgewählter Funktionsbereiche unter Beachtung der Arbeitsabläufe und hygienischer Machbarkeit, entwickelt werden.

Ziel

Die zu entwickelnden Lösungskonzepte sollten in Ideallayouts bzw. Musterlösungen der Funktionsbereiche in Form von Grundrissdarstellungen und Piktogrammen dargestellt werden. Der Fokus der Ideallayouts lag hierbei wieder im Bereich der Zentralen Notaufnahme (ZNA), Intensivstation (ITS) sowie dem OP-Bereich.

Methode

Zur Informationsgewinnung für die Entwicklung der Ideallayouts der entsprechenden Funktionsbereiche wurden unterschiedlichste Quellen herangezogen. So konnten Erkenntnisse, die schon im Zusammenhang mit anderen Methoden im Forschungsprojekt erhoben wurden, weiter interpretiert werden. So wurden Ergebnisse aus den Experteninterviews (Kap. 2.2) sowie der KISS-Umfrage (Kap. 2.3) durch eine Literaturrecherche und Expertenworkshops weiter zur Entwicklung von Lösungskonzepten ergänzt.

Ergebnis

Literaturrecherche

Als Quelle dienten hier zum einen Standardwerke aus dem Gesundheitsbausektor wie z.B. „Zukunftsoffenes Krankenhaus“ (Wischer 2007).

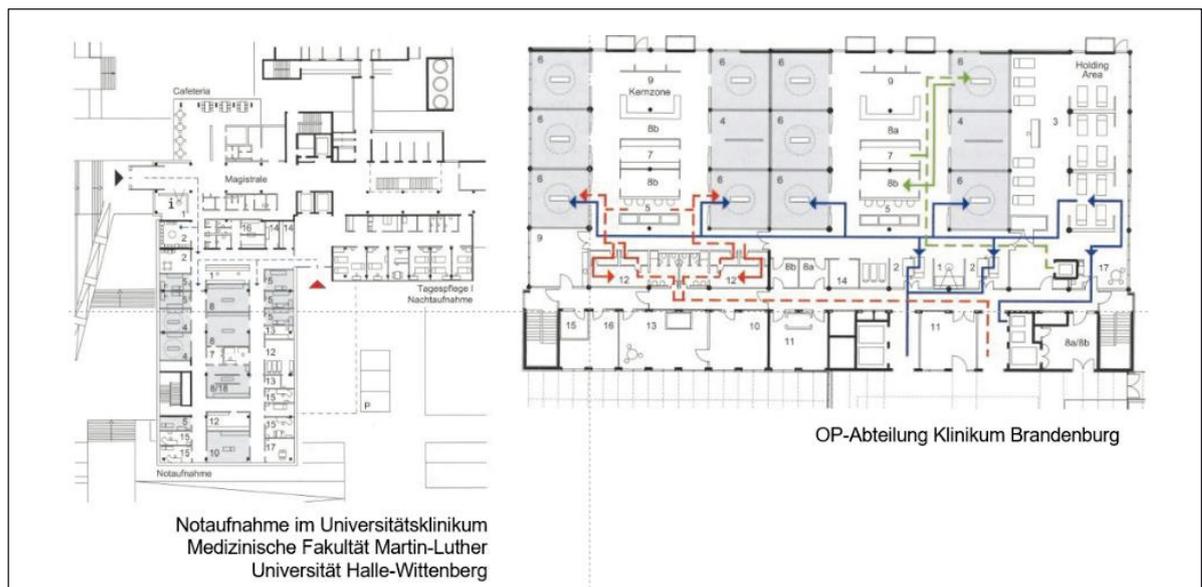


Abbildung 34: Prozesse in OP und ZNA aus "Zukunftsoffenes Krankenhaus" (Wischer 2007)

Weiterführend wurden die Planungshilfen der Bauministerkonferenz recherchiert, die vereinfachte Systemgrundrisse der hygienerlevanten Bereiche zur Verfügung stellen (Baumann 2013).

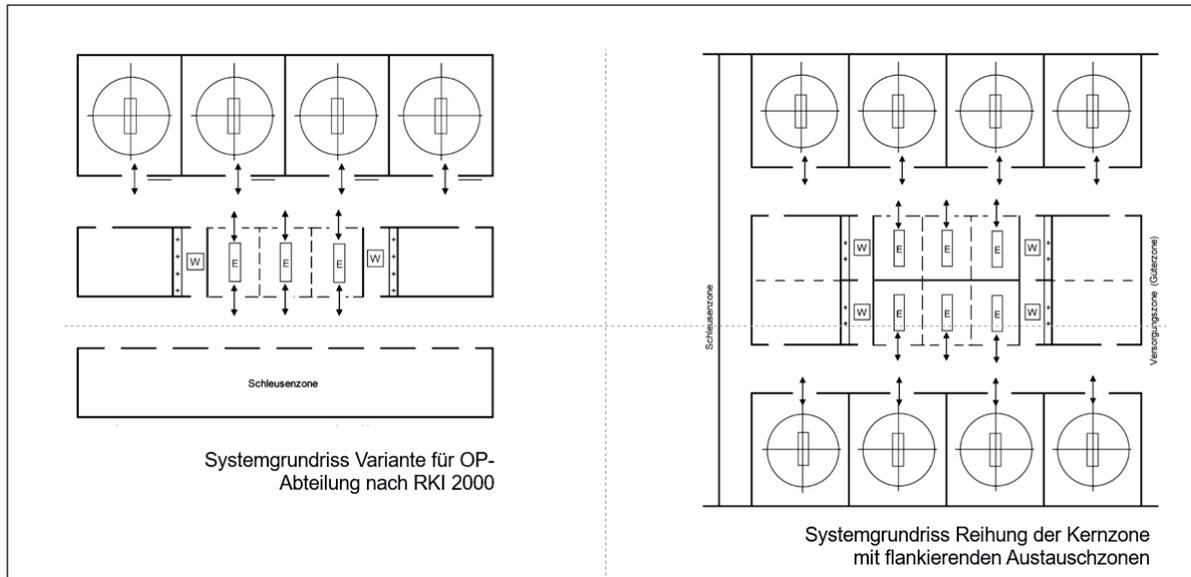


Abbildung 35: ARGEBAU Planungshilfen Funktionsstelle Operation (Baumann 2013)

Ebenso fand eine Recherche in internationalen Forschungsveröffentlichungen statt, um aktuelle Entwicklungen in den hygiene relevanten Funktionsstellenbereichen darzustellen, z.B.: (Halpern 2014).

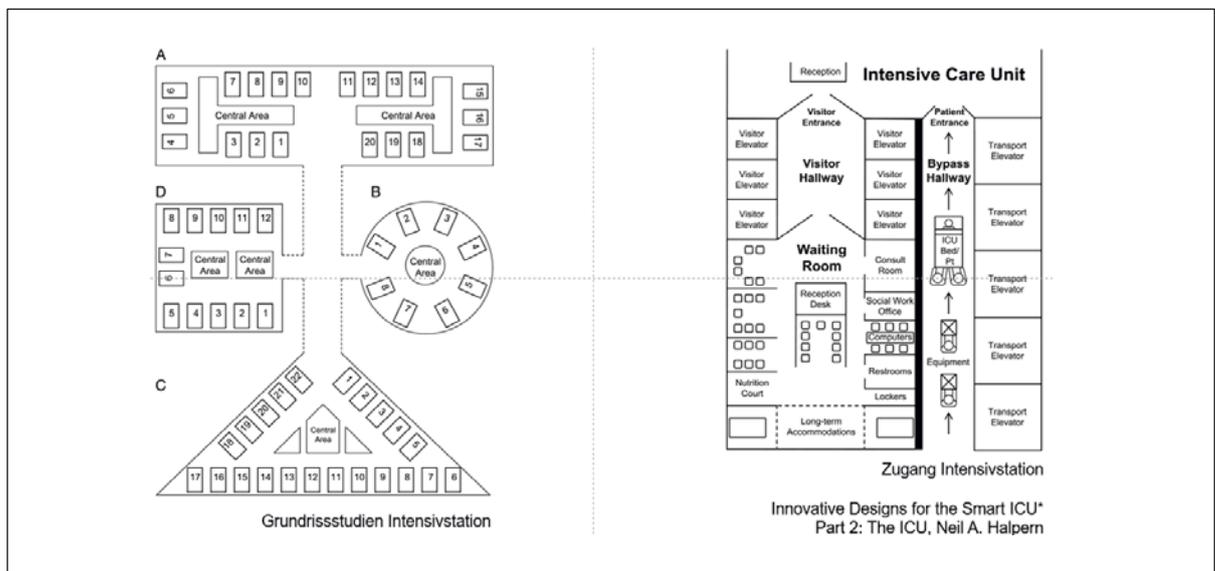


Abbildung 36: Intensivstation- Ideallayout nach Neil A. Halpern (Halpern 2014)

Expertenworkshops

Am 13. und 20.05.2015 fanden Arbeitstreffen mit den Industriepartnern an der TU Braunschweig statt. Hierbei wurden die Planer und Betreiber von Kliniken um hygienerobuste und idealtypische Darstellung vom OP und Zentraler Notaufnahme gebeten.

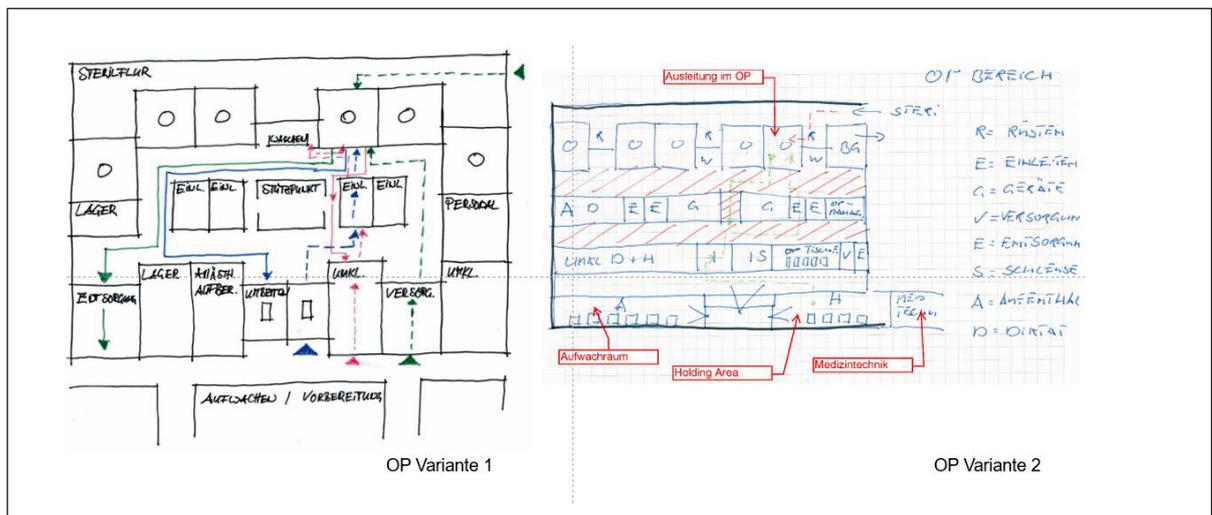


Abbildung 37: Idealtypische Darstellung OP (Expertenworkshop, Standke und Welp 2015)

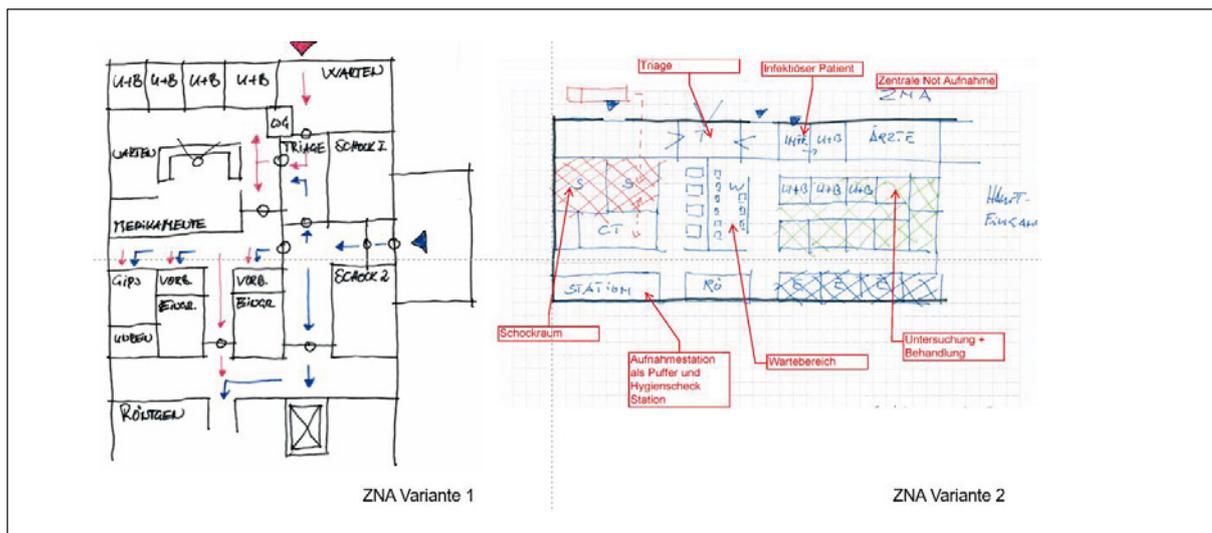


Abbildung 38: Idealtypische Darstellung ZNA (Expertenworkshop, Standke und Welp 2015)

Experteninterviews vor Ort

Bei den vorher beschriebenen Experteninterviews der 4 Kliniken konnten ebenso bereits Rückschlüsse auf die hygiene-relevanten Bereiche der infektionssensiblen Funktionsstellen gezogen werden, die für die Erarbeitung von Musterlösungen hilfreich sind.

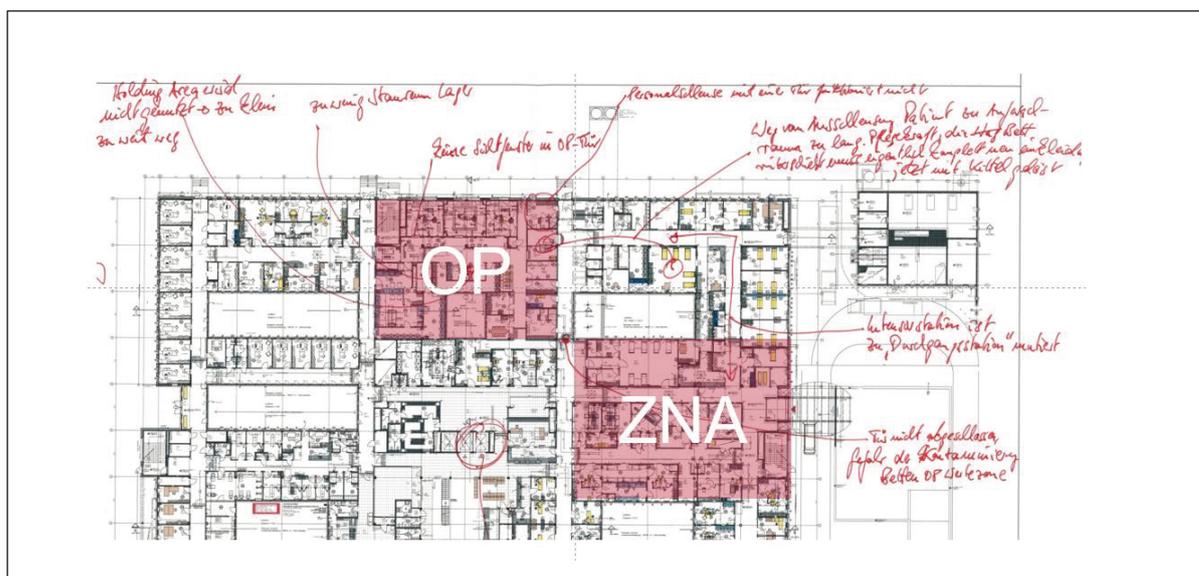


Abbildung 39: Mitschrift Experteninterview - Defizitanalyse zur Vorbereitung Musterlösung

KISS-Umfrage

Bei der Befragung aller an KISS partizipierenden Krankenhäuser von März bis Juni 2015 (Teilnahme 623 Krankenhäuser) konnten ebenfalls erste Rückschlüsse auf die baulichen Strukturen der infektionsrelevanten Funktionsbereiche abgeleitet werden. Die Umfrage wurde interdisziplinär von den drei beteiligten Instituten erarbeitet und anschließend über das KISS-System der Charité durchgeführt.

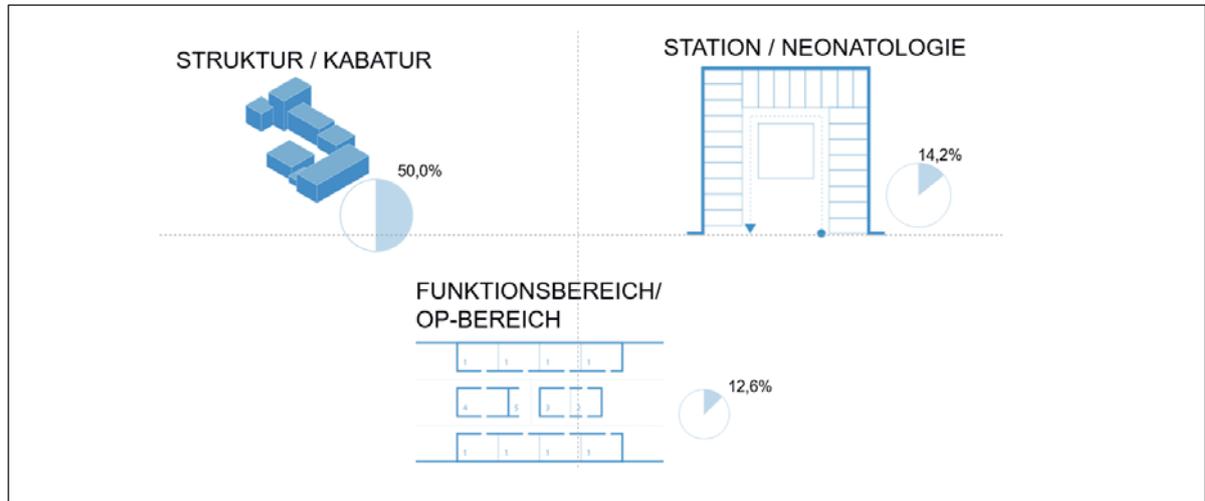


Abbildung 40: Ausschnitt Auswertung KISS-Umfrage zur baulichen Struktur

Zusammenfassung

Die Zusammenführung der Erkenntnisse, die über die unterschiedlichen Quellen der Literaturrecherche, Experteninterviews, Expertenworkshops und der KISS-Umfrage erhoben wurden, mündete in der Entwicklung von Ideallayouts der Zentralen Notaufnahme (ZNA), der Intensivstation (ITS) und dem OP-Bereich.



Abbildung 41: Ideallayout ZNA

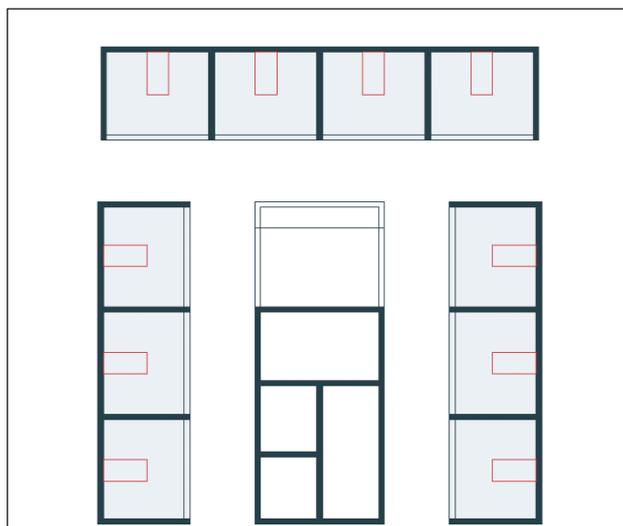


Abbildung 42: Ideallayout ITS

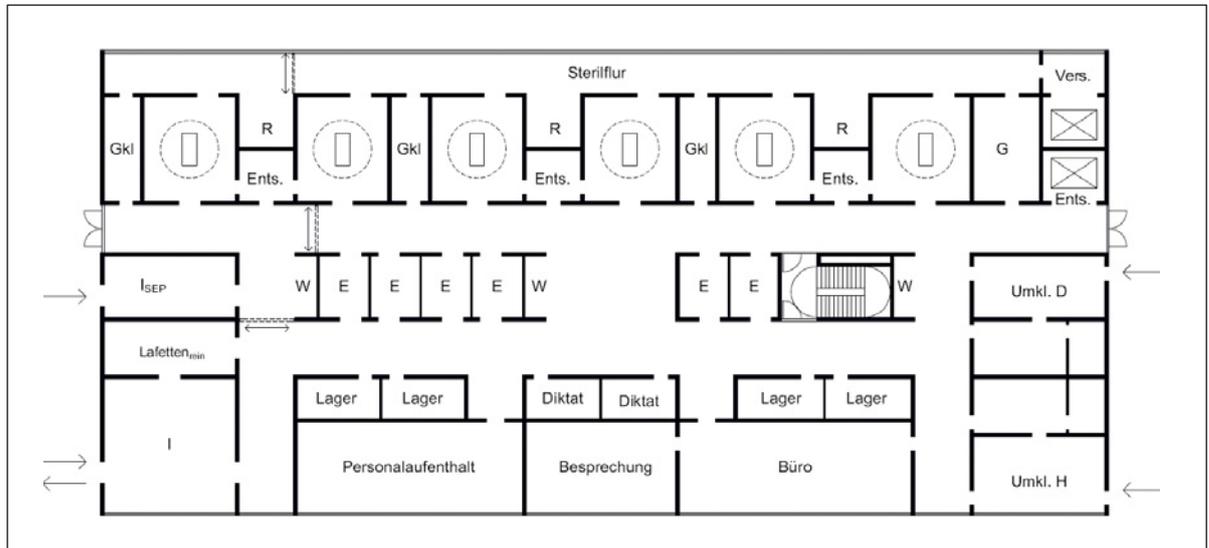


Abbildung 43: Ideallayout OP-Bereich

3 Arbeitspakete MATERIAL

3.1 Analyse der Anforderungen

Raumebene, Bauteilebene und Detail-/Materialebene

Anlass

Die Prävention von nosokomialen Infektionen kann auf verschiedenen Ebenen erfolgen. Das Robert-Koch Institut hat eine Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention eingerichtet, die Empfehlungen zur Infektionsprävention geben. Hierbei werden betrieblich-organisatorische sowie baulich-funktionelle Maßnahmen empfohlen (§23 IfSG). Das Hauptaugenmerk liegt im Wesentlichen auf Einzelmaßnahmen wie der Händedesinfektion (Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 2011). Bauliche Anforderungen werden bisher wenig forciert. Im Rahmen dieses Dokuments soll die Gesundheitseinrichtung Krankenhaus hygienisch optimiert werden, wobei auch technische Aspekte auf Raum-, Bauteil- und Detailebene berücksichtigt werden.

Gemäß DIN 13080 werden Krankenhäuser, Hochschul- und Universitätskliniken jeglicher Größenordnung in Funktionsbereiche (Aufgabengebiet) und Funktionsstellen (spezifische Aufgaben) unterteilt. Die technischen Anforderungen an die Raumebene (Temperatur, Luftfeuchte, Luftwechselrate und Raumabschluss) sind in diesen Bereichen unterschiedlich, da verschiedene Bestimmungen relevant sind. Grundsätzlich sollten angenehme klimatische Bedingungen vorliegen, die darauf abgestimmt sind, ob sich Personen zeitweise oder ständig dort aufhalten und welcher körperlichen Tätigkeit sie im Raum nachgehen. Aufgrund der vielfältigen Nutzungsprofile der jeweiligen Räumlichkeiten sind zudem unterschiedliche Anforderungen in mechanischer, physikalischer, chemischer und hygienischer Hinsicht an das Bauteil bzw. das Material zu stellen. Eine Zusammenstellung der genannten Anforderungen ist bisher nicht existent.

Ziel

Die unterschiedlichen Anforderungen an das Raumklima sollen zunächst begutachtet und die gemeinsame Schnittmenge für die Funktionsstellen ermittelt werden. Das gleiche Ziel wird auf Bauteil- bzw. Materialebene für die

hygienekritischen Funktionsstellen OP, Notfallaufnahme, Pflege und Intensivstation erstellt werden.

Methode (Raumebene)

Zur Festlegung der technischen Anforderungen auf Raumebene werden folgende Quellen berücksichtigt und deren gemeinsame Schnittmenge tabellarisch als einzuhaltende Anforderungen definiert:

- BGI/GUV-I 8681: „Neu- und Umbauplanung im Krankenhaus unter Gesichtspunkten des Arbeitsschutzes“ (September 2008) (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2008)
- BGI/GUV-I 7003: „Beurteilung des Raumklimas“ (Oktober 2010) (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2010)
- Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR 3.5: „Raumtemperatur“ (Juni 2010) (GMBI)
- DIN EN 15251: „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik“ (Dezember 2012)
- DIN 1946-4: „Raumlufttechnik - Teil 4: Raumlufttechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens“ (Dezember 2008)
- Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene: „Leitlinie - Raumlufttechnischen Anlagen in Krankenhäusern“ (2012) (Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene 2012)
- Robert Koch Institut: „Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention“ (2003) (Robert Koch Institut 2003)
- DIN EN 13779: „Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlageanlagen und Raumkühlsysteme“ (September 2007)
- Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik: „Kenngrößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter“ (September 2011) (Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 2011)

Zusammenfassung (Raumebene)

Es resultieren folgende technische Anforderungen an das Raumklima:

Funktionsbereich	Funktionsstelle	Raumebene: Klima			
		Temperatur	relative Feuchte	Luftwechselrate (bezogen auf Außenluft)	Abschluss
1: Untersuchung und Behandlung	Aufnahme und Notfallversorgung	22-26°C	30-50%	≥40m³/(h*Person) ; bei Verwendung von Narkosegas: ≥150m³/(h*Patient)	Außenräume mit Überdruck Außenräume mit Überdruck Außenräume mit Überdruck Außenräume mit Überdruck
	Arztdienst	19-26°C	30-50%		
	Funktionsdiagnostik	22-26°C	30-50%		
	Endoskopie	22-26°C	30-50%	≥40m³/(h*Person) ; bei Verwendung von Narkosegas: ≥150m³/(h*Patient)	
	Laboratoriumsmedizin	22-26°C	30-50%		
	Prosektur/Pathologie	22-26°C	30-50%		
	Radiologische Diagnostik	22-26°C	30-50%	≥ 40m³/(h*Person)	
	Nuklearmedizinische Diagnostik	22-26°C	30-50%		
	Nuklearmedizinische Diagnostik	22-26°C	30-50%		
	Operation	19-26°C	≤50%	≥1200 m³/h	
	Entbindung	22-26°C	30-50%		
	Strahlentherapie	22-26°C	30-50%	≥ 40m³/(h*Person)	
	Nuklearmedizinische Therapie	22-26°C	30-50%		
	Physikalische Therapie	22-26°C	30-50%		
	Ergotherapie	22-26°C	30-50%		
Bereitschaftsdienst	19-26°C	30-50%			

Tabelle 2: Technische Anforderungen von Funktionsbereichen im Krankenhaus (nach DIN 13080)
Untersuchung und Behandlung

Funktionsbereich	Funktionsstelle	Raumebene: Klima			
		Temperatur	relative Feuchte	Luftwechselrate (bezogen auf Außenluft)	Abschluss
4: Soziale Dienste	Serviceeinrichtungen	20-26°C	30-60%		
	Seelsorge und Sozialdienst	20-26°C	30-60%		
		21-26°C; 24-26°C			
	Personalumkleiden	Waschräume mit Duschen	30-60%		
	Personalspeisenversorgung	21-26°C	30-60%		
5: Ver- und Entsorgung	Arzneimittelversorgung	17-26°C		≥40m³/(h*Person)	
	Sterilgutversorgung	17-26°C			
	Geräteversorgung	17-26°C			
	Bettenaufbereitung	17-26°C			
	Speisenversorgung	21-26°C			
	Wäscheversorgung	17-26°C			
	Lagerhaltung und Güterumschlag	17-26°C			
	Wartung und Reparatur	17-26°C			
	Abfallbeseitigung	17-26°C			
	Haus- und Transportdienst	17-26°C			
6: Forschung und Lehre	Forschung	20-26°C	30-60%		
	Lehre	20-26°C	30-60%		
	Ausbildung und Schulung	20-26°C	30-60%		
7: Sonstiges	Rettungsdienst	21-26°C	30-60%		
	Limited Care Dialyse	21-26°C	30-60%		
	Kinderbetreuung	19-24.5°C	30-60%		
	Dienstleistung nach außen	21-26°C	30-60%		
	Dienstleistung von außen	21-26°C	30-60%		
	Wohnen	21-25.5°C	30-60%		

Tabelle 3: Technische Anforderungen von Funktionsbereichen im Krankenhaus (nach DIN 13080)- Soziale Dienste, Ver- und Entsorgung, etc.

