

BBSR-
Online-Publikation
18/2026

Intensivstation der Zukunft

Leitfaden: Planung und Entwicklung baulicher und
prozessualer Musterlösungen für Intensivstationen

von

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Sunder
Julia Moellmann
Prof. Dr. med. Petra Gastmeier
Dr. med. Giovanni-Battista Fucini



Intensivstation der Zukunft

Leitfaden: Planung und Entwicklung baulicher und prozessualer Musterlösungen für Intensivstationen

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-20.07

Projektlaufzeit: 11.2020 bis 10.2023

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
Referat WB 3 „Forschung und Innovation im Bauwesen“
Guido Hagel
guido.hagel@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

TU Braunschweig
Institut für Konstruktives Entwerfen, Industrie- und Gesundheitsbau
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Sunder (Projektleitung)
w.sunder@tu-braunschweig.de

Julia Moellmann
julia.moellmann@tu-braunschweig.de

Charité Universitätsmedizin Berlin
Institut für Hygiene und Umweltmedizin
Prof. Dr. med. Petra Gastmeier
petra.gastmeier@charite.de

Dr. med. Giovanni-Battista Fucini
giovanni.fucini@charite.de

Redaktion

TU Braunschweig
Institut für Konstruktives Entwerfen, Industrie- und Gesundheitsbau
Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Sunder (Projektleitung)

Stand

Januar 2026

Gestaltung

TU Braunschweig
Institut für Konstruktives Entwerfen, Industrie- und Gesundheitsbau
Henrike Neumann, M. Sc. Architektur
Lara Lüchau, M. Sc. Architektur
Kirsten Remmers, M. Sc. Architektur

Bildnachweis

Titelbild: VisualProduction (Adobe Stock)

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Sunder, W.; Moellmann, J.; Gastmeier, P.; Fucini, G.-B., 2026: Intensivstation der Zukunft: Leitfaden: Planung und Entwicklung baulicher und prozessualer Musterlösungen für Intensivstationen. BBSR-Online-Publikation 18/2026. Bonn. <https://doi.org/10.58007/sa1h-2x96>

DOI 10.58007/sa1h-2x96

ISSN 1868-0097

Bonn 2026

Vorwort

Die Intensivstation ist ein wesentlicher Bestandteil der Gesundheitsversorgung in Deutschland. Sie steht als Abteilung der Maximalversorgung im Zentrum jedes Krankenhauses. Jährlich werden ca. 2,2 Millionen Menschen auf deutschen Intensivstationen behandelt mit stark wachsendem Trend seit 2003 (Statistisches Bundesamt 2018). Grund ist u. a. die zunehmende Zahl älterer, multimorbider Patienten und die Tendenz zu immer kürzeren Liegezeiten. Seit Jahrzehnten nimmt außerdem die Komplexität und die Technisierung der intensivmedizinischen Versorgung zu. In der Folge haben Intensivstationen zumeist hohe Raten an Krankenhausinfektionen (ca. 20 % der Patienten) und es erhöhen sich nahezu kontinuierlich Arbeitsdichte und Kostendruck. Dadurch wird die Arbeit auf Intensivstationen für die Angestellten zunehmend unattraktiv. Dies führte zu dem momentan massiven Mangel an ausgebildetem intensivmedizinischen Fachpersonal (Karagiannidis et al. 2018). Die seit Januar 2019 greifenden Pflegeuntergrenzen können diesen Mangel an Fachpersonal aktuell nicht beheben.

Das Projekt "Intensivstation der Zukunft" hat diese Probleme aufgegriffen und aktuelle Konzepte für die Planung und den Betrieb von Intensivstationen im Krankenhaus geprüft. Es wurden neue, innovative bauliche Lösungen entwickelt, die den täglichen Problemen entgegenwirken. Im Fokus standen zwei Aufgabenbereiche:

- Reduktion von Krankenhausinfektionen durch neue evidenzbasierte Präventionskonzepte
- Verbesserung der Patientenversorgung durch Anpassung der Stationsstruktur auf wesentliche Abläufe

Unter der Federführung des Instituts für Konstruktives Entwerfen, Industrie- und Gesundheitsbau (IKE) der TU Braunschweig und in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Charité wurde in diesem Projekt ein völlig neuer Ansatz zur baulich-funktionalen Gestaltung von Intensivstationen verfolgt. Zudem waren von Beginn des Projektes zehn kompetente und innovative Industriepartner der Gesundheitswirtschaft und Klinikbetreiber in die Entwicklung der Empfehlungen eingebunden.

Erarbeitet wurden baulich-technische Musterlösungen für diesen Bereich, die einerseits die medizinische Versorgung ermöglichen, aber gleichzeitig durch optimierte Abläufe das Hygienemanagement so verbessern, dass selbst Patienten mit hochinfektösen und lebensbedrohlichen Krankheiten auf dieser Station bestmöglich versorgt werden können. Damit soll zum einen die Infektionsrate auf Intensivstationen deutlich reduziert und zum anderen die Arbeitsplatzqualität der Klinikmitarbeiter deutlich erhöht werden.

Das Projekt hatte eine Laufzeit von 36 Monaten. Diese Zeitspanne war strukturiert in vier die Arbeitspakete (a) Analyse und Bewertung von Intensivstationen, (b) Entwicklung praxistauglicher baulicher Musterlösungen für infektionsrelevante Bereiche der Intensivstation, (c) Zusammenführung identifizierter Teillösungen zu einem ganzheitlichen Lösungsansatz und (d) Überführung der Ergebnisse in einen praxisorientierten Leitfaden.

Die erarbeiteten Planungsempfehlungen und Musterlösungen dieses Projektes tragen mittel- bis langfristig zu einer Optimierung infrastruktureller Abläufe in infektionskritischen Gebäuden wie dem Krankenhaus und ihren Pflegebereichen bei.

Mit der vorliegenden Publikation kann das erarbeitete Wissen des Projektes (a) direkt in Planungs- und Bauprozesse von Gesundheitsbauten einfließen, (b) in die Berufspraxis von Kliniken transferiert werden und (c) wissenschaftliche und politische Entscheidungsfindungen unterstützen. Zielgruppen für die Nutzung der Ergebnisse sind insbesondere Architekten, Mediziner, Gesundheitswissenschaftler, Gesundheitsexperten aus der Politik und Mitglieder von Gesundheitsverbänden.

Die erarbeiteten Empfehlungen haben alle das Ziel, die Patienten sowie das ärztliche und pflegerische Personal in ihren alltäglichen Abläufen in einem hygienesicheren Umfeld zu unterstützen. Gefördert wird dies durch bauliche Strukturen, welche die räumliche Orientierung und die Übersichtlichkeit stärken, die die Entfernungen zwischen hygiene relevanten Räumen reduzieren oder die auf Veränderungen flexibel reagieren können.

Die Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Wolfgang Sunder
Prof. Dr. Petra Gastmeier
Dr. Giovanni Fucini
Julia Möllmann

Kurzbiografien



Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Sunder

Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Sunder ist Architekt und hat in Münster, Zürich und Berlin studiert. Er hat die Professur Gesundheitsbau am Departement Architektur der TU Braunschweig inne und hat den Gesundheitsbau als zentralen Lehr- und Forschungsbereich in Deutschland aufgebaut und etabliert. Er initiiert nationale und internationale Forschungsprojekte im Themenfeld des Gesundheitsbaus. Er berät zudem Klinikbetreiber in ihrer strategischen Ausrichtung, veröffentlicht regelmäßig Publikationen und engagiert sich in gesundheitsrelevanten Ausschüssen und Verbänden.



Prof. Dr. med. Petra Gastmeier

Univ.-Prof. Dr. med. Petra Gastmeier ist Fachärztin für Hygiene und Umweltmedizin. Seit 2008 ist sie Direktorin des Instituts für Hygiene und Umweltmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin und leitet das Nationale Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen. Sie ist international ausgewiesene Expertin im Bereich Infektionsprävention und arbeitet unter anderem mit dem RKI und der WHO zusammen.



Dr. med. Giovanni-Battista Fucini

Giovanni-Battista Fucini hat Humanmedizin in Florenz (Italien) studiert. Er ist Facharzt für Anästhesiologie sowie seit 2025 Facharzt für Hygiene und Umweltmedizin. Derzeit ist er am Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin tätig. Seit 2020 beschäftigt er sich schwerpunktmäßig mit der baulichen und technischen Hygiene, insbesondere mit der Prävention wassergetragener Infektionen im Krankenhausumfeld.



Julia Möllmann

Julia Moellmann hat Architektur und Urban Design an der Leibniz Universität Hannover, der Politecnico di Milano und der Staatlichen Universität für Architektur und Bauingenieurwesen in St. Petersburg studiert. Von 2017 bis 2023 arbeitete sie als Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Konstruktives Entwerfen, Industrie- und Gesundheitsbau (IKE) der TU Braunschweig im Bereich Gesundheitsbau an Forschungsprojekten.

Mitwirkende

Autorinnen und Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Sunder, Julia Moellmann
Institut für Konstruktives Entwerfen, Industrie- und Gesundheitsbau (IKE)
TU Braunschweig (Projektleitung)

Univ.-Prof. Dr. med. Petra Gastmeier, Dr. Giovanni Fucini
Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Charité Berlin

Weitere Mitwirkende:

Henrike Neumann, M.Sc. Architektur
Lara Lüchau, M.Sc. Architektur
Kirsten Remmers, M.Sc. Architektur
Institut für Konstruktives Entwerfen,
Industrie- und Gesundheitsbau (IKE)
TU Braunschweig

Fachliche Betreuung:

Guido Hagel
Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung, Bonn
Referat WB 3 „Forschung im Bauwesen“

Kooperationspartner

Aqua Free GmbH
Bode Chemie GmbH
BPS GmbH: Beratung, Planung und Serviceleistungen im Gesundheitswesen
C-S Group
Dr. Schnell GmbH & Co. KGaA
HT Health Tec GmbH
LEDVANCE GmbH
LINET Group
Schülke & Mayr GmbH
Städtisches Klinikum Braunschweig gGmbH
Tarkett Holding GmbH
Tesa SE
Vivantes - Netzwerk für Gesundheit GmbH

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	12
1.1 Herausforderungen Intensivstation für Bau und Hygiene	12
1.2 Geschichtlicher Überblick der Hygieneentwicklung und dessen Einfluss ... auf die bauliche Struktur der Intensivstation	17
1.3 Erfahrungen aus der Pandemie auf die Intensivstation	21
2. Analyse	22
Einleitung	22
2.1 Literaturrecherche Evidence Based Design	23
2.2 Gesetze, Normen und Richtlinien	32
2.3 Retrospektive Analyse	35
2.4 Bedarfsanalyse	45
3. Vorstellung Empfehlungen für Bau und Prozess	48
Einleitung	48
3.1 Stationsstruktur	50
3.2 Patientenzimmer	56
3.3 Vorräume	61
3.4 Arbeitsräume	62
3.5 Waschbecken	63
3.6 Material, Oberflächen und Desinfektion/Reinigung	65
4. Schlussworte	68
5. Anhang	71
5.1 Vorstellung Ergebnisse (Auszug) zur Abfrage zur baulichen Struktur von ... Intensivstationen in Deutschland (KISS)	72
5.2 Vorstellung Typologien Intensivstationen	90
5.3 Vorstellung Ergebnisse Nutzerbefragung zur Verbesserung von ... Intensivstationen	104
5.4 Glossar	116
5.5 Literaturverzeichnis	121
5.6 Abbildungsverzeichnis	124
5.7 Tabellenverzeichnis	126
Exkurse	128
Einleitung	128
„Wasserversorgung, Filtration, Nachhaltigkeit“	129
„Lüftung auf Intensivstationen“	142
„Licht und Beleuchtung“	148
„Materialverbrauch und Nachhaltigkeit auf Intensivstationen“	172
„Oberflächen, Reinigung und Desinfektion“	184
„Robotik in der Pflege“	200
„Digitale Lösungen und elektronische Monitoringsysteme“	208

1. Einführung



1.1 Herausforderungen Intensivstation für Bau und Hygiene

Die Intensivstation ist ein wesentlicher Bestandteil der Gesundheitsversorgung in Deutschland und steht neben den direkten ärztlichen Leistungen im Zentrum eines jeden Krankenhauses.

Auf deutschen Intensivstationen behandelten Ärzte im Jahr 2017 etwa 2,2 Millionen Menschen. Während es seit 2003 auf Normalstationen immer weniger Klinikbetten gibt, steigt die Zahl der Intensivbetten an, von 22.000 im Jahr 2003 auf 27.000 im Jahr 2017 (Statistisches Bundesamt 2018). Grund dafür ist u. a. die zunehmende Zahl älterer Patienten mit mehreren verschiedenen Erkrankungen. Auch stehen immer fortschrittlichere und zunehmend komplexere medizinische Verfahren bei der Versorgung von schwerstkranken Patienten zur Verfügung. Es steigen damit neben den Kosten auch der Arbeitsdruck auf das Personal und der Bedarf an gut ausgebildetem Fachpersonal auf Intensivstationen, meldet die Deutsche Gesellschaft für Innere Medizin (DGIM) (Deutsche Gesellschaft für Innere Medizin 2017).

Anzahl der Intensivbetten in Deutschland
1990-2019

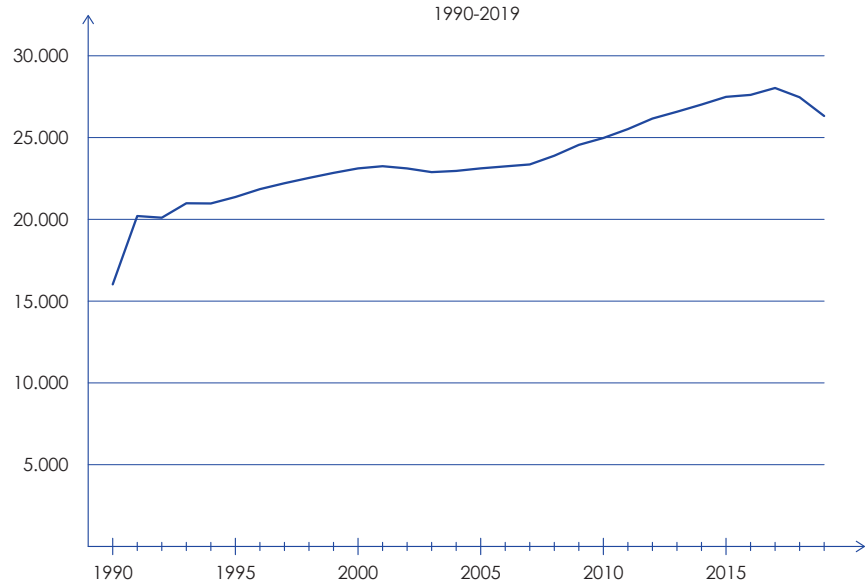


Abbildung 1
Anzahl der Intensivbetten in Deutschland
von 1990 bis 2019

Zusätzlich zum Mangel an intensivmedizinischem Fachpersonal hat die Aufmerksamkeit für Krankenhausinfektionen in den letzten Jahren zugenommen. Nach einer Erhebung aus dem Jahr 2022, hatten in Deutschland am Erhebungstag 17 % der Intensivpatienten eine nosokomiale Infektion, wobei es im Jahr 2016 noch 14,8 % waren. Europaweit waren es sogar 21,5 % (Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals 2022–2023).

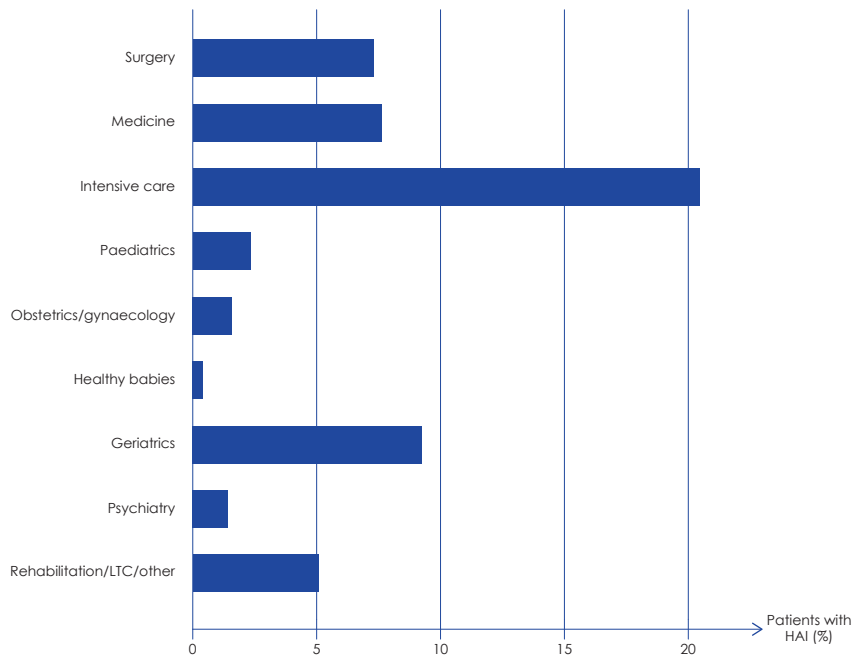


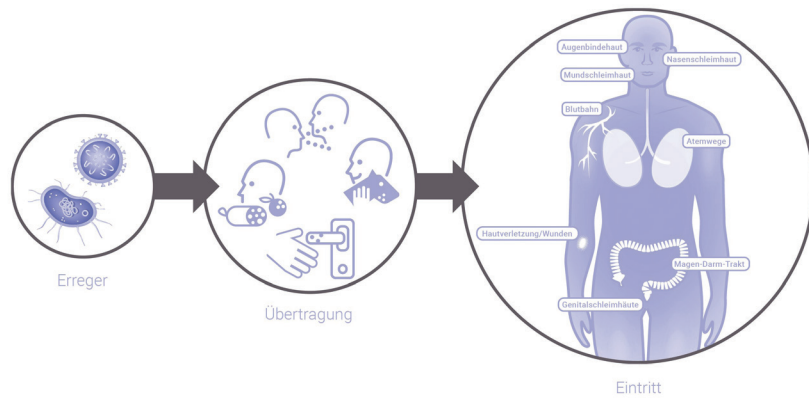
Abbildung 2
Prävalenz von Krankenhausinfektionen (Prozentsatz der Patienten). Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals

Krankenhausinfektionen – auch *Nosokomiale* Infektionen genannt – sind Infektionen, die während – oder in Verbindung mit – einer medizinischen Behandlung auftreten. Am häufigsten werden diese von Erregern, die bereits Teil des Mikrobioms des Patienten sind (*endogene Quelle*). In kleinerem Ausmaß können auch Erreger, die aus anderen Menschen oder aus der Umgebung kommen eine Infektion verursachen (*exogene Quelle*). In diesem letzten Fall spricht man von *Übertragung*.

Die häufigste Art der Übertragung im Krankenhaus (und auch auf Intensivstationen) ist die *Kontaktübertragung*. Eine *direkte Kontaktübertragung* von Menschen zu Menschen tritt im Krankenhaus wahrscheinlich nur in Ausnahmefälle auf. Viel häufiger ist die *indirekte Übertragung* über kontaminierte Gegenstände (z. B. einer gemeinsam genutzten Toilette oder auch medizinischer Geräte) bzw. über kontaminierte Hände des Personals. Eine andere wichtige Form der Übertragung ist die aerogene Übertragung (über Tröpfchen oder Aerosole), die über die Luft von Mensch zu Mensch getragen werden können. (Abbildung 3)

Abbildung 3

Infektionserreger können über die Luft oder über Kontakt von Mensch zu Mensch übertragen werden. Nicht jeder Kontakt mit einem Erreger führt zu einer Infektion. Dafür muss der Erreger auf einem empfindlichen Wirt (Empfänger) treffen. Mögliche Eintrittspforten für Infektionserreger sind die Schleimhäute der Luftwege oder offene Wunden. Immunschwäche bzw. das Anwenden von invasiven Devices stellen somit Risikofaktoren für Infektionen auf Intensivstationen dar.



Gesunde Menschen sind sowohl durch ein intaktes *Immunsystem* als auch durch natürliche Barrieren (Haut und Schleimhäute) vor den meisten Erregern im Alltag geschützt. Im Gegensatz dazu sind Patienten auf Intensivstationen von Infektionen stark gefährdet. Zum einen, weil das Immunsystem häufig von ihren schweren Erkrankungen geschwächt ist, zum anderen, weil die Behandlung im Regelfall die Anwendung von *invasiven Devices* (endotrachealer Tubus, intravenöse oder intraveszikale Katheter) erfordern, die die natürlichen Barrieren zum Teil umgehen oder sogar durchdringen.

Darüber hinaus stellt die hohe Prävalenz von *multiresistenten Erregern (MRE)* auf Intensivstationen ein zusätzliches Risiko für die Verbreitung derartiger, schwertherapierbarer Infektionserreger unter Intensivpatienten dar. Aus gepoolten Daten des Nationalen Referenzzentrums für nosokomiale Infektionen (NRZ) aus den Jahren 2017-2022 geht hervor, dass mit einer Gesamtprävalenz von 3,05/100 Patienten z. B. 3 MRGN und 4 MRGN auf Intensivstationen um ein Vielfaches häufiger als auf Normalstationen (Gesamtprävalenz 1,89/100 Patienten) sind.

Aus diesem Grund sind in diesem Bereich besondere hygienische, personelle und bauliche Maßnahmen zu beachten.

Ein gemeinsames Projekt der TU Braunschweig und der Charité Berlin (gefördert durch das Ministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit im Rahmen der Forschungsinitiative Zukunft BAU) hat aufgezeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen baulicher Struktur bzw. Ausstattung eines Krankenhauses und dem Auftreten von nosokomialen Infektionen bzw. dem Übertragungsrisiko von Infektionserregern gibt. Demnach gibt es Evidenz für den Vorteil der Ausstattung von Intensivstationen mit einem möglichst großen Anteil von Einbettzimmern (siehe Tabelle 1). Deshalb sollten in Zukunft deutlich mehr Einzelzimmer auf Intensivstationen errichtet werden, idealerweise für 100 % der Betten (Stiller et al. 2017).

Quelle	Ort	Erreger	Intervention	Vergleich	Endpunkt	Ergebnis
Mulin et al. 1997	Chirurg. ITS	A.baumannii	Nur noch Einzelzimmer	Gemischt	Infektion	Signifik. Reduktion
BenAbraham et al. 2002	Pediatr. ITS	Nosokom. Infektionen	Einzelzimmer	Offene Station	Infektion	Signifik. Reduktion
Bracco et al. 2007	Chirurg. ITS	M. RSA, Pseud. spp.	Einzelzimmer	2-/3- Bettzimmer	Infektion	Reduktion
McManus et al. 2011	Verbrennungsst.	Gram+/gram-	Einzelzimmer	Offene Station	Infektion	Signifik. Reduktion
Levin et al. 2011	ITS	MRSA, VRE, CRE, ESBL	Nur noch Einzelzimmer	Gemischt	Infektion	Signifik. Reduktion
Domanico et al. 2011	Neonat. ITS	Sepsis	Einzelzimmer	Offene Station	Sepsis	Reduktion (kein p-Wert)
Ellison et al. 2014	Allg. St.	C.difficile, MRSA, VRE	Einzelzimmer mit Bad	4-Bettzimmer u. Gemeinschaftsbad	Infektion /Kolonisation	Kein Unterschied

Tabelle 1

Ergebnis Systematisches Review zu Einzel- und Mehrbettzimmern und ihr möglicher Einfluss auf die Reduktion von Infektionen

Zudem hat sich herausgestellt, dass eine ausreichende Anzahl von Händedesinfektionsmittelspendern für das Personal auf Intensivstationen einen entscheidenden Faktor für eine höhere Compliance in der Händehygiene ist.

Einen weiteren Schwerpunkt stellen wassergetragene Infektionen dar. Zahlreiche Publikationen berichten von Ausbrüchen mit multiresistenten Erregern, die auf kontaminierte Waschbecken in Intensivstationen zurückzuführen sind (Salm F et al. 2016) (Weinbren MJ 2018). Aufgrund aktueller Entwicklungen im Infektionspräventionskonzept auf Intensivstationen werden allerdings Waschbecken im Patientenzimmer immer häufiger überflüssig. Einige Studien konnten daher bereits zeigen, dass durch den Rückbau von Waschbecken die Rate nosokomialer Infektionen allgemein, aber auch mit multiresistenten Erregern stark reduziert werden (Shaw E et al. 2018) (Hopman J et al. 2017).

Eine umfangreiche empirische Untersuchung der Charité Berlin zu baulichen Parametern aus dem Jahr 2016 hat allerdings gezeigt, dass deutsche Intensivstationen oft nicht die räumlichen und technischen Voraussetzungen aufweisen, um Intensivpatienten adäquat versorgen zu können (Sunder et al. 2018). Eine zu geringe Anzahl an Einzelzimmern, zu viele Stationsbetten und zu kleine Zimmer (Abbildung 4), zu lange Wegeführungen, problematische Wasserversorgung, unzureichende Reinigungsmöglichkeiten, sowie ein zu großer Abstand des Händedesinfektionsmittelspenders zum Bett sind nur einige Beispiele. Darüber hinaus entsprechen die eingesetzten Materialien und Oberflächen in diesen Bereichen häufig nicht den mechanischen, physikalischen, chemischen und hygienischen Anforderungen. All dies sind Defizite, welche durch Prozess- und Managementoptimierung nicht kompensiert werden können (Sunder et al. 2018).

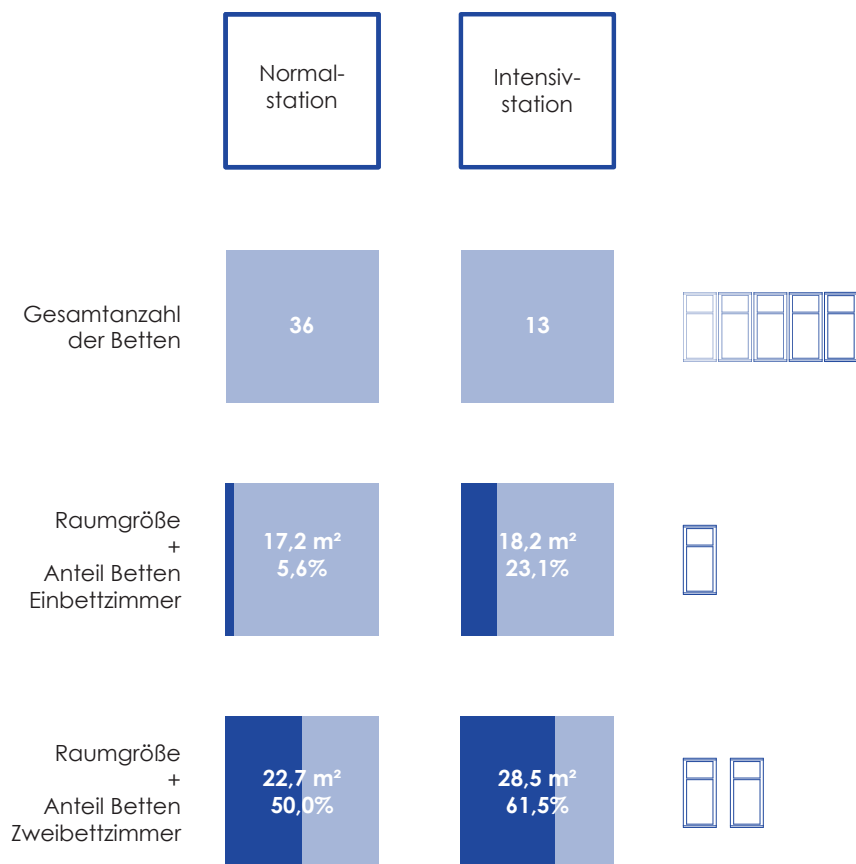


Abbildung 4
Pflegestationen im Vergleich

Problemstellung

Funktional und aufgrund der umfangreich eingesetzten Medizintechnik weisen Intensivpflegebereiche besonders komplexe Strukturen auf.

In dieser Forschungsarbeit wurde im Rahmen von Umfragen unter Planern, Betreibern und Nutzern von Krankenhäusern der Zustand von baulichen Strukturen von Intensivstationen abgefragt. Dabei wurde die bauliche, technische und personelle Ausstattung von Intensivstationen als ein wesentliches Merkmal leistungsfähiger Gesundheitsbauten identifiziert und das Angehen dieser Herausforderung als bisher unzureichend erforscht eingestuft. Es gibt kaum Standards in der architektonischen Planung von Intensivstationen. Dies führt zu großer Heterogenität der architektonischen Gegebenheiten der deutschen Intensivstationen. Aus diesem Grund wurden für dieses Projekt erste Gespräche mit Planern, Betreibern, Nutzern und Ausstattern von Krankenhäusern aufgenommen.

1.2 Geschichtlicher Überblick der Hygieneentwicklung und dessen Einfluss auf die bauliche Struktur der Intensivstation

Die ersten Vorfahren der modernen Krankenhäuser entstanden schon in der Antike und dienten der Unterbringung und Versorgung nicht nur von kranken, sondern auch von alten und armen Menschen.

Der medizinische Wandel von der humanistisch, ganzheitlichen Pflege hin zu einem hochtechnologischen System fand in den Universitätskliniken, die ab den 1960er Jahren in Deutschland entstanden, ihren besonderen Ausdruck. Die Anforderungen in Bezug auf Wirtschaftlichkeit, Versorgung, Hygiene und Medizintechnik waren beachtlich und führten konsequenterweise zu hoch technisierten Krankenhausbauten. Eingehend mit dieser Entwicklung entstand die Intensivmedizin, die in eigenständigen Pflege-Intensivstationen zentral angesiedelt wurde. In diesen technisch aufwändig ausgebauten Räumen wurden Schwerkranke und Frischoperierte therapiert, ständig überwacht und von einer Vielzahl von Mess- und weiteren Geräten kontrolliert.

Die Universitätskliniken mit ihrem Dreiklang Lehre, Forschung und Pflege waren von Beginn an die wichtigsten Impulsgeber der klinischen Medizin, von denen neue Forschungsergebnisse direkt in die Praxis umgesetzt werden konnten. Auslöser dieser rasanten Entwicklung war vor allem der politische Wille, die Bettenanzahl der insgesamt 18 in Deutschland vorhandenen medizinischen Fakultäten von 16.500 auf 25.700 zu erhöhen (Bartz 2007).

Somit ist die Geschichte der Intensivstation noch eine sehr junge. Es entstanden in vielen Krankenhäusern „Überwachungs-“ bzw. „Aufwachstationen“ für die unmittelbare Versorgung von frisch operierten Patienten. Diese Aufwachstationen stellten die Keimzelle der späteren Intensivstationen dar.

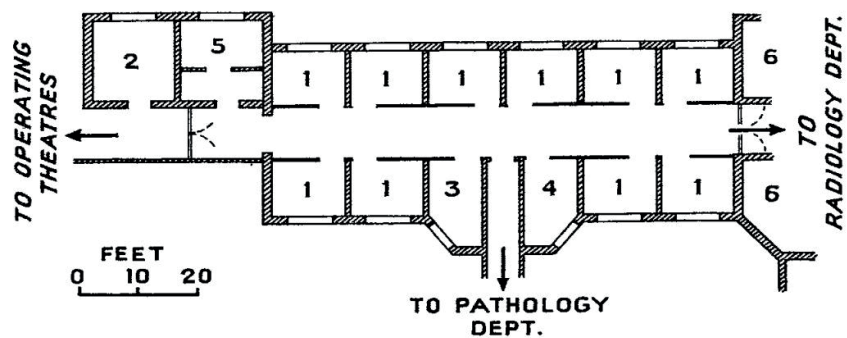


Abbildung 5

Aufwachstation in East Grinstead (1944)
mit folgenden Räumen: 1. Aufwachräume,
2. Wäscheraum, 3. Ankleideraum, 4. Küche,
5. Schleuse, 6. Apotheke

Plan of the recovery ward

- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. Recovery rooms | 4. Kitchen |
| 2. Linen room | 5. Sluice room |
| 3. Dressing-room | 6. Dispensary |

In Deutschland entstand Mitte der 1950er Jahre an der TU München ein solcher Aufwachraum, der sich später zum „Reanimationszentrum“ und letztlich (1967) als Intensivereinheit entwickelte. Solche Abteilungen waren auch in Hamburg und an der FU Berlin zu finden und vereinigten die Funktion von Aufwachraum, postoperativer Überwachung und Intensivtherapie. Im Laufe der 1960er Jahre setzte sich der Begriff „Intensivstation“ aus den USA durch und die ersten „Anforderungen“ an Intensivtherapieeinheiten wurden in deutschen Fachzeitschriften formuliert (Opderbecke HW, Pohl O (1961) Planung und Gestaltung einer „Wachstation“ für Frischoperierte. Krankenhaus 53: 70).

Die Hauptanforderungen an die erste Intensivabteilungen waren zum einen die Nähe an die Operationsabteilung, zum anderen mussten diese Stationen mit „einer zentralen Fernüberwachung der Vitalfunktionen, ein Rufsystem, eine Klimaanlage und die Möglichkeit der Tagesbeleuchtung“ ausgestattet sein. Insbesondere musste die Gestaltung der Intensivereinheit die „direkte Beobachtung des Patienten“ ermöglichen. (Poulsen H (1965) Abteilung für intensive Therapie – Aufgaben, Einrichtung und Funktion. Anaesthesist 14: 19).

Die Gestaltung nach „offenem Plan“ (Lawin P (1964) Neu-Organisation einer Anaesthesie-Abteilung mit Wachstation in einem alten Krankenhaus. Krankenhausarzt 37: 32) wollte genau diese zentrale Anforderung nach Übersichtlichkeit erfüllen. Die Patientenbetten wurden in einem oder mehreren großen Räumen mit mobilen oder gar ohne Trennwände aufgestellt. Die zentrale Überwachung musste dann so positioniert werden, dass so viele Betten wie möglich direkt einsehbar sein könnten. Diese offene Struktur erlaubte u. a. das Betreiben der Station mit wesentlich weniger Personal. Den Planern war bewusst, dass diese Struktur ein erhöhtes Risiko von Querinfektionen darstellte; die Vorteile einer solchen Konstruktion waren allerdings aus betriebswirtschaftlicher Sicht überwiegend. Erst ab Ende der 1960er Jahre entstanden die ersten Intensivstationen nach dem sogenannten „modifizierten offenen Plan“ (z. B. Intensivstation der Klinik für Anästhesiologie im Operativen Zentrum des Universitäts-Krankenhauses Eppendorf, Hamburg (Konzeption: J. Schulte am Esch; Architekten: Karres, Hartmeyer, Dreyer + Partner, Hamburg), wo auch Einbettzimmer für die Isolation von infektiösen Patienten vorhanden waren).



Abbildung 6

Intensivstation der Klinik für Anästhesiologie im Operativen Zentrum des Universitäts-Krankenhauses Eppendorf, Hamburg nach dem „modifizierten offenen Plan“ (Konzeption: J. Schulte am Esch; Architekten: Karres, Hartmeyer, Dreyer+Partner, Hamburg).

Im Zuge der Gründung von Universitätskliniken entstanden eine Reihe von bemerkenswerten Gebäudetypen. Hervorzuheben ist hier die vertikal betonte bauliche Lösung des Universitätsklinikums Münster, 1973 geplant von den Architekten Benno Schachner (1902-1987), Peter Brand (geb. 1936) und Wolfgang Weber (geb. 1935). Sie entwickelten nach dem bereits klassischen Modell einer Breitfußanlage zwei Bettentürme mit zehn Pflegeetagen, die vertikal mit einem dreigeschossigen Sockel für zentrale Untersuchungen und Behandlungen sowie horizontal mit dem Lehrgebäude und dem Versorgungszentrum verbunden sind. Die Bettentürme wurden in Rundbauweise so errichtet, dass jeweils zwei kreisförmige Pflegestationen an einen quadratischen Zentralbereich angeschlossen wurden. Ausschlaggebende Argumente für eine kreisförmige Pflegestation waren die Übersichtlichkeit und die kurzen Wege für das Pflegepersonal. Außerdem sollte der Sichtkontakt zwischen Pfleger und Patient durch einen zentralen Schwesternplatz und durch Glasöffnungen in den Zimmertüren ermöglicht werden.

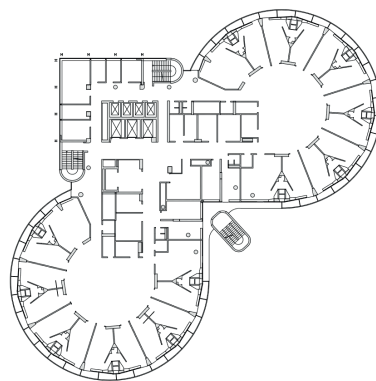


Abbildung 7

Klinikum der Universität Münster (1975-1982), Luftbild (links) und Grundriss einer Pflegestation (rechts)

Um das Risiko von nosokomialen Infektionen zu reduzieren, wurden viele Intensivstationen bis in die 1980er-Jahre durch „keimreduzierende“ Schleusensysteme von der Außenwelt getrennt. An manchen Intensivstationen entstanden sogar „Desinfektionsschleusen“-Räume, wo Betten oder sonstige Geräte vor Verlassen der Intensivstation mittels Formaldehyd-Verdampfung desinfiziert wurden – oder externe „Besucherflure“, die die Kommunikation zwischen Angehörigen und Patienten über Fenster erlaubten, um den Zugang von Besuchern auf die Station zu minimieren.

Mittlerweile hat ein besseres Verständnis für die Epidemiologie von Krankenhausinfektionen die Rolle der externen Umgebung als Hauptquelle von nosokomialen Infektionen weitgehend widerlegt und – ein Jahrhundert nach den Studien von I. Semmelweis – erneut den Fokus auf die Desinfektion der Hände und der unmittelbaren Patientenumgebung gerückt.

In diesem Zusammenhang ist die Forderung nach patientennahen Möglichkeiten für die Händewaschung und Händedesinfektion entstanden. Die Indikation- und patientenbezogene Kontaktisolierung macht Bereiche für das Anziehen von Schutzausrüstung eher patientennah erforderlich.

Die allgemeine Entwicklung in Richtung einer zunehmend patientenorientierten „personalisierten“ Medizin und der positive Einfluss auf mehrere Outcomes (Reduktion der Übertragung von multiresistenten Erregern, Reduktion von Patienten- und Mitarbeiterstress durch Lärm und Dauerbeleuchtung, bessere Einbindung der Angehörigen in den Heilungs- oder Abschiedsprozess) begründen den aktuellen Trend nach einem komplett „geschlossenen“ – also nur aus Einzelzimmern bestehenden – Modell, wie es bereits seit Jahren in den USA und anderen Ländern umgesetzt wird.

Darüber hinaus führt die rasche technologische Entwicklung zu einer massiven Zunahme an apparativer Ausstattung des Intensivbehandlungsplatzes. Wenn H. Poulsen im Jahr 1965 noch mindestens 9 m² pro Intensivbett und eine 1:1 Ratio zwischen Raum für Patientenzimmern und sämtlichen Logistikräumen als angebracht sah, werden heute mindestens 25 m² pro Einzelzimmer und 6-7 m² pro Intensivbett ausschließlich als Lagerraum empfohlen.

Patientenorientierung, Flexibilität und Funktionalität (z. B. sinnvolle Zusammenführung von Funktionsräumen, Reduzierung des Lagerbedarfs durch innovative Logistikkonzepte) sowie Rücksicht auf die Bedürfnisse von Mitarbeitern und Angehörigen sind die Herausforderungen der modernen ITS-Planung.

1.3 Erfahrungen aus der Pandemie

Während der COVID-19 Pandemie ist das Wort „Resilienz“ vielfach benutzt worden. Für die Intensivstation bedeutet es vor allem Flexibilität und Adaptierbarkeit zu Notfall-Szenarien.

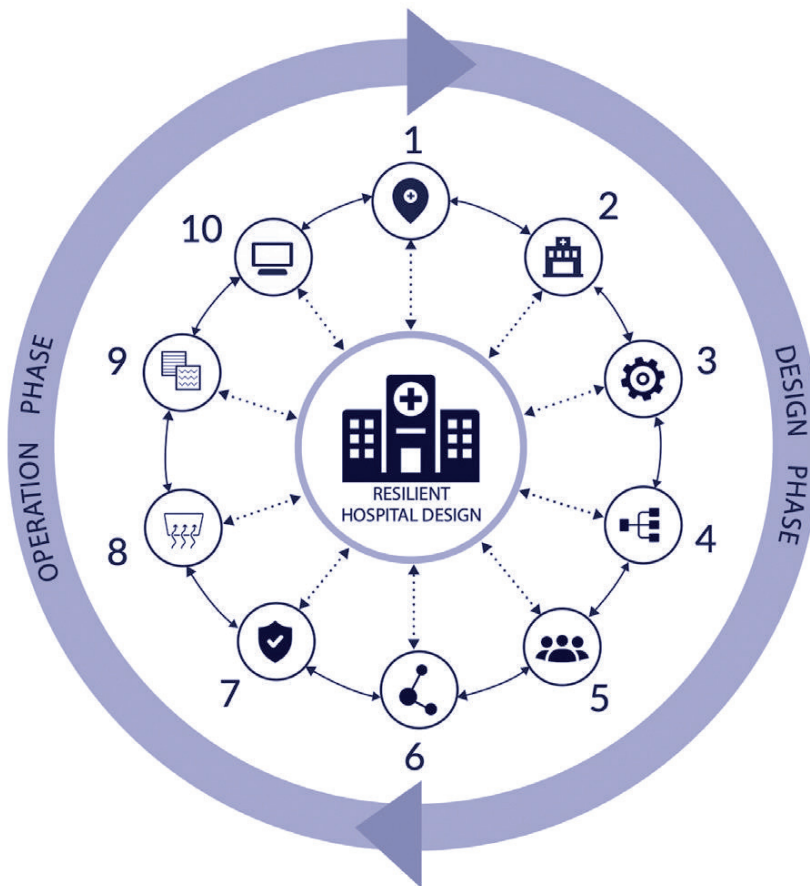


Abbildung 8

Resilienz und Flexibilität werden eine vorrangige Rolle in dem Krankenhaus der Zukunft einnehmen.

- 1: Strategische Lage des Standorts
- 2: Passende Konfiguration für die Eindämmung von Krankheiten (i. e. Isolation von Krankenhausbereichen)
- 3: Flexibilität und zukunftsichere Strategien als Instrumente der Resilienz
- 4: Management von Zugangs- und Bewegungsströmungen
- 5: Berücksichtigung der physischen, psychischen und sozialen Bedürfnisse aller Nutzer
- 6: Synergie zwischen Krankenhaus und öffentlichem Gesundheitsdienst
- 7: Eine Umgebung planen, das die Patientensicherheit und die Qualitätsverbesserung unterstützt (z. B. visuelle Anhaltspunkte für Besucher oder Beschilderung und Tafeln an Türen und Fluren)
- 8: Raumlufttechnische Anlagen und Raumluftqualität sichern
- 9: Innovative Ausbaumaterialien und Oberflächen
- 10: neue digitale Technologien integrieren.

Ein Beispiel dafür ist die Möglichkeit, Bereiche für die Versorgung von infektiösen Patienten mit relativ wenig Aufwand gut abtrennen zu können. Dafür kann das Einplanen von „Puffer“-Bereichen – die bei Bedarf als Schleusen umfunktioniert werden können – eine mögliche Lösung sein. Die technische Ausstattung der Patientenzimmer sollte auch so geplant werden, dass es an die Unterbringung von Patienten mit unterschiedlichem Isolationsbedarf adaptiert werden kann.

Enge Räumlichkeiten und schlechte Belüftung können zudem die Übertragung von luftübertragbaren Erregern unter dem Personal begünstigen. Lüftungssysteme (HVAC – heat and ventilation air conditioning) mit der Möglichkeit der regulierbaren Luftaustauschrate können eine praktikable Lösung auch für den Normalbetrieb sein (Capo-longo et al. 2020).

Als weitere wertvolle Erfahrung in den Pandemie-Jahren sind in vielen Länder neue Konzepte der Telemedizin („Virtual bedside consultation“) auch auf ITS implementiert worden. Eine dauerhafte Integration dieser Technologie in der Planung von Patientenzimmern wird in der Zukunft nicht mehr wegzudenken sein.

2. Analyse

Einleitung

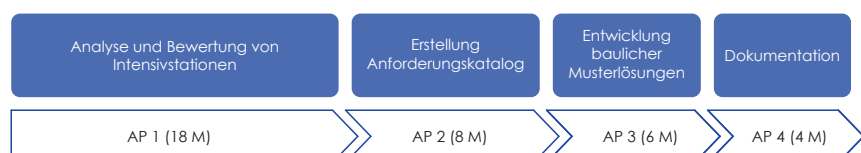
Die Datenerhebung, auf deren Grundlage die vorliegenden Empfehlungen beruhen, erfolgte unter Anwendung unterschiedlicher methodischer Ansätze.

Neben der klassischen Erhebung von Daten aus der Literatur und der realen Welt (hier folgend „retrospektive“ bzw. „quantitative“ Analyse genannt) wurden Problemfelder und mögliche Lösungsansätze durch Befragungen und Experten-Workshops (hier folgend „Bedarfs-“ bzw. „qualitative“ Analyse genannt) identifiziert und aufgearbeitet.

Die „retrospektive“ und „Bedarfs“- Analyse entwickelten sich parallel in vier Arbeitsphasen, die schematisch wie folgt dargestellt werden können:

- AP1 Basisperiode (24 Monate): Sammeln von bisheriger Evidenz zu Infektionsprävention und evidence-based Bauen (mit Fokus auf Einzelzimmerunterbringung und Water-Free Intensivstation). Analyse und Bewertung von Intensivstationen in Deutschland und weltweit. Analyse und Metastudie zu existierenden Intensivstationen (Daten über Nationales Referenzzentrum für nosokomiale Infektionen - NRZ) in Deutschland.
- AP2 Modellierungsperiode (12 Monate): Identifizierung von Problemfeldern in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit Projektpartnern aus Industrie und Forschung. Clusterung der Problemfelder und Entwurf eines Anforderungskatalogs für Intensivstationen.
- AP3 Interpretationsperiode (12 Monate): Evaluierung und Diskussion der Ergebnisse und des Anforderungskatalogs durch die beteiligten Projektpartner und hinzugezogene Experten.
- AP4 Dokumentationsperiode (6 Monate): Überführung der Ergebnisse in einen praxisorientierten Leitfaden. Abschlussdokument

Abbildung 9
Arbeitsplan des Projektes über
die vier Arbeitsphasen



2.1 Literaturrecherche Evidence Based Design

Die bauliche Struktur der Intensivstation (ITS) kann eine Rolle in der Infektionsprävention spielen. In einem systematischen Review aus dem Jahr 2016 konnte gezeigt werden, dass die ausschließliche Unterbringung in Einzelzimmern die nosokomiale Infektionsrate und die Erwerbsrate von multiresistenten Erregern senken konnte und dass eine verbesserte Lokalisation der Händedesinfektionsmittelspender die Compliance für die Händedesinfektion erhöhen kann (Stiller, Salm et al. 2016). Darüber hinaus gibt es Hinweise dafür, dass die Entfernung von Wasserquellen aus dem Patientenzimmer (Hopman, Tostmann et al. 2017) die Kontamination der Umgebung und die Übertragung von Krankheitserregern auf die Patienten reduzieren kann.

In der ersten Arbeitsphase wurde eine erweiterte Literaturrecherche zum Thema evidenzbasierte Infektionsprävention durchgeführt.

Es ergaben sich unterschiedliche Themen, bei denen eine Korrelation zwischen baulichen Aspekten und Infektionsrisiko im Kontext der Intensivstation untersucht wurden:

- Anzahl an Einzelzimmern
- Waschbecken im Patientenzimmer und wasserfreie Patientenversorgung
- Anwendung von antiadhäsiven bzw. antimikrobiellen Materialien
- Anwendung von no-touch Desinfektionstechniken
- Anwendung von automatisierten Klimatisierungs- und Ventilationssystemen

In diesem Zusammenhang wurden zwei Fragestellungen systematisch betrachtet:

- Kann die Unterbringung in Einzelzimmern die Übertragungsrate/Erwerbsrate von nosokomialen Infektionen bzw. multiresistenten Erregern auf Intensivstation reduzieren?
- Können spezielle bauliche Maßnahmen an den Wasserstellen im Patientenzimmer die Übertragungsrate/Erwerbsrate von nosokomialen Infektionen bzw. multiresistenten Erregern auf Intensivstation reduzieren?

2.1.1 Einbett- versus Mehrbettzimmer in Intensivstationen aus der Sicht der Infektionsprävention

Es gibt verschiedene Gesichtspunkte bei der Entscheidung zur Ausstattung einer Intensivstation mit Einzel- oder Mehrbettzimmern. Das Infektionsrisiko ist unter diesen verschiedenen Aspekten ein wesentlicher Faktor. Selbstverständlich wird das nosokomiale Infektionsrisiko von Intensivpatienten in erster Linie von der Grunderkrankung des Patienten und der Invasivität der notwendigen Diagnostik und Therapie in der Intensivstation bestimmt. Auch die strukturellen Bedingungen einer Station haben einen Einfluss auf das Infektionsrisiko.

Die Ausstattung deutscher Krankenhäuser und Intensivstationen in Bezug auf die Existenz von Einbettzimmern ist noch ungenügend. Abbildung 10 zeigt mit Hilfe von Daten des ECDC (European Center for Prevention and Disease Control), dass in Deutschland der Anteil von Einbettzimmern im europäischen Vergleich unterdurchschnittlich ist (ECDC Surveillance Report 2022).

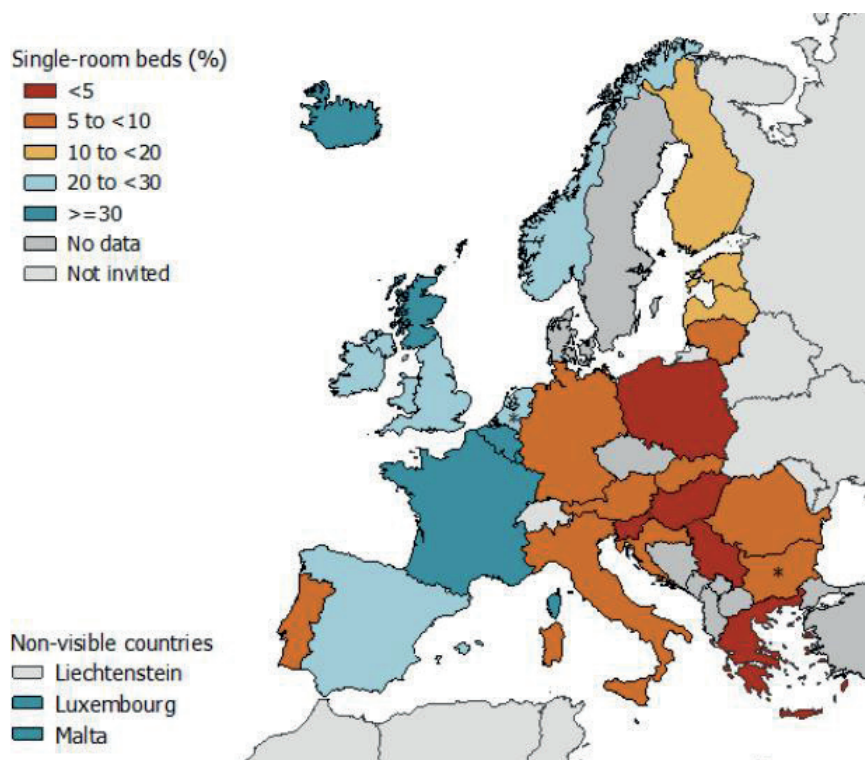


Abbildung 10
Medianer Anteil von Einzelzimmern in
Bezug auf die gesamte Anzahl von
Krankenhausbetten in Europa.

Wie gut ist die Evidenz für eine bessere Infektionsprävention, wenn die Patienten in Intensivstationen in Einbettzimmern statt in Mehrbettzimmern behandelt werden? Diese Fragestellung wurde bereits in einem systematischen Review untersucht, das 2017 publiziert wurde. Neun Studien konnten damals eingeschlossen werden, die den Einfluss von Einbettzimmern versus Mehrbettzimmern auf den Erwerb von multiresistenten Erregern oder das Auftreten von Krankenhausinfektionen untersucht haben. Sechs Studien fanden einen signifikanten Vorteil in Bezug auf die Reduktion der Besiedlung mit multiresistenten Erregern und das Auftreten von Krankenhausin-

fektionen. Drei Studien zeigten keinen Unterschied zwischen den beiden Raumtypen. In der Metaanalyse betrug das zusammengefasste vergleichende Infektionsrisiko 0,55 (Konfidenzintervall 0,41 bis 0,74). Das bedeutet, dass das Infektionsrisiko in Einbettzimmern signifikant geringer war als in Mehrbettzimmern.

Über die Datenbanken PubMed und Embase wurden 2453 Studien identifiziert. Nach Ausschluss von Duplikaten sowie Titel/Abstract Screening blieben neun Studien übrig, die in Tabelle 2 aufgelistet sind. Eingeschlossen wurden nur Studien, die ab 1990 bzw. auf Englisch oder Deutsch publiziert worden sind.

In den meisten Studien bestätigt sich der Vorteil von Intensivstationen mit ausschließlich Einzelbettzimmern gegen den Erwerb von typischen Krankenhauskeimern. Das retrospektive bzw. nicht-randomisierte Design der eingeschlossenen Studien ist eine wichtige Limitation für die Qualität der Evidenz.

Autoren	Studiendesign	Studiensetting	Outcome	Ergebnis
Bloemendaal, 2009	Nicht randomisierte Multicenterstudie	6 ITS in 6 Universitätskrankenhäuser, total 777 Betten	Erwerb MSSA/MRSA	Geringere MRSA-Erwerbsrate auf ITS mit nur Einzelzimmern
Blane, 2023	Beobachtungsstudie	2 ITS mit 27 und 46 Betten	VRE- Erwerb	Reduktion der VRE Kolonisations-/Infektionsrate nach dem Umzug zu einer ITS mit nur Einzelzimmern
Bracco, 2007	Prospektive Beobachtungsstudie	14-Betten ITS	Erwerb MRSA/Pseudomonas/Candida spp.	Niedrigere Erwerbsrate in Einzelzimmern
Cepeda, 2005	Nichtrandomisierte Beobachtungsstudie	2 ITS in 2 Krankenhäusern, total 28 Betten	MRSA Erwerbsrate	Keine Änderung der MRSA-Erwerbsrate, wenn MRSA-Patienten isoliert werden
Halaby, 2017	Retrospektive before/after Analyse	1 ITS mit 18 Betten und gemischtem Design (alt) und 2 ITS mit 18 Betten und nur Einzelzimmern (neu)	Erwerbsrate multiresistenter gramnegativer Erreger (MDR-GN)	Reduzierte MDR-GN Erwerbsrate in den neuen ITS
Jung, 2020	Retrospektive before/after Analyse	1 ITS mit Mehrbettzimmern (alt) und 1 ITS mit nur Einzelzimmern (neu)	Erwerbsrate von Carbapenem-Resistentem A. Baumannii (CRAB)	Reduzierte CRAB-Erwerbsrate in der neuen ITS
Levin, 2011	Nichtrandomisierte Beobachtungsstudie	2 ITS mit Mehrbettzimmern (alt, total 11 Betten) und 1 post move ITS mit nur Einzelzimmern (neu, total 8 Betten)	Erwerbsrate von Multiresistenten Erregern (MRE)	Geringere Erwerbsrate auf ITS mit nur Einzelzimmern
Mulin, 1997	Retrospektive before/after Analyse	15 Betten ITS	Beatmungssassoziierte Pneumonie mit A. Baumannii	Geringere Pneumonierate auf ITS mit nur Einzelzimmern
Stiller, 2017	Querschnittsstudie	534 ITS	Nosokomiale Infektionsrate	Geringe Assoziation zwischen Einzelzimmern und nosokomialen Infektionsraten
Teltsch, 2011	Nichtrandomisierte Beobachtungsstudie	25 Betten ITS mit Mehrbettzimmern (alt) und 24 Betten ITS mit nur Einzelzimmern (neu)	Nosokomiale kolonisations/Infektionsrate	Reduzierte Erwerbsrate für MRSA, CD, Acinetobacter spp, Klebsiella spp und Enterobacter spp. In ITS mit nur Einzelzimmern

Tabelle 2

Übersicht der Studien, die den Einfluss der Unterbringung in Einzelzimmer auf die nosokomiale Kolonisation/Infektionsrate auf Intensivstationen untersucht haben

Weitere Betrachtungen

In der COVID-19-Pandemie hat sich die Notwendigkeit eines hohen Anteils von Einbettzimmern besonders gezeigt. Auch bei generellem Aufnahmescreening der Patienten auf SARS-CoV-2 ist es erforderlich, die Patienten solange zu isolieren, bis man sicher sein kann, dass die Patienten bei Aufnahme noch nicht in der Inkubationsphase waren. Die bei Einbettzimmermangel entstehende Notwendigkeit, Patienten in Mehrbettzimmern unterzubringen, kann zu vermeidbaren nosokomialen Infektionen führen. Karan et al. haben das entstehende Risiko für Nachbarpatienten im selben Zimmer untersucht. Die Positivitätsrate der Nachbarpatienten betrug 39 %, wenn der aufgenommene Patient positiv wurde (Karan, Klompas et al. 2021). Auch McCollum et al. konnten während der Pandemie nachweisen, dass das COVID-19-Infektionsrisiko signifikant erhöht war, wenn sich Patienten einen Raum teilen mussten (McCollum, Patriquin et al. 2022).