Funktionsbereich	Funktionsstelle	Raumebene: Klima			
		Temperatur	relative Feuchte	Luftwechselrate (bezogen auf Außenluft)	Abschluss
2: Pflege	Allgemeinpflege	22-26°C	30-60%	≥40m³/(h*Person), bzw. >100m³/(h*Patient) >100m³/(h*Patient), bzw. negative Luftbilanz in Infektionszimmern	
	Wöchnerinnen- und Neugeborenenpflege	22-26°C	30-60%		
	Intensivmedizin	22-26°C	30-60%		
	Dialyse	22-26°C	30-60%		
	Säuglings- und Krankenpflege	22-26°C	30-60%		
	Infektionskrankenpflege	22-26°C	30-60%		
	Pflege psychisch Kranker	22-26°C	30-60%		
	Pflege - Nuklearmedizin	22-26°C	30-60%		
	Aufnahmepflege	22-26°C	30-60%		
	Pflege - Geriatrie	22-26°C	30-60%		
Tagesklinik	22-26°C	30-60%			
3: Verwaltung	Leitung und Verwaltung	20-26°C	30-60%		
	Archivierung	20-26°C	30-60%		
	Information und Dokumentation	20-26°C	30-60%		
	Bibliothek	20-26°C	30-60%		

Tabelle 4: Technische Anforderungen von Funktionsbereichen im Krankenhaus (nach DIN 13080) Pflege und Verwaltung

Die geforderte Temperatur in den Funktionsbereichen und -stellen variiert zwischen 17°C und 26°C und die relative Luftfeuchte i.d.R. zwischen 30 und 60%. Unter praktischen Gesichtspunkten ist es sinnvoll zukünftig die gemeinsame Schnittmenge der Funktionsstellen in den einzelnen Bereichen zu bündeln (z.B. in „Untersuchung und Behandlung“: 22-26°C; 30-50% r. LF). In einigen Funktionsstellen ist zusätzlich zu beachten, dass ein bestimmter Raumabschluss oder eine Mindestluftwechselrate einzuhalten ist.

Methode (Bauteil-/Materialebene)

Auf Bauteilebene sind die technischen Anforderungen, der in direktem oder indirektem Kontakt mit dem Nutzer stehenden Ebene, zu definieren. Hierbei sind Boden-, Wand- und Deckenbeläge von unmittelbarem Interesse. Sehr unterschiedlich scharfe Bauteilanforderungen sind in verschiedenen Funktionsstellen zu erwarten, sodass diese separat untersucht werden. Im Rahmen dieses Berichtes werden die hygienekritischen Funktionsstellen OP, Notfallaufnahme, Pflege und Intensivstation betrachtet. Auf Basis von verschiedenen Literaturquellen (u.a. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2008; Knoll 2000; ZBWM/PMU 1997; Schulz.Stübner 2013; Schmiege 1984; Landesamt für Verbraucherschutz 2013) werden die Anforderungen zusammengestellt. Die hygienischen Anforderungen an das Material werden durch ein Versuchsprogramm näher spezifiziert (siehe Abschnitt 3.2 und 3.3).

Zusammenfassung (Bauteil-/Materialebene)

Im *Operationsbereich* finden chirurgische und andere invasive Eingriffe statt. Daher werden besonders hohe Anforderungen an die Hygiene gestellt.

Die Funktionsstelle **Operation** wird als Bereich mit besonderem Infektionsrisiko eingestuft, da die Wahrscheinlichkeit eines exogenen pathogenen Erregereintrags in den Patienten sehr hoch ist.

	Mechanische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Schlagfestigkeit	X	X*	
Kratzfestigkeit	X		
Scheuerbeständigkeit	X	X	X
Fugendichtigkeit	X	X	
Rutschfestigkeit	X		
Verschleißwiderstand	X		
*An der Wand ist ein zusätzlicher Rammschutz vorzusehen.			

Tabelle 5: Mechanische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Operation

	Chemische und Physikalische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Säure-/Laugenbeständigkeit			
Lösemittelbeständigkeit			
Öl-/Fettbeständigkeit			
Korrosionsbeständigkeit			
Wasserdampfbeständigkeit			
Flüssigkeitsdichtigkeit	X	X	X
Reflexionsfreie Oberfläche	X	X	X
Ableitfähigkeit	X		

Tabelle 6: Chemische und physikalische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Operation

	Hygienische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Desinfektionsmittelbeständig	X	X	X
Leichte Reinigbarkeit	X	X	X
Geringe Besiedlungsneigung durch Mikroorganismen	X	X	X
Am Übergang von Boden zu Wand ist eine Hohlkehle vorzusehen.			

Tabelle 7: Hygienische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Operation

Die **Zentrale Notfallaufnahme** ist die Anlaufstelle für Patienten mit akuten Beschwerden und gehört der Notfallmedizin an. Für liegend zu transportierende Patienten ist eine direkte Anbindung an die Krankenwagenanfahrt/-halle erforderlich. Die Aufnahme und Notfallversorgung ist als Bereich mit besonderem Infektionsrisiko einzustufen, da bei den ggf. notwendigen lebenserhaltenden Maßnahmen, die am Patienten durchgeführt werden, die Infektionsprophylaxe nicht vollständig eingehalten werden kann. Von den verwendeten Materialien sind folgende Anforderungen zu erfüllen:

	Mechanische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Schlagfestigkeit	X	X*	
Kratzfestigkeit	X		
Scheuerbeständigkeit	X	X	X
Fugendichtigkeit	X	X	
Rutschfestigkeit	X		
Verschleißwiderstand	X		
	*An der Wand ist ein zusätzlicher Rammschutz vorzusehen.		

Tabelle 8: Mechanische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Zentrale Notaufnahme

	Chemische und Physikalische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Säure-/Laugenbeständigkeit			
Lösemittelbeständigkeit			
Öl-/Fettbeständigkeit			
Korrosionsbeständigkeit			
Wasserdampfbeständigkeit			
Flüssigkeitsdichtigkeit	X	X	X
Reflexionsfreie Oberfläche	X	X	X
Ableitfähigkeit	X		

Tabelle 9: Chemische und physikalische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Zentrale Notaufnahme

	Hygienische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Desinfektionsmittelbeständig	X	X	X
Leichte Reinigbarkeit	X	X	X
Geringe Besiedlungsneigung durch Mikroorganismen	X	X	X

Tabelle 10: Hygienische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Zentrale Notaufnahme

Die **Intensivmedizin** beherbergt Patienten bei denen eine Dauerüberwachung durch ärztliches und pflegerisches Personal notwendig ist. Die Patienten leiden unter einer Störung der Vitalfunktionen.

Die Funktionsstelle Intensivmedizin ist mit einem besonderen Infektionsrisiko behaftet.

	Mechanische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Schlagfestigkeit	X	X	
Kratzfestigkeit	X	X	
Scheuerbeständigkeit	X	X	X
Fugendichtigkeit	X	X	
Rutschfestigkeit	X		
Verschleißwiderstand	X		

Tabelle 11: Mechanische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Intensivpflege

	Chemische und Physikalische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Säure-/Laugenbeständigkeit			
Lösemittelbeständigkeit			
Öl-/Fettbeständigkeit			
Korrosionsbeständigkeit			
Wasserdampfbeständigkeit			
Flüssigkeitsdichtigkeit	X	X	X
Reflexionsfreie Oberfläche			
Ableitfähigkeit	X		

Tabelle 12: Chemische und physikalische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Intensivpflege

	Hygienische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Desinfektionsmittelbeständig	X	X	X
Leichte Reinigbarkeit	X	X	X
Geringe Besiedlungsneigung durch Mikroorganismen	X	X	X

Tabelle 13: Hygienische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Intensivpflege

Die **Allgemeinpflege** betreut Patienten, die akut oder nur eine kurze Zeit erkrankt sind. Sie stellt die grundsätzliche stationäre Krankenhausversorgung dar.

Die Funktionsstelle Allgemeinpflege ist mit einem besonderen Infektionsrisiko behaftet, da viele immunsupprimierte Personen aufeinandertreffen.

Die technischen Anforderungen werden wie folgt definiert:

	Mechanische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Schlagfestigkeit	X	X	
Kratzfestigkeit	X		
Scheuerbeständigkeit	X	X	X
Fugendichtigkeit	X		
Rutschfestigkeit	X		
Verschleißwiderstand	X		

Tabelle 14: Mechanische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Allgemeinpflege

	Chemische und Physikalische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Säure-/Laugenbeständigkeit			
Lösemittelbeständigkeit			
Öl-/Fettbeständigkeit			
Korrosionsbeständigkeit			
Wasserdampfbeständigkeit			
Flüssigkeitsdichtigkeit	X	X	X
Reflexionsfreie Oberfläche			
Ableitfähigkeit	X		

Tabelle 15: Chemische und physikalische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Allgemeinpflege

	Hygienische Anforderungen		
	Fußboden	Wand	Decke
Desinfektionsmittelbeständig	X	X	X
Leichte Reinigbarkeit	X	X	X
Geringe Besiedlungsneigung durch Mikroorganismen	X	X	X

Tabelle 16: Hygienische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Allgemeinpflege

Exkurs: Mobiliar

Das Mobiliar in Krankenhäusern sollte definierte Eigenschaften aufweisen und im Allgemeinen mindestens folgende Anforderungen erfüllen:

- Scheuerbeständig
- Desinfektionsmittelbeständig
- Leicht reinigbar
- Hoher Verschleißwiderstand.

Es ist sinnvoll in Abhängigkeit von der Funktionsstelle und dem Nutzungsprofil der Räume zusätzliche Anforderungen zu definieren.

3.2 Reinigungsversuche

Anlass und Zielsetzung

Die Hygiene in Krankenhäusern ist essentiell um Patienten, Personal und Besucher vor nosokomialen Infektionen zu schützen. Grundsätzlich werden vier Faktoren betrachtet, die das Risiko der nosokomialen Infektion beeinflussen (Gefferis et al. 2000):

- Patientenfaktor: Immunsupprimierung durch Vorschädigung oder Genetik
- Behandlungsfaktor: Eindringen von Mikroorganismen bei z.B. invasiven Eingriffen
- Mikrobiologischer Faktor: Überlebensfähigkeit und Resistenz von Erregern
- **Umweltfaktor:** Krankenhausumgebung fördert die Ausbreitung von nosokomialen Infektionserregern z.B. durch die Kontamination von Luft oder Oberflächen

Der Umweltfaktor kann bereits in der Planungsphase eines Krankenhauses risikomindernd ausgelegt werden, sodass dieser im Rahmen des Berichts Beachtung findet.

Oberflächen, die im direkten und indirekten Umfeld des Patienten auftreten, sind Teil des hygienischen Multibarrierenkonzepts, welches das nosokomiale Infektionsrisiko mindern soll (Robert Koch Institut 2003). Weiterhin steht die Partikelkonzentration auf Oberflächen im Zusammenhang mit der Konzentration luftgetragener Partikel. Der Mensch kann sowohl durch den direkten Kontakt mit den Oberflächen als auch durch aufgewirbelte Partikel in den Kontakt mit der Kontamination kommen. Folglich sind geringe Partikelkonzentrationen auf Oberflächen wünschenswert. Dies ist durch die gute Reinigbarkeit von Materialien und deren Oberflächen zu erreichen.

Der hygienisch einwandfreie Zustand einer Oberfläche sollte in Gesundheitseinrichtungen höchste Priorität haben. Hierbei spielt die Abwesenheit von Verunreinigungen partikulärer Art (z.B. Mikroorganismen oder Staub) eine Schlüsselrolle. Ursache ist häufig eine mangelnde Reinigung oder ungenügende Reinigbarkeit von Materialien.

Der Einsatz von leicht reinigbaren Oberflächen ist einerseits ein Weg um die Reduktion der Reinigungskosten und andererseits die effizientere Reinigbarkeit zu gewährleisten. Eine systematische Untersuchung zur Reinigbarkeit reinraumüblicher Oberflächen bei partikulärer Verschmutzung unter realitätsnahen Bedingungen in Abhängigkeit der Oberflächeneigenschaften liegt bisher nicht vor. Verschiedene Materialien mit

variierenden Oberflächeneigenschaften sind daher in Bezug auf ihre Reinigbarkeit zu untersuchen.

Ziel:

Der Einfluss der Oberflächeneigenschaften auf die Reinigbarkeit ist zu untersuchen

Material

Für die Versuche wurden zwei Materialgruppen ausgewählt, welche in Krankenhäusern häufig verwendet werden. Metalle (Edelstahl, Kupfer) werden für Armaturen und Arbeitstische verwendet und Polymere dienen oftmals als Boden- oder Wandbelag.

Die untersuchten Proben wurden mithilfe der Parameter arithmetische Rauhtiefe R_a [μm] und dem Benetzungswinkel ϑ [$^\circ$] charakterisiert. Das Ergebnis ist der Tabelle 17 zu entnehmen:

Edelstahl/Kupfer			Polymere		
Probe	R _a [μm]	ϑ [°]	Probe	R _a [μm]	ϑ [°]
S1	1,03	106,9	K1	1,84	69,9
S2	0,20	81,7	K2	1,39	78,1
S3	0,34	61,7	K3	2,59	78,0
S4	0,93	109,4	K4	2,70	78,1
S5	0,51	84,7	K5	3,15	77,0
S6	0,86	110,2	K6	1,42	87,4
S7	0,42	89,4	K7	4,42	70,5
S8	0,42	89,4	K8	1,71	74,0
S9	0,21	99,5	K9	1,76	69,9
S10	0,07	94,4	K10	3,43	85,1
S11	0,47	95,6	K11	1,60	76,7
S12	0,27	85,3	K12	1,29	79,1
C1	0,64	108,2	K13	1,39	80,1
C2	0,36	94,7			
C3	0,63	113,6			
C4	0,2	97,1			

Tabelle 17: Untersuchte Materialien des Reinigungsversuches

Als Kontamination wird ein Prüfstaub aus SiO₂ verwendet. Die Q3-Partikelgrößenverteilung ist mithilfe eines Laserbeugungsspektrometers (Helos, Fa. Sympatec) bestimmt worden und in Abbildung 44 aufgezeigt. Der mittlere Partikeldurchmesser $x_{50}=3,65\mu\text{m}$ und 99% der Partikel sind kleiner als 30 μm. Die verwendeten Partikel sind gebrochen und plattig.

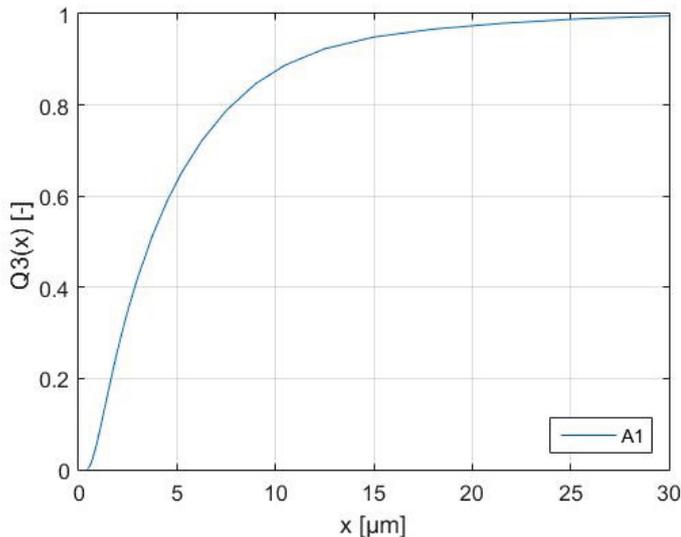


Abbildung 44: Partikelgrößenverteilung (Massenverteilung als Summenfunktion) des verwendeten Prüfstaubs A1

Methode

Definition: Die Reinigung ist die möglichst vollständige und dauerhafte Trennung von mindestens zwei Stoffen, die aneinander haften. Bei der Reinigbarkeit wird angenommen, dass eine Oberfläche bereits verschmutzt ist und der Schmutz abgetrennt, auf- oder abgelöst wird.

Der Ablauf der Experimente zur Überprüfung der Reinigbarkeit ist wie folgt:

Vorbereitung der Probekörper:

Die Probekörper werden dekontaminiert (Entfettung, Reinigung, abschließende Druckluftbeaufschlagung).

Kontamination der Materialoberfläche:

Versuchsaufbau 1: Unter der Verwendung der rötlichen Prüfstaubmischung KSL 11047 (mineralische Elemente und Faseranteile) wird Hausstaub simuliert. Je Prüffläche werden 0,2g des Prüfstaubs in Wasser gelöst und auf eine Prüffläche (Ø 70 mm) aufgetragen, sodass sich eine geschlossene Verschmutzung auf der Oberfläche bildet (siehe Abbildung 46).

Versuchsaufbau 2: Mit der Verwendung des Prüfstaubs wird Feinstaub simuliert. Je Prüffläche (Ø 70 mm) werden 0,1g des Prüfstaubs in 3 mL Wasser gelöst und

aufgetragen, sodass sich eine flächendeckende Verschmutzung auf der Oberfläche bildet.

In beiden Versuchsaufbauten verdunstet das Wasser vollständig bis lediglich das „Partikelkollektiv“ auf der Oberfläche zurück bleibt. Je Materialprobe werden aufgrund der erwarteten Streuung der Versuchsergebnisse drei Prüfflächen verwendet.

Reinigungsvorgang:

Zur Abreinigung der aufgetragenen Kontamination wird ein Reinigungsschlitten in einer linearen Bewegung über die verschmutzten Stellen gefahren. Um eine reproduzierbare Wischbewegung zu erzeugen, wird der Reinigungsschlitten mithilfe einer Lineareinheit mit Schrittmotor angetrieben. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 46 dargestellt.

Beurteilung der Reinigbarkeit:

Die auf der Materialoberfläche verbleibende Restverschmutzung wird quantifiziert. *Versuchsaufbau 1:* Hierfür wird eine fototechnische Auswertung durchgeführt. Eine Fotoaufnahme der abgereinigten Prüffläche wird unter UV-Licht (365 nm) aufgenommen (siehe Abbildung 47), da die Staubpartikel bei dieser Wellenlänge blaues Licht emittieren und somit deutlich von der übrigen Prüffläche zu unterscheiden sind. Anschließend wird mithilfe eines eigens entwickelten Programms der Anteil der Prüffläche berechnet, welcher nach dem Reinigungsvorgang noch verschmutzt ist. Zur Überprüfung der Plausibilität des Ergebnisses wird die Auswertung zudem als binäres Bild ausgegeben (siehe Abbildung 48). Da es sich bei dieser Auswertung um eine Flächeninformation handelt, werden diese Ergebnisse lediglich qualitativ ausgewertet.

Versuchsaufbau 2: Hierfür wird eine Oberflächensonde auf die Prüffläche aufgesetzt (siehe Abbildung 50); mithilfe eines mit der Sonde verbundenen Partikelzählers werden die nach dem Reinigungsvorgang auf der Oberfläche verbliebenen Partikel mittels Laserbeugung erfasst. Die Partikel werden den Größenkanälen $>0,3 \mu\text{m}$, $>0,5 \mu\text{m}$, $>1,0 \mu\text{m}$, $>3,0 \mu\text{m}$, $>5,0 \mu\text{m}$ und $>10,0 \mu\text{m}$ zugeordnet.

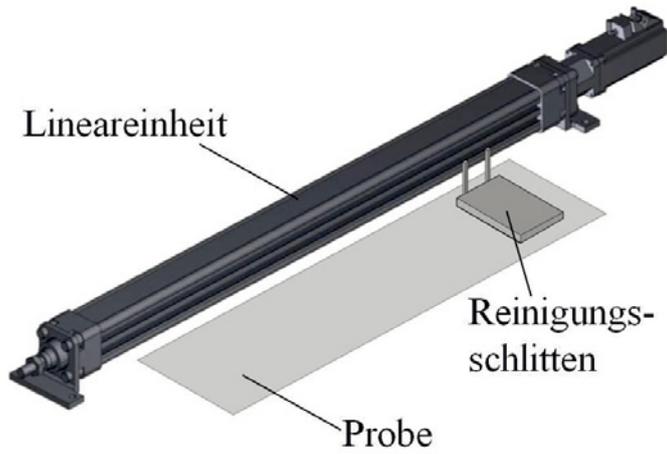


Abbildung 45: Versuchsaufbau mit dem linearen Wischsimulator

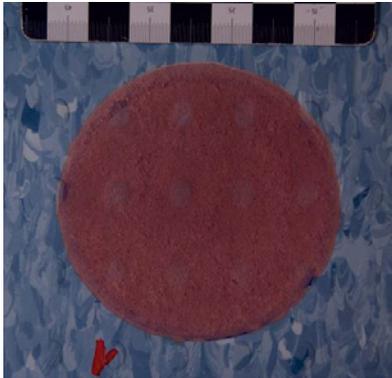


Abbildung 46: Kontaminierte Materialprobe vor einmaligem linearem Wischvorgang



Abbildung 47: Probe unter UV-Licht nach einmaligem Wischvorgang (Auszuwertende Prüffläche ist markiert)

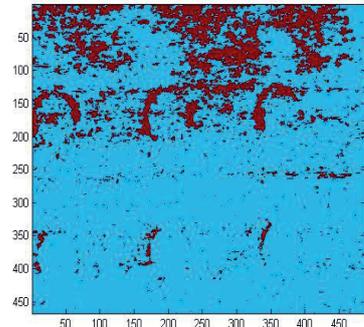


Abbildung 48: Binäre Auswertung der Kontamination der markierten Prüffläche



Abbildung 49: Messvorgang mit der Oberflächensonde und dem Partikelzählgerät

Modellbildung (Versuchsaufbau 2): Für das untersuchte System werden zwei Faktoren betrachtet: die Rauheit R_a [μm] der Oberfläche und der Benetzungswinkel ϑ [$^\circ$] bei destilliertem Wasser. Als Zielgröße wird die Partikelanzahl P [-] definiert. Mögliche Störgrößen sind beispielsweise die relative Luftfeuchte [%] oder die Temperatur [$^\circ\text{C}$], welche zur Vermeidung von ungewollten Einflüssen während der Versuche konstant gehalten werden ($22\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$, Luftfeuchtigkeit: 30 %).

Es wird untersucht, ob die zwei definierten Faktoren einen Effekt auf das System haben und zu einer mittleren Veränderung der Zielgröße führen, um darauf basierend ein valides Vorhersagemodell zur Partikelanzahl auf verschiedenen Oberflächen zu

bilden. Bei Haupteffekten und Wechselwirkungen soll die Wirkung auf die Zielgröße quantifiziert werden.

Mithilfe eines vollfaktoriellen Versuchsplanes werden die Experimente durchgeführt und die Ergebnisse zur Modellbildung herangezogen. Das Vorhersagemodell wird über die Durchführung einer Varianzanalyse gebildet. Daraus ergibt sich, welche Faktoren signifikante Unterschiede bei der Zielgröße hervorrufen. Hierbei werden lineare und nichtlineare Zusammenhänge sowie Wechselwirkungen der Faktoren untereinander berücksichtigt. Mit dem formulierten mathematischen Verhaltensmodell ist es möglich, die Zielgröße durch ein Einstellen der Faktoren in die gewünschte Richtung zu beeinflussen. Dazu können die in der Varianzanalyse als signifikant bestätigten Haupteffekte und Wechselwirkungen genutzt werden. Das Signifikanzniveau wurde mit $\alpha=0,1$ festgelegt. Letztendlich entsteht eine beschreibende Gleichung, die das zu Grunde liegende physikalische Phänomen nicht erklärt, aber die Zusammenhänge quantifiziert. Das Bestimmtheitsmaß R^2 wird gebildet, um den Anteil der Varianz des Modells zu erklären.

Die Anwendbarkeit für die Varianzanalyse ist auf normalverteilte Systeme beschränkt. Dass diese Bedingung vorliegt, wird mithilfe der Residuenanalyse überprüft. Die statistische Untersuchung erfolgt mit der Software Cornerstone 6.1.0.1.

Ergebnisse und Diskussion

Versuchsaufbau 1:

Die Untersuchungen mit der Nachbildung des Hausstaubes wurden u. a. für die qualitative Beurteilung von Materialübergängen herangezogen. Ein repräsentativer Ablauf eines solchen Versuches ist in der Abbildung 50 (Ausgangskontamination) und der Abbildung 51 (Kontaminierte Bereiche nach der Reinigung) dargestellt. Darüber hinaus wurden Untersuchungen zur Reinigbarkeit an diversen Proben verschiedener Materialgruppen durchgeführt und beurteilt (siehe Anhang).

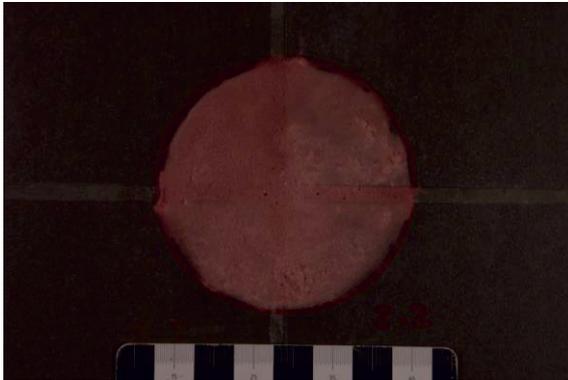


Abbildung 50: Ausgangskontamination auf einem Fliesenkreuz vor der Reinigung



Abbildung 51: Restverschmutzung (blau) auf dem Fliesenkreuz nach dem Reinigungsvorgang

Insbesondere die Materialübergänge haben sich als schlecht reinigbar erwiesen. Problematisch ist vermutlich die abweichende Topographie und veränderte Oberflächeneigenschaften, welche zu einer mechanischen Behinderung des Reinigungsprozesses führt.

Versuchsaufbau 2:

In Abbildung 52 (Metalle) und Abbildung 53 (Polymere) ist dargestellt, wie viele Partikel nach dem Reinigungsvorgang in den Größenkanälen $0,3 \leq x_{50} < 0,5 \mu\text{m}$, $0,5 \leq x_{50} < 1,0 \mu\text{m}$ und $1,0 \leq x_{50} < 3,0 \mu\text{m}$ auf jeder Probe zurück geblieben sind. In der Regel ist in den feinen Größenkanälen eine größere Partikelanzahl detektiert worden. Dies ist auf die Partikelgrößenverteilung zurück zu führen, da mehr kleine Partikel initial aufgegeben wurden. Auf den Polymerproben sind nach dem Reinigungsvorgang im Mittel mehr Partikel zurückgeblieben, als auf den Edelstahlproben. Das Abreinigungsverhalten von feinen und gröberer Anteilen der Kontamination soll auf Gemeinsamkeiten und Unterschiede innerhalb der Partikelgrößenkanäle und zwischen den Materialgruppen untersucht werden.

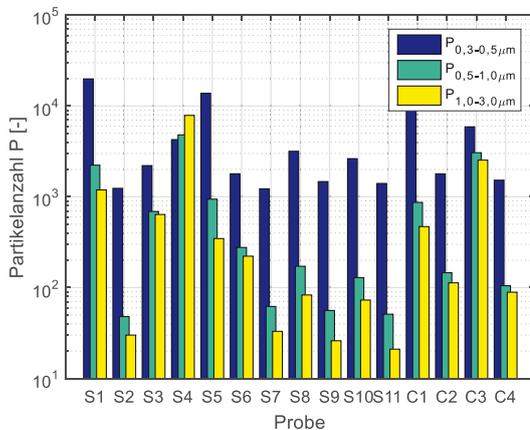


Abbildung 52: Gemessene Partikelanzahl auf den metallischen Probekörpern nach der Reinigung mit dem linearen Wischsimulator

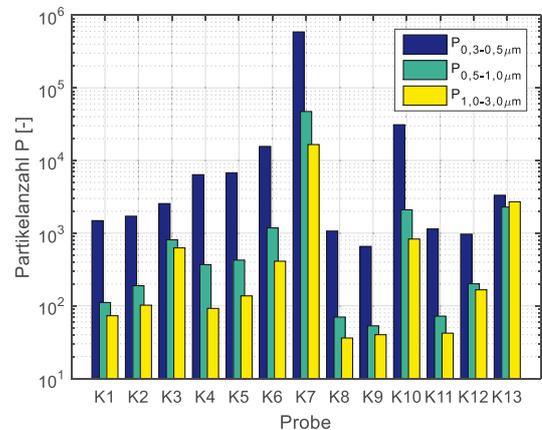


Abbildung 53: Gemessene Partikelanzahl auf den Polymer-Probekörpern nach der Reinigung mit dem linearen Wischsimulator

Die Partikelanzahl P soll mit den Oberflächeneigenschaften der Proben in den jeweiligen Materialgruppen in Verbindung gebracht werden. Für die Materialgruppe Metalle wurde der Faktor Rauheit als signifikant bestimmt; das Signifikanzniveau sowie das Bestimmtheitsmaß mit denen das Modell angepasst werden konnte, sind der Tabelle 18 zu entnehmen.

Größenkanal	$0,3 \leq x_{50} < 0,5 \mu\text{m}$	$0,5 \leq x_{50} < 1,0 \mu\text{m}$	$1,0 \leq x_{50} < 3,0 \mu\text{m}$
Term	Signifikanzniveau		
R_a [μm]	$1,1 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-4}$	$8,7 \cdot 10^{-4}$
Bestimmtheitsmaß R^2	0,40	0,60	0,59

Tabelle 18: Signifikanzniveaus auf Metallproben

Mathematisch lässt sich das Partikelverhalten auf Metallen wie folgt beschreiben:

$$\log P_{\text{Metall}} = \begin{cases} 7,07 + 2,06R_a & \text{für } 0,3 \leq x_{50} < 0,5 \mu\text{m} \\ 3,70 + 4,22R_a & \text{für } 0,5 \leq x_{50} < 1,0 \mu\text{m} \\ 3,02 + 4,70R_a & \text{für } 1,0 \leq x_{50} < 3,0 \mu\text{m} \end{cases}$$

Auf den untersuchten Metallproben ist die Rauheit unabhängig von dem betrachteten Partikelgrößenkanal signifikant. Mit steigender Rauheit ist ein höherer Partikelrückstand nach der Reinigung detektierbar. Je größer die betrachtete

Kontamination, umso größer ist auch der Einfluss der Rauheit. In Abbildung 55 ist der beschriebene Zusammenhang dargestellt.

Die mittlere Rauhtiefe R_a der Metalle ist i.d.R. $< 1 \mu\text{m}$. Feine Partikel könnten in den Vertiefungen zurück bleiben ohne dass sie beim Wischvorgang durch den Reinigungsschlitten erfasst werden. Größere Partikel haben eine höhere Wahrscheinlichkeit beim Wischvorgang erfasst zu werden. Der Einfluss der Rauheit ist daher deutlicher im Systemverhalten zu erkennen.

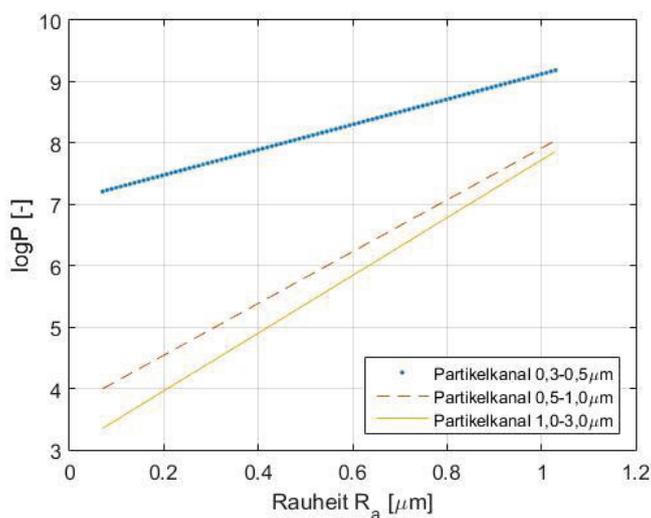


Abbildung 54: Verhaltensmodell: Restpartikelmenge auf Edelstahl

Auf den Polymerproben ist ein mehrdimensionales Verhalten bei der Reinigbarkeit festzustellen. Die Rauheit und der Benetzungswinkel haben in unterschiedlicher Ausprägung einen signifikanten Einfluss auf die Zielgröße. Die Signifikanzniveaus der Terme, die die Reinigbarkeit beeinflussen, sowie das Bestimmtheitsmaß mit der das Modell angepasst werden konnte, sind der Tabelle 19 zu entnehmen.

Größenkanal	0,3-0,5 μm	0,5-1,0 μm	1,0-3,0 μm
Term	Signifikanzniveau		
R_a [μm]	-	0,01	0,02
ϑ [°]	0,07	$1,7 \cdot 10^{-4}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
R_a^2	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$8,6 \cdot 10^{-3}$
ϑ^2	0,05	-	-
$R_a \cdot \vartheta$	$3,6 \cdot 10^{-3}$	-	-
Bestimmtheitsmaß R^2	0,99	0,98	0,97

Tabelle 19: Signifikanzniveaus auf Polymerproben

Verglichen mit den Ergebnissen der Edelstahlproben kann ein höheres Bestimmtheitsmaß bei einer höheren Fehlerwahrscheinlichkeit erreicht werden. Das Reinigungsverhalten der Polymerproben in den Größenkanälen 0,3-0,5 μm , 0,5-1,0 μm und 1,0-3,0 μm kann wie folgt beschrieben werden:

$$\log P_{\text{polymer}} = \begin{cases} 0,06\vartheta + 0,80R_a^2 + 0,00087\vartheta^2 - 0,04R_a\vartheta & \text{für } 0,3 \leq x_{50} < 0,5 \mu\text{m} \\ -4,53R_a + 0,13\vartheta + 1,11R_a^2 & \text{für } 0,5 \leq x_{50} < 1,0 \mu\text{m} \\ -4,85R_a + 0,13\vartheta + 1,12R_a^2 & \text{für } 1,0 \leq x_{50} < 3,0 \mu\text{m} \end{cases}$$

Es zeigt sich, dass der kleinste Partikelgrößenkanal ($0,3 \leq x_{50} < 0,5 \mu\text{m}$) mathematisch anders beschrieben wird, als die anderen beiden Kanäle. Am prinzipiellen Verlauf der Flächen, die den Partikelrückstand nach dem einmaligen Wischvorgang beschreiben (siehe Abbildung 55, Abbildung 56, Abbildung 57), ändert sich jedoch nichts.

Die Rauheit hat einen quadratischen Einfluss auf die Restpartikelmenge; das Minimum des Partikelrückstandes verschiebt sich vom kleinsten zum größten Partikelgrößenkanal von etwa R_a 1,4 μm nach 2,4 μm . Eine unendlich glatte Fläche ist folglich für die Reinigbarkeit einer Oberfläche nicht zuträglich. Dies kann durch den verminderten Adhäsionsabstand zwischen Partikel und Oberfläche erklärt werden, der in höheren Adhäsionskräften resultiert.

Das Benetzungsverhalten kann in allen drei Kanälen als nahezu linear angenommen werden und führt mit steigendem Benetzungswinkel zu einer steigenden Restpartikelmenge.

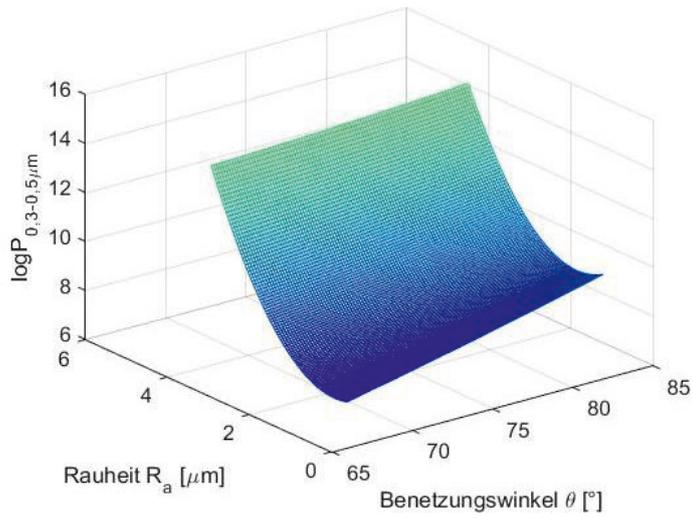


Abbildung 55: Verhaltensmodell: Restpartikelmenge auf Polymerproben im Partikelgrößenkanal 0,3-0,5 μm

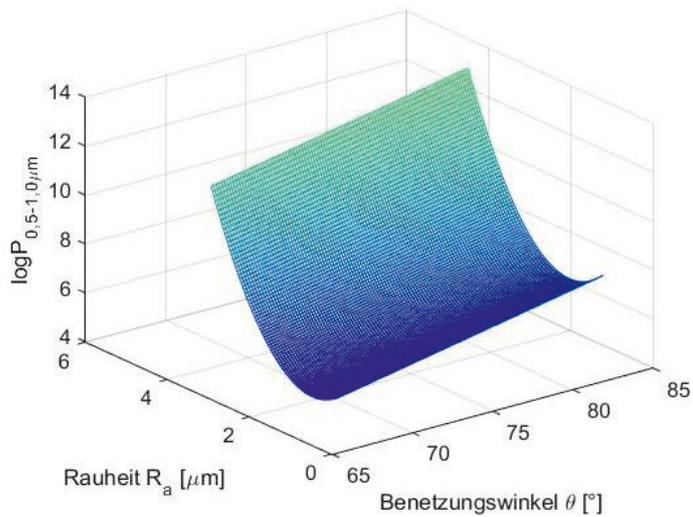


Abbildung 56: Verhaltensmodell: Restpartikelmenge auf Polymerproben im Partikelgrößenkanal 0,5-1,0 μm

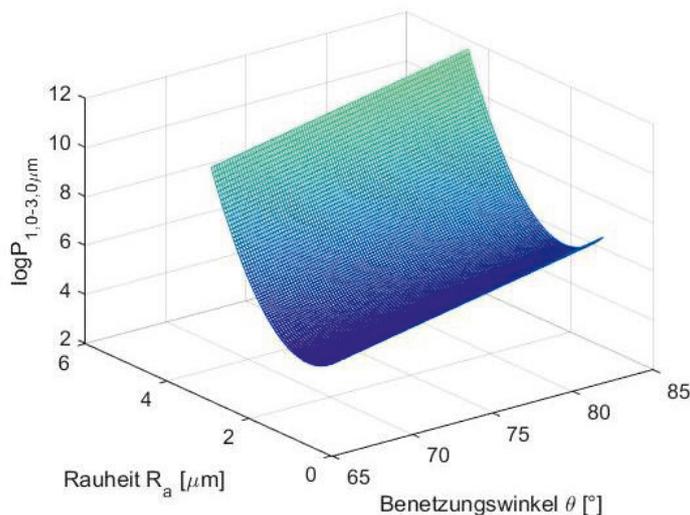


Abbildung 57: Verhaltensmodell: Restpartikelmenge auf Polymerproben im Partikelgrößenkanal 1,0-3,0 μm

In den beiden Materialgruppen (Polymer und Metall) wurden unterschiedliche Terme bei der Reinigbarkeitsuntersuchung als signifikant festgestellt. Bei den Polymerproben ist neben der Rauheit auch das Benetzungsverhalten bezüglich der Restpartikelmenge nach der Reinigung relevant. Dies kann darauf zurückgeführt werden, dass die Zusammensetzung der Polymerproben untereinander variiert und der Benetzungswinkel nicht nur durch die Rauheit, sondern wesentlich durch die abweichende freie Oberflächenenergie der Materialien beeinflusst wird. Darüber hinaus wurden in den Materialgruppen unterschiedliche Parameterspektren untersucht. Von einer Extrapolation des Modells wird abgeraten, da sich das Systemverhalten außerhalb der Grenzen grundlegend ändern kann (z.B. aufgrund physikalischer Wechselwirkungen oder Unstetigkeiten im System); somit sind die Materialgruppen untereinander nicht direkt vergleichbar.

Grundsätzlich ist festzustellen, dass idealisierte Modellvorstellungen (beschrieben z.B. in (Schubert 1979)) nicht auf die hier vorliegenden Ergebnisse anzuwenden ist. Es liegen keine ideal glatten Oberflächen und ideal runde, starre Partikel vor. Der Partikelabstand zur Oberfläche ist bei den vorliegenden Größenverhältnissen nicht mit der Rauheit gleichzusetzen, die Rauheit geht als Parameter nicht in das genannte Modell ein. Darüber hinaus handelt es sich um ein Partikelkollektiv und nicht um einzelne Partikel. Eine globale Betrachtungsweise der Versuchsergebnisse ist daher notwendig.

Umfassende und systematische Studien zur Reinigbarkeit im nicht-immernierten System mit partikulärer Kontamination sind bisher nicht durchgeführt worden. Ein

direkter Vergleich der erzielten Ergebnisse mit den vorangehenden Studien ist nicht möglich, da sich im flüssigen System andere Wechselwirkungen zwischen der Kontamination und einer Oberfläche ausbilden.

Für zukünftige Versuche sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Große Partikel ($>3,0 \mu\text{m}$) konnten mit dem hier verwendeten Gerät nicht zuverlässig detektiert werden, sodass für deren Untersuchung ein anderes Messverfahren verwendet werden sollte.
- Der Einfluss der partikulären Kontamination wurde im Rahmen dieser Versuche nicht erfasst. Da die Kontamination nicht variiert wurde, konnte kein Effekt auf die Zielgröße festgestellt werden. Für bevorstehende Versuche sind beispielsweise unterschiedliche Partikelmaterialien (Variation der Oberflächenladung) und -größen zu verwenden.
- Es besteht Bedarf hinsichtlich eines Verhaltensmodells, welches die Art und Größe der Kontamination mit einfließen lässt und die Verknüpfung der Materialgruppen untereinander herstellt. Hierfür könnte die Definition eines materialabhängigen Faktors zielführend sein.

Zusammenfassung

Die Reinigbarkeit von verschiedenen Materialien (Polymere, Metalle) mit erfassten Oberflächeneigenschaften wurde bei partikulärer Kontamination untersucht. Hierbei konnten die das Reinigungsverhalten dominierenden Einflussfaktoren bestimmt werden. Bei allen Proben hat sich eine hohe Rauheit nachteilig auf das Reinigungsergebnis ausgewirkt. Das Benetzungsverhalten, welches maßgeblich durch die freie Oberflächenenergie eines Materials bestimmt wird, ist lediglich bei den Polymerproben als signifikant eingestuft; es wird vermutet, dass die freie Oberflächenenergie an den Metallkörpern im Vergleich zu den Polymerkörpern aufgrund der konstanten Rezeptur nur marginal unterscheidet. Bei Polymerproben erschweren hohe Benetzungswinkel die Reinigbarkeit der Oberfläche.

Die qualitativen Untersuchungen zeigen, dass Fugen oder andere Materialübergänge die Reinigbarkeit deutlich erschwert. Diese sind daher möglichst zu minimieren.

3.3 Besiedlungsversuche

Die Versuche wurden in unentgeltlicher Zusammenarbeit mit der Hochschule Rhein-Waal (Fakultät Life Sciences) durchgeführt. Die Ergebnisse sind veröffentlicht:

I. Dreßler, M. Honisch, L. Ziegler, H. Budelmann, D. P. Bockmühl: „Einfluss von Material und Oberflächeneigenschaften auf die Persistenz von *Staphylococcus aureus* auf krankenhausbewohnten Oberflächen,“ in: Hyg Med 2016; 41 - 9: D131-138

Anlass und Zielsetzung

Die Nationale Punkt-Prävalenzstudie zu nosokomialen Infektionen (NI) und Antibiotika-Anwendung, der aktuellsten großen Untersuchung zum Auftreten von NI in Deutschland, stellte 2011 eine Gesamtprävalenz von NI in deutschen Krankenhäusern von 5,1 % fest. Darunter war *Staphylococcus aureus* mit 13,1 % einer der am häufigsten auftretenden Erreger (Robert Koch Institut 2011). Um geeignete Maßnahmen zur Minimierung des NI-Risikos zu treffen, müssen alle denkbaren Übertragungswege bedacht werden. Kontaminierte Oberflächen bieten ein Erregerreservoir und somit einen Übertragungsweg für NI (Boyce). Von dort können die Erreger durch direkten Kontakt oder indirekt über Dritte auf die Patienten übertragen werden (Kramer et al.). Möglicherweise könnte ein Teil der auf diesem Weg übertragenen NI durch Händedesinfektion verhindert werden. Im Krankenhausalltag wird diese jedoch nur in ca. 50 % aller Fälle, in denen sie nötig wäre, auch durchgeführt (Kampf und Kramer 2004). Eine ergänzende Präventionsmaßnahme ist somit die Flächendesinfektion, die die Anzahl der NI senken könnte (Hayden et al. 2006). In diesem Zusammenhang, insbesondere in den Zeiträumen zwischen den Desinfektionsmaßnahmen, spielt die Persistenz der Erreger auf den Oberflächen eine entscheidende Rolle: je länger Erreger auf Oberflächen persistieren, desto länger stellen sie ein Infektionsrisiko dar. Die Überlebensdauer hängt von diversen Faktoren ab, wie den Eigenschaften der Mikroorganismen selbst, vorliegenden Umweltbedingungen, wie der Luftfeuchtigkeit und der Zusammensetzung der Matrix, in die die Mikroorganismen eingebettet sind.

Es ist anzunehmen, dass auch die Beschaffenheit der Materialoberfläche, auf denen sich die Mikroorganismen befinden, die Persistenz beeinflusst. Die Datenlage zum Einfluss der Oberflächenbeschaffenheit ist jedoch nicht ausreichend, um eine gezielte Auswahl von Materialparametern, die die Persistenz verringern, zu

ermöglichen. Der Zusammenhang zwischen Oberflächeneigenschaften von Materialien und der Persistenz von Mikroorganismen wurde bisher kaum untersucht.

Ziel:

Der Einfluss der Oberflächeneigenschaften auf die Persistenz von Mikroorganismen ist zu bestimmen.

Material

Die Persistenz von *S. aureus* wurde an zwei Materialgruppen untersucht: Edelstahl (Werkstoffnummer 1.4031) und PVC. Diese Gruppen wurden gewählt, da sie vielfältige Verwendung (z. B. für Armaturen oder als Boden- und Wandbeläge in Krankenhäusern) finden und in direktem oder indirektem Kontakt zu Patienten, Personal und Besuchern stehen.

Die charakterisierenden Parameter Rauheit und Kontaktwinkel sind der Tabelle 20 zu entnehmen.

Probe	Rauheit R_a [μm]	Kontaktwinkel ϑ [$^\circ$]	Probe	Rauheit R_a [μm]	Kontaktwinkel ϑ [$^\circ$]
E1	0,90865	94,3	P3	1,84	69,9
E2	0,16095	61,7	P4	2,7	78,1
E3	0,54875	97,05	P5	3,15	77,0
E4	0,6356	110,2	P6	4,42	70,5
E5	0,4084	96,95	P7	3,43	85,1
E6	0,3632	90,45	P8	1,6	76,7
P1	0,79	93,9	P9	1,29	79,1
P2	0,95	83,4	P10	1,39	80,1

Tabelle 20: Oberflächeneigenschaften der untersuchten Probenkörper im Persistenzversuch (E=Edelstahl; P=PVC)

Methode

Vorbereitung der Probenkörper

Edelstahloberflächen wurden vor der Kontamination mit 96 % Ethanol, PVC-Probenkörper mit destilliertem Wasser gereinigt. Ober- und Unterseite der Probenkörper wurden danach für je 1 h unter der Sicherheitswerkbank in offenen Petrischalen UV-sterilisiert.

Herstellung der Keimsuspension

Je 10 mL Casein-Sojapepton-Bouillon (TSB) wurden mit einer Stammkultur von *S. aureus* (ATCC 6538) beimpft und bei 150 UpM im Inkubationsschüttler bebrütet (24 ± 4 h, 37 °C). 0,15 mL der Übernachtskultur wurden in 1,5 mL Reaktionsgefäßen zentrifugiert (15 000 g, 5 min, 15 °C). Der Überstand wurde verworfen und das Pellet wurde in 0,15 mL 0,9 % NaCl-Lösung suspendiert. Die Suspension wurde erneut zentrifugiert und der Überstand abermals verworfen. Das Pellet wurde in eine 50 mL Probenröhre überführt und in 15 mL 0,3 % boviner Serumalbumin-Lösung (BSA) suspendiert.

Kontamination und Inkubation der Probenkörper

Zur Kontamination wurde die vorbereitete Keimsuspension auf die Oberseite der Probenkörper aufgebracht: Als Stempel dienten sterile Schwammtücher (Naturfaser Schwammtücher, Kalle GmbH, Wiesbaden) von 1,5 x 1,5 cm Größe, die in einer Petrischale mit 15 mL Keimsuspension getränkt und mit einer sterilen Pinzette gewendet wurden. Der Probenkörper wurde anschließend mit der Pinzette auf den Stempel gelegt. Vor jedem weiteren Probenkörper wurden die Schwammtücher erneut gewendet. Die beimpften Probenkörper wurden mit der beimpften Seite nach oben in offenen Petrischalen bei 22 °C lichtgeschützt inkubiert. Die Luftfeuchtigkeit wurde erfasst (Temperatur-Feuchtelogger LOG 32 TH, Dostmann electronic GmbH, Wertheim).

Probenahme

Die Probenahmezeitpunkte wurden so gewählt, dass sie die Ausgangskeimzahl (0 h nach der Kontamination), die Keimzahl nach dem Trocknen (3 h) und typische Reinigungsintervalle (24, 48 und 72 h) widerspiegeln. Zu diesen Zeitpunkten wurden drei Probenkörper je Probe mit einer sterilen Pinzette in eine 50 mL Probenröhre mit 10 mL physiologischer Kochsalz-Lösung und 5 g sterilen Glasperlen (3mm Durchmesser, Soda-Kalkglas, Dragon-Werk Georg Wild, Bayreuth) gegeben und ausgeschüttelt (10 min, 400 UpM, 15 °C). Die Keimzahlbestimmung in der

Extraktionsflüssigkeit erfolgte mittels Oberflächenverfahren auf Casein-Sojapepton-Agar nach Erstellen einer dezimalen Verdünnungsreihe. Nach Inkubation (24 ± 4 h, 37 °C) wurden für die Auswertung Platten mit 1 - 300 Kolonien herangezogen. Wurden zu einem Zeitpunkt auf einer Oberfläche keine Keime mehr nachgewiesen, wurden - unter der Annahme, dass die Keimzahl nicht wieder ansteigt - keine weiteren Bestimmungen durchgeführt. Zusätzlich wurde für ausgewählte Proben - je sechs PVC- (P1-3, P6, P8, P10) und Edelstahlproben (E1-E6) eine unabhängige Wiederholung, wieder mit drei Replikaten je Probenahmezeitpunkt durchgeführt.

Sterberate

Um einen Vergleich mit anderen bisher durchgeführten Studien zu ermöglichen, wurde die Persistenz von *S. aureus* für jeweils sechs Oberflächentypen pro Materialgruppe über die Sterberaten bewertet, wobei sich die Sterberate umgekehrt reziprok zur Persistenz verhält. Zur Bestimmung der Sterberate wird eine einfache Regression durch die Keimzahl b auf den Probenkörpern in Abhängigkeit der Zeit t [h] durchgeführt. Die Steigung der Regressionsgeraden gibt dabei die Sterberate k [h^{-1}] an:

$$b(t) = k \cdot t + b_0$$

Modellbildung

Für das untersuchte System wurden drei Faktoren betrachtet: die Rauheit R_a [μm] des Materials, der Benetzungswinkel ϑ [°] bei destilliertem Wasser und die Zeit t [h]. Als Zielgröße wurden die logarithmierten koloniebildenden Einheiten $\log(\text{KBE})$ definiert. Mögliche Störgrößen sind die relative Luftfeuchte [%] oder die Temperatur [°C], welche zur Vermeidung von ungewollten Einflüssen während der Versuche weitgehend konstant gehalten wurden (Temperatur: 22 ± 1 °C, Luftfeuchtigkeit: 25 - 50 %).

Es wurde zunächst untersucht, ob die drei definierten Faktoren (R_a , ϑ und t) einen Effekt auf das System haben und zu einer mittleren Veränderung der Zielgröße führen, um darauf basierend ein valides Vorhersagemodell zur Persistenz von *S. aureus* auf verschiedenen Oberflächen zu bilden. Bei Haupteffekten und Wechselwirkungen sollte die Wirkung auf die Zielgröße quantifiziert werden.

Die Modellbildung erfolgt analog dem Vorgehen bei der Reinigbarkeit.

Ergebnisse und Diskussion

Die Ergebnisse der Keimzahlbestimmung an den Edelstahl- und PVC-Proben können Abbildung 58 und Abbildung 59 entnommen werden. Es sind jeweils die logarithmierten Mittelwerte und Standardabweichungen zu den

Probenahmezeitpunkten (0, 3, 24 und 72 h) dargestellt. Initial (Zeitpunkt $t = 0$ h) wurden etwa $4 \cdot 10^4$ bis $5 \cdot 10^4$ KBE auf die Probenkörper aufgetragen. Im Zeitverlauf reduzierte sich die Keimzahl so stark, dass teilweise keine Keime mehr nachweisbar waren ($\log(1) = 0$). An sechs Edelstahl- und sechs PVC-Proben wurden je untersuchtem Zeitpunkt bei der Probenahme sechs unabhängige Wiederholungen zur Keimzahlbestimmungen durchgeführt, an vier PVC-Proben (P4, P5, P7 und P9) wurden je untersuchtem Zeitpunkt drei unabhängige Wiederholungen durchgeführt. Tabelle 21 zeigt die für diese Proben ermittelte Sterberate von *S. aureus*; weiterhin ist das Bestimmtheitsmaß R^2 und die t-Statistik, welche die Eignung der linearen Regression beschreiben, angegeben.

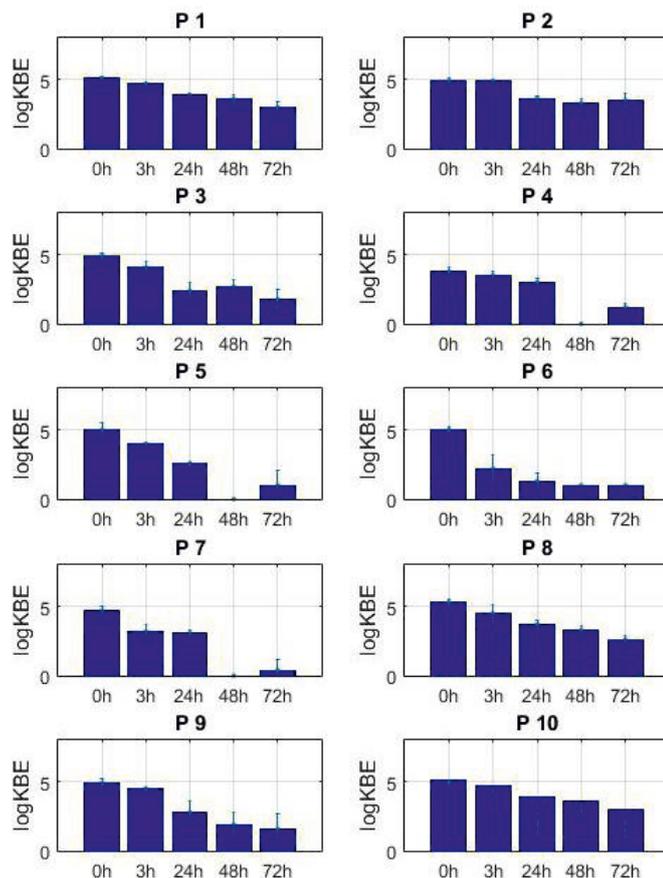


Abbildung 58: Logarithmierte Keimzahl von *S. aureus* zur Inkubationszeit t auf den PVC-Probekörpern P1 bis P10

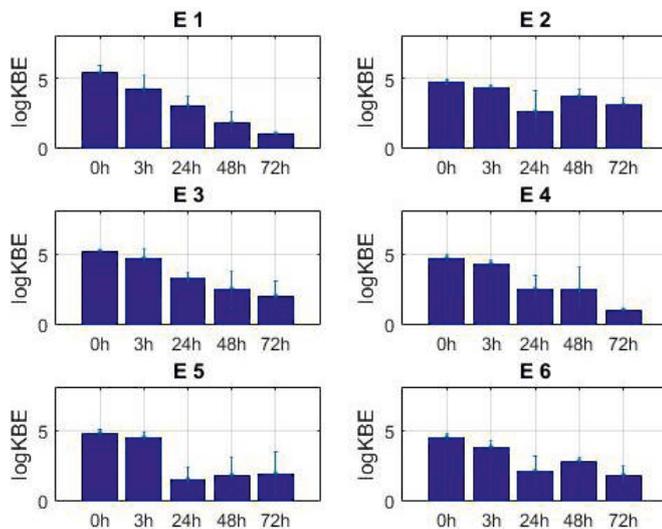


Abbildung 59: Logarithmierte Keimzahl von *S. aureus* zur Inkubationszeit t auf den Edelstahl-Probekörpern E1 bis E6

Material- gruppe	k Sterberate [h ⁻¹] (95 % Konfidenzintervall)	R^2	t -Statistik p -Wert
E 1	-0,057226 (-0,07082, -0,04363)	0,785	$1,8938 \cdot 10^{-08}$
E 2	-0,025146 (-0,03202, -0,01827)	0,676	$4,545 \cdot 10^{-08}$
E 3	-0,041759 (-0,05235, -0,03117)	0,743	$3,0745 \cdot 10^{-08}$
E 4	-0,034785 (-0,05136, -0,01821)	0,476	0,00027217
E 5	-0,033454 (-0,05118, -0,01573)	0,451	0,00085988
E 6	-0,034775 (-0,04549, -0,02406)	0,673	$9,178 \cdot 10^{-07}$
P 1	-0,02689 (-0,03131, -0,02247)	0,847	$6,2052 \cdot 10^{-13}$
P 2	-0,021585 (-0,02872, -0,01445)	0,578	$1,0805 \cdot 10^{-06}$
P 3	-0,039100 (-0,0477, -0,0305)	0,763	$6,1057 \cdot 10^{-10}$
P 6	-0,10248 (-0,1786, -0,02633)	0,444	0,012933
P 8	-0,035245 (-0,04656, -0,02393)	0,612	$8,8229 \cdot 10^{-07}$
P 10	-0,035558 (-0,04641, -0,02471)	0,666	$6,4867 \cdot 10^{-07}$

Tabelle 21: Sterberate von *S. aureus* auf ausgewählten Proben

Die Sterberaten der Edelstahloberflächen reichten von der längsten Persistenz mit $-0,025146 \log(\text{KBE})/\text{h}$ bis zur kürzesten Persistenz mit $-0,057226 \log(\text{KBE})/\text{h}$. Bei den PVC-Proben lagen die Sterberaten zwischen $-0,021585 \log(\text{KBE})/\text{h}$ bis $-0,10248 \log(\text{KBE})/\text{h}$. Abbildung 60 zeigt die Sterberaten aufgetragen gegen die Rauheit für die beiden Materialgruppen Edelstahl und PVC. Innerhalb der Materialgruppen hatten Proben mit großem R_a -Wert tendenziell höhere Sterberaten als Proben mit kleinem R_a -Wert.

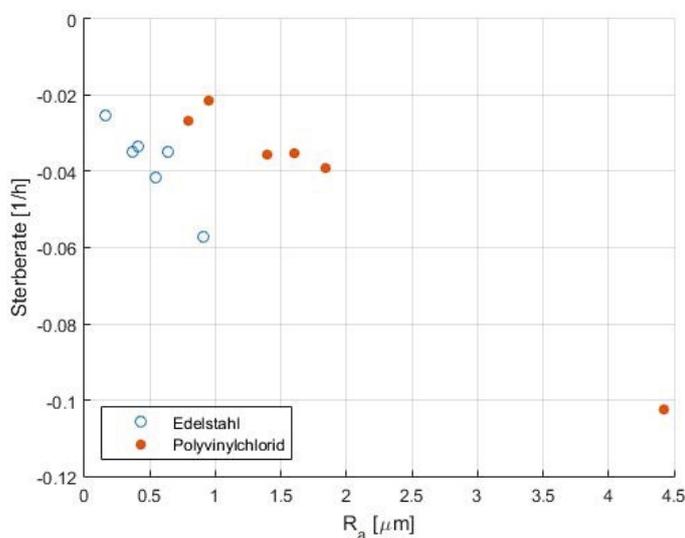


Abbildung 60: Sterberate von *S. aureus* auf verschiedenen Materialien in Abhängigkeit von der Rauheit R_a

Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde je Materialgruppe ein Verhaltensmodell entwickelt, welches in Abhängigkeit von den Oberflächeneigenschaften (Rauheit und Benetzungsverhalten) einer Probe die KBE zu einem bestimmten Zeitpunkt abschätzt.