Bei der Beurteilung des Infektionsrisikos von Einbett- und Mehrbettzimmern muss nicht nur das höhere Infektionsrisiko während des gemeinsamen Aufenthaltes der Patienten im selben Raum beachtet werden. Ein zusätzliches Risiko resultiert aus der Tatsache, dass der Bettplatz eines entlassenen Patienten wesentlich einfacher und gründlicher gereinigt und desinfiziert werden kann, wenn es sich um ein Einbettzimmer handelt (Mitchell, Dancer et al. 2015).

Ein weiterer nicht zu unterschätzender Faktor ist die zusätzliche Arbeitsbelastung für das Personal, wenn im Laufe der Behandlung auf der Intensivstation bekannt wird, dass der Patient einen multiresistenten Erreger hat, der zur Isolierung des Patienten führt, und der Patient deshalb „umgeschoben“ werden muss.

Neben einer Isolierung und der damit verbundenen Einbettzimmer-Unterbringung wegen bestimmter Infektionserkrankungen oder Kolonisation mit multiresistenten Erregern gibt es die sogenannte Umkehrisolierung oder protektive Isolierung. Darunter versteht man die Bereitstellung von Einbettzimmern für Patienten, die besonders infektionsgefährdet sind. Beispiele hierfür sind Patienten mit Stammzelltransplantation, Organtransplantation oder Verbrennungspatienten. Es ist zu erwarten, dass zukünftig der Anteil von Patienten, die eine protektive Isolierung benötigen, zunehmen wird.

Eine umfassende Literaturanalyse von 135 Artikeln zum Bau von Intensivstationen aus Kanada hat auch gezeigt, dass Einzelzimmer für Intensivstationen die Norm werden (Verderber, Gray et al. 2021).

Stand der Wissenschaft und aktuelle Empfehlungen

In den USA fordert das „Facility Guideline Institute“ schon seit 2006 die Umsetzung von ausschließlich Einbettzimmern nicht nur auf Intensivstationen, sondern auch in sogenannten „low acuity settings“ (Facility Guideline Institute 2014). Die schottische Regierung hat festgestellt, dass in Schottland alle neuen Krankenhäuser zu 100 % mit Einbettzimmern ausgestattet werden sollen (Pennington and Isles 2013). In Rotterdam wurde ein Universitätsklinikum mit ausschließlich Einbettzimmern eröffnet und auch in vielen skandinavischen Krankenhäusern wurde dieses Konzept bereits umgesetzt (van der Schoor, Severin et al. 2022).

Die DIVI fordert in ihrer 2022 publizierten Empfehlung zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen, dass Intensivbehandlungszimmer als Einzel- oder Zweibettzim-

mer konzipiert werden sollen und dass mindestens 70 % der Behandlungsplätze einer Intensivstation als Einzelzimmer geplant werden sollen. Diese Empfehlungen liefern auch wesentliche fachliche Argumente für diese Forderung (Waydhas, Riessen et al. 2022).

Damit übernimmt die DIVI auch die Forderungen der Deutschen Gesellschaft für Krankenhaushygiene (DGKH). Die DGKH hatte 2021 einen Anteil von 70 % Einzelzimmern an der Gesamtbettenzahl sowohl für Intensivstationen als auch für Normalstationen gefordert und die Vor- und Nachteile von Einzel- und Mehrbettzimmern aufgelistet (Anonym. 2021).

Auch die Kommission für Krankenhaushygiene- und Infektionsprävention (KRINKO) hat in ihren Schlussfolgerungen aus der Pandemie gefordert, dass die Bauvorschriften für medizinische Einrichtungen und die Finanzierung der Bauten in Deutschland so angepasst werden müssen, dass mittelfristig die Bauten besser für die medizinische Behandlung unter Pandemiebedingungen geeignet sind. Einerseits geht es darum, Behandlungsbereiche für infizierte Patienten oder solche mit Infektionsverdacht besser räumlich abzutrennen, andererseits sollte grundsätzlich so gebaut werden, dass mehr Separierungsmöglichkeiten für Patienten und Mitarbeiter existieren (mehr Einzelzimmer; keine Drei- oder Vierbettzimmer) (Gastmeier, Brunke et al. 2022). Mit Hilfe einer Fallstudie in einer Beispiel-Intensivstation wurde inzwischen auch gezeigt, dass die zusätzlichen Kosten der Ausrüstung von Intensivstationen mit Einzelzimmern durch Kosteneinsparungen aufgrund vermiedener Krankenhausinfektionen kompensiert werden können (Sadatsafavi, Niknejad et al. 2016).

2.1.2 Waschbecken und Infektionsrisiko auf der Intensivstation

Waschbecken wurden in der Nähe von Patienten aufgestellt, um die Händehygiene im Rahmen von Maßnahmen zur Infektionsprävention und -kontrolle zu verbessern (WHO, 2016). Dennoch können die Wasserumgebungen im Gesundheitswesen Reservoir für Krankheitserreger in Krankenhäusern wie *Pseudomonas aeruginosa*, *Klebsiella pneumoniae* und andere gramnegative Krankheitserreger einschließlich multiresistenter Organismen (Kanamori, Weber et al. 2016, Kizny Gordon, Mathers et al. 2017) sein. Bei vielen Ausbrüchen von im Krankenhaus erworbenen Infektionen (HAI) wurde der verantwortliche Organismus in der Wasserumgebung isoliert und es war möglich, einen Ausbruch durch einen gezielten Eingriff (z. B. Austausch oder Entfernung von Waschbecken) zu stoppen (Parkes, 2018). Aufgrund dieser Erfahrungen wurde vermutet, dass Waschbecken, Toiletten und Duschen auch Reservoir sein können, die bei Epidemien die Ausbreitung von Krankheitserregern auslösen oder erleichtern.

Es gibt viele Hypothesen, wie Krankheitserreger aus Abwassersystemen auf Patienten übertragen werden können. Ein Patient kann direkt kontaminiertem Wasser ausgesetzt sein oder indirekten Kontakt über eine kontaminierte Zwischenoberfläche bzw. über die Hände des Gesundheitspersonals nach unsachgemäßer Händehygiene haben. Es wurde gezeigt, wie bei Aktivitäten im Spülbecken das Spritzen von Tröpfchen bis zu 2 Metern vom Spülbecken entfernt erkannt wird (Garvey, Williams et al. 2023). Dadurch kann die Umgebung, inklusive des Patientenbettes, kontaminiert werden. Es wurde darüber hinaus gezeigt, dass Bakterienwachstum und -verbreitung durch die

Verbindung von Wasserleitungen auch zwischen verschiedenen Räumen möglich sind (Hayward, Brown et al. 2022).

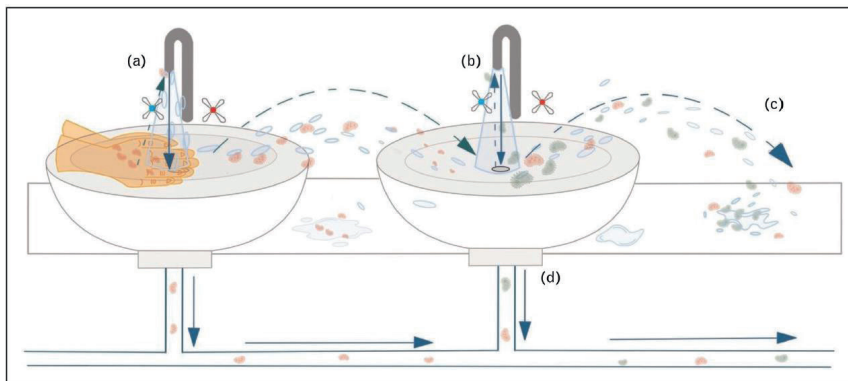


Abbildung 11

Unterschiedliche Mechanismen für die Kontamination des Waschbeckens und dessen Umgebung. a) Verspritzungen aus kontaminierten Händen der Mitarbeiter während der Händewaschung können den Wasserhahn kontaminieren b) retrograde Kontamination aus dem Wasserabfluss c) Kontamination der Umgebung durch Tröpfchen bei der Benutzung des Waschbeckens d) Kontamination des Wasserabflusses durch die Entsorgung von biologischem Material

Ein Vergleich der Inzidenz von nosokomialen Infektionen auf Intensivstationen mit bzw. ohne Waschbecken im Patientenzimmer hat gezeigt, dass ITS mit Waschbecken im Patientenzimmer signifikant mehr Infektionsraten haben.

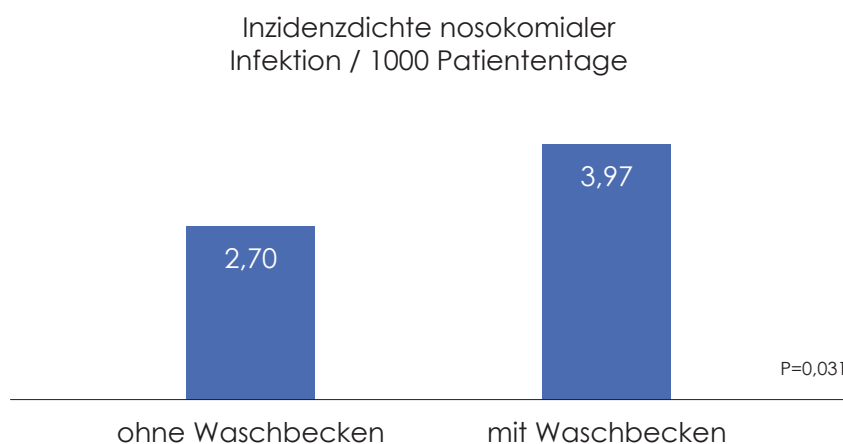


Abbildung 12

Vergleich der Inzidenz von nosokomialen Infektionen auf Intensivstationen mit bzw. ohne Waschbecken im Patientenzimmer

Tatsächlich konnte das Entfernen der Waschbecken und die Umstellung auf eine wasserfreie Patientenversorgung zur Unterbrechung der Übertragungen und zur Beendigung von Ausbrüchen führen (Catho, Martischang et al. 2021, Scharer, Meier et al. 2023)

Es wurden Studien gesucht, die die Assoziation zwischen Ausstattung bzw. Interventionen an der Wasserentnahmestelle (i. e. Waschbecken) in Patientenzimmern auf Intensivstationen und nosokomiale Kolonisation- bzw. Infektionsraten untersuchten. Aus der Recherche wurden nach Ausschluss von Duplikaten 4406 Paper identifiziert. Zehn Studien wurden in dem Review eingeschlossen (siehe Tabelle 3)

Autoren	Studiende- sign	Studienset- ting	Intervention	Erregern	Outcome	Ergebnis
Barna Z, 2014	Beobachtungs- studie	12-Bette ICU	Wasser filter	PA, Legionella sp.	PA Erwerbsrate	Reduzierte PA Erwerbsrate
Chico-Sánchez P, 2022	Nichtrandomi- sierte Cross-Over Studie	4 6-Betten ITS (Tot 24 betten)	Wasserfiltern	PA, Stenotrop- homonas malto- philia	PA, SM Erwerbs- rate, VAP-Rate	Keine Reduktion der Infektionsra- te mit PA/SM
de-las-Casas- Cámara G, 2019	Nichtrandomi- sierte Before/af- ter htungsstudie	8-Betten ITS	Waschbecken- entfernung	Non-fermenting GNB	Erwerbsrate gramnegative Erregern bei Beatmeten Pa- tienten	Reduzierte GNB Erwerbs/Infekti- onssrate
Fucini, 2023	Querschnittstu- die	552 Intensivsta- tionen	Keine	Keine einschrän- kung	Nosokomiale Infektionsraten	Reduzierte nosokomialen Infektionsraten in ITS ohne Wasch- becken in Pa- tientenzimmern
Garvey MI, 2017	Nichtrandomi- sierte Before/af- ter htungsstudie	100-bed ICU	Multiple inter- ventions	PA	PA Erwerbsrate	Reduzierte PA Kolonisations-/ Infektionsrate
Hopman J, 2017	Nichtrandomi- sierte Before/af- ter htungsstudie	34-bed ICU	Water-free care, Waschbecken- entfernung	GNB, yeast	Erwerbsrate gramnegative Erregern (GNB)	Reduzierte GNB Erwerbsrate
Mathers A, 2018	Nichtrandomi- sierte Before/af- ter htungsstudie	Mehrere ITS in einem kranken- haus (Total 60 Betten)	Hopper covers, sink trap heating and vibration device	K. pneumoniae	Erwerbsrate Multiresistenter K. pneumoniae	Reduzierte KP Erwerbs/Infekti- onssrate
Shaw E, 2018	Nichtrandomi- sierte Before/ after Studie	2 12-Betten ITS	Waschbecken- entfernung	PA, K. pneumoniae	Erwerbsrate Multiresisitenten PA udn KP	Reduzierter Er- werb von MDR- GN
Sissoko B, 2004	Nichtrandomi- sierte Before/af- ter htungsstudie	K.A.	Sink trap heating and vibration device	-	Nosokomiale infektionsrate	Reduzierte no- sokomialeInfek- tionsrate
Trautmann M, 2008	Nichtrandomi- sierte Before/af- ter htungsstudie	11-Betten surgi- cal ICU rooms	Wasserfiltern	PA	PA Infektions(Ko- lonisationsrate	Reduzierte PA Erwerbsrate, reduzierte noso- komiale Infek- tionsrate
Wolf I, 2014	Nichtrandomi- sierte Before/af- ter htungsstudie	15-Betten ICU	Sink trap heating and vibration device	ESBL-Bakterien	Nosokomiale Infektionsrate	Reduzierte no- sokomialeInfek- tionsrate

Tabelle 3

Übersicht der Studien, die den Einfluss von Interventionen auf das Waschbecken in Patientenzimmern auf die nosokomiale Kolonisation/Infektionsrate untersucht haben

Die eingeschlossenen Studien haben ein ähnliches Studiendesign. Die Kolonisation/ Infektionsrate mit typischen Feuchtkeimen (in den meisten Fällen *P. Aeruginosa*) werden vor und nach der Implementierung einer – oder mehrerer – Interventionen verglichen. Die Installation eines Wasserfilters am Wasserhahn, der Einbau von „selbstdesinfizierenden“ Syphons (Syphon heating and vibration devices) und der Ausbau des Waschbeckens waren die meistuntersuchten Interventionen. Alle bis auf eine Studie (Chico-Sanchez, Gras-Valenti et al. 2022) haben eine Reduktion der Infektionsraten nach der Intervention beobachtet. Aufgrund der Heterogenität der Studien und der Tatsache, dass viele Studien mehrere Interventionen gleichzeitig implementiert haben, ist eine evidenzbasierte Aussage über die Effektivität der einzelnen Maßnahmen schwierig (siehe Tabelle 3).

Stand der Wissenschaft und aktuelle Empfehlungen

Aus der Datenlage und aufgrund der vorhandenen Alternativen zur Nutzung von Wasser und Seife (i. e. Patientenwaschung mit vorgetränkten Tüchern, Händedesinfektion mit alkoholischer Lösung) ist die Entfernung der Waschbecken aus dem Patientenzimmer bzw. das Etablieren von getrennten Vorrichtungen für die Wasserentnahme und die Wasserentsorgung zu empfehlen.

Eine Balance zwischen Funktionalität des Zimmers (z. B. Zugang zum Wasser für das Pflegepersonal) und Patientensicherheit muss gefunden werden.

2.2 Gesetze, Normen und Empfehlungen

Übersicht über Gesetze und Normen für die Planung

Zur Vermeidung bzw. Reduzierung von nosokomialen Infektionen existieren verschiedene Regelungen. Im Folgenden werden wesentliche Gesetze, Normen und Empfehlungen zur Infektionsprävention im Kontext der baufunktionalen Anforderungen strukturiert dargestellt und entsprechend ihrer Wertigkeit unterteilt.

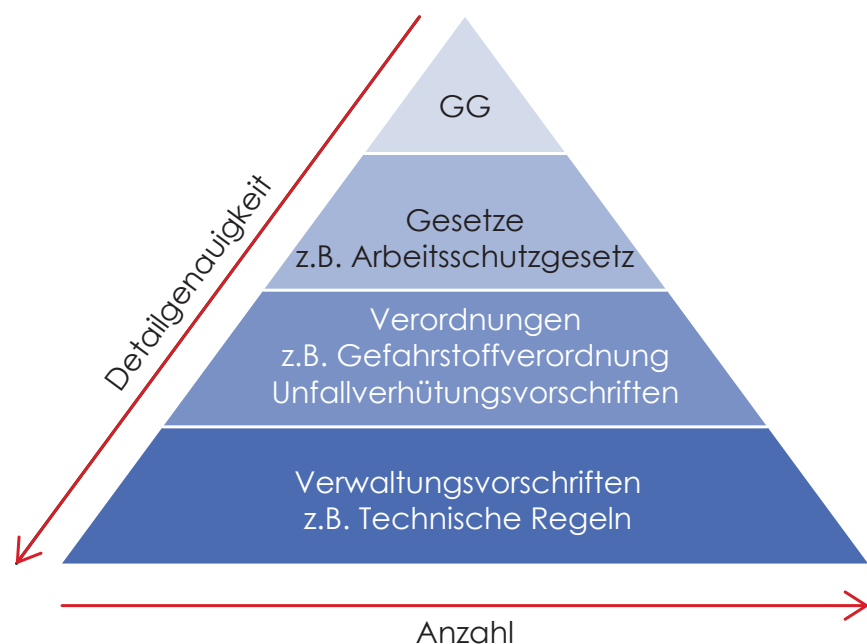


Abbildung 13
Detailgenauigkeit und Anzahl von
Gesetzen, Verordnungen und Vorschriften

Hygienerelevante Gesetze

Das Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen (Infektionsschutzgesetz - IfSG), das sonst den allgemeinen Rahmen für hygienische Maßnahmen definiert, gibt keine konkreten Handlungsanweisungen bzgl. der baulichen Struktur von Gesundheitseinrichtungen. Vielmehr übernehmen diese Funktion hier die Krankenhausverordnungen einiger Bundesländer sowie die Honorarordnung für Architekten und Ingenieure (HOAI).

Neben den allgemeinen Bauordnungen haben sechs Bundesländer (Brandenburg, Berlin, Nordrhein-Westfalen, Saarland, Sachsen-Anhalt, Schleswig-Holstein) Verordnungen erlassen, die sich mit den speziellen Anforderungen von Krankenhäusern auseinandersetzen.

Darüber hinaus existiert die aus dem Jahr 1976 stammende Muster-Krankenhausbauverordnung (KhBauVO), in der Leitlinien zu den Themen Brandschutz, Hygiene, Belüftung, Belichtung sowie Raumgröße und Raumaufteilung festgelegt sind. Die über die Jahrzehnte veränderten Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Gesundheits-

gebäuden führen dazu, dass die Muster-Krankenhausbauverordnung nicht mehr aktuell ist und deshalb dringend überarbeitet werden müsste. Die Muster-Krankenhausbauverordnung wird dennoch von vielen Planern als Orientierungshilfe genutzt. (Muster einer Verordnung über den Bau und Betrieb von Krankenhäusern (Krankenhausbauverordnung – KhBauV0), Fassung Dezember 1976)

Weitere hygienerelevante Gesetze sind das Medizinproduktegesetz [Medizinproduktegesetz (MPG) vom 7.8.2002, Bgbl 2002; I: 3, S. 146, zuletzt geändert 24. Juli 20102], Arzneimittelgesetz [Arzneimittelgesetz (AMG) vom 12.12.2005, BGBl I S. 3.394, zuletzt geändert 22. Dezember 2010.], Kreislaufwirtschaftsgesetz [Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz (KrW/AbfG), Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Beseitigung v. 27.9.1994, Bgbl I S. 2.705, zul. geänd. 11.8.2009].

Empfehlungen und Anforderungen für die Planung von Intensivstationen

KRINKO: Die Kommission des Robert Koch Instituts für Krankenhaushygiene (KRINKO) veröffentlicht fortlaufend Empfehlungen zu hygienerelevanten Themen wie der Reinigung und Desinfektion von Oberflächen, dem Umgang mit multiresistenten Keimen oder der Betriebsorganisation von Funktionsbereichen. Aufgrund der Gesetzesänderung des IfSG vom 28. Juli 2011 werden alle medizinischen Einrichtungen dazu verpflichtet, die Empfehlungen der KRINKO zu berücksichtigen.

Die KRINKO hat im Laufe der Jahre an unterschiedlichen Stellen auch Empfehlungen in Bezug auf die baulich-funktionale Gestaltung von hygienerelevanten Bereichen abgegeben. Zum Beispiel werden in den Schriften zur Prävention von postoperativen Wundinfektionen (KRINKO 2018) oder zur Infektionsprävention im Umgang mit immunsupprimierten Patienten (KRINKO 2021) allgemeine Vorgaben für die Ausstattung und Funktion von raumluftechnischen Anlagen formuliert. Weitere KRINKO-Empfehlungen, die sich mit baulich-funktionalen Aspekten auseinandersetzen, betreffen in erster Linie die Bereiche Endoskopieeinheiten, Zentrale Sterilgutversorgungsabteilung (ZSVA) und abwasserführende Systeme.

Eine systematische Auflistung von baulich-strukturellen Anforderungen an Einheiten für Intensivmedizin wurde im Jahr 1995 vorgenommen und ist seitdem in der Form nicht mehr aktualisiert worden (Bundesgesundheitsblatt 4/95).

Projektgruppen der Bauministerkonferenz: Die Bauministerkonferenz schreibt in regelmäßigen Abständen Projektgruppen zu krankenhaushausrelevanten Funktionsstellen aus. Auftrag der jeweiligen Projektgruppen ist die Entwicklung einer praxisorientierten Planungshilfe, die Empfehlungen zu baulichen, strukturellen und fachtechnischen Anforderungen im staatlichen und geförderten Krankenhausbau hinsichtlich Konzeptionen, Standards und Qualitäten liefert. Im Jahr 2018 ist eine „Planungshilfe Intensivpflege“ herausgegeben worden (Bauministerkonferenz 2018).

Landesämter: Die Landesämter verschiedener Bundesländer geben Informationsblätter zu infektionshygienischen Anforderungen heraus. Das Landesamt für Gesundheit und Soziales Mecklenburg-Vorpommern (LAGuS) hat 2016 das Infoblatt „Bauanforderungen und funktionelle Empfehlungen aus der Sicht der Hygiene“ (Landesamt für Gesundheit und Soziales M-V (LAGuS): Bauanforderungen und funktionelle Empfehlungen aus der Sicht der Hygiene, 11/2016) herausgegeben; das Bayrische Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) veröffentlichte 2014 den modularen Leitfaden „Erläuterungen zur Checkliste Versorgung von immunsupprimierten Patienten“ [Bayr. Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL): Erläuterungen zur Checkliste Versorgung von immunsupprimierten Patienten, modularer Leitfaden ab 2014].

DIVI: Die Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (DIVI) ist ein Zusammenschluss von Personen, wissenschaftlichen Gesellschaften und Berufsfachverbänden mit dem Ziel der Förderung der Intensivmedizin. Für die Intensivstation existiert die „Empfehlung zur Struktur und Ausstattung von Intensivtherapiestationen“ die im Jahr 2022 aktualisiert wurde. Hier werden Hinweise zur personellen, funktionellen und baulichen Ausstattung von Intensivstationen auf der Basis der vorhandenen Literatur und Expertenmeinungen formuliert (Waydhas C 2022) .

DIN-Normen: Für den Bau von Krankenhäusern gibt die DIN 13080 die Gliederung des Krankenhauses in Funktionsbereiche und Funktionsstellen sowie die Strukturierung der Flächen nach krankenhausesrelevanten Funktionen vor (DIN 13080 (2016) Gliederung des Krankenhauses in Funktionsbereiche und Funktionsstellen. Berlin.) Eine weitere für den Krankenhausbaurelevante Norm ist die DIN 1946-4, die raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens betrifft. (DIN 1946-4 (2008) Raumluftechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens).

VDI-Richtlinie: Der Verein Deutscher Ingenieure hat im Bereich des Krankenhausbaus und der Hygiene die VDI-Richtlinie 6023 „Hygiene in Trinkwasserinstallationen“ und die VDI-Richtlinie 6022 „Raumluftechnik, Raumlufqualität“ herausgegeben. Des Weiteren existiert seit 2013 ein Fachausschuss zum Thema Nachhaltigkeit bei Bau und Betrieb von Krankenhäusern, der sich u. a. mit dem Themenfeld Hygiene beschäftigt. (VDI-Richtlinie 6022 (2011) Raumluftechnik, Raumlufqualität – Hygieneanforderungen an raumluftechnische Anlagen und Geräte; VDI-Richtlinie 6023 (2013). Hygiene in Trinkwasser-Installationen – Anforderungen an Planung, Ausführung, Betrieb und Instandhaltung).

2.3 Retrospektive Analyse

Es wurde eine Erhebung des aktuellen baulichen Zustandes von deutschen Intensivstationen in Anbetracht international anerkannter Standards durchgeführt. Dieser Arbeitsschritt diente der Identifizierung problematischer bzw. kontroverser Aspekte, für die eine tiefergehende Analyse und Lösungsfindung notwendig war. Die aufgeführten Untersuchungen fanden im Arbeitspaket 1 statt.

2.3.1 Umfrage zur baulichen Struktur von Intensivstationen in Deutschland

Das Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System (KISS) erfasst Daten über nosokomiale Infektionen und multiresistente Erreger aus freiwillig teilnehmenden Krankenhäusern seit 1997.

Die 1508 Stationen, die mindestens einmal in den vorherigen 18 Monaten Daten an das KISS-System gesandt haben, wurden in der Umfrage eingeschlossen.

Die Mitarbeiter, die im Nationalen Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen (NRZ) zuständig sind (meistens Hygienefachkräfte) wurden am 06.09.2021 per E-Mail zur Teilnahme eingeladen und gebeten, den Fragebogen in Zusammenarbeit mit den Stationsleitungen auszufüllen. Personen, die für die KISS-Erfassung auf mehreren Stationen zuständig waren, haben für jede Station einen separaten Fragebogen bekommen. Für diese Online-Befragung wurde LimeSurvey® (2006-2021 LimeSurvey GmbH) genutzt. Die Dauer der Umfrage betrug zehn Wochen. Für die Beschreibung der Einzel- und Mehrbettzimmer wurden die Teilnehmer gebeten, die tatsächlichen Daten von zwei „typischen“ Zimmern der Station als Beispiel zu wählen. Die erhobenen Daten wurden deskriptiv ausgewertet. Von den 1508 angeschriebenen ITS-KISS Teilnehmern aus Deutschland, Österreich und der Schweiz haben 597 (39,5 %) an der Umfrage teilgenommen. Die teilnehmenden Stationen repräsentieren 2523 Einzel-, 2736 Mehrbettzimmer sowie 7115 Intensivbetten insgesamt. Die Ergebnisse sind im Anhang ausführlich dargestellt.

Für eine genauere Beschreibung wurden in einer Subgruppenanalyse für die deutschen ITS die Antworten mit den folgenden Grundcharakteristika der Stationen stratifiziert:

- Baujahr (vor 1990, zwischen 1991 und 2000, zwischen 2001 und 2010, ab 2011)
- Träger (privat vs. nicht privat)
- Fachrichtung (interdisziplinär im Haus mit < 400 Betten, interdisziplinär im Haus mit ≥ 400 Betten, internistisch, chirurgisch, neurochirurgisch, kardiochirurgisch, neurologisch, pädiatrisch, weaning, sonstige)
- Bettenanzahl der ITS (ITS mit < 12 Betten vs. ITS mit ≥ 12 Betten)
- Versorgungslevel des Krankenhauses (Grund- und Regelversorgung vs. Schwerpunkt und Maximalversorgung)
- Bettenanzahl im ganzen Krankenhaus (< 400 Betten vs. ≥ 400 Betten)

Vor allem aus der Stratifizierung nach Baujahr ergaben sich einige interessante Erkenntnisse.

Viele ITS wurden vor länger als 30 Jahren gebaut und die Häufigkeit von Renovierungen bzw. Umbaumaßnahme in den letzten fünf Jahren korrelierte nicht mit dem Alter der Station (siehe Tabelle 4)

	Ab 2011	2001 bis 2010	1990 bis 2000	Vor 1990	P-Wert
Anzahl Stationen nach Baujahr (n, Zeilen %)	121 (22.3%)	180 (33.2%)	132 (24.4%)	109 (20.1%)	
Anteil davon, die in den letzten 5 Jahren umfassend renoviert wurden (n, Spalten %)	39 (32.2%)	41 (22.8%)	48 (36.4%)	33 (30.3%)	0,062

Tabelle 4

Darstellung von Baujahr der teilnehmenden Intensivstationen und der Anteil jener, die in den letzten 5 Jahren umfangreich renoviert wurden.

Die meisten Intensivstationen in Deutschland sind nach wie vor nach dem „modifizierten offenen Plan“ – also aus einer Mischung aus Einzelzimmern (EZ) und Zweibettzimmern (ZB) gebaut. Obwohl ein Trend zu einer Zunahme an Einzelzimmern und Isolationszimmern zu beobachten ist, wird dieses nur sehr langsam vollzogen (siehe Abbildung 14).

Parallel dazu beobachtet man eine Zunahme der Fläche für Einzel- und Zweibettzimmer, wobei die durchschnittlichen Werte (19 [16; 22] m² für Einzelzimmer und 31 [26; 38] m² für Zweibettzimmer) noch weit unter der von der DIVI empfohlenen Größe von 25 m² für EZ und 40 m² für ZB liegen (s. Waydhas et al, Empfehlung zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen 2022.) Für eine detailliertere Beschreibung von Methodik und Ergebnisse s. auch Fucini, GB., Geffers, C., Schwab, F. et al. Die bauliche Struktur der deutschen Intensivstationen aus dem Blickwinkel der Infektionsprävention. Medizinische Klinik – Intensivmedizin und Notfallmedizin 119, 27–38 (2024). (Fucini 2023)

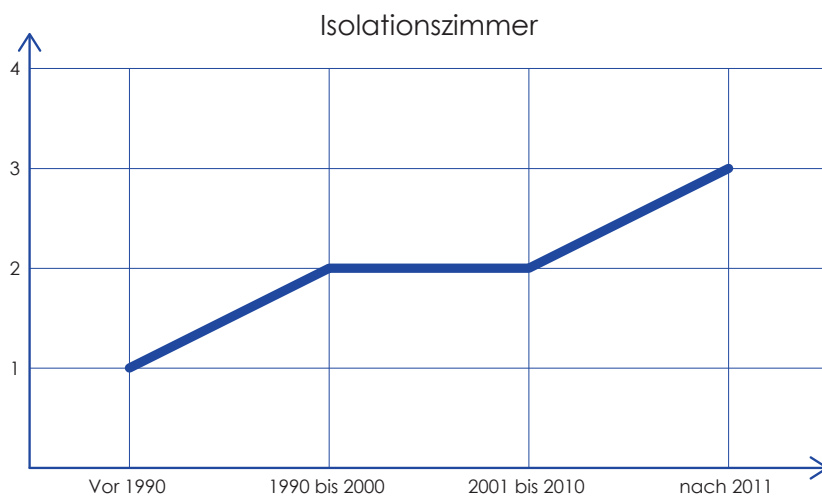
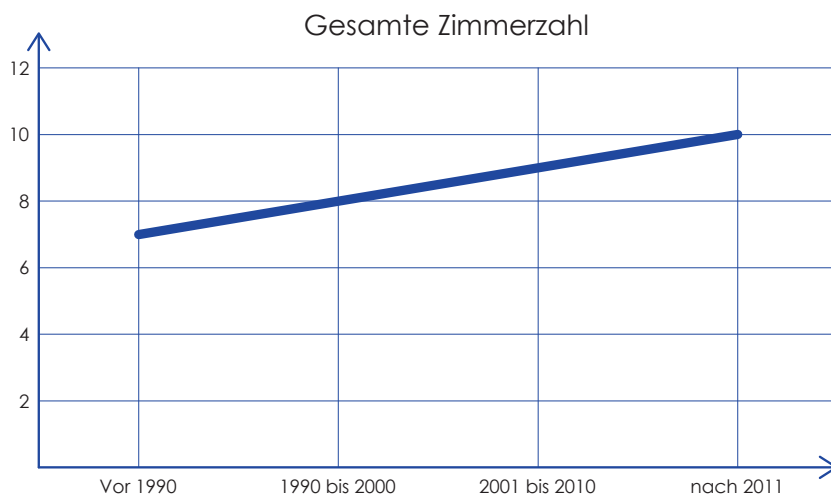
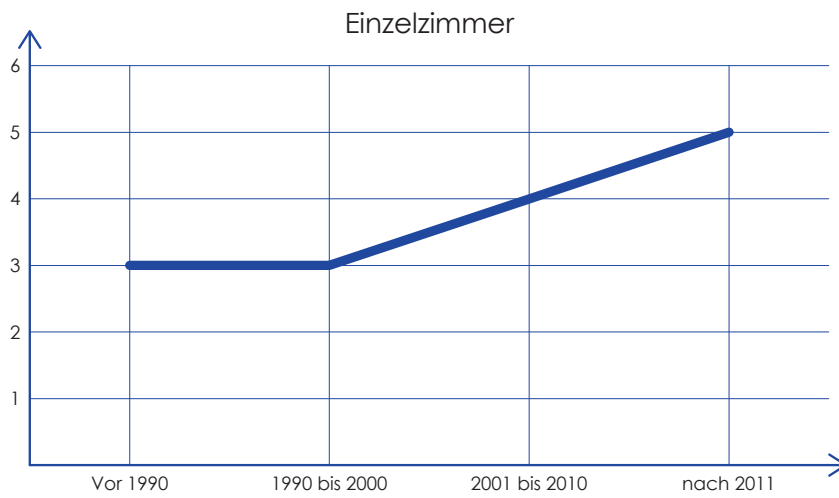


Abbildung 14
Entwicklungen nach Baujahr bzgl.
Einzelzimmer, Isolationszimmer und
gesamter Zimmeranzahl

Erkenntnisse

Aus der Umfrage geht hervor, dass immer noch ca. 65 % der Intensivbetten in Deutschland in Mehrbettzimmern untergebracht sind. Nach Stratifizierung nach Baujahr, Träger und Krankenhausgröße ergeben sich einige andere interessante Beobachtungen. In Deutschland zeigt sich ein Trend zu mehr Einzelzimmern und mehr Isolationszimmern; dieser Trend vollzieht sich allerdings sehr langsam. Parallel dazu steigt auch die Gesamtzahl an Zimmern auf Intensivstationen, der relative Anteil an Einzelzimmern bleibt also stabil (ca. 50 %). Vor allem ITS in privaten Krankenhäusern und in solche mit niedrigerem Versorgungslevel weisen größere Lücken in der Ausstattung auf, um geltenden Anforderungen in Bezug auf z. B. Einzelzimmerausstattung gerecht zu werden. Darüber hinaus sind Waschbecken in Patientenzimmern noch der Standard. Vor allem auf kleinen ITS, auf ITS in kleinen Krankenhäusern und in Krankenhäusern der Grund- und Regelversorgung wird regelmäßig Wasser aus der Leitung für die Patientenversorgung benutzt. Insgesamt gibt es also aus infektionspräventiver Sicht in vielen Strukturen einen Sanierungsbedarf. 20 % der befragten ITS in Deutschland wurden vor 1990 gebaut. Ältere bauliche Strukturen können nur mit größerem Aufwand an die geltenden Anforderungen/Empfehlungen angepasst werden. In einigen Fällen könnte der Neubau nach modernen Konzepten die bessere Alternative darstellen (Fucini et al. 2023).

2.3.2 Typologische Betrachtung von Intensivstationen

Generationen von Architekten, Krankenhausplanern, Medizin- und Haustechnikern haben sich mit dem Layout von Intensivstationen beschäftigt. Die Herausforderung, eine Vielzahl an Anforderungen und Nutzerinteressen in ein Layout dieser Größe unterzubringen, ist beträchtlich.

Unumstritten ist der Entwurf einer Station immer eine individuell entwickelte Antwort auf den vorliegenden Bedarf und die unmittelbaren Umgebungsparameter (z. B. Neubau, Altbausanierung, Erweiterung, Budget).

Auch wenn es auf den ersten Blick wenige Gestaltungsfreiräume zu geben scheint, wurden in den letzten Jahrzehnten dennoch eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Stationsgrundrisse erstellt. Es sind originelle Beispiele von Architekten und Krankenhausplanern, teilweise im Rahmen von klinischen Studien, entwickelt und realisiert worden. Allein bei Betrachtung der unterschiedlichen Patientenzimmertypen offenbart sich die gestalterische Bandbreite.

Alle Gestaltungsmöglichkeiten, die dem Planer beim Entwurf einer Intensivstation offenstehen, sollten im Rahmen dieser Untersuchung in einem ersten Schritt benannt und in einem zweiten Schritt an Hand von Praxisbeispielen bewertet werden.

Ziel der Untersuchung war die Analyse und Bewertung der Grundrisskonfigurationen von nationalen und internationalen Intensivstationen. Indem jedes Gestaltungsmerkmal einzeln und im Hinblick für mögliche Qualitäten betrachtet wird, sollte Schritt für Schritt ein qualitatives Bewertungsbild für jeden Grundrisstyp herausgearbeitet werden.

Für die Bewertung von Intensivstationsgrundrissen hat die Projektpartnerin TU Braunschweig im Zeitraum Januar bis April 2021 (Arbeitspaket 1) eine Literaturrecherche von nationalen und internationalen Intensivstationen durchgeführt. Zudem wurde das Projektkonsortium aufgefordert, Best-Practice Beispiele zu nennen.

Von den insgesamt 26 Projekten wurden 12 Intensivstationen zur Bewertung ausgewählt. Auswahlkriterien waren u. a.

- Grundrisskombination/-variation
- Sondergrundriss
- Zonierung der Bereiche
- Stationszugänge
- Flexibilität
- Wegeführung/Orientierung
- Ausstattung
- Sichtbeziehungen

Die Grundrisse der 12 Praxisbeispiele wurden von der TU Braunschweig grafisch auf die wesentlichen Merkmale vereinheitlicht. Die Bereiche Überwachung, Pflege, Schleuse und Vorbereitung wurden farbig hervorgehoben. Zudem wurden Wasserstellen und Stationszugänge im Grundriss markiert. Zu dem jeweiligen Grundriss wurden Innenraumfotos der Station (falls vorhanden), ein Lageplan mit Verortung der Intensivstation sowie ein Maßstab als zusätzliche Informationen hinzugefügt.

Für die Bewertung wurden ausgewählt:

1. **Brigham and Women's Hospital Boston**, United States
oKmd Architects, 1984
2. **Borromäus Hospital Leer**, Deutschland,
Architekten Schweizer und Partner, 2021
3. **Kardiologische Intensivstation Charité Berlin**, Deutschland
Charité CFM, 2017
4. **Intensivstation der Medizinischen Hochschule Hannover**, Deutschland
BKSP Architekten, 2009
5. **Hospital Universitario Rey Juan Carlos Móstoles**, Spain
Rafael de La-Hoz Arquitectos, 2012
6. **University Medical Center Groningen**, Niederlande
Eigenplanung UMCG, 2010
7. **Dr. Gutiérrez Hospital Venado Tuerto**, Argentinien
Mario Corea Arquitectura + Unidad de proyectos Especiales del Gobierno Santa Fe, 2017
8. **New Hospital Tower Rush University Medical Center Chicago**, United States
Perkins and Will Architects, 2017
9. **Pars Hospital Rasht**, Iran
New Wave Architecture, 2016
10. **Swedish American Hospital Heart & Vascular Center Rockford**, United States
Perkins and Will Architects, 2006
11. **Erasmus University MC Rotterdam**, Niederlande
EGM Architekten, 2021
12. **BC Children's Hospital & BC Women's Hospital + Health Centre, Teck Acute Care Centre Vancouver**, Canada
ZGF Architects, 2017

Am 15.06.2021 haben die Projektpartner den folgenden Arbeitsauftrag erhalten:
Im Folgenden (Seite 4-27) möchten wir Sie bitten jeweils eine Bewertung der Stationsstruktur vorzunehmen und Vorteile sowie Nachteile zu benennen, die Sie dem vorliegenden Grundriss und Bildmaterial entnehmen können. Dabei können Sie auf Aspekte wie z. B. bauliche Struktur, Organisation oder Erschließung eingehen sowie sonstige Aspekte benennen und hervorheben.
Arbeitsauftrag mit Grundrissen siehe Anlage 3.
Die Rücksendung der Ergebnisse erfolgte bis zum 15.07.2021.

Anhand der schriftlichen Ergebnisse der Projektpartner haben die TU Braunschweig und Charité Berlin Bewertungskriterien definiert, die den Qualitäten des jeweiligen Beispiels zugeordnet werden konnten.

Folgende Kriterien und Qualitäten wurden definiert:

Größe der Patientenzimmer	Je größer desto besser
Raumbelegung 1-/2- Bettzimmer	Je mehr Einbettzimmer desto besser (Privatsphäre)
Vorraum/ Schleusen	Je mehr Schleusen desto besser
Tageslicht	Je mehr Tageslicht desto besser (insbesondere im Patientenzimmer)
Geometrie Patientenzimmer	Je einheitlicher desto besser
Geometrie Station	Je übersichtlicher desto besser
Kohortierbarkeit	Je mehr Clusterung möglich, desto besser
Überwachungspunkt	Je mehr Betten einsehbar, desto besser
	Je mehr Überwachung außerhalb des Patientenzimmers desto intensiver/ besser
Wegelängen	Je kürzer desto besser
Pflegestützpunkt	Je einsehbarer der Zugang zur ITS, desto besser
Nebenräume (Vorbereitung, Lager etc.)	Je mehr desto besser
Verkehrsflächen	Je breiter desto besser

Tabelle 5
Bewertungskriterien der 12 Intensivstationen

Mithilfe eines additiven Punktesystems konnten die Grundrisse nun bewertet werden. Dabei konnten nur Merkmale addiert werden, die sich nicht gegenseitig ausschließen. Die Summe aller addierbaren Merkmale bildet den Höchstwert. Mithilfe des Punktesystems ließen sich die Merkmale nun in ein Diagramm überführen. Dieses gibt das Ergebnis der qualitativen Untersuchung des jeweiligen Grundrisstyps wieder. Die Grafik soll jeweils das Resultat der qualitativen Untersuchung des entsprechenden Grundrisstyps darstellen.

Im Folgenden werden beispielhaft zwei Projekte aufgeführt:

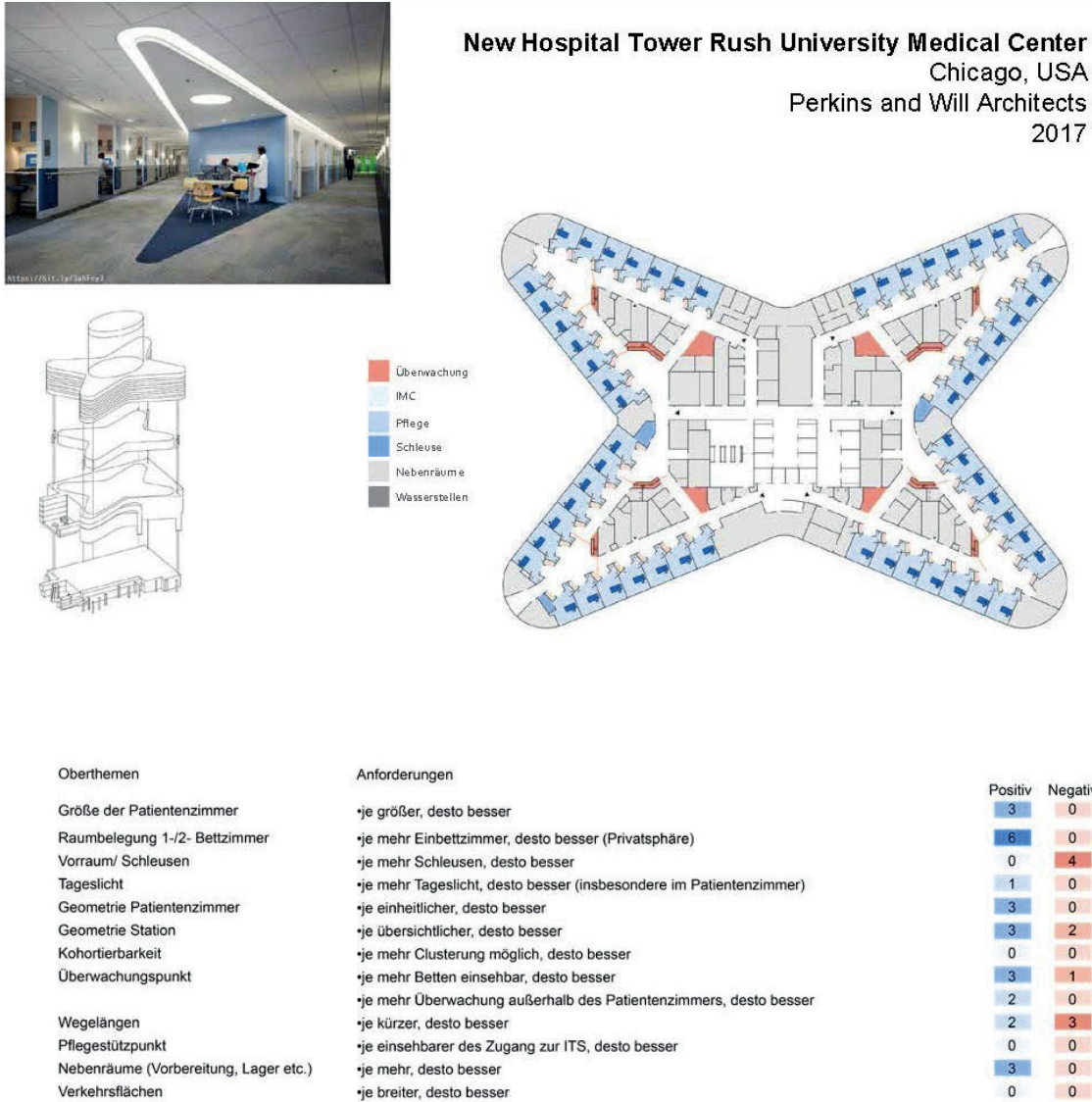
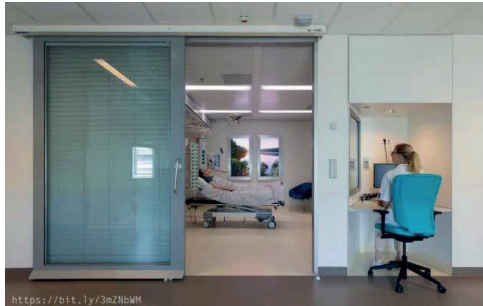


Abbildung 15
New Hospital Tower Rush University Medical Center, Chicago United States Perkins and Will Architects, 2017



Erasmus University Medical Center
Rotterdam, Niederlande
EGM Architects
In Ausführung



Oberthemen	Anforderungen	Positiv	Negativ
Größe der Patientenzimmer	•je größer, desto besser	3	1
Raumbelegung 1-/2- Bettzimmer	•je mehr Einbettzimmer, desto besser (Privatsphäre)	7	0
Vorraum/ Schleusen	•je mehr Schleusen, desto besser	3	1
Tageslicht	•je mehr Tageslicht, desto besser (insbesondere im Patientenzimmer)	1	2
Geometrie Patientenzimmer	•je einheitlicher, desto besser	2	0
Geometrie Station	•je übersichtlicher, desto besser	2	1
Kohortierbarkeit	•je mehr Clusterung, möglich desto besser	2	0
Überwachungspunkt	•je mehr Betten einsehbar, desto besser	4	2
	•je mehr Überwachung außerhalb des Patientenzimmers, desto besser	0	0
Wegelängen	•je kürzer, desto besser	1	3
Pflegestützpunkt	•je einsehbarer des Zugang zur ITS, desto besser	1	1
Nebenräume (Vorbereitung, Lager etc.)	•je mehr, desto besser	1	0
Verkehrsflächen	•je breiter, desto besser	0	0

Abbildung 16

Erasmus University MC, Rotterdam Niederlande, EGM Architekten, 2021

Erkenntnisse

Ziel und Zweck dieser Bewertung sollte es nicht sein, einen mustergültigen Grundriss-typ für die Intensivstation zu identifizieren. Denn jeder Grundriss ist, wie bereits in der Einleitung beschrieben, ein individueller Entwurf, angepasst an den Kontext und Bedarf der jeweiligen Klinik.

Auch anhand der hier vorgestellten Konfigurationen lässt sich kein grundsätzlich und in jedem Fall geeignetes Layout für eine Intensivstation benennen. Vielmehr zeigt es das Verhältnis zwischen betriebswirtschaftlich und konstruktiv optimierten Planungs-entscheidungen und einer möglichen Nutzungsqualität. Die Komplexität der Entwurfsaufgabe Intensivstation wird auf diese Weise deutlich.

Es soll auch gesagt werden, dass ein Ergebnis, bei dem alle Höchstwerte erreicht würden, nicht mehr praktikabel wäre und auch nicht der Klinikrealität entspräche. Da es sich um eine qualitative Untersuchung handelte, sollten vielmehr die Zusammenhänge von baulichen, prozessualen und emotionalen Faktoren veranschaulicht werden.

2.4 Bedarfsanalyse

Parallel zu der Erhebung des IST-Zustandes auf deutscher sowie internationaler Ebene, wurden Workshops und Befragungen unter den Projektpartnern durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen – die als „Bedarfsanalyse“ bezeichnet wurden – war ein Verständnis dafür zu entwickeln, wie Menschen die Umgebung, die sie planen oder in der sie arbeiten, interpretieren und dadurch Bedürfnisse zu definieren, die noch adressiert werden können.

2.4.1 Befragung unter Mitarbeitern von Intensivstationen

Wenn auch die Patient*innen als Endnutzer der Intensivstation gesehen werden können, wird die Intensivstation tagtäglich von unterschiedlichen Berufsgruppen „gelebt“. Lange Wege und Lärm sind i. e. als wesentliche Störfaktoren im Alltag mit Konsequenzen auf die Konzentrationsfähigkeit beschrieben worden. Die bauliche Umgebung kann also einen Einfluss auf die Lebens- und – konsequenterweise – Arbeitsqualität der ITS-Mitarbeiter haben, deren frühzeitige Involvierung in den Planungsprozess deshalb in der Praxis immer berücksichtigt werden sollte. Es wurde ein Fragebogen aus 21 Fragen über unterschiedliche Aspekte der Intensivstationsstruktur und deren Einfluss auf den Arbeitsalltag von ITS-Mitarbeitern erstellt. Die Fragebögen wurden auf 13 Intensivstationen in sechs Krankenhäusern (fünf in Berlin, eins in Braunschweig) verteilt. Die Teilnahme zur Umfrage war anonym und freiwillig. 257 Personen nahmen an der Umfrage teil. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Erkenntnisse

Die Umfrage bestätigt, dass sich die meist genutzten Arbeitsplätze auf Intensivstationen im Patientenzimmer und im zentralen Stützpunkt befinden, so dass diese zwei Bereiche das Herz der Station darstellen. Für Intensivpersonal ist die direkte Sichtbarkeit der Patienten vom Arbeitsplatz aus wichtig. Das sollte die Planer dazu leiten, Arbeitsplätze eher in unmittelbarer Nähe der Patientenzimmer vorzusehen. Gleichzeitig wird aber dem zentralen Stützpunkt eine unverzichtbare Rolle als Dokumentationsplatz und Treffpunkt anerkannt. Dies suggeriert, dass eine Kombination aus „zentralen“ und „dezentralen“ Arbeitsplätzen die bessere Lösung ist.

73 % der Mitarbeiter empfinden Lautstärke als ein relevantes Problem im Alltag, davon 70 % antworteten, dass dies vor allem in Patientenzimmern und im Stützpunkt als meisten belastend sei. Eine gute Abschirmung dieser Bereiche von äußeren Störfaktoren sollte also – durch technische und bauliche Hilfsmitteln – gewährleistet sein.

Platzmangel wird v.a. im Patientenzimmer und in Lagerräumen als Problem empfunden. Gleichzeitig besteht seitens der Mitarbeiter der Wunsch, feste Flächen im Zimmer für die Herrichtung von Medikamenten und für die Lagerung von Medikamenten bzw. Materialien zu haben.

Deutlicher wird der Widerspruch zur vorhandenen Evidenz beim Thema Waschbecken

und Vorräume. Die beiden werden als sinnvoll und nützlich erachtet. Aus infektionspräventiver Sicht ist allerdings kein klarer Vorteil - außer in wenigen Situationen - der Vorräume nachweisbar (i. e. Isolierung bei Luftübertragung) und es gibt mehrere Hinweise, dass Waschbecken sogar ein Risiko für die Umgebungskontamination und für nosokomiale Infektionen sein könnten.

Aus diesen Beispielen kann abgeleitet werden, dass bei der Umsetzung von theoretischen Empfehlungen gezielte Lösungen gesucht werden sollten, die die Umstellung von gewöhnten Prozessen begleiten und die Akzeptanz neuerer Modelle erhöhen.

2.4.2 Experten-Workshops zum Thema Anforderung und Innovation

Es wurden drei Expertenworkshops an der TU Braunschweig durchgeführt. Bei den Workshops gab es einen fachübergreifenden Austausch mit den Projektpartnern und eingeladenen Experten mit dem Ziel, hygienekritische Bereiche auf den Betrachtungsebenen (a) Stationsstruktur und Versorgung, (b) Der Patient und seine Umgebung und (c) Desinfektion + Reinigung + Oberfläche/Material ausfindig zu machen und entsprechende Antiinfektions-Strategien für die bauliche Planung zu diskutieren. Entsprechend ihrer fachlichen Expertise konnten sich die Projektpartner zu einem oder mehreren Workshops zuordnen. Zudem wurden zu den jeweiligen Workshops Experten eingeladen. Die Zusammenstellung der jeweiligen Workshop-Teilnehmer war interdisziplinär (u. a. Krankenhausplaner, Pflegepersonal, Hygieniker, Materialwissenschaftler, Hersteller von Gesundheitsprodukten).

Die Expertenworkshops fanden wie folgt statt:

Arbeitsgruppen-Treffen „Stationsstruktur und Versorgung“

18.01.2022, TU Braunschweig

Teilnehmer: TU Braunschweig, Charité Berlin, HT-Group, Klinikum BS, CS-Group, LEDVANCE, Vivantes, Bode, Wissner-Bosserhoff GmbH

Arbeitsgruppen-Treffen „Der Patient und seine Umgebung“

02.02.2022, TU Braunschweig

Teilnehmer: TU Braunschweig, Charité Berlin, BPS, CS-Group, LEDVANCE, Aquafree, HT-Group, Klinikum Braunschweig.

Arbeitsgruppen-Treffen „Desinfektion, Reinigung, Oberfläche/Material“

03.02.2022, TU Braunschweig

Teilnehmer: TU Braunschweig, Charité Berlin, Fraunhofer IST Braunschweig, HT-Group, CS-Gruppe, Bode, LEDVANCE, Tarkett, Klinikum Braunschweig

Die Struktur aller Workshops war identisch: Zunächst wurden Themencluster des jeweiligen Themas (a) Stationsstruktur und Versorgung, (b) Der Patient und seine Umgebung und (c) Desinfektion + Reinigung + Oberfläche/Material vorgestellt und definiert. Im nächsten Schritt waren die Teilnehmer aufgefordert, sechs Themencluster zu markieren, die ihrer Meinung nach am relevantesten sind. Diese Hierarchisierung erfolgte mit Klebepunkten. Darauf aufbauend waren sodann die Teilnehmer aufgefordert, die wichtigsten Anforderungen für den jeweiligen Themenbereich zu benennen.

Dies erfolgte in Form einer Kartenabfrage und im moderierten Verfahren. Gemeinsam wurden anschließend die Antworten geclustert und zugeordnet. Für die Anforderungen jener Themencluster, die während des Workshops nicht definiert werden konnten, waren die Teilnehmer aufgefordert, diese an die TU Braunschweig zu senden.