PVC-Probekörper

Aus den in Abbildung 15 dargestellten Ergebnissen folgt durch die Varianzanalyse mit Cornerstone das Verhaltensmodell für die PVC-Probekörper ($R^2 = 0,82$):

$$\log(\text{KBE}) = 6,21264 - 0,652242 \cdot R_a - 0,0840552 \cdot t + 0,000674834 \cdot t^2$$

Dieses Modell ist in Abbildung 61 graphisch als Fläche dargestellt. Die Signifikanzniveaus der in obigen Gleichung aufgeführten Terme und Koeffizienten sind in Tabelle 22 aufgeführt.

Term	Signifikanzniveau
Konstante	0
R_a	$1 \cdot 10^{-5}$
Zeit t	$6 \cdot 10^{-4}$
$(\text{Zeit } t)^2$	0,03

Tabelle 22: Signifikanzniveaus der untersuchten, relevanten Einflussfaktoren bei PVC-Probenkörpern

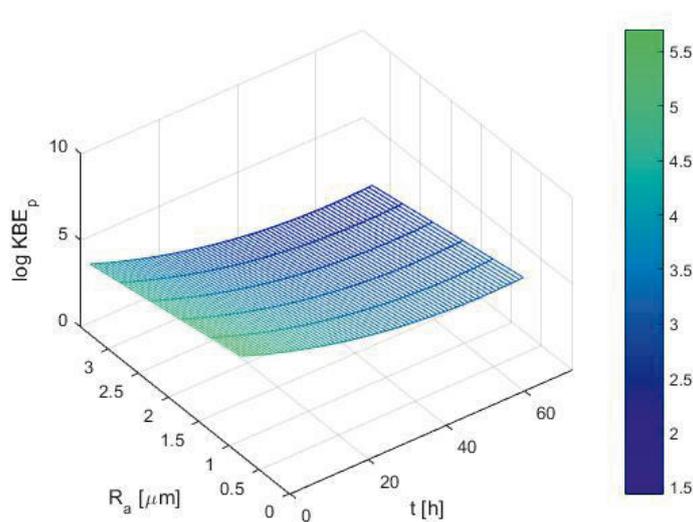


Abbildung 61: Verhaltensmodell der Persistenz von *Staphylococcus aureus* auf PVC-Probenkörpern zur Beschreibung der Keimzahl ($\log KBE$) in Abhängigkeit von Rauheit (R_a) und Zeit (t)

Dieses Verhaltens-Modell bestätigt, dass die Rauheit eines Materials einen signifikanten Einfluss auf die Persistenz von Mikroorganismen auf PVC hat. Mit zunehmender Rauheit verkürzt sich die Überlebensdauer auf Oberflächen. Darüber hinaus beeinflusst auch die Zeit die Persistenz von Mikroorganismen signifikant. Je länger die Mikroorganismen auf einer unbelebten Oberfläche verbleiben, umso weniger überleben.

Edelstahl

Zur Beschreibung des Persistenzverhaltens von Mikroorganismen auf Edelstahl-Oberflächen kann folgendes Verhaltensmodell gebildet werden ($R^2 = 0,855$).

$$\text{Log}(KBE) = 6,84382 - 9,69123 \cdot R_a + 0,104381 \cdot R_a \cdot t - 0,00027 \cdot t^2 - 0,0464224 \cdot t$$

Diesem Verhaltensmodell liegen die in Abbildung 61 dargestellten Ergebnisse zugrunde. Die Signifikanzniveaus der in der Gleichung aufgeführten Terme und Koeffizienten sind in Tabelle 23 aufgeführt.

Term	Signifikanzniveau
Konstante	$1 \cdot 10^{-7}$
R_a	0,096
$R_a \cdot \vartheta$	0,1
ϑ^2	0,048
Zeit t	$3 \cdot 10^{-11}$

Tabelle 23: Signifikanzniveaus der untersuchten, relevanten Faktoren bei Edelstahloberflächen

Wie bei den PVC-Probenkörpern wurde ein signifikanter Einfluss der Rauheit festgestellt. Eine zunehmende Oberflächenrauheit reduzierte die Persistenz der sich auf dem Material befindlichen Mikroorganismen. Kontaktwinkel von etwa 90° maximieren die Überlebensdauer der Keime. Mit fortschreitender Zeit waren auch bei den Edelstählen weniger KBE auf den Oberflächen nachzuweisen. Da das Persistenzverhalten von *S. aureus* auf Edelstahloberflächen auf Grund der Vielzahl der Einflussfaktoren nicht im dreidimensionalen Raum darstellbar ist, wurde zur grafischen Darstellung ein Benetzungswinkel von 80° angenommen (Abbildung 62).

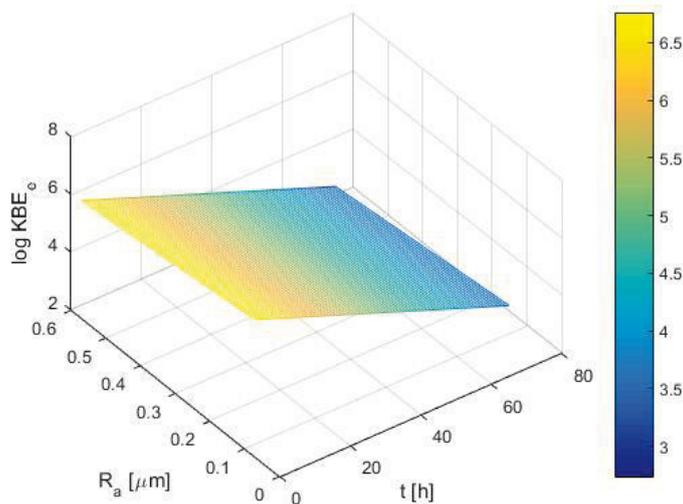


Abbildung 62: Verhaltensmodell der Persistenz von *Staphylococcus aureus* auf Edelstahloberflächen zur Beschreibung der Keimzahl (logKBE) in Abhängigkeit von Rauheit (Ra) und Zeit (t) mit dem Benetzungswinkel $\vartheta = 80^\circ$

Die Abhängigkeit der Persistenz auf trockenen Oberflächen vom Material, wie sie in vorherigen Studien beobachtet wurde (Kramer et al.; Neely; Webser et al. 2000), konnte anhand der in dieser Studie ermittelten Sterberaten von *S. aureus* für PVC und Edelstahl bestätigt werden. Die Sterberaten der PVC-Proben waren tendenziell kleiner als die der Edelstahloberflächen. Bei den Proben E5 und P1, die einen ähnlichen R_a -Wert aufweisen (Differenz $0,0044 \mu\text{m}$) war die Sterberate auf der PVC-Probe P1 um $0,006564 \log(\text{KBE})/\text{h}$ kleiner als auf der Edelstahloberfläche E5. Dies bedeutet, dass bei einer Ausgangskeimzahl von 10^5 KBE/Probenkörper *S. aureus* auf der PVC-Probe 36 h länger überleben würde als auf einer vergleichbaren Edelstahloberfläche.

Es wurde darüber hinaus gezeigt, dass auch die Oberflächeneigenschaften Rauheit und Benetzbarkeit die Persistenz von *S. aureus* beeinflussen. Dies könnte auch die Inkonsistenzen in bisherigen Studien (Kramer et al.) zur Persistenz auf unterschiedlichen Materialien erklären. In zukünftigen Versuchen sollten die Oberflächeneigenschaften daher immer mitbestimmt werden, um nicht erklärbare Effekte zu vermeiden. Studien von Pérez et al. und Neely bestätigen eine verlängerte Persistenz von Bakterien auf PVC (Neely). Webster et al. beobachteten jedoch eine längere Persistenz von *S. aureus* und *A. baumannii* auf Edelstahl, als auf Formica-Laminat (Webser et al. 2000). Wagenvoort et al. stellten eine noch kleinere Sterberate $-0,0016 \log(\text{KBE})/\text{h}$ in Flaschen fest (Wagenvoort et al. 2000). Dies kann auf die dort höhere Ausgangskeimzahl (10^9 KBE/Probenkörper) und das langsamere Eintrocknen über 10

Tage zurückgeführt werden. Auch diese Abweichungen zeigen, wie wichtig es ist, Randbedingungen bei der Bestimmung der Persistenz möglichst umfassend zu kontrollieren oder aufzuzeichnen.

Beim Vergleich der beiden Modelle für die Persistenz von *S. aureus* für die unterschiedlichen Materialgruppen ist auffällig, dass nicht die gleichen Terme in gleicher Ausprägung signifikant sind: bei beiden Materialgruppen ist der Einfluss der Zeit signifikant. Während der Benetzungswinkel nicht in das Verhaltensmodell für PVC eingeht, übt dieser Faktor einen signifikanten Einfluss auf die Persistenz von *S. aureus* auf Edelstahl aus. Wie die Zeit ist auch die Rauheit ein signifikanter Einflussfaktor für die Persistenz auf beiden Materialgruppen, jedoch ist bei der Rauheit das Signifikanzniveau im Modell für PVC wesentlich höher als im Modell für Edelstahl. Diese Unterschiede könnten auch auf die unterschiedlichen Parameterbereiche der beiden Gruppen zurückzuführen sein. Durch eine Erweiterung des Parameterbereichs bei den Edelstahlproben (z. B. größere Rauheit) könnte in zukünftigen Untersuchungen möglicherweise eine höhere Signifikanz bei diesem Einflussfaktor festgestellt werden. Darüber hinaus entstehen zwischen den jeweiligen Probengruppen und den Keimen unterschiedliche zwischenmolekulare Wechselwirkungen, die einen Effekt auf die Persistenz haben könnten. Zudem besteht die Möglichkeit, dass hier noch nicht berücksichtigte Faktoren ebenfalls einen signifikanten Effekt haben. Denkbare weitere Einflussfaktoren sind Weichmacher oder durch *S. aureus* metabolisierbare Bestandteile in den PVC-Proben. Es ist davon auszugehen, dass die getesteten elastischen Beläge individuelle Rezepturen besitzen. Hauptbestandteil der untersuchten Proben war immer PVC; Weichmacher, Farbstoffe oder andere Füllstoffe können jedoch variieren. Den potentiellen Einfluss dieses Faktors verdeutlicht Probe P6, die eingestreute Partikel an der Oberfläche aufwies. Auf dieser Probe hatte *S. aureus* mit $0,10248 \log(\text{KBE})/\text{h}$ eine deutlich größere Sterberate als auf den anderen Probenkörpern ($-0,021585 \log(\text{KBE})/\text{h}$ bis $-0,03910 \log(\text{KBE})/\text{h}$). Während die Zusammensetzung der Edelstahl-Probenkörper genormt und somit vergleichbar ist, ist bei den elastischen Proben auch die Rezeptur der jeweiligen Probe zu berücksichtigen. Das hohe Bestimmtheitsmaß der Modelle zeigt jedoch, dass bereits eine sehr gute Anpassung an das Verhalten der Mikroorganismen gefunden wurde. Allgemein kann eine Extrapolation des Modells außerhalb des untersuchten Parameterraums nicht empfohlen werden, weil sich das Systemverhalten grundlegend (z. B. physikalische Wirkung oder Unstetigkeit im System) ändern könnte.

Im untersuchten Parameterspektrum sind raue Materialien einer geringeren Persistenz zuträglich. Unter diesem Aspekt kann es sinnvoll sein, im Krankenhaus raue Materialien zu wählen. Allerdings könnten andere Eigenschaften, wie beispielsweise die Reinigbarkeit der Materialien, bei großer Rauheit beeinträchtigt werden. Dies könnte

die Grundlage für eine Nährstoffmatrix bieten, die die Persistenz wiederum erhöht (Neely und Maley 2000). Kunststoffe wie PVC oder andere Polymere weisen zudem aufgrund von chemischen (z. B. Reinigungsmittel), mechanischen oder thermischen Einwirkungen Alterungserscheinungen auf. Dies kann u. a. Risse, Quellung oder Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Kunststoffes verursachen (Domininghaus et al. 2008). Es ist daher davon auszugehen, dass sich die Rauheit und das Benetzungsverhalten im Laufe der Nutzungsphase verändern, was sich folglich auch auf die Persistenz auswirken dürfte. Dies ist durch Persistenzbestimmungen an künstlich gealterten PVC-Probenkörpern zu untersuchen. Darüber hinaus ist zu beachten, dass die hier verwendete Methode so gestaltet wurde, dass die Ergebnisse reproduzierbar sind. Dies entspricht nicht zwingend den realen Bedingungen, die auf krankenhausblichen Oberflächen vorherrschen, wurde aber bestmöglich durch die gewählten Randbedingungen nachgeahmt. Die Persistenz von *S. aureus* kann daher unter tatsächlichen Bedingungen von den hier ermittelten Ergebnissen abweichen. Die Ursache für die geringere Persistenz auf Oberflächen mit größerer Rauheit konnte durch diese Arbeit nicht geklärt werden.

Es bleibt zu untersuchen, ob andere Mikroorganismen ein ähnliches Verhalten auf den Materialien aufweisen. Denkbar ist, dass sich bestimmte Stämme entgegen der Feststellung dieser Studie verhalten. Dies könnte Ausbruchstämmen aus trockenen Isolationsquellen betreffen, die in vorherigen Studien eine erhöhte Persistenz auf trockenen Oberflächen aufwiesen (Wagenvoort et al. 2000; Wendt et al.). Weiterhin könnte das Verhältnis von Zellgröße und -morphologie zu Rauheit einen Einflussfaktor auf die Persistenz darstellen, da dies wesentlich den Kontakt zur Oberfläche bestimmt. Während die Rautiefe der Edelmehle etwa der Keimgröße entsprach, war sie bei den PVC-Proben deutlich größer. Ferner könnte die Persistenz durch die Oberflächenladung eines Keimes beeinflusst werden - dies bedarf jedoch weiterer Untersuchungen.

Die festgestellten Abweichungen bei den PVC-Probenkörpern unterschiedlicher Hersteller werfen zudem die Frage auf, wie sich unterschiedliche Rezepturen des PVCs auf die Persistenz auswirken. So könnte es möglich sein, durch den Einsatz bestimmter Weichmacher oder Füllstoffe elastische Beläge herzustellen, um die Persistenz von Mikroorganismen auf diesen Oberflächen gezielt zu verkürzen.

Zusammenfassung

Die Minimierung mikrobieller Kontaminationen, die auf Oberflächen in Krankenhäusern ein Erregerreservoir darstellen, ist eine wichtige Maßnahme zur Reduzierung des Risikos einer nosokomialen Infektion. Neben regelmäßiger Flächendesinfektion könnte auch die Wahl geeigneter Materialien einen Beitrag zur Senkung dieses Risikos leisten. Die Datenlage zur Persistenz von verschiedenen Mikroorganismen auf unterschiedlichen Materialien ist allerdings inkonsistent und der Einfluss von Oberflächeneigenschaften weitgehend unerforscht. Daher die Persistenz von *Staphylococcus aureus* auf krankenhausbewährten Oberflächen untersucht. Polyvinylchlorid (PVC)- und Edelstahl-Probekörper unterschiedlicher Rauheit und Benetzbarkeit wurden mit *S. aureus* in einer Matrix aus bovinem Serumalbumin inokuliert und für 72 h inkubiert. Die Verläufe der verbleibenden Keimzahlen über die Inkubationszeit bestätigen den Einfluss des Materials auf die Persistenz. Durch Bildung eines Verhaltensmodells für die jeweiligen Materialien wurden für PVC die Rauheit und für Edelstahl Rauheit und Benetzbarkeit als Einflussgrößen festgestellt. Im beobachteten Parameterbereich führt eine hohe Rauheit zu einer niedrigeren Persistenz. Die Anwendung dieser Erkenntnisse zur Auswahl optimaler Materialien in Krankenhäusern erfordert weitere Untersuchungen, da die Oberflächeneigenschaften auch die Gebrauchseigenschaften der Materialien bestimmen.

Hinweis zu weiteren Persistenzuntersuchungen

Tastversuche haben gezeigt, dass neben den Oberflächeneigenschaften insbesondere das Grundmaterial einen wesentlichen Einfluss auf die Persistenz von Mikroorganismen hat. So zeigte sich beispielsweise an einer Kupferprobe eine deutliche Reduktion der Keimzahl (*S. aureus*) verglichen mit einer Edelstahlprobe. Darüber hinaus zeigte sich in Tastversuchen, dass unterschiedliche Erreger (*A. baumannii*, *Ps. Aeruginosa*, *C. Albicans*) auf der gleichen Oberfläche unterschiedliches Persistenzverhalten aufweisen. Der Fokus wurde im Rahmen dieses Projektes auf den Einfluss der Oberflächeneigenschaften gelegt, sodass die Ergebnisse der genannten Vorversuche dem Anhang zu entnehmen sind.

4 Arbeitspakete HYGIENE

Einführung

Die Prävention nosokomialer Infektionen ist von hoher Bedeutung für den Schutz der Patienten (WHO 2009). In einer Punkt-Prävalenzstudie in dreißig europäischen Ländern mit 947 Krankenhäusern und 231.459 eingeschlossenen Patienten wurde zwischen 2011 und 2012 der European Centers for Disease Prevention and Control (ECDC) eine Prävalenz von 5,7% für Patienten mit nosokomialen Infektionen gefunden (ECDC,2013). Auf nationaler Ebene zeigten Behnke *et al.* 2013 in ihrer Studie mit 132 Krankenhäusern und 41.539 Patienten eine Prävalenz von 5,1% für Patienten mit nosokomialen Infektionen in Deutschland (Behnke, Hansen *et al.* 2013). Präventionsmaßnahmen setzen auch bei der Vermeidung der Transmission von Infektionserregern an. Hierbei tritt die Erforschung baulicher Elemente auf Stationen im Zusammenhang mit der Transmissionsprävention von Infektionserregern mehr in den Vordergrund (Hall and Kamerow 2013). Aktuell ist die Evidenzlage für den Zusammenhang von Krankenhausarchitektur und Infektionskontrolle allerdings noch nicht ausreichend, um sichere Schlussfolgerungen daraus zu ziehen. Aus diesem Grund soll diese Arbeit systematisch Studien zu diesem Thema identifizieren, kritisch bewerten und nach Möglichkeit in eine Metaanalyse einschließen. Zusätzlich soll die bauliche Ist-Situation in deutschen Krankenhäusern erfasst und anschließend eine Assoziation zwischen den Ergebnissen und Infektionsdaten des Krankenhaus-Infektions-Surveillance-Systems (KISS) durchgeführt werden.

4.1 Systematisches Review

Methodik:

Wir führten eine Datensuche zu Studien durch, die den Einfluss eines unmittelbar erreichbar lokalisierten Händedesinfektionsmittelspenders im Patientenzimmer auf die Handhygiene-Compliance untersuchen (Thema 1). Zum anderen wurden Studien recherchiert, die den Einfluss von Einbettzimmern (Thema 2) und Patientenzimmergröße bzw. den Abstand zwischen Patientenbetten (Thema 3) auf nosokomiale Kolonisations- und Infektionsraten untersuchen.

Die systematische Suche erfolgte auf den Medline (via Pubmed), EMBASE (via OvidSP) und Cochrane Central Register of Controlled Trials (Central) Datenbanken. Wir überprüften Reviews, systematische Review-Artikel sowie ihre jeweiligen Referenzlisten manuell nach geeigneten Artikeln, die bei der elektronischen

Literatursuche eventuell nicht eingeschlossen waren. Wir suchten nach Volltext-Artikeln auf Englisch, Deutsch, Französisch oder Spanisch. Es wurden alle Studien mit Bezug zur Fragestellung eingeschlossen, die zwischen dem 1. Januar 1990 bis zum 31.12.2015 veröffentlicht wurden. Ausgeschlossen wurden Studien, die entweder irrelevant für unsere Fragestellung, nicht in einer der gewählten Sprachen verfasst war, der Volltext auch nach Kontaktaufnahme zu den Autoren nicht verfügbar war, die Duplikate waren oder über dieselben Daten berichteten, Ausbruchsberichte oder Konferenzabstrakte. Ebenso wurden Studien, die in Pflegeeinrichtungen durchgeführt worden sind, nicht eingeschlossen. Letztendlich wurden auch Briefe an den Herausgeber, Review-Artikel und Empfehlungen ausgeschlossen.

Ergebnisse:

Thema 1: unmittelbar erreichbare Lokalisation des Händedesinfektionsmittelspenders und Handhygiene-Compliance

Drei Studien konnten in das Review eingeschlossen werden (Tabelle 24). Birnbach und Kollegen beobachteten die Handhygiene-Compliance von 52 freiwillig teilnehmenden Ärzten in einem Patientenzimmer-Replikation (Birnbach, Nevo et al. 2010). Es erfolgte eine zufallsgenerierte Verteilung in zwei gleich große Gruppen. Während Gruppe 1 ein Händedesinfektionsmittelspender direkt neben dem Patientenbett zur Verfügung gestellt wurde, befand sich der Spender in Gruppe 2 neben der Eingangstür gegenüber vom Patientenbett. Die Compliance-Rate der beiden verglichenen Gruppen zeigte einen signifikanten Unterschied: 14 der 26 Ärzte in Gruppe 1 (53,8%) mit dem Spender direkt am Patientenbett führten die Handhygiene durch im Gegensatz zu 3 von 26 Ärzten in Gruppe 2 (11,5%), die vom Spender gegenüber vom Patientenbett Gebrauch machten.

Giannitsioti und Kollegen untersuchten die Handhygiene-Compliance auf zwei internistischen Abteilungen. (Giannitsioti, Athanasia et al. 2009) In Abteilung A waren die Patientenbetten mit einem direkt am Bett befestigten Desinfektionsmittelspender ausgestattet. In Abteilung B befanden sich die Desinfektionsmittelspender an den Zimmerwänden. Es wurde die Anzahl aller Indikationen für Händehygiene und durchgeführten Indikationen über den Zeitraum eines Monats anonym festgehalten. Nachdem Abteilung B auch mit Spendern am Patientenbett ausgestattet worden war, wurde die Handhygiene erneut in beiden Abteilungen erfasst. In Abteilung B zeigte sich eine Verbesserung der Compliance-Rate von 36,4% auf 51,5%, während die Compliance-Rate in Abteilung A fast gleich blieb (36,4% vs. 35,9%).

Thomas und Kollegen beobachteten den durchschnittlichen täglichen Desinfektionsmittel-Verbrauch über drei Zeiträume. 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. Der Verbrauch belief sich auf durchschnittlich 188,8g täglich. Darauf folgte eine erste experimentelle Phase über 93 Tage auf einer neu gebauten Intensivstation, auf der an jedem Patientenbett eine Trapezstange mit einem Spender befestigt war. Der in diesem Zeitraum gemessene tägliche Desinfektionsmittelverbrauch zeigte eine signifikante Verbesserung im Vergleich zur Kontrollphase.

Thema 2: Einbettzimmer und nosokomiale Kolonisations- und Infektionsraten

Neun Studien, die Einbettzimmer im Vergleich zu Mehrbettzimmern oder offenen Stationen bezüglich des Erwerbs von nosokomialen multiresistenten Erregern oder Infektion untersuchten, konnten identifiziert werden (McManus, Mason et al. 1994, Mulin, Rouget et al. 1997, Ben-Abraham, Keller et al. 2002, Vietri, Dooley et al. 2004, Bracco, Dubois et al. 2007, Levin, Golovanevski et al. 2011, Ellison, Southern et al. 2014, Julian, Burnham et al. 2015, Lazar, Abukaf et al. 2015, Tabelle 24). Die untersuchten Endpunkte dieser neun Studien waren Sepsis, beatmungsassoziierte Pneumonie, untere Atemwegsinfektion, gastrointestinale Infektion, Augeninfektion und Harnwegsinfektion. Die Studien wurden in den Vereinigten Staaten (McManus, Mason et al. 1994, Vietri, Dooley et al. 2004, Julian, Burnham et al. 2015), Kanada (Bracco, Dubois et al. 2007, Ellison, Southern et al. 2014), Israel (Ben-Abraham, Keller et al. 2002, Levin, Golovanevski et al. 2011, Lazar, Abukaf et al. 2015) und Frankreich (Mulin, Rouget et al. 1997) durchgeführt. Alle bis auf eine Studie fanden auf Intensivstationen statt (siehe Tabelle 24). Die untersuchte Intervention war die Implementierung von Einbettzimmern aufgrund einer Stationsrenovierung oder Umzug der Station in ein neues Gebäude. Während drei Studien die Daten der Interventions- und Kontrollgruppe gleichzeitig erhoben, untersuchten die anderen Studien die gleiche Station vor und nach der baulichen Veränderung (Bracco, Dubois et al. 2007, Ellison, Southern et al. 2014, Julian, Burnham et al. 2015). Zusätzlich definierten drei Studien nosokomiale Infektionen als Fälle, die im Zeitraum ab 72 Stunden nach Patientenaufnahme auftraten im Gegensatz zum Zeitraum ab 48 Stunden nach Patientenaufnahme (Vietri, Dooley et al. 2004, Ellison, Southern et al. 2014, Julian, Burnham et al. 2015).

Sechs Studien zeigten einen signifikanten Vorteil von Einbettzimmern für das geringere Auftreten von nosokomialen Kolonisationsraten mit multiresistenten Erregern und Infektionsraten (Ben-Abraham, Keller et al. 2002, McManus, Mason et al. 1994, Mulin,

Rouget et al. 1997, Bracco, Dubois et al. 2007, Levin, Golovanevski et al. 2011, Lazar, Abukaf et al. 2015). Dagegen zeigten sich Einbettzimmer in drei Studien weder als schützender Faktor noch als Risikofaktor für Kolonisations- und Infektionsraten (Vietri, Dooley et al. 2004, Ellison, Southern et al. 2014, Julian, Burnham et al. 2015).

Die Metaanalyse dieser neun Studien zeigte einen signifikanten Vorteil von Einbettzimmern verglichen zu Mehrbettzimmern oder offenen Stationen bezüglich der nosokomialen Kolonisationsrate mit multiresistenten Erregern und Infektionsrate (Relatives Risiko (RR):0,55; 95% Konfidenzintervall (KI):0,41-0,74, Abbildung 64). Die separate Metaanalyse von zwei Studien, die explizit die Kolonisation mit multiresistenten Erregern untersuchten, zeigte einen signifikanten Vorteil der Einbettzimmer (RR:0,51; 95%KI:0,31-0,85, Abbildung 65). Sechs Studien, die den Endpunkt Sepsis untersuchten, wurden ebenfalls separat analysiert (McManus, Mason et al. 1994, Ben-Abraham, Keller et al. 2002, Bracco, Dubois et al. 2007, Levin, Golovanevski et al. 2011, Julian, Burnham et al. 2015, Lazar, Abukaf et al. 2015). Während drei der Studien ein niedrigeres Auftreten der nosokomialen Sepsisrate 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 Sepsisrate (RR:0,64; 95%KI:0,53-0,76, Abbildung 63 Abbildung 65)

Insgesamt gesehen zeigt sich, dass die Versorgung der Patienten im Einbettzimmer einen Vorteil aufweist für die Verringerung der nosokomialen Kolonisationsraten mit multiresistenten Erregern sowie Infektionsraten verglichen zur Patientenversorgung im Mehrbettzimmer oder auf offenen Stationen (Abbildung 63, Abbildung 64, Abbildung 65).

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

Es wurden drei Studien identifiziert, die in das Review eingeschlossen werden konnten (Yu, Xie et al. 2007, Jones, Kuschel et al. 2012, Jou, Ebrahim et al. 2015, Tabelle 24). Während die erste Studie den Endpunkt Spät-Sepsis auf einer neonatologischen Intensivstation in Australien beschrieb, untersuchte die zweite Studie *Clostridium difficile* (*C. difficile*) Infektionen in einer Universitätsklinik in den Vereinigten Staaten (Jones, Kuschel et al. 2012, Jou, Ebrahim et al. 2015). In der dritten Studie wurde die Inzidenz des Schweren Akuten Respiratorischen Syndroms (SARS) in 26 verschiedenen Krankenhäusern in China gemessen. (Yu, Xie et al. 2007)

Jones und Kollegen verglichen die Spät-Sepsisraten vor und nach Renovierung der neonatologischen Abteilung (Jones, Kuschel et al. 2012). Daten von Juli bis Dezember

2007 wurden retrospektiv für die Kontrollgruppe auf dem alten Campus analysiert sowie prospektiv von Juli bis Dezember 2008 für die Interventionsgruppe auf dem neuen Campus. Die Fläche pro Inkubator erhöhte sich von 7,6m² auf 17,4m² auf der neuen Intensivstation sowie von 4,8m² auf 10,7m² auf der neuen Neugeborenenstation. Die Autoren stellten fest, dass in der Kontrollgruppe 44 von 149 Säuglingen (29,5%), in der Interventionsgruppe dagegen 34 von 152 Säuglingen (22,4%) eine klinische Infektion aufwiesen (Odds Ratio (OR):0,69; 95%KI:0,41-1,16). Episoden einer bestätigten klinischen Infektion, als Anteil aller septischen Episoden, zeigten sich signifikant häufiger auf dem alten im Vergleich zum neuen Campus (OR:0,58; 95%KI:0,34-0,99).

Jou und Kollegen untersuchten den Zusammenhang zwischen Patientenzimmergröße und Auftreten nosokomialer Infektion mit *C. difficile*. (Jou, Ebrahim et al. 2015) Diese Fall-Kontroll-Studie beobachtete ein Jahr lang die Entwicklung einer Infektion mit *C. difficile* während des Krankenhausaufenthalts ab 72 Stunden nach Aufnahme des Patienten. Die Kontrollgruppe bestand aus randomisiert zugewiesenen Patienten desselben Studienjahrs. Die untersuchte Variable war die Quadratmeterzahl des belegten Patientenzimmers zum Zeitpunkt der Diagnosestellung. Es zeigte sich, dass ein signifikantes Risiko für die *C. difficile* Infektion mit einem Median von 17,7m² [Interquartilsabstand (IQR)191-244] assoziiert war, verglichen zu 16,7m² (IQR: 168-198, OR: 2,03; 95%KI: 1,40-2,94).

Yu und Kollegen führten eine Fall-Kontroll-Studie in Krankenhäusern in Hong Kong und Guangzhou durch, um die Risikofaktoren für nosokomiale SARS Ausbrüche zu ermitteln.(Yu, Xie et al. 2007) Die Autoren berücksichtigten bauliche sowie administrative Faktoren und auch patientenbezogene Faktoren auf den 48 Fallstationen und 76 Kontrollstationen. Ihre univariate Analyse zeigte, dass eine minimale Distanz zwischen den Patientenbetten von einem Meter und kleiner einen signifikanten Risikofaktor für nosokomiale SARS Ausbrüche auf allen teilnehmenden Stationen darstellte (OR:3,36; 95%KI: 1,38-8,16).

Study	Setting	Objective	Design	Number of patients		Endpoint
				Intervention:	Control:	
Birnbach et al. 2010	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. 2009	Internal medical unit			Not applicable		hand hygiene compliance
Thomas et al. 2009	Surgical ICU			Not applicable		disinfectant consumption
Ben-Abraham et al. 2002	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. 2007	Surgical ICU			1619	903	Bacteremia Acquisition of MRSA/ Pseudomonas
Ellison et al. 2014	General medical ward			910	604	Infection with or Acquisition of MRSA, CD, VRE
Julian et al. 2015	Neonatal ICU			912	884	CLOS, Acquisition of MRSA
Lazar et al. 2015	Pediatric ICU			1061	3101	Bacteremia
Levin et al. 2011	General ICU			62	62	Bacteremia, Acquisition of any multi-drug resistant organism
McManus et al 1994	Burn center ICU			914	1605	Bacteremia
Mulin et al. 1997	Surgical ICU			179	135	Infection with <i>Acinetobacter baumannii</i>
Vietri et al. 2004	General medical/ surgical ICU			130	119	Acquisition of MRSA
Jones et al. 2012	Neonatal ICU/Special Care Nursery	To investigate the association of space per cot and infection rates		Prospective observational study	152	149
Jou et al. 2015	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

Anmerkung: ITS, Intensivstation; MRSA, methicillin-resistenter *Staphylococcus aureus*; CD, *Clostridium difficile*; VRE, Vancomycin-resistente enterococci; MRE, multiresistenter Erreger

Tabelle 24: Übersicht und Eigenschaften der ausgewählten Studien

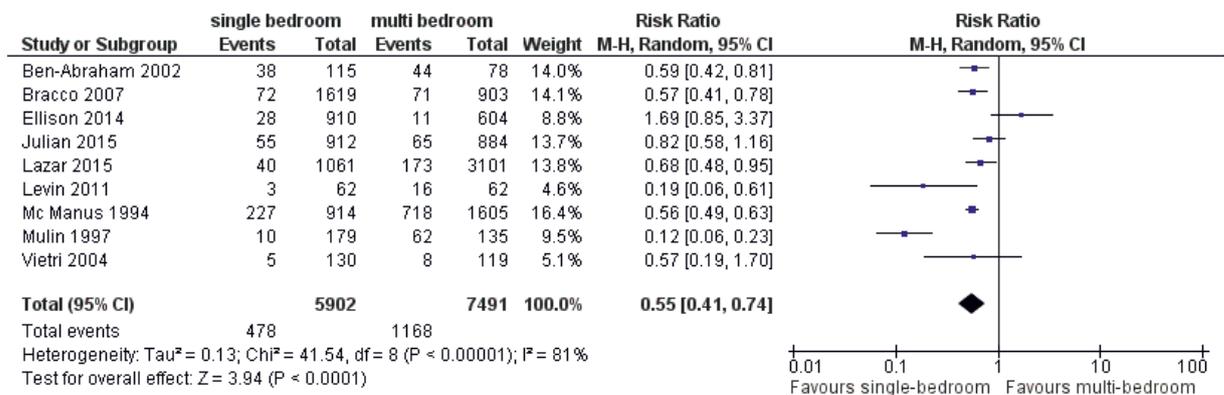


Abbildung 63: Forest plot für die Darstellung der Studien Vergleich Einbett- vs. Mehrbettzimmer, Endpunkt Kolonisation mit multiresistenten Erregern oder Infektion

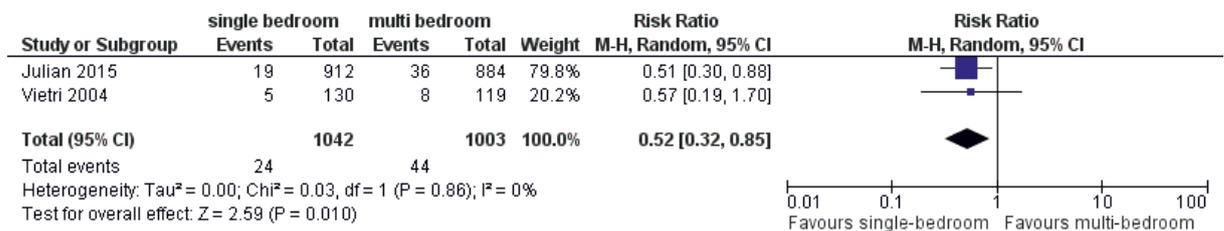


Abbildung 64: Forest Plot für die Darstellung der Studien Vergleich Einbett- vs. Mehrbettzimmer, Endpunkt Kolonisation mit multiresistenten Erregern

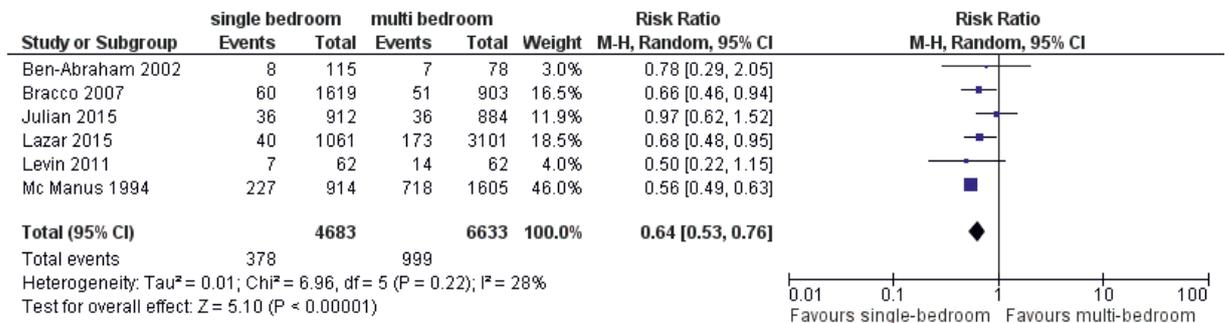


Abbildung 65: Forest Plot für die Darstellung der Studien Vergleich Einbett- vs. Mehrbettzimmer, Endpunkt Sepsis

4.2 Umfrage zur baulichen Hygiene im Rahmen von KISS

Methodik:

Das Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System (KISS) erfasst seit 1997 deutschlandweit nosokomiale Infektionsraten und multiresistente Erreger (MRE). (Gastmeier, Sohr et al. 2008) Inzwischen nehmen mehr als 1300 Krankenhäuser auf freiwilliger Basis daran teil. Die Befragung aller am KISS partizipierenden Krankenhäuser erfolgte von März bis Juni 2015. Die Umfrage wurde als Online-Fragebogen an die für KISS zuständigen Mitarbeiter (Krankenhaushygieniker und Hygienefachkräfte) geschickt. Die Umfrage erhob Daten bezüglich des Baujahres des Krankenhauses, der Zeiträume baulicher Veränderungen sowie der baulichen Strukturen des Krankenhausgebäudes und selektiver Abteilungen. Weitere abgefragte Aspekte waren die Anzahl von Einbett-, Zweibett- und Mehrbettzimmern, die Zimmergröße und die Erreichbarkeit eines Händedesinfektionsmittelspenders in Armlänge vom Patientenbett sowie die Distanz vom Pflegestützpunkt zum entferntesten Patientenzimmer. Zur Abfrage der baulichen Strukturen entwickelte das Institut für Industriebau und Konstruktives Entwerfen der TU Braunschweig Piktogramme, die in den Fragebogen integriert wurden. Die aus der Befragung gewonnenen Daten wurden mithilfe von Methoden der deskriptiven Statistik bearbeitet. Sie werden nachfolgend entsprechend in Anzahl, Prozent sowie als Median und IQR angegeben.

Es wurden alle Stationen in die multivariate Analyse eingeschlossen, die die Umfrage vollständig abgeschlossen und mindestens sechs Monate am KISS-Modul für

Intensivstationen (ITS) in den Jahren 2014/2015 teilgenommen haben. Eine Regressionsanalyse mittels allgemeiner linearer Modelle mit negativer Binomialverteilung wurde durchgeführt, um die Assoziation der nosokomialen Infektionsraten (device-assoziierte Harnwegsinfektion, primäre Sepsis und untere Atemwegsinfektion zusammen sowie jede Infektion einzeln) mit verschiedenen Risikofaktoren und potentiellen Risikofaktoren (Confounder) zu ermitteln. Es wurden adjustierte Inzidenzdichteverhältnisse (IRR) mit 95% Konfidenzintervall (KI) berechnet. Die nachfolgenden Risikofaktoren und Confounder wurden berücksichtigt:

Krankenhausgröße (\leq vs. $>$ Median), ITS-Bettenanzahl (\leq vs. $>$ Median), Belegungsrate (\leq vs. $>$ 75%-Perzentile), ITS-Typ (chirurgisch, allgemeinmedizinisch, interdisziplinär, andere), Teilnahmejahre an KISS (≤ 2 vs. > 2), durchschnittliche ITS-Liegedauer (\leq vs. $>$ 75%-Perzentile), Baujahr (1960-1989, 1990-2000, nach 2001), Anwendungsrate von Harnwegkathetern, zentralen Venenkathetern und invasiver Beatmung (\leq vs. $<$ 75%-Perzentile), Anteil von Einbett-, Zweibett- und Mehrbettzimmern (\leq vs. $>$ 75%-Perzentile), Größe der verschiedenen Zimmertypen (\leq vs. $>$ 75%-Perzentile in qm^2), Anteil der Betten mit Händedesinfektionsmittelpender in Armlänge vom Patientenbett (=100% vs. $<$ 100%), Möglichkeit der Fensteröffnung (ja vs. nein) und ITS-Raumlufttechnik (ja vs. nein).

Zusätzlich wurde die Assoziation zwischen Inzidenz des Erwerbs von nosokomialen multiresistenten Erregern [vancomycin-resistente Enterokokken (VRE), methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA) und multiresistente Gramnegative (MRGN)] und den gleichen Risikofaktoren untersucht. Darüber hinaus wurden ambulant erworbene MRE (vorhanden bei Aufnahme, nicht vorhanden) und Screening-Art in der Analyse berücksichtigt.

Ergebnisse:

Deskriptive Daten

Mitarbeiter von 621 der 1357 (46%) eingeladenen Krankenhäuser füllten den Fragebogen vollständig aus. Mehr als die Hälfte dieser Krankenhäuser liegt mit 65,4% in kleinen Städten (bis zu 100.000 Einwohner) oder im ländlichen Gebiet (Abbildung 66). Bezüglich der Verteilung der Versorgungsstufe der Krankenhäuser steht der Anteil der regelversorgenden Krankenhäuser mit 34% an der Spitze (Abbildung 68). 49% der Krankenhäuser wurden seit 1961 erbaut (Abbildung 68). In den letzten 15 Jahren wurden, jeweils bezogen auf ihr Baujahr, zwischen 40,5% und 91,2% der Krankenhäuser baulich wesentlich verändert (Abbildung 68).

Auf Normalstationen liegt die Distanz zwischen Pflegestützpunkt und hiervon entferntestem Patientenzimmer im Median bei 25m (IQR:20-35). Kürzere Laufwege

finden sich mit 15m im Mittel auf den Intensivstationen (IQR:10-20). Einen Eingriffsraum für kleinere Eingriffe besitzen 33% der befragten Intensivstationen. Für die Zimmerverteilung zeigen die Daten auf der Normalstation mit einem Bettenanteil von 48,3% den Schwerpunkt bei Zweibettzimmern, gefolgt von 45,4% der Betten in Mehrbettzimmern (Tabelle 25). Intensivstationen verfügen über einen Bettenanteil im Einzelzimmer von 27,1%, davon besitzen 11,3% eine Schleuse bzw. Vorzone. Während es geringe Unterschiede bei der Zimmergröße von Einzelzimmern gibt, zeigt die Umfrage im Median auf der Normalstation 22m² große und auf der Intensivstation 28m² große Zweibettzimmer (Tabelle 25). Die geforderte Ausstattung der Patientenzimmer mit Händedesinfektionsmittelspendern in unmittelbarer Nähe, definiert als in Armlänge vom Patientenbett zu erreichen (WHO Guidelines, 2009), wird auf Intensivstationen bei einem Bettenanteil von 73,5% erreicht, auf Normalstationen bei 31,5% der Patientenbetten (Tabelle 25). 48,5% der Intensivstationen geben an, dass neben der vorhandenen Raumluftechnik die Möglichkeit besteht, in den Patientenzimmern ein Fenster zu öffnen. Mit Raumluftechnik ohne die zusätzliche Fensteröffnungsmöglichkeit arbeiten 28,3% der Stationen, wohingegen bei 21,0% die ausschließliche Lüftungsmöglichkeit in der Fensteröffnung besteht.

Stationsart			n	Anteil [%]	Median (IQR)
Intensivstation	Summe Zimmer		4134		7 (5-9)
	Einbettzimmer	Anzahl	1846	44.6	3 (2-4)
		Betten	1846	27.1	
		Größe [m ²]			18 (15-21)
	Zweibettzimmer	Anzahl	1947	47.1	2 (3-5)
		Betten	3894	57.1	
		Größe [m ²]			28 (23-33)
	Mehrbettzimmer (≥3 Betten)	Anzahl	341	8.2	0 (0-1)
		Betten	1077	15.8	
	Summe Betten		6817		12 (8-16)
Beatmungsplätze		5307	77.9	9 (6-13)	
Betten mit Spender in Armlänge entfernt		5013	73.5	9 (5-14)	
Normalstation	Summe Zimmer		9921		15 (13-18)
	Einbettzimmer	Anzahl	1411	14,2	
		Betten	1411	6,4	
		Größe [m ²]			16 (14-20)
	Zweibettzimmer	Anzahl	5357	54,0	
		Betten	10714	48,3	
		Größe [m ²]			22 (20-25)
	Mehrbettzimmer (≥3 Betten)	Anzahl	3153	31,8	
		Betten	10064	45,4	
	Summe Betten		22189		34 (30-38)
Betten mit Spender in Armlänge entfernt		6984	31,5	1 (0-20)	

Tabelle 25: Verteilung der Krankenhausbetten auf 534 Intensivstationen und 621 Normalstationen in Deutschland

Multivariate Analyse

266 von 534 (49,8%) Intensivstationen, die an der Umfrage teilnahmen, lieferten 2014 und 2015 Daten über nosokomiale Infektionen und multiresistente Erreger in die KISS-Datenbank und konnten für die weitere Analyse zugeordnet werden.

Krankenhäuser mit über 319 Patientenbetten zeigen höhere nosokomiale Infektionsraten im Vergleich zu Krankenhäusern mit einer geringeren Bettenanzahl unter 319 (OR: 1,29; 95%KI: 1,04-1,62; Tabelle 26). Das Risiko einer VRE Kolonisation oder Infektion ist auf Stationen mit über 12 Betten fast doppelt so hoch, verglichen mit Stationen, die mit weniger als 12 Betten ausgestattet sind (OR: 1,96; 95%KI: 1,13-3,42; Tabelle 26). Die Möglichkeit der Fensteröffnung im Patientenzimmer steht in signifikantem Zusammenhang mit geringeren device-assoziierten Atemwegsinfektionen im Gegensatz zu Intensivstationen, auf denen eine Fensteröffnung nicht möglich ist (OR: 0,73; 95%KI: 0,58-0,90; Tabelle 26).

Während Einbettzimmer in unserer Analyse keine Korrelation zeigen, ist der Anteil der Zweibettzimmer über 40% auf einer Intensivstation mit niedrigeren Sepsisraten assoziiert verglichen zu Stationen, deren Zweibettzimmeranteil bei und unter 40% liegt (OR: 0,66; 95%CI: 0,51-0,86; Tabelle 26).

Unsere Analyse zeigte keine architektonischen Risikofaktoren für MRSA oder MRGN Kolonisation- oder Infektionsraten.

Endpunkt	Referenz	Odds Ratio	95% KI	p-Wert	
LRTI,UTI,BSI/patient days					
Anzahl Krankenhausbetten	>319 (Q50)	≤319	1,29	1,04-1,62	0,02
LRTI/ventilation days					
Possible window opening	Yes	No	0,73	0,58-0,90	<0,01
BSI/central venous catheter days					
Amount of double bedrooms	>40% (Q75)	≤40%	0,66	0,51-0,86	<0,01
VRE/patient days					
No. of ward beds	>12 (Q50)	≤12 (Q50)	1,96	1,13-3,42	0,02

Anmerkung. KI, Konfidenzintervall; LRTI, Atemwegsinfektion; UTI, Harnwegsinfektion; BSI, Sepsis; VRE, vancomycin-resistent enterococci

Tabelle 26: Ergebnisse der multivariablen logistischen Regressionsanalyse von architektonischen Risiko und protektiven Faktoren für Atemwegsinfektions-, Harnwegsinfektions- und Sepsisraten. Es sind ausschließlich Endpunkte mit signifikanten Variablen dargestellt.

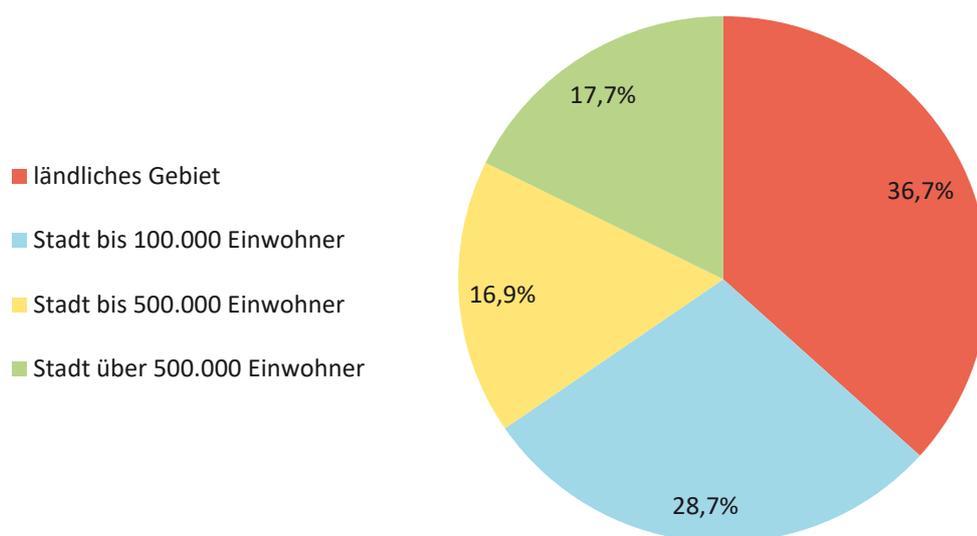


Abbildung 66: Verteilung der teilnehmenden Krankenhäuser nach Größe der Städte/Gemeinden

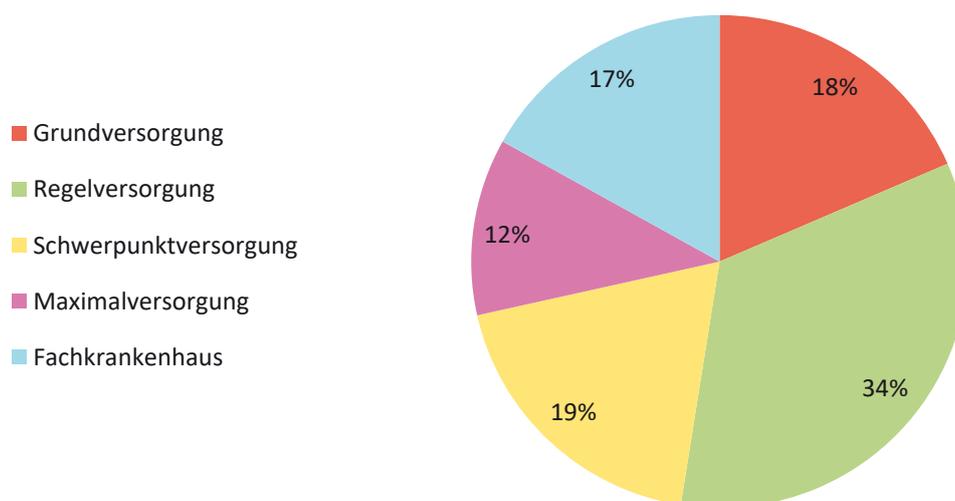


Abbildung 67: Verteilung der teilnehmenden Krankenhäuser nach Versorgungsstufe

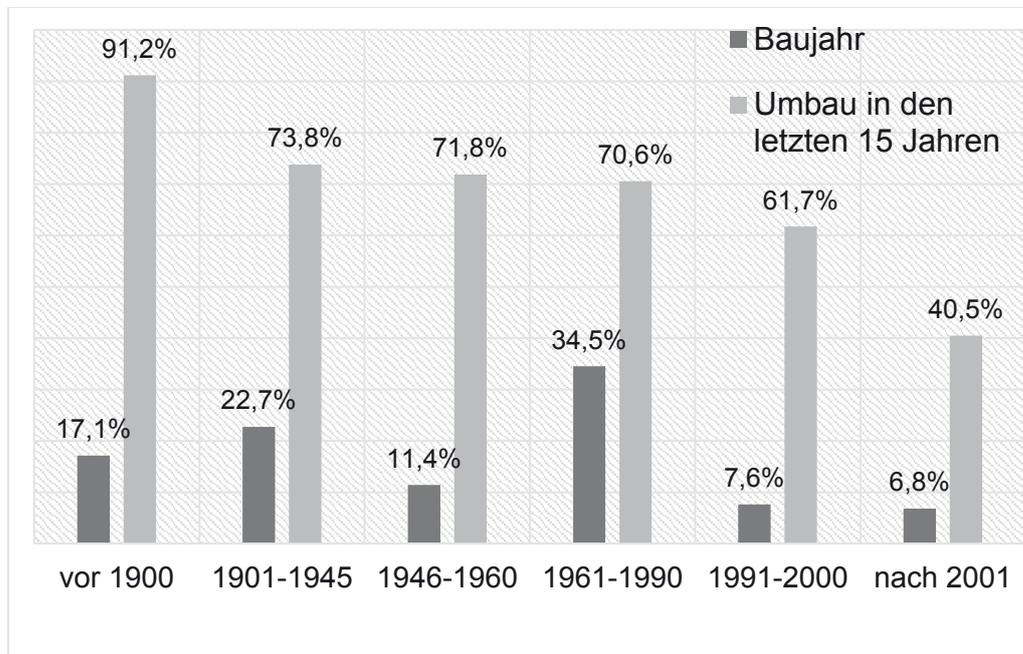


Abbildung 68: Baujahre der teilnehmenden Krankenhäuser und in den letzten 15 Jahren umfangreich baulich veränderter Anteil

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 (Boyce and Pittet 2002, Pittet, Allegranzi et al. 2009) 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 (FGI, 2014). In Deutschland liefert die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) konkrete Vorgaben (DIVI, 2010) 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 Gesamtbettanzahl nicht zu unterschreiten (KRINKO, 2015).

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 (VanSteelandt, Conly et al. 2015). 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 (Maben, Griffiths et al. 2016). 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 (Sadatsafavi, Niknejad et al. 2016). 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 (Bracco, Dubois et al. 2007, Ellison, Southern et al. 2014, Julian, Burnham et al. 2015). 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 Händedesinfektionsmittelspender 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.

5 Fazit

Die im Folgenden dargestellten Handlungsempfehlungen bauen auf die in den Arbeitspaketen durchgeführten Untersuchungen der Disziplinen BAU (Recherche Gesetze und Verordnungen, Experteninterviews, Datenabfrage zur baulichen Struktur, Ideallayout), MATERIAL (Reinigbarkeit und Desinfektion von Oberflächen) und HYGIENE (Systematisches Review, Datenabfrage zu baulichen Maßnahmen zur Infektionsprävention) auf. Mit diesen Empfehlungen können bei der Neu- oder Umplanung der Bereiche Operation, Notfallaufnahme und Intensivstation in Krankenhäusern die baulichen Strukturen so gestaltet werden, dass sie nachhaltig infektionspräventiv auf Patienten und Klinikmitarbeiter wirken können. Dazu werden die Potenziale einzelner Aspekte des Stationsaufbaus, der Räumlichkeiten und möglicherweise weitere Details dargestellt, die der Gesamtausrichtung des jeweiligen Krankenhauses angepasst werden können. Jedes Krankenhaus muss die eigenen organisatorischen und finanziellen Rahmenbedingungen selbst bestimmen und beachten. Die Ausführungen zur Planung der baulichen Strukturen beziehen sich also weder auf bestimmte Ausrichtungen noch auf die Zusammensetzung der Patienten. Sie können auf alle Formen der stationären Versorgung und Pflege angewandt werden.

Die vorgestellten Empfehlungen haben alle das Ziel, die Patienten und das ärztliche und pflegerische Personal in ihren alltäglichen Abläufen in einem hygienesicheren Umfeld zu unterstützen. Gefördert wird dies durch bauliche Strukturen, die die räumliche Orientierung und Übersichtlichkeit stärken, die die Entfernungen zwischen hygienerelevanten Räumen reduzieren oder die auf Veränderungen flexibel reagieren können. Auf Grund der unterschiedlichen funktionalen, technischen und personellen Anforderungen werden die vorgestellten baulichen und prozessualen Handlungsempfehlungen für den Operationsbereich, die Notfallaufnahme und die Intensivstation getrennt betrachtet (A). Materialspezifische Anforderungen ergänzen den jeweiligen Bereich (B) (siehe Abbildung 69). Alle Empfehlungen beziehen sich ausschließlich auf hygienische Aspekte. Auf bau-, sicherheits-, und brandschutztechnische Anforderungen wird nicht eingegangen. Um die wünschenswerte kreative Freiheit der Planer und späterer Nutzer nicht einzuschränken, wird auf Grundrisse und sonstige Darstellung verzichtet.

Die aufgestellten Handlungsempfehlungen sind als ein erster Schritt in Richtung hygienierobuste bauliche Strukturen zu sehen und stellen nur einen Bestandteil eines Maßnahmenbündels dar. Insgesamt ist der Stellenwert der hier vorgestellten

Empfehlungen noch nicht endgültig abschätzbar. Der Gegenstand dieses Themas wird auch in Zukunft weitere Forschung notwendig machen.