Die Daten wurden im Rahmen eines mündlichen Gesprächs erhoben, das mit einem Aufnahmegerät aufgezeichnet wurde. Zum Zwecke der Datenanalyse wurden die mündlich erhobenen Daten verschriftlicht (Transkription), wobei die Daten anonymisiert wurden.



Fotos

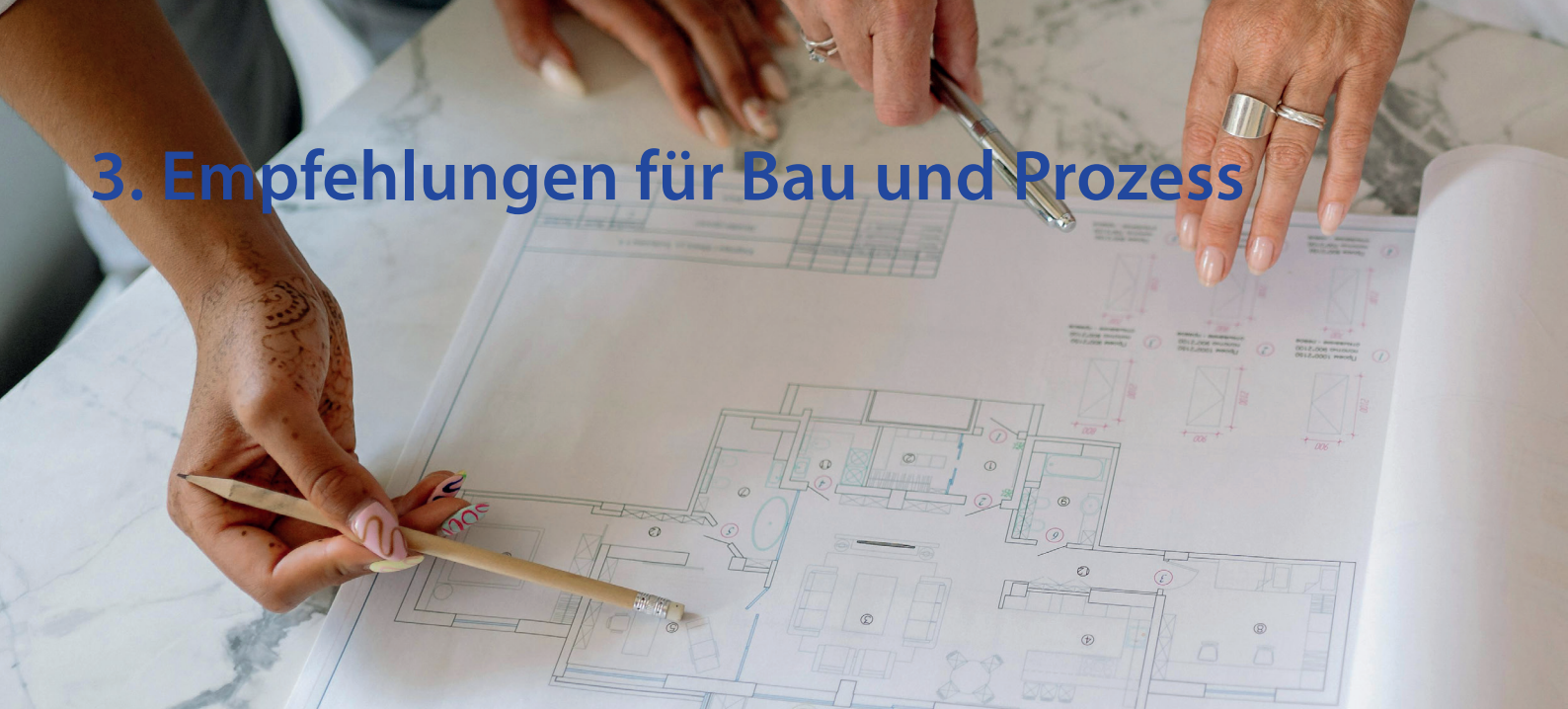
Arbeitsgruppen-Treffen „Desinfektion,
Reinigung, Oberfläche/Material
03.02.2022, TU Braunschweig

Die gesamten Ergebnisse der definierten Anforderungen der drei Arbeitsgruppentreffen sind als Anlage 4 hinterlegt.

Erkenntnisse

Die Durchführung der drei Arbeitsgruppen-Treffen an der TU Braunschweig und des darauffolgenden Workshops an der Charité Berlin waren für die Erstellung eines Anforderungskatalogs sinnvoll. Der komplexe Bereich Intensivstation wurde strukturiert in die drei Betrachtungsebenen (a) Stationsstruktur und Versorgung, (b) Der Patient und seine Umgebung und (c) Desinfektion + Reinigung + Oberfläche/Material geclustert und dann in jeweilige Unterthemen. Die Definierung von Anforderungen durch interdisziplinäre Teilnehmergruppen sicherte eine breite Analyse zu. Auf der Grundlage des Anforderungskataloges war es möglich, konkrete planungsrelevante Empfehlungen zu formulieren. Zudem war die Strukturierung der Ober- und Unterthemen eine sehr sinnvolle Vorlage für den finalen Katalog von Planungsempfehlungen.

3. Empfehlungen für Bau und Prozess



Einleitung

Die aufgestellten Handlungsempfehlungen sind als ein erster und wichtiger Schritt in Richtung infektionspräventive bauliche Strukturen zu sehen und stellen einen Bestandteil eines Maßnahmenbündels dar. Der Gegenstand dieses Themas wird auch in Zukunft weitere Forschung notwendig machen.

Die im Folgenden dargestellten Planungsempfehlungen bauen auf die im Forschungsprojekt „Intensivstation der Zukunft“ durchgeführten Untersuchungen (siehe Kapitel 2) auf.

Mit diesen Empfehlungen können bei der Neu- oder Umplanung die baulichen Strukturen von Intensivstationen 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 bzw. der jeweiligen Station angepasst werden können. Die folgenden Empfehlungen beziehen die Bereiche der technischen Gebäudeausrüstung (TGA), hier: Lüftungsanlagentechnik, nicht mit ein, da der thematische Schwerpunkt der Empfehlungen auf den baukonstruktiven und baufunktionalen Komponenten liegt. 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 medizinische Ausrichtungen noch auf die Zusammensetzung der Patienten.

Die vorgestellten Empfehlungen haben das Ziel, die Patienten und das ärztliche sowie 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 hygienerlevanten Räumen reduzieren oder die auf Veränderungen flexibel reagieren können.

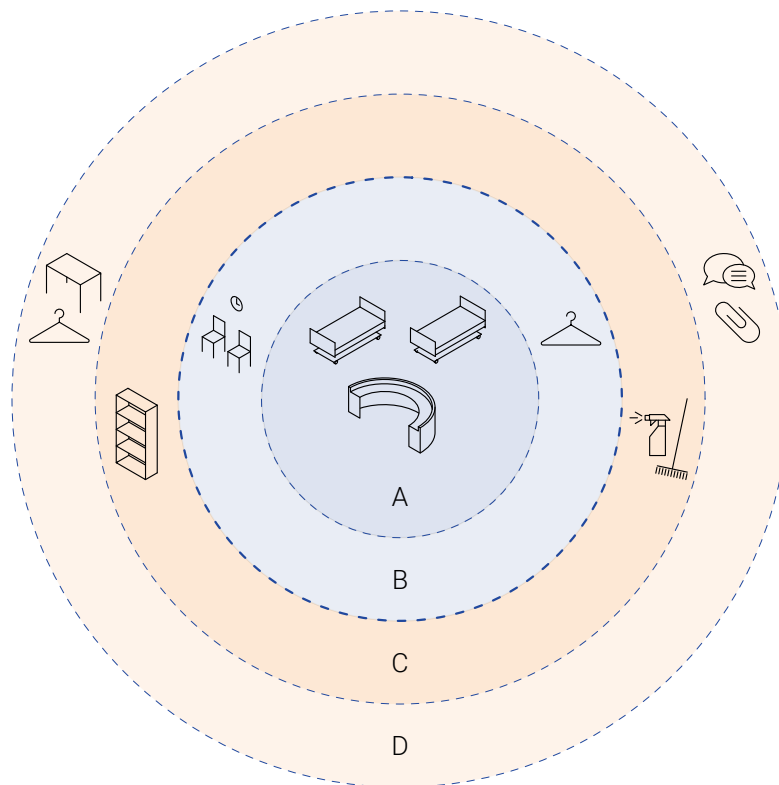
Die aufgestellten Handlungsempfehlungen sind als ein erster und wichtiger Schritt in Richtung infektionspräventive bauliche Strukturen zu sehen und stellen einen Bestandteil eines Maßnahmenbündels dar. Der Gegenstand dieses Themas wird auch in Zukunft weitere Forschung notwendig machen.

Aufgrund der unterschiedlichen funktionalen, technischen und personellen Anforderungen bestimmter Bereiche der Intensivstation werden die baulichen und prozessualen Handlungsempfehlungen in sechs eigenständigen Kapiteln dargestellt:

- 3.1 Stationsstruktur
- 3.2 Patientenzimmer
- 3.3 Vorräume
- 3.4 Arbeitsräume
- 3.5 Waschbecken
- 3.6 Material, Oberflächen und Desinfektion/Reinigung

3.1 Stationsstruktur

3.1.1 Raumprogramm



Je nach Aufgabenstellung sind folgende Räume erforderlich:

A Kernzone

- Einbett-Patientenzimmer mit Vorraum/räumen bzw. mit Arbeitsraum/räumen – unrein,
- Mehrbett-Patientenzimmer mit zugeordnetem/n Arbeitsraum/räumen – unrein,
- zentrale Überwachungs- und Kommunikationsplatz/plätze (Pflegestützpunkt)
- Arbeitsraum/räume – rein, mit Medikamentenlager
- ggf. zusätzlicher Arbeitsraum – unrein,
- Bereich für Geräte der Notfallversorgung, abseits des Fluchtweges,
- Patiententoilette (für IMC/ nicht high-intensity care)
- Labor
- Stationsküche
- Ggf. Bedarf für Eingriffsraum/ Interventionsraum prüfen

B Austauschzone

- Personalumkleiden mit Toiletten
- Besucherwarteraum mit Toilette, Besuchergarderobe/-umkleide
- Versorgungsschleuse
- Entsorgungsschleuse
- ggf. Patienten-Übergaberaum

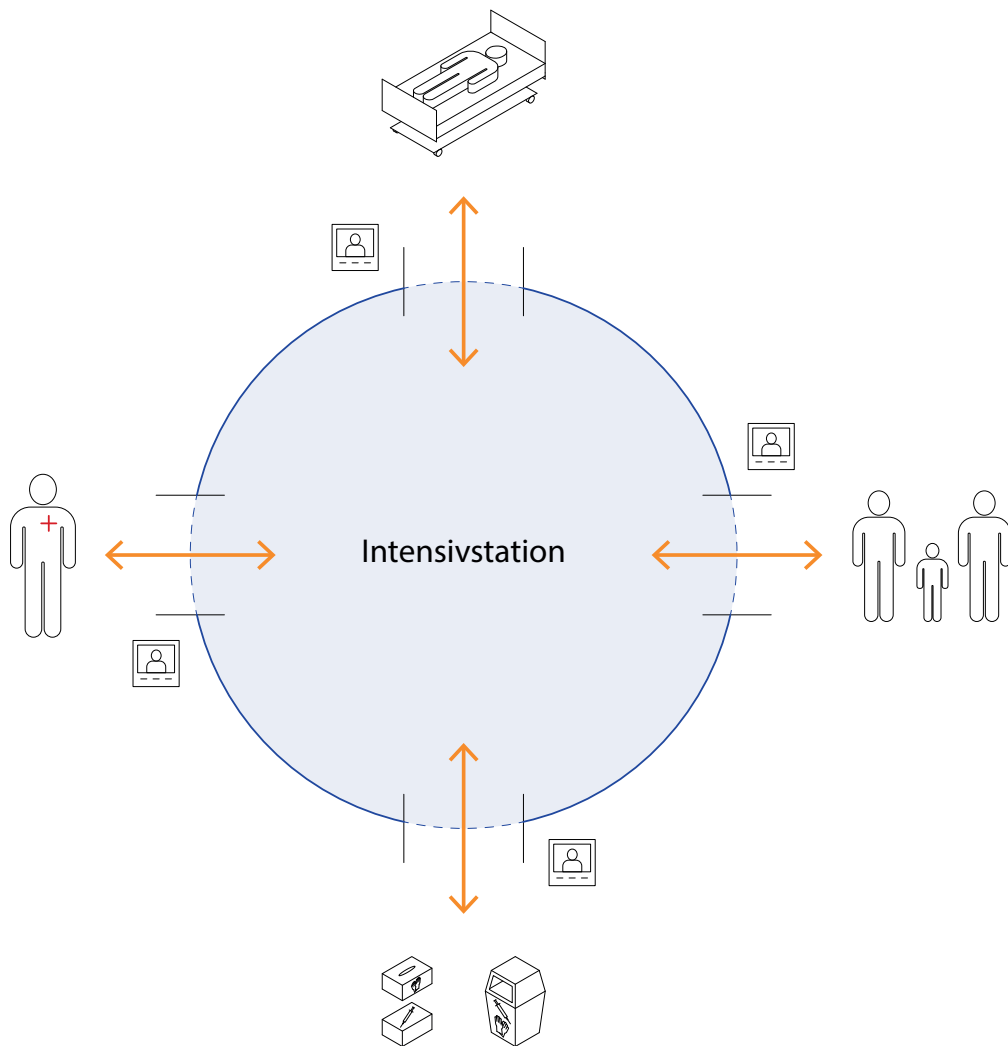
C Lager- und Aufbereitungsbereich

- Abstellplätze für Patientenbetten (rein/unrein), ggf.,
- ggf. Raum für Geräteaufbereitung mit reiner und unreiner Seite
- Putzmittelraum
- Geräteraum, Vorrats- und Lagerräume (inkl. reiner Wäsche)

D Umgebungszone

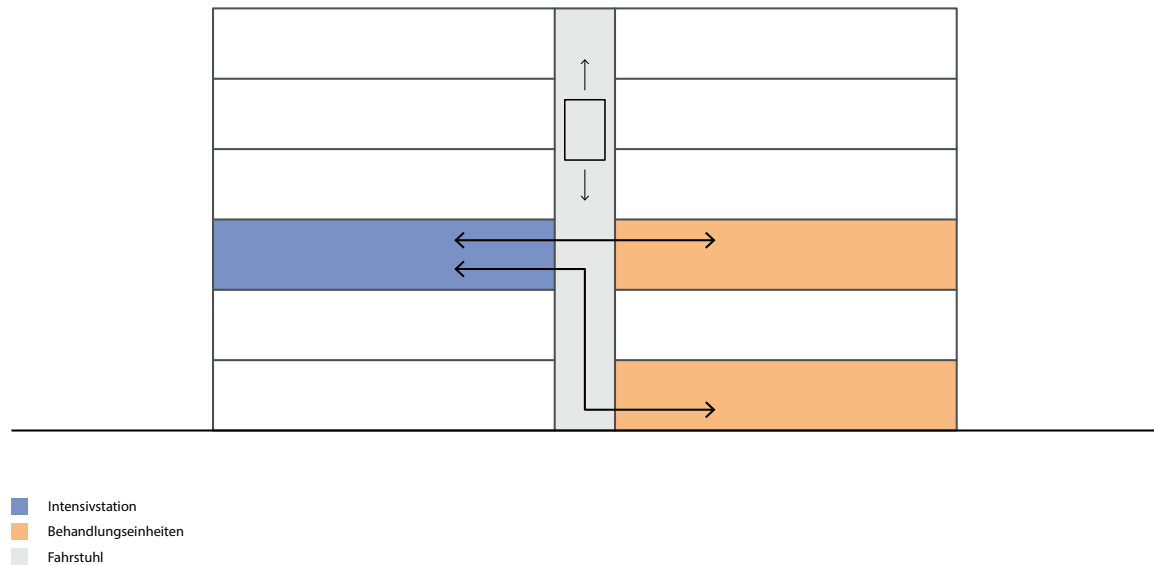
- Platz für Kleidung und andere Gegenstände der Patienten
- Dienstraum/räume für Ärzte und Pflegekräfte
- Personalaufenthaltsraum/räume
- Besprechungsraum/räume
- Verwaltungsraum/räume
- Raum für Angehörigengespräche
- Raum für Bettenaufbereitung
- ggf. Abschiedsraum
- ggf. Stationsbad
- ggf. MDA

3.1.2 Stationszugang



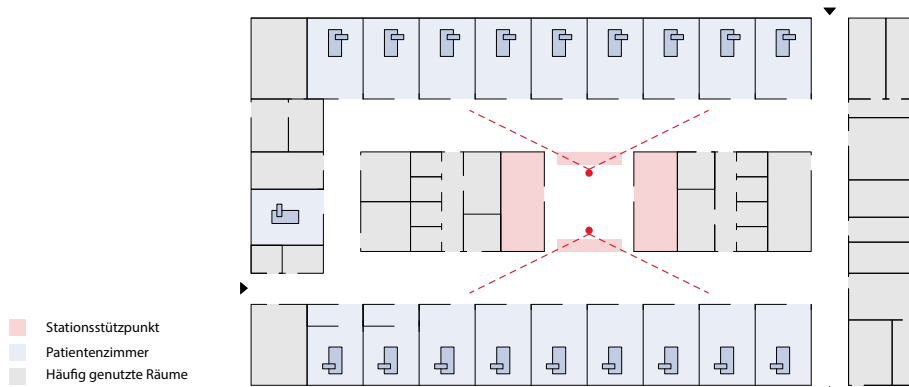
- Die Zugänge für Patienten, Personal und Besucher sollen getrennt werden. Eine Schleuse mit Umkleidefunktion für das Personal ist nicht zwingend notwendig, wenn eine zentrale Umkleide vorhanden ist.
- Besucher/Angehörige sollen am Eingang die Möglichkeit haben sich umzukleiden bzw. persönliche Gegenstände abzulegen.
- Der Wartebereich für Besucher ist idealerweise am Eingang der Station zu verorten.
- Das Betreten von stationsfremdem Personal und Besuchern sollte am Zugang der Station kontrolliert, z. B. mit einer Wechselsprechanlage zu einem permanent besetzten Platz (z. B. Pflegestützpunkt) stattfinden.
- Das Beliefern der Station und das Abführen von Entsorgungsmaterial sollen räumlich getrennt von der Station über Schleusen ermöglicht werden.
- Die Technikräume zur Verortung der Stromverteiler, Serverschränke, Bereichskontrolleinheiten der medizinischen Gase etc. sollen zugänglich sein, ohne den Stationsbetrieb zu beeinflussen.
- Mindestens ein Händedesinfektionsmittelspender soll an jedem Zugang zur Station eingeplant werden.

3.1.3 Grundriss und Zonierung

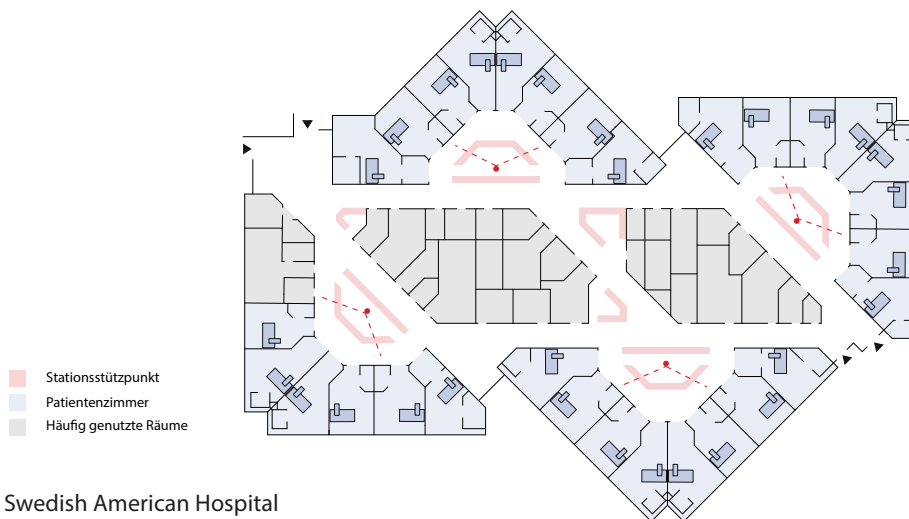


- Der Geschossgrundriss der Intensivstation sollte auf andere Funktionsgeschosse übertragbar sein
- Intensivstationen sind in Nähe bzw. bestenfalls auf der gleichen Ebene derjenigen Behandlungseinheiten zu planen, aus deren Bereich die betreffenden Patient*innen vorwiegend kommen, z. B. OP-Einheit, Aufwachraum, Notaufnahme, Koronarangiographie, Radiologie, Intermediate Care Station. Alternativ soll eine direkte Erreichbarkeit über Fahrstühle gewährleistet sein.
- Eine Anzahl von 12 Intensivbetten pro Intensiveinheit sollte nicht überschritten werden.
- Die Kernzone inkl. Stationsstützpunkt mit reinen und unreinen Arbeitsräumen sollte möglichst zentral angeordnet werden
- Möglichst viele Patientenzimmer sollen von einem Stützpunkt aus einsehbar sein.
- Bei Trennung von Stationsbereichen (z. B. um mehrere Patientenzimmer als Kohorte zu isolieren) sollte jede Kohorte autark nutzbar sein.
- Möglichst kurze Wege von den Patientenzimmern zu anderen Räumen innerhalb der Kernzone.
- Häufig genutzte Räume (z. B. Medikamentendepot, Pflegestützpunkt) sollten mindestens einmal zentral auf der Station vorhanden sein, um die Wege möglichst kurz zu halten.
- Für Neubauten: eine 100 % Unterbringung der Patienten in Einbettzimmern vorsehen
- (Für Bestandsbauten: Sollte eine 100 % Einzelbelegung nicht umsetzbar sein, ist eine maximale Zweibettbelegung der Patientenzimmer zu empfehlen.)

3.1.4 Stationsstützpunkt



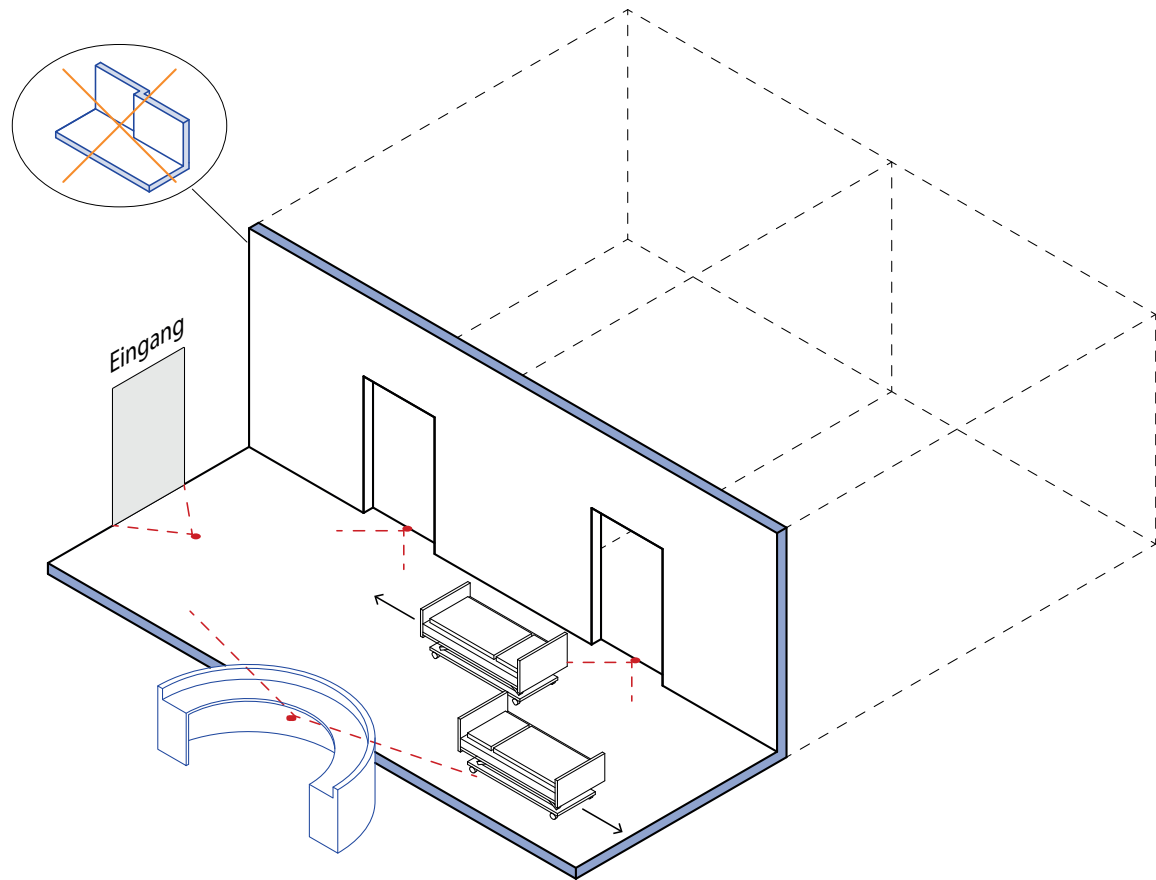
Rey Juan Carlos Hospital Madrid



Swedish American Hospital

- Zentrale Anordnung eines Stützpunktes, ggf. ergänzt durch mehrere dezentrale Stützpunkte je nach Größe der Station und Bettenzahl.
- Größe des Stützpunktes an die Personalbelegung der Station anpassen bzw. Bedarf prüfen.
- Eine zum Flur hin offene Geometrie des Stützpunktes kann mehr Übersichtlichkeit auf die Station gewährleisten. Befindet sich der Stützpunkt in einem geschlossenen Bereich ist für ausreichenden Luftaustausch zu sorgen.
- Abschirmung gewährleisten bezüglich Patientendaten; u. a. sollen die Computer nicht vom Flurbereich einsehbar sein.
- Eine Arbeitsplatzgestaltung in Übereinstimmung mit den Richtlinien für Ergonomie am Bildschirmarbeitsplatz sicherstellen.
- Getrennte Arbeitsplätze für die Pflegedokumentation sowie für die Durchführung sonstiger Aufgaben (z. B. Aktenverwaltung).
- Trennung von Auskunftsbereich und Arbeitsbereich bzw. Auskunftsbereich deutlich ablesbar machen oder ggf. vom Stationsstützpunkt auslagern.
- Digitale Kommunikation nach intern und extern am Stützpunkt ermöglichen, z. B. das Zuschalten ins Patientenzimmer oder für digitale Übergaben.

3.1.5 Stationsflur



- Verständliche (ggf. in mehreren Sprachen übersetzte) und übersichtliche Beschilderung aller Wege und Räume innerhalb der Station mit Piktogrammen.
- Verkehrswege und Flurbreiten ausreichend dimensionieren. Der Flur soll mindestens Platz für das ungehinderte Vorbeifahren von zwei Betten nebeneinander bieten.
- Gute Einsehbarkeit der Flurbereiche von Stützpunkt und Patientenzimmer zur Erleichterung der Kommunikation zwischen Personal
- Überwachungsmonitore mit Vitaldaten des Patienten sollen an mehreren, aus den Dokumentations- und Arbeitsplätzen direkt einsehbaren Stellen positioniert sein.
- Bedarfsgerechte Anzahl an Steckdosen in den Flurbereichen vorsehen.
- Vor- und Rücksprünge in den Flurbereichen nach Möglichkeit vermeiden. Stattdessen sollte eine simple Geometrie für vereinfachte Reinigung geplant werden.
- Idealerweise soll der Eingang vom Flurbereich aus einsehbar sein.

3.1.6 Lagerbedarf

- Lagerbedarf (z. B. Räume für Gerätelager, Materiallager, Wäschelager) unter Berücksichtigung des Logistikkonzeptes des Krankenhauses abhängig von Ausrichtung der Station gemeinsam mit künftigen Nutzern ermitteln.
- Zentrales Versorgungslager ggf. durch dezentrale, den Patientenzimmern zugeordnete Lagermöglichkeiten je nach Größe der Station und Bettenanzahl ergänzen
- Eine staubgeschützte Lagerung ermöglichen und nach Möglichkeit Schrankelemente bis zur Decke verblenden.
- Für die Medizintechnik ist ein dem Bedarf angepasster Raum vorzusehen, in dem die Geräte gelagert und geladen werden. In diesem Raum sollen bei Bedarf kleinere Wartungsarbeiten auf Station durchgeführt werden können, sodass die Ausfallzeiten der Geräte verkürzt werden.
- Spind/Container für private Kleidung/Dinge des Patienten nach Möglichkeit in einem Raum auf der Station vorsehen.



3.2 Patientenzimmer

3.2.1 Allgemein

Größe:

Folgende Größen und Abstände sollten in Patientenzimmern mindestens eingehalten werden:

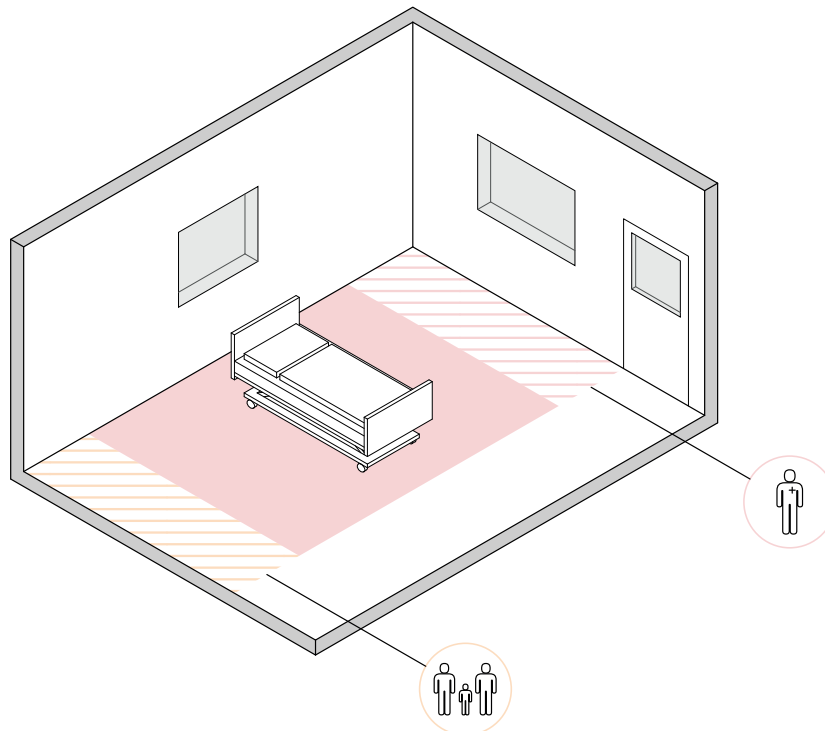
Im Einzelzimmer:

- Größe mindestens 25 m²
- Vom Kopfende zur Wand ca. 0,7 m
- Von der Längsseite des Bettes zur Wand ca. 2,5 m
- Vom Fußende des Bettes zur Wand 1,7 m

Im Zweibettzimmer:

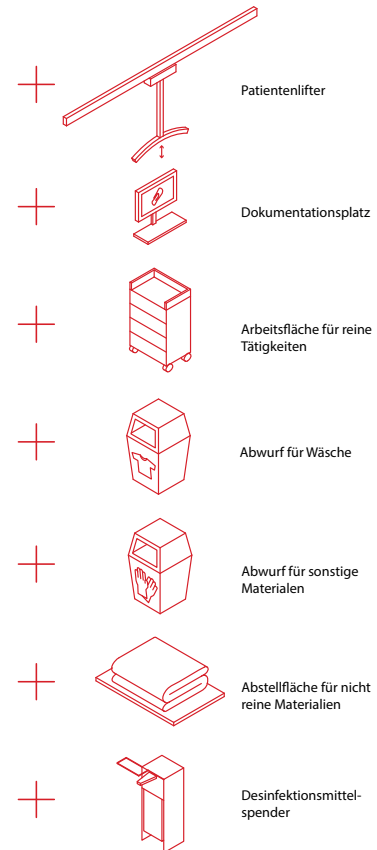
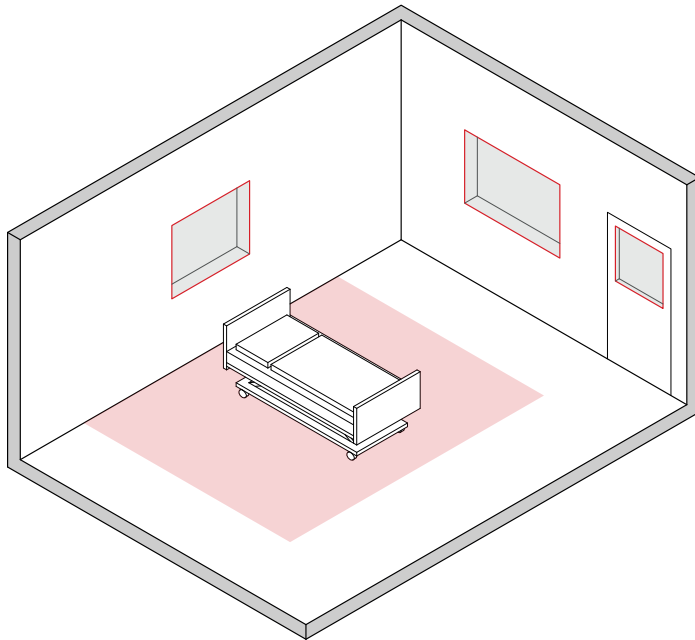
- Größe mindestens 40 m²
- Vom Kopfende zur Wand ca. 0,7 m
- Von der Längsseite des Bettes zur Wand ca. 2,0 m
- Von Fußende des Bettes zur Wand 2,4 m
- Zwischen den Betten 2,3 m

3.2.2 Zonierung



- Trennung in Bereiche für reines Arbeiten und unreines Arbeiten vorsehen (evtl. durch farbliche Unterscheidung hervorheben).
- Einen Besucherbereich für Angehörige inkl. gut zu reinigender Sitzmöglichkeiten anbieten.
- Einen designierten Bereich für den Arbeitsbereich der Pflege vorsehen.
- Für Zweibettzimmer: auf fest installierte Trennelemente zwischen zwei Patienten sollte verzichtet werden.
- (Für Bestandsbauten: Patientenbereiche in Zweibettzimmern als eigene Behandlungsbereiche zugunsten von Hygiene und Privatsphäre (zwei getrennte reine Arbeitsflächen, Dokumentationsplätze, Abfalleimer, ggf. Materialdepot usw.) planen.)
- (Für Bestandsbauten: In Zweibettzimmern ausreichend Bewegungsraum für zwei gleichzeitig anwesende Angehörige planen. Dabei ist dafür Sorge zu tragen, dass die Privatsphäre der Patienten geschützt wird.)
- (Für Bestandsbauten: Zwischen den Betten (Seite zu Seite bzw. Fuß zu Fuß) muss ausreichend Platz sein, so dass eine Überschneidung der direkten Umgebungen beider Patienten vermieden wird. Dafür soll ein Abstand von 2,3 m nicht unterschritten werden.)

3.2.3 Ausstattung

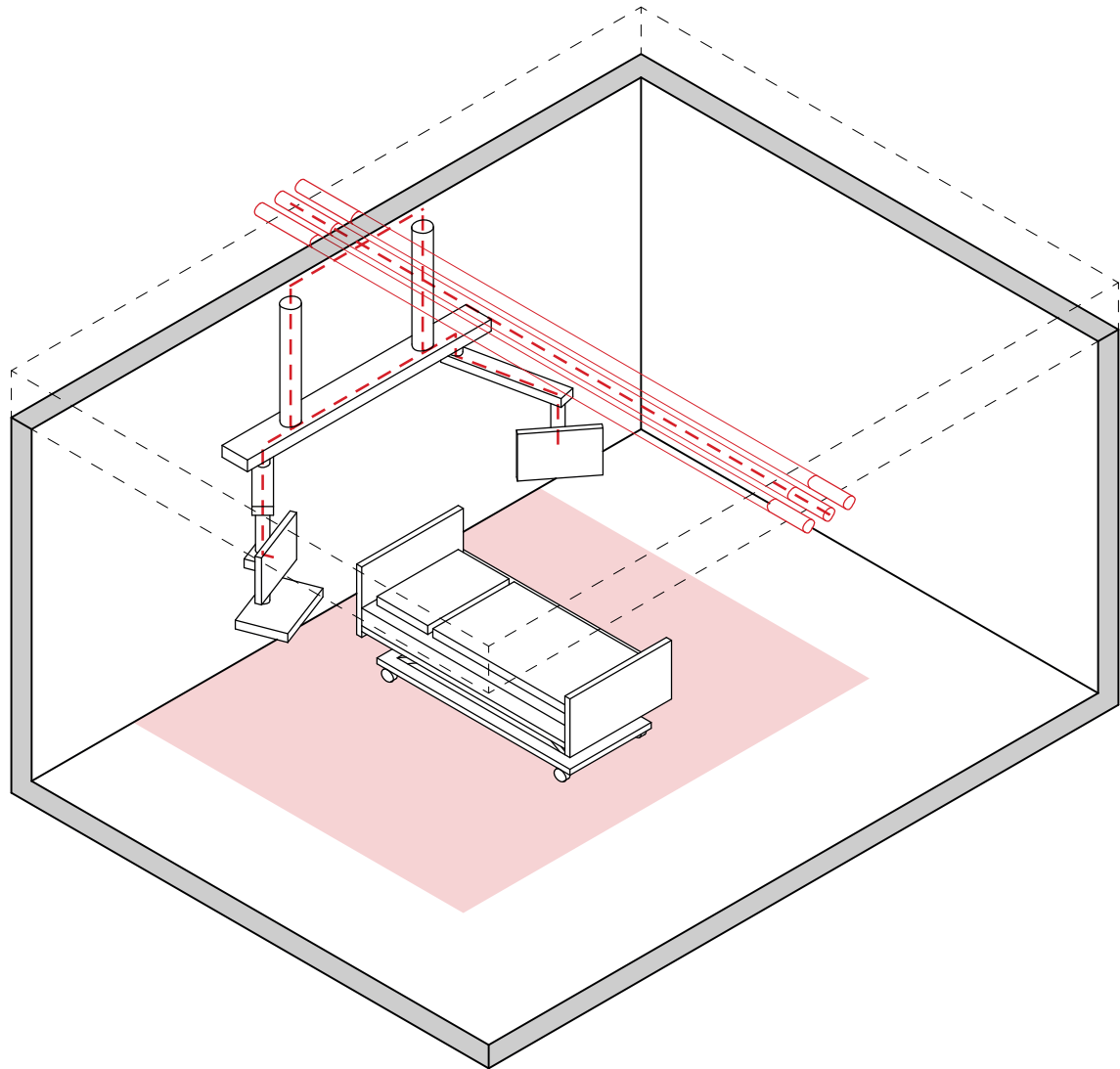


- Das Öffnen der Türen ohne Handkontakt ermöglichen.
- Einsicht ins Patientenzimmer vom Stationsflur durch Glasflächen in den Wänden ermöglichen, aber auch einen Sichtschutz zugunsten der Privatsphäre vorsehen.
- Einsicht in die daneben liegenden Patientenzimmer durch Glasflächen in den Wänden mit dem Nutzer abstimmen.
- Idealerweise sollen alle Patientenzimmer mit eingebauten Patientenliftern ausgestattet werden.
- Sind keine eingebauten Patientenlifter vorgesehen, dann ist der Platzbedarf für die Anwendung eines mobilen Patientenlifters im

- Patientenzimmer einzuplanen.
- Mobile Schranksysteme, z. B. Rollcontainer, sind Einbauschränken vorzuziehen.
- Für jeden Patienten ist mindestens ein Dokumentationsplatz am Patientenbett vorzusehen sowie zusätzlich ein zimmerbezogener Dokumentationsplatz außerhalb des Zimmers mit visuellem Bezug (z. B. durch Glasflächen) zum Patienten.
- Digitale Kommunikationsmöglichkeiten (z. B. das Zuschalten des Oberarztes, aber auch das Zuschalten von Angehörigen) sollen zukünftig geplant werden.
- Abwurf für Wäsche und sonstige Materialien (inkl. der

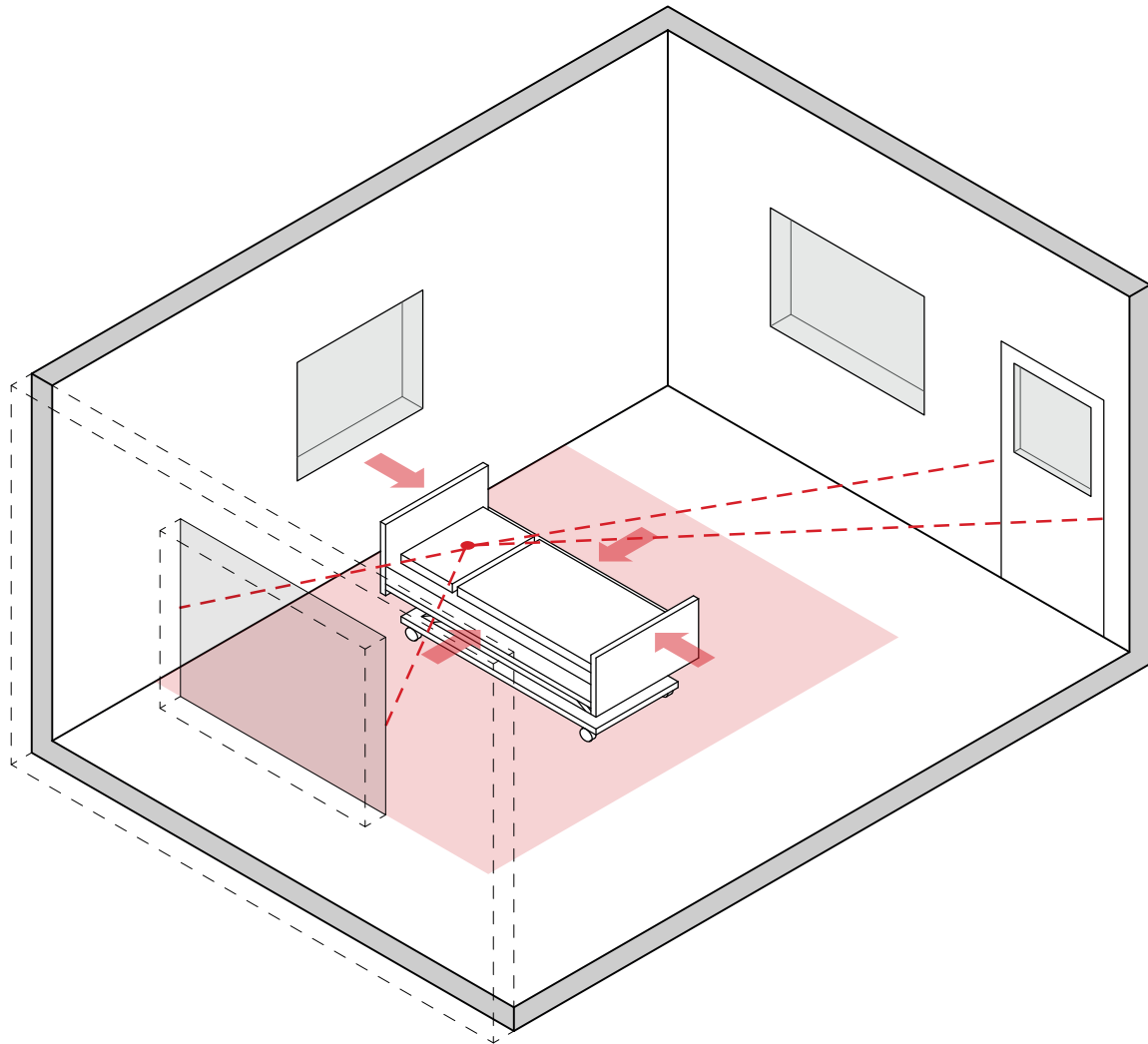
- als infektiös eingestuft Abfälle) getrennt voneinander und einmal pro Patient vorsehen.
- Eine Abstellfläche für nicht reine Materialien während Versorgungsprozesse (z. B. Bettwäsche während Patientenwaschung) abseits der reinen Arbeitsflächen einplanen.
- Wände/Trennwände, Boden und Decke schallisierend gestalten, um Geräuschkulisse zu minimieren.
- Ein geeigneter Sonnen- und Sichtschutz zum Außenraum ist einzuplanen.

3.2.4 Medienversorgungseinheit



- Zuführung von Versorgungsleitungen, abhängig vom Platzangebot und in Rücksprache mit Nutzern planen.
- Installation ohne sichtbare Kabel, Leitungen u. ä. ermöglichen.
- Zugänglichkeit der Versorgungsleitungen sicherstellen.
- Zuführungen über Deckensysteme erlauben eine einfachere Zugänglichkeit zum Patienten Kopf, können aber wegen der Höhe schwerer erreichbar sein.
- Bei Bedarf flexibel verschieb-/schwenkbar.
- Alle notwendigen Anschlüsse inkl. LAN-Anschlüsse für die Patientenversorgung in MVE zentrieren.
- Computer für die Dokumentation soll nicht hinderlich für die Patientenversorgung sein.

3.2.5 Patientenbett



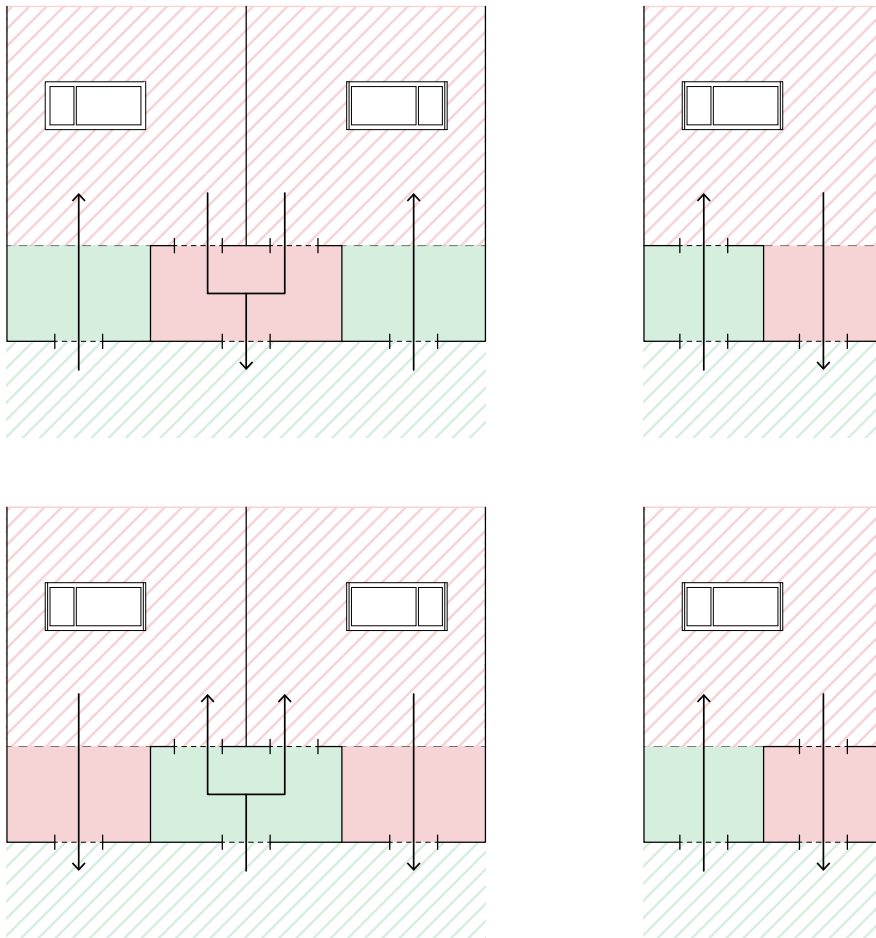
- Zugänglichkeit zu allen 4 Seiten des Patientenbettes sicherstellen.
- Die Positionierung des Bettes soll die Einsicht auf Tür und Fenster für Patienten ermöglichen.
- Arbeitsbereiche nach Möglichkeit aus dem Sichtfeld des Patienten fernhalten.
- Ausreichend Bewegungsraum für Prozesse und Mobilität um das Bett vorsehen.
- Adaptierbarkeit der Patientenbettposition am Gesundheitszustand des Patienten und Behandlungsbedarf (z. B. zur Mobilisierung, Lagerungstherapie) ermöglichen.

3.2.6 Desinfektionsmittelspender

- Handdesinfektionsmittelspender sollen jeweils an Tür und Point-of-Care (d. h. ein Spender pro Patientenbett) angebracht und bestenfalls von zwei Seiten zugänglich sein. Der Handdesinfektionsmittelspender soll in Armlänge vom Patientenbett erreichbar sein.
- Ein Handdesinfektionsmittelspender und ein Spender für Flächendesinfektion sollen in unmittelbarer Nähe zur reinen Arbeitsfläche angebracht sein.
- Gut sichtbare Position ist sicherzustellen.
- Anbringung soll einfache Handhabung beim Bestücken gewährleisten.
- Keine Handdesinfektionsmittelspender direkt über reinen Arbeitsflächen, um Kontaminationen bei der Bedienung (Tröpfchenbildung) zu vermeiden.
- Handdesinfektionsmittelspender mit Auffangschale wegen Rutschgefahr bei nassem Boden.



3.3 Vorräume



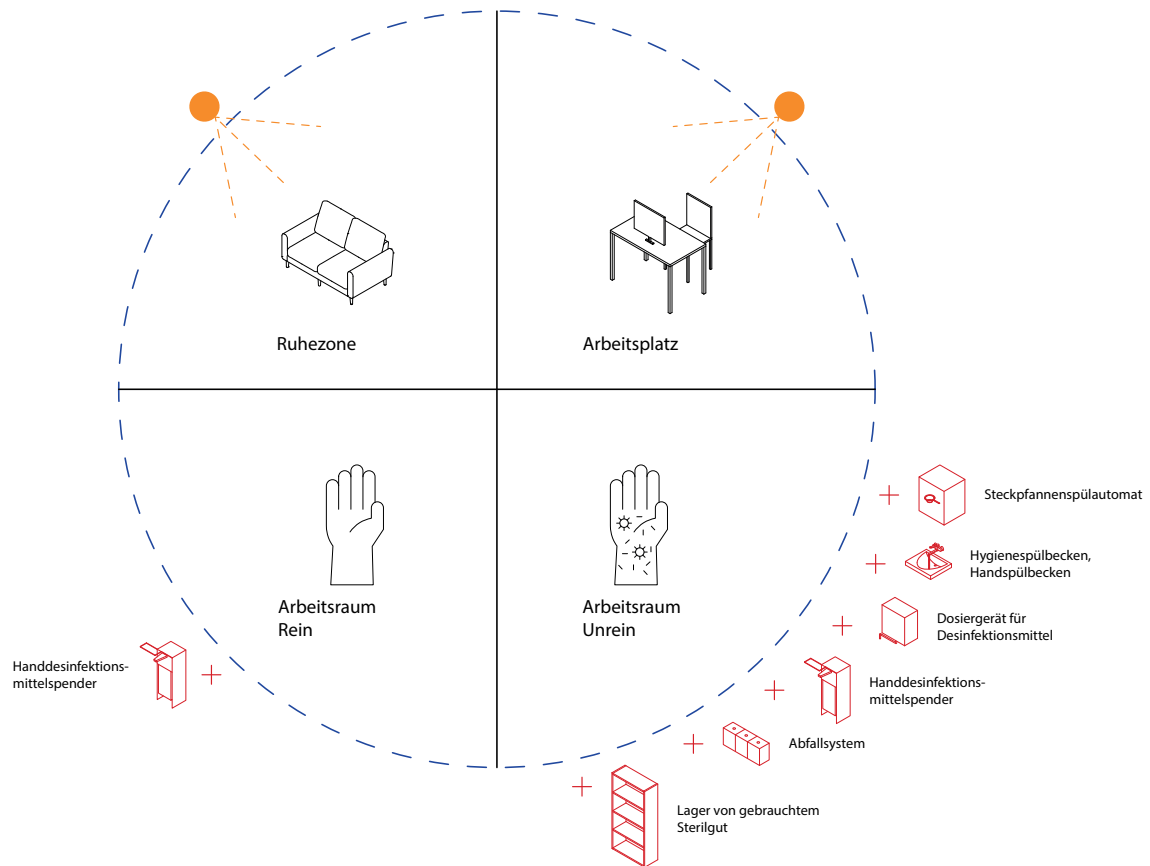
Allgemein:

- Schleusen ausreichend groß dimensionieren, mind. 5 m², um funktionelle Trennung von rein und unrein zu ermöglichen.
- Sichtkontakt vom Stationsflur zum Patienten über Glasflächen in Vorraum/Schleuse gewährleisten.
- Wenn mehrere Zimmer über einen Vorraum betreten werden können, sollen alle Zimmer zusätzlich einzeln und unabhängig betretbar sein.
- Schleusenfunktion durch gegenseitiges Verriegeln der Türen ermöglichen. Je nach Aufgabenstellung sind Schleusen sowohl für die Isolierung von infektiösen Patienten (Luftdruckgefälle Flur>Schleuse>Patientenzimmer), als auch für die protektive Isolierung von infektionsgefährdeten Patienten „Umkehrisolierung“ (Luftdruckgefälle Patientenzimmer>Schleuse>Flur) zu planen.
- Aktive Schleusen (mit regulierbaren Luftdruckoptionen) sind passiven Schleusen vorzuziehen.
- Bedarfsgerechte Anzahl von Patientenzimmern mit Vorraum/Schleuse, aber mind. zwei pro Station, ist zu empfehlen

Ausstattung:

- Reiner Bereich: Handdesinfektion, Vorrichtung zur Lagerung der persönlichen Schutzausrüstung und einen Spiegel zur Kontrolle des korrekten Sitzes vorsehen.
- Unreiner Bereich: Abwürfe und Müll, Steckpfannenspülautomat und Hygienespülbecken, u. ä.

3.4 Arbeitsräume



Allgemein:

Ergonomisch optimierte Arbeitsplatzgestaltung. Nach Möglichkeit ist für Tageslicht in unmittelbarer Umgebung von Bildschirmarbeitsplätzen zu sorgen, alternativ: Tagesverlaufslicht

- Aufenthaltsqualität durch Lärmminimierung sicherstellen

Diensträume und Arbeitsplätze:

- Bereichstrennung von administrativen und pflegerischen Prozessen.
- Bedarfsgerechte Anzahl an Dokumentations- und Arbeitsplätzen vorsehen.

- Abgetrennte Büroräume für ruhiges Arbeiten.
- Ruhezonen für Mitarbeitende vorsehen.

Arbeitsraum Rein:

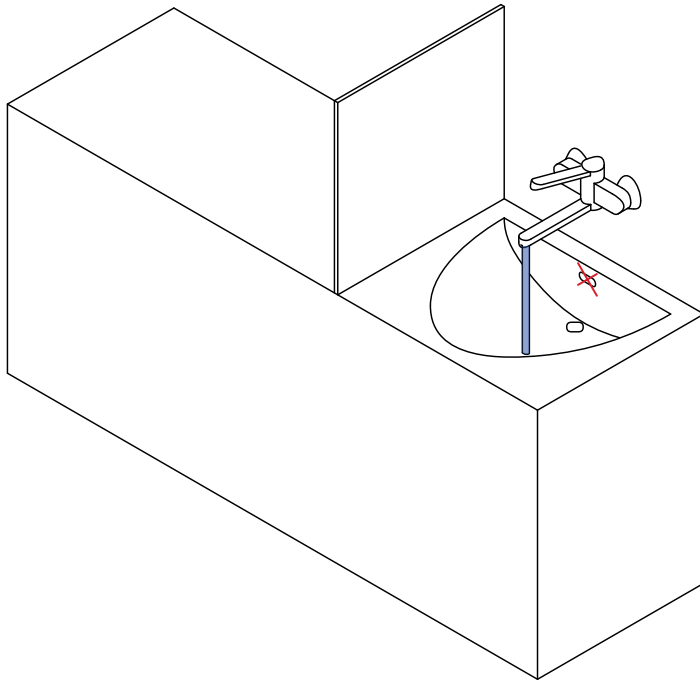
- Mindestens ein zentraler Arbeitsraum rein sollte auf der Station vorhanden sein.
- Der Arbeitsraum rein ist mit einem Handdesinfektionsmittelpender auszustatten.
- Eine Kombination oder eine räumliche Nähe des reinen Arbeitsraumes zum Medikamentendepot ist empfehlenswert.

Arbeitsraum Unrein:

- Der Arbeitsraum unrein ist mindestens mit Steckpfannenspülautomat, Hygienespülbecken, Handspülbecken, Dosiergerät für Desinfektionsmittel und einem Abfallsystem auszustatten.
- Platz für die Lagerung von gebrauchtem Sterilgut, das wiederaufbereitet werden soll, vorsehen.
- Idealerweise wird der zentrale Arbeitsraum unrein durch dezentrale, patientenbezogene Entsorgungsstellen/Arbeitsräume unrein ergänzt. Diese sollen sich in der Nähe des Patientenzimmers befinden.

3.5 Waschbecken

3.5.1 Allgemein



- Regelmäßiges Spülen wenig genutzter Waschbecken anhand eines Spül-Managements einplanen, um Stagnation zu vermeiden.
- Bedarf mit Hygiene-Beauftragten der Kliniken, Pflege, erfahrenem Personal abklären, um regelmäßige Nutzung von geplanten

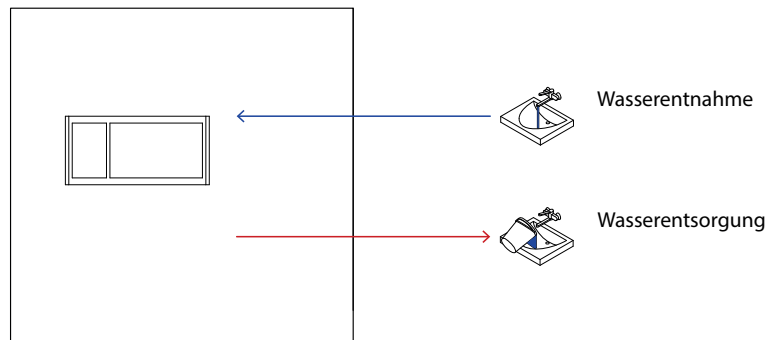
Waschbecken sicherzustellen. Weniger Waschbecken sichern eine häufigere Nutzung und sind damit vorteilhaft.

- Bei Planung berücksichtigen, dass bei Bedarf nachträglich ein Wasserfilter an Armaturen angebracht werden kann

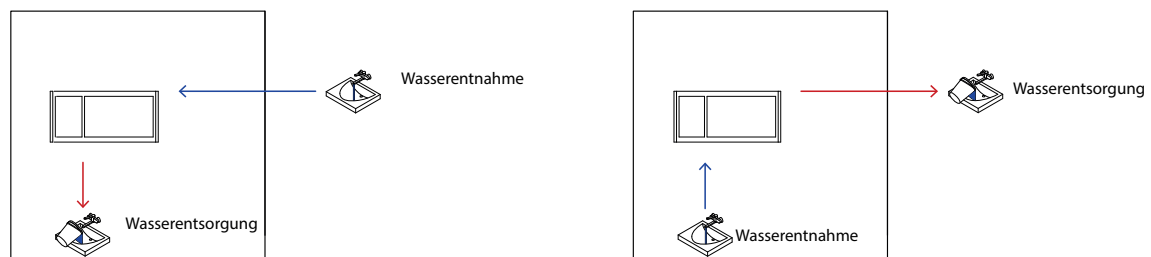
- Spritzschutz zu angrenzenden Arbeitsflächen vorsehen.
- Wasserarmatur sollte ohne Handkontakt zu bedienen sein.
- Wasserstrahl darf nicht direkt in den Siphon treffen.
- Waschbecken ohne Überlauf wählen.

3.5.2 Patientenversorgung

Für Neubauten:



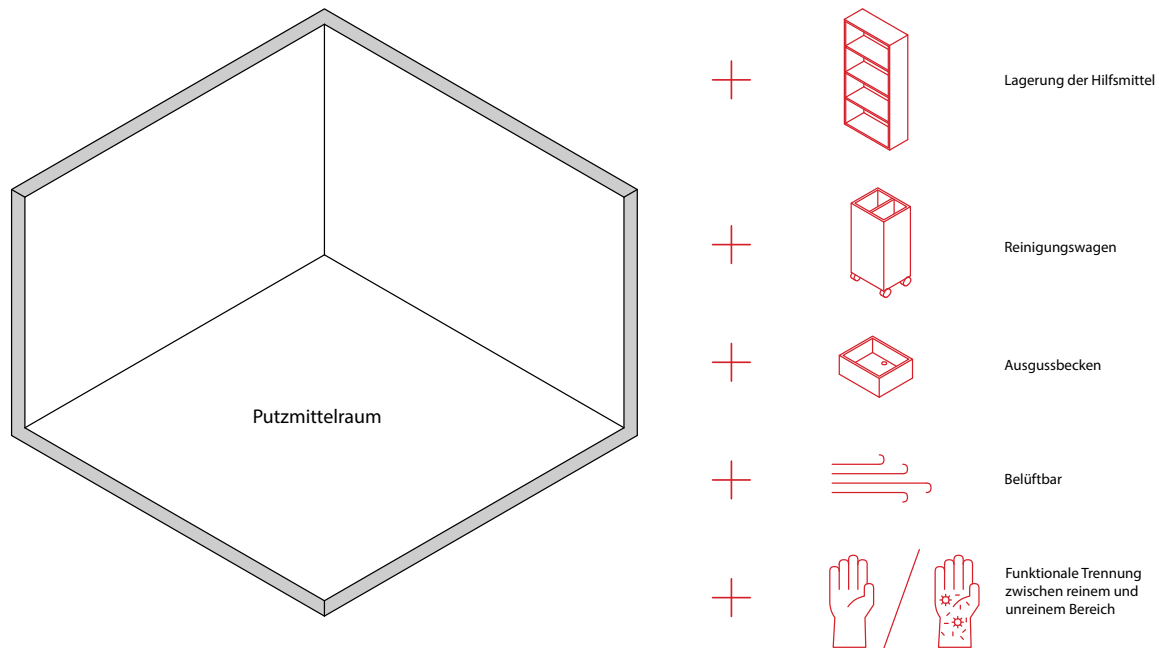
Für Bestandsbauten:



- Bei Neubauten ist auf Waschbecken im Patientenzimmer zu verzichten. Plätze für eine erforderliche Händewaschung (z. B. bei sichtbarer Verschmutzung oder bei Fällen von *Clostridium difficile*) sollen allerdings in näherer Umgebung (z. B. in unreinen Arbeitsräumen bzw. der unreinen Seite des Vorraumes oder auch in einer geschützten Nische im Flur) zur Verfügung stehen.
- Sollte von Nutzer-Seite ein Waschbecken (z. B. für die Patientenwaschung) patientennah gewünscht sein, sind getrennte Wasserstellen jeweils für Wasserentnahme und die Wasserentsorgung (Entsorgung von benutztem Wasser) vorzusehen.
- Zentrale Waschbecken für die Wasserentnahme, die aus allen Zimmern gut zu erreichen sind, können bei Verzicht auf Waschbecken in Patientenzimmern als Alternative dienen.
- Eine Positionierung eines Waschbeckens zur Wasserentnahme auf der reinen Seite des Vorraums/der Schleuse ist denkbar, solange die funktionale Trennung zwischen reiner/unreiner Seite durch ausreichende Dimensionierung eingehalten werden kann.

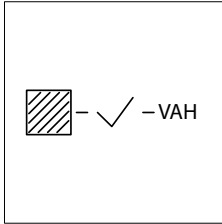
3.6 Material, Oberflächen und Reinigung/Desinfektion

3.6.1 Allgemein

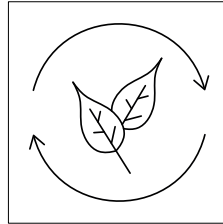


- Der Putzmittelraum soll neben der Lagerung der Hilfsmittel und Reinigungswagen zusätzlich mit einem Ausgussbecken ausgestattet sein. Zudem soll dieser über Fenster belüftbar oder mit einer Lüftungsauslage ausgestattet sein. Auch für das Auf- und Abrüsten der Wagen ist genügend Platz sowie eine funktionale Trennung zwischen reinem und unreinem Bereich einzuplanen.
- Gute Zugänglichkeit aller zu reinigenden und desinfizierenden Flächen gewährleisten (inkl. Wand, Boden und Medienversorgungseinheiten)
- Patientennahe Flächen sowie solche mit häufigem Haut- und Händekontakt müssen wischdesinfizierbar sein. Wandoberflächen müssen abwischbar sein.
- Möglichst wenig Fugen, Kanten oder Rücksprünge für eine vereinfachte Reinigung planen.
- Einfache Reinigung ggf. Desinfektion der Beleuchtungskörper und Steuerungen (insbesondere Flächen in Patientennähe, Flächen mit häufigem Hand- und/oder Hautkontakt) gewährleisten.

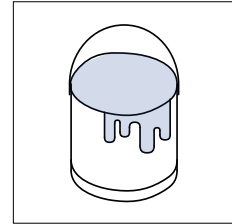
3.6.2 Material



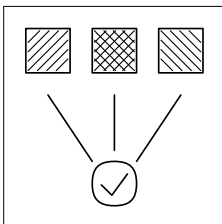
Verträglichkeit der Oberflächen mit VAH-gelisteten Reinigungs- und Desinfektionsmittel und in Absprache mit Hygienefachpersonal sicherstellen.



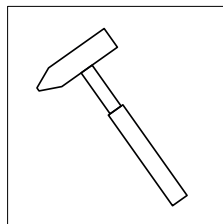
Nachhaltigkeit und Umweltschutz bei ausgewählten Reinigungs- und Desinfektionssystemen beachten.



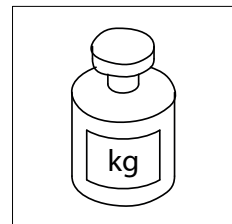
Wenige Materialwechsel vorsehen und eine sinnvolle Farbauswahl, um Verunreinigungen zu erkennen.



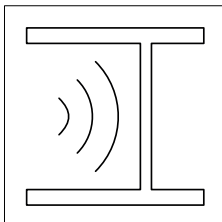
Materialien mit ähnlichem Verträglichkeitsprofil gegenüber Reinigung und Desinfektionsmittel (nach Herstellerangabe) anwenden, um notwendige Produktwechsel in der Aufbereitung zu vermeiden.



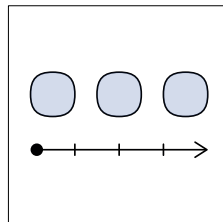
Materialien (inkl. Wände, Boden etc.) sollen den hohen Anforderungen der Intensivstation an Beständigkeit entsprechen.



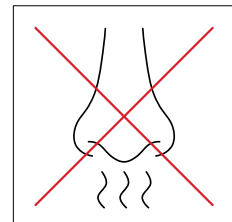
Gewichtsbelastbarkeit des Bodens sicherstellen (Untergrund und Bodenbelag).



Wände/Trennwände, Boden und Decke schallsisolierend gestalten, um Geräuschkulisse zu minimieren.



Farbbeständigkeit der Oberflächen sicherstellen.



Verwendung von emissions- und geruchsfreien Materialien anstreben.

- Verträglichkeit der Oberflächen mit VAH-gelisteten Reinigungs- und Desinfektionsmitteln und in Absprache mit Hygienefachpersonal sicherstellen.
- Nachhaltigkeit und Umweltschutz bei ausgewählten Reinigungs- und Desinfektionssystemen beachten.
- Wenige Materialwechsel vorsehen und eine sinnvolle Farbauswahl, um Verunreinigungen zu erkennen.
- Materialien mit ähnlichem Verträglichkeitsprofil gegenüber Reinigung und Desinfektionsmittel (nach Herstellerangabe) anwenden, um notwendige Produktwechsel in der Aufbereitung zu vermeiden.
- Materialien (inkl. Wände, Boden etc.) sollen den hohen Anforderungen der Intensivstation an Beständigkeit entsprechen.
- Gewichtsbelastbarkeit des Bodens sicherstellen (Untergrund und Bodenbelag).
- Wände/Trennwände, Boden und Decke schallsisolierend gestalten, um Geräuschkulisse zu minimieren.
- Farbbeständigkeit der Oberflächen sicherstellen.
- Verwendung von emissions- und geruchsfreien Materialien anstreben.



4. Schlussworte

In den letzten 30 Jahren hat sich der Fokus auf evidence-based Design im Krankenhausbau erheblich weiterentwickelt. Evidence-based Design beschreibt die Anwendung von wissenschaftlichen Erkenntnissen bei der Planung von Gesundheitseinrichtungen.

Allerdings ist die Planung von Intensivstationen ein interdisziplinärer Prozess. Insbesondere unter dem Aspekt der Infektionsprävention muss wissenschaftliche Evidenz mit den Bedürfnissen des Alltags und dem Respekt von institutionellen Vorgaben in Einklang gebracht werden. Der Planer muss dabei Anforderungen von ganz unterschiedlichen Akteuren – von Krankenschwester bis zum Klimatechniker – berücksichtigen und passende Lösungen finden.

Unterschiedliche Gremien und Fachgesellschaften haben strukturierte Empfehlungen für die Planung von Intensivstationen formuliert. Die direkte Beobachtung von hygienischen Prozessen im Alltag sowie die Integration der Meinung von Fachexperten für Planung, Medizin und Infektionsprävention sowie Medizintechnik wird immer wieder als wesentlicher Bestandteil der Planungsprozesse genannt. {Thompson, 2012 #10} {Valentin, 2011 #57}{Waydhas C, 2022 #74}. Genau da, wo die vorhandene Literatur die notwendigen Antworten nicht geben kann, leistet der Beitrag aus der „praktischen“ Welt eine unersetzliche Rolle.

Mit dieser Arbeit sollte eine Übersicht des aktuellen Wissens für die Planung von Intensivstationen aus Sicht der Infektionsprävention in Form eines Anforderungskatalogs erstellt werden.

Dieser Katalog kann als Orientierung für Planer und Krankenhausbetreiber, aber auch für Ärzte, Pflegekräfte und Partner aus dem Industriesektor, dienen. Forderungen und Empfehlungen aus offiziellen Gremien wurden dabei mitberücksichtigt. Der Anforderungskatalog soll aber nicht als eine allgemein gültige Richtlinie verstanden werden. Für den Planer soll der Spielraum frei bleiben, optimale Lösungen für jedes Setting zu finden. Darüber hinaus kann der Katalog von Krankenhausbetreibern und hygieneinteressierten Ärzten sowie Pflegekräften zum Zweck der Qualitätskontrolle und als Vorschlag für die Optimierung der eigenen Strukturen genutzt werden.

Für die Erstellung des Katalogs wurde der Input aus verschiedenen Quellen (vorhandene Literatur, Umfragen, Ergebnisse aus eigenen Untersuchungen sowie Experten-Workshops) in den sukzessiven Arbeitsphasen integriert. Jede Arbeitsphase hat somit auf die vorausgegangene in einem kontinuierlichem Feed-Back Prozess, aufgebaut. Beginnend aus der Beobachtung der exisiterenden Strukturen und aus der Sammlung von Erfahrungen der Projektpartner wurden Problemfelder identifiziert und Musterlösungen in einem „induktiven“ bzw. „qualitativen“ Ansatz erarbeitet (Malagon-Malonado, 2014 #106).

Diese Arbeit bettet sich somit in einen bestehenden wissenschaftlichen Diskurs über die Anwendung von evidenzbasiertem Design und die Entwicklung von evidenzbasierten Methoden in der Krankenhausplanung, ein.

Ziel war es, durch die Integration von unterschiedlichen professionellen Akteuren und Arbeitsmethoden nicht nur eine Hilfe für die Planung in Form von strukturierten Empfehlungen zu formulieren, sondern auch ein prozessuales Beispiel für die zukünftige Zusammenarbeit zwischen unterschiedlichen Disziplinen vorzuschlagen.

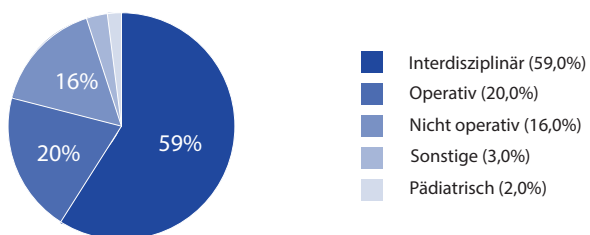


5. Anhang

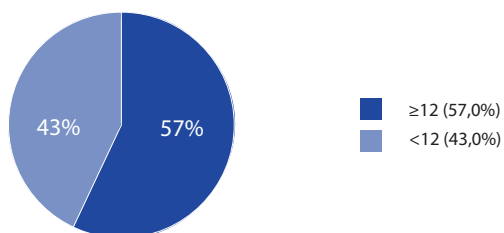
5.1 Umfrage zur baulichen Struktur



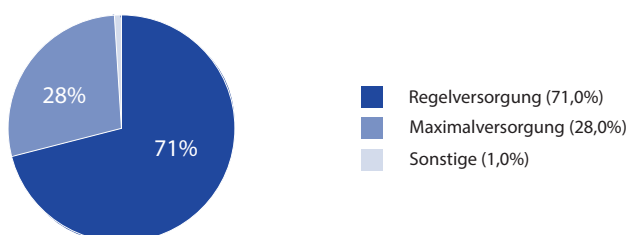
Welche Fachrichtung hat Ihre Intensivstation?



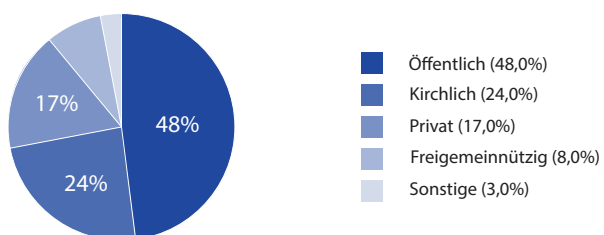
Wie viele Betten gibt es auf Ihrer Intensivstation?



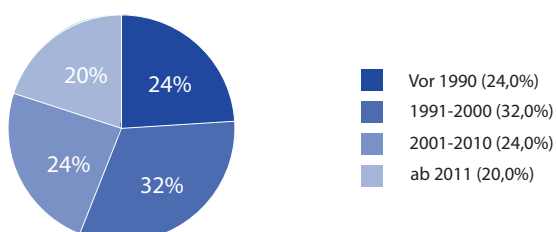
Welche Versorgungsstufe hat das Krankenhaus indem Sie arbeiten?



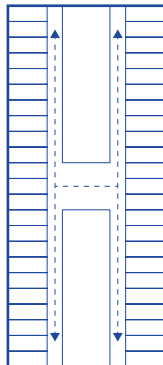
Welcher Art von Träger/Trägerschaft hat das Krankenhaus?



Wann ist Ihre Intensivstation gebaut worden? (nach Jahrzehnten)



Im Folgenden sind unterschiedliche Grundrisse von Stationen im Schema dargestellt. Bitte kreuzen Sie eine Option an, die am ehesten der Situation auf Ihrer Station entspricht.



Doppelflur mit mittiger Erschließung
z.B. Hochhaus

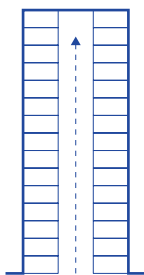


21,4%

Sonstiges



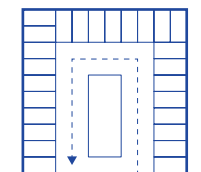
19,8%



Stichflur
z.B. in Kammstruktur, bei Anbauten



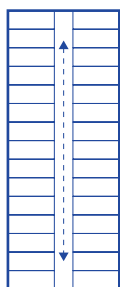
16,6%



Umgang
z.B. in Kammstruktur, bei Anbauten



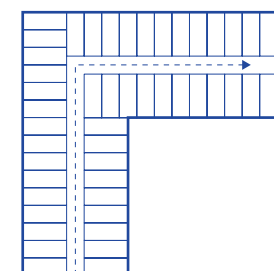
15,8%



Stichflure mit mittiger Erschließung
z.B. Hochhausscheiben



14,4%



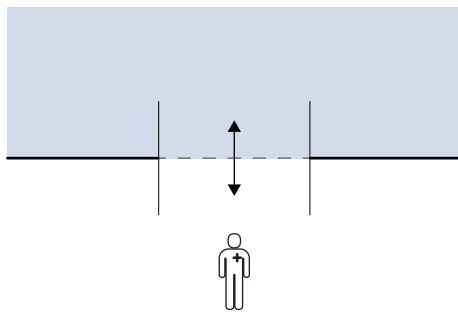
Stichflur "L"
z.B. in Kammstruktur, bei Anbauten



12,0%

Gibt es auf der Intensivstation eine **Schleuse**...

...für die Einschleusung des Personals?

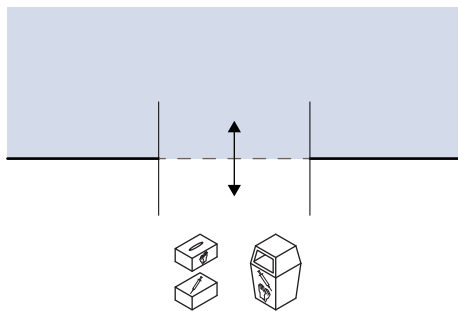


Ja



44,7%

...ausschließlich für die Versorgung bzw. Entsorgung von Materialien?

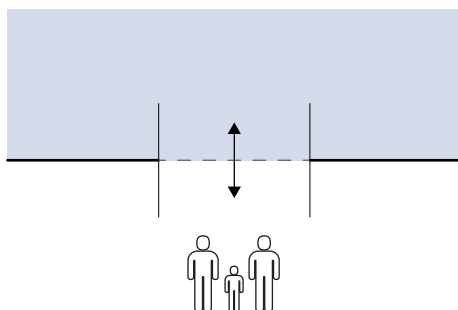


Ja



41,7%

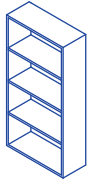
...ausschließlich für die Einschleusung von Besuchenden?



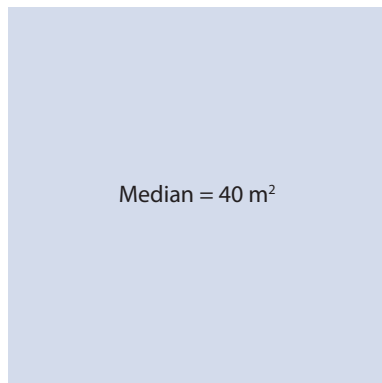
Ja



31,0%



Wie viel Platz (Gesamtfläche) ist als **Lagerraum** auf Ihrer Station deklariert?



IQR = [24;60]m²

Werden Geräte/Materialien ausschließlich in dafür deklarierten Räumen gelagert?

Ja



45,4%

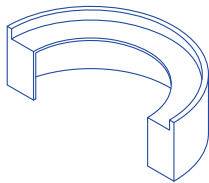
Wenn nein: Erfolgt das aus Platzmangel in den Lagerräumen?

Ja

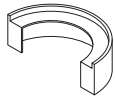


n=388 Antworten

46,2%



Wie viele **Pflegestützpunkte** gibt es auf Ihrer Intensivstation?



Median = 1 Pflegestützpunkt

IQR = [1;1] Pflegestützpunkt

Befindet sich der Pflegestützpunkt in einem räumlich abgeschlossenen Bereich?

Ja



44,0%

Verfügt der Pflegestützpunkt über die Möglichkeit der direkten Fensterlüftung?

Ja



33,0%

Findet in dem Pflegestützpunkt eine Lüftung über Raumluft-technische (RLT)-Anlage statt?

Ja



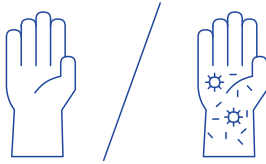
80,2%

Wie viele Arbeitsplätze sind in dem Pflegestützpunkt vorhanden?



Median = 3 Arbeitsplätze

IQR = [2;4] Arbeitsplätze



Gibt es auf Ihrer Intensivstation einen oder mehrere **reine Arbeitsräume** außerhalb der Patientenzimmer für die Vorbereitung von Infusionen oder für andere aseptische Tätigkeiten?

Ja



78,1%

Wenn ja, wie viele?



Median = 1 reine Arbeitsräume

IQR = [1;1] reine Arbeitsräume

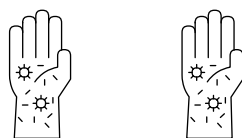
Gibt es auf Ihrer Intensivstation einen oder mehrere **unreine Arbeitsräume** außerhalb der Patientenzimmer? (Unreine Arbeitsräume in Vorraum/Schleuse vor Patientenzimmer sind hier ausgenommen.)

Ja



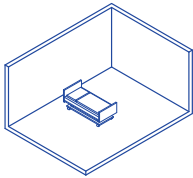
95,5%

Wenn ja, wie viele?

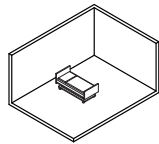
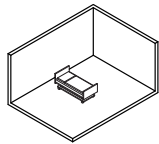
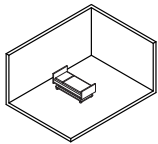
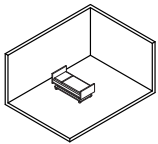


Median = 2 unreine Arbeitsräume

IQR = [1;2] unreine Arbeitsräume



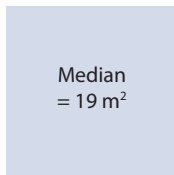
Über wie viele **Einbettzimmer** verfügt Ihre Intensivstation?



Median = 4 Zimmer

IQR = [2;6] Zimmer

Wie groß ist das Zimmer?



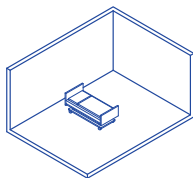
IQR = [16;22] m²

Befindet sich ein patientenbezogener Computer im Patientenzimmer?

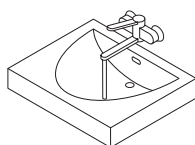
Ja



48,6%



Sind im Patientenzimmer ein bzw. mehrere **Waschbecken** vorhanden?



Wenn ja, wird das Wasser aus dieser Wasserleitung für die Patientenversorgung genutzt?

Ja



80,1%

Wird in diesem Waschbecken auch unreines Wasser entsorgt?

Ja



n=388 Antworten

83,7%

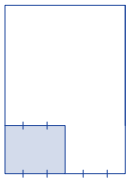
Befindet sich ein in Armlänge erreichbarer Handdesinfektionsmittelspender am Patientenbett?

Ja

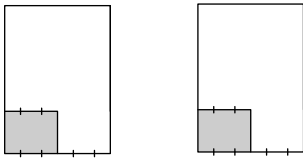


n=388 Antworten

44,0%



Wie viele **Vorräume** sind insgesamt auf Ihrer Intensivstation vorhanden?



Median = 2 Vorräume

IQR = [1;3] Vorräume

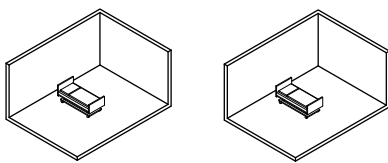
Verfügen eines oder mehrere Einbettzimmer über einen eigenen **Vorraum**?

Ja



64,7%

Wie viele?



Median = 2 Zimmer

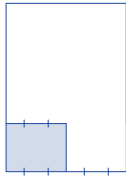
IQR = [1;3] Zimmer

Sind die Vorräume mit Unterdruckoption ausgestattet?

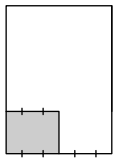
Ja



55,4%



Wie viele?



Median = 1 Vorräume

IQR = [0;2] Vorräume

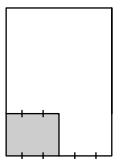
Verfügen die Vorräume über einen unreinen Arbeitsbereich mit Steckbeckenspüle?

Ja



64,8%

Wie viele?



Median = 1 Vorräume

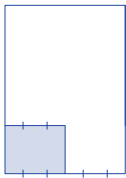
IQR = [0;2] Vorräume

Ist in diesen genug Abstand zwischen dem reinen und dem unreinen Bereich vorhanden?

Ja



77,2%



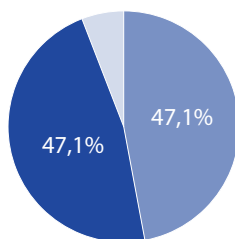
Werden im Patientenzimmer Medikamente als Vorrat gelagert?

Ja



70%

Wo werden die Medikamente gelagert?

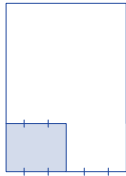


- In mobilen Wagensystemen (47,1%)
- In eingebauten Schrankflächen (47,1%)
- Sonstige (5,8%)

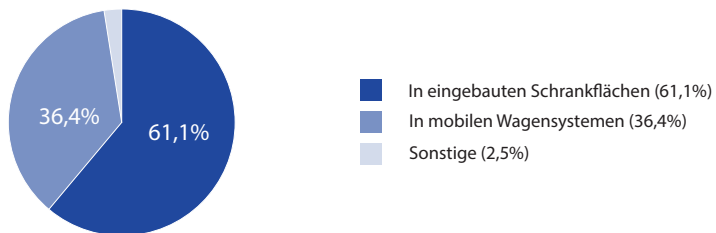
Werden im Patientenzimmer sonstige Versorgungsmaterialien als Vorrat gelagert?

Ja





Wo werden die Versorgungsmaterialien gelagert?



Hat das Patientenzimmer eine Schiebetür (Flurseitig)?

Ja



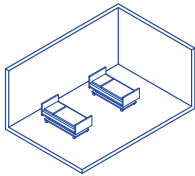
68,5%

Kann die Zimmertür ohne Handkontakt bedient werden (wenn das Zimmer ein Vorraum hat, bitte nur die Tür zum Zimmer angeben)?

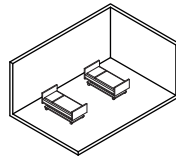
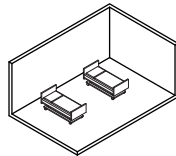
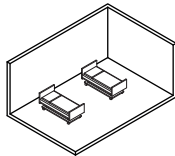
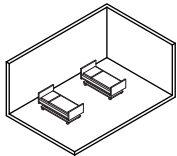
Ja



22,4%

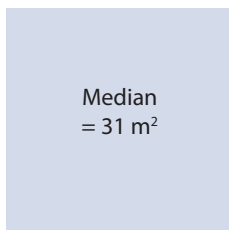


Über wie viele **2- oder Mehr (>2-Betten) - Bettzimmer** verfügt Ihre Intensivstation?



Median = 4 Zimmer
IQR = [2;6] Zimmer

Wie groß ist das Zimmer?

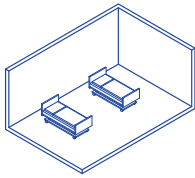


IQR = [26;38] m²

Wie groß ist der Abstand [Seite - Seite] zwischen den Betten?



Median = 200cm
IQR = [150-200] cm



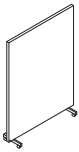
Ist eine Abtrennung zwischen den Betten vorhanden?

Ja



85,6%

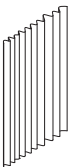
Wenn ja, wie erfolgt die Abtrennung?



Mobile Wand/Paravent



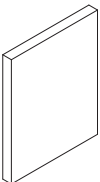
59,3%



Vorhang



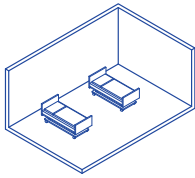
38,6%



Feste Wand



1,3%



Gibt es im Zimmer Bereiche oder Gegenstände die patientenübergreifend benutzt werden bzw. benutzt werden können?

Wasserentnahmestelle



79,4%

Medikamenten-/Materialien Schrank oder Wagen



64,6%

Handdesinfektionsmittelspender



63,2%

Reine Arbeitsfläche



61,6%

Unreine Arbeitsfläche



23,5%

Dokumentationsplatz (Computer)



23,3%

Sonstiges

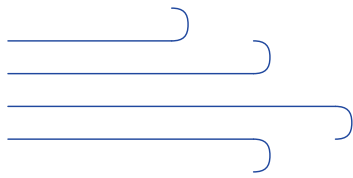


9,4%

Nasszelle/Toilette



9,0%



Findet in den Patientenzimmern eine **Lüftung** über raumluft-technische (RLT) - Anlage statt?

Ja



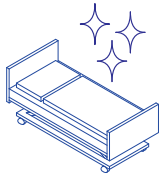
86,4%

Kann in mindestens ein Patientenzimmer durch die Lüftungsanlage ein Über- bzw. Unterdruck zur Schleuse/Flur generiert werden?

Ja



55,3%



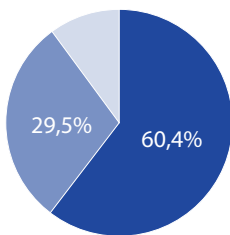
Findet die **Aufbereitung** von benutzten Patientenbetten auf der Station statt?

Ja



49,9%

Wo findet die Aufbereitung von benutzten Patientenbetten statt?



- Im Patientenzimmer (60,4%)
- Im Flur (29,5%)
- In einem speziell dafür vorgesehenen Raum (10,1%)

Ist ein vorgesehener Abstellplatz für jeweils saubere und unsaubere Betten auf der ITS oder in unmittelbarer Nähe vorhanden?

Ja



62,5%

Gibt es auf Ihrer Station einen extra Raum für die Aufbereitung von Geräten nach Benutzung?

Ja



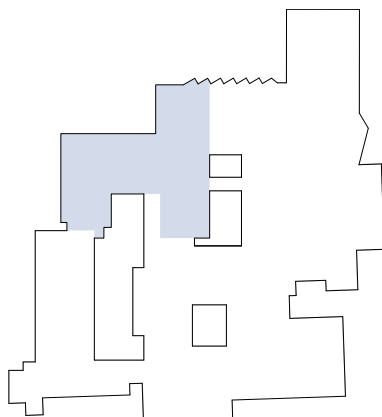
33,5%

5.2 Typologien Intensivstationen



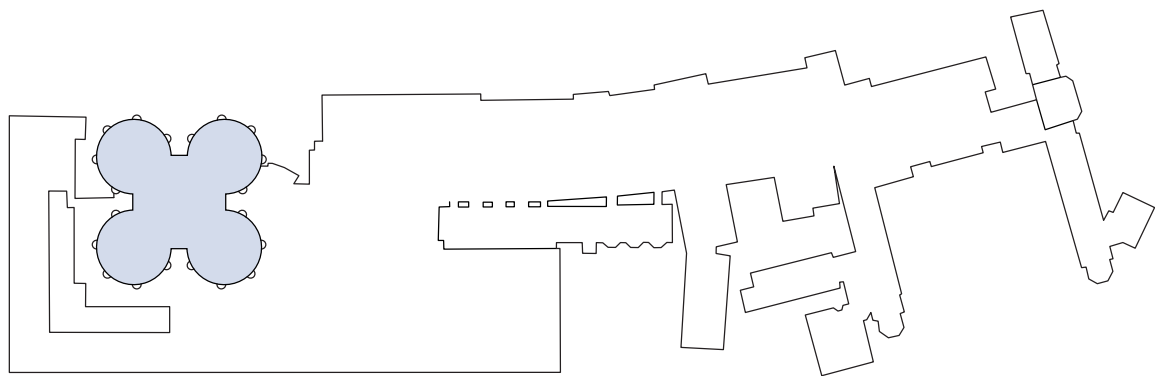
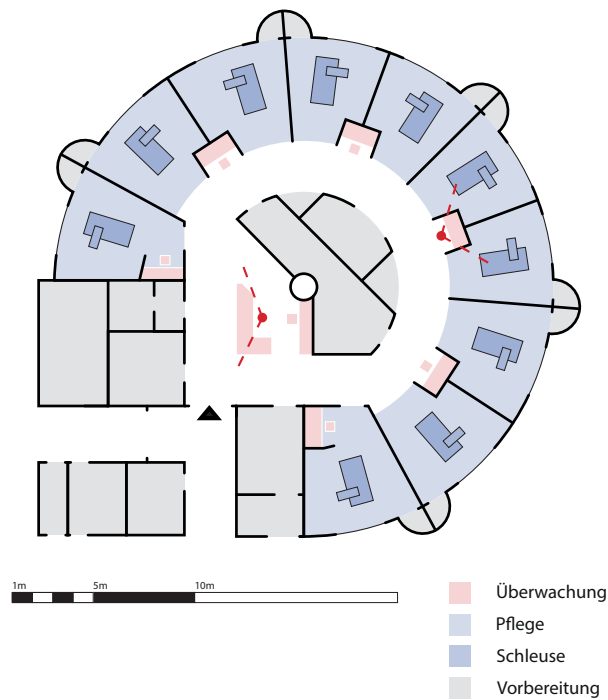
Borromäus Hospital Leer, Deutschland

Architektengruppe Schweitzer + Partner
in Planung 2020



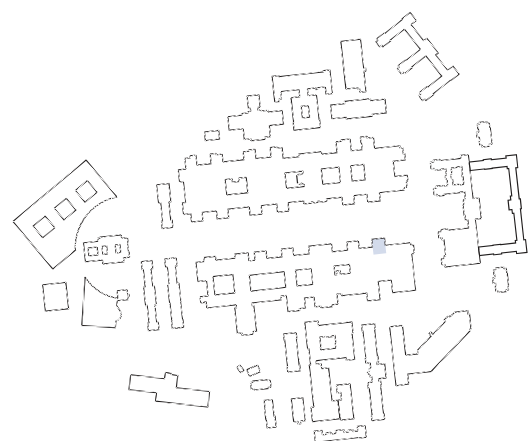
Brigham and Women's Hospital Boston, Vereinigte Staaten

kmd architects Boston, MA - 1984



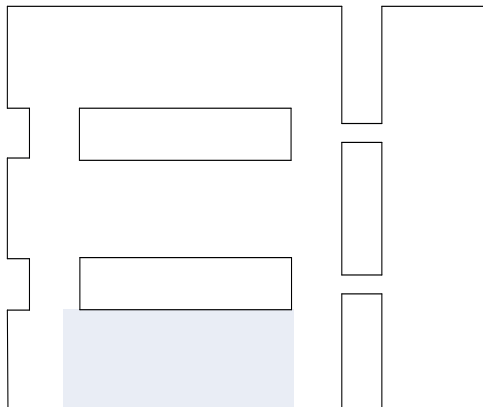
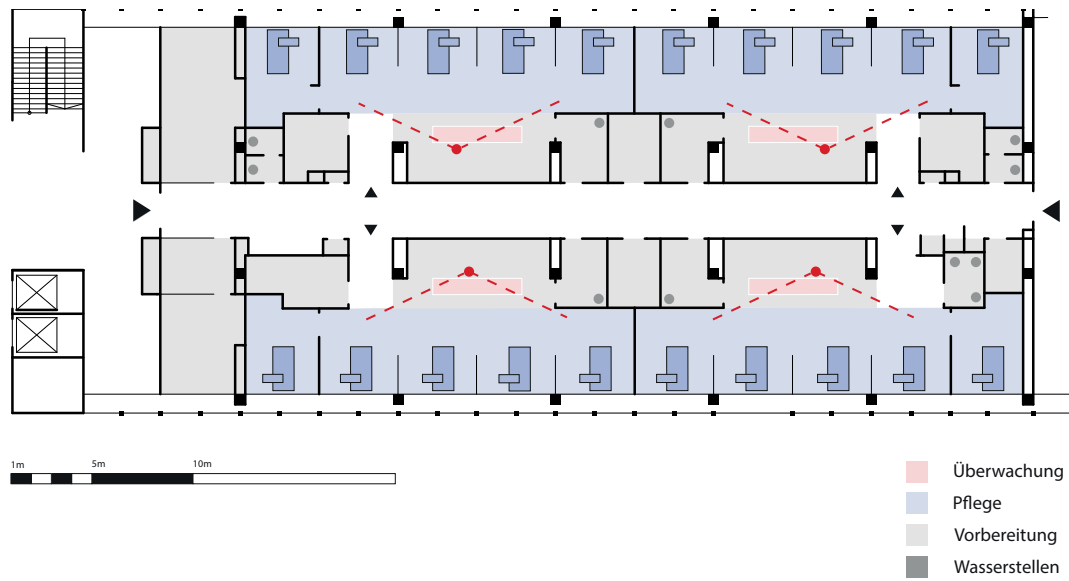
Kardiologische Intensivstation Charité Berlin, Deutschland

Charité CFM Facility Management GmbH
2017



Dr. Gutiérrez Hospital Venado Tuerto, Argentinien

Mario Corea Arquitectura + Unidad de proyectos Especiales del Gobierno de Santa Fe
2017



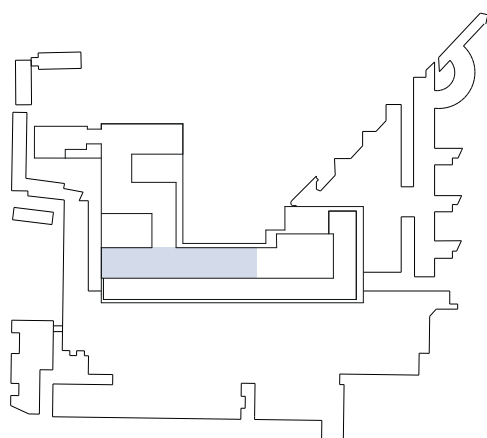
Erasmus University MC Rotterdam, Niederlande

EGM architecten
in progress



1m 5m 10m

- Überwachung
- Pflege
- Schleuse
- Vorbereitung



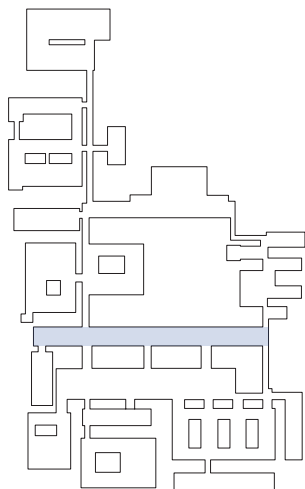
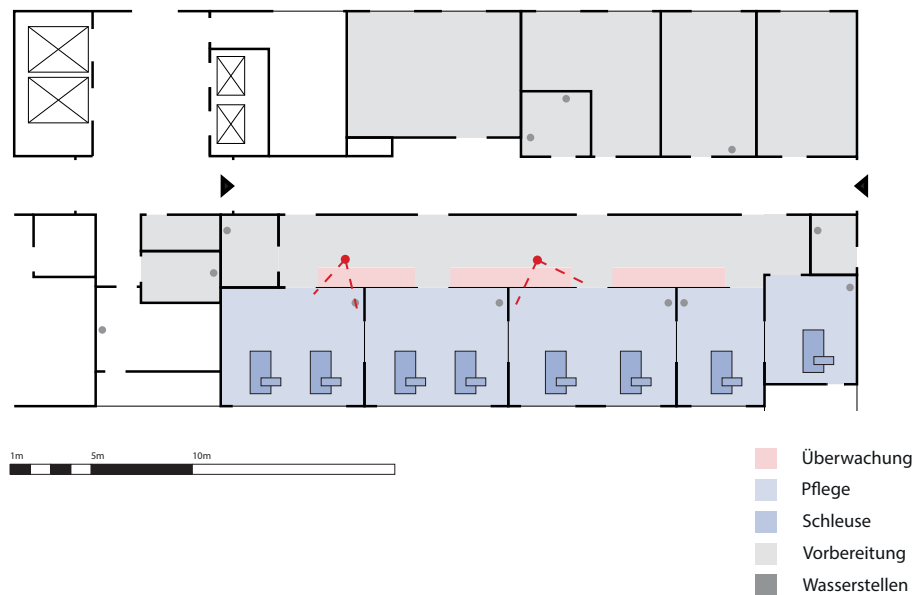
<https://bit.ly/3mZNbWM>



<https://bit.ly/3mZNbWM>

Umbau Intensivstation der Medizinischen Hochschule Hannover, Deutschland

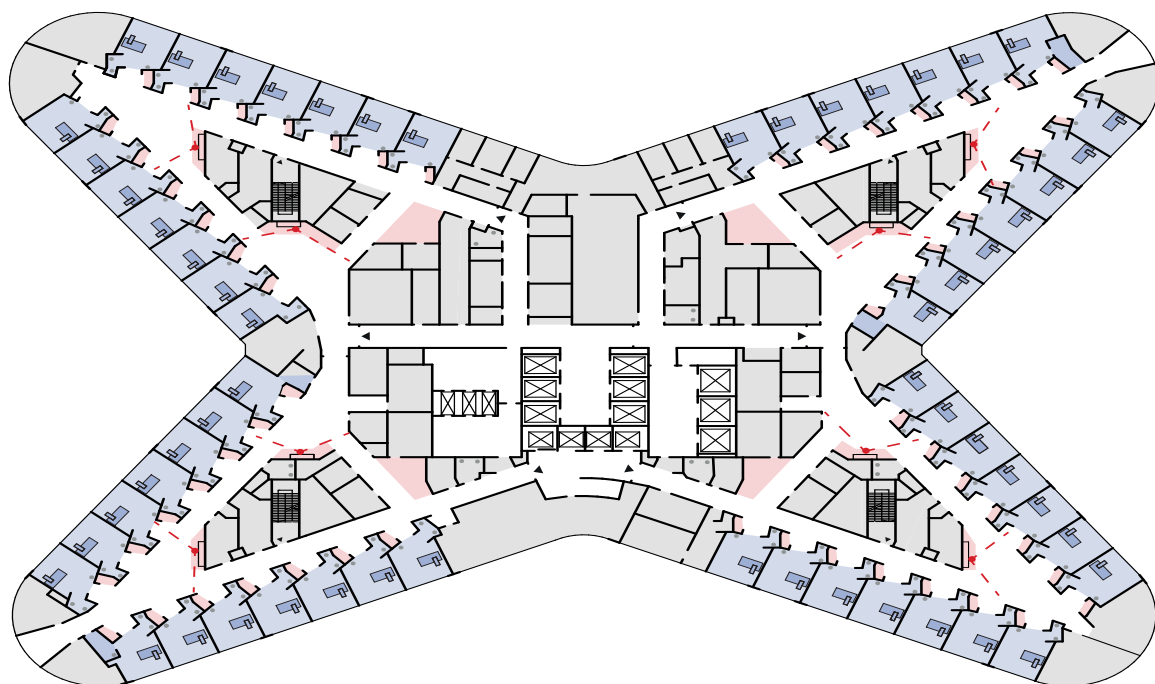
BKSP Hannover
2009



New Hospital Tower Rush University Medical Center Chicago, United States

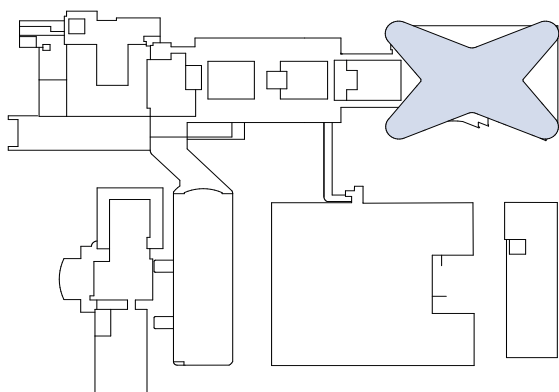
Perkins and Will Architects

2017

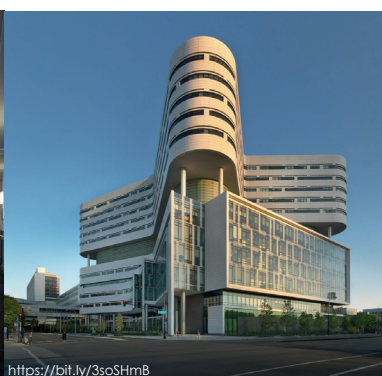


1m 5m 10m

- Überwachung
- Pflege
- Schleuse
- Vorbereitung
- Wasserstellen



<https://bit.ly/3ohFoy3>



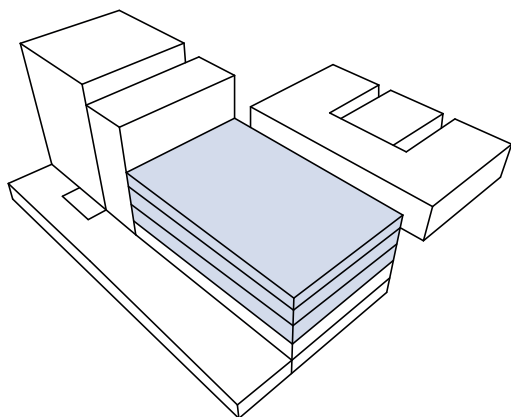
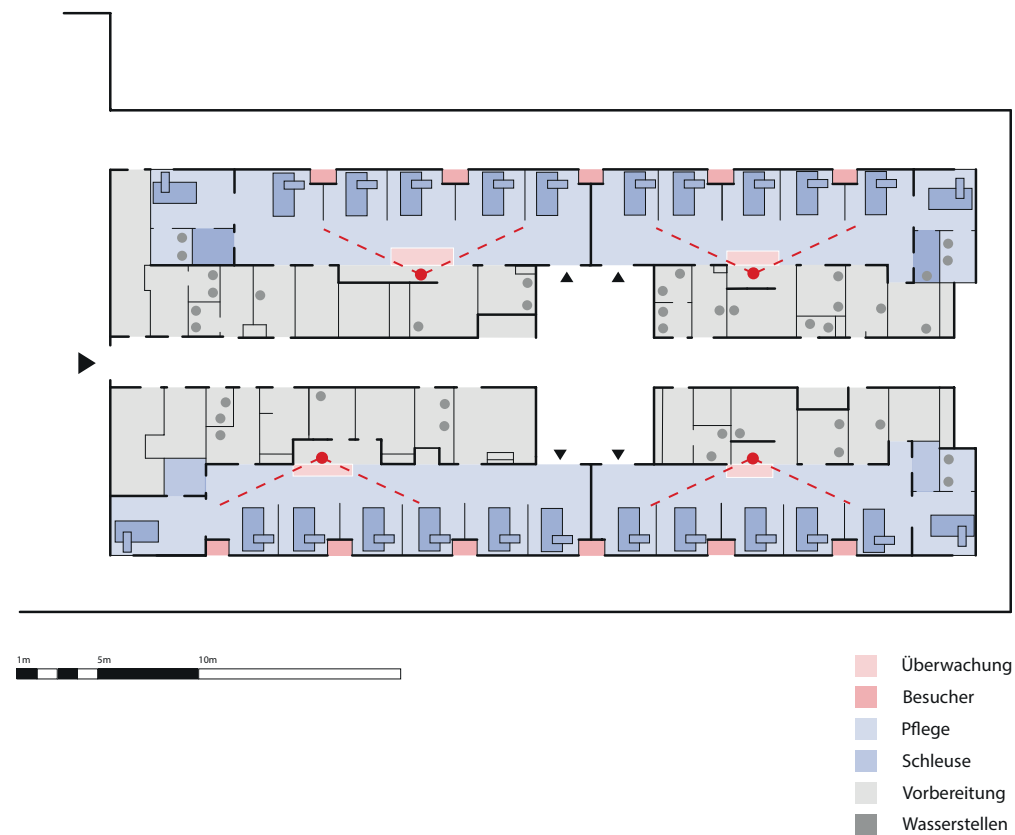
<https://bit.ly/3soSHmB>



<https://bit.ly/3eNqCf>

Pars Hospital Rasht, Iran

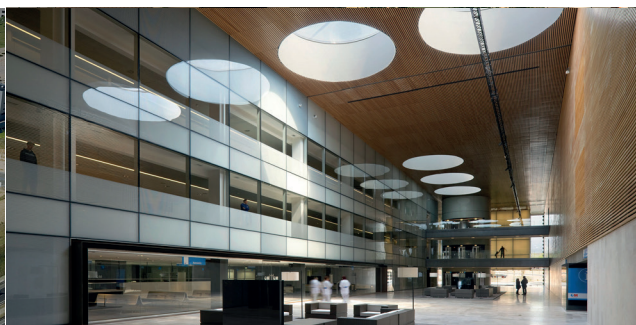
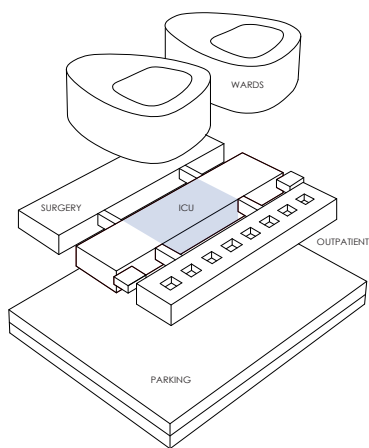
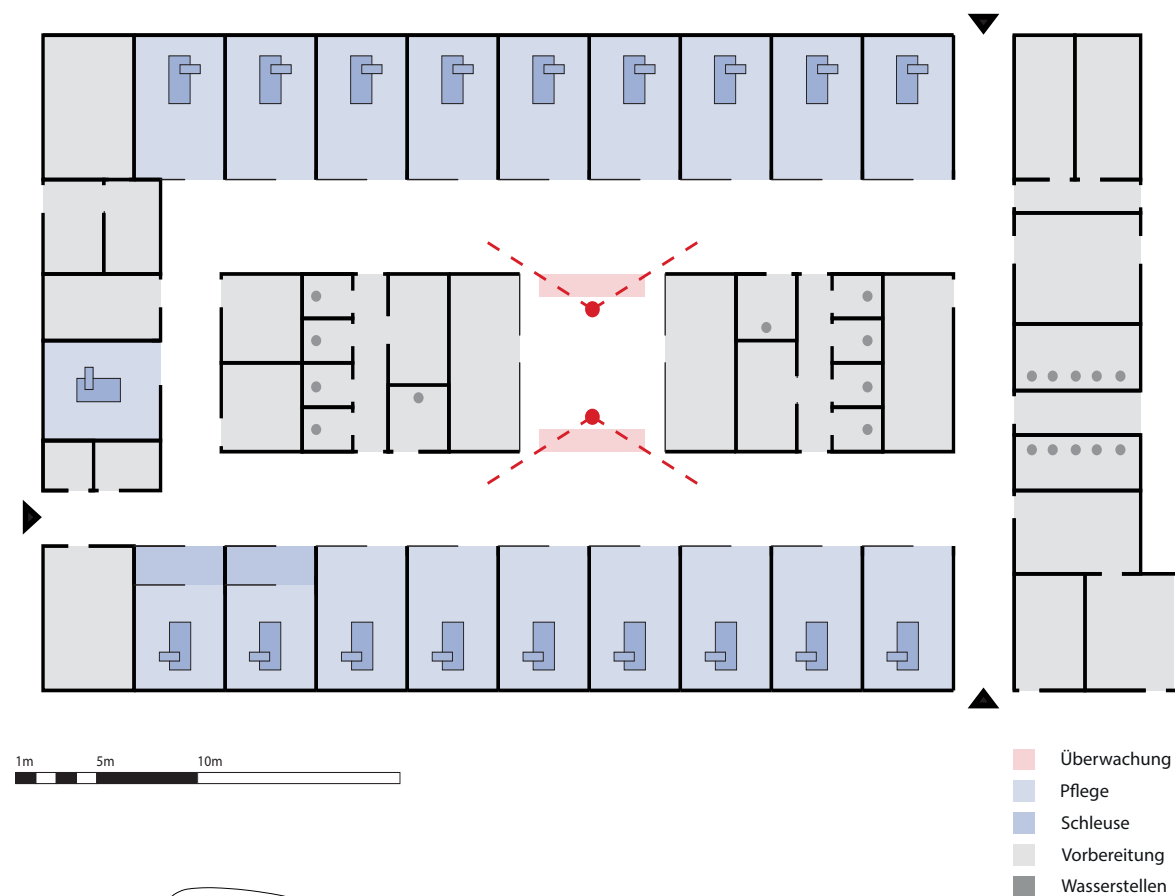
New Wave Architecture
2016



Hospital Universitario Rey Juan Carlos Móstoles, Spanien

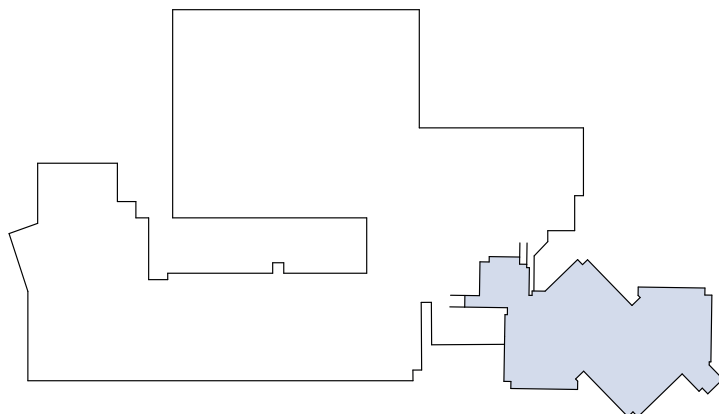
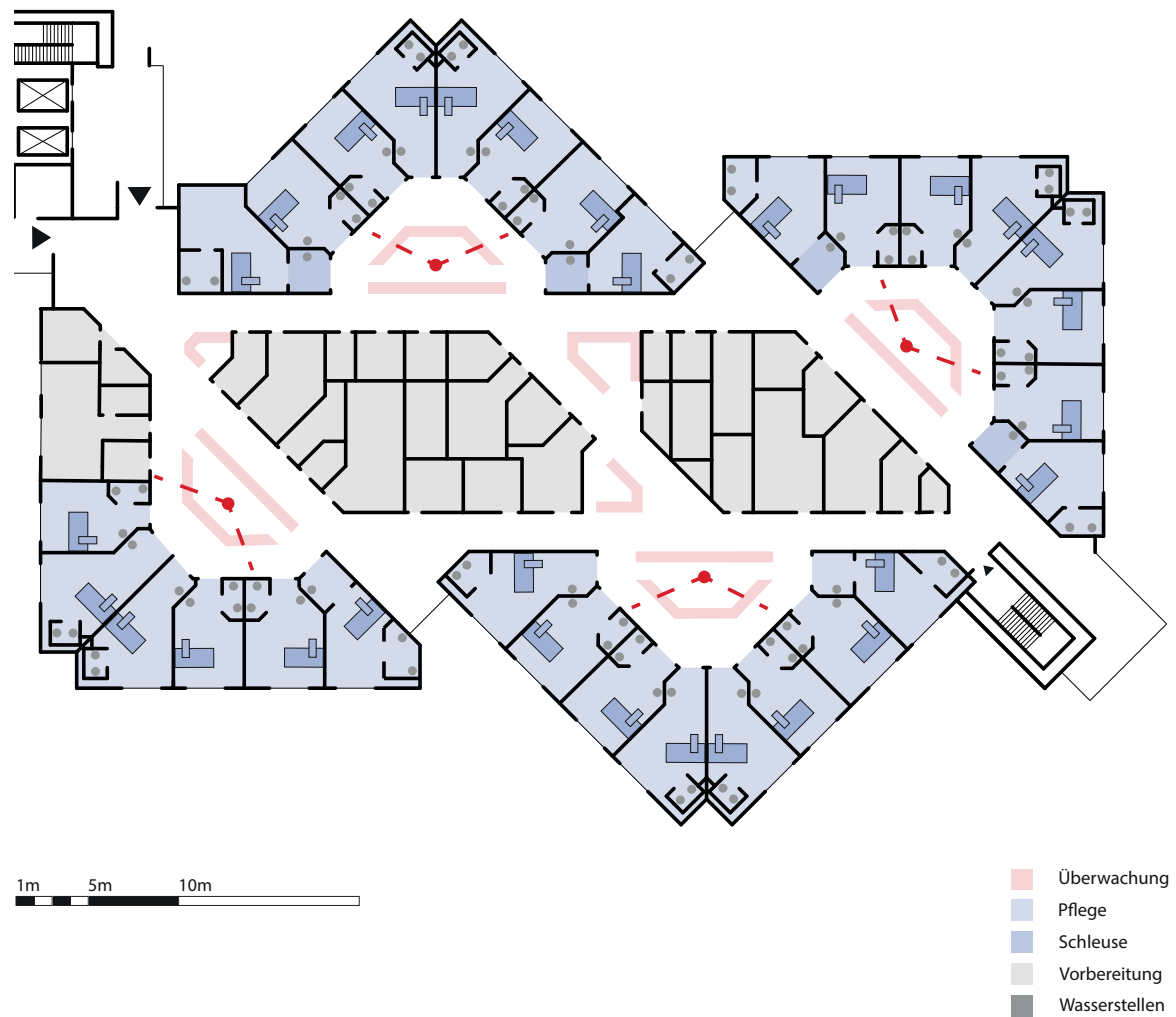
Rafael de La-Hoz Arquitectos

2012



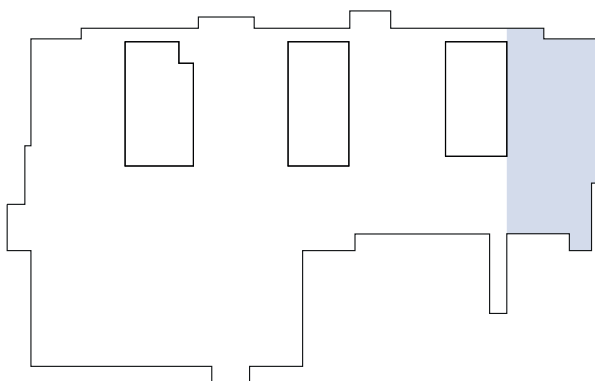
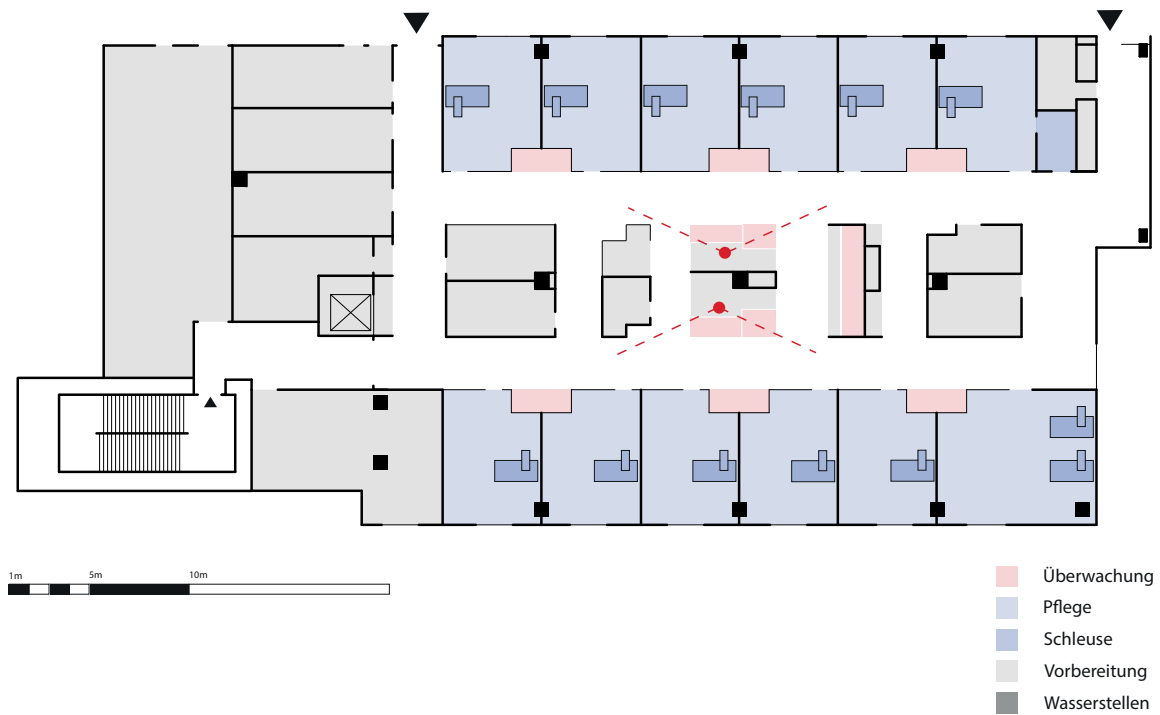
Swedish American Hospital Heart & Vascular Center Rockford, United States

Perkins and Will Architects
2006



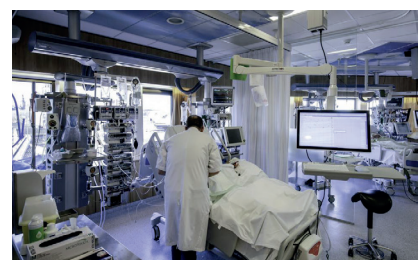
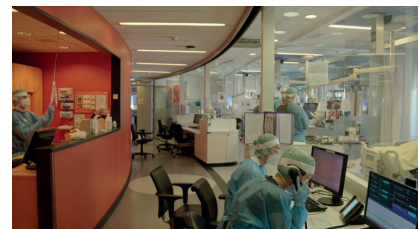
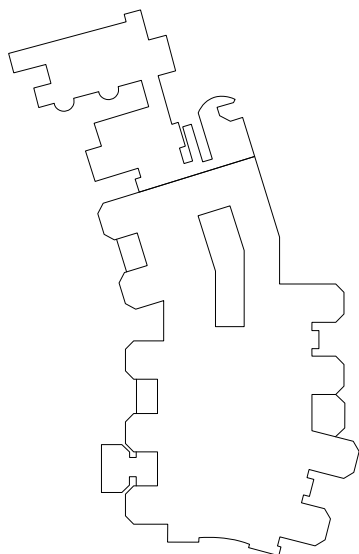
BC Children's Hospital & BC Women's Hospital + Health Centre, Teck Acute Care Centre Vancouver, Canada

ZGF Architects
2017



University Medical Center Groningen, Niederlande

Eigenplanung UMCG
2010





5.3 Ergebnisse Mitarbeiterbefragung zur Verbesserung von Intensivstationen





Zu welcher **Berufsgruppe** gehören Sie?