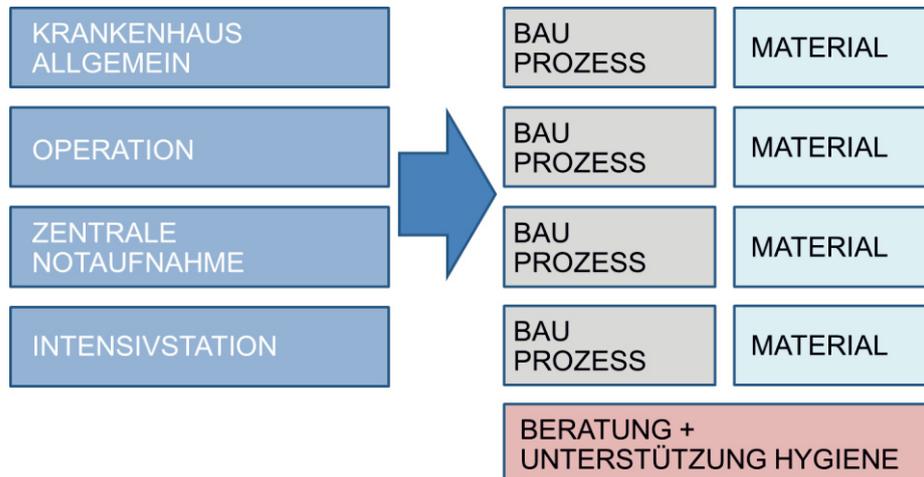


Abbildung 69: Ordnungsprinzip Planungsempfehlung

5.1 Empfehlungen

Entwurfprinzipien: Aufgrund der unterschiedlichen Übertragungswege von Infektionen haben die Patienten und Mitarbeiter in hygienerelevanten Bereichen im Krankenhaus spezifische Anforderungen an ein hygienierobustes Umfeld, die bei der Planung und Verwirklichung räumlicher Konzepte umgesetzt werden müssen. Insoweit werden die folgenden Entwurfprinzipien definiert, die als Voraussetzung für eine zielsichere, spezifische Gestaltung dieser Bereiche dienen können:

- Kompaktheit
- Kurze Wege „Intern“
- Kurze Wege zu anderen Funktionsbereichen
- Abtrennbarkeit / Isolierung
- Ausreichende Bewegungsfläche
- Keine Vor- und Rücksprünge
- Ausreichende Lagerflächen
- Übersichtlichkeit

5.2 Planungsempfehlungen Operation

A. Bau und Prozess

- Abstufungen Hygienerelevanz (genauer definieren)
- Verbindung horizontal/vertikal zur ZSVA (intern) oder Anlieferung des Sterilguts
- Kurze, zeitnahe Verbindung zur Intensivstation und Notfall
- Temporäre Abtrennbarkeit für Häuser mit einem sehr heterogenem OP-Spektrum, Isolierung für ein spezifisches OP-Spektrum
- Keine zu große räumliche Distanz von Einleitung zu OP-Raum/Feld
- Räumlicher Kurzschluss von OP-Bereich zu Aufwachraum
- Keine Überschneidungen von Ver- und Entsorgung
- Entsorgungsraum mit separatem Anschluss an Entsorgungseinheit (vertikaler Fahrstuhl, direkte Anbindung an OP-Einheit)
- Separate Versorgung von der ZSVA, im OP in einem separaten Raum/Flur
- Rüsten des Sterilgutes in einem separaten Bereich/Raum
- Bei der Planung beachten, ob die ZSVA Teil des OP-Bereiches, des KRHs ist oder sich extern KRH-fern befindet.
- Separate Entsorgung des septischen OPs
- Medizinische Geräte sollten möglichst wenig Kontakt zum Boden haben.
- Festinstallierte Geräte sollten an der Decke befestigt werden.
- So wenig Geräte wie möglich im OP Saal
- Lagerflächen extern, aber in räumlicher Nähe zu OP Saal
- Türen sollten ein Sichtfenster zur Kontrolle haben.
- Wichtige Räume (wie z.B. OP-Raum) sollten Fenster haben.
- Überblick gewähren, alle wichtigen Abläufe sollten sichtbar sein zur Kontrolle und zum Austausch
- Ausreichend dimensionierte Flächen in Umkleide für Schränke, WC, Duschen und Waschbecken
- Flexible Trennmöglichkeiten von Männer- und Frauenbereich in der Umkleide
- Ausreichende Flächen für Pausen (hier auch Verpflegung) und Diktat

B. Material

Auf Basis der definierten mechanischen, chemischen, physikalischen und hygienischen Anforderungen wurden Materialien zusammengestellt, welche diese erfüllen. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich nicht um eine vollumfängliche Auflistung aller Möglichkeiten handelt:

Fußboden	Wand	Decke
(matte) Acryllacke und Beschichtungen mit eingestreuten leitfähigen Partikeln auf geeignetem Untergrund; Linoleum; Terrazzo; Polyolefine; Kautschuk; PVC; Terrazzo; Keramikfliesen /Steinzeug (beschichtete Fugen);	Dispersionsfarbe, Lasur, Öle auf entsprechendem Untergrund (z.B. Holz, Sichtmauerwerk, Beton) mit montiertem Rammschutz; Rauhfaser/ Glasfasergittergewebet apete mit Latexanstrich; matter Edelstahl; Polyolefine; Kautschuk; PVC;	Dispersionsfarbe oder Latexanstrich auf entsprechendem Untergrund (z.B. Rauhfaser, Glasfasergittergewebetapete); matter Edelstahl; mattes Aluminium; ausgewählte Kassettendecken

Tabelle 27: Materialempfehlungen OP-Bereich

5.3 Planungsempfehlungen Zentrale Notfallaufnahme

A. Bau und Prozess

- Separate Erschließung der ZNA
- Kurze, zeitnahe Verbindung zur Intensivstation und OP
- Kurze, zeitnahe Verbindung zum Straßenverkehr
- Patientenfluss: Ankunft RTW, Triage, Schock, Diagnose CT/ Röntgen, Übergabe ins Haus/ Entlassung
- Räumliche Separierung mobiler und immobiler Patienten
- Diagnostik und Eingriffsbereich (Schockraum, CT) als zentraler Strang organisieren zwischen mobiler und immobiler Patienten
- Zur Überwachung der Patienten die Leitung und das Personal ebenfalls im zentralen Bereich verorten.

- Warten, Untersuchung und Behandlung radial oder in parallelen Strängen zum zentralen Bereich organisieren.
- Übergabe zum Haus als Pufferzone (z.B. IMC)
- Separater Zugang, differenziert nach liegend (RTW), fußläufig und klinischem Infektionsfall
- Eine zentrale Triage für diese drei Zuwegungen
- Übersicht der Triage

B. Material

Auf Basis der definierten mechanischen, chemischen, physikalischen und hygienischen Anforderungen wurden Materialien zusammengestellt, welche diese erfüllen. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich nicht um eine vollumfängliche Auflistung aller Möglichkeiten handelt:

Fußboden	Wand	Decke
(matte) Acryllacke und Beschichtungen mit eingestreuten leitfähigen Partikeln auf geeignetem Untergrund; Linoleum; Terrazzo; Polyolefine; Kautschuk; PVC; Terrazzo; Keramikfliesen /Steinzeug (beschichtete Fugen);	Dispersionsfarbe, Lasur, Öle auf entsprechendem Untergrund (z.B. Holz, Sichtmauerwerk, Beton) mit montiertem Rammschutz; Rauhfaser/ Glasfasergittergewebetapete mit Latexanstrich; matter Edelstahl; Polyolefine; Kautschuk; PVC;	Dispersionsfarbe oder Latexanstrich auf entsprechendem Untergrund (z.B. Rauhfaser, Glasfasergittergewebetapete); matter Edelstahl; mattes Aluminium; ausgewählte Kassettendecken

Tabelle 28: Materialempfehlungen Zentrale Notaufnahme

5.4 Planungsempfehlungen Intensivstation

A. Bau und Prozess

- Einzelzimmerstruktur mit 8-10 Betten
- Stützpunkt sollte einen freien Blick auf alle Patientenzimmer haben. Patientenzimmer sollten über kurze Wege vom Stützpunkt aus zu erreichen sein.
- Ein Isolierzimmer pro sechs Patientenbetten
- Räumliche Flexibilität ermöglichen, bestimmte Bereiche sollten temporär abriegelbar sein, wie z.B. Isolierpatient
- Ein Isolierzimmer pro sechs Betten
- Eine ausreichende Anzahl von Vorräumen/Schleusen vor Patientenzimmern reduziert das Risiko, dass pflegerische Tätigkeiten auf die Flurzone verlagert werden
- Bereiche sollten temporär abriegelbar sein
- Medizintechnik und Ausstattung verschiebbar
- Abstand zwischen Patientenbetten mindestens 1 Meter
- Patientenbett muss von allen Seiten zugänglich sein
- Desinfektionsmittelpender gut sichtbar und in Armlänge am Bettplatz

B. Material

Auf Basis der definierten mechanischen, chemischen, physikalischen und hygienischen Anforderungen wurden Materialien zusammengestellt, welche diese erfüllen. Es sei darauf hingewiesen, dass es sich nicht um eine vollumfängliche Auflistung aller Möglichkeiten handelt:

Fußboden	Wand	Decke
Acryllacke und Beschichtungen mit eingestreuten leitfähigen Partikeln auf geeignetem Untergrund; Linoleum; Terrazzo; Polyolefine; Kautschuk; PVC; Terrazzo; Keramikfliesen /Steinzeug (beschichtete Fugen);	Dispersionsfarbe, Lasur, Öle auf entsprechendem Untergrund (z.B. Holz, Sichtmauerwerk, Beton); Rauhfaser/ Glasfasergittergewebetapete mit Latexanstrich; Edelstahl; Polyolefine; Kautschuk; PVC; Steinzeug;	Dispersionsfarbe auf geeignetem Untergrund; Edelstahl; Aluminium; ausgewählte Kassettendecken

Tabelle 29: Materialempfehlungen Intensivpflege

5.5 Planungsempfehlungen Krankenhaus Allgemein

- Leitungen, Schächte und Heizelemente in Wand bzw. Decke/Boden integrieren
- Möglichst stützenfrei in hygienerelevanten, pflege- und behandlungsintensiven Bereichen
- Getrennte Aufzüge
- Ausreichende Stell- und Arbeitsflächen in pflege- und behandlungsintensiven Bereichen
- Desinfektionsmittelpender in Wandnische integriert und geschützt
- Räumliche Flexibilität ermöglichen, bestimmte Bereiche sollten abriegelbar sein, wie z.B. Raum für Isolierpatient.
- Separierte Toiletten
- Verkehrsfläche ausreichend für Patientenbetten dimensionieren

- Räume sollten wenig Vor- und Rücksprünge aufweisen, um die einfache und schnelle Reinigung zu gewährleisten
- Bereiche werden nur bis 2 Meter Höhe regelmäßig gereinigt, so dass oberhalb Versprünge zu vermeiden sind.

Allgemeine hygienische Oberflächengestaltung und Ausführung

Neben den mechanischen, physikalischen und chemischen Einwirkungen, die auf eine Oberfläche wirken, ist die hygienische Materialwahl essentiell. Es wurde vorgestellt unter welchen Bedingungen Oberflächen bestmöglich reinigbar und somit hygienisch sinnvoll sind. Dementsprechend sind **geringe Rauigkeiten** und ein **geringer Benetzungswinkel** der Oberflächen anzustreben. Dies gilt insbesondere für Oberflächen, bei denen ein direkter Kontakt mit Oberflächen zu erwarten ist (z. B. Armaturen). Um die Feinstaubpartikelmenge in der Luft durch Aufwirbelungen o. ä. möglichst gering zu halten, ist dies auch für Flächen, die nicht im direkten Kontakt mit Patienten oder Personal stehen (z. B. Oberflächen von Möbeln, aber auch Wand- und Deckenflächen) ratsam.

Für den Bodenbelag gilt grundsätzlich die gleiche Empfehlung, jedoch ist gleichzeitig die Rutschhemmung zu gewährleisten.

Der Übergang von Bauteilen ist möglichst so auszuführen, dass er leicht zu reinigen ist. Speziell in Bereichen, wo ein besonderes Infektionsrisiko besteht, sind Hohlkehlen zu empfehlen (Abbildung 70). Hier können die Reinigungsutensilien bestmöglich das gesamte Material erreichen. Stellsöckel sind für Bereiche mit geringem Infektionsrisiko möglich. Materialübergänge sind möglichst zu vermeiden.

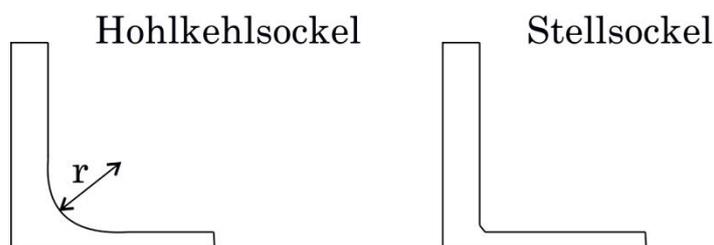


Abbildung 70: Mögliche Ausführungsformen für den Übergang Wand-Decke

6 Anlagen

6.1 Literaturverzeichnis

(AMG 2005) Arzneimittelgesetz vom 12.12.2005, BGBl I S. 3.394, zuletzt geändert 22. Dezember 2010

(ASR 3.5, 2010) Technische Regeln für Arbeitsstätten ASR 3.5: „Raumtemperatur“, 2010

(AWMF 2009) Arbeitsgemeinschaft der wissenschaftlich medizinischen Fachgesellschaften, Arbeitskreis Krankenhaus- und Praxishygiene, Leitlinien zur Hygiene in Klinik und Praxis, Hyg Med, 2009

(Baumann 2013) Baumann, Wolfgang; et al (2013): - Planungshilfe - Funktionsstelle Operation. Baulich-funktionelle Anforderungen

(Bauordnung Berlin, 2005) Bauordnung für Berlin (BauO Bln) vom 29. September 2005, Taschenbuch, 2014

(BbgKPBauV, 2003) Verordnung über bauaufsichtliche Anforderungen an Krankenhäuser und Pflegeheime im Land Brandenburg - Brandenburgische Krankenhaus- und Pflegeheim-Bauverordnung Vom 21. Februar 2003, letzte Änderung 2006

(Behnke, Hansen et al. 2013) Behnke, M., S. Hansen, R. Leistner, L. A. Diaz, A. Gropmann, D. Sohr, P. Gastmeier and B. Piening (2013). "Nosocomial infection and antibiotic use: a second national prevalence study in Germany." Dtsch Arztebl Int 110(38): 627-633.

(Ben-Abraham, Keller et al. 2002) Ben-Abraham, R., N. Keller, O. Szold, A. Vardi, M. Weinberg, Z. Barzilay and G. Paret (2002). "Do isolation rooms reduce the rate of nosocomial infections in the pediatric intensive care unit?" J Crit Care 17(3): 176-180.

(BioStoffV, 1999) Biostoffverordnung, Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei Tätigkeiten mit biologischen Arbeitsstoffen v. 27.1.1999, Bgbl I S. 50, zul. geänd. 18.12.2008

(Birnbach, Nevo et al. 2010) Birnbach, D. J., I. Nevo, S. R. Scheinman, M. Fitzpatrick, I. Shekhter and J. L. Lombard (2010). "Patient safety begins with proper planning: a quantitative method to improve hospital design." Qual Saf Health Care 19(5): 462-465.

(Boyce 2007) Boyce, J. M. (2007). "Environmental contamination makes an important contribution to hospital infection." J Hosp Infect 65 Suppl 2: 50-54

(Boyce and Pittet 2002) Boyce, J. M. and D. Pittet (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." Am J Infect Control 30(8): S1-46.

(Bracco, Dubois et al. 2007) Bracco, D., M. J. Dubois, R. Bouali and P. Eggimann (2007). "Single rooms may help to prevent nosocomial bloodstream infection and cross-transmission of methicillin-resistant Staphylococcus aureus in intensive care units." Intensive Care Med 33(5): 836-840.

(Cooper, Paull et al. 2002) Cooper, E., A. Paull and M. O'Reilly (2002). "Characteristics of a large cluster of vancomycin-resistant enterococci in an Australian hospital." Infect Control Hosp Epidemiol 23(3): 151-153.

(Dancer 2009) Dancer, S. J. (2009). "The role of environmental cleaning in the control of hospital-acquired infection." J Hosp Infect 73(4): 378-385.

(Daschner 2001) Daschner, F., Hygienisch bedingte Baumaßnahmen im Krankenhaus, in: DBZ Bautechnik Heft 2/2001

(Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene 2012) Deutsche Gesellschaft für Krankenhaushygiene: „Leitlinie - Raumluftechnischen Anlagen in Krankenhäusern“, 2012

(Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2008) BGI/GUV-I 8681: „Neu- und Umbauplanung im Krankenhaus unter Gesichtspunkten des Arbeitsschutzes“, 2008

(Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung 2010) BGI/GUV-I 7003: „Beurteilung des Raumklimas“, 2010

(DIN 1946-4, 2008) Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens, 2008

(DIN 13080, 1990) Gliederung des Krankenhauses in Funktionsbereiche und Funktionsstellen, Berlin, 1990

(DIN EN 13779, 2007) DIN EN 13779: „Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen für Lüftungs- und Klimaanlage und Raumkühlsysteme“, 2007

(DIVI, 2010) Deutsche interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI). Empfehlungen zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen [Internet]. Deutsche interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI). 2010. Available from: <http://www.divi.de/empfehlungen/intensivmedizin.html> [last assessed March 2016].

(DIN EN 15251, 2012) DIN EN 15251: „Eingangsparameter für das Raumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden - Raumluftqualität, Temperatur, Licht und Akustik“, 2012

(Domininghaus et al. 2008) Domininghaus, H.; Elsner (Hrsg.), P.; Eyerer (Hrsg.), P.; Hirth (Hrsg.), T.: Kunststoffe. Eigenschaften und Anwendungen. 7. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer VDI, 2008

(ECDC, 2013) "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.

(Ellison, Southern et al. 2014) Ellison, J., D. Southern, D. Holton, E. Henderson, J. Wallace, P. Faris, W. A. Ghali and J. Conly (2014). "Hospital ward design and prevention of hospital-acquired infections: A prospective clinical trial." Can J Infect Dis Med Microbiol 25(5): 265-270

(Escombe, Oeser et al. 2007) Escombe, A. R., C. C. Oeser, R. H. Gilman, M. Navincopa, E. Ticona, W. Pan, C. Martinez, J. Chacaltana, R. Rodriguez, D. A. Moore, J. S. Friedland and C. A. Evans (2007). "Natural ventilation for the prevention of airborne contagion." PLoS Med 4(2): e68.

(FGI 2014) Facility Guidelines Institute. Guidelines for Design and Construction of Hospitals and Outpatient Facilities. 2014 ed. Chicago, IL: American Society for Healthcare Engineering; 2014.

(Gastmeier, Sohr et al. 2008) Gastmeier, P., D. Sohr, F. Schwab, M. Behnke, I. Zuschneid, C. Brandt, M. Dettenkofer, I. F. Chaberny, H. Ruden and C. Geffers (2008). "Ten years of KISS: the most important requirements for success." *J Hosp Infect* 70 Suppl 1: 11-16.

(Geffers et al. 2000) Geffers, C.; Gastmeier, P.; Rüdén, H.: Nosokomiale Infektionen - Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Heft 8, 2000

(Giannitsioti, Athanasia et al. 2009) Giannitsioti, E., S. Athanasia, A. Antoniadou, H. Fytrou, K. Athanassiou, P. Bourvani, K. Kanellakopoulou, K. Kouvelas, A. Papadopoulos, D. Plachouras and H. Giamarellou (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." *Am J Infect Control* 37(2): 160-163

(Hall and Kamerow 2013) Hall, K. K. and D. B. Kamerow (2013). "Understanding the role of facility design in the acquisition and prevention of healthcare-associated infections." *HERD: Health Environments Research & Design Journal* 7(1 suppl): 13-17.

(Halpern 2014) Halpern, Neil A. (2014): Innovative designs for the smart ICU: part 1: from initial thoughts to occupancy. In: *Chest* 145 (2), S.399-403. DOI: 10.1378/chest.13-0003.)

(Hayden et al. 2006) Hayden, M. K.; Bonten, M. J. M.; Blom, D. W.; Lyle, E. A.; van de Vijver, D. A. M. C.; Weinstein, R. A.: Reduction in Acquisition of Vancomycin-Resistant Enterococcus after Enforcement of Routine Environmental Cleaning Measures. In: *Clin. Infect. Dis.* 42 (11), S. 1552-1560, 2006

(HOAI, 2013) Verordnung über die Honorare für Architekten und Ingenieurleistungen (Honorarordnung für Architekten und Ingenieure, 2013)

(IfSG 2011) Infektionsschutzgesetz. Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz - IfSG). Bundesgesetzblatt 2000, S. 1.045, zul. geänd. 8.7.2011

(Jones, Kuschel et al. 2012) Jones, A. R., C. Kuschel, S. Jacobs and L. W. Doyle (2012). "Reduction in late-onset sepsis on relocating a neonatal intensive care nursery." J Paediatr Child Health 48(10): 891-895.

(Jou, Ebrahim et al. 2015) Jou, J., J. Ebrahim, F. S. Shofer, K. W. Hamilton, J. Stern and J. H. Han (2015). "Environmental transmission of *Clostridium difficile*: association between hospital room size and *C. difficile* Infection." Infect Control Hosp Epidemiol 36(5): 564-568.

(Julian, Burnham et al. 2015) Julian, S., C. A. Burnham, P. Sellenriek, W. D. Shannon, A. Hamvas, P. I. Tarr and B. B. Warner (2015). "Impact of neonatal intensive care bed configuration on rates of late-onset bacterial sepsis and methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* colonization." Infect Control Hosp Epidemiol 36(10): 1173-1182.

(Kampf, Loffler et al. 2009) Kampf, G., H. Loffler and P. Gastmeier (2009). "Hand hygiene for the prevention of nosocomial infections." Dtsch Arztebl Int 106(40): 649-655.

(Kampf und Kramer 2004) Kampf, G.; Kramer, A.: Epidemiologic Background of Hand Hygiene and Evaluation of the Most Important Agents for Scrubs and Rubs. In: *Clinical Microbiology Reviews* 17 (4), S. 863-893, 2004

(KhBauR, 2003) Richtlinie über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern - Krankenhausbaurichtlinie, Saarland, vom 1. März 2003

(KhBauVO, 1978) Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern, Krankenhausbauverordnung, Nordrhein-Westfalen, vom 21. Februar 1978

(KhBetrVO, 2006) Verordnung über die Errichtung und den Betrieb von Krankenhäusern, Krankenhausaufnahme, Führung von Krankengeschichten und Pflegedokumentation und Katastrophenschutz in Krankenhäusern, Berlin, 2006

(Knoll 2000) Knoll, K. H.: Hygiene in Gesundheitseinrichtungen. Planung - Anlage - Bau - Ausstattung - Betrieb. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft; 2000

(Kramer et al. XX) Kramer, Axel; Schwebke, Ingeborg; Kampf, Günter: How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces? A systematic review, Bd. 6, S. 130.

(KrBauR, 2002) Richtlinie über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern SachsenAnhalt, vom 21. Mai 2002

(KRH in SH, 2007) Standardprogramm für Krankenhäuser in Schleswig-Holstein, Stand Februar 2007, letzte Änderung 2012

(KRINKO 2002) KRINKO. Anforderungen der Hygiene an die baulich-funktionelle Gestaltung und apparative Ausstattung von Endoskopieeinheiten. Bgbl Gesundheitsforsch. Gesundheitssch., 2002, 45: S. 412-4

(KRINKO 2010) KRINKO, Die Kategorien in der Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention - Aktualisierung der Definitionen. Bgbl. Gesundheitsforsch. Gesundheitssch. 2010, 53: S. 754-6

(KRINKO 2015) 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):1151-70.

(KrW/AbfG 1994) Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung v. 27.9.1994, Bgbl I S. 2.705, zul. geänd. 11.8.2009

(Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik 2011) Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik: „Kenngrößen zur Beurteilung raumklimatischer Grundparameter“, 2011

(Landesamt für Verbraucherschutz 2013) Landesamt für Verbraucherschutz: Infektionshygienische Anforderungen an die baulich-funktionelle Gestaltung von medizinischen Funktionseinheiten. Fundstelle: Freistaat Thüringen, 2013

(Lax and Gilbert 2015) Lax, S. and J. A. Gilbert (2015). "Hospital-associated microbiota and implications for nosocomial infections." *Trends Mol Med* 21 (7): 427-432.

(Lazar, Abukaf et al. 2015) Lazar, I., H. Abukaf, S. Sofer, N. Peled and E. Leibovitz (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)." Anaesth Intensive Care 43(1): 34-41.

(Levin, Golovanevski et al. 2011) Levin, P. D., M. Golovanevski, A. E. Moses, C. L. Sprung and S. Benenson (2011). "Improved ICU design reduces acquisition of antibiotic-resistant bacteria: a quasi-experimental observational study." Crit Care 15(5): R211.

(Mayring 2010) Mayring, Ph., Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken (11., aktual. u. überarb. Aufl.). Weinheim: Beltz 2010, S. 53 ff.

(McManus, Mason et al. 1994) McManus, A. T., A. D. Mason, Jr., W. F. McManus and B. A. Pruitt, Jr. (1994). "A decade of reduced gram-negative infections and mortality associated with improved isolation of burned patients." Arch Surg 129(12): 1306-1309.

(MedHygV, 2010) Verordnung zur Hygiene und Infektionsprävention in medizinischen Einrichtungen, vom 1. Dezember 2010

(MPG 2002) Medizinproduktegesetz vom 7.8.2002, Bgbl 2002; I: 3, S. 146, zuletzt geändert 24. Juli 2010

(Mulin, Rouget et al. 1997) Mulin, B., C. Rouget, C. Clement, P. Bailly, M. C. Julliot, J. F. Viel, M. Thouverez, I. Vieille, F. Barale and D. Talon (1997). "Association of private isolation rooms with ventilator-associated *Acinetobacter baumannii* pneumonia in a surgical intensive-care unit." Infect Control Hosp Epidemiol 18(7): 499-503.

(Neely o.J.) Neely, A.: A survey of Gram-Negative Bacteria Survival on Hospital Fabrics and Plastics. In: *Journal of Burn Care & Rehabilitation*, Vol. 21, Number 6, S. 523-527.

(Neely und Maley 2000) Neely, A.; Maley, M. P.: Survival of Enterococci and Staphylococci on Hospital Fabrics and Plastic. In: *Journal of Clinical Microbiology* 38 (2), S. 724-726, 2000

(Pittet, Allegranzi et al. 2009) Pittet, D., B. Allegranzi and J. Boyce (2009). "The World Health Organization Guidelines on Hand Hygiene in Health Care and their consensus recommendations." Infect Control Hosp Epidemiol 30(7): 611-622.

(Pittet, Hugonnet et al. 2000) Pittet, D., S. Hugonnet, S. Harbarth, P. Mourouga, V. Sauvan, S. Touveneau and T. V. Perneger (2000). "Effectiveness of a hospital-wide programme to improve compliance with hand hygiene. Infection Control Programme." Lancet 356(9238): 1307-1312.

(Robert Koch Institut 2003) Robert Koch Institut: „Richtlinie für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention“, 2003

(Schmiege 1984) Schmiege, H: Intensivpflege im Krankenhaus: Überlegungen und Vorschläge zu neuen Formen baulicher Ausprägung. Stuttgart: Krämer, 1984

(Schubert 1979) Schubert, H.: Grundlagen des Agglomerierens. In: *Chemie Ingenieur Technik* 51 (4), S. 266-277, 1979

(Schulz.Stübner, S. 2013) Repetitorium Krankenhaushygiene und hygienebeauftragter Arzt. Heidelberg: Springer, 2013

(TrinkWV, 2001) Trinkwasserverordnung, Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch, Bgbl 2001, I: S. 959

(VDI-Richtlinie 6022, 2011) Raumlufttechnik, Raumluftqualität - Hygieneanforderungen an Raumlufttechnische Anlagen und Geräte, 2011

(VDI-Richtlinie 6023, 2013) Hygiene in Trinkwasser-Installationen - Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung, 2013

(VanSteelandt, Conly et al. 2015) VanSteelandt, A., J. Conly, W. Ghali and C. Mather (2015). "Implications of design on infection prevention and control practice in a novel hospital unit: the Medical Ward of the 21st Century." Anthropol Med 22(2): 149-161.

(Vietri, Dooley et al. 2004) Vietri, N. J., D. P. Dooley, C. E. Davis, Jr., J. N. Longfield, P. A. Meier and A. C. Whelen (2004). "The effect of moving to a new hospital facility on the prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*." Am J Infect Control 32(5): 262-267

(Wagenvoort et al. 2000) Wagenvoort, J. H. T.; Sluijsmans, W.; Penders, R. J. R.: Better environmental survival of outbreak vs. sporadic MRSA isolates. In: *Journal of Hospital Infection* 45, S. 231-234, 2000

(Webser et al. 2000) Webser, C.; Towner, K. J.; Humphreys, H.: Survival of *Acinetobacter* on Three Clinically Related Inanimate Surfaces. In: *Infection control and hospital epidemiology* 21, S. 246, 2000

(Wendt et al. XX) Wendt, C.; Dietze, B.; Dietz, E.; Rüden, H.: Survival of *Acinetobacter baumannii* on Dry Surfaces. In: *Journal of Clinical Microbiology*, Vol. 35, No. 6, S. 139

(WHO 2009) WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee. WHO Guidelines on Hand Hygiene in Health Care: First Global Patient Safety Challenge Clean Care Is Safer Care. Geneva, World Health Organization, 2009

(Widmer, Frei et al. 2015) Widmer, A., R. Frei, T. Lawley, A. Strandén, E. Kuijper, C. Knetsch and S. Tschudin Sutter (2015). Transmissibility of *C. difficile* without contact isolation: results from a prospective observational study. ECCMID Copenhagen, Denmark

(Wischer 2007) Wischer, Robert; Riethmüller, Hans-Ulrich; Daschner, Franz D. (2007): *Zukunftsoffenes Krankenhaus. Fakten, Leitlinien, Bausteine*. Wien: Springer.

(Yu, Xie et al. 2007) Yu, I. T., Z. H. Xie, K. K. Tsoi, Y. L. Chiu, S. W. Lok, X. P. Tang, D. S. Hui, N. Lee, Y. M. Li, Z. T. Huang, T. Liu, T. W. Wong, N. S. Zhong and J. J. Sung (2007). "Why did outbreaks of severe acute respiratory syndrome occur in some hospital wards but not in others?" Clin Infect Dis 44(8): 1017-1025.