Pflegekraft



86,8%

Arzt/Ärztin



5,4%

Physiotherapie



4,3%

Sonstiges

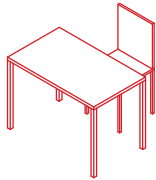


2,7%

Keine Angabe



1%



Wo befindet sich der von Ihnen am meisten genutzte Arbeitsplatz ?

n = 291

Im Patientenzimmer



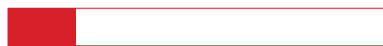
65%

Im zentralen Stützpunkt



30,4%

Sonstiges



17,9%

Wie wichtig ist Ihnen die von Ihnen betreuten Patienten aus Ihrem digitalen Arbeitsplatz sehen zu können?

Sehr wichtig



57,2%

Wichtig



33%

Eher unwichtig



5,8%

Unwichtig

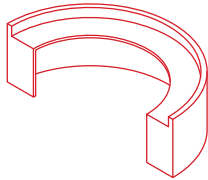


3,1%

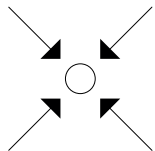
Keine Angabe



1,2%



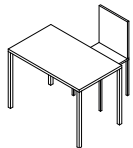
Was ist aus Ihrer Sicht die wichtigste Funktion des **zentralen Stützpunktes**?



Treffpunkt unter den Mitarbeiter



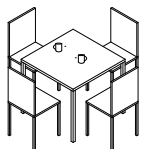
73,2%



Dokumentationsplatz



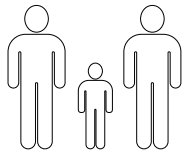
67%



Rückzugsort



23,7%



Empfang für Besucher



18%

Keine der oberen



7%

Angenommen Ihnen stünden mehreren auf Station verteilten Arbeitsplätze zu, könnten Sie sich vorstellen auf den **zentralen Stützpunkt** zu verzichten?

Ja



28,4%



Wie schätzen Sie die **Belastungen** ... in Ihrem Alltag?

Belastungen durch ...

... Platzmangel



Sehr stark 30%
Stark 35%
Mittel 26,5%
Niedrig 9,3%
Gar keine 0,8%
Keine Angabe 2,4%

... mangelnde Beleuchtung



Sehr stark 8,2%
Stark 14,8%
Mittel 25%
Niedrig 30%
Gar keine 21,4%
Keine Angabe 0,8%

... Lautstärke

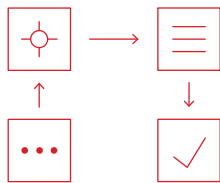


Sehr stark 37,4%
Stark 35,4%
Mittel 21%
Niedrig 4,7%
Gar keine 0,8%
Keine Angabe 0,8%

... zu lange Wege



Sehr stark 13,6%
Stark 19,5%
Mittel 41%
Niedrig 19,8%
Gar keine 5,8%
Keine Angabe 0,4%



Wie wichtig ist in Ihrem **Arbeitsablauf**, dass es eine **feste Arbeitsfläche** für aseptische Tätigkeiten im Patientenzimmer vorhanden ist?

Sehr wichtig



62,3%

Wichtig



26,9%

Eher Unwichtig



3,9%

Unwichtig

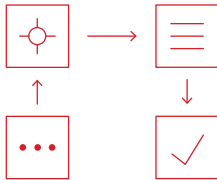


4,3%

Keine Angabe



2,7%



Wie wichtig ist in Ihrem **Arbeitsablauf**, dass es die Möglichkeit gibt **Medikamente bzw. Materialien** im Patientenzimmer verrätig zu lagern?

Sehr wichtig



52,5%

Wichtig



30%

Eher unwichtig



11,3%

Unwichtig



2,7%

Keine Angabe



3,5%



Wie wichtig wäre es Ihnen einen patientenbezogenen **unreinen Arbeitsbereich** in jedem Zimmer zu haben?

Sehr wichtig



20,6%

Wichtig



34,2%

Eher unwichtig



24,9%

Unwichtig

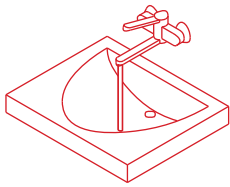


15,6%

Keine Angabe



4,7%



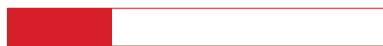
Wie wichtig ist es Ihnen, dass ein **Waschbecken** im Patientenzimmer vorhanden ist?

Sehr wichtig



63,4%

Wichtig



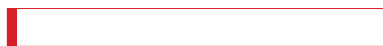
27,6%

Nicht wichtig



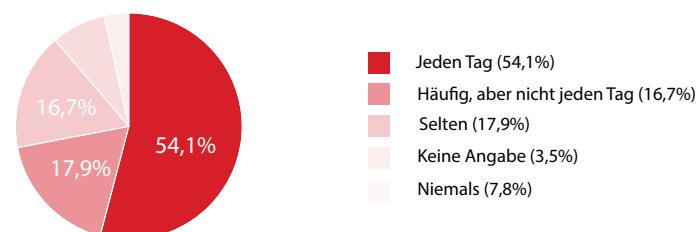
6,3%

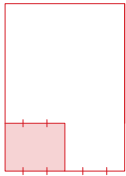
Keine Angabe



2,4%

Wie häufig benutzen Sie das **Waschbecken** im Patientenzimmer zum Händewaschen?





Würden Sie es als sinnvoll erachten einen **Vorraum** vor jedem Patientenzimmer zu haben?

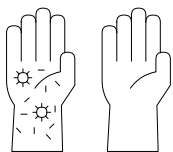
Ja



77,8%

Welche Funktionen sollen aus Ihrer Sicht in einem **Vorraum** möglich sein ?

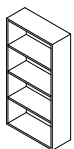
n = 315



Sowohl reine als auch unreine Tätigkeiten



43,4%



Lagerraum



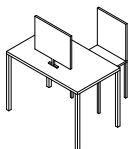
42,8%



Unreine Tätigkeiten



38,6%



Dokumentation



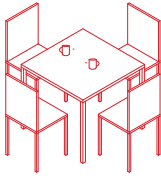
33,1%



Reine Tätigkeiten



31,9%



Wie wichtig ist es Ihnen, dass es ein **Rückzugsort** direkt auf der Station vorhanden ist?

Sehr wichtig



68,8%

Wichtig



18,2%

Eher unwichtig



3,1%

Unwichtig



3,9%

Keine Angabe



5,8%



5.4 Glossar

Anforderungskatalog

Auflistung von Anforderungen, durch die ein angestrebtes Projektziel erreicht werden soll.

Antibiotikum

Ein aus den Stoffwechselprodukten von Mikroorganismen gewonnener Wirkstoff gegen bakterielle Krankheitserreger.

Bauliche Infektionsprävention

Prävention (Vorbeugung/Verhinderung) von Infektionen durch bautechnisch-konstruktive Maßnahmen (u.a. Material und Oberflächen, Gebäudetechnik-Komponenten) und baufunktional-prozessuale Maßnahmen (u. a. Entflechtung/gerichtete Wegeführung, Flächenzuweisung und Barrieren, Separierung und Isolation).

Compliance

Regelgerechtes und vorschriftsgemäßes Verhalten bei Arbeitsprozessen, als Patienten-Compliance auch das kooperative Verhalten im Zuge pflegerischer und therapeutischer Maßnahmen.

Compliancesteigerung

Erreichen einer höheren Rate des regelgerechten und vorschriftsgemäßen Verhaltens.

Corona-Pandemie

Als Corona-Pandemie (COVID-19-Pandemie) wird der weltweite Ausbruch der durch das Corona-Virus SARS-CoV-2 ausgelösten Atemwegserkrankung bezeichnet (siehe Eintrag „SARS“).

Desinfektionsmittelbeständigkeit

Grad der Dauerhaftigkeit, während der eine Oberfläche bei gleichzeitiger Behandlung mit Desinfektionsmittel weitestgehend seine ursprünglichen technischen und physikalischen Eigenschaften behält.

Desinfektionsmittelspender

Gerät zur Ausgabe von Desinfektionsmittel. Desinfektionsmittelspender sind in unmittelbarer Nähe überall dort vorzuhalten, wo eine Händedesinfektion durchgeführt werden muss.

Desinfizierbarkeit

Möglichkeit der Anwendung physikalischer oder chemischer Verfahren zur Desinfektion unterschiedlicher Wirkungsbereiche (z. B. Oberflächen).

Desinfektionsrichtlinien (für Hände)

Leitlinien internationaler und nationaler Einrichtungen zur korrekten Händedesinfektion, wann, wie und wo diese durchzuführen ist (siehe Eintrag „Fünf Momente der Händedesinfektion gemäß WHO“).

DIN 18040-2

Planungsgrundlage für barrierefrei nutzbare Wohnungen sowie barrierefrei und uneingeschränkt mit dem Rollstuhl nutzbare Wohnungen.

EHEC

Enterohämorrhagische Escherichia coli, Bezeichnung bestimmter Stämme des Darmbakteriums Escherichia coli. In der Regel verläuft eine EHEC-Infektion symptomarm mit Durchfällen, Übelkeit und Bauchschmerzen.

Evidenzbasiert

Hier: Prozess der Entscheidungen über die gebaute Umwelt unter Einbeziehung der verfügbaren Forschungsergebnisse.

Flächendesinfektion

Desinfektion einer zusammenhängenden, homogenen Fläche.

Flächenreinigung

Reinigung einer zusammenhängenden, homogenen Fläche.

Flächenzonierung

Unterteilung eines geschlossenen Raumes in mehrere, einer bestimmten Nutzung zugeordneten Zone.

Hygienekritischer Bereich

Räume, in denen es regelmäßig zu einer hohen Übertragung von Infektionen kommt (z. B. Intensivstation, Operationssaal, Notaufnahme).

Immunsuppression

Menschen mit angeborenen oder erworbenen Immundefekten haben ein deutlich erhöhtes Infektionsrisiko und somit auch ein erhöhtes Risiko für schwere Krankheitsverläufe bei Infektionskrankheiten.

Infektionsprävention

Die Vorbeugung/Verhinderung der Ausbreitung von Infektionen oder die Bekämpfung von Infektionskrankheiten.

Infektionsprophylaxe

Vorbeugende Maßnahmen zur Verhinderung von Infektionen.

Influenza

Bezeichnung für Grippe (Virusgrippe) als fieberhafte Infektionskrankheit beim Menschen.

Intermediate Care (IMC)

Die IMC (Intermediate Care) ist das Bindeglied zwischen der Intensivpflegestation mit ihren umfassenden therapeutischen und intensivpflegerischen Möglichkeiten und der Normalstation, die aufgrund der niedrigeren Personaldecke keine engmaschige Überwachung der Patient:innen ermöglicht.

Intensive Care Unit (ICU)

Englische Bezeichnung für Intensivstation. Eine Intensivstation ist eine Station im Krankenhaus, auf der Patient:innen mit schweren bis lebensbedrohlichen Krankheiten oder Verletzungen intensivmedizinisch behandelt werden.

Kontaktübertragung

Ansteckung durch Berührung kontaminierter Oberflächen von Gegenständen oder Körpern.

KISS

Das Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System (KISS) bezeichnet die systematische Erhebung und Erfassung hygienebezogener Daten in medizinischen und pflegerischen Einrichtungen des deutschen Gesundheitssystems.

Krankenhausinfektion

Infektion, die im Zuge eines Aufenthalts oder einer Behandlung in einem Krankenhaus oder einer Pflegeeinrichtung auftritt. Dabei gibt es keinerlei Hinweise, dass die Infektion bereits bei der Aufnahme in das Krankenhaus vorhanden oder in der Inkubationsphase war.

Kreuzkontamination

Als Kreuzkontamination bezeichnet man im Allgemeinen die direkte oder indirekte sowie ungewollte Übertragung von Erregern von einer Oberfläche auf einen Gegenstand. Diese kann beispielsweise durch das Berühren eines (kontaminierten) Griffes oder der Hand eines anderen Menschen erfolgen.

Luftgetragener Infektionsweg

Der Übertragungsweg einer aerogenen Infektion über den Luftweg (aerogen) durch Einatmung erregershaltiger Schwebstoffe.

Medicaldesign

Kategorie des Industriedesigns, die sich mit der Gestaltung von Produkten und Prozessen im Gesundheitssektor beschäftigt.

MRSA

Viele Krankenhausinfektionen werden durch Methicillin-resistente Staphylococcus-Aureus-Stämme (MRSA) verursacht. Staphylokokken sind häufig vorkommende Bakterien, die insbesondere die Haut und Schleimhaut besiedeln. Die Besonderheit von MRSA-Stämmen liegt darin, dass sie gegen das Antibiotikum Methicillin resistent sind.

Nosokomiale Infektionen

Im Krankenhaus erworbene Infektionen.

NRZ

Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen am Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Charité – Universitätsmedizin Berlin.

Patientenkomfort

Grad des Wohlbefindens eines Patienten bzw. einer Patientin, der u. a. durch die Gestaltung und Ausstattung des Patientenzimmers geprägt wird.

Patientenschutz

Maßnahmen, die Patient:innen vor Gefahren während des Krankenhausaufenthalts schützen.

Patientensicherheit

Sicherstellung der medizinischen und pflegerischen Versorgung von Patient:innen ohne vermeidbare Schäden oder Fehler.

Patienten- und Versorgungszone

Bereich um den Bettplatz des Patienten bzw. der Patientin, den die Pflegekraft benötigt, um ihn oder sie zu versorgen und zu behandeln.

Pflegearbeitsbereich

Designierter Arbeitsbereich, der dem Pflegepersonal zur Vorbereitung der Patientenversorgung und -dokumentation dient.

Prototyp

Ein Prototyp stellt in der Technik ein für die jeweiligen Zwecke funktionsfähiges, oft aber auch vereinfachtes Versuchsmodell eines geplanten Produktes oder Bauteils dar.

Prozessoptimierung

Bezeichnung für die kontinuierliche Verbesserung der Effizienz und der Effektivität bestehender Arbeits-, Geschäfts-, Produktions- und Entwicklungsprozesse inklusive des Einsatzes der hierfür benötigten Ressourcen.

Reinigbarkeit

Reinigbarkeit beschreibt die Oberflächenbeschaffenheit eines Materials hier im Hinblick auf das Maß, wie optimal die Fläche gereinigt werden kann, um mikrobiellen Kontaminationen vorzubeugen.

Reserveantibiotika

Als Reserveantibiotika werden Antibiotika bezeichnet, die für einen Einsatz mit strenger Indikation vorgesehen sind. Bei schweren Infektionen werden sie initial als kalkulierte Antibiotikatherapie verwendet, wenn mit resistenten Erregern zu rechnen ist.

SARS

Das Schwere Akute Respiratorische Syndrom (SARS) ist eine durch das Coronavirus (SARS-CoV-2) hervorgerufene Infektionskrankheit, die das klinische Bild einer atypischen Lungenentzündung (Pneumonie) aufweist. Die Übertragung von Mensch zu Mensch erfolgt überwiegend über das Einatmen infektiöser Tröpfchen bei Kontakt mit erkrankten Personen. Auch eine indirekte Übertragung über kontaminierte Oberflächen und Materialien ist möglich.

Schmierinfektion

Bezeichnung für die Übertragung von Krankheitserregern durch Berührung eines Objektes oder Lebewesens.

Surveillance

Fortlaufende, systematische Erfassung, Analyse und Interpretation der Gesundheitsdaten, die für das Planen, die Einführung und Evaluation von medizinischen Maßnahmen notwendig sind.

5.5 Literaturverzeichnis

Bartz, Olaf, Der Wissenschaftsrat, Entwicklungslinien der Wissenschaftspolitik in der Bundesrepublik Deutschland 1957-2007, Stuttgart: Steiner, 2007.

Bauministerkonferenz, A. (2018). Planungshilfe Intensivtherapie. B.-u. W. z. M. u. S. d. L. Konferenz der für Städtebau.

Catho, G., R. Martischang, F. Boroli, M. N. Chraiti, Y. Martin, Z. Koçluk Tomsuk, G. Renzi, J. Schrenzel, J. Pugin, P. Nordmann, D. S. Blanc and S. Harbarth (2021). "Outbreak of *Pseudomonas aeruginosa* producing VIM carbapenemase in an intensive care unit and its termination by implementation of waterless patient care." *Crit Care* 25(1): 301.

Chico-Sanchez, P., P. Gras-Valenti, N. Algado-Selles, N. Jimenez-Sepulveda, J. C. Rodriguez-Diaz, E. Merino-deLucas, M. Galiana-Ivars, M. Fuster-Perez, L. Cartagena-Llopis, S. Balboa-Esteve, S. Canovas-Javega, A. Esclapez-Martinez, M. Moneris-Palmer, P. Cerezo-Milan, J. Sanchez-Paya and E. Ronda-Perez (2022). "Effectiveness of the systematic use of antimicrobial filters in the water taps of critical care units for the prevention of healthcare-associated infections with *Pseudomonas aeruginosa*." *American Journal of Infection Control* 50(4): 435-439.

"DGKH-Leitlinie: Notwendigkeit von Einzelzimmern in Krankenhäusern." https://www.krankenhausthygiene.de/pdfdata/2021_04_12_LL-Einzelzimmer%281%29.pdf.

ECDC Surveillance Report (2022). "Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals 2016/17."

Facility Guideline Institute (2014). Guidelines for Design and Construction of Hospitals and Outpatient Facilities. Chicago, American Society for Healthcare Engineering (ASHE).

Fucini, G.-B. (2023). "The current structure of German intensive care units from the point of view of infection control measures. A survey among ICU-KISS participants " *Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin*.

Gastmeier, P., M. Brunke, M. Arvand, C. Wendt and für die KRINKO (2022). "COVID-19-Pandemie: Schlussfolgerungen aus krankenhaushygienischer Sicht." *Deutsches Ärzteblatt* 119: A1178-1182. Hayward, C., M. H. Brown and H. Whitley (2022). "Hospital water as the source of healthcare-associated infection and antimicrobial-resistant organisms." *Curr Opin Infect Dis* 35(4): 339-345.

Hopman, J., A. Tostmann, H. Wertheim, M. Bos, E. Kolwijck, R. Akkermans, P. Sturm, A. Voss, P. Pickkers and H. Hoeven (2017). "Reduced rate of intensive care unit acquired gram-negative bacilli after removal of sinks and introduction of 'water-free' patient care." *Antimicrobial Resistance and Infection Control* 6(1): 59.

Karan, A., M. Klompas, R. Tucker, M. Baker, V. Vaidya, C. Rhee and CDC Prevention Epi-centers Program (2021). "The Risk of SARS-CoV-2 Transmission from Patients with Un-diagnosed Covid-19 to Roommates in a Large Academic Medical Center." *Clin Infect Dis* Jun 18:ciab564. doi: 10.1093/cid/ciab564. Online ahead of print.

KRINKO (2018). "Prävention postoperativer Wundinfektionen." *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 61(4): 448-473.

KRINKO (2021). "Anforderungen an die Infektionsprävention bei der medizinischen Versorgung von immunsupprimierten Patienten." *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 64(2): 232-264.

McCallum, M., G. Patriquin, D. IRC, T. MacDonald, D. Gaston, J. LeBlanc, Y. Shabi and B. Johnston (2022). "Factors contributing to a coronavirus disease 2019 (COVID-19) out-break on a mixed medical-surgical unit in a Canadian acute-care hospital." *Antimicrob Steward Healthc Epidemiol*(Sep 8;2(1):e151. doi: 10.1017/ash.2022.288. eCollection 2022.).

Mitchell, B., S. Dancer, M. Anderson and E. Dehn (2015). "Risk of organism acquisition from prior room occupants: a systematic review and meta-analysis." *J Hosp Infect*(Nov;91(3):211-7. doi: 10.1016/j.jhin.2015.08.005. Epub 2015 Aug 22).

Pennington, H. and C. Isles (2013). "Should hospitals provide all patients with single rooms?" *BMJ* 347: f5695.

Sadatsafavi, H., B. Niknejad, R. Zadeh and M. Sadatsafavi (2016). "Do cost savings from reductions in nosocomial infections justify additional costs of single-bed rooms in intensive care units? A simulation case study." *J Crit Care*(Feb;31(1):194-200. doi: 10.1016/j.jcrc.2015.10.010. Epub 2015 Oct 20).

Scharer, V., M. T. Meier, R. A. Schuepbach, A. S. Zinkernagel, M. Boumasmoud, B. Chakrakodi, S. D. Brugger, M. R. Frohlich, A. Wolfensberger, H. Sax, S. P. Kuster and P. W. Schreiber (2023). "An intensive care unit outbreak with multi-drug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* - spotlight on sinks." *J Hosp Infect* 139: 161-167.

Stiller, A., F. Salm, P. Bischoff and P. Gastmeier (2016). "Relationship between hospital ward design and healthcare-associated infection rates: a systematic review and meta-analysis." *Antimicrob Resist Infect Control* 5: 51.

van der Schoor, A., J. Severin, A. van der Weg, N. Strepis, C. Klaassen, J. van den Akker, M. Bruno, J. Hendriks, M. Vos and A. Voor In 't Holt (2022). "The effect of 100 % single-occupancy rooms on acquisition of extended-spectrum beta-lactamase-producing Enterobacterales and intra-hospital patient transfers: a prospective before-and-after study." *Antimicrob Resist Infect Control*(Jun 2;11(1):76. doi: 10.1186/s13756-022-01118-7).

Verderber, S., S. Gray, S. Suresh-Kumar, D. Kercz and C. Parshuram (2021). "Intensive Care Unit Built Environments: A Comprehensive Literature Review (2005-2020)." *HERD*(Oct;14(4):368-415. doi: 10.1177/19375867211009273. Epub 2021 May 18.).

Waydhas C, R. R., Markewitz A, Hoffmann F, Frey L, Böttiger B, et al. (2022). "DIVI Empfehlung zur Struktur und Ausstattung von Intensivstationen 2022".

5.6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1

In Anlehnung an: www.reimbursement.institute/statistiken/anzahl-intensivbetten-in-deutschland, Abgerufen: 31.05.2024 um 18 Uhr.

Abbildung 2

European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals, Stockholm: ECDC, 2023; Seite 34

Abbildung 3

Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA), Stand: 2017.

Abbildung 4

In Anlehnung an: BBSR Studie: Bauliche Hygiene im Klinikbau 2018; Seite 75

Abbildung 5

DAVIES RM, HUNTER JT. A recovery ward; its planning and use. *Lancet*. 1952 Apr 26;1(6713):865-8. doi: 10.1016/s0140-6736(52)90814-3. PMID: 14918456.

Abbildung 6

Lawin, P., Opderbecke, H. & Schuster, H. Die geschichtliche Entwicklung der Intensivmedizin in Deutschland. *Anaesthesist* 48, 642–653 (1999). <https://doi.org/10.1007/s001010050765>.

Abbildung 7

B. Fischer, Presseamt Stadt Münster, www.westfalen-regional.de/de/ukm/, Abgerufen: 26.06.2024 um 13 Uhr.

Abbildung 8

In Anlehnung an: Capolongo S, Gola M, Brambilla A, Morganti A, Mosca EI, Barach P. COVID-19 and Healthcare Facilities: a Decalogue of Design Strategies for Resilient Hospitals. *Acta Biomed*. 2020 Jul 20;91(9-S):50-60. doi: 10.23750/abm.v91i9-S.10117. PMID: 32701917; PMCID: PMC8023092.

Abbildung 9

IKE, TU Braunschweig.

Abbildung 10

ECDC PPS 2016–2017 (ECDC Bericht 2022) (ECDC Surveillance Report 2022); Seite 133.

Abbildung 11

Hayward, C., M. H. Brown and H. Whiley (2022). "Hospital water as the source of healthcare-associated infection and antimicrobial-resistant organisms." *Curr Opin Infect Dis* 35(4): 339-345.

Abbildung 12

Fucini, G-B, Geffers C, Schwab F, Behnke M, Sunder W, Moellmann J, Gastmeier P. Sinks in patient rooms in ICUs are associated with higher rates of hospital-acquired infection: a retrospective analysis of 552 ICUs. J Hosp Infect. 2023 Sep;139:99-105. doi: 10.1016/j.jhin.2023.05.018. Epub 2023 Jun 10. PMID: 37308060.

Abbildung 13

In Anlehnung an: Holzhausen J, Gastmeier P, Haselbeck A, Dreßler I (2018): Bauliche Hygiene im Klinikbau. Planungsempfehlungen für die bauliche Infektionsprävention in den Bereichen der Operation, Notfall- und Intensivmedizin. Bonn (Zukunft Bauen – Forschung für die Praxis, Band 13), 76 Seiten.

Abbildung 14

Fucini, G.-B. (2023). "The current structure of German intensive care units from the point of view of infection control measures. A survey among ICU-KISS participants " Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin.

Abbildung 15

IKE, TU Braunschweig.

Abbildung 16

IKE, TU Braunschweig.

5.7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1

Quelle: BBSR Studie: Bauliche Hygiene im Klinikbau 2018; Seite 22

Tabelle 2

unveröffentlicht, Quelle: Institut für Hygiene und Umweltmedizin, Charite Berlin

Tabelle 3

Fucini G-B, Hackmann C, Gastmeier P. Sink interventions in the ICU to reduce risk of infection or colonization with Gram-negative pathogens: a systematic review of the literature. J Hosp Infect. 2024 Jan;143:82-90. doi: 10.1016/j.jhin.2023.10.011. Epub 2023 Oct 29. PMID: 38529781.

Tabelle 4

Fucini, G.-B. (2023). "The current structure of German intensive care units from the point of view of infection control measures. A survey among ICU-KISS participants " Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin.

Tabelle 5

Quelle: IKE, TU Braunschweig.





Einleitung

Während des Erstellungsprozesses unseres Anforderungskatalogs sind viele Aspekte entstanden, die aufgrund ihrer Komplexität eine genauere Betrachtung notwendig machen. Nicht alle konnten aufgrund mangelnder Evidenz in Verbindung mit der Infektionsprävention in dem Katalog der Empfehlungen aufgenommen werden. Manche Technologien stecken noch in den Kinderschuhen und es wird vermutlich noch einiger Zeit dauern, bevor sie reif für den Routine-Einsatz im Krankenhaus sein werden. Trotzdem finden wir, dass diese Aspekte im Kontext der Planung von Intensivstationen vor allem mit Blick auf zukünftige Entwicklungen eine Rolle spielen werden.

Das Thema Wasserfiltration und Nachhaltigkeit wird von der Fa. AQUAFREE präsentiert, hier werden sowohl die bestehenden Herausforderungen als auch neuwertige Lösungen für die Verbesserung der Wasserqualität auf Pflegestationen vorgestellt.

Prof. M. Kriegel, Leiter des Hermann-Rietschel Instituts für Energie, Komfort und Gesundheit in Gebäuden der TU Berlin, skizziert die wichtigsten Aspekte der Lüftung und der Optimierung der Luftqualität in Innenräumen.

Die Fa. LEDVANCE illustriert die Herausforderungen der Beleuchtung auf Intensivstationen. Das Konzept von dynamischer Beleuchtung und die Möglichkeiten von Lichtmanagementsystemen werden in diesem Kontext dargestellt.

H. Niesalla und andere Kolleg*innen der Fa. Hartmann thematisieren weiter den Aspekt der Nachhaltigkeit im Bezug auf den Materialverbrauch und die Möglichkeiten der Digitalisierung in Bezug auf die Prävention nosokomialer Infektionen.

Fr. Dr. K. Lachmann vom Fraunhofer Institut für Schicht- und Oberflächentechnik konzentriert ihren Experten-Fokus auf die Beschaffenheit von antimikrobiellen Materialien und neuen Desinfektionsverfahren.

Hr. I. Rascher erklärt anhand bereits existierender Beispiele, wie die Robotik die Pflege in die Zukunft unterstützen könnte.

Rechte und Verantwortliche der folgenden Exkurse liegen bei den Autoren.

Wasserversorgung, Filtration, Nachhaltigkeit

Dr. Florian Dibbern, Fa. Aqua free GmbH

1. Kurzbeschreibung des Themenfeldes bzw. Stellenwert des Themenbereiches auf der Intensivstation	129
2. Problemstellungen im Kontext der Intensivstation/Patientenzimmer auf ITS	131
3. Stand der Wissenschaft, Technik und Evidenz	132
3.1. Einsatz von Sterilfiltern	133
3.2. Einsatz von Hygiene-Siphons	134
4. Darstellung der Empfehlungen	135
4.1. Autonomes Wasser	135
4.2. Einsatz von Sterilfiltern	135
4.3. Einsatz von Hygiene-Siphons	137
4.4. Spülarmaturen	138
4.5. Digitale Messsensoren	138
5. Fazit/Ausblick	139
6. Literatur- und Abbildungsverzeichnis	140

1. Kurzbeschreibung des Themenfeldes bzw. Stellenwert des Themenbereiches auf der Intensivstation

Gemäß der deutschen Trinkwasser-Verordnung (Abschnitt 2, §4, 2021) muss Trinkwasser so beschaffen sein, „dass durch seinen Genuss oder Gebrauch eine Schädigung der menschlichen Gesundheit insbesondere durch Krankheitserreger nicht zu besorgen ist“.

Trotzdem finden sich in Trinkwassersystemen öffentlicher Gebäude regelmäßig pathogene Bakterien wie Legionellen oder Pseudomonaden. Das belegt auch eine umfangreiche Auswertung von Erhebungen deutscher Gesundheitsbehörden in über 4.400 öffentlichen Gebäuden mit rund 30.000 Wasserprobenahmen aus sieben Jahren. Diese zeigt, dass gesundheitsrelevante mikrobielle Kontaminationen in Trinkwasser-Installa-

tionssystemen sowohl für Legionellen auftreten ((Überschreitung des technischen Maßnahme-Wertes in 13 % der Proben) als auch für Pseudomonaden (Überschreitung der UBA-Empfehlung: Nachweis in 3 % der Proben). [1]

Die Ursachen solcher Kontaminationen sind vielschichtig. Zwar zählt Trinkwasser in Deutschland zu den am besten überwachten Lebensmitteln, allerdings gilt das nur bis zum Eintritt in die Trinkwasser-Installation eines Gebäudes. Dort kann es abhängig von Kriterien wie zum Beispiel eingesetzten Werkstoffen, Wassertemperatur oder -durchfluss zur Bildung von Biofilm und zur Einnistung beziehungsweise Freisetzung von Mikroorganismen wie Bakterien kommen.

In Krankenhäusern wurden überdurchschnittlich häufig mikrobiologische Kontaminationen nachgewiesen. [2] Gründe dafür könnten neben den komplexen, teilweise sehr alten Trinkwasser-Systemen, großvolumige Warmwasserspeicher, weit verzweigte Netze, ausgeprägte Verbrauchsspitzen, Todleitungen oder Wasserstellen mit nicht genügender Wasserzufuhr sein. Einen Überblick über mögliche Gefahrenquellen gibt die folgende Abbildung 1.

Aqua free

- Materialien
- Rohrdurchmesser
- Verzweigungen
- Totstellen
- Stagnationszeiten
- Temperatur:
 - Kaltwasser (Soll Leitung/Auslass < 25° C)
 - Warmwasser (Soll Leitung/Auslass > 55° C; Austritt Trinkwassererwärmer ≥ 60° C)
- Entnahmestellen: Benutzer, Hygienerahmenbedingungen
- Wasseraufbereitung: Ionenaustauscher, Vollentsalzung

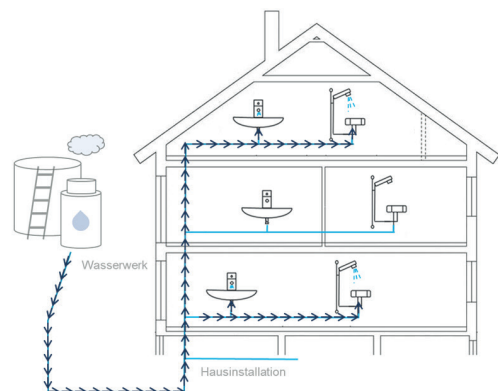


Abbildung 1

Kritische Punkte bei Trinkwasserinstallationen in Gebäuden

So beeinflussen eventuell im Trinkwasser vorhandene fakultativ pathogene Bakterien auch die Arbeit der Hygieneverantwortlichen und des Personals auf den Intensivstationen, denn immunsupprimierte Patientinnen und Patienten auf der ITS benötigen aufgrund ihrer erhöhten Infektionsgefährdung besonderen Schutz. Sie müssen durch hygienische Maßnahmen direkt auf der ITS vor den Keimen geschützt werden.

Vor diesem Hintergrund wird auch die Wasser-Bereitstellung von den unterschiedlichen Abteilungen eines Krankenhauses kontrovers diskutiert. Aus der Perspektive des Ärzte- und Pflegepersonals ist der Zugang zu Wasser auf der Station aus arbeitsorganisatorischen Gründen sinnvoll. Hygiene und Technik haben, aus (wasser-)hygienischen Gründen, eher das mit steigender Anzahl von Wasserstellen wachsende Risiko von Kontaminationen und Ausbrüchen von Wasserkeimen über die Wasserstellen im Blick.

2. Problemstellungen im Kontext der Intensivstation/Patientenzimmer auf ITS

Speziell die immunsupprimierten Intensiv-Patientinnen und -Patienten unterliegen besonderen Infektionsrisiken und sind auf der ITS vor fakultativ pathogenen Bakterien aus dem Trinkwasser zu schützen.

Unabhängig davon, ob die Wasserversorgung direkt auf den Zimmern der ITS erfolgt oder in einem vorgelagerten zentralen Raum, es gilt bei der Zimmerausstattung waserhygiene-relevante Aspekte zu berücksichtigen und in diesem Zusammenhang mögliche Kontaminations-/Infektionsherde besonders in den Blick zu nehmen. Dies sind vor allem Waschbecken und Waschbeckenabläufe (Siphons). Hier mögliche Gefahrenquellen sind in Abbildung 2 und 3 nachfolgend schematisch dargestellt:



Abbildung 2
Gefahrenquelle für Kontaminationen des Waschbeckens und Keimübertragung

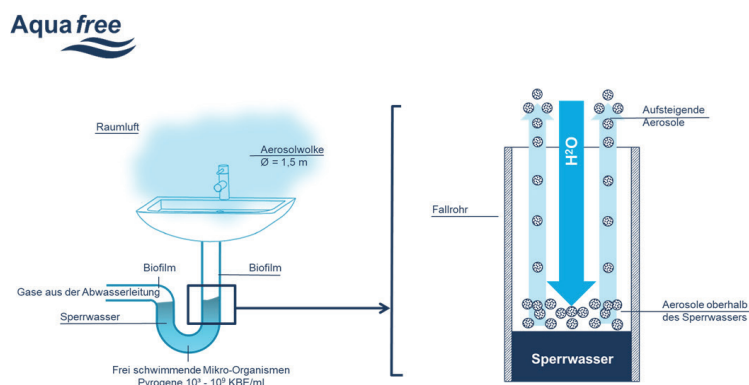


Abbildung 3
Einflussfaktoren für Infektionen am Waschbeckenablauf

Die ITS steht vor der Herausforderung, im Klinikalltag unabhängig von der tatsächlichen Keimsituation im Leitungswasser präventiv, schnelle, einfache und extrem zuverlässige Maßnahmen zu treffen, um ein Erkranken der Patientinnen und Patienten auf der ITS durch Keime aus dem Leitungswasser zu vermeiden.

3. Stand der Wissenschaft, Technik und Evidenz

Anforderungen an Waschbecken

Bei der Ausstattung von Waschbecken gelten die Empfehlungen der KRINKO zur Händehygiene in Einrichtungen des Gesundheitswesens. [3] Durch bauliche Vorkehrungen und geeignete Prozesse kann die Kontaminationsgefahr aus Waschbecken [...] reduziert werden. Die Kommission empfiehlt infektionspräventive Aspekte beim Design von Waschbecken bei zukünftigen Umbau und Neubauplanungen zu prüfen.

Ausstattung medizinischer Handwaschplätze:

„Ein hygienischer Handwaschplatz muss mit Zulauf für **warmes und kaltes Wasser** ausgestattet sein. Bei einer Neueinrichtung oder wesentlichen Umgestaltung eines Handwaschplatzes ist auf ein **ausreichend groß dimensioniertes, tief ausgeformtes** Handwaschbecken **ohne Überlauf** zu achten. Der Verzicht auf einen Überlauf im Waschbecken erscheint nicht nur hygienisch plausibel, sondern der kolonisierte Überlauf konnte als Ursache einer Häufung von *Serratia liquefaciens* Infektionen identifiziert werden

Falls saubere Arbeitsflächen an den Waschplatz angrenzen, sind diese durch **einen Spritzschutz** so abzuschirmen, dass es (insbesondere in Bereichen der Zubereitung von Medikamenten) nicht zu einer Kontamination der Umgebung kommen kann. Der Handwaschplatz muss abhängig von den räumlichen Bedingungen **mit wandmontierten Spendern für Händedesinfektionsmittel und Handwaschpräparat und mit Einmalhandtüchern** ausgestattet sein.

Der Wasserstrahl darf **nicht direkt auf den Abfluss gerichtet** sein, um die Entstehung des erregerehaltigen Aerosols aus dem Siphon zu minimieren. Hautpflegemittel können in Spendern oder in herkömmlicher Form als Tuben bereitgestellt werden. Ersteres hat den Vorteil der Herabsetzung des Kontaminationsrisikos des Hautpflegemittels, sofern Einmalgebinde eingesetzt werden. Zugleich wird die Nutzung erleichtert. Es ist als ausreichend anzusehen, wenn Hautpflegemittel z. B. im Stationsdienstzimmer, in Umkleiden und in Pausenräumen verfügbar sind.

Handwaschplätze müssen in Räumen oder in der Nähe von Räumen vorhanden sein, in denen diagnostische oder invasive Maßnahmen stattfinden, in Räumen, die der Vorbereitung solcher Maßnahmen dienen, sowie in unreinen Arbeitsbereichen bzw. in deren Nähe, aber z. B. nicht im Arztdienstzimmer. Für jedes Patientenzimmer sollte eine für die Beschäftigten leicht erreichbare Waschegelegenheit möglichst in der Sanitärzelle verfügbar sein, die analog wie der Handwaschplatz ausgestattet sein soll, damit sie im Bedarfsfall vom Personal genutzt werden kann. Das betrifft z. B. die Händewaschung nach Ablegen der Handschuhe nach der Versorgung von Patienten mit *C. difficile* assoziierter Diarrhoe oder nach unerwarteter massiver Verunreinigung/Kontamination der Hände im Rahmen der Patientenversorgung.

Waschbecken, die von Beschäftigten mit direktem Patientenkontakt genutzt werden oder sich in kritischen Bereichen befinden, müssen eine handkontaktlose Bedienung mittels verlängerter Hebelarmatur ermöglichen oder mittels Fuß- oder Knieauslösung das Wasser freigeben, um eine Weiterverbreitung von Krankheitserregern zu verhindern. Sensorarmaturen bergen ein hygienisches Risiko, weil sich z. B. Gram-negative Nonfermenter ansiedeln können, was Ursache von Ausbrüchen war.“

3.1 Einsatz von Sterilfiltern

Zur Infektionsprävention von immunsupprimierten Intensiv-Patientinnen und -Patienten bei der medizinischen Versorgung empfiehlt die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch Institut (RKI) für den Einsatz von Trinkwasser Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) im Bundesgesundheitsblatt 64:232-264:

- „Wenn die Wasserqualität nicht durch andere Maßnahmen gewährleistet ist, in hämato-onkologischen Stationen und anderen Stationen, die hochgradig immunsupprimierte Patienten behandeln, insbesondere in den Patientenzimmern **endständige Bakterienfilter** einzusetzen (Kat. II).“
- „Dabei ist sicherzustellen, dass es nicht durch eine Kontamination der Filter von außen zu einer Übertragung von Erregern kommt, deren nosokomiale Transmission durch den Filter verhindert werden soll (Kat. II).“
- „Bei Patienten der Risikogruppen 2 und 3 in der Klinik kein stilles Mineralwasser zu verwenden (z. B. auch zur Mundpflege), da stilles Mineralwasser mit Bakterien kontaminiert sein kann. Hier wird stattdessen kohlensäurehaltiges oder **sterilfiltriertes** bzw. abgekochtes Trinkwasser oder alternativ Trinkbrunnen mit **Sterilfilter** empfohlen (ohne Kat.).“

Als endständige Bakterienfilter werden in der Regel Filter mit einer Porengröße von 0,2 µm verwendet. Diese Porengröße führt zu einer Keim-Reduktion im gefilterten Wasser von mindestens 7-Log-Stufen (= 99,99999 %) und bietet einen zuverlässigen Schutz vor Wasserkeimen wie Pseudomonaden und Legionellen. Hier gibt es über diverse Anbieter ein großes Angebot.

Die Filter müssen gemäß der TWIN 12 einen Nachweis für den ausreichenden Rückhalt von Bakterien erbringen. Derzeit gibt es dazu das Verfahren nach ASTM F 838-05. Zudem sollte ein Nachweis für die erfolgreiche Prüfung unter Praxisbedingungen (z. B. Druckstoßfestigkeit, Temperaturbereiche) vorliegen. [3]

Zudem gibt der DVGW technische Anforderungen an Filter vor: [4]

- Eignung für Temperaturen von mindestens 60 °C und einen Druck von mindestens 5 bar
- Bei Trinkwasserdesinfektionen Beständigkeit gemäß in § 11 TrinkwV genannter Desinfektionsmittel und -konzentrationen
- Vom Hersteller einzeln auf ihre Eignung und Dichtigkeit geprüft
- Zur Nachverfolgung dauerhaft und erkennbar individuell mit Seriennummer und Herstellernamen gekennzeichnet
- Kennzeichnungsfähigkeit hinsichtlich Einbau- und Ausbaudatum
- Hersteller sollte über zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem für die Produktion der Filter verfügen.

1 Kategorie II: „Diese Empfehlung basiert“ gemäß KRINKO „auf hinweisenden Studien/ Untersuchungen und strengen, plausiblen und nachvollziehbaren theoretischen Ableitungen.“

- Bei wiederaufbereiteten Filtern müssen die einzelnen Filter eindeutig identifizierbar sein, um die Häufigkeit der Nutzung feststellen zu können. Nach der Wiederaufbereitung sollten die gleichen Prüfungen durchgeführt werden wie bei der Herstellung oder dem erstmaligen Inverkehrbringen.
- Angabe einer Standzeit vom Hersteller mit Validierung unter Praxisbedingungen und Risiko-Begrenzung bezüglich einer möglichen retrograden Verkeimung
- Vorliegen einer vollständigen Anweisung zum Anschluss an die Entnahmematur gemäß Produktsicherheitsgesetz (§ 3 ProdSG)

3.2 Einsatz von Hygiene-Siphons

Auch Keime aus dem Sperrwasser können über Aerosolbildung oder Spritzwasser aus dem Waschbeckenauslass erneut in das Patientenzimmer gelangen und Menschen treffen, während sich diese z. B. am Becken die Hände waschen. Zahlreiche Publikationen und Berichte belegen, dass Ausbrüche nosokomialer Infektionen in Kliniken auf Siphons von Waschbecken zurückzuführen waren. [5], [6]

Zur Infektionsprävention von immunsupprimierten Intensiv-Patientinnen und -Patienten bei der medizinischen Versorgung empfiehlt die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch Institut (RKI) für den Einsatz im Bundesgesundheitsblatt 64:232-264:

...„in Hochrisikobereichen mit Patienten der Gruppen 2 und 3 den Einsatz von thermisch desinfizierenden Siphons zu erwägen, insofern sich das Risiko einer retrograden Kontamination oder Aerosolbildung nicht durch andere technische Maßnahmen kontrollieren lässt“.

Es gibt regulatorisch keine genaueren technische Vorgaben oder Anforderungen an thermisch desinfizierbare Siphons. Auch was „andere technische Maßnahmen“ sein könnten, wird durch die KRINKO nicht weiter spezifiziert. Denkbar sind chemisch-prozessuale Desinfektionsmaßnahmen oder andere physikalische Barriere-Systeme, die den Austritt von Bakterien aus dem Siphon in Richtung des ITS-Zimmers reduzieren oder vermeiden.

4. Darstellung der Empfehlungen

4.1 Autonomes Wasser

Bei der Planung völlig neuer Kliniken und Intensivstationen können im Vorfeld natürlich weitreichende Anforderungen berücksichtigt werden, um Keime im Leitungswasser zu vermeiden.

Im Hinblick auf Intensivstationen wären hier folgende Konzepte denkbar:

1. die Nutzung einer eigenen Versorgungsleitung entkoppelt von der eigentlichen großen Hausversorgung des Restklinikums, die gesondert gemonitored wird mit Blick auf Durchfluss sowie auf Temperaturen der Heiß- und Kaltwasserstränge.
2. Die Nutzung einer eigenständigen Warmwasserversorgung (zentral, dezentral). Eine solche eigenständige Warmwasserversorgung der ITS dann deutlich weniger Wasservolumen impliziert, lassen sich weitergehende technische Maßnahmen im Sinne eines Multibarriere-Systems denken:
 - Großvolumige Mikrofiltrations-Inlinefilter, die das eingehende Wasser bereits filtern, bevor es in den Bereich der Intensivversorgung geht.
 - Aus wasserhygienisch-technischer Sicht ist empfehlenswert, auf so wenige Entnahmestellen zurückzugreifen, wie möglich. Dies jedoch klar abzuwägen gegen optimale Prozesse der Patientenversorgung.
 - In der Regel sind ITS stockwerksbezogen angelegt. Aus wasserhygienisch-technischer Sicht ist es sinnvoll, eine ggf. sogar vom Rest des Klinikums getrennte Kaltwasserversorgung bis in die ITS zu verlegen. Die Installation einer Warmwasserversorgung erst dort vor Ort hat den Vorteil, dass die technisch-hygienisch opportunen Warmwassertemperaturen sicher erreicht werden.
 - Es ist sicherzustellen, dass in der ITS eine gesonderte Probennahme erfolgen kann, um die Wasserqualitäten monitoren zu können. Es sollte sichergestellt werden, dass die Probennahme in rückwärtigen, getrennten Räumen abseits der ITS-Zimmer erfolgen kann oder gar einen Raum für Probennahme vorzusehen (kein Eintrag von Krankheitserregern, Schmutz).

4.2 Einsatz von Sterilfiltern

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 4.1 beschriebenen Empfehlungen der KRINKO kann es sinnvoll sein, auch in den in ITS-Zimmern der Zukunft eine präventive, dauerhafte Ausstattung der Armaturen mit Sterilfiltern in Erwägung zu ziehen.

Wenn möglich, ist der dauerhafte Einsatz von Sterilfiltern bereits bei der Auswahl der Armaturen zu berücksichtigen, um das ergonomische Arbeiten des Personals durch möglichst viel Platz zwischen Armatur und Waschbeckenboden sicherzustellen. Mit dem Gebrauch herkömmlicher Sterilfilter geht in der Regel ein Nutzhöhenverlust ein-

her, da die Filter mittels Adapter unterhalb der Armaturen montiert sind. Vorgaben des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfaches (DVGW) geben vor, dass zwischen Filterauslass und Waschbeckenrand ein Mindestabstand von 2 cm einzuhalten ist [3], deswegen ist bei der Auswahl der Filter auf die Einhaltung dieser Anforderung zu achten.

Abbildung 4
Sterilfilter mit unzureichendem Abstand
zum Waschbeckenboden



Bei Planung, Neubau oder Sanierung der ITS-Zimmer kann dieses Problem z. B. durch den Einsatz von Wandarmaturen vermieden werden. Hier kann der Filter bei einigen Anbietern auch in den Hahn-Auslass integriert werden, siehe Abbildung 5:

Abbildung 5
Integrierter Sterilfilter bei einer
Wandinstallation



Sterilfilter gibt es von unterschiedlichen Anbietern am Markt. Für das ITS-Zimmer der Zukunft kommen prinzipiell alle Sterilfilter von zertifizierten Qualitätsanbietern in Frage. Prinzipiell ist empfehlenswert, bei der Auswahl des Filter-Anbieters nicht ausschließlich auf den Preis zu achten, sondern auch qualitative Aspekte in die Entscheidungsauswahl einfließen zu lassen:

- Validierungsqualität
- CE-Kennzeichnung/Medizinprodukt
- DIN ISO Zertifizierung (13485, minimal 9001)
- Produktionsstandort
- Größe
- Bauhöhe/Nutzhöhenverlust
- Design (Auslassdesign, hygienisches Design, Ergonomie)
- Produkteigenschaften zur Vermeidung retrograder Kontamination (Design, Material, Auslass, Gehäuse)
- Durchfluss
- Ökologie/Nachhaltigkeit/Abfallkonzept
- DIN ISO 14001 Umweltzertifizierung
- Servicekonzept (Filterwechsel)

Während die meisten dieser Qualitätskriterien dem Schutz der Patientinnen und Patienten dienen, fokussieren die Punkte j) und k) auf den Schutz der Umwelt. Konkret empfiehlt es sich hier, ein besonderes Augenmerk auf das Thema Abfallvermeidung und -Entsorgung zu lenken.

4.3. Einsatz von Hygiene-Siphons

Auch Keime aus dem Sperrwasser können über Aerosolbildung oder Spritzwasser aus dem Waschbeckenauslass erneut in das Patientenzimmer gelangen und Menschen treffen, während sich diese z. B. am Becken die Hände waschen. Zahlreiche Publikationen und Berichte belegen, dass Ausbrüche nosokomialer Infektionen in Kliniken auf Siphons von Waschbecken zurückzuführen waren. [5]

Zur Infektionsprävention von immunsupprimierten Intensiv-Patientinnen und -Patienten bei der medizinischen Versorgung empfiehlt die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) beim Robert Koch Institut (RKI) für den Einsatz von Trinkwasser im Bundesgesundheitsblatt 64:232-264:

„in Hochrisikobereichen mit Patienten der Gruppen 2 und 3 den Einsatz von thermisch desinfizierenden Siphons zu erwägen, insofern sich das Risiko einer retrograden Kontamination oder Aerosolbildung nicht durch andere technische Maßnahmen kontrollieren lässt“.

Weitergehende technische Empfehlungen werden an keiner Stelle gegeben.

Mit Blick auf thermisch desinfizierende Siphons sind die Leistungsparameter des verfügbaren Angebots [7]:

- Die Thermo-Desinfektion dieser Produkte erfüllt die Anforderungen an den technischen Prozess des Pasteurisierens in Form der Hoherhitzung (10 bis 15 Sekunden bei 85°C). Dabei erfolgt ein Hochheizen auf die eingestellte Solltemperatur (85°C) und eine langsame Abkühlung während der nachfolgenden Vibrationsreinigung.
- Beim Erreichen der eingestellten Minimaltemperatur (75°C) beginnt der Heizprozess und damit der Desinfektions-Reinigungs-Zyklus erneut. Wenn keine Unterbrechung durch erneuten Wasserzufluss erfolgt, ist der Gesamtprozess nach 5 - 6 Zyklen in der Dauer von ca. einer Stunde abgeschlossen und das Produkt bleibt inaktiv, bis erneut Wasser zufließt.

Mit Blick auf „andere technische Maßnahmen“, die die KRINKO alternativ zur Kontrolle und des Risikos von Aerosolbildung fordert, gibt es Hygiene-Siphons, die mittels physikalisch wirkender Maßnahmen das Austreten von Aerosolen aus dem Waschbeckenauslass in die Patientenzimmer reduziert [8].

4.4 Spülarmaturen

Um bestimmungsgemäßen Gebrauch und normgerechten Wasserdurchfluss im Wasserleitungssystem unabhängig von echter Nutzung und Wasserentnahme sicherzustellen, können Spülarmatur-Systeme genutzt werden, die automatisiert den regelmäßigen Durchfluss sicherstellen und dokumentieren. So wird Stagnationswasser vermieden, das nachweislich die Biofilm-Bildung begünstigt.

4.5 Digitale Messsensoren

In jüngerer Zeit sind zudem SMARTE digitale Messsensoren auf dem Markt erhältlich, die hygienisch relevante Aspekte ermitteln und monitoren und so auf der ITS helfen können, u. a. nachfolgende wasserbezogenen Risiken zu beherrschen:

- Identifikation von zu kalten Warmwasserleitungen
- Identifikation von zu warmen Kaltwasserleitungen

- Nachweis nicht ausreichender Nutzung einer Wasserstelle – Push-Nachricht bei nicht ausreichend genutzten Wasserstellen
- Identifikation von Biofilm im Trinkwasser (In Erprobung)

Diese Inline- oder Anlegesensoren können nachträglich an Wasserausgabestellen ohne Änderungen an der Installation montiert werden. Sie ermöglichen die getrennte Warm- und Kaltwasserüberwachung – Messabweichungen durch Mixwasser können somit ausgeschlossen werden. Die Sensoren können abschnittsweise installiert werden, ein solches System ist jederzeit erweiterbar. Die Sensoren sind batteriegesteuert und benötigen so keinen Stromanschluss. Da die Sensoren über ein eigenes Netzwerk über LoRa Protokoll verfügen, ist keine Integration in ein bestehendes IT-System erforderlich.

5. Fazit/Ausblick

Trotz der hervorragenden Qualität – Leitungswasser ist nicht steril und kann somit trotz Einhaltung der Regeln der Technik beim Betreiben der Hausinstallation und sonstiger umfangreicher Hygienemaßnahmen Keime enthalten, die die Gesundheit immunsupprimierter Patientinnen und Patienten auf Intensivstationen gefährden kann. Baulich-technische Maßnahmen zur Vermeidung von Stagnation des Trinkwassers sowie zur Sicherstellung der Norm-Temperaturen helfen, wasserbezogenen Verkeimungsrisiken stark zu reduzieren. Heute und auch zukünftig kann die Ausstattung der Armaturen mit Sterilfiltern zum Rückhalt von Bakterien aus dem Leitungswasser auf den ITS eine zuverlässige und einfache Maßnahme zum Erhalt der Patientengesundheit darstellen. Keimen aus dem Sperrwasser kann ebenfalls zuverlässig durch Einsatz technischer Einbauten im Siphon entgegengewirkt werden. Zusätzlich können neue digitale Technologien künftig beim Monitoring wasserbezogener Infektionsrisiken helfen.

6. Literatur- und Abbildungsverzeichnis

- [1] Flemming, H.-C.: Erkenntnisse aus dem BMBF-Verbundprojekt, „Biofilme in der Trinkwasser-Installation“, Version 2.1. IWW Mülheim, 2011)
- [2] Sironi, Markus: Biofilme in der Trinkwasserinstallation.
Abgerufen am 23. Juni 2023 von <https://www.ikz.de/detail/news/detail/biofilme-in-der-trinkwasserinstallation-ueber-ursachen-vorkommen-und-beseitigungsmassnahmen/>
- [3] Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) (2016)
Händehygiene in Einrichtungen des Gesundheitswesens.
Bundesgesundheitsbl. 59(9):1198
- [4] Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.: TWIN 12: Temporärer Einsatz endständiger Filter in mikrobiell kontaminierten Trinkwasser-Installationen.
Abgerufen am 08. Juni 2023: <https://www.dvgw.de/medien/dvgw/leistungen/publikationen/twin12-1904.pdf>
- [5] de Jonge, E., & et al. (2019): Effects of a disinfection device on colonization of sink drains and patients during a prolonged outbreak of multidrug-resistant *Pseudomonas aeruginosa* in an intensive care unit. Abgerufen am 8. Juni 2023 von [https://www.journalofhospitalinfection.com/article/S0195-6701\(19\)30005-2/fulltext](https://www.journalofhospitalinfection.com/article/S0195-6701(19)30005-2/fulltext)
- [6] Parthé, S., et al.: Anwendungsstudie zu aerosolreduzierenden Hygienesiphons zur Kontrolle eines 4MRGN *Pseudomonas aeruginosa* -Ausbruchsgeschehen auf einer neurologischen Frührehabilitationsstation der Phase B. Wiesbaden, 2016
- [7] Moveomed Desinfizierende Siphons Produkterläuterung
Abgerufen am 12.10.2023: <https://moveomed.com/de/>
- [8] Aqua free Hygiene Siphon Produkterläuterung
Abgerufen am 12.10.2023 <https://www.aqua-free.com/de/produkt/hygienesiphon/>

Abbildungen 1-5

Aqua free



Lüftung

Prof. Dr.-Ing. Martin Kriegel, Hermann Rietschel Institut, TU Berlin

1. Kurzbeschreibung des Themenfeldes bzw. Stellenwert des Themenbereiches auf der Intensivstation

Innenräume werden durch thermische (Wärme) und stoffliche (gasförmige und partikuläre) Einträge belastet. Diese sogenannten Raumlasten können zu schlechtem Wohlbefinden führen und gesundheitsbeeinträchtigend sein. Der Wärmeeintrag kommt durch äußere (hohe Außentemperaturen, solare Einstrahlung) und durch innere Belastungen (Personen, Beleuchtung, Computer, Geräte und Maschinen). Stoffliche Belastungen können von außen (z. B. Feinstaub) eingetragen werden, sie entstehen ebenfalls im Inneren des Gebäudes - durch das Gebäude und seine Ausstattung und die Nutzung selbst und durch die anwesenden Personen. Durch in der Luft befindliche Pathogene können Krankheiten ausgelöst werden. Dies hat die Corona-Pandemie eindrücklich gezeigt. Eine Reihe von Krankheitserregern (MSRA, Influenza, etc.) können über die Luft übertragen werden und zu Infektionen führen.

Elementare Aufgabe der Heiz-, Lüftungs- und Klimatechnik ist die Abfuhr von thermischen und stofflichen Raumlasten.

2. Problemstellungen im Kontext der Intensivstation/ Patientenzimmer auf ITS

Intensivstationen sind durch eine Vielzahl von medizinischen Geräten ausgestattet. Hierdurch kommt es zu einer relativ hohen thermischen Last. Diese hohe thermische Last kann in der Regel nicht durch natürliche Belüftung abgeführt werden, um die thermischen Behaglichkeitsanforderungen einzuhalten [1]. Der Einsatz von Lüftungs- und Klimatechnik ist zwingend erforderlich, zumal auch bekannt ist, dass es bei Raumklimabedingungen außerhalb des Behaglichkeitsfelds zu einem erhöhten Infektionsrisiko und zu Konzentrationsstörungen bei den arbeitenden Personen kommt [2-7].

Der Einsatz von Narkosegas, Schadstoffemissionen von Baumaterialien und die CO₂ Emissionen von Personen allein erfordern eine Be- und Entlüftung mit Außenluft. Hierdurch werde auch partikuläre Belastungen, zu denen ebenfalls Mikroorganismen (z. B. Bakterien/Viren) gehören, aus dem Raum entfernt. Die notwendige Außenluftmenge ist über die Emissionsstärken (Einsatz von Narkosegas, Qualität der Baumaterialien und Einrichtungen und Anzahl der Personen) zu ermitteln. Auf Intensivstationen ist davon auszugehen, dass die Patienten ein geschwächtes Immunsystem haben. Aus diesem Grund sind sie anfälliger für Infektionen jeglicher Art. Für diesen im Krankenhaus sensiblen Bereich sollte daher das Risiko einer Luftübertragung stärker abgemindert werden als in alltäglichen Räumen außerhalb des Krankenhauses.

3. Stand der Wissenschaft, Technik und Evidenz

Anforderungen an die thermischen und stofflichen Bedingungen, die im Raum herrschen sollen, sind als Zielwerte zu definieren.

Bei den thermischen Bedingungen hat sich ein Behaglichkeitsfeld etabliert: In Abhängigkeit der Tätigkeit und der Art der Raumnutzung sollten zum Beispiel Raumtemperaturen zwischen 20 und 26 °C bei einer relativen Feuchte von 30 bis 70 % eingehalten werden.

In Bezug auf stoffliche Lasten existieren für viele Luftfremdstoffe Grenzwerte, die aus gesundheitlichen Gründen nicht überschritten werden sollten, so z. B. Formaldehyd, Benzol, allgemein volatile organische Komponenten (VOC), aber auch CO₂, welches vom Menschen selbst emittiert wird. In Abhängigkeit der Emissionsstärke (abgebende Schadstoffmenge) wird die dem Raum notwendig zuzuführende unbelastete Luftmenge und damit der Abtransport belasteter Luft aus dem Raum berechnet und festgelegt. Als hygienisch unbedenkliche Raumluftqualität hat sich national und international ein CO₂ Gehalt von 1000 ppm (parts per million) in Innenräumen etabliert, was bei einem Außenluftvolumenstrom von 36 m³/h pro Person bei normaler, ruhiger Tätigkeit erreicht wird. Dabei dient der CO₂ Gehalt lediglich als allgemeiner Indikator für Luftschadstoffe in alltäglich genutzten Innenräumen. Dabei sind luftgetragene Erreger, die durch eine infektiöse Person eingebracht werden oder immunsupremierte Raumnutzende nicht inkludiert.

Wie viele über die Luft übertragene Pathogene notwendig sind, um eine Infektion auszulösen, ist in der Regel nicht bekannt. Ebenfalls ist die Emissionsstärke (Menge an Pathogenen, die von Personen in die Luft emittiert werden) tatsächlich unbekannt, obwohl es Anzeichen gibt, dass unterschiedliche Atemwegsaktivitäten (Atmen, Sprechen, Rufen, etc.) verschiedene Emissionsraten ergeben [8-14]. Allgemein gültig scheint jedoch zu sein: „Die Dosis macht das Gift“. Je mehr Pathogene aufgenommen werden, desto wahrscheinlicher kommt es zu einer Infektion. Eine absolute Wahrscheinlichkeit hängt von vielen zumeist unbekannten Faktoren ab, wie z. B. Art des Pathogens, Infektiosität, Immunstatus der exponierten Person. Für SARS-CoV-2 zum Beispiel werden die Zusammenhänge von Infektiosität und nicht-medizinischen Maßnahmen in [15] näher betrachtet. Die Erkenntnisse können analog auf andere über die Luft übertragbare Pathogene angewendet werden.

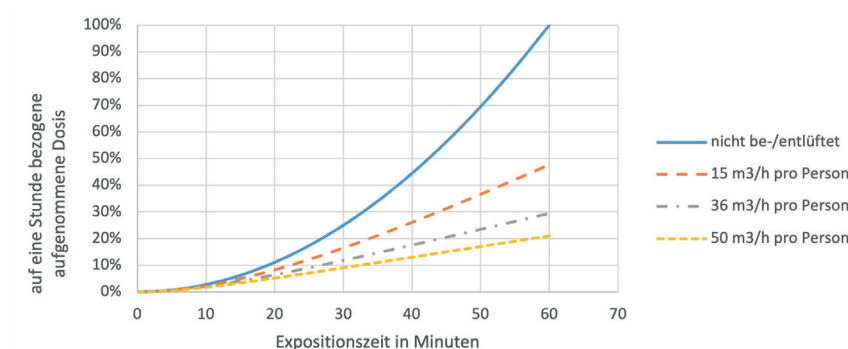


Abbildung 1

Exemplarische Darstellung des Zusammenhangs zwischen relativ aufgenommener Dosis, der Expositionszeit und der Lüftungsrate. Die relative Dosis basiert auf einer aufgenommenen Dosis in einem nicht gelüfteten Raum nach einer Stunde Aufenthaltszeit.

Die Abbildung 1 zeigt exemplarisch die von einer exponierten Person über die Atemwege aufgenommene relative Dosis in Abhängigkeit von der Aufenthaltszeit und von der personenbezogenen Lüftungsrate in einem lüftungstechnisch gut durchmischten Raum. Für die relative Betrachtung wird auf die inhalierte Dosis in einem ungelüfteten Raum nach einer Aufenthaltsdauer von einer Stunde normiert. Bei einem nicht gelüfteten Raum steigt die Dosis exponentiell an, bis sie nach einer Stunde den relativen Wert von 100 % erreicht hat. Im Falle einer Be- und Entlüftung hängt der lineare Anstieg von der Lüftungsrate ab.

4. Darstellung der Empfehlungen

Der Abbildung 1 ist zu entnehmen, dass sich die aufgenommene Dosis zwar mit zunehmenden Außenluftvolumenstrom (Lüftungsrate) reduziert, mit steigender Außenluftfrate gewinnt jedoch die Aufenthaltszeit an Bedeutung. So ist nach einer Stunde Aufenthaltszeit der Unterschied in der Dosis zwischen 36 m³/h pro Person und 50 m³/h pro Person nur ca. 10 Prozentpunkte, was bei größeren Unsicherheiten im individuellen Ausbreitungsverhalten der luftgetragenen Pathogene von untergeordneter Rolle ist. Werden die 100 m³/h pro Patient und 40 m³/h pro Person gem. DIN 1946-4:2018-09 [16] angesetzt, so ist selbsterklärend ein größerer Effekt zu sehen. Wie bereits in (3) erwähnt, ist die Infektionsdosis und die Emissionsrate unbekannt, womit entscheidende Grenzbedingungen zur Dimensionierung der Be- und Entlüftung fehlen.

Für die Auslegung der Be- und Entlüftung der Intensivstation ist eine Fallunterscheidung vorzunehmen und ein Schutzziel zu definieren. Wer könnte Emittent sein (Personal oder Patient)? Eine Basisraumlufthygiene mit einem CO₂ Gehalt in Höhe von 1000 ppm (36 m³/h pro Person) sollte unabhängig von weiteren Einflussgrößen eingehalten werden, siehe auch Arbeitsstättenrichtlinie ASR 3.6. Darüber hinaus ist der Immunstatus zu bewerten, wobei die Evidenz für infektionsschutzgerechtes Be- und Entlüften fehlt. Um zu berücksichtigen, dass die Patienten auf der Intensivstation ein geschwächtes Immunsystem haben, könnte dem mit einem Zielwert von 800 ppm / 50 m³/h pro Person Rechnung getragen, oder die in der DIN 1946-4:2018-09 geforderte Volumenströme angesetzt werden. Alternativ kann auch der neue ASHRAE Standard 241-2023 [17] (Control of Infectious Aerosol) Anwendung finden. Hier würden für Räume des Gesundheitswesens 72 bis 162 m³/h pro Person anfallen. Infektiöse Patienten, die eine über die Luft übertragbare Krankheit tragen, sollten unabhängig davon isoliert werden. Vorgaben hierzu macht die DIN 1946-4:2018-09.

Ist die Basisraumlufthygiene gewährleistet, so lassen sich luftgetragene Mikroorganismen und Partikel jeder Art ergänzend durch geeignete Filter (z. B. HEPA) aus der Luft abscheiden. Die Dimensionierung dieser Filteranlagen erfolgt nach dem eigenen subjektiven Sicherheitsbedürfnis. Je höher der „saubere“ Zu- und Abluftvolumenstrom, desto geringer das Infektionsrisiko.

5. Fazit/Ausblick

Thermische und stoffliche Lasten lassen sich durch Heizung-, Lüftungs- und Klimatechnik aus der Intensivstation abführen. Als Grundlage dienen thermische und raum-

lufthygienische Zielwerte. Im Gegensatz zu den thermischen existieren für die raumlufthygienischen Raumbedingungen lediglich für zahlreiche Luftfremdstoffe (z. B. Narkosegas, Formaldehyd, Benzol, VOC, CO₂, etc.) Grenzwerte. Für infektionspräventives Be- und Entlüften in Intensivstationen fehlt es jedoch an Evidenz. Es sollte in jedem Fall die Basisraumlufthygiene (1000 ppm / 36 m³/h pro Person) eingehalten werden. Darüber hinaus machen die DIN 1946-4:2018-09 und der ASHRAE Standard 241-2023 Angaben zu Zu- und Abluftvolumenströmen. Allerdings muss entgegengehalten werden, dass zwar hohe Lüftungsraten zu einer geringeren Infektionswahrscheinlichkeit führen, jedoch der Effekt auf das absolute Infektionsrisiko / die aufgenommene Dosis immer kleiner wird und die Aufenthaltsdauer an Bedeutung gewinnt.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2022): Handlungsempfehlungen für praxismgerechte Lüftungskonzepte. Fallstudien für Fensterlüftung und mechanische Lüftung in Aufenthaltsräumen mit hoher Belegungsdichte. Unter Mitarbeit von Olaf Böttcher und Bahar Saeb Gilani. Stand: März 2022. Bonn: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR). Online verfügbar unter <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:101:1-2023032910252255692787>.
- [2] Qiu, Y., Zhou, Y., Chang, Y., Liang, X., Zhang, H., Lin, X., Qing, K., Zhou, X., & Luo, Z. (2022). The Effects of Ventilation, Humidity, and Temperature on Bacterial Growth and Bacterial Genera Distribution. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 19, Issue 22, p. 15345). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph192215345>
- [3] Guarnieri, G., Olivieri, B., Senna, G., & Vianello, A. (2023). Relative Humidity and Its Impact on the Immune System and Infections. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 24, Issue 11, p. 9456). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijms24119456>
- [4] Beggs, C. B., Kerr, K. G., Noakes, C. J., Hathway, E. A., & Sleight, P. A. (2008). The ventilation of multiple-bed hospital wards: Review and analysis. In *American Journal of Infection Control* (Vol. 36, Issue 4, pp. 250–259). Elsevier BV. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2007.07.012>
- [5] Kommission Innenraumlufthygiene am Umweltbundesamt, "Das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 in Innenräumen lässt sich durch geeignete Lüftungsmaßnahmen reduzieren," Umweltbundesamt - Für Mensch und Umwelt, 2020
- [6] Milton DK, Glencross PM, Walters MD (2000) Risk of sick leave associated with outdoor air supply rate, humidification, and occupant complaints. *Indoor Air* 10:212–22
- [7] W. J. Fisk and Rosenfeld, "Health and Productivity Gains from Better Indoor Environments and Their Relationship with Building Energy Efficiency," *Annu. Rev. Energy. Environ.*, vol. 25, no. 1, pp. 537–566, Nov. 2000, doi: 10.1146/annurev.energy.25.1.537.
- [8] Asadi, S.; Wexler, A.S.; Cappa, C.D.; Santiago Barreda, S.; Bouvier, N.M.; Ristenpart, W.D. Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. *Sci. Rep.* 2019, 9, 2348
- [9] Asadi, S.; Wexler, A. S.; Cappa, C. D.; Barreda, S.; Bouvier, N. M.; Ristenpart, W. D. Effect of voicing and articulation manner on aerosol particle emission during human speech, *PLOSOne* 15(1), <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0227699>
- [10] Mürbe, D., Kriegel, M., Lange, J., Schumann, L., Hartmann, A., & Fleischer, M. (2021). Aerosol emission of adolescents voices during speaking, singing and shouting. In M. Döllinger (Ed.), *PLOS ONE* (Vol. 16, Issue 2, p. e0246819). Public Library of Science (PLOS). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246819>

- [11] Fleischer, M., Schumann, L., Hartmann, A., Walker, R. S., Ifrim, L., von Zadow, D., Lüske, J., Seybold, J., Kriegel, M., & Mürbe, D. (2022). Pre-adolescent children exhibit lower aerosol particle volume emissions than adults for breathing, speaking, singing and shouting. In *Journal of The Royal Society Interface* (Vol. 19, Issue 187). The Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rsif.2021.0833>
- [12] Mürbe, D., Kriegel, M., Lange, J., Rotheudt, H., & Fleischer, M. (2021). Aerosol emission in professional singing of classical music. In *Scientific Reports* (Vol. 11, Issue 1). Springer Science and Business Media LLC. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-93281-x>
- [13] Morawska, L.; Johnson, G.R.; Ristovski, Z.D.; Hargreaves, M.; Mengersen, K.; Corbett, S.; Chao, C.Y.H.; Li, Y.; Katoshevski, D. Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *J. Aerosol Sci.* 2009, 40, 256–269.
- [14] F. K. A. Gregson, N. A. Watson, C. M. Orton, A. E. Haddrell, L. P. McCarthy, T. J. R. Finnie, N. Gent, G. C. Donaldson, P. L. Shah, J. D. Calder, B. R. Bzdek, D. Costello und J. P. Reid: „Comparing Aerosol Concentrations and Particle Size Distributions Generated by Singing, Speaking and Breathing“, *Aerosol Science and Technology*, 2021.
- [15] Kriegel, M., Hartmann, A., Buchholz, U., Seifried, J., Baumgarte, S., & Gastmeier, P. (2021). SARS-CoV-2 Aerosol Transmission Indoors: A Closer Look at Viral Load, Infectivity, the Effectiveness of Preventive Measures and a Simple Approach for Practical Recommendations. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 19, Issue 1, p. 220). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/ijerph19010220>.
- [16] DIN 1946-4:2018-09, *Raumlufttechnik_ Teil_4: Raumlufttechnische Anlagen in Gebäuden und Räumen des Gesundheitswesens*. (n.d.). Beuth Verlag GmbH. <https://doi.org/10.31030/2881775>
- [17] ASHRAE, “ASHRAE Standard 241-2023: Control of Infectious Aerosols.” 2023

Licht und Beleuchtung

Dieter Lang, Fa. Ledvance GmbH

1. Bedeutung der Beleuchtung im Krankenhaus und speziell auf der Intensivstation	149
2. Problemstellungen im Kontext der Intensivstation/Patientenzimmer auf ITS	150
3. Stand der Wissenschaft, Technik und Evidenz	150
3.1. Stand der Wissenschaft	150
3.2. Bewertung von Licht und Normen	152
3.3. Technik	152
4. Darstellung der Empfehlungen	153
4.1. Anforderungen an HCL-Beleuchtung im Krankenhausbereich	153
4.1.1. Beleuchtungsstärken, Helligkeit	153
4.1.2. Blendung	153
4.1.3. Beleuchtung auf Fluren	154
4.1.4. Photobiologische Sicherheit	154
4.1.5. Intensiv- und Behandlungsbereiche	155
4.1.6. Licht am Abend und am frühen Morgen	155
4.2. Dynamik	156
4.3. Lichtmanagementsysteme	158
4.4. Flächigkeit	161
4.5. Farbqualität	161
4.6. Licht im Raum	162
4.7. Andere Lichtquellen	162
5. Architektonische Überlegungen zur Tageslichtversorgung	163
5.1. Lage der Intensivstation in Bezug auf gesamtes Ensemble	163

5.2. Lage der Intensivzimmer in Bezug auf das Gebäude	163
5.3. Lage der Intensivbetten in Bezug auf Tageslichtöffnungen	164
5.4. Beleuchtung des Raumes und des Patientenbettes	165
6. Entkeimung mit UV-C	167
7. Fazit/Ausblick	168
8. Literaturverzeichnis	169

1. Bedeutung der Beleuchtung im Krankenhaus und speziell auf der Intensivstation

In der Vergangenheit war die Beleuchtung im Krankenhaus im Wesentlichen daran orientiert, eine hochwertige und sichere Beleuchtung zu gewährleisten, welche den medizinischen Notwendigkeiten entspricht und medizinische Prozesse wie z. B. Untersuchungen oder pflegerische Tätigkeiten optimal zu unterstützen. In Intensivbereichen wird Licht rund um die Uhr benötigt, da auch die medizinischen und pflegerischen Arbeiten keine Nachtruhe zulassen. Dies führt häufig zu Störungen der Tag-Nacht-Rhythmik bei Patienten, da am Tag das erwünschte Tageslicht nicht ausreichend verfügbar ist, und störendes Licht in der Nacht kaum vermieden werden kann.

Initiiert durch die Entdeckung lichtempfindlicher retinaler Ganglienzellen in der Netzhaut des Menschen [7, 24] hat es im Laufe der letzten zwanzig Jahre in Bezug auf Licht einen enormen Wissenszuwachs gegeben, der sich im Wesentlichen darauf bezieht, dass Licht nichtvisuelle, biologische Prozesse beim Menschen steuert und beeinflusst. Das Wach-/Schlafverhalten gehört zu den prominentesten dieser Prozesse, aber auch die Aktivität am Tage, bei gesunden Menschen die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit sowie in hohem Maße auch das Wohlbefinden von Menschen wird durch Licht beeinflusst. Erkenntnisse, dass Patienten nach Krankenhausaufenthalten häufig an Schlafstörungen oder Depressionen leiden, passen zu Beobachtungen, dass auch Personen, die nicht im Krankenhaus waren, häufiger Schlafstörungen oder Depressionen entwickeln, wenn sie unter Umständen leben, bei denen nur eine geringe Tageslichtexposition gegeben ist, z. B. im Winter oder in höheren Breitengraden [18].

Studien in Alten- und Pflegeheimen haben gezeigt, dass künstliche Beleuchtung, die in Helligkeit und Verlauf am natürlichen Tagelicht orientiert ist, positive Wirkungen auf die Bewohner haben [19,23], wobei auch die Mitarbeiter von einer tageslichtorientierten Beleuchtung profitieren.

Studien im klinischen Bereich haben kürzere Verweildauern von Patienten und sogar reduzierte Sterblichkeitsraten nachgewiesen [4], wenn helles Licht zum Einsatz kommt.

Gerade bei Personen, deren Wohlbefinden nicht in einem guten Zustand ist, kann richtiges Licht zur richtigen Zeit Regenerations- und Heilungsprozesse unterstützen.

Dies legt nahe, eine ähnliche solche Beleuchtungssituationen, die als Human Centric Lighting (HCL) bezeichnet werden, auch auf Intensivstationen einzusetzen. HCL ist definiert als Beleuchtung, die eine positive psychologische oder physiologische Wirkung auf Menschen hat, indem sie visuelle, emotionale und biologische Wirkungen von Licht berücksichtigt [9,16]. Bewertungen eines wissenschaftlichen Konsortiums haben den Krankenhaus- und Gesundheitsbereich auf Basis vorhandener Studien als eines von fünf wesentliche Anwendungsfeldern für HCL identifiziert [20]. Erste Versuche in kleinem Maßstab sind durchweg positiv beurteilt worden, aber im Wesentlichen aus Kostengründen ist der Einsatz von HCL im Krankenhaus und insbesondere im Intensivbereich noch die Ausnahme.

Human Centric Lighting bedeutet nichts anderes, als dass der Patient und die Pflegenden im Fokus stehen und die Beleuchtung beide Gruppen optimal unterstützen soll.

2. Problemstellungen im Kontext der Intensivstation/Patientenzimmer auf ITS

Intensivstationen sind noch mehr als andere Stationen im Kranken- und Pflegeumfeld Bereiche, in denen das Wohl von Patienten sehr stark auch von Technik und bestens durchorganisierten Abläufen abhängt. Licht wird manchmal als Quelle für Störungen gesehen (zu hell, zu grell, zu dunkel, Blendung durch Sonnenlicht, u. v. m.), während das positive Potenzial von Licht, im Kontext mit Therapie und Krankenpflege nur zu selten realisiert wird. Das Thema erfordert interdisziplinäre Planung, da Beleuchtung, welche geplant wird, ohne medizinische und biologische Aspekte zu berücksichtigen, die medizinischen und pflegerischen Aspekte negativ beeinflussen könnte. Häufig wird Licht nur als technisches Gut gesehen, das vom Gebäudemanagement bereitzustellen ist. Dies wird der hohen Bedeutung von Licht für Gesundheit und Wohlbefinden nicht gerecht. Dies gilt schon für die Wirkungen von Licht auf Beschäftigte, erst recht auf Patienten, die einer besondere Fürsorge bedürfen.

Anforderungen an das Licht aus Patientensicht können sich von Anforderungen aus Sicht der Pflegenden unterscheiden. Mit einem interdisziplinärem Planungskonzept können Widersprüche minimiert werden und ein für beide Gruppen gutes Ergebnis erzielt werden. Neben Experten für Lichtplanung und -Anwendung sollen Experten für die medizinischen Anforderungen und Arbeitsschutzexperten beteiligt sein.

3. Stand der Wissenschaft, Technik und Evidenz

3.1 Stand der Wissenschaft

Licht ist nicht nur wichtig zum Sehen, sondern wesentlich für die Gesundheit des Menschen. Die Grundlagen dieser Erkenntnisse wurden bereits in den 60er Jahren gelegt, als nachgewiesen wurde, dass Licht den Tag-Nacht-Rhythmus von Menschen steuert. Ein mit dem natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus synchroner circadianer Rhythmus von Menschen ist nur möglich, wenn auch die regelmäßige Synchronisierung des biologischen Systems durch Lichtexposition am Tag gegeben ist. Damals wurden Freiwillige für Wochen vom Tageslicht und anderen äußeren Informationen isoliert im Halbdun-

keln hinsichtlich ihres Wach- Schlafverhaltens untersucht. Dadurch wurde die synchronisierende Wirkung des Lichts auf die im Dunkeln freilaufende innere Uhr nachgewiesen [1].

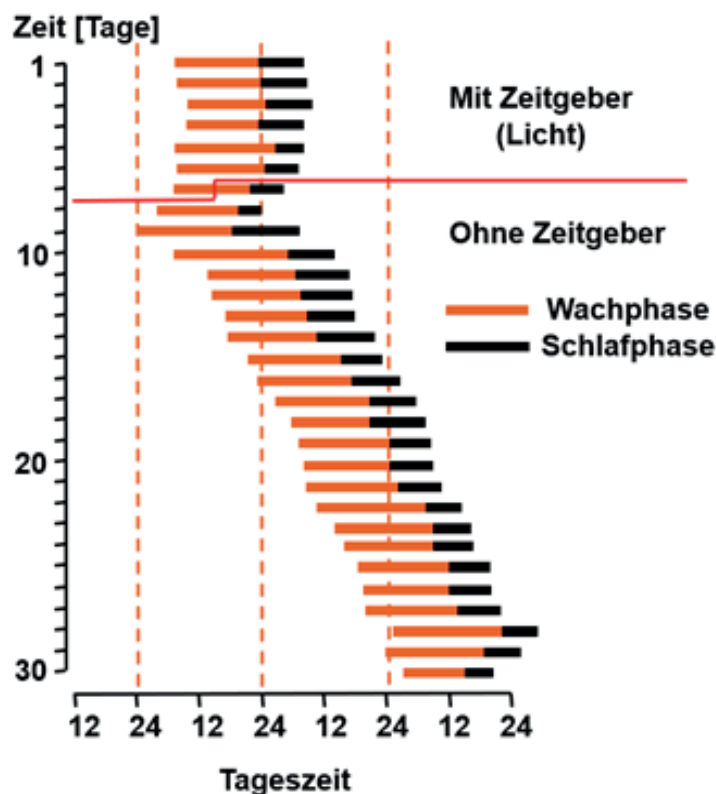


Abbildung 1

Ergebnisse von Wever und Aschoff nach [1]
Ohne Synchronisation durch helles Tageslicht läuft der circadiane Rhythmus der Versuchsperson frei und nicht mehr synchron zum äußeren Tag.

Frühe medizinische Anwendungen betrafen Lichttherapie, die in den 1980er Jahren erfolgreich eingeführt wurde, vgl. z. B. [25]. Die Wirkungen wurden an sichtbarem Licht nachgewiesen und entsprechend dem visuellen System des Menschen zugeordnet. Erst zu Beginn der 2000er Jahre wurde im menschlichen Auge eine neue Klasse von Fotorezeptoren nachgewiesen, die nicht zur Bildgebung beiträgt, sondern biologische Prozesse steuert [6,7,24]. Diese Rezeptoren sind eine Unterklasse der retinalen Ganglienzellen, die als intrinsisch lichtempfindlich (intrinsic photosensitive retinal ganglion cells, ipRGC) bezeichnet wird. In der Folge wurden diese Wirkungen auch als nichtvisuelle Wirkungen von Licht bezeichnet. Englisch non-visual effects, non-image-forming (NIF) effects und seit 2018 auch als ipRGC influenced effects of light (ILL) [10].

Vereinfacht kann gesagt werden, dass diese Klasse von Fotorezeptoren die Aufgabe hat, über das menschliche Auge die Verfügbarkeit von Tageslicht zu messen und den menschlichen Körper entsprechend zu steuern.

Positive Wirkungen wurden in vielen Studien nachgewiesen. Die Entwicklung therapeutischer Anwendungen von Licht ist u. A. beschrieben in Chronotherapeutics for Affective Disorders [26]. In Studien wurde nachgewiesen, dass sich die Verweildauer von Patienten in Kliniken durch Licht verkürzen lässt [21,22,22].

Eine Analyse des Potenzials für positive Wirkungen in verschiedenen Anwendungsbereichen wurde im Rahmen des EU-geförderten Forschungsprojektes SSL-erate durchgeführt. Im Abschlussbericht ist ein eigenes Kapitel zu Anwendungen im Gesundheitsbereich enthalten [20]. Darin wird empfohlen, so weit wie möglich Tageslicht zu nutzen, bzw. Tageslicht mit künstlicher Beleuchtung zu simulieren.

Für lange Zeit gab es zwar immer wieder Studien mit positiven Ergebnissen und auch Forderungen seitens der Wissenschaft, die Paradigmen für die Innenbeleuchtung zu ändern und die neuen Erkenntnisse in die Anwendung umzusetzen, allerdings fehlten konsensbasierte Empfehlungen für neue Zielwerte. Das hat sich in den letzten zwei Jahren deutlich geändert.

3.2 Bewertung von Licht und Normen

Zunächst kam die Einigung auf eine Metrik zur Bewertung von Licht im Hinblick auf seine nichtvisuellen Wirkungen. Die Internationale Norm CIE S 026:2018 [10] definierte Wirkungsspektren zur Bewertung von Licht. Zusätzlich zu den bekannten Wirkungsspektren für die Empfindlichkeit der für das visuelle System relevanten Zapfen und Stäbchen kam die Empfindlichkeit der melanopsinhaltigen retinalen Ganglienzellen hinzu. Man hat somit drei Empfindlichkeitskurven für die Zapfen, eine für die Stäbchen und eine für die retinalen Ganglienzellen ipRGC.

Im Rahmen wissenschaftlicher Studien sollte Licht hinsichtlich aller fünf Empfindlichkeitskurven bewertet werden. Neue Studien, z. B. [8] kommen jedoch zu dem Ergebnis, dass für die Anwendung in der Praxis die Bewertung über die ipRGC hinreichend genau ist, um Licht zu planen oder zu beschreiben.

Die Mess- und Zielgröße für die Beleuchtungsstärke, die bei Menschen relevant ist, ist MEDl, wie in Beleuchtungsstärken, Helligkeit im Detail dargelegt.

3.3 Technik

Die klassische Beleuchtungstechnik ist vollständig durch LED-Technologie ersetzt. LED-Lichtquellen sparen im Vergleich zu den früher etablierten Leuchtstofflampen bis zu 50 % an Energie. Zusätzlich sind LED leicht steuerbar, so dass energieeffiziente Lichtmanagementsysteme zu günstigen Kosten verfügbar sind. Diese integrieren Sensorik, welche weitere signifikante Energieeinsparungen ermöglichen. Im Hinblick auf Lichtqualität sind moderne LED-Systeme den klassischen Systemen mit Leuchtstofflampen inzwischen deutlich überlegen. Die hohe Lebensdauer von hochwertigen LED-Systemen gemeinsam mit der Energieeinsparung und dem reduzierten Wartungsaufwand führen über die Lebenszeit gerechnet zu geringeren Kosten.

4. Darstellung der Empfehlungen

4.1 Anforderungen an HCL-Beleuchtung im Krankenhausbereich

4.1.1 Beleuchtungsstärken, Helligkeit

Wesentlich für die nichtvisuelle Wirkung ist die Beleuchtungsstärke am Auge, bewertet mit der Empfindlichkeit des nichtvisuellen Systems. Die Größe, die dies beschreibt, ist die melanopisch äquivalente Tageslicht-Beleuchtungsstärke (MEDI, für melanopic equivalent daylight illuminance) nach DIN/TS 5031-100:2021 [14]. Falls die Patienten im Wesentlichen liegen, sollte die Beleuchtungsstärke am Auge als horizontale Beleuchtungsstärke geplant werden, falls sie eher sitzen als vertikale bzw. zylindrische Beleuchtungsstärke.

Der Ausgangswert für eine ausreichende biologische Wirksamkeit ist ein Wert von 250 lx für MEDI. Dieser Zielwert ist in DIN/TS 67600 [15] definiert und basiert auf u. A. auf einem Konsenspapier einer Gruppe von 18 führenden Wissenschaftlern. Diese hatten Studien der letzten zwanzig Jahre bewertet und diesen Zielwert für die Beleuchtung über den Tag hinweg definiert; gültig für Personen, die am Tag aktiv sind [8]. Der Zielwert von 250 lx gilt nur bei Personen um 32 Jahre und nur bei der Nutzung von Tageslicht. Bei älteren Personen sind altersabhängige Korrekturen nach DIN/TS 5031 100 bzw. CIE S 026 [14, [10] durchzuführen. Weiterhin ist bei künstlicher Beleuchtung mit Lichtquellen, die andere Spektralverteilungen als Tageslicht haben, der Zielwert für MEDI mit dem lichtartabhängigen Faktor MDER zu korrigieren. Daraus ergibt sich ein Wert um 600 lx für die Beleuchtungsstärke am Auge bei Patienten mittleren Alters um 50 Jahre und der Verwendung von kaltweißem Licht bei großflächiger Beleuchtung. Bei älteren Patienten kann diese Anforderung bis 1200 lx (bei 85 Jahren) gehen. Vorausgesetzt ist hier eine tageslichtähnliche Lichtfarbe von ca. 6500 K. Der Umrechnungsfaktor für andere Lichtfarben ergibt sich nach DIN/TS 5031-100 bzw. aus der internationalen Norm CIE S 026.

In der Anwendung bedeutet dies, dass in Räumen, die von vielen Personen gleichzeitig genutzt werden, ein mittleres Alter der Nutzer anzunehmen ist. Dabei ist eine Orientierung an den älteren Personen sinnvoll, da für diese die hohen Werte relevant sind. Bei jüngeren Personen ist eine Beleuchtung mit höheren Werten nicht schädlich, aber unnötig und energetisch nicht sinnvoll. Daher bietet es sich an, bei Einzelzimmern, wie häufig auf Intensivstationen, die maximale Beleuchtungsstärke anpassbar an die individuellen Daten der jeweiligen Patienten zu realisieren.

4.1.2 Blendung

Da die Patienten über lange Zeiten liegen und gegen die Decke schauen, muss vermieden werden, dass diese geblendet werden. Die Norm für Krankenhausbeleuchtung DIN 5035-3 [11] sieht eine Begrenzung von sichtbaren Leuchtdichten auf 1000 cd/m² vor. In Kombination mit hohen Beleuchtungsstärken ist dies nur bei sehr großflächiger Beleuchtung realisierbar. Bei modernen Anlagen, die zur Demonstration von neuen Designmöglichkeiten realisiert wurden, sind große leuchtende Flächen über dem Patientenbett gezeigt worden [13]. In der Realität und bei bestehenden Räumen sind Konflikte mit verfügbarem Platz an der Decke wahrscheinlich. Ggf. kann die zu-

lässige Leuchtdichte auf mittlere Werte bis max. ca. 2000 – 3000 cd/m² erhöht werden, wenn Kontraste vermieden werden. D.h. keine dunklen Bereiche in unmittelbarer Nähe zu den hellen Flächen. Leuchten mit seitlicher Deckenaufhellung ohne dunkle Zonen sind geeignet.

Es ist aber zu beachten, dass der Wunsch nach höheren Beleuchtungsstärken am Auge im Allgemeinen im Widerspruch zu den Anforderungen an niedrige Leuchtdichten an der Raumdecke nach DIN 5035-3 steht. Ggf. ist hier abzuwägen, in welchem Maße diese Begrenzungen geplant und nach Absprache überschritten werden dürfen.

Die Einhaltung der Anforderungen an Bildschirmarbeitsplätze ist nach DIN EN 12464-1 erforderlich [12], da Patientenzimmer auch Arbeitsplätze sind. Aus Patientensicht sind aber z. B. Rasterleuchten u. ä., die bei steilen Blickwinkeln noch direkten Blick auf die Lichtquelle zulassen, zu vermeiden. Direkter Blick auf LED ist auf alle Fälle zu vermeiden. Maximale Leuchtdichten bei direktem Blick sollten ca. 3000 – 5000 cd/m² in keinem Fall überschreiten.

Dieser Punkt ist kritisch und häufig nicht ohne Kompromisse lösbar, da einerseits eine hohe nichtvisuell wirksame Beleuchtungsstärke am Auge erreicht werden soll, gleichzeitig Blendung des visuellen Systems zu vermeiden ist. Große leuchtende Flächen können häufig nicht realisiert werden. Großflächige Leuchten und indirekt angestrahlte Wand-, Decken- oder andere Sekundärflächen sind geeignete Lösungsansätze.

4.1.3 Beleuchtung auf Fluren

Für die Beleuchtung in Fluren ist darauf zu achten, dass die Flure hell und frei von Schlagschatten ausgeleuchtet sind. Bei langen Fluren ist besonders auch die Reflexblendung an spiegelnden Oberflächen, auch auf dem Fußboden, zu vermeiden. Dies gilt besonders in Alten- und Pflegeheimen, bei dementen Patienten und bei Personen mit Sehschwächen. Schlagschatten und Spiegelungen können starke Irritationen hervorrufen und das Sturzrisiko deutlich erhöhen. Auswahl der Leuchten nur hinsichtlich des UGR-Wertes ist nicht ausreichend. Auch maximale Leuchtdichten unter den für Spiegelungen relevanten Blickwinkeln sind zu beachten. Ggf. ist eine indirekte Beleuchtung durch die Anstrahlung von Decken und Wände sinnvoll.

Die Flure sind nicht notwendigerweise mit einer gleichartigen HCL-Beleuchtung auszustatten wie die Patientenzimmer, da sich Patienten dort nicht regelmäßig aufhalten. Allerdings ist es irritierend und kann unangenehm wirken, wenn die Beleuchtung auf den Fluren vom Patientenzimmer aus einsehbar ist (z. B. durch Sichtfenster). Für das Personal ist ein häufiger Wechsel zwischen verschiedenen Beleuchtungssituationen ebenfalls störend. Daher sollte die Flurbeleuchtung mit der Beleuchtung der Patientenzimmer harmonisieren. Zumindest sollte kein störender Kontrast in Helligkeit oder Lichtfarbe auftreten. Dies gilt besonders in Altenheimen oder Reha-Einrichtungen, wo Patienten oder Bewohner häufig die Flure auch zum Verweilen nutzen. Dort sollten Flure und Aufenthaltsbereiche in das HCL-Beleuchtungskonzept einbezogen werden.

4.1.4 Photobiologische Sicherheit

Photobiologische Sicherheit bzgl. Blaulichtschädigung nach EN 62471 und OStrV-vom 26. Juli 2010 ist bis zu Leuchtdichten von ca. 10000 cd/m² selbst bei kaltweißen Licht-

quellen mit hohen Blauanteilen gegeben. Solche Leuchtdichten gelten noch als risikolos (Exempt group) auch bei dauerhafter Nutzung.

Es ist zu beachten, dass dies für die berufliche Exposition gilt. Für die Risikobewertung in anderen Anwendungen (z. B. auch im Krankenhaus) gibt es keine spezifischen Regeln.

Vorsicht ist geboten bei der Anwendung hoher Leuchtdichten bei Kindern, da deren Linsentransmission höher ist und damit höhere Strahldichten auf die Netzhaut aufreffen. Ebenso bei Patienten nach Linsenextraktion sowie bei Patienten mit AMD. Insbesondere bei AMD können hohe Blauanteile den Fortgang der Krankheit beschleunigen.

Auch wenn die in Blendung genannten 1000 - 5000 cd/m² deutlich weniger als 50 % des oben genannten unkritischen Wertes darstellen, sollte bei solchen Patienten ein Augenmediziner beratend hinzugezogen werden, bevor hohe Leuchtdichten mit hohen Blauanteilen zum Einsatz kommen. Selbst wenn im Patientenzimmer die Beschränkung auf 1000 cd/m² überschritten wird, liegt der Wert so weit unterhalb der kritischen 10.000 cd/m², dass die photobiologische Sicherheit als gesichert anzusehen ist.

4.1.5 Intensiv- und Behandlungsbereiche

In Intensiv- und Behandlungsbereichen sind nach DIN 5035-3 horizontale Beleuchtungsstärken von 1000 lx für medizinische Interventionen vorzusehen. Da dies in etwa der Beleuchtungsstärke entspricht, wie sie auch für ausreichende circadiane Wirkung erforderlich ist, bietet sich an, beides zu kombinieren. Es ist dann möglich, die circadiane Beleuchtung im Bedarfsfall auch als Interventionsbeleuchtung einzusetzen. Auch die Forderung nach einem Farbwiedergabeindex $R_a \geq 90$ in Intensiv- und Behandlungsbereichen passt gut zu dem Ansatz für hohe nichtvisuelle Wirkungen des Lichts. Auch am Abend, wenn die nichtvisuelle Wirkung über die Lichtdynamik zurückgefahren wird, kann eine "Notfallbeleuchtung" mit einer intelligenten Lichtsteuerung als eigene Szene realisiert werden, die jederzeit aktiviert werden kann.

4.1.6 Licht am Abend und am frühen Morgen

Die nichtvisuelle Wirkung von Licht sollte am zu diesen Zeiten minimiert werden. Dies optimiert die Lichtdynamik zwischen Tag und Nacht und verbessert die circadiane Synchronisierung durch Licht. Insbesondere in Umgebungen, in denen die natürliche Tageslichtdynamik für die Nutzer nicht wahrnehmbar ist, wie z. B. auf Intensivstationen, ist dies von zentraler Bedeutung. Für die Abendbeleuchtung und am frühen Morgen soll daher nur so viel Licht zum Einsatz kommen, wie zur Orientierung oder für die dann noch zu erledigenden Tätigkeiten erforderlich ist. Im Allgemeinen sollten 200-250 lx ausreichen. Die warmweiße Beleuchtung kann mit einer getrennten Leuchte am Bett realisiert werden, damit nicht der gesamte Raum ausgeleuchtet wird.

Übrigens ist es nicht nur für die Patienten wichtig, am Abend keine tageslichtähnliche Beleuchtung mit kaltweißem Licht zu haben, sondern für die Pflegenden gleichermaßen. Krankenhäuser und Intensivstationen müssen nämlich auch als Arbeitsplätze gesehen werden. Seitens des Arbeitsschutzes wird empfohlen, nachts keine Beleuchtung mit Farbtemperaturen über 4100 K einzusetzen [2].

Eine warmweiße Beleuchtung sollte am Abend Lesen im Bett ermöglichen. Eine Leseleuchte ist nach DIN 5035-3 vorzusehen. Evtl. kann die Leseleuchte gleichzeitig die warmweiße Grundbeleuchtung am Abend übernehmen.

Für die Nacht ist ein Orientierungslicht mit niedrigen Beleuchtungsstärken vorzusehen, welches unterhalb der Betthöhe den Boden ausleuchtet. Dieses sollte nahezu keine Blauanteile enthalten. Es sollte nicht nur den Patienten sondern auch dem Pflegepersonal Orientierung und Sicherheit im Raum geben. Bei LED können gelbe oder orange Lichtfarben realisiert werden. Das Orientierungslicht kann sich bei Bewegung im Raum, z. B. bei nächtlichem Aufstehen automatisch einschalten bzw. von einer minimalen Grundstufe auf ein höheres Niveau einstellen.

Es werden nur sehr niedrige Beleuchtungsstärken benötigt; ca. 5 lx bis max. 50 lx in Bodennähe. Eine Minimierung der nichtvisuellen Wirkung ist auch möglich mit LED, die nur eine Mischung aus rotem und grünem Licht emittieren. Mittlerweile gibt es LED, welche „amber“, also ein Orange-Rot als Lichtfarbe ohne Blauanteile bereitstellen. Möglich sind auch Lichtfarben um 2200 K mit Blauanteilen, die ähnlich gering sind wie bei Kerzenlicht.

Das Orientierungslicht sollte keine Ausstrahlung in Richtung Gesichtsfeld des Patienten aufweisen.

4.2 Dynamik

Eine Orientierung der Wirkungen des Lichts am natürlichen Tageslichtverlauf ist nur mit dynamischem Licht möglich, welches tageszeitabhängig gesteuert wird.

Die Dynamik zeichnet sich durch warmweißes Licht am frühen Morgen und späteren Nachmittag und Abend aus und durch tageslichtweißes Licht über den Tag mit Schwerpunkt Vormittag. Dies entspricht hinsichtlich der Wirkung des Lichts auf das biologische System dem Stimulus des natürlichen Lichtes.

Die Steuerung muss mit einer Echtzeituhr erfolgen, die auch nach Stromausfall wieder in den "richtigen Takt" findet.

Beginn und Ende der Dynamik sollen an den Zeiten des Sonnenaufgangs und -untergangs orientiert sein. Kurze Tage im Winter können „verlängert“ werden, aber nicht um mehrere Stunden, sondern max. auf eine Tageslänge von ca. 10 Stunden.

Die Dynamik sollte günstigstenfalls tagesgenau sein. Falls dies nicht möglich ist, können auch saisonale Lichtdynamiken realisiert werden. Es ist dann sicherzustellen, dass die Beleuchtungsanlage auch entsprechend der Jahreszeit umgestellt wird.

Mittlerweile sind in hochwertigen Lichtsteueranlagen Astro-Funktionen integriert, die eine tag- und ortsgenaue Steuerung ermöglichen.

Tageslichtweißes Licht heißt, dass die Farbtemperatur etwa 6500 K beträgt, entsprechend dem Tageslicht. Wenn Direkt- und Indirektanteile getrennt sind, kann der tageslichtweiße Indirektanteil auch eine noch höhere Farbtemperatur als 6500 K haben. Hohe Farbtemperaturen sind aus Gründen der Energieeffizienz erforderlich. Bei niedrigeren Farbtemperaturen am Tag würden höhere Beleuchtungsstärken benötigt, was zu einem erhöhtem Energieverbrauch führt.

Warmweiß heißt 2700-3000 K oder niedriger; bis 2500 K. Warmweißes Licht hat geringere melanopisch wirksame Anteile und vermeidet eine Stimulierung des nichtvisuellen Systems wie durch Tageslicht.

Leuchten, in denen die Option einer veränderlichen Farbtemperatur mit warmweißem und kaltweißem Licht realisiert ist, werden als „Tunable White“ bezeichnet. Mit solchen Leuchten und einer geeigneten Steuerung sind Dynamiken wie in Dynamik genannt, einfach zu realisieren. Darüber hinaus kann eine künstliche Morgen- und Abenddämmerung realisiert werden (Aufwach- und Einschlaflicht). Dies kann durch LED mit RGB (Rot-Grün-Blau LED) als Stimmungslicht unterstützt werden.

Die Dynamik soll in ihrem grundsätzlichen Verlauf durch den Patienten nicht veränderbar sein. Individuelle Eingriffe zur zeitlichen Reduzierung der Helligkeit können ermöglicht werden. Die Aktivierung von Sonderfunktionen wie sehr hellem, blauhaltigem Licht am Abend oder nachts sind dem Pflegepersonal vorzubehalten, das entsprechend eingewiesen ist. Auch eine Ausdehnung der tageslichtähnlichen Beleuchtung über die geplante „Sonnenuntergangszeit“ hinaus soll dem Patienten nicht ermöglicht werden.

Für Notfälle soll das medizinische Personal die Möglichkeit haben, die Helligkeit des Beleuchtungssystems zu jedem Zeitpunkt, auch in der Nacht, auf einen hohen Wert zu stellen. Die Erhöhung der Farbtemperatur soll dabei dennoch auf Werte um max. 4000 K begrenzt bleiben [2,15]. Dies soll einfach möglich sein, aber dennoch in einer Form abgesichert, dass es dem Patienten oder Besuchern im Normalfall nicht einfach möglich ist, die Helligkeit über vorgesehene Grenzen hinaus zu verändern.

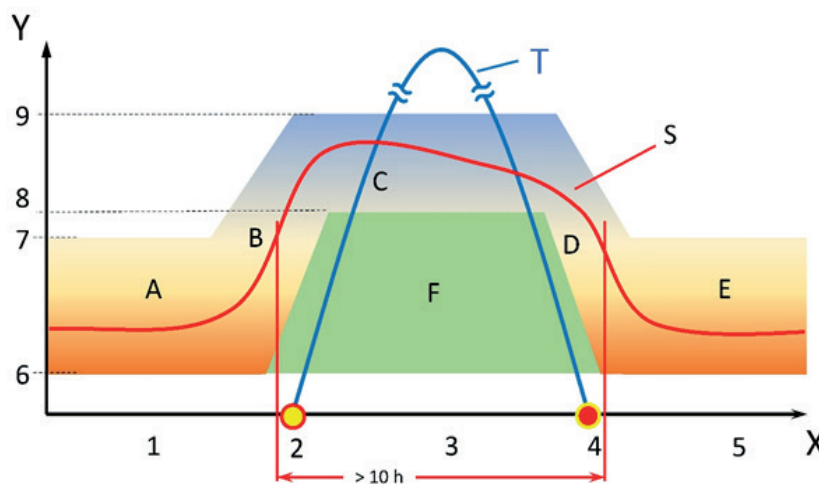


Abbildung 2
Symbolischer Dynamikverlauf nach DIN/TS 67600 für das Beispiel von kurzen Tagen im Winter.