6.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitschiene des Forschungsprojektes, 26 Monate Laufzeit.....	9
Abbildung 2: RKI KRINKO Empfehlung Notaufnahme Krankenanhfahrt	19
Abbildung 3: RKI KRINKO Empfehlung OP Schleusen (ab Mitte 2017 ist eine neue KRINKO-Empfehlung geplant)	19
Abbildung 4: RKI KRINKO Empfehlung OP Umkleiden.....	20
Abbildung 5: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Flure.....	23
Abbildung 6: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Intensivpflege	23
Abbildung 7: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Kinderpflegebereich	24
Abbildung 8: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Pflegebereich allgemein	25
Abbildung 9: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Raumzuschnitt	25
Abbildung 10: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Grundflächen Zimmer	26
Abbildung 11: Beispiel Sonderbauregeln der Länder Behinderten WC	26
Abbildung 12: Wo befindet sich Ihr Krankenhaus?	45
Abbildung 13: Welche Versorgungsstufe hat Ihr Krankenhaus?	46
Abbildung 14: Wann wurde Ihr Krankenhaus errichtet und wann wurde das Krankenhaus im nennenswerten Umfang umgebaut/erweitert?	46
Abbildung 15: Wann fand die letzte bauliche Maßnahme auf Ihrer Station statt? ...	47
Abbildung 16: Wie ist die bauliche Struktur Ihres Krankenhauses?	47
Abbildung 17: Ranking Struktur und Aufbau der Stationen	48
Abbildung 18: Wie ist die bauliche Struktur Ihrer OP-Abteilung?.....	48
Abbildung 19: Wie ist die bauliche Struktur Ihrer Notaufnahme?	49
Abbildung 20: Zimmervergleich der unterschiedlichen Stationen zur Bettenanzahl und Raumgröße	50
Abbildung 21: Vergleich der Stationen zur Fensteröffnung, Anteil Desinfektionsmittelpender, Entfernung zum Pflegestützpunkt	51
Abbildung 22: Ist ein Eingriffsraum auf Ihrer Station vorhanden?.....	51
Abbildung 23: Verfügt Ihre Station über Raumluftechnik (RLT) und lassen sich die Fenster öffnen?	52

Abbildung 24: Sind Patientenzimmer ohne eigne Toilette im Zimmer vorhanden? ...	52
Abbildung 25: OP-Bereich: Liegt eine Trennung von septischen und aseptischen OP-Sälen vor und sind separate Schleusen für den aseptischen OP vorhanden?	53
Abbildung 26: OP-Bereich: Ist ein Sterilflur für die Instrumentenvorbereitung vorhanden und gibt es einen zentralen Waschplatz für alle oder mehrere OP-Säle?	53
Abbildung 27: OP-Bereich: Wo findet die Einleitung statt?	54
Abbildung 28: Wie sind die technischen Geräte im OP-Saal installiert?	54
Abbildung 29: Welcher Wand- und Bodenbelag ist in Ihrem OP-Saal vorhanden? ..	55
Abbildung 30: Verfügt Ihr Krankenhaus über eine Notaufnahme, ist ein gesondertes Wartebereich für infektiös-verdächtige Patienten vorhanden, gibt es Desinfektionsmittelpender in Armlänge der Patientenliege?	55
Abbildung 31: Notaufnahme: Sind mehrere Behandlungsplätze in einem Raum vorhanden und sind diese durch einen Vorhang, Paravent o.ä. getrennt?	56
Abbildung 32: Ist eine spezielle Station für Patienten mit MRE vorhanden und gibt es eine zentrale Aufnahmestation?	56
Abbildung 33: Welche der folgenden Dienstleistungen werden extern vergeben und / oder befinden sich auf außerhalb des Krankenhausesgeländes?	57
Abbildung 34: Prozesse in OP und ZNA aus "Zukunftsoffenes Krankenhaus" (Wischer 2007)	59
Abbildung 35: ARGEBAU Planungshilfen Funktionsstelle Operation (Baumann 2013)	60
Abbildung 36: Intensivstation- Ideallayout nach Neil A. Halpern (Halpern 2014)	60
Abbildung 37: Idealtypische Darstellung OP (Expertenworkshop, Standke und Welp 2015)	61
Abbildung 38: Idealtypische Darstellung ZNA (Expertenworkshop, Standke und Welp 2015)	61
Abbildung 39: Mitschrift Experteninterview - Defizitanalyse zur Vorbereitung Musterlösung	62
Abbildung 40: Ausschnitt Auswertung KISS-Umfrage zur baulichen Struktur	63
Abbildung 41: Ideallayout ZNA	64
Abbildung 42: Ideallayout ITS	64
Abbildung 43: Ideallayout OP-Bereich	65

Abbildung 44: Partikelgrößenverteilung (Massenverteilung als Summenfunktion) des verwendeten Prüfstaubs A1	79
Abbildung 45: Versuchsaufbau mit dem linearen Wischsimulator	81
Abbildung 46: Kontaminierte Materialprobe vor einmaligem linearen Wischvorgang	82
Abbildung 47: Probe unter UV-Licht nach einmaligem Wischvorgang (Auszuwertende Prüffläche ist markiert)	82
Abbildung 48: Binäre Auswertung der Kontamination der markierten Prüffläche	82
Abbildung 49: Messvorgang mit der Oberflächensonde und dem Partikelzählgerät	82
Abbildung 50: Ausgangskontamination auf einem Fliesenkreuz vor der Reinigung ..	84
Abbildung 51: Restverschmutzung (blau) auf dem Fliesenkreuz nach dem Reinigungsvorgang	84
Abbildung 52: Gemessene Partikelanzahl auf den metallischen Probekörpern nach der Reinigung mit dem linearen Wischsimulator	85
Abbildung 53: Gemessene Partikelanzahl auf den Polymer-Probekörpern nach der Reinigung mit dem linearen Wischsimulator	85
Abbildung 54: Verhaltensmodell: Restpartikelmenge auf Edelstahl	86
Abbildung 55: Verhaltensmodell: Restpartikelmenge auf Polymerproben im Partikelgrößenkanal 0,3-0,5µm	88
Abbildung 56: Verhaltensmodell: Restpartikelmenge auf Polymerproben im Partikelgrößenkanal 0,5-1,0 µm	88
Abbildung 57: Verhaltensmodell: Restpartikelmenge auf Polymerproben im Partikelgrößenkanal 1,0-3,0 µm	89
Abbildung 58: Logarithmierte Keimzahl von <i>S. aureus</i> zur Inkubationszeit <i>t</i> auf den PVC-Probekörpern P1 bis P10	95
Abbildung 59: Logarithmierte Keimzahl von <i>S. aureus</i> zur Inkubationszeit <i>t</i> auf den Edelstahl-Probekörpern E1 bis E6	96
Abbildung 60: Sterberate von <i>S. aureus</i> auf verschiedenen Materialien in Abhängigkeit von der Rauheit <i>Ra</i>	97
Abbildung 61: Verhaltensmodell der Persistenz von <i>Staphylococcus aureus</i> auf PVC-Probekörpern zur Beschreibung der Keimzahl (logKBE) in Abhängigkeit von Rauheit (<i>Ra</i>) und Zeit (<i>t</i>)	98

Abbildung 62: Verhaltensmodell der Persistenz von Staphylococcus aureus auf Edeltahloberflächen zur Beschreibung der Keimzahl (logKBE) in Abhängigkeit von Rauheit (Ra) und Zeit (t) mit dem Benetzungswinkel $\vartheta = 80^\circ$ 100

Abbildung 63: Forest plot für die Darstellung der Studien Vergleich Einbett- vs. Mehrbettzimmer, End-punkt Kolonisation mit multiresistenten Erregern oder Infektion 110

Abbildung 64: Forest Plot für die Darstellung der Studien Vergleich Einbett- vs. Mehrbettzimmer, End-punkt Kolonisation mit multiresistenten Erregern 110

Abbildung 65: Forest Plot für die Darstellung der Studien Vergleich Einbett- vs. Mehrbettzimmer, End-punkt Sepsis..... 111

Abbildung 66: Verteilung der teilnehmenden Krankenhäuser nach Größe der Städte/Gemeinden 116

Abbildung 67: Verteilung der teilnehmenden Krankenhäuser nach Versorgungsstufe 116

Abbildung 68: Baujahre der teilnehmenden Krankenhäuser und in den letzten 15 Jahren umfangreich baulich veränderter Anteil..... 117

Abbildung 69: Ordnungsprinzip Planungsempfehlunge 122

Abbildung 70: Mögliche Ausführungsformen für den Übergang Wand-Decke 128

6.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beispiel der Kategorisierung von Textmaterial aus der Befragung	34
Tabelle 2: Technische Anforderungen von Funktionsbereichen im Krankenhaus (nach DIN 13080) Untersuchung und Behandlung	68
Tabelle 3: Technische Anforderungen von Funktionsbereichen im Krankenhaus (nach DIN 13080)- Soziale Dienste, Ver- und Entsorgung, etc.....	69
Tabelle 4: Technische Anforderungen von Funktionsbereichen im Krankenhaus (nach DIN 13080) Pflege und Verwaltung.....	69
Tabelle 5: Mechanische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Operation.....	71
Tabelle 6: Chemische und physikalische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Operation	71
Tabelle 7: Hygienische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Operation.....	71
Tabelle 8: Mechanische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Zentrale Notaufnahme.....	72
Tabelle 9: Chemische und physikalische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Zentrale Notaufnahme	72
Tabelle 10: Hygienische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Zentrale Notaufnahme.....	73
Tabelle 11: Mechanische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Intensivpflege	73
Tabelle 12: Chemische und physikalische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Intensivpflege.....	73
Tabelle 13: Hygienische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Intensivpflege	74
Tabelle 14: Mechanische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Allgemeinpflege.....	74
Tabelle 15: Chemische und physikalische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Allgemeinpflege	75

Tabelle 16: Hygienische Anforderungen an Fußboden, Wand und Decke der Funktionsstelle Allgemeinpflege.....	75
Tabelle 17: Untersuchte Materialien des Reinigungsversuches.....	78
Tabelle 18: Signifikanzniveaus auf Metallproben.....	85
Tabelle 19: Signifikanzniveaus auf Polymerproben	87
Tabelle 20: Oberflächeneigenschaften der untersuchten Probenkörper im Persistenzversuch (E=Edelstahl; P=PVC)	92
Tabelle 21: Sterberate von S. aureus auf ausgewählten Proben	96
Tabelle 22: Signifikanzniveaus der untersuchten, relevanten Einflussfaktoren bei PVC-Probenkörpern.....	98
Tabelle 23: Signifikanzniveaus der untersuchten, relevanten Faktoren bei Edelstahloberflächen	99
Tabelle 24: Übersicht und Eigenschaften der ausgewählten Studien.....	109
Tabelle 25: Verteilung der Krankenhausbetten auf 534 Intensivstationen und 621 Normalstationen in Deutschland	114
Tabelle 26: Ergebnisse der multivariablen logistischen Regressionsanalyse von architektonischen Risiko und protektiven Faktoren für Atemwegsinfektions-, Harnwegsinfektions- und Sepsisraten. Es sind ausschließlich Endpunkte mit signifikanten Variablen dargestellt.	115
Tabelle 27: Materialempfehlungen OP-Bereich	124
Tabelle 28: Materialempfehlungen Zentrale Notaufnahme	125
Tabelle 29: Materialempfehlungen Intensivpflege.....	127

6.4 Bildquellen

Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig
IIKE - Institut für Industriebau und Konstruktives Entwerfen
IBMB - Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Charité Berlin - Institut für Hygiene und Umweltmedizin

6.5 Autorenbestätigung

Das Forschungsprojekt wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert.

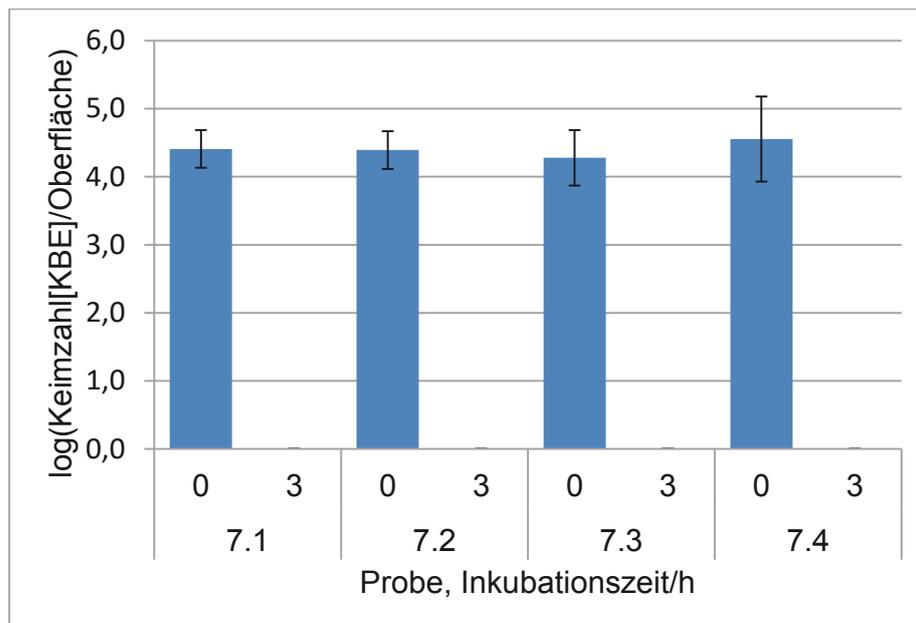
Die Verantwortung für den Inhalt des Berichtes liegt beim Autor.

Bearbeitet von:

Jan Holzhausen (IIKE)
Wolfgang Sunder (IIKE)
Inka Dreßler (IBMB)
Andrea Stiller (Charité Berlin)

ANHANG A

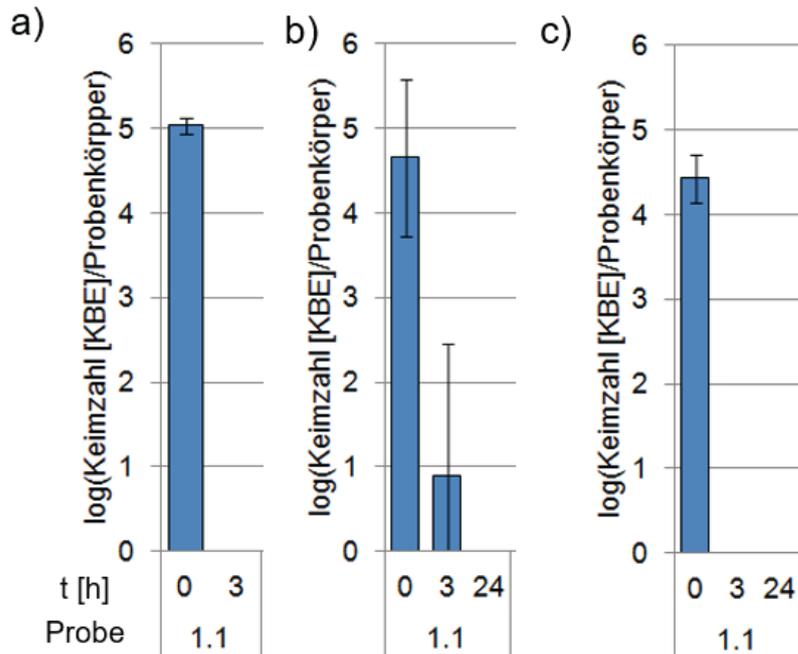
Versuchsergebnisse zum Einfluss des Grundmaterials auf die Persistenz von Mikroorganismen (Staph. Aureus)



Die im Hauptteil beschriebenen Versuche zur Persistenz von Mikroorganismen wurden neben den Edelstahl- und Polymeroberflächen auch an vier verschiedenen Kupferlegierungen getestet. Bereits nach 3 Stunden konnte auf keiner der Proben Erreger nachgewiesen werden. Umfassendere Versuchsreihen mit kürzeren Zeitintervallen sind an dieser Stelle notwendig um den Einfluss der Oberflächeneigenschaften auf das Persistenzverhalten von Mikroorganismen abzubilden.¹

¹ Die Plausibilität der Ergebnisse wird u.a. in Mathews/Hans/Mücklich/Soliz: *Contact Killing of Bacteria on Copper Is Suppressed if Bacterial-Metal Contact Is Prevented and Is Induced on Iron by Copper Ions* in: Applied and Environmental Microbiology Vol. 79 (2013) bestätigt.

Versuchsergebnisse zum Einfluss des Erregers auf die Persistenz



Es wurden Tastversuche zum Einfluss des Erregers (a) *A. baumannii*, b) *Ps. Aeruginosa*, c) *C. Albicans* jeweils auf Edelstahl) auf die Persistenz durchgeführt. Die Erreger verhalten sich deutlich anders als der Referenzkeim (*Staph. Aureus*) auf der gleichen Probe, sodass Versuche mit anderen Keimen nicht vergleichbar sind.

ANHANG B

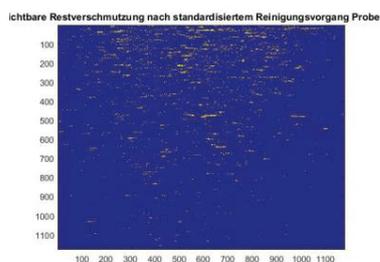
Im Folgenden werden die einzelnen Versuchsergebnisse dargestellt, die zur Überprüfung der Reinigbarkeit von Hausstaub verwendet wurden. Diese Ergebnisse sind aufgrund der Vielzahl an Materialgruppen, deren Besonderheiten (z.B. Noppen oder eingestreute Partikel) und der verwendeten Auswertemethode (Aufnahme der Fluoreszenzintensität des Partikelrückstandes nach dem Reinigen) nur bedingt geeignet nach ihren Oberflächeneigenschaften auswertbar und sind daher nicht im Hauptteil des Berichtes dargestellt. Es folgt zunächst die Darstellung des detektierten Partikelrückstandes und dann eine quantifizierte Beurteilung der Ergebnisse.

Darstellung der Partikelrückstände an den untersuchten Proben

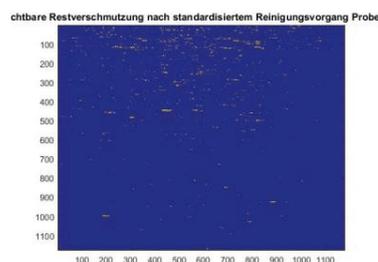
(Kontamination=gelb, gereinigte Fläche = blau)

Edelstahl 1 II

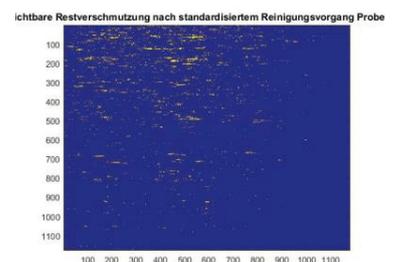
Prüffläche 1



Prüffläche 2

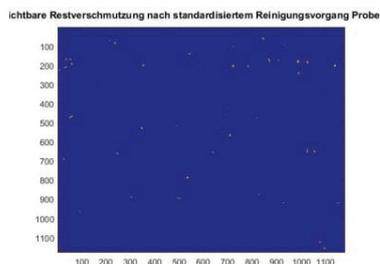


Prüffläche 3

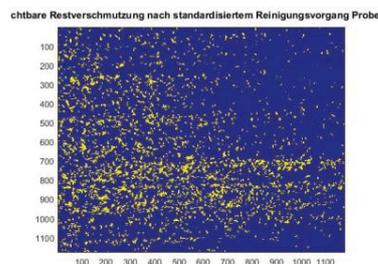


Edelstahl 1 Q

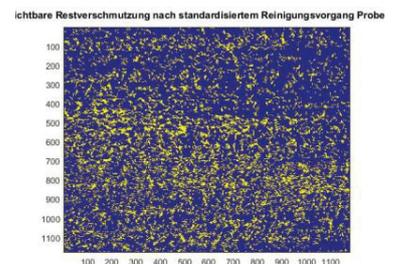
Prüffläche 1



Prüffläche 2

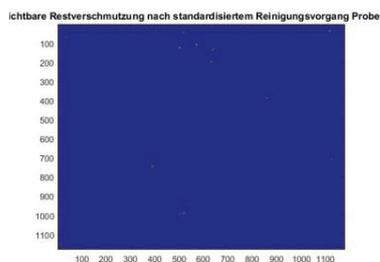


Prüffläche 3

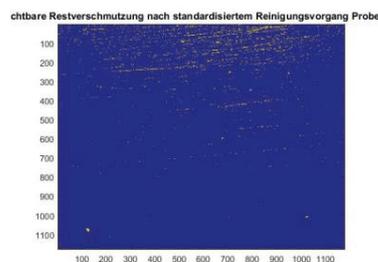


Edelstahl 2

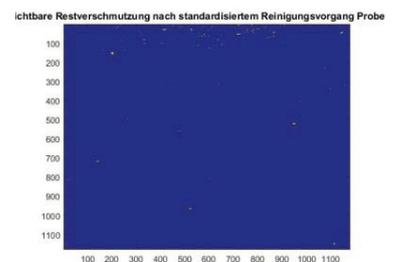
Prüffläche 1



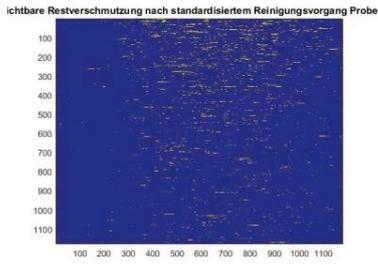
Prüffläche 2



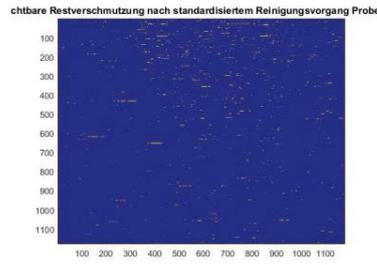
Prüffläche 3



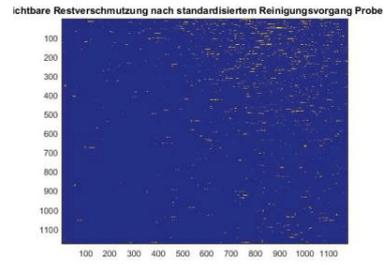
Edelstahl 3 II
Prüffläche 1



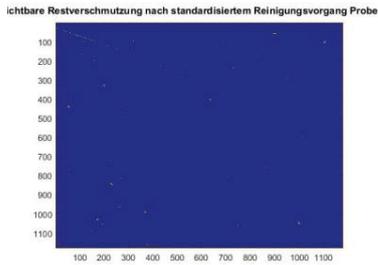
Prüffläche 2



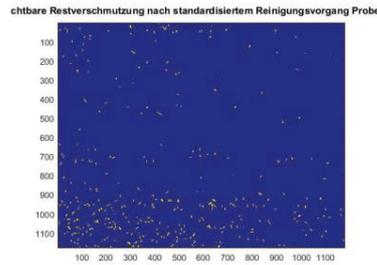
Prüffläche 3



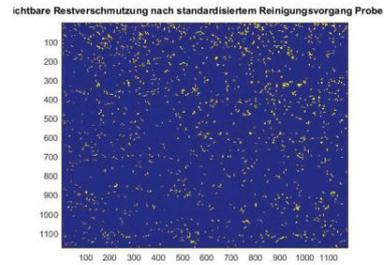
Edelstahl 3 Q
Prüffläche 1



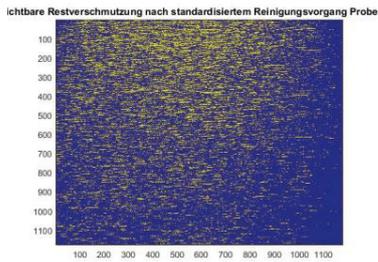
Prüffläche 2



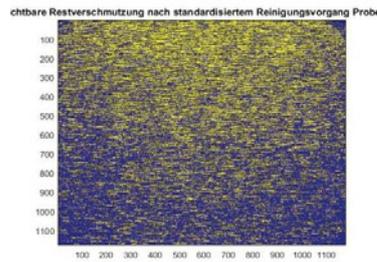
Prüffläche 3



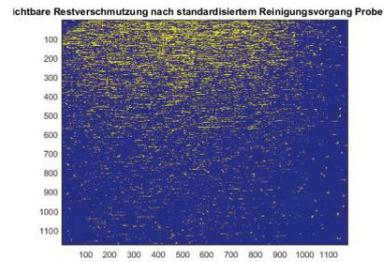
Edelstahl 4 II
Prüffläche 1



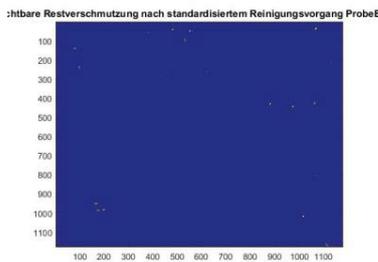
Prüffläche 2



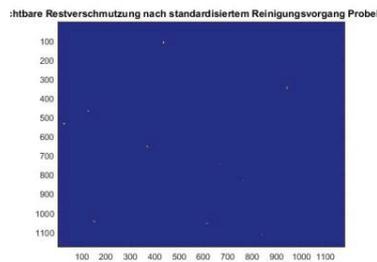
Prüffläche 3



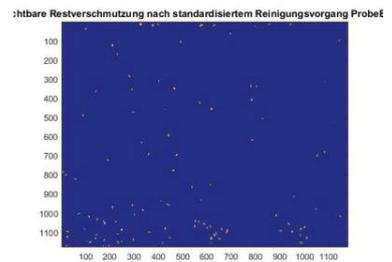
Edelstahl 4 Q
Prüffläche 1



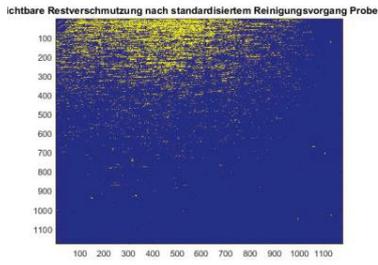
Prüffläche 2



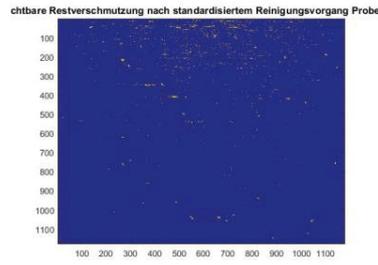
Prüffläche 3



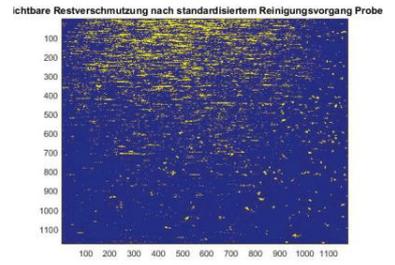
Edelstahl 5 II
Prüffläche 1



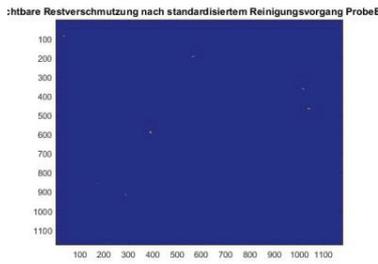
Prüffläche 2



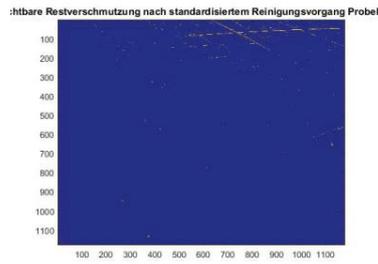
Prüffläche 3



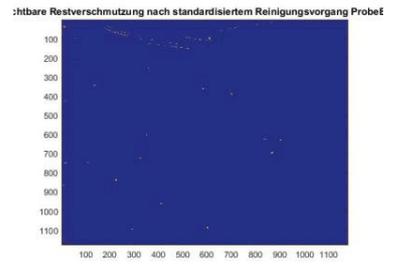
Edelstahl 5 Q
Prüffläche 1



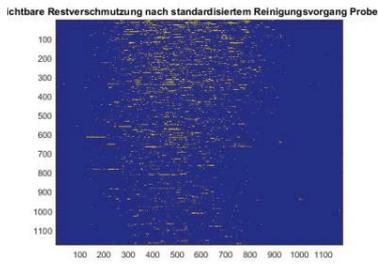
Prüffläche 2



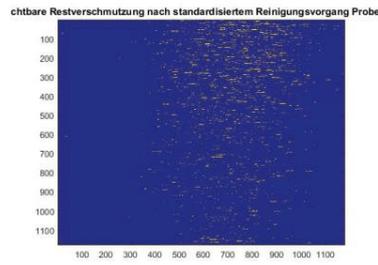
Prüffläche 3



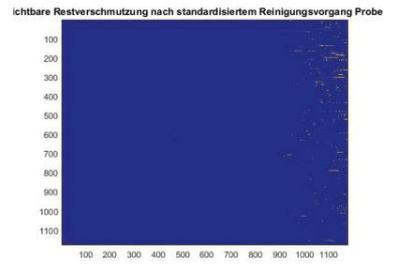
Edelstahl 6 II
Prüffläche 1



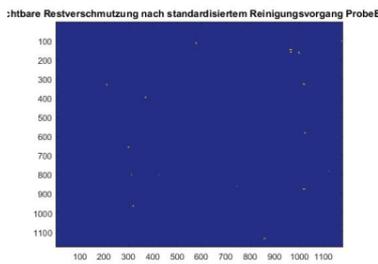
Prüffläche 2



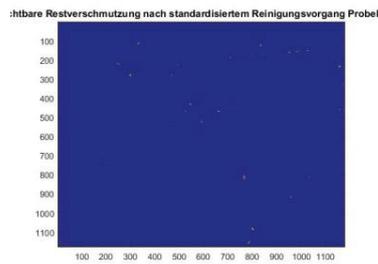
Prüffläche 3



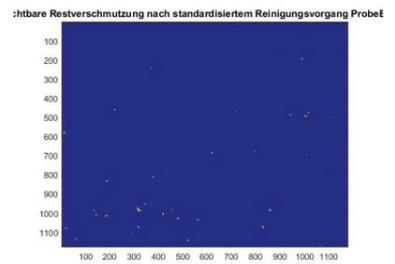
Edelstahl 6 Q
Prüffläche 1



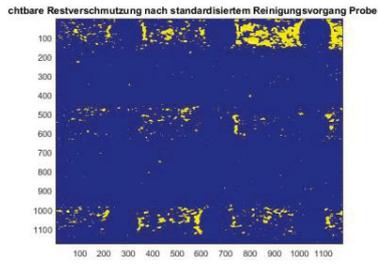
Prüffläche 2



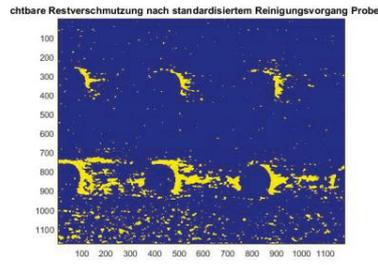
Prüffläche 3



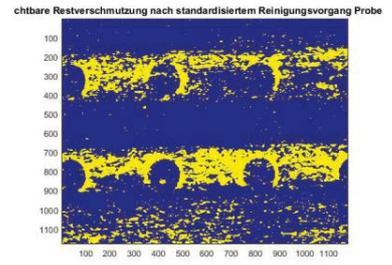
Elastischer Belag 1
Prüffläche 1



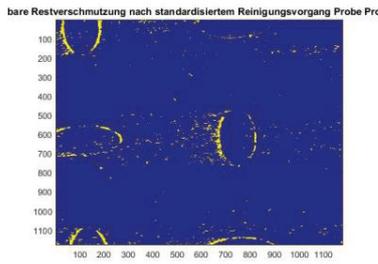
Prüffläche 2



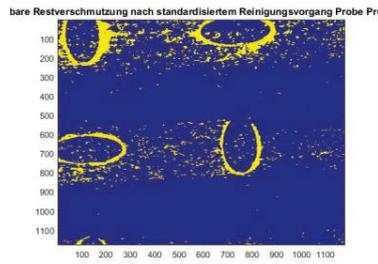
Prüffläche 3



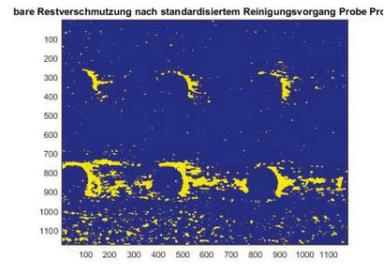
Elastischer Belag 2
Prüffläche 1



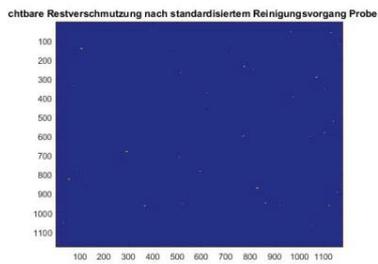
Prüffläche 2



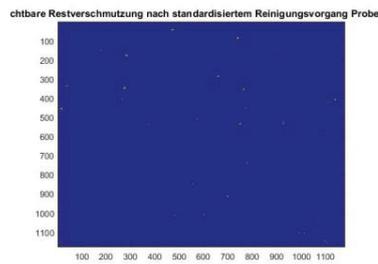
Prüffläche 3



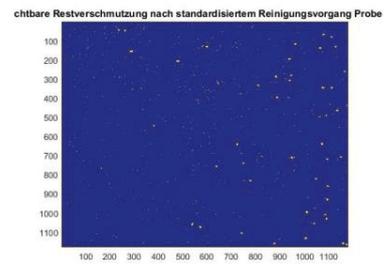
Elastischer Belag 3
Prüffläche 1



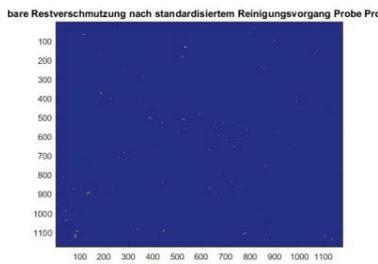
Prüffläche 2



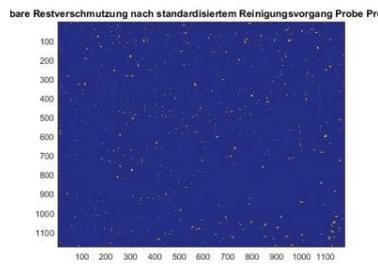
Prüffläche 3



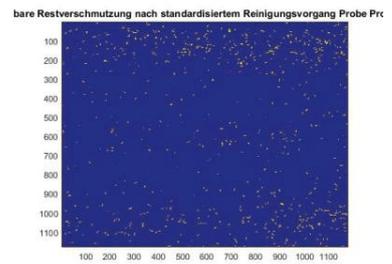
Elastischer Belag 4
Prüffläche 1



Prüffläche 2

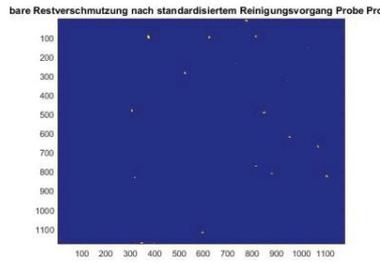


Prüffläche 3

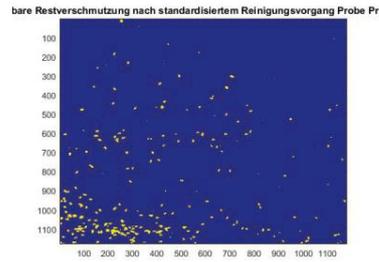


Elastischer Belag 5

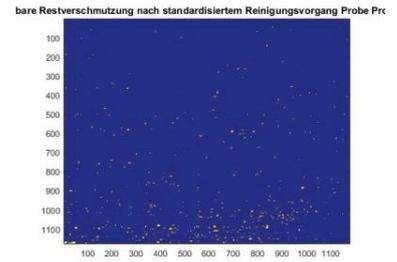
Prüffläche 1



Prüffläche 2

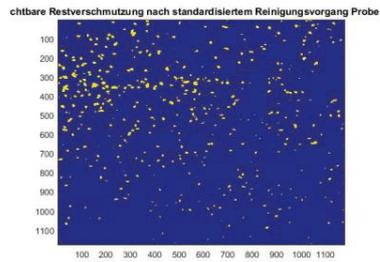


Prüffläche 3

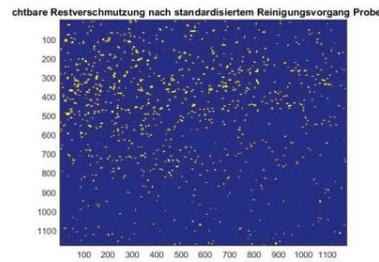


Elastischer Belag 6

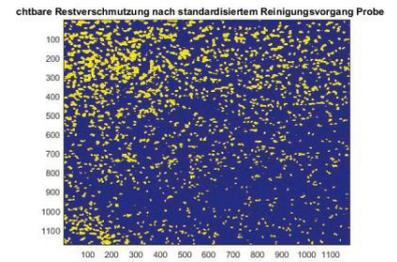
Prüffläche 1



Prüffläche 2

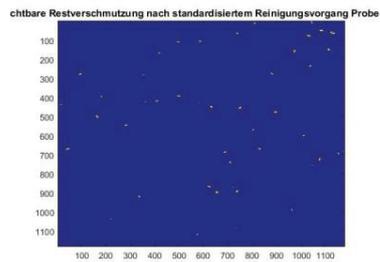


Prüffläche 3

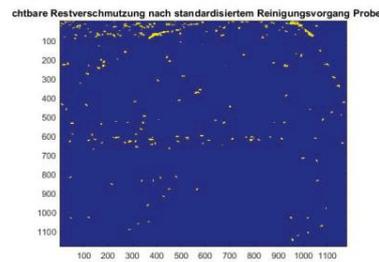


Elastischer Belag 7

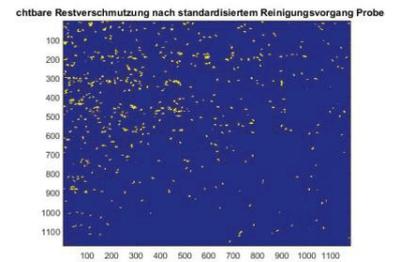
Prüffläche 1



Prüffläche 2

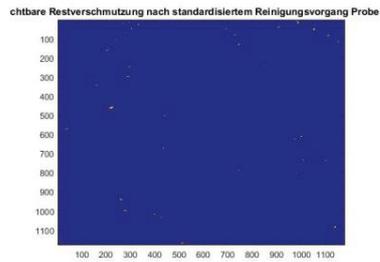


Prüffläche 3

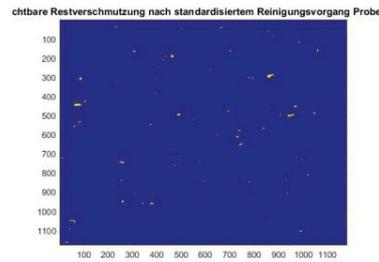


Elastischer Belag 8

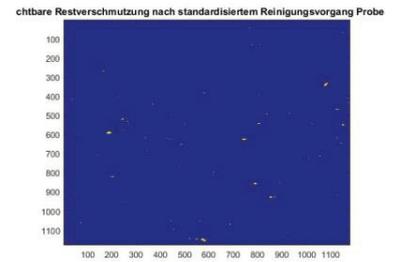
Prüffläche 1



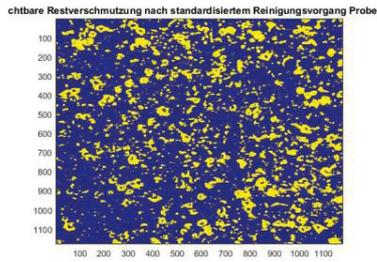
Prüffläche 2



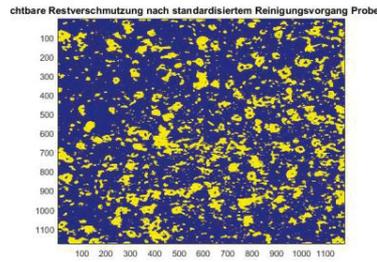
Prüffläche 3



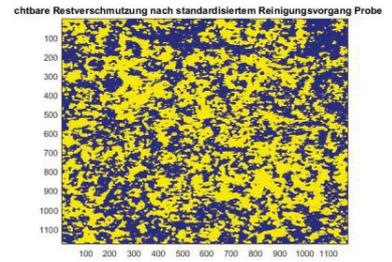
Elastischer Belag 9
Prüffläche 1



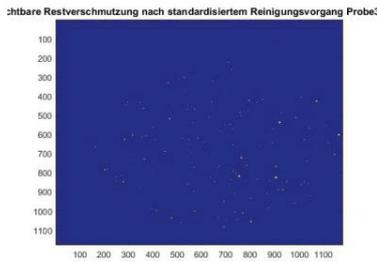
Prüffläche 2



Prüffläche 3



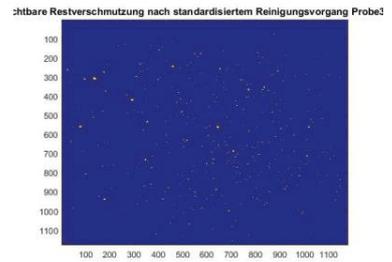
Elastischer Belag 10
Prüffläche 1



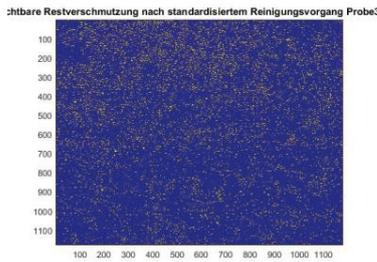
Prüffläche 2



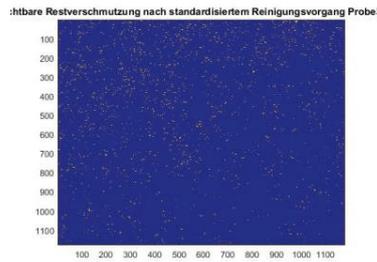
Prüffläche 3



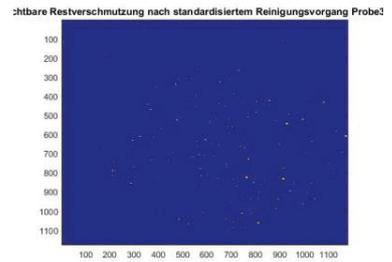
Elastischer Belag 11
Prüffläche 1



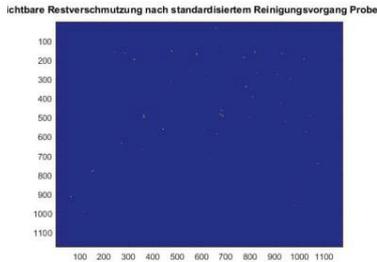
Prüffläche 2



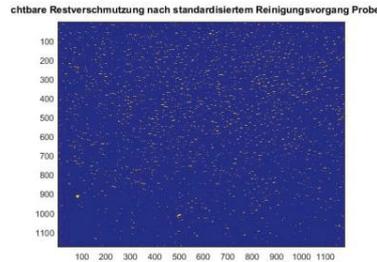
Prüffläche 3



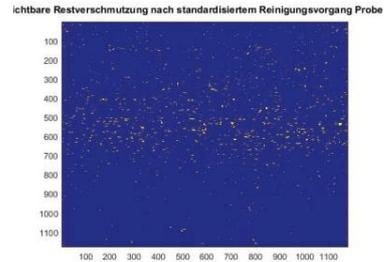
Elastischer Belag 12
Prüffläche 1



Prüffläche 2

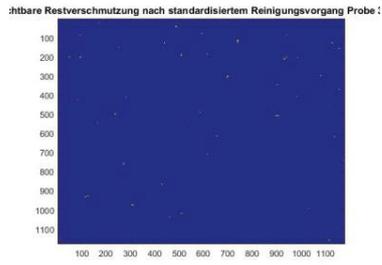


Prüffläche 3

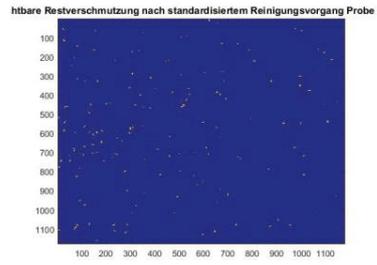


Elastischer Belag 13

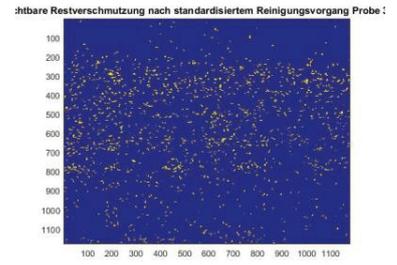
Prüffläche 1



Prüffläche 2

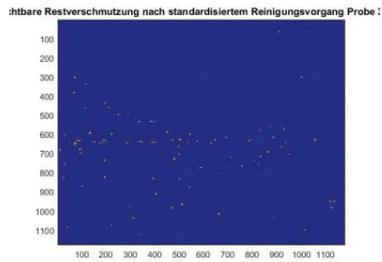


Prüffläche 3

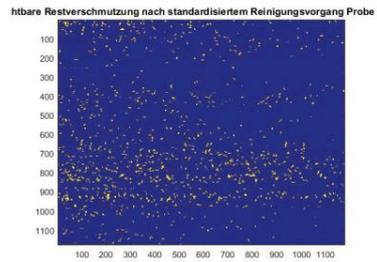


Elastischer Belag 14

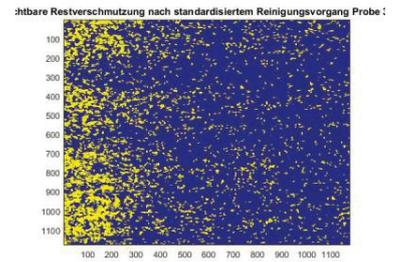
Prüffläche 1



Prüffläche 2

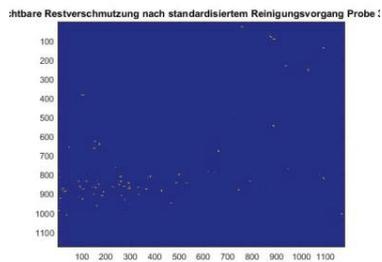


Prüffläche 3

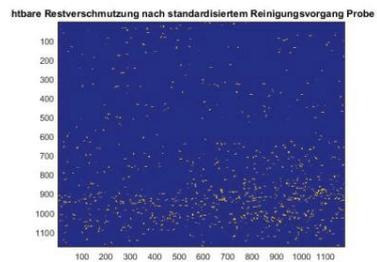


Elastischer Belag 15

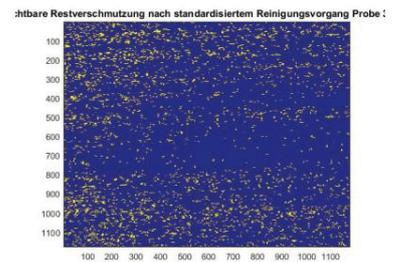
Prüffläche 1



Prüffläche 2



Prüffläche 3



Stahl Emaille 1

Prüffläche 1



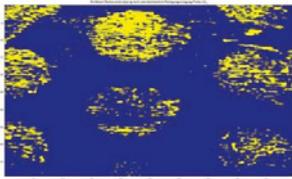
Prüffläche 2



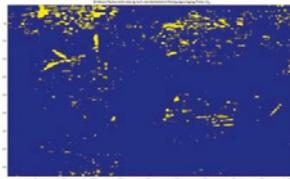
Prüffläche 3



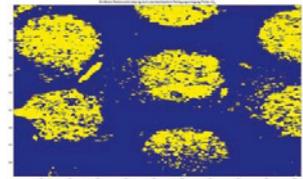
Stahl Emaille 2
Prüffläche 1



Prüffläche 2



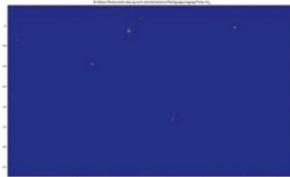
Prüffläche 3



Stahl Emaille 3
Prüffläche 1



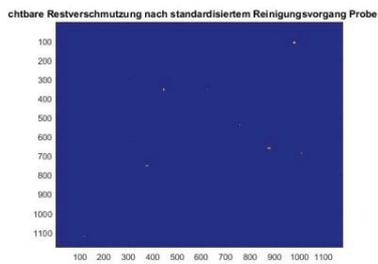
Prüffläche 2



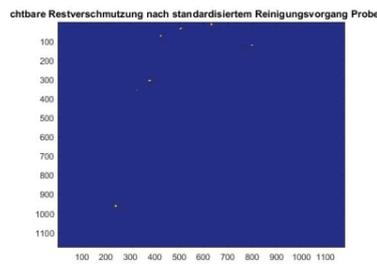
Prüffläche 3



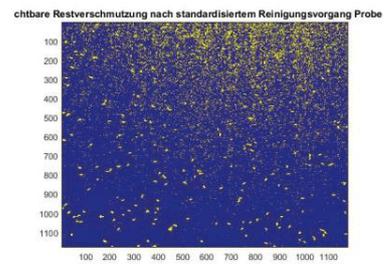
Beschichtung 1
Prüffläche 1



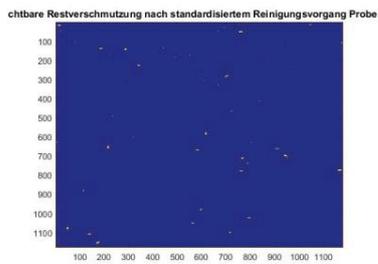
Prüffläche 2



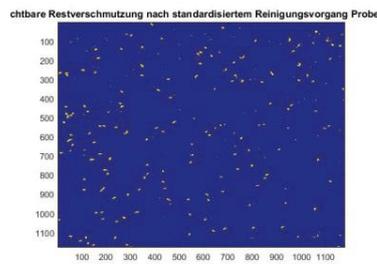
Prüffläche 3



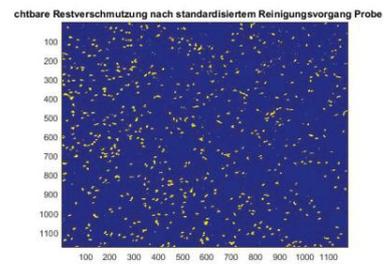
Beschichtung 2
Prüffläche 1



Prüffläche 2

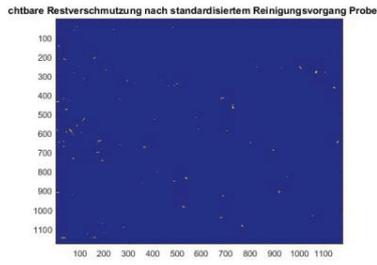


Prüffläche 3

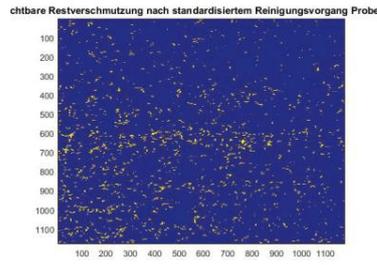


Beschichtung 3

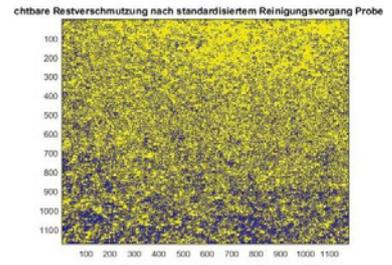
Prüffläche 1



Prüffläche 2

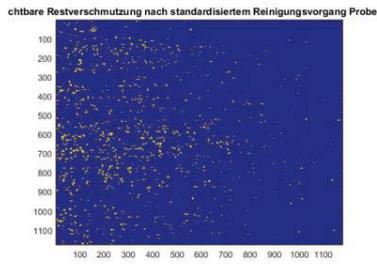


Prüffläche 3

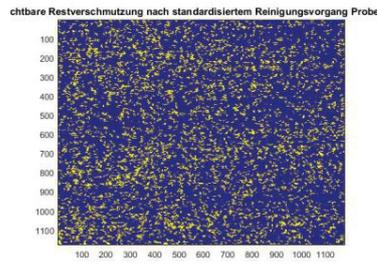


Beschichtung 4

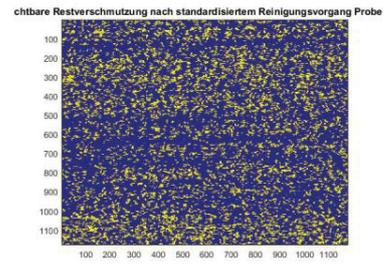
Prüffläche 1



Prüffläche 2

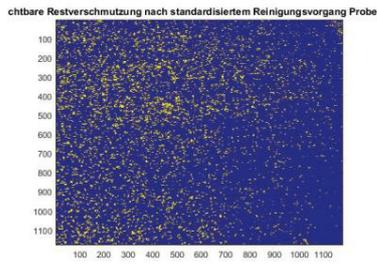


Prüffläche 3

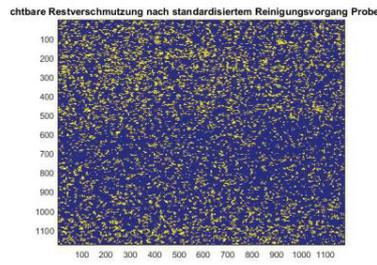


Beschichtung 5

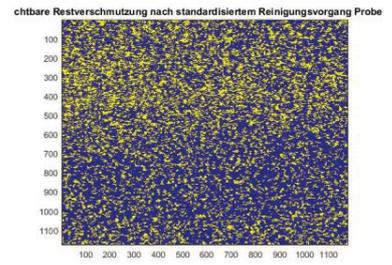
Prüffläche 1



Prüffläche 2

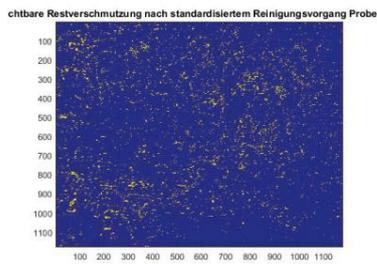


Prüffläche 3

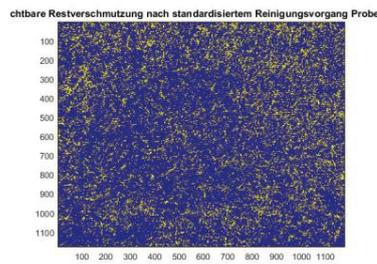


Beschichtung 6

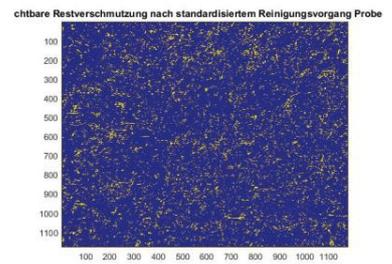
Prüffläche 1



Prüffläche 2



Prüffläche 3



Textil

Prüffläche 1

k.A.

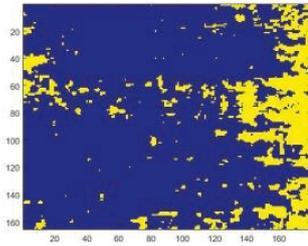
Prüffläche 2

k.A.

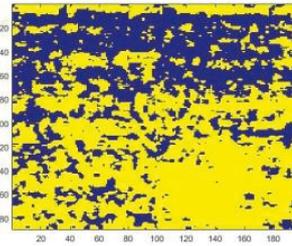
Prüffläche 3

k.A.

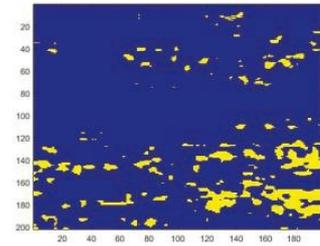
Fliese 1
Prüffläche 1



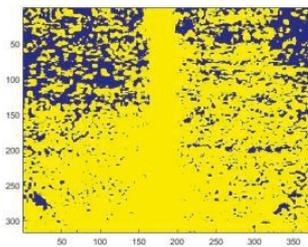
Prüffläche 2



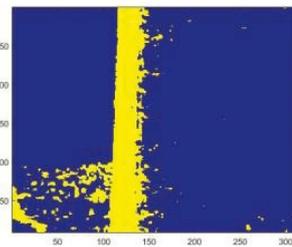
Prüffläche 3



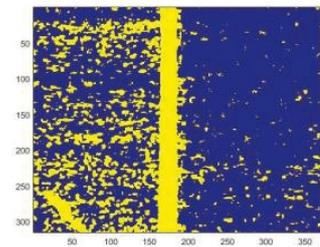
Fliese 2
Prüffläche 1



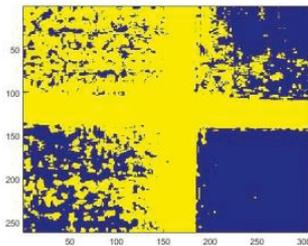
Prüffläche 2



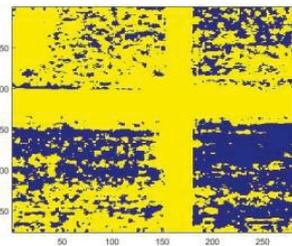
Prüffläche 3



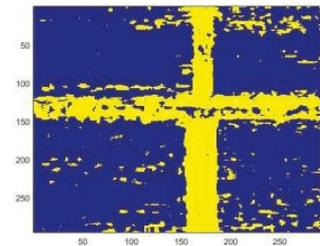
Fliese 3
Prüffläche 1



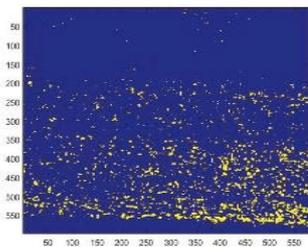
Prüffläche 2



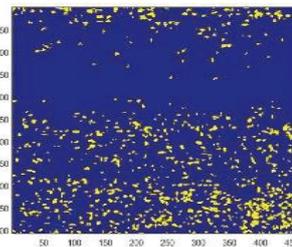
Prüffläche 3



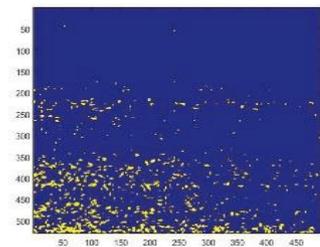
HPL
Prüffläche 1



Prüffläche 2

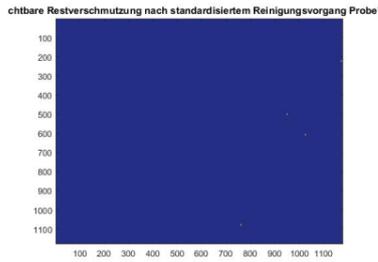


Prüffläche 3

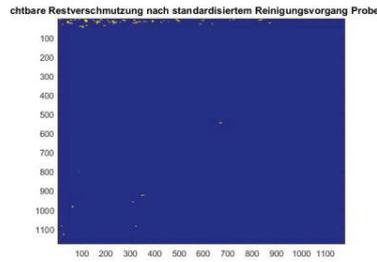


Kupferlegierung 4

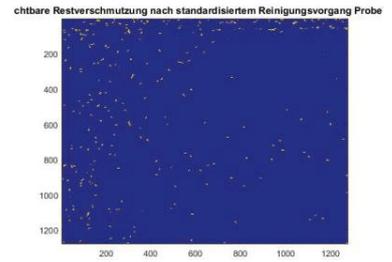
Prüffläche 1



Prüffläche 2



Prüffläche 3



Erzielte Ergebnisse an den untersuchten Proben

Materialgruppe	Fortlaufende Nummer	Reinigbarkeit bei standardisierten Lichtverhältnissen (Grauwert: 35)		Anmerkung
		Mittlerer Verschmutzungsgrad [%]	Standardabweichung [%]	
Edelstahl	1 II	1.03	0.71	
	1 Q	4.52	2.96	
	2	0.19	0.85	
	3 II	1.09	0.75	
	3 Q	1.36	2.05	
	4 II	17.71	3.37	
	4 Q	0.09	0.57	
	5 II	4.78	2.45	
	5 Q	0.10	0.48	
	6 II	1.28	1.35	
	6 Q	0.04	0.17	
Elastische	1	10.11	3.67	Noppenbelag
Bodenbeläge	2	5.11	1.86	Noppenbelag
	3	0.15	0.77	
	4	0.59	1.01	
	5	0.64	1.12	
	6	6.47	3.71	Graustufengrenzwert erhöht t(i)>80/65/65
	7	1.01	1.28	Graustufengrenzwert erhöht t(i)>55/55/110
	8	0.10	0.26	
	9	29.99	4.03	
	10	0.36	0.80	
	11	2.14	2.67	
	12	0.86	1.19	
	13	1.04	2.16	
	14	1.30	1.41	

	15		2.57	2.90	
Stahl Emaille	1		0.01	0.25	
	2		14.64	4.22	Noppenbelag
	3		0.01	0.14	
Beschichtungen	1		2.90	4.15	
	2		1.44	2.08	
	3		18.65	9.71	
	4		11.48	3.63	
	5		16.40	3.04	
	6		7.85	2.54	
Textil	1	--	--		nicht messbar
Fliese	1		27.10	7.39	ohne Fuge
	2		37.11	7.93	Fuge mittig
	3		47.12	4.47	Fugenkreuz
HPL	1		5.83	1.12	
Kupferlegierung	1 II		0.00	0.07	
	1 Q	--	--		nicht messbar
	2		1.18	1.95	
	3 II		0.63	1.12	
	3 Q	--	--		nicht messbar
	4		0.26	0.90	

Anmerkungen:

Anisotrope Materialien wurde in Schleifrichtung (II) und orthogonal zur Schleifrichtung (Q) geprüft.

Je Material wurden drei Prüfflächen gemäß dem beschriebenen Vorgehen untersucht.

Beurteilung der Reinigbarkeit bei Hausstaub

Verschmutzungsgrad	Beurteilung
<5 %	Sehr gut
5-10 %	Gut
10-15 %	Befriedigend
>15 %	Schlecht

Insgesamt wurde das rechts stehende Ergebnis erzielt. Es sei darauf hingewiesen, dass nicht für jedes Material die hier untersuchte Reinigung mit dem Scheuer-Wisch-Verfahren optimal ist.