Der Verlauf (S) der Beleuchtungsstärke orientiert sich nicht nur am natürlichen Tageslichtverlauf (T), sondern berücksichtigt auch verschiedene andere Parameter:

- zu kurze Tage (z. B. im Winter) können mit künstlicher Beleuchtung auf etwa 10 Stunden verlängert werden, um eine ausreichende Lichtdosis über den Tag hinweg sicherzustellen.

Lange Tage im Sommer sollen nicht verlängert werden, aber auch nicht im Innenraum künstlich verkürzt werden, da beim Verlassen eines Raumes, der bereits auf Abend- oder Nachtbeleuchtung umgestellt ist, durch das Tageslicht ein starker, unangenehmer Kontrast entsteht.

- minimale Beleuchtungsstärken (6) werden aus Sicherheitsgründen nicht unterschritten.
- maximale Beleuchtungsstärken in der Nacht (7) werden nicht überschritten, um Störungen des circadianen Systems zu minimieren.
- minimale Beleuchtungsstärken am Tag (8) werden nicht unterschritten, um ausreichende Aktivierung und Synchronisation des circadianen Systems sicherzustellen.
- der Planungswert der Anlage (9) ist durch die maximal angestrebte nichtvisuelle Wirkung am Tag definiert und berücksichtigt das Alter der Nutzer und die Art der verwendeten Lichtquellen.
- In der Nacht (A und E) ist eine Beleuchtung mit möglichst geringer nichtvisueller Wirkung angestrebt, die im Wesentlichen durch Sicherheitsanforderungen bestimmt wird. Über den Tag (C) wird eine ausreichende nichtvisuelle Wirkung angestrebt, wie in Beleuchtungsstärken, Helligkeit dargelegt.
- Der Übergang zwischen Nacht und Tag am Morgen (B) ist relativ kurz, d.h. ca. eine Stunde.
- Der Übergang am Nachmittag zum Abend und zur Nacht ist etwas länger, d.h. 2-3 Stunden. Etwa 2-3 Stunden vor der geplanten Einschlafzeit sollte nur noch Licht mit geringer nichtvisueller Wirkung zum Einsatz kommen.
- Der Bereich (F) ist ein Sonderfall für den Tag. In Pausenräumen, Besprechungsräumen aber natürlich auch in Patientenbereichen können am Tag auch entspannende Lichtsituationen mit niedriger Beleuchtungsstärke und niedriger Farbtemperatur gewählt werden. Diese Option sollte jedoch kein Dauerzustand sein, sondern nur gezielt durch Nutzereingriff zugänglich sein. Ggf. auch nur für eine beschränkte Nutzungszeit, abhängig von der Anwendung.

Die genauen Planungswerte ergeben sich aus der interdisziplinären Planung unter Berücksichtigung der verschiedenen Nutzeranforderungen.

4.3 Lichtmanagementsysteme

Eine für das Personal einfache und intuitive Bedienung der Beleuchtung ist essenziell. Die höhere Komplexität der Beleuchtungsanlage durch das dynamische Raumlicht, separates Interventionslicht und Orientierungslicht darf nicht zu komplexen Bedienelementen führen. Ein professionelles Lichtmanagementsystem sorgt für eine auto-

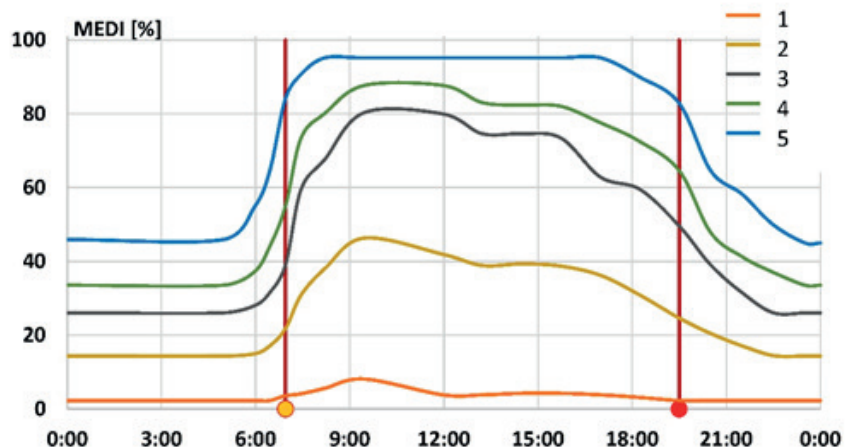
matisierte Steuerung und zugleich vereinfachte Bedienung der Beleuchtungsanlage:

- Die Ansteuerung der dynamischen Lichtkurven, um die biologische Wirkung des Lichts (HCL) zu ermöglichen, soll automatisch und ohne den Eingriff des Personals erfolgen.
Nutzerspezifische Eingriffe zur Auswahl anderer Dynamiken oder Lichtszenarien verbessern die Nutzerakzeptanz, müssen aber sicher sein in dem Sinne, dass unwissende Nutzer keine Einstellungen wählen können, die für sie oder andere negative Auswirkungen haben könnten.
Intelligente Systeme erlauben Nutzereingriffe zur Auswahl von Lichtszenarien, aber schränken abhängig von Tages- oder Jahreszeit und/oder anderen Parametern die Auswahlmöglichkeiten ein.
- Intelligente Systeme, welche „falsche“ Einstellungen nicht zulassen, können in gewissen Grenzen sogar von Patienten – sofern sie dazu in der Lage sind – bedient werden.
- Tageslichtregelung. Das Beleuchtungskonzept stellt zunächst eine hohe Beleuchtungsstärke zu jeder Zeit des Tages sicher, ohne den Einfall von Tageslicht durch Fenster zu berücksichtigen. Mittels Lichtsensoren kann ein Lichtmanagementsystem die Beleuchtungsstärke automatisch auf dem richtigen Niveau halten, indem die Leuchten bei vorhandenem Tageslicht gedimmt werden. Dies führt zu erhebliche Energieeinsparungen.
- Der Einsatz von Anwesenheitssensoren kann in vielen Bereichen zusätzlich Energie einsparen aber der Nutzen im Patientenzimmer auf der Intensivstation ist begrenzt, da die Beleuchtung bei ruhenden Patienten nicht abschalten soll.
- Durch die Bildung von Leuchtengruppen und/oder Lichtszenarien für bestimmte Aufgaben oder Situationen können mittels weniger Lichtschalter/Bedienelemente alle denkbare Beleuchtungsaufgaben einfach und intuitiv vom Personal eingestellt werden.
- Neben Sensorik zur Erfassung von Tageslicht und Anwesenheit können auch Steuerungsaufgaben durch Sensoren übernommen werden. Statt klassischer Lichtschalter sind Näherungsschalter denkbar. Damit können gezielt Schaltaufgaben durch das Personal ausgelöst werden, ohne einen mechanischen Schalter zu berühren. Dies reduziert auch Übertragungsrisiken von Keimen an Schaltelementen. Die Entfernung, in der der Schalter aktiv wird, muss entsprechend gering gewählt werden. Dies ermöglicht auch Sicherheitskonzepte für das Aktivieren bestimmter Schaltvorgänge wie z. B. sehr helles Licht in der Nacht, das nur in Notfällen zum Einsatz kommen soll.

Systeme, wie sie kommerziell erhältlich sind, bieten nachfolgend beschriebene Optionen.

Als Beispiel zeigt Abbildung 3, für einen Tag zu Ende März am Standort Salzburg, welche Tageslichtverläufe möglich sind:

Abbildung 3
Wählbare Dynamikverläufe über den Tag
bei einem kommerziell verfügbaren
DALI-Lichtmanagementsystem.



Das System auf Basis des DALI-Protokolls ermöglicht eine automatische Dynamik, die am Verlauf des natürlichen Tageslichtes, definiert durch Sonnenaufgang und Sonnenuntergang orientiert ist. Für jeden Tag wird der Kurvenverlauf nach astronomischen Berechnungen für den jeweiligen Standort neu bestimmt.

In einem konkreten Fall würde die Anlage auf einen Maximalwert für MEDl von 800 lx geplant. Dieser Wert, gemessen am Auge, ist für Personen im Alter bis ca. 80 Jahre angemessen. Im Standardbetrieb läuft die Anlage auf der Kurve, die mit „3“ bezeichnet ist, entsprechend einem Maximalwert von 80 %, also 640 lx am Vormittag. Über den Lauf des Tages geht diese Kurve zurück auf 60 %, entsprechend 480 lx. Dieser Verlauf ist für Patienten und Pflegende gleichermaßen geeignet.

Am Abend kann für die Patienten automatisch auf eine der Kurven „1“ oder „2“ umgestellt werden. Damit werden die Werte für MEDl deutlich geringer und eine Störung durch Licht vor dem Einschlafen ist ausgeschlossen. Allerdings ist diese Beleuchtung am Abend nicht mehr geeignet zum Arbeiten, da die Beleuchtungsstärken für Arbeitsplätze zu niedrig sind.

In Stationszimmern oder anderen Arbeitsbereichen ist daher für die Nachtschicht einer der Verläufe „4“ oder „5“ angemessen. Die Beleuchtungsstärken bleiben auf einem Niveau, welches noch sicheres Arbeiten gewährleistet, während die Farbtemperatur auf Werte deutlich unter 4000 K zurückgeht. Nach einer Empfehlung der BAuA soll nachts keine Farbtemperatur über 4100 K zum Einsatz kommen [2]. Das System ist sicher und vermeidet irrtümliche Falscheinstellungen durch Nutzer, wie z. B. kaltweißes Licht in der Nacht.

Bei geeigneten Systemen sind alle fünf Verläufe im System integriert, und werden täglich für den Ort der Installation neu berechnet. Die Anlage läuft automatisch auf einer der Kurven und schaltet auch zu gegebener Zeit wie oben beschrieben automatisch auf einen adäquaten Verlauf um. So ist kein Eingriff seitens des Pflegepersonals notwendig. Gleichzeitig ist es aber einfach möglich, per Tastendruck Sonderfälle für hellste Beleuchtung bei Notfällen oder entspannende Beleuchtung auch am Tag per Nutzerwahl zu ermöglichen. Was sich kompliziert anhört, muss in der Planungsphase einmal im Detail durchgeplant werden. Die Implementierung und Realisierung selbst ist dank der Verfügbarkeit intelligenter Lichtmanagementsysteme dann wieder einfach.

4.4 Flächigkeit

Die kaltweiße Beleuchtung soll bevorzugt großflächig, d. h. indirekt über Wände und Decken oder aus einer Lichtdecke kommen. Dies simuliert den Himmel in der Natur als Quelle des indirekten Lichtanteils. Je größer die abstrahlende Fläche ist, umso niedriger kann die Leuchtdichte gehalten werden, was die Blendwirkung geringhält.

Die Lichtdecke kann eine große geschlossene Fläche sein oder auch aus einzelnen Leuchten gekachelt aufgebaut werden. Auch indirekt angestrahlte Decken oder Lichtsegel sind möglich. Die Größe der wirksamen hellen Fläche hängt vom Sehwinkel unter dem sie erscheint und vom Abstand zum Patienten ab. Dies entspricht dem Raumwinkel, der in sr gemessen wird. Der Raumwinkel unter dem die helle Fläche erscheint, sollte vom Patienten aus gesehen mehr als 0,5 sr betragen [15]. Dies bedeutet eine wirksame Größe (sichtbar) von mindestens 2 m² in 2 m Abstand.

Ein gewisser Direktanteil am Tag ist möglich bzw. sinnvoll. Rein indirekte, diffuse Beleuchtung gibt zu wenig Schatten und erschwert die Orientierung. Die Direktbeleuchtung darf auch den liegenden Patienten nicht blenden.

Die warmweiße Beleuchtung für Morgen- und Abendbeleuchtung kann eher direkt strahlend gestaltet werden. z. B. aus der Wand hinter dem Bett, jedoch so, dass keine Blendung möglich ist.

4.5 Farbqualität

Für die nichtvisuelle Wirkung ist nur der melanopisch wirksame Anteil des Lichts relevant, der manchmal nicht ganz korrekt als „Blauanteil“ bezeichnet wird. Unter diesem Gesichtspunkt wären Lichtquellen mit einem Farbwiedergabeindex $R_a = 80$ ausreichend. Allerdings besteht ein indirekter Zusammenhang zwischen Farbwiedergabeindex und nichtvisueller Wirkung bei vergleichbarer Farbtemperatur. Da bei Standard-LED-Lichtquellen mit dem Farbwiedergabeindex von $R_a = 80$ typischerweise die nichtvisuell wirksamsten Spektralanteile um 480-520 nm fehlen, während LED mit hoher Farbwiedergabe über $R_a = 90$ diese Anteile aufweisen, haben LED-Lichtquellen mit hoher Farbwiedergabe im Allgemeinen auch eine höhere Wirksamkeit auf das nichtvisuelle System bei gleicher Helligkeit, wenngleich die Farbwiedergabe das visuelle System betrifft und die nichtvisuelle Wirkung über die retinalen Ganglienzellen vermittelt wird.

Im Krankenhausbereich ist in Untersuchungs- und Intensivbereichen Beleuchtung mit einem Farbwiedergabeindex $R_a > 90$ erforderlich. Dies ist eine normative Anforderung für solche Bereiche. Es ist zu prüfen, ob diese Bedingung in jedem Krankenzimmer einzuhalten ist. Bei Vorhandensein einer speziellen Leuchte für Interventionsbeleuchtung kann die Raumbeleuchtung auf $R_a > 80$ ausgelegt werden.

Allerdings ist die positive Wirkung auf Akzeptanz und Wohlbefinden für Beleuchtung mit Farbwiedergabe $R_a > 90$ in vielen Bereichen belegt. Insbesondere im häuslichen Bereich ist dies ein „Muss“. Daher ist zu erwarten, dass auch im Krankenhausbereich eine hohe Farbqualität das Wohlbefinden der Patienten positiv beeinflussen kann. Zum Wohlbefinden des Patienten ist eine bessere Farbqualität auch in der Raumbeleuchtung wünschenswert. Wenngleich normativ nicht vorgeschrieben, ist eine Raum-

beleuchtung mit $R_a > 90$ sinnvoll. Der Eindruck „krank“ auszusehen, wird bei geringerer Farbwiedergabe noch verschlechtert. So kann eine gute Farbwiedergabe auch das Wohlbefinden positiv beeinflussen.

4.6 Licht im Raum

Gerade Blaukomponenten im Lichtspektrum werden bei Reflexion an Wänden oder anderen Oberflächen sowie bei Transmission durch transparente Materialien wie Kunststoffe oder Gläser stärker reduziert als andere Farben. Dies gilt insbesondere für Materialien, welche einen gelblichen, rötlichen oder braunen Farbton aufweisen.

Damit die circadian wirksamen Blaukomponenten erhalten bleiben, sollten Wände, Möbel und andere Gegenstände mit möglichst hellen Farben, auf alle Fälle unter Vermeidung der o.g. kräftigen Gelb-, Rot- oder Brauntöne ausgeführt werden.

Neben der in 3.3. behandelten Direktblendung ist auch Reflexblendung durch spiegelnde Oberflächen nach Möglichkeit zu vermeiden. Sehr glatte Wände, Spiegel oder Glasflächen können kritisch sein und sollten möglichst vermieden werden, oder so ausgerichtet sein, dass eine Spiegelung von Flächen mit hohen Leuchtdichten nicht auftritt.

Insbesondere in Bereichen, in denen sich auch demente Patienten aufhalten, können Spiegelungen von Lichtquellen auf dem Fußboden störend sein. Diese werden u. U. als Hindernisse oder Wasser u. ä. interpretiert und können zu Verängstigung oder im schlimmsten Fall zu Stürzen führen. Dies ist bei der Lichtplanung und der Gestaltung der Böden zu berücksichtigen.

4.7 Andere Lichtquellen

Es ist möglich, kalte und warme Lichtquellen zu mischen, wenn z. B. die Raumdecke und die oberen Bereiche der Wände kaltweiß angestrahlt werden und ein eher warmweißer Spot einen anderen Bereich der Wand ausleuchtet. Eine Mischung von verschiedenen Lichtfarben am gleichen Ort sollte vermieden werden. Z. B. keine kaltweißen und warmweißen Lichtquellen nebeneinander an der Raumdecke.

Auch wenn ein direkter Blick auf Lichtquellen in benachbarte Bereichen möglich ist, sollten diese in der gleichen Lichtfarbe ausgeführt sein. Z. B. die Raumbelichtung und die Beleuchtung im Flur, falls transparente Glaswände zwischen Flur und Patientenzimmer einen Durchblick ermöglichen.

Für das Pflegepersonal ist die Umstellung zwischen verschiedenen Lichtfarben und Helligkeitsniveaus schwierig, wenn häufig und in kurzen Zeitabständen zwischen verschiedenen beleuchteten Bereichen gewechselt werden muss. Daher sollten möglichst Flure, Arbeitsbereiche des Pflegepersonals wie Stationszimmer u. ä. in das Beleuchtungskonzept mit einbezogen werden.

Für das Pflegepersonal sollten auch während des Tages für Pausen und Erholungszeiten Zonen oder Räume verfügbar sein, in denen eine entspannende Beleuchtungssituation möglich ist. Sinnvoll ist in den Personalräumen eine Beleuchtung, die sich von den Nutzern selbst beeinflussen lässt, damit sie persönlichen Bedürfnissen entspricht.

5. Architektonische Überlegungen zur Tageslichtversorgung

Die nachfolgenden Anmerkungen beziehen sich allein auf die lichttechnischen Anforderungen. Schwerpunkte sind dabei die Tageslichtnutzung und die Anordnung von Lichtquellen für künstliche Beleuchtung im Patientenzimmer. Es ist Aufgabe einer interdisziplinären Planung (vgl. DIN/TS 67600 und HOAI) gemeinsam mit anderen relevanten Gewerken, dem Erreichen der genannten Ziele möglichst nahe zu kommen.

5.1 Lage der Intensivstation in Bezug auf gesamtes Ensemble

Da eine möglichst gute Versorgung mit Tageslicht anzustreben ist, sollten Intensivstationen nicht in Etagen platziert sein, die aufgrund von Abschattung durch benachbarte Gebäude nur wenig Tageslicht erhalten. Eine Platzierung in den oberen Stockwerken ist sinnvoll. Ein Sonnenschutz, der eine direkte Einstrahlung verhindert, ist dabei notwendig. Dieser soll jedoch so gestaltet sein, dass er Lichteinfall nicht einfach blockt, sondern z. B. durch Lichtlenkung ermöglicht, Tages- und Sonnenlicht effizient im Innenraum zu verteilen.

Der Sonnenschutz sollte automatisch über Sensoren gesteuert werden, so dass keine manuellen Eingriffe notwendig sind, um die Basisfunktionen zu gewährleisten.



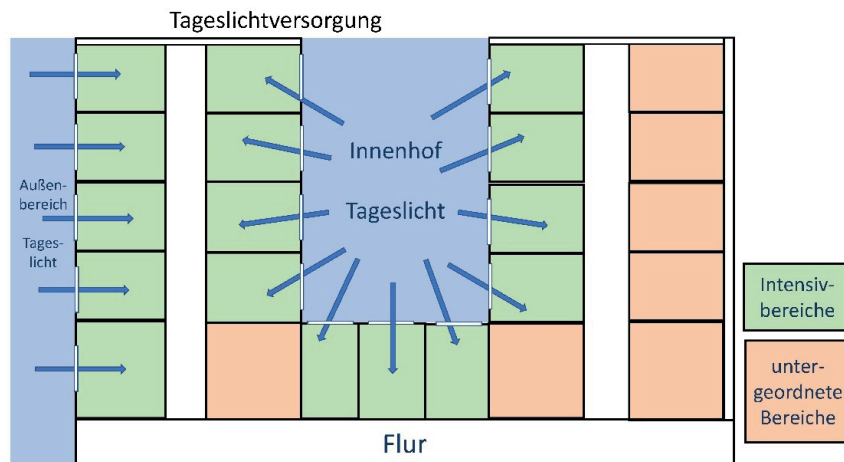
Abbildung 4
Symbolische Anordnung der Intensivstation
im Gebäude-Ensemble

5.2 Lage der Intensivzimmer in Bezug auf das Gebäude

Alle Patientenzimmer sollten Tageslichtzugang haben. Räume ohne Tageslicht sollten nur als untergeordnete Räumlichkeiten gesehen werden und nicht als Patientenzimmer genutzt werden.

Die Bauweise der Gebäude sollte es ermöglichen, für viele Räume eine ausreichende Tageslichtverfügbarkeit sicher zu stellen, z. B. durch geeignete Öffnungen wie Innenhöfe in der Gebäudestruktur.

Abbildung 5
Symbolische Anordnung der Patientenbetten auf der Etage im Hinblick auf Tageslichteinfall



5.3 Lage der Intensivbetten in Bezug auf Tageslichtöffnungen

Die Betten sollten im Zimmer so angeordnet werden, dass möglichst viel Tageslicht für den Patienten verfügbar ist, das heißt nahe am Fenster, da bereits 2-3 Meter vom Fenster entfernt üblicherweise nur ein deutlich reduziertes Tageslichtniveau gegeben ist. Die Ausrichtung sollte sich daran orientieren, dass es bei uns bedingt durch Wetter und Jahreszeiten mehr Tage mit geringer Tageslichtverfügbarkeit gibt, als sonnige Tage, also durchaus nahe am Fenster, so dass die Patienten vom Tageslicht auch profitieren können. Für Tage mit Sonne sind Sonnen-, Blend- und Wärmeschutz notwendig.

Für Patienten, die ihre Umgebung bewusst sehen können, ist eine Sichtverbindung nach außen sinnvoll. Das Erkennen von Himmel, Wolken, Bäumen in der Umgebung verbessert das Wohlbefinden. In diesem Fall kann auch eine andere Anordnung des Bettes sinnvoll sein als in Abb. 6 gezeigt. Z. B. könnte das Bett um 90° gedreht werden, wenn dies technisch machbar sein sollte. Abb. 6 soll die Nähe des Patientenbettes zum Fenster symbolisieren.

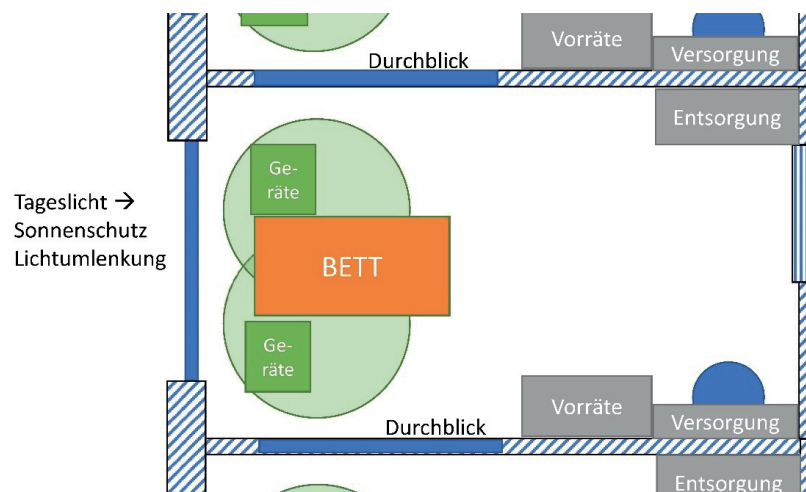


Abbildung 6
Symbolische Anordnung des Patientenbettes in Fensternähe

5.4 Beleuchtung des Raumes und des Patientenbettes

Es gibt zwei Beleuchtungsaufgaben zu unterscheiden:

1. Als Interventionsbeleuchtung für medizinische Untersuchungen oder Eingriffe ist eine Beleuchtungsstärke von 1000 lx bei einer hohen Farbqualität mit einem Farbwiedergabeindex $R_a > 90$ vorzusehen (s. Intensiv- und Behandlungsbereiche). Diese muss nicht zwingend über die Raumbeleuchtung realisiert sein, sondern kann ggf. auch durch mobile Zusatzleuchten realisiert werden. Da aber eine HCL-Beleuchtung sowieso hohe Beleuchtungsstärken in der gleichen Größenordnung erfordert und hohe Farbqualität wie in Farbqualität dargelegt ebenfalls wichtig ist, bietet sich an, die Interventionsbeleuchtung durch die HCL-Raumbeleuchtungsanlage erfüllen zu lassen.
2. Die zweite Aufgabe ist die Beleuchtung -oder besser Belichtung- des Patienten mit einer auf das nichtvisuelle System wirksamen dynamischen Beleuchtung über den Tag. Das System muss die hohen kaltweißen Beleuchtungsstärken für die Beleuchtung am Tag ermöglichen, soll aber gleichzeitig dynamische Übergänge auf niedrige nichtvisuelle Wirkungen am Abend sicherstellen. Eine möglichst geringe nichtvisuelle Wirkung in der Nacht, die gleichzeitig noch gutes Sehen für die Pflegenden ermöglicht, kann ebenfalls aus der HCL-Raumbeleuchtung erreicht werden. Ggf. können dafür Teile der Raum- oder Deckenbeleuchtung komplett abgeschaltet werden.

Die Herausforderung liegt sicher im Erreichen der hohen nichtvisuellen Wirkungen am Tag, da dafür je nach Alter Beleuchtungsstärken bis zu 600-800 lx am Auge erreicht werden müssen.

Da gleichzeitig Blendung des Patienten durch direkte Beleuchtung oder hohe Leuchtdichten zu vermeiden ist, muss die Beleuchtung sehr großflächig ausgelegt werden oder als Indirektbeleuchtung bei der helle, angestrahlte Wand- und Deckenflächen als Sekundärlichtquelle dienen.

Viel hängt von der räumlichen Beschaffenheit des Patientenzimmers ab. Wo sind verfügbare Flächen im Blickfeld des Patienten, die angestrahlt werden können oder wo sind ausreichend große freie Flächen, an denen Flächenstrahler (Lichtdecken) mit niedriger Leuchtdichte, aber insgesamt großen abstrahlenden Flächen angebracht werden können?

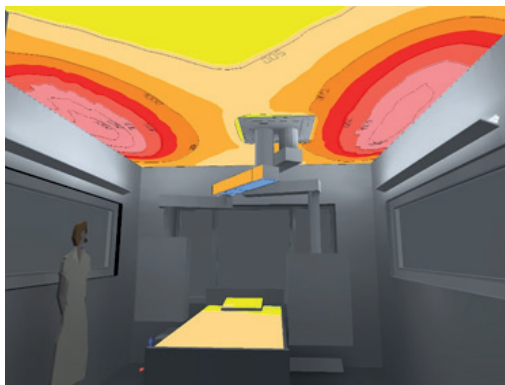
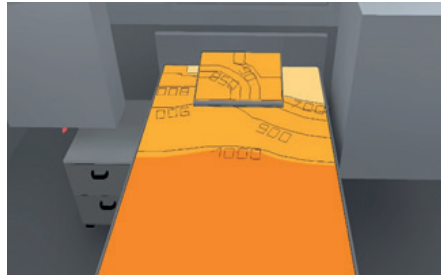


Abbildung 7

Deckenaufhellung durch Anstrahlung über Wall- oder Ceilingwasher, bzw. andere Leuchten, die gegen direkten Blick abgeschirmt sind

Abbildung 8

Beispiel für die Ausleuchtung des Bettbereichs in Abb. 5 mit etwa 800 lx im Gesichtsfeld des Patienten.

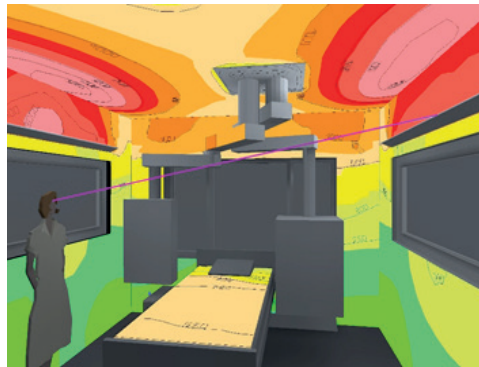


Bei Nutzung von indirekter Beleuchtung durch Anstrahlen von Decken- oder Wandflächen muss darauf geachtet werden, dass weder Patienten noch Pflegende einen direkten Blick auf die Lichtquellen haben. Ebenso ist auf Reflexblendung durch angestrahlte, reflektierende Objekte im Raum zu achten. Die Ausstrahlcharakteristik üblicher Leuchten ist im Allgemeinen zu breit, um Blendung zu vermeiden, wenn die Lichtaustrittsfläche sichtbar ist. Daher sind Leuchten zur Anstrahlung als Wall- oder Ceilingwasher zu gestalten, bzw. Patienten und Pflegende durch zusätzliche Verblendung vor direktem Blick auf die Lichtaustrittsflächen zu schützen.

Die Leuchtdichten der Sekundärflächen wie Decken oder Wände sollten unter 1000 cd/m^2 bleiben. Diese Anforderung wird in vielen Fällen, wenn keine sehr großen Flächen verfügbar sind, nicht leicht einzuhalten sein, wenn gleichzeitig 1000 lx Beleuchtungsstärke auf der Bettfläche erreicht werden sollen. Es ist eine interdisziplinäre Planung erforderlich, bei der die Möglichkeiten für Raumgestaltung und der Beleuchtung miteinander optimiert werden.

Abbildung 9

Abschirmung der Lichtaustrittsflächen von Leuchten für Patienten und Pflegende. Der direkte Blick auf die Lichtaustrittsfläche (violette Linie) muss abgeschirmt sein.



Die Blendbewertung nach den Listenwerten von UGR, wie in Produktdaten angegeben ist nicht relevant für Blickrichtungen, die von der normalen horizontalen Blickrichtung, wie bei Büroarbeit üblich, abweicht. Bei einer gut entblendeten Flächenleuchte, bei der ein sitzender oder stehender Nutzer nur Leuchtdichten unter 2000 cd/m^2 sieht, weil Emissionswinkel unter 60° nicht sonderlich blendungsrelevant sind, kann ein liegender Nutzer, der nach oben gegen die Leuchte schaut, Leuchtdichten um 5000 cd/m^2 oder darüber sehen. Dies ist eine unerwünschte Direktblendung, welche zu vermeiden ist. Bei der Nutzung solcher Flächenleuchten müssen ggf. mehrere Leuchten nebeneinander angeordnet, aber jeweils mit maximal 30-50 % ihrer Nennleistung betrieben werden, um zu hohe Leuchtdichten zu vermeiden.

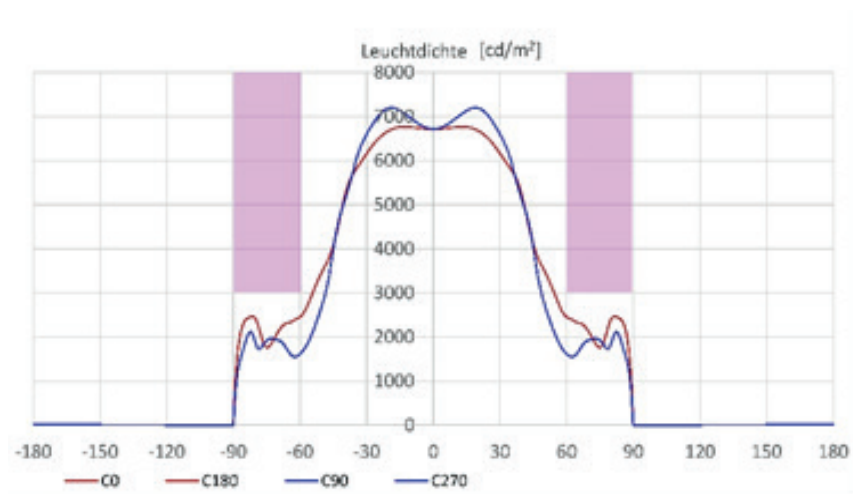


Abbildung 10

Sichtbare Leuchtdichten in Abhängigkeit vom Blickwinkel auf die Leuchte am Beispiel einer gut entblendeten Panel-Leuchte. In sitzender oder stehender Position sind nur Leuchtdichten über 3000 cd/m² bei Blickwinkeln über 60° kritisch. Für liegende Patienten, die mit Blickwinkeln von 0° bis 60° nach oben schauen, treten solche Leuchtdichten auch bei ansonsten gut entblendeten Leuchten auf.

Die angegebenen Werte beziehen sich auf den Emissionswinkel der Leuchte. 0° entspricht daher dem Blick senkrecht von unten nach oben. Blickwinkel über 60° sind im üblichen Büroalltag relevant, aber nicht für liegende Patienten. Daher sagt die UGR-Bewertung nichts aus über eine mögliche Blendung für Patienten. Da die Anforderungen nach DIN EN 12464 sich auf Arbeitsplätze beziehen, muss die Blendbewertung im Krankenzimmer auch nicht entsprechend der DIN EN 12464 darauf ausgelegt sein, dem Patienten ein gutes visuell optimiertes Arbeitsumfeld zu gewährleisten, sondern darauf, eine sein Wohlbefinden störende Blendung zu vermeiden.

6. Entkeimung mit UV-C

Ein Randgebiet, das eigentlich nicht zur Beleuchtung zählt, aber dennoch häufig im Kontext mit Licht behandelt wird, ist die keimtötende Wirkung von UV-C-Strahlung. UV-C als elektromagnetische Strahlung zählt nicht zum Licht, das nur den sichtbaren Anteil der elektromagnetischen Strahlung umfasst. Dennoch ist die Erzeugung von UV-C, die Strahlungsquellen und die Ausbreitung von UV-C vergleichbar mit Licht und daher ist die Behandlung in diesem Kontext vertretbar.

Bei der Corona-Pandemie wurde nachgewiesen, dass sich die Belastung von Räumen mit Keimen durch UV-C Luftentkeimung signifikant, bis auf nahezu Null, reduzieren lässt, auch bei Anwesenheit von keimbelasteten Personen. Auch wenn das Thema inzwischen nicht mehr so im Fokus steht wie in den Jahren 2020 und 2021, sollte es nicht ganz aus dem Auge verloren werden. Anforderungen sind in DIN/TS 67506 enthalten [27].

Keimfreie Atemluft ist auf Intensivstationen von großer Bedeutung und neben den etablierten Methoden ist UV-C eine zuverlässige Option. Bei Neuanlagen ist es relativ einfach, UV-C Entkeimung in das Zu- und Abluftsystem von Stationen zu integrieren. Bei älteren Anlagen kann eine mobile Luftentkeimung eine sinnvolle Option darstellen, da solche Systeme ohne nennenswerten Installationsaufwand als Raumgeräte installiert werden können. Die Entkeimung der Atemluft alleine ist allerdings nicht hinreichend, um eine keimfreie Umgebung im Klinikbereich zu gewährleisten.

UV-C kann auch durch mobile „Bestrahlungsroboter“ zur Oberflächendesinfektion genutzt werden. Allerdings ist dabei wichtig, dass dies nur in Abwesenheit von Personen erfolgt, da UV-C ein sehr hohes Schädigungspotenzial für alle Lebewesen, von Mensch über Tier bis zu Pflanzen hat. Ebenso kann UV-C Materialien wie Kunststoffe oder Farben sowie Oberflächen schädigen. Daher werden solche Systeme eher als nicht besonders relevant im Bereich der Intensivstationen eingeschätzt. Das neuerdings diskutierte „Far-UV“ im Bereich um 220 nm, das von manchen Herstellern als unschädlich für Menschen auch bei Anwesenheit angepriesen wird, fällt zumindest aktuell nach wie vor unter die Strahlenschutzverordnungen, die nur einen sehr geringen Grenzwert für exponierte Personen zulassen. Solange die Unschädlichkeit nicht eindeutig bewiesen ist und die Expositionsgrenzwerte in den einschlägigen Verordnungen entsprechend angepasst sind, stellt Far-UV keine echte Alternative dar.

Da UV C nur sehr wenig reflektiert wird und eine sehr geringe Eindringtiefe in Materialien aufweist, besteht auch ein erhebliches Risiko, dass Keime, die sich im „Schatten“ oder unter dünnen Schichten befinden, nicht abgetötet werden. UV-C alleine ist somit keine Alternative zu konventionellen Methoden der Entkeimung. Aber saubere Räume und Oberflächen lassen sich mit UV-C sauber halten und die Ansammlung kritischer Keimkonzentrationen in der Atemluft lässt sich verhindern.

7. Fazit/Ausblick

Die visuellen Anforderungen sind in bestehenden Normen ausreichend definiert und in der Praxis etabliert, so dass in diesem Papier nicht detailliert auf visuelle Aspekte eingegangen wurde. Eine mögliche geringes Blendungsrisiko von Patienten durch die höheren Beleuchtungsstärken ist ggf. im Rahmen einer interdisziplinären Planung gegen positive Wirkungen auf das Nichtvisuelle System abzuwägen.

Licht kann, richtig eingesetzt, eine unterstützende Wirkung bei der Genesung von Patienten haben. So gesehen sollte Licht nicht nur als ein notwendiges, energieverbrauchendes Übel gesehen werden, sondern als Teil des Behandlungskonzeptes in die Behandlung der Patienten integriert werden.

Gleichzeitig ist richtiges Licht für Patienten auch geeignet, die Pflegenden in ihrer Arbeit zu unterstützen.

Die Planung von Beleuchtung erfordert eine interdisziplinäre Herangehensweise, da hinsichtlich der nichtvisuellen Wirkungen sowohl therapeutische Wirkungen auf Patienten als auch die Einflüsse auf die Pflegenden bei ihrer Arbeit berücksichtigt werden müssen.

Die klare Forderung von Wissenschaftlern nach höheren Mindestwerten für die Beleuchtung am Tag und reduzierten Werten am Abend und Nachts [8] lässt keine andere Auslegung zu, als Beleuchtungssysteme nach dem Human Centric Lighting Konzept zu realisieren. Die erforderlichen normativen Dokumente sind mit DIN/TS 5031-100 und DIN/TS 67600 verfügbar. Ebenso auch die technischen Voraussetzungen hinsichtlich der Verfügbarkeit von Leuchten und Steuerungssystemen.

8. Literaturverzeichnis

- [1] Aschoff J., Wever R.; Spontanperiodik des Menschen bei Ausschluss aller Zeitgeber. Die Naturwissenschaften, Heft 15. p.337-342 Springer Verlag, 49. JAHRGANG, 1962
- [2] ASTA, Empfehlung des Ausschusses für Arbeitsstätten (ASTA) - Künstliche biologisch wirksame Beleuchtung in Arbeitsstätten; Beschluss 9, 7. ASTA-Sitzung v. 28.11.2018 https://www.baua.de/DE/Aufgaben/Geschaeftsfuehrung-von-Ausschues-sen/ASTA/pdf/Beleuchtung.pdf?__blob=publicationFile&v=2[3] Beauchemin KM, Hays P; Sunny hospital rooms expedite recovery from severe and refractory depressions. J Affect Disord 1996; 40: 49-51.
- [4] Beauchemin KM, Hays P; Dying in the dark: sunshine, gender and outcomes in myocardial infarction. J R Soc Med 1998; 91: J52-J54.
- [5] Benedetti F, Colombo C, Barbini T, Campori E, Smeraldi E. Morning sunlight reduces length of hospitalization in bipolar depression. J Affect Disord 2001; 62:221-223.
- [6] Berson D. M., et al. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. Science 295(5557): 1070-1073.
- [7] Brainard G. C., et al. (2001). Action spectrum for melatonin regulation in humans: evidence for a novel circadian photoreceptor. J Neurosci 21(16): 6405-6412.
- [8] Brown TM, Brainard GC, Cajochen C, Czeisler CA, Hanifin JP, Lockley SW, et al. (2022) Recommendations for daytime, evening, and nighttime indoor light exposure to best support physiology, sleep, and wakefulness in healthy adults. PLoS Biol 20(3): e3001571.
- [9] CIE 2017; International Standard CIE S 017; ILV - International Lighting Vocabulary, 2017
- [10] CIE 2018; International Standard CIE S 026; CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light, 2018
- [11] DIN 5035-3 Beleuchtung mit künstlichem Licht – Teil 3: Beleuchtung im Gesundheitswesen
- [12] DIN EN 12464-1; Licht und Beleuchtung - Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen
- [13] Dtsch Arztebl 2013; Die Intensivstation der Zukunft: Sternenhimmel überm Krankenbett; Dtsch Arztebl 2013; 110(46): [46]
- [14] DIN/TS 5031-100; Strahlungsphysik im optischen Bereich und Lichttechnik– Teil 100: Über das Auge vermittelte, melanopische Wirkung des Lichts auf den Menschen– Größen, Symbole und Wirkungsspektren

[15] DIN/TS 67600:2022; Ergänzende Kriterien für die Lichtplanung und Lichtenwendung im Hinblick auf nichtvisuelle Wirkungen von Licht

[16] IALD; Joint position paper by LightingEurope and the International Association of Lighting Designers (IALD) on Human Centric Lighting; https://www.lightingeurope.org/images/publications/position-papers/LightingEurope_and_IALD_Position_Paper_on_Human_Centric_Lighting_-_February_2017-modified_version-v2.pdf

[17] Münch, M., et al. (2017). "Bright Light Delights: Effects of Daily Light Exposure on Emotions, Restactivity Cycles, Sleep and Melatonin Secretion in Severely Demented Patients." *Current Alzheimer research* 14.

[18] Arendt, J. (2012). "Biological rhythms during residence in polar regions." *Chronobiol Int* 29(4): 379-394.

[19] Riemersmavan der Lek, R. F., et al. (2008). "Effect of bright light and melatonin on cognitive and noncognitive function in elderly residents of group care facilities: a randomized controlled trial." *JAMA : the journal of the American Medical Association* 299(22): 2642-2655.

[20] Schlangen L, Lang D, Novotny P, Plischke H, Smolders K, Beersma D, Wulff K, Foster R, Cajochen C, Nikunen H, Tähkämö L, Bhusal P, Halonen L; Lighting for health and well-being in education, work places, nursing homes, domestic applications, and smart cities; Research report Accelerate SSL Innovation for Europe, Deliverable 3.2 and 3.4; FP7-ICT-2013-11-619249

[21] Staedt J; Riemann D; Zirkadiane Rhythmik und Chronobiologie. In Staedt L Riemann D (eds) *Diagnostik und Therapie von Schlafstörungen*. Stuttgart: Kohlhammer Verlag; 2007, 105-126.

[22] Staedt J; Pless-Steinkamp C; Herfeld F; Gudlowski Y; Wirz-Justice A; Einfluss erhöhter Lichtintensität auf die Verweildauer von stationär behandelten depressiven Patienten; *Nervenheilkunde* 2009; 28: 223-226;

[23] Sust C.A., Dehoff P., Hallwirth-Spörk C., Lang D., Lorenz D. (2015). More Light! Improving Well-Being for Persons Suffering from Dementia. In: Zhou, J., Salvendy, G. (eds) *Human Aspects of IT for the Aged Population. Design for Everyday Life. ITAP 2015. Lecture Notes in Computer Science()*, vol 9194. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-20913-5_18

[24] Thapan K; Arendt J.; Skene D. J.; An action spectrum for melatonin suppression evidence for a novel non-rod, non-cone photoreceptor system in humans; *The Journal of Physiology* 2001, 535 (1) 261

[25] Terman M, Terman JS: Light therapy, in Kryger MH, Roth T, Dement WC (eds): *Principles and Practice of Sleep Medicine*, Philadelphia, Elsevier, 2005, ISBN 9780721607979; p1424-1442

[26] Wirz-Justice A, Benedetti F, Terman M; Chronotherapeutics for Affective Disorders
- A Clinician's Manual for Light and Wake Therapy, 2013, ISBN-13: 978-3318020908

[27] DIN/TS 67506: 2022; Entkeimung von Raumluft mit UV-Strahlung –UV-C-Sekun-
därluftgeräte

Materialverbrauch und Nachhaltigkeit auf der Intensivstation

Dr. Clarissa Müller, Dr. Heide Niesalla, HARTMANN SCIENCE CENTER

1. Gesundheitssysteme als Mitverursacher und Leidtragende des Klimawandels

Der Klimawandel ist längst nicht mehr nur abstrakte Bedrohung, sondern eine der drängendsten globalen Herausforderungen unserer Zeit. Auch die Gesundheitssysteme tragen maßgeblich zum Klimawandel bei. So war das globale Gesundheitssystem im Jahr 2014 für 4,4 % der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich [1], in Deutschland waren es sogar 5,2 % der nationalen Emissionen [1].

Gleichzeitig wirkt sich der Klimawandel zunehmend auf die Gesundheit der Bevölkerung aus und führt dazu, dass Gesundheitssysteme durch die erhöhte Inanspruchnahme von Gesundheitsdienstleistungen stark belastet werden. Zudem beeinflussen verstärkt auftretende Extremwetterereignisse die Funktionsfähigkeit der Gesundheitsdienste auf verschiedenen Ebenen. So müssen beispielsweise die globalen Gesundheitssysteme aufgrund der Zunahme von Extremwetterereignissen wie Hitzewellen, Überschwemmungen und anderen Ereignissen mit veränderten Anforderungen an die Lagerung von Material und Medikamenten sowie stark steigenden Patientenzahlen zurechtkommen, während sie gleichzeitig selbst mit den Auswirkungen dieser Extremwetterereignisse zu kämpfen haben [2,3].

Vor diesem Hintergrund ist das Bewusstsein für die Notwendigkeit, Klimaschutzmaßnahmen wie Energieeinsparung, energetische Sanierung, nachhaltige Beschaffung und effiziente Ressourcennutzung auch im Gesundheitswesen umzusetzen, in den letzten Jahren gestiegen [3]. Immer mehr Gesundheitsorganisationen setzen sich das Ziel, das im Pariser Klimaabkommen auf globaler Ebene festgelegte Null-Emissionsziel zu erreichen [4,5].

2. Intensivstation: Hohe Anforderungen, hoher Ressourcenverbrauch

Die Intensivstation (ITS) stellt hohe Anforderungen an Patientensicherheit und Infektionsschutz. Besonders die direkte Patientenumgebung ist ein hochsensibler Bereich, der nicht zum Infektionsrisiko werden darf. Um Patientinnen und Patienten optimal zu versorgen, werden naturgemäß eine Vielzahl von medizinischen Geräten, Medikamenten und Verbrauchsmaterialien sowie qualifiziertes medizinisches Personal benötigt, was zu einem hohen Material- und Ressourcenverbrauch führt [6]. Daher gehört die ITS innerhalb des Krankenhauses zu den medizinischen Fachbereichen mit besonders problematischer Ökobilanz.

Folgende Beispiele verdeutlichen die Problematik:

Abfälle: In deutschen Krankenhäusern fallen täglich ca. 6 kg Abfall pro Patientin oder Patient an, während die Allgemeinbevölkerung im Durchschnitt 1,7 kg Abfall pro Kopf produziert [7]. Der hohe Materialverbrauch auf der ITS wird unter anderem durch den hohen Anteil an Einwegprodukten verursacht, wie z. B. persönliche Schutzausrüstung (PSA) wie Untersuchungshandschuhe, Einweg-Kittel und Masken, vorgefertigte Einmalsets, Infusionsbeutel etc. [6,8,9].

Emissionen: Das Greenhouse Gas Protokoll (GHG-Protokoll) unterscheidet zwischen direkten und indirekten Emissionen (Abbildung 1). Die direkten Emissionen (Scope 1) aus medizinischen Einrichtungen, die zur Aufrechterhaltung des laufenden Betriebs benötigt werden, sowie die freigesetzten Narkosegase machen 17 % der Gesamtemissionen des Gesundheitswesens aus. Der Großteil (71 %) der Emissionen entsteht jedoch durch vorgelagerte Prozesse wie die Herstellung von Produkten und Energie sowie die Entsorgung von Abfällen (Scope 2 und 3) [1]. Die ITS trägt durch ihren hohen Ressourcenverbrauch erheblich dazu bei.

Innerhalb der ITS verursachen Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage (HLK) den größten Teil des CO₂-Fußabdrucks (76-87 %) [9]. Unter Berücksichtigung sämtlicher Faktoren und Umrechnung in CO₂-Äquivalente (CO₂-eq.) pro Tag und Bett, sind die Emissionen eines ITS-Bettes etwa doppelt so hoch wie die eines Normalbettes [6]. Narkosegase gehören zu den größten Quellen für Treibhausgasemissionen im Gesundheitswesen und werden auch auf der ITS bei beatmeten Patienten vielfach eingesetzt [10]. Krankenhäuser, die bevorzugt Desfluran einsetzen, weisen zehnfach höhere Emissionen von CO₂-eq. durch Narkosegase als solche, die auf andere Narkosegase setzen [11].

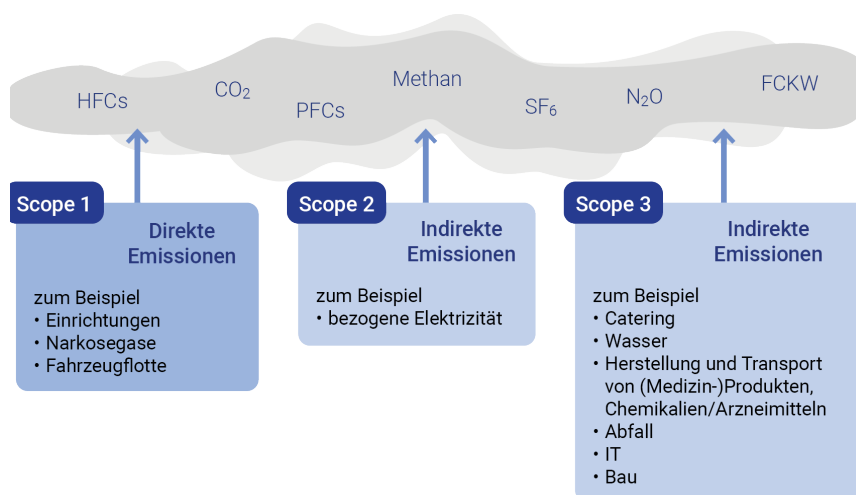


Abbildung 1

Direkte und indirekte Emissionen, unterteilt in Bereiche bzw. Scopes auf Basis des Greenhouse Gas-Protokolls (<https://ghgprotocol.org/>; modifiziert in Anlehnung an [12]). CO₂, Kohlendioxid; FCKW, Fluorchlorkohlenwasserstoff; GHG, Greenhouse Gas Protocol; IT, Informationstechnologie; HFC, teilhalogenierter Fluorkohlenwasserstoff; N₂O, Distickstoffmonoxid; PFC, perfluorierter Kohlenwasserstoff; SF₆, Schwefelhexafluorid.

3. Ergebnisse aus Lebenszyklus- und Materialflussanalysen

Lebenszyklus- (LZA) und Materialflussanalysen (MFA) sind Methoden, um die Umweltauswirkungen von Produkten und den Materialfluss zu bewerten und zu quantifizieren.

ren. Die daraus resultierenden Erkenntnisse zu Treibhausgasemissionen und dem Verbrauch natürlicher Ressourcen können genutzt werden, um Strategien für nachhaltige und klimaverträgliche Veränderungen in Krankenhäusern – und insbesondere auf der ITS – zu entwickeln [8,13–16].

3.1 Materialverbrauch und Abfall

Eine 2019 auf einer ITS durchgeführte MFA zeigte auf, dass der ökologische Fußabdruck pro Patient täglich insgesamt 17 kg Abfall, 12 kg CO₂-eq., 300 Liter Wasser und 4 m² landwirtschaftlich genutzter Fläche entsprach [15]. Außerdem waren von 247.000 kg Abfall im Jahr etwa 50.000 kg potenziell infektiös und mussten verbrannt werden [15].

In Bezug auf nicht-infektiöse Abfälle von ITS wurde gezeigt, dass 14 % davon im Rahmen eines Recyclingprogramms sicher und effektiv recycelt werden können. Allerdings waren die Kosten dafür auf der ITS deutlich höher als im OP-Recyclingprogramm, was vor allem auf die unterschiedliche Zusammensetzung der Abfälle und weniger Möglichkeiten zur Reduktion der bereits gut sortierten infektiösen Abfälle auf der ITS im Vergleich zum OP zurückzuführen war [17].

Ein weiterer Aspekt beim Materialverbrauch ist der Vergleich zwischen Einweg- und Mehrwegmaterialien. Dabei besteht eine der Schwierigkeiten darin, dass für diesen Vergleich häufig keine oder nur widersprüchliche LZA- Ergebnisse vorliegen [18]. Zudem haben Krankenhäuser in den letzten Jahren ihre Maßnahmen zur Infektionsprävention zunehmend auf das ALARA-Prinzip (As Low As Reasonably Achievable; ursprünglich aus dem Strahlenschutz bekannt) gestützt und das Ziel verfolgt, Infektionen so gering wie möglich zu halten. Da das Kontaminationsrisiko bei Einwegprodukten geringer ist als bei Mehrwegprodukten, wurden dementsprechend Einwegprodukte zur Standardpraxis [19].

3.2 Energieverbrauch

LZAs sind spezifisch für die jeweilige geografische Region, da Energiequellen, Transport und klimatische Gegebenheiten, welche die Nutzung der HLK beeinflussen, sehr variabel sind [13]. Deutlich wird das im direkten Vergleich zwischen USA und Australien in Bezug auf die Behandlung septischer Intensivpatienten. Während die durchschnittlichen täglichen Treibhausgasemissionen auf der US-ITS 178 kg CO₂-eq. betrugen, lag der CO₂-Fußabdruck auf der australischen ITS bei 88 kg CO₂-eq. In beiden Fällen wurden die Emissionen hauptsächlich durch den Energieverbrauch der HLK verursacht [9,13]. Was den übrigen Stromverbrauch – ohne Berücksichtigung der Energie für HLK, Verbrauchsmaterialien, Medikamente und Labortests – angeht, ermittelte eine in Großbritannien durchgeführte Ökobilanzierung einen durchschnittlichen täglichen Stromverbrauch von ca. 15 kWh pro ITS-Patient für direkte Versorgung (Beatmungs- und andere ITS-Geräte) und Beleuchtung [20].

Auch wenn energetische Sanierungen und umweltfreundliche Neubauten zunächst mit hohen Kosten verbunden sind, tragen sie letztlich erheblich dazu bei, dauerhaft

den Energieverbrauch und damit Kosten und Emissionen zu senken. Dies wird am Beispiel des Helmut-G.-Walther-Klinikums Lichtenfels deutlich, bei dessen Ersatzneubau vor allem auf Geothermie und Photovoltaik sowie die Dämmung nach Passivhaus-Standard gesetzt wurde. Insgesamt stößt der Neubau jährlich 75 % weniger CO₂ als das alte Gebäude aus [21].

3.3 Narkosegase

Die weltweiten Emissionen durch volatile Anästhetika (VA), die ungefiltert in die Umwelt abgegeben werden, lagen 2014 bei 3 Millionen Tonnen CO₂-eq., von denen ca. 80 % auf Desfluran zurückzuführen sind [22]. Desfluran besitzt ein 2540-mal so hohes Treibhauspotenzial wie CO₂ während Sevofluran auf das 130-Fache und Isofluran auf das 510-Fache kommen [23]. Allein durch das Vermeiden von Desfluran können in der Anästhesie 67 % der Emissionen von CO₂-eq. vermieden werden [24]. Auch in der Intensivmedizin kommen VA zum Einsatz, wobei Desfluran im Gegensatz zu Sevofluran und Isofluran eher selten als Inhalationssedierung genutzt wird [25]. Technische Lösungsansätze bestehen darin, VA einzufangen und sie thermisch, katalytisch oder photochemisch zu zerstören oder zur Wiederverwendung aufzubereiten, anstatt sie direkt in die Umwelt abzugeben [26–28]. Das in Deutschland bereits in der Intensivmedizin gängige Verfahren, VA in Kohlefiltern aufzufangen, trägt jedoch nicht zur Emissionsreduktion bei, da die VA nach der Entsorgung wieder aus dem Filter in die Atmosphäre abgegeben werden [26,27].

4. Empfehlungen zur Verbesserung der Nachhaltigkeit von Intensivstationen

Die Bedeutung der Umsetzung nachhaltiger Praktiken und Maßnahmen in der Intensivmedizin wird zunehmend anerkannt und von Initiativen und Berufsverbänden adressiert. So haben etliche intensivmedizinische und anästhesiologische Fachgesellschaften in den letzten Jahren Empfehlungen veröffentlicht, die zur Reduktion von CO₂-Emissionen auf ITS beitragen können [29–33]. Einige der Empfehlungen – z. B. die Senkung des Energieverbrauchs für HLK und Beleuchtung – stehen in engem Zusammenhang mit den baulichen Aspekten, die im Leitfaden für klimaresistente und ökologisch nachhaltige Gesundheitseinrichtungen der Weltgesundheitsorganisation WHO vorgeschlagen werden und die zu den wichtigsten Maßnahmen zählen [34].

Der Energieverbrauch im laufenden Betrieb kann reduziert werden, wenn nachhaltig produzierte Geräte und Medizinprodukte mit einem geringen oder optimierten Energieverbrauch eingesetzt werden. Dabei sind eine umweltverträgliche Herstellung und Lieferung ausschlaggebend. Grundsätzlich sollten Ökobilanzierungen herangezogen werden, um zwischen der Einweg- und Mehrwegnutzung von Medizinprodukten und -geräten abzuwägen. Dabei hängt der ökologische Fußabdruck wiederverwendbarer Medizinprodukte neben der Anzahl der Wiederverwendungen, der Art der Reinigung, der Sterilisation und dem Abfallentsorgungsmanagement in hohem Maße von der lokalen Energiequelle und einer effizienten Nutzung ab [35].

Die folgenden Empfehlungen gelten allgemein für die Planung, den Bau und die Sanierung nachhaltiger Krankenhäuser. Aufgrund des hohen Energie- und Materialverbrauchs ist die Berücksichtigung von Nachhaltigkeitskriterien jedoch besonders wichtig für die ITS.

Auf der Grundlage der bestehenden Empfehlungen und wissenschaftlichen Erkenntnissen ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten baulichen Empfehlungen für ITS.

Tabelle 1: Bauliche Empfehlungen zur Nachhaltigkeit auf Intensivstationen	
Reduktion des Energiebedarfs	Anpassen von Planung, Bau und Sanierung: Isolierung von Wänden und Fenstern; Einsatz von passiver Kühlung und Beschattung; Lage des Gebäudes und Exposition gegenüber Klima und Wetter berücksichtigen [34] Installation von (Sensor-)Technologie zur Senkung des Energieverbrauchs und Verbesserung der Energieeffizienz von Beleuchtung, HLK, Monitoren etc. (nutzungsabhängige automatische Steuerungen)
Erhöhung der Energieunabhängigkeit	Nutzung erneuerbarer Energiequellen, z. B. Solarkollektoren, die (abhängig von Region und räumlichen Gegebenheiten) das Problem des Stromverbrauchs und der Raumheizung lösen können [36]
Baumaterialien	Verwendung von umweltfreundlichen und langlebigen Materialien und Baustoffen, bei deren Herstellung wenig Treibhausgase freigesetzt werden (z. B. „grüner Beton“) und die frei von toxischen Stoffen sind [37]
Raumplanung	Berücksichtigung des Platzbedarfs für die Lagerung gebrauchter Verbrauchsmaterialien und Etablierung von Recyclingsystemen

Wesentliche Empfehlungen für die Umsetzung nachhaltiger Maßnahmen beim Betrieb von ITS werden in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Betriebsbezogene Empfehlungen zur Nachhaltigkeit auf Intensivstationen	
Patientenversorgung	Vermeidung von nicht notwendiger Überbehandlung („Less is more“-Prinzip) [18,30,33].

Materialverbrauch	Verringerung der Gesamtnachfrage nach Waren und Dienstleistungen (z. B. durch Optimierung des Arzneimittelverbrauchs, durch Aufbereitung und Wiederverwendung von Geräten) [7]. Umweltfreundliche Beschaffungsstrategien, d. h. Kooperationen mit Herstellern, die ebenfalls dazu beitragen, Ressourcenverbrauch und Abfallaufkommen zu reduzieren [34] und z. B. regional oder national produzieren (reduzierte Transportwege) sowie Produkte, Design- und Herstellungsprozess sowie Materialeinsatz optimieren, z. B. durch Verwendung von Verpackungen aus möglichst sortenreinem Plastik, das hochwertig recycelt werden kann. Verwendung vorgepackter steriler Sets (Zeitersparnis, Abfallreduktion im Vergleich zu Einzel-Verpackungen) und regelmäßige Überprüfung und Aktualisierung der Set-Zusammensetzung [38]. Vermeidung der Entsorgung ungeöffneter und ungenutzter Verbrauchsmaterialien beim Raumwechsel [5,30,33]. Bewusster Einsatz der persönlichen Schutzausrüstung zur Maximierung der Patientensicherheit und Minimierung unnötiger Umweltbelastung [33]. Kann der Materialverbrauch nicht verringert werden, sollten (bauliche) Voraussetzungen geschaffen werden, die das Recycling eines möglichst großen Anteils der nicht-infektiösen Abfälle ermöglichen [17].
Abfälle	Umweltschonende Maßnahmen im Bereich des Abfallmanagements, z. B. Einführung des Konzepts der 5 R's der Nachhaltigkeit (Reduce, reuse, recycle, rethink, research) [39] Einführung einer strukturierten Trennung von wiederverwertbaren Abfällen unter Berücksichtigung des Platzbedarfs für Sammelbehälter, verbunden mit Personalschulungen, sowie Reduzierung des Anteils gefährlicher Abfälle [30]. Da die CO₂-Emissionen bei der Entsorgung infektiöser Abfälle aufgrund erhöhter Sicherheitsvorkehrungen höher sind als für nicht-infektiöse Krankenhausabfälle, sollten Maßnahmen ergriffen werden, die Menge an Sondermüll so gering wie möglich zu halten.
Lagerung und Lieferung	Berücksichtigung von Kapazitäten für Lagerung von Produkten und Materialien und für Rücknahmesysteme, um tägliche Lieferungen zu vermeiden und einen verbesserten Umgang mit dem Lagerbestand zu schaffen, z. B. durch automatisierte Bevorratungssysteme [40] und Optimierung der Lagerhaltung (konservative Lagerhaltung) [30,33].
Personal	Einbeziehen, z. B. durch Bildung von „Green Teams“, die sich um Nachhaltigkeit im Alltag kümmern [29,33,41]

5. Fazit und Ausblick

Angesichts der begrenzten Ressourcen unseres Planeten und der steigenden Belastung durch den Klimawandel ist es unerlässlich, dass Gesundheitseinrichtungen, insbesondere Intensivstationen, nachhaltiger werden. Ein bewusster und effizienter Einsatz von Materialien sowie die Reduzierung von Abfall und der Einsatz umweltfreundlicher Technologien bei Bau und Betrieb von Krankenhäusern können dazu beitragen, die Umwelt zu schützen und Kosteneinsparungen sowie eine bessere Ressourcennutzung zu ermöglichen.

Es gibt jedoch zwei Herausforderungen, die das Thema Nachhaltigkeit insbesondere auf Intensivstationen komplexer machen. Erstens darf die Nachhaltigkeit auf Intensivstationen nicht auf Kosten der Sicherheit der Patienten oder der Qualität der medizinischen Versorgung gehen. Zweitens hängt die Umsetzung von nachhaltigen Maßnahmen von verschiedenen Faktoren ab, wie dem Klima, dem Verhalten der Menschen, den rechtlichen Vorgaben und den örtlichen Bedingungen. Dadurch lassen sich nachhaltige Lösungen nur begrenzt verallgemeinern. Es bedarf einer sorgfältigen Analyse und Abwägung, um die Balance zwischen Nachhaltigkeit und den Anforderungen im Gesundheitswesen zu finden.

Insgesamt sollten Gesundheitseinrichtungen die Gelegenheit nutzen, Vorreiter im Bereich Nachhaltigkeit zu werden, um als Beispiel für andere Sektoren zu dienen. Ein ausgewogenes Gleichgewicht zwischen qualitativ hochwertiger Versorgung und ökologischer Verantwortung wird dazu beitragen, die langfristige Gesundheit sowohl der Patienten als auch unseres Planeten zu gewährleisten.

6. Glossar

Treibhausgase

Als Treibhausgase werden Gase in unserer Atmosphäre bezeichnet, die Wärmestrahlung aufnehmen und wieder abgeben können. Sie sind verantwortlich für den sogenannten Treibhauseffekt. Wird die Erdoberfläche von der Sonne erwärmt, gibt sie Wärmestrahlung ab, die von den Treibhausgasen aufgenommen und wieder zur Erde zurückgesendet. Dieser Effekt verhindert, dass zu viel Energie ins Weltall abgegeben wird. Zu den Treibhausgasen gehören neben Kohlenstoffdioxid, Methan auch die für Narkosen verwendeten Gase wie Lachgas und Desfluran.

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/service/glossar/t?tag=Treibhausgas#alpha> bar (abgerufen am 25.08.2023)

Scope-1-3-Emissionen

Scope-1-3-Emissionen sind Begriffe aus dem GHG-Protokoll. Während Scope 1 nur direkte Emissionen aus eigener Verbrennung – z. B. durch Benzin für Rettungswagen – beinhaltet, fallen unter Scope 2 indirekte Emissionen aus dem Bezug von leistungsbundener Energie für Heizung oder Elektrizität. Scope 3 beinhaltet sonstige indirekte Emissionen aus Prozessen, die z. B. durch eingekaufte Medizinprodukte und Verbrauchsmaterialien verursacht werden.

Quelle: <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/ghg-protocol-revised.pdf> (abgerufen am 25.08.2023)

Greenhouse Gas (GHG)-Protokoll

Das sogenannte Greenhouse Gas (GHG)-Protokoll legt weltweit standardisierte Rahmenwerke zur Messung und Verwaltung von Treibhausgasemissionen aus Betrieben oder Wertschöpfungsketten des privaten und öffentlichen Sektors sowie Minderungsmaßnahmen fest.

Quelle: <https://ghgprotocol.org/> (abgerufen am 25.08.2023)

CO₂-Fußabdruck

Der CO₂-Fußabdruck ist die berechnete Emission eines Produkts bzw. dessen CO₂-Bilanz. Berücksichtigt wird dabei der gesamte Lebenszyklus des Produkts: von der Rohstoffgewinnung über Herstellung, Lagerung, Transport und Nutzung bis zur abschließenden Entsorgung oder dem Recycling. Der Wert beschreibt, wie viel Treibhausgas insgesamt freigesetzt wird und wird häufig in CO₂-Äquivalenten (CO₂e) angegeben [4]. Der CO₂-Fußabdruck sollte allerdings nicht als einziges Maß für Nachhaltigkeit herangezogen werden. Es ist z. B. auch entscheidend, wie viel Wasser ein Prozess oder ein Produkt bei der Herstellung, Verwendung und Instandhaltung verbraucht.

Quelle: https://www.umweltpakt.bayern.de/energie_klima/fachwissen/279/carbon-footprint (abgerufen am 25.08.2023)

Ökologischer Fußabdruck

Der Ressourcenverbrauch eines Menschen, Landes oder Unternehmens kann umgerechnet werden in eine fiktive biologisch produktive Fläche, die zur Bedarfsdeckung dieses Menschen/Landes/Unternehmens notwendig wäre. Die Gesamtfläche wird als ökologischer Fußabdruck bezeichnet und enthält u. a. Flächen zur Produktion von Lebensmitteln, Energie, Kleidung und Müllentsorgung.

Quelle: <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/das-junge-politik-lexikon/321523/oekologischer-fussabdruck/> (abgerufen am 25.08.2023)

CO₂-Äquivalente

Ein Prozess oder ein Produktionsschritt setzt oftmals nicht nur CO₂, sondern auch andere Treibhausgase wie Methan (CH₄) oder Lachgas (N₂O) frei. Da CO₂ für den menschengemachten Klimawandel am relevantesten ist, wird die Menge der insgesamt freigesetzten Treibhausgase häufig als sogenannte CO₂-Äquivalente (CO₂e) angegeben. Hierbei dient CO₂ als Referenzgas, in welches die Treibhauswirkung der anderen Gase umgerechnet wird.

Quelle: <https://allianz-entwicklung-klima.de/toolbox/was-bedeutet-co2-aequivalent-co2e-und-global-warming-potential-gwp/> (abgerufen am 25.08.2023)

Lebenszyklusanalyse/Umweltbilanz/Ökobilanz/Life-cycle Assessment

Bei einer Lebenszyklusanalyse auch Ökobilanz genannt, werden alle Auswirkungen eines Produktes von der Produktion bis zur Entsorgung auf die Umwelt systematisch analysiert. Dazu gehören auch Auswirkungen der verbundenen Prozesse wie z.B. Emissionen aus Energieerzeugung oder Transporten. Sie ist umfassender als der CO₂-Fußabdruck, der nur die Auswirkungen auf die Luft berücksichtigt.

Quelle: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekobilanz> (abgerufen am 25.08.2023)

7. Literatur- und Abbildungsverzeichnis

- [1] Karliner Josh, Slotterback Scott, Boyd Richard, Ashby Ben, Steele Kristian. How the Health Sector Contributes to the Global Climate Crisis and Opportunities for Action. Health Care Without Harm ARUP 2019. https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf (abgerufen am 07.08.2023)
- [2] Curtis Sarah, Fair Alistair, Wistow Jonathan, Val DimitriV, Oven Katie. Impact of extreme weather events and climate change for health and social care systems. *Environ Heal* 2017;16: 128.
- [3] Bundesministerium für Gesundheit und Soziale Sicherungen. Klimapakt Gesundheit. 2022. https://www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/3_Downloads/G/Gesundheit/Erklaerung_Klimapakt_Gesundheit_A4_barrierefrei.pdf (abgerufen am 07.08.2023)
- [4] Bhopal Anand, Norheim Ole F. Priority setting and net zero healthcare: how much health can a tonne of carbon buy? *BMJ* 2021;375: e067199.
- [5] United Nations. United Nations Framework Convention on Climate Change: Health Institutions Join the United Nations Race to Zero Campaign. 2021. <https://unfccc.int/news/health-institutions-join-the-united-nations-race-to-zero-campaign> (abgerufen am 07.08.2023)
- [6] Prasad Purnima A, Joshi Dhruvi, Lighter Jennifer, Agins Jenna, Allen Robin, Collins Michael, Pena Foohel, Velletri Joan, Thiel Cassandra. Environmental footprint of regular and intensive inpatient care in a large US hospital. *Int J Life Cycle Assess* 2022;27: 38–49.
- [7] Lenzen-Schulte Martina. Medizinische Abfallentsorgung: Wenn Abfall nicht einfach Müll ist. *Dtsch Ärzteblatt* 2019;116: A96–97.
- [8] Tennison Imogen, Roschnik Sonia, Ashby Ben, Boyd Richard, Hamilton Ian, Oreszczyn Tadj, et al. Health care's response to climate change: a carbon footprint assessment of the NHS in England. *Lancet Planet Health* 2021;5: e84–92.
- [9] McGain Forbes, Burnham Jason P, Lau Ron, Aye Lu, Kollef Marin H, McAlister Scott. The carbon footprint of treating patients with septic shock in the intensive care unit. *Crit Care Resusc* 2018;20: 304–312.
- [10] Jabaudon Matthieu, Zhai Ruoyang, Blondonnet Raiko, Bonda Woodys Lenga Ma. Inhaled sedation in the intensive care unit. *Anaesthesia, Crit Care Pain Med* 2022;41: 101133.
- [11] MacNeill Andrea J, Lillywhite Robert, Brown Carl J. The impact of surgery on global climate: a carbon footprinting study of operating theatres in three health systems. *Lancet Planet Health* 2017;1: e381–388.

- [12] Singh Hardeep, Eckelman Matthew, Berwick Donald M, Sherman Jodi D. Mandatory Reporting of Emissions to Achieve Net-Zero Health Care. *N Engl J Med* 2022;387: 2469–76.
- [13] McGain Forbes, Muret Jane, Lawson Cathy, Sherman Jodi D. Environmental sustainability in anaesthesia and critical care. *Br J Anaesth* 2020;125: 680–692.
- [14] Drew Jonathan, Christie Sean D, Rainham Daniel, Rizan Chantelle. Healthcare LCA: an open-access living database of health-care environmental impact assessments. *Lancet Planet Health* 2022;6: e1000–1012.
- [15] Hunfeld Nicole, Diehl Jan Carel, Timmermann Maarten, van Exter Pieter, Bouwens Joris, Browne-Wilkinson Savanna, de Planque Nine, Gommers Diederik. Circular material flow in the intensive care unit-environmental effects and identification of hotspots. *Intensive Care Med* 2023;49: 65–74.
- [16] Ivanović Tijana, Meisel Hans-Jörg, Som Claudia, Nowack Bernd. Material flow analysis of single-use plastics in healthcare: A case study of a surgical hospital in Germany. *Resour Conserv Recycl* 2022;185: 106425.
- [17] Kubicki Mark A, McGain Forbes, O'Shea Catherine J, Bates Samantha. Auditing an intensive care unit recycling program. *Crit Care Resusc* 2015;17: 135–140.
- [18] Bein Thomas. CO₂-Fußabdruck der Intensivmedizin – „let's go green“. *Medizinische Klin - Intensivmed Und Notfallmedizin* 2023;118: 358–361.
- [19] Bolten A, Kringos DS, Spijkerman IJB, Sperna Weiland Nicolaas Hendrik. The carbon footprint of the operating room related to infection prevention measures: a scoping review. *J Hosp Infect* 2022;128: 64–73.
- [20] Pollard Adam S, Paddle JJ, Taylor TJ, Tillyard A. The carbon footprint of acute care: how energy intensive is critical care? *Public Health* 2014;128: 771–776.
- [21] Kucera Martin. Green Hospital Lichtenfels: Das grüne Vorbild. *Kma-Klinik Manag Aktuell* 2019;24: 80–83.
- [22] Vollmer Martin K, Rhee Tae Siek, Rigby Matt, Hofstetter Doris, Hill Matthias, Schoenenberger Fabian, Reimann Stefan. Modern inhalation anesthetics: potent greenhouse gases in the global atmosphere. *Geophys Res Lett* 2015;42: 1606–1611.
- [23] Sulbaek Andersen Mads P, Nielsen Ole J, Wallington Timothy J, Karpichev Boris, Sander Stanley P. Medical intelligence article: assessing the impact on global climate from general anesthetic gases. *Anesth Analg* 2012;114: 1081–1085.
- [24] Richter Hannah, Weixler S, Schuster Martin. Der CO₂-Fußabdruck der Anästhesie. Wie Die Wahl Volatiler Anästhetika Die CO₂-Emissionen Einer Anästhesiologischen Klin Beeinflusst *Anästh Intensivmed* 2020;61: 154–161.

- [25] Yassen Khaled Ahmed, Jabaudon Matthieu, Alsultan Hussah Abdullah, Almousa Haya, Shahwar Dur I, Alhejji Fatimah Yousef, Aljaziri Zainab Yaseen. Inhaled Sedation with Volatile Anesthetics for Mechanically Ventilated Patients in Intensive Care Units: A Narrative Review. *J Clin Med* 2023;12: 1069.
- [26] Sherman Jodi, Feldman Jeffrey, Berry James M. Reducing inhaled anesthetic waste and pollution. *Anesthesiol News* 2017: 4–17.
- [27] Sherman Jodi, McGain Forbes. Environmental sustainability in anesthesia: pollution prevention and patient safety. *Adv Anesth* 2016;34: 47–61.
- [28] Barwise John A, Lancaster Leland J, Michaels Damon, Pope Jason E, Berry James M. Technical communication: An initial evaluation of a novel anesthetic scavenging interface. *Anesth Analg* 2011;113: 1064–1067.
- [29] Baid Heather, Damm Eleanor, Trent Louise, McGain Forbes. Towards net zero: critical care. *BMJ* 2023;381: e069044.
- [30] Schuster M, Richter H, Pecher S, Bein T, Grüßer L, Kowark A, Lehmann F, Samwer C, Brenner T, Coburn M. Positionspapier mit konkreten Handlungsempfehlungen der DGAI und des BDA: Ökologische Nachhaltigkeit in der Anästhesiologie und Intensivmedizin - Aktualisierung 2024. *Anästh. Intensivmed* 2024;65:541-557. DOI:10.19224/ai2024.541.
- [31] Deutsche Gesellschaft für Internistische Intensivmedizin und Notfallmedizin. Intensivmedizin goes green – DGIIN rückt Nachhaltigkeit auf Intensivstationen in den Fokus. 2023 n.d. <https://www.dgiin.de/allgemeines/pressemitteilungen/pm-leser/intensivmedizin-goes-green-dgiin-rueckt-nachhaltigkeit-auf-intensivstationen-in-den-fokus.html> (abgerufen am 07.08.2023)
- [32] McGain Forbes, Ma Scott Cy, Burrell RobH, Percival Vanessa G, Roessler Peter, Weatherall Andrew D, Weber Ingo A, Kayak Eugenie A. Why be sustainable? The Australian and New Zealand College of Anaesthetists Professional Document PS64: Statement on Environmental Sustainability in Anaesthesia and Pain Medicine Practice and its accompanying background paper. *Anaesth Intensive Care* 2019;47: 413–422.
- [33] Kochanek M, Berek M et al. S1-Leitlinie Nachhaltigkeit in der Intensiv- und Notfallmedizin. *Med Klin Intensivmed Notfallmed* 2025;1-33. DOI:10.1007/s00063-025-01261-0
- [34] World Health Organization. WHO guidance for climate-resilient and environmentally sustainable health care facilities. World Health Organization; 2020. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240012226> (abgerufen am 07.08.2023)
- [35] Keil Mattis, Viere Tobias, Helms Kevin, Rogowski Wolf. The impact of switching from single-use to reusable healthcare products: a transparency checklist and systematic review of life-cycle assessments. *Eur J Public Health* 2023;33: 56–63.

[36] Bulakh Iryna, Didichenko Magaryta, Kozakova Olena, Chala Olena. Sustainable futures in the context of architectural design of hospitals. E3S Web Conf., vol. 166, EDP Sciences; 2020, p. 8001.

[37] Litke Nicola, Szecsenyi Joachim, Wensing Michel, Weis Aline. Green Hospitals: Klimaschutz im Krankenhaus. Dtsch Arztebl Int 2020;117: A-544.

[38] Campion Nicole, Thiel Cassandra L, Woods Noe C, Swanzey Leah, Landis Amy E, Bilec Melissa M. Sustainable healthcare and environmental life-cycle impacts of disposable supplies: a focus on disposable custom packs. J Clean Prod 2015;94: 46–55.

[39] Beloeil Helene, Albaladejo Pierre. Initiatives to broaden safety concerns in anaesthetic practice: The green operating room. Best Pract Res Clin Anaesthesiol 2021;35: 83–91.

[40] Moons Karen, Waeyenbergh Geert, Pintelon Liliane. Measuring the logistics performance of internal hospital supply chains—a literature study. Omega 2019;82: 205–217.

[41] Trent Louise, Law Joanna, Grimaldi David. Create intensive care green teams, there is no time to waste. Intensive Care Med 2023;49: 440–443.

Abbildung 1

Sonderausgabe DESINFECTS GREEN 2023, HARTMANN SCIENCE CENTER, BODE Chemie GmbH - ein Unternehmen der HARTMANN GRUPPE.

Oberflächen, Reinigung und Desinfektion

Dr. Kristina Lachmann, Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik
Braunschweig

Die Patienten, die auf der Intensivstation (ITS) behandelt werden, sind sehr schwer erkrankt und/oder leiden unter einem geschwächten Immunsystem, was die Wahrscheinlichkeit für zusätzliche Erkrankungen weiter erhöht. Im Vergleich zur Normalstation oder der Intermediate Care Station werden zudem zahlreiche medizinische Geräte eingesetzt. Die Patienten werden z. B. oft beatmet. All dies resultiert in einer Vielzahl an unterschiedlichen Oberflächen, mit denen der Patienten und das Personal in Kontakt kommen und die regelmäßig und effizient gereinigt und desinfiziert werden müssen. Aufgrund der besonderen Vulnerabilität der Patienten auf der Intensivstation, wird die ITS in den KRINKO-Empfehlungen als Bereich mit erhöhtem Infektionsrisiko klassifiziert[1]. Materialauswahl/Oberflächen, Reinigung und Desinfektion müssen daher gemäß dieser Definition umgesetzt werden. Insbesondere der patientennahe Bereich erhält besondere Aufmerksamkeit. Kontaminierte Oberflächen können hier neben einer direkten Übertragung (z. B. durch Kontakt oder Aufwirbelung) auch indirekt (über die Hände des Personals oder von Besuchern) zu einem Risiko werden. Neben klassischen Reinigungs- und Desinfektionsmitteln sind in den letzten Jahren auch neue Reinigungs- und Desinfektionsverfahren, wie Probiotika oder UVC-Bestrahlung verstärkt untersucht worden. Materialeitig gibt es unterschiedliche Ansätze, über antimikrobielle Beschichtungen oder eine gezielte Gestaltung der Oberflächentopographie das Infektionsrisiko weiter zu vermindern.

1. Problemstellungen im Kontext der Intensivstation/ Patientenzimmer auf ITS

Die ITS gilt als Bereich mit erhöhtem Infektionsrisiko, da dort Personen behandelt werden, die mit besonders schwer erkrankt sind oder oft besonders anfällig für Infektionskrankheiten sind [2]. Gleichzeitig werden in der ITS durch eine medizinische Intervention oft natürliche Barrieren des Patienten umgangen (z. B. bei (Blasen-)Kathetern oder Beatmungssystemen[3]). In einem kürzlich erschienen Review-Artikel verweisen Cruz-López et al auf Sekundärliteratur zu möglichen Infektionsquellen für nosokomiale Infektionen. Mehrfach werden hier patientennahe und entfernte Flächen benannt[4]. Für neonatologische Intensivstationen ergeben sich spezielle und ergänzende Empfehlungen zur Infektionsprävention[5].

Die Übertragung der Infektionen erfolgt primär über kontaminierte Hände (durch den Patienten oder das Personal), kontaminierte medizinische Geräte oder auch die Umgebung (siehe auch Abb. 1). Laut Gastmeier liegt die exogene Übertragung von nosokomialen Infektionen in Europa bei 5 – 20 %[6]. Die Gefahr auf der Intensivstation aufgrund der Konstitution des Patienten eine nosokomiale Infektion zu erleiden, ist ungleich höher, als auf der Normalstation. Gleichzeitig ist aufgrund des hohen Antibiotikaeinsatzes auf der ITS die Gefahr der Entstehung multiresistenter Keime besonders hoch [7,8].

Eine Reinigung und Desinfektion des Patientenzimmers kann unzureichend sein, um Keime vollständig aus dem Zimmer zu entfernen [3,9]. Dadurch steigt das Infektionsrisiko eines Patienten, sich zu infizieren, schlimmstenfalls mit einem multiresistenten Keim, wenn der Patient, der das Zimmer zuvor belegt hat, mit einem solchen infiziert war [10,11,12]. Um die Keimbelastung weiter zu reduzieren und das Infektionsrisiko abzusenken kann ein kombinierter Einsatz mit neuen Technologien wie UV-C, Plasma oder H₂O₂ ebenso sinnvoll sein, wie der Einsatz probiotischer Mittel.

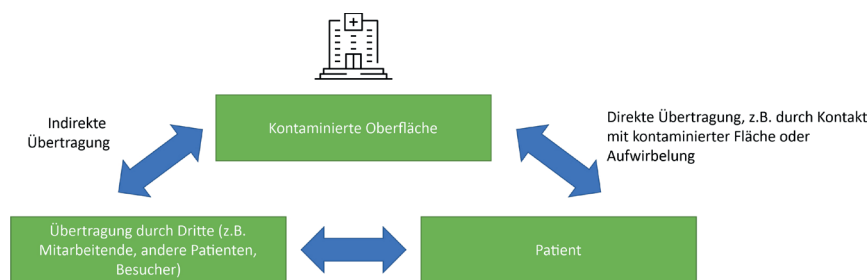


Abbildung 1
Übertragungswege von mikrobiellen Kontaminationen im Patientenzimmer oder der Intensivstation

In den KRINKO-Empfehlungen „Anforderung an die Hygiene bei der Reinigung und Desinfektion von Flächen“ aus dem Jahr 2022 wird ebenfalls eine Übersicht zur Wirksamkeit verschiedener Desinfektionsmittelklassen gegeben[13]. Die Flächendesinfektion gilt als Basishygiene. Diese wird für die ITS die Empfehlungen der postoperativen Wundinfektion[14], die Infektionsprävention im Rahmen der Pflege und Behandlung von Patienten mit übertragbaren Krankheiten[15], und die Anforderungen an die Infektionsprävention bei der medizinischen Versorgung von immunsupprimierten Patienten[16] verwiesen. Für Infektionen mit spezifischen Erregern gibt es zudem weitere Empfehlungen [17,18,19,20,21].

2. Stand der Wissenschaft, Technik und Evidenz

2.1 Reinigung und Desinfektion

In der neuen KRINKO-Empfehlung „Anforderung an die Hygiene bei der Reinigung und Desinfektion von Flächen“ aus dem Jahr 2022 wird zwischen Flächenreinigung, Flächendesinfektion und Desinfektion unterschieden. Die *Flächenreinigung* dient dem Entfernen von Verschmutzungen und Verunreinigungen durch wasserbasierte Reinigungsmittel, denen entsprechende Reiniger hinzugegeben werden. Eine Reinigung entfernt auch Mikroorganismen von Oberflächen, es tötet sie jedoch nicht ab. Bei der *Desinfektion* wird die Anzahl an vegetativen Bakterien auf Oberflächen um den Faktor $\geq 5 \log_{10}$ reduziert – Schimmelpilze, Hefen, Viren, Mykobakterien und *C. difficile*-Sporen um den Faktor $4 \log_{10}$ [22]. Hier wird zwischen *Flächendesinfektion* (einstufiger Prozess, z. B. für die Desinfektion von aseptischen Flächen ohne Anspruch auch Reinigung) und *desinfizierender Flächenreinigung* (Reinigung und Desinfektion in einem Schritt) unterschieden. Bei der desinfizierenden Reinigung werden dem Mittel sowohl ein Reinigungszusatz als auch ein desinfizierender Wirkstoff zugesetzt. Verschiedene Studien belegen die Wirksamkeit des Einsatzes von Desinfektionsmittels gegenüber einer ein-

fachen Reinigung[23,24,25]. Als Mindestanforderung eines Desinfektionsmittels gilt das Wirkspektrum bakterizid (gegenüber vegetativen Bakterien) und levurozid (gegenüber Hefen). Für bestimmte Erreger gibt es entsprechende Erweiterungen [26,27,28,29]. Bei kommerziell erhältlichen Mitteln zur Flächendesinfektion wird meist eine Kombination verschiedener Wirkstoffe eingesetzt. Die Auswahl muss sich neben der Wirksamkeit der Mittel auch an deren Verträglichkeit gegenüber Menschen, Tieren, Umwelt und Material orientieren. Reinigung und Desinfektion müssen so durchgeführt werden, dass sie nicht zu einer Verbreitung der mikrobiellen Belastung führen können.

In zahlreichen Studien werden in patientennaher Umgebung zahlreiche Mikroorganismen nachgewiesen, sofern keine Flächendesinfektion stattfindet [30,31,32,33,34,35,36]. Gleichzeitig ist es nachgewiesen, dass durch die Flächendesinfektion und die Handhygiene die mikrobielle Belastung reduziert wird [37,38,39,40,41,42]. Die Übertragungswege von Krankheitserregern wurden in verschiedenen Studien untersucht [43,44,45,46,6]. Beispielhaft sei hier eine aktuelle Studie von Kuczewski et al erwähnt, die die Übertragungswege von patientennahen und patientenfernen Oberflächen auf den Patienten unter realen Bedingungen beschreibt [47]. Auf zahlreichen unbelebten Flächen konnte eine Übertragung der Mikroorganismen beobachtet werden [48,49,50,51]. Insbesondere die patientennahe Umgebung wurde hier als besonderes Risiko für eine nosokomiale Infektion bestätigt. Die Kontaminationen sind vor allem auf eine Übertragung durch Hände (durch Personal und Patient) zurückzuführen. Dies führt auch dazu, dass Erregern auch auf patientenfernen Flächen zu finden sind. Auch Verunreinigungen durch die Personen, die das Zimmer zuvor belegt haben, wurden bestätigt. Die Studie von Kuczewski belegt demnach die Empfehlungen einer regelmäßigen Handhygiene sowie dem besonderen Augenmerk auf einer Reinigung und Desinfektion patientennaher Bereiche.

Im Umfeld immunsupprimierter Patienten muss abgewogen werden, ob eine Reinigung ausreicht oder eine Desinfektion notwendig ist. Für patientennahe Flächen auf der Intensivstation hat die KRINKO klare Empfehlungen einer regelmäßigen Flächendesinfektion. Klassische Desinfektionsmittel bestehen aus chemischen Verbindungen wie Alkoholen, Glucoprotamin, Aldehyden, Peressigsäure (PES), Peroxiden, Chlordioxid, Hypochlorit und quartären Ammoniumsalzen (QAV: quartäre Ammoniumverbindungen) [52]. Um ein breites Wirkspektrum zu erhalten werden meist Mischungen der einzelnen Komponenten eingesetzt. Für bestimmte QAV wurde ein Zusammenhang zwischen Resistenzbildung und einer Antibiotikaresistenz nachgewiesen [53,54,55,56]. Aufgrund des hohen Antibiotikaeinsatzes auf Intensivstationen muss die Zusammensetzung der Reinigungs- und Desinfektionsmittel daher gut abgewogen werden.

Neben klassischen Desinfektionsmitteln werden seit einigen Jahren auch alternative Systeme erforscht und in realen Umgebungen erprobt. Zu diesen zählen z.B. Probiotika, Plasmaverfahren [57,58] und UVC-Strahlung [59,60].

Probiotika wurden entwickelt, um den Einsatz von Chemikalien zu reduzieren und um die mit einer verminderten Diversität von Mikroorganismen verbundenen Infektionsanfälligkeit aufzuhalten. In probiotischen Reinigungsmitteln werden verschiedene Bakterienspezies miteinander kombiniert. Der Einsatz der Probiotika basiert auf der

Annahme, dass diese mit den potenziell schädlichen Bakterien um Nährstoffe und Raum konkurrieren und dadurch deren Vermehrung reduziert wird. Klassert et al. beschreiben in einer Studie an der Charité in Berlin, dass durch den Einsatz von Probiotika die absolute Menge des Biofilms verringert werden kann [61]. In diesen Arbeiten wurden verschiedene Reinigungsverfahren miteinander verglichen und mikrobiologische Untersuchungen (inkl. PCR-Analyse) durchgeführt. Mittels probiotischer Reinigungsverfahren konnte die mikrobielle Belastung auf Flächen, um mehr als 90 % reduziert werden [62,63,64]. Vorteilhaft ist bei dem Einsatz von Probiotika, dass sich mittel- bis langfristig in den Patientenzimmern ein stabiles Mikrobiom aus probiotischen Bakterien ausbildet und infektiöse Bakterien verdrängt werden. Im Gegensatz dazu wirken konventionelle Verfahren nur kurzzeitig. Gesundheitsgefahren für den Patienten wurden bisher nicht beobachtet. Probiotische Verfahren eignen sich nicht für den Einsatz gegenüber viralen Erregern. Für eine generelle Empfehlung – insbesondere auch für den Einsatz auf der Intensivstation müssen weitere Studien durchgeführt werden.

UV-C-Desinfektion gehört wie Plasmaverfahren und H_2O_2 -Bedampfung zu den berührungslosen Desinfektionsverfahren. Für eine desinfizierende Reinigung ist daher immer ein zweistufiger Prozess notwendig. UV-C-Bestrahlung wird oft automatisiert mit Hilfe von Robotern umgesetzt. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass der Reinigungseffekt vom Operator abhängt und dass Schulungen des Personals unumgänglich sind [65,66,67,68,69,70].

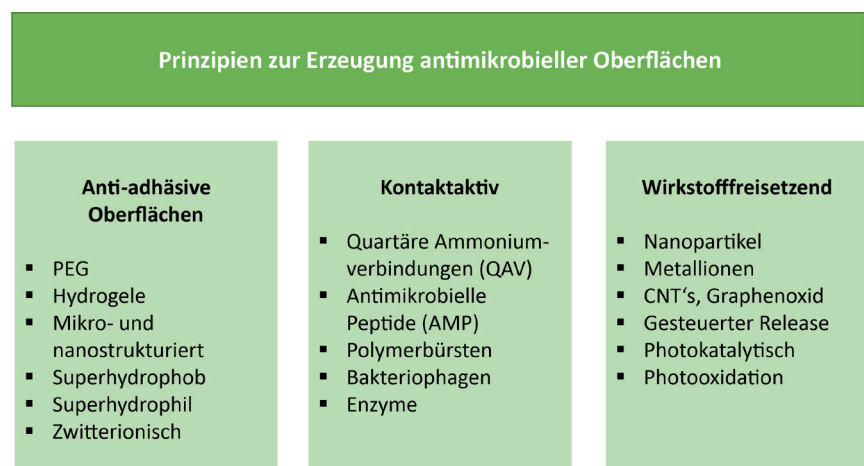
Casini et al. fanden, dass der Einsatz eines UVC-Roboters zur Desinfektion von Patientenzimmern zur Verringerung des Auftretens nosokomialer Infektionen führt. Der zusätzliche Einsatz des UV-C Roboters konnte die Kontamination der Patientenzimmer dabei signifikant reduzieren. Die UV-C Desinfektion erfolgte zwischen der Belegung des Zimmers mit zwei unterschiedlichen Patienten. Vorteilhaft ist hier insbesondere die berührungslose Desinfektion durch die Strahlung und kurze Prozesszeiten. Dies bestätigt auch vorhergehende Studien, die belegt haben, dass trotz adäquater Reinigung und Desinfektion 5- 30 % der Flächen in einem Patientenzimmer kontaminiert bleiben [71]. Dieser Effekt wird auf das Vorhandensein trockener Biofilme zurückgeführt, in denen Bakterien auch über lange Zeitspannen überleben können [72,73,74]. Nachteile der UV-C-Desinfektion sind das Gesundheitsrisiko für die Menschen durch die UV-C-Strahlung – die UV-C-Desinfektion darf nur in leeren Räumen eingesetzt werden und organische Materialien und Oberflächen können durch die Strahlung altern und ihre Farbe verändern.

Auch andere berührungslose Reinigungsverfahren, z. B. durch Einsatz von Plasmen (= elektrische Gasentladung) oder H_2O_2 -Begasung finden verstärkt Anwendung in Forschung und Entwicklung (F&E) und in ersten Studien in der Praxis. Sie zeigen eine entsprechende Wirksamkeit gegenüber verschiedenen Erregern oder nicht beherrschbaren Ausbrüchen. Bisher wird den Ergebnissen noch nicht die notwendige Evidenz zugeschrieben [57,58,75,76,77] und es werden zahlreiche Limitationen aufgezeigt [77,78,79,80,81]. Limitiert werden diese Verfahren durch Veränderungen der Materialeigenschaften an der Oberfläche [57, 58] oder potenzielle Gesundheitsrisiken, durch entstehende Gase oder Abgase. Um diese zu umgehen, wird an autarken Lösungen geforscht, die eine Absaugung und Aufbereitung der Gase beinhalten.

2.2 Materialien und Oberflächen

Aldhart et al. fassen in einem Review-Artikel aus dem Jahr 2018 verschiedene Strategien und Beispiele für die Erzeugung antimikrobieller Oberflächen zusammen und deren Anwendung im Kontext von Krankenhäusern und anderen Gesundheitseinrichtungen [82]. Fokussiert wird hierbei auf Oberflächen der Ausstattungselemente von Krankenhäusern, wie Tische, Griffe, Türklinken, Computertastaturen, Wasserhähne oder ähnliches. Der Review ist im Rahmen der COST-Action „AMiCI (AntiMicrobial Coating Innovations)“ entstanden. Es wird zwischen drei Prinzipien zur Erzeugung antimikrobieller Oberflächen unterschieden (siehe auch Abb. 2): 1) Antihaf-Beschichtungen, 2) Kontakt-Aktiv und 3) Wirkstofffreisetzend. Auch Beschichtungen, deren Aktivität durch Bestrahlung mit (UV-)Licht initiiert wird (z. B. TiO_2 , Photokatalyse), werden beschrieben. Für eine Bewertung der Wirksamkeit unter realen Bedingungen wird hier noch auf entsprechende Testverfahren hingewiesen. Die Ansätze können dabei auch miteinander kombiniert werden [83,84]. Bei Freisetzung von Ionen oder antibakteriellen Wirkstoffen ist immer auch die Wirkung dieser Substanzen auf die Umwelt zu berücksichtigen. Es muss ebenfalls sichergestellt sein, dass sich keine Resistenzen bilden, die mit einer Antibiotikaresistenz einher gehen können.

Abbildung 2
Prinzipien zur Erzeugung antimikrobieller Oberflächen



Antiadhäsive Oberflächen fokussieren auf eine verminderte Anhaftung von Bakterien oder Mikroorganismen und eine verbesserte Reinigbarkeit. Dabei kommen unterschiedliche Konzepte zum Einsatz, wie superhydrophobe Oberflächen, hierarchische Strukturen oder Zwitterionen. Nanostrukturierungen unterstützen dabei den superhydrophoben Effekt und ein vermindertes Anhaften der Mikroorganismen [85]. Hierarchische Strukturen sind dabei oft aus der Natur inspiriert (Lotusblatt, Zikadenflügel) und werden technisch durch Strukturierungsmethoden und Beschichtungen nachgebildet. Zwitterionen vermindern die Adhäsion der Mikroorganismen dadurch, dass dessen Oberflächen stark hydratisiert sind. Kontaktaktive Oberflächen sind beispielsweise solche, an die quartäre Ammoniumsalze gebunden sind oder sogenannte Polymerbürsten. An letztere werden oft auch antimikrobielle Peptide gebunden, die dann durch Kontakt mit den Mikroorganismen zu deren Absterben führen. Auch die Anbindung von Bakteriophagen zur Reduktion der bakteriellen Belastung wird in der Literatur beschrieben. Oberflächen mit bakteriozider Wirkung geben bestimmte Stoffe oder Ionen ab, die direkt zum Absterben der Mikroorganismen führen. Hierbei gibt es vier wesentliche Mechanismen: Induzierung von oxidativem Stress, Proteindisfunktion, Zerstörung der Membran und Verhinderung der Transkription.

Es gibt verschiedene Untersuchungen zum Einfluss der Oberflächenrauheit auf die Adhäsion von Mikroorganismen. Generell wird angenommen, dass mit steigender Oberflächenrauheit die Adhäsion von Mikroorganismen zunimmt [86,87]. In der Literatur wird ein Ra Wert von 0,8 µm oft als besonders geeignet für „hygienische Oberflächen“ beschrieben [82]. Allerdings beschreibt der Ra-Wert eine statistische Größe und gibt keine Hinweise auf die örtliche Verteilung der Rauheit oder deren Form und Aspektverhältnis. De-la-Pinta et al. weisen in ihrer Veröffentlichung ebenfalls auf Kontroversen in der Betrachtung des Einflusses der Rauheit hin. Inwieweit Mikroorganismen auf Oberflächen haften können, hängt nach dem Verständnis der Autoren vielmehr damit zusammen, wie viele Kontaktpunkte zwischen den Organismen und der Oberfläche erreicht werden können [88]. Die Autoren haben gezeigt, dass neben der Rauheit auch die Hydrophobizität der Oberflächen einen wesentlichen Einfluss auf die Adhäsion von Mikroorganismen hat. Diese wird gleichzeitig auch durch die Art des Organismus beeinflusst. In der Literatur sind zahlreiche Beispiele beschrieben, Oberflächen auszurüsten, um beispielsweise den Lotuseffekt auf artifizielle Oberflächen zu übertragen. Durch die Kombination aus Mikro- und Nanostruktur der Oberflächen zeichnen sich diese durch eine sehr geringe Benetzbarkeit aus und z. B. Schmutz kann sehr leicht durch Wassertropfen von der Oberfläche entfernt werden. In einem Review von Wu et al. wird auf die physikalischen Effekte zwischen Bakterien und der Oberflächentopographie fokussiert [89]. Hier werden zahlreiche technische Beispiele benannt bakterizide Oberflächen durch Beschichtungsverfahren zu erzeugen. Besonders geeignet erscheinen hier säulenartige Strukturen, sogenannte Nanosäulen, in denen ebenfalls die Kontaktpunkte zu den Mikroorganismen vermindert werden und damit die Wechselwirkung zur Oberfläche minimiert werden. In Kombination mit einer hydrophoben Beschichtung entstehen auf nanostrukturierten Oberflächen superhydrophobe Eigenschaften, die den Lotuseffekt nachahmen. Dieser zeichnet sich durch eine selbstreinigende Wirkung und eine geringe Anschmutzbarkeit aus – diese kann gleichzeitig auch mit einer verminderten Adhäsion von Mikroorganismen und einer verbesserten Reinigbarkeit einhergehen. Allerdings wird in der Praxis unter Umständen auch die Benetzbarkeit mit den Desinfektionsmitteln verhindert, was unbedingt vermieden werden muss.

Die im Krankenhaus und auf der ITS eingesetzten Oberflächen sollten möglichst glatt und geschlossen sein. Offenporige Materialien sollten nicht verwendet werden, da es in Poren zur Anreicherung von Mikroorganismen und Biofilmen kommen kann. In der Intensivstation wird zwischen dem Mobiliar und den Oberflächen des Inventars, bzw. der medizinischen Geräte unterschieden. Ein wichtiges Auswahlkriterium der eingesetzten Materialien ist die Chemikalienbeständigkeit bzw. die Verträglichkeit der Reinigungs- und Desinfektionsmittel. Durch Abrasion während des Reinigungsprozesses kann es in der Lebensphase des Materials zu einer steigenden Aufrauhung der Oberflächen kommen, was wiederum die Adhäsion von Mikroorganismen verändert und schlechtestenfalls begünstigt. Zudem können bestimmte Desinfektionsmittel verschiedene Materialien angreifen – z. B. Alkohole bestimmte Kunststoffe oder Oxidationsmittel wie H₂O₂ oder Natriumhypochlorit Aluminium oder Edelstahl [90].

Zusammenfassend lässt sich für die Anforderungen an Materialien und Oberflächen für die Intensivstation Folgendes festhalten: Die Oberflächen oder antimikrobielle Beschichtungen müssen (a) in der Lage sein, die Anzahl an Keimen auf der Oberfläche zu reduzieren; (b) sie müssen mechanisch, tribologisch und chemisch stabil sein – ins-

besondere dort wo regelmäßig intensiv gereinigt und desinfiziert wird bzw. hohe mechanische Belastungen auftreten; (c) einen minimalen ökotoxischen Impact besitzen und nicht das Risiko einer Resistenzbildung fördern und (d) ökonomisch herstellbar sein. Zukünftig müssen weiterführende standardisierte Testverfahren entwickelt werden, um die Ergebnisse verschiedener Studien besser vergleichbar zu machen. Für wirkstofffreisetzende Oberflächen sind zudem regulatorische Vorgaben vorhanden, die eine Markteinführung verteuern und aufwändig machen. Mehr Potenzial haben dann antiadhäsive Oberflächen, die mit angepassten Reinigungsprotokollen vielversprechende Ergebnisse zeigen.

3. Darstellung der Empfehlungen

Im Einklang mit den KRINKO Empfehlungen werden die Patienten auf der Intensivstation vor allem durch eine zuverlässige Handhygiene und eine patientennahe Flächendesinfektion geschützt. Ablageflächen zur Durchführung aseptischer Tätigkeiten, müssen direkt vor der Benutzung desinfiziert werden. Kreuzkontamination können durch regelmäßige Handhygiene von Personal, Patienten und Dritten und eine Unterscheidung zwischen patientenseitigen und geräteseitigen Bedienoberflächen vermieden werden. Es empfiehlt sich daher, dass sowohl das medizinische Personal, als auch die Reinigungskräfte diesbezüglich regelmäßig geschult werden. Beispielhaft zu nennen sind hier der Einsatz von Qualitätskontrollen mit Fluoreszenzfarbstoffen zur Rückmeldung der Ergebnisse im Rahmen der praktischen Schulung.

Für die Reinigung und Desinfektion werden in den KRINKO-Empfehlungen (aus 2022) folgende bereichsspezifische Empfehlungen gegeben:

- Häufig berührte bzw. patientennahe Flächen: desinfizierende Flächenreinigung/Flächendesinfektion mit täglicher Reinigung auf der ITS
- Fußböden: desinfizierende Flächenreinigung
- Selten berührte Flächen: Reinigung

Oberflächen und Materialien sollten möglichst glatt und abgerundet sein, um sich gut reinigen zu lassen. Eine verminderte Anschmutzbarkeit reduziert das Risiko einer mikrobiellen Kontamination. Hier können entsprechende Oberflächenmodifikationen (Beschichtungen oder eine angepasste Topographie) zum Einsatz kommen. Die eingesetzten Materialien müssen alterungsbeständig sein und insgesamt eine hohe chemische Stabilität gegenüber den Reinigungsmitteln aufweisen. Neben patientennahen Oberflächen, stellen vor allem medizinische Geräte und invasive Therapien ein Risiko für eine Infektion dar. In beiden Fällen muss eine effektive Reinigung und Desinfektion erfolgen. Innerhalb eines Raums sollten die Materialien wenn möglich so ausgewählt werden, dass sie mit den gleichen Mitteln gereinigt und desinfiziert werden können. So kann die Sicherheit einer zuverlässigen Reinigung und Desinfektion gewährleistet werden und Verwechselungen zwischen verschiedenen Mitteln ausgeschlossen werden. Gleichzeitig gilt beim Einsatz von Desinfektionsmittel ein Minimierungsgebot. Da es sich um Chemikalien mit potenziell gesundheitsgefährdendem und ökotoxischem Potenzial handelt, muss anhand einer Nutzen-Risiko-Analyse das notwendige Wirkspektrum der eingesetzten Komponenten abgeleitet werden.

Neue Desinfektionsverfahren wie UV-C-Roboter, Plasma oder H₂O₂-Bedampfung weisen für viele Anwendungen eine hohe Wirksamkeit durch ein berührungsloses Verfahren auf und können mikrobielle Kontaminationen, die durch Standardverfahren nicht beseitigt werden effizient und in kurzer Zeit desinfizieren. Die Verfahren sollten allerdings nur zusätzlich zu den konventionellen Verfahren eingesetzt werden, um die Reinigung zu gewährleisten. Zudem sind Wechselwirkungen mit Oberflächen und Materialien und Alterungseffekte nicht auszuschließen. Zurzeit fehlen allerdings noch standardisierte Prüfverfahren, die die Wirksamkeit automatisierter maschineller Systeme bewerten. Von einem Einsatz derartiger Geräte aus der Intensivstation wird daher noch abgeraten.

4. Fazit/Ausblick

Reinigung, Desinfektion und die Auswahl und Beschaffenheit von Materialien und Oberflächen haben einen Einfluss auf die Besiedelung mit Mikroorganismen und stehen wechselseitig miteinander in Verbindung. Auch für die Intensivstation ergibt sich die Wirksamkeit und Notwendigkeit der Handdesinfektion, was in verschiedenen Studien belegt wurde, die einerseits den Patienten direkt schützt, andererseits aber auch verhindert, dass Kontaminationen verteilt werden.

Patientennahe Oberflächen müssen derartig gestaltet sein, dass sie gut zu reinigen und zu desinfizieren sind. Um die Patienten wirksam zu schützen wird von der KRINKO eine tägliche Flächendesinfektion für häufig berührte patientennahe Flächen empfohlen. Bei Auswahl der Materialien ist auf eine hohe chemische und mechanische Beständigkeit zu achten, um zu verhindern, dass eine Besiedlung mit Mikroorganismen durch Alterungseffekte verstärkt wird. Physikalische und chemische („aktive“ Oberflächen) können dazu eingesetzt werden, die Belastung mit Mikroorganismen zu verringern. Für eine Anwendung (auf der Intensivstation) ist dabei sicherzustellen, dass die Wirksamkeit auch unter realen Bedingungen gewährleistet ist und die Oberflächen eine hohe Beständigkeit aufweisen.

Neben klassischen Methoden zur Reinigung und Desinfektion zeigen berührungslose Verfahren, wie Plasma, UV-C und H₂O₂-Vernebelung vielversprechende Ergebnisse, wenn sie in Kombination mit einer Flächenreinigung eingesetzt werden. Allerdings sind diese Verfahren dadurch limitiert, dass chemische Veränderungen der Oberfläche auftreten können (Korrosion, Oxidation, Hydrophilisierung), was zu einer Änderung der Materialeigenschaften führt. Vielversprechend erscheint der Einsatz von Probiotika, welches auf mikrobiologischer Ebene wirkt.

Für die Intensivstation ist zu bedenken, dass das Infektionsrisiko hier besonders hoch ist und die Patienten besonders gefährdet sind.

5. Literatur- und Abbildungsverzeichnis

- [1] Anforderungen an die Hygiene bei der Reinigung und Desinfektion von Flächen. Bundesgesundheitsbl 65, 1074–1115 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00103-022-03576-1>
- [2] https://www.springermedizin.de/emedpedia/praktische-krankenhaushygiene-und-umweltschutz/intensivmedizin-und-anaesthesiologie-hygienische-massnahmen?epediaDoi=10.1007%2F978-3-642-41169-4_25#; besucht am 12.04.2023
- [3] Khalid Johani, Danya Abualsaud, Dayane M. Costa, Honghua Hu, Greg Whiteley, Anand Deva, Karen Vickery, Characterization of microbial community composition, antimicrobial resistance and biofilm on intensive care surfaces, Journal of Infection and Public Health, Volume 11, Issue 3, 2018
- [4] Flora Cruz-López, Adrián Martínez-Meléndez, and Elvira Garza-González. "How Does Hospital Microbiota Contribute to Healthcare-Associated Infections? Microorganisms 11, no. 1: 192, 2023
- [5] A Simon, M Zemlin, M Geipel, M. et al. Hygienestandards auf einer neonatologischen Intensivstation. Gynäkologe, 54, 2021
- [6] Petra Gastmeier, From 'one size fits all' to personalized infection prevention. J Hosp Infect., Mar;104, 3, 2020
- [7] J. Carlet, A. Ben Ali, A. Tabah, V. Willems, F. Philippart, A. Chafine, et al., Multidrug resistant infections in the ICU: mechanisms, prevention and treatment; Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Berlin Germany, 2007
- [8] R. Kuhlen, R. Moreno, M. Ranieri, A. Rhodes; 25 years of progress and innovation in intensive care medicine, Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, 2007
- [9] D.M. Costa and others, Biofilm contamination of high-touched surfaces in intensive care units: epidemiology and potential impacts, Letters in Applied Microbiology, 68, 4, 2019
- [10] Rupak Datta, Richard Platt, Deborah S Yokoe, Susan S Huang, Environmental cleaning intervention and risk of acquiring multidrug-resistant organisms from prior room occupants. Arch Intern Med 171,6, 2011
- [11] Brett G. Mitchell, S.J. Dancer, M. Anderson, E. Dehn Risk of organism acquisition from prior room occupants: a systematic review and meta-analysis J Hosp Infect, 91, 2015
- [12] Bevin Cohen, Jianfang Liu, Adam Ross Cohen, Elaine Larson, Association Between Healthcare-Associated Infection and Exposure to Hospital Roommates and Previous Bed Occupants with the Same Organism. Infect Control Hosp Epidemiol 39, 5, 2018

- [13] Anforderungen an die Hygiene bei der Reinigung und Desinfektion von Flächen. Bundesgesundheitsbl 65, 1074–1115 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00103-022-03576-1>
- [14] Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO), Prävention postoperativer Wundinfektionen. Bundesgesundheitsbl 61, 4, 2018
- [15] Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO), Infektionsprävention im Rahmen der Pflege und Behandlung von Patienten mit übertragbaren Krankheiten. Bundesgesundheitsbl 58, 10, 2015
- [16] Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO), Anforderungen an die Infektionsprävention bei der medizinischen Versorgung von immun-supprimierten Patienten. Bundesgesundheitsbl 64, 2, 2021
- [17] Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO), Hygienemaßnahmen bei Clostridioides difficile-Infektion (CDI). Bundesgesundheitsbl 62, 7, 2019
- [18] Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO), Empfehlungen zur Prävention und Kontrolle von Methicillinresistenten Staphylococcus aureus-Stämmen (MRSA) in medizinischen und pflegerischen Einrichtungen. Bundesgesundheitsbl 57, 6, 2014
- [19] Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO). Hygienemaßnahmen bei Infektionen oder Besiedlung mit multiresistenten gramnegativen Stäbchen. Bundesgesundheitsbl 55, 10, 2012
- [20] Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) (2018) Hygienemaßnahmen zur Prävention der Infektion durch Enterokokken mit speziellen Antibiotikaresistenzen. Bundesgesundheitsbl 61, 10, 2018
- [21] Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO), Anforderungen der Hygiene an abwasserführende Systeme in medizinischen Einrichtungen. Bundesgesundheitsbl 63, 4, 2020
- [22] Verbund für Angewandte Hygiene e. V. (VAH), Desinfektionsmittel-Kommission, Anforderungen und Methoden zur VAH-Zertifizierung chemischer Desinfektionsverfahren, 2019 https://vahonline.de/fles/download/ebooks/eBook_VAH_Methoden_Anforderungen.pdf. Zugriffen am 01.06.2022
- [23] S. Dharan, P. Mourouga, P. Copin, G. Bessmer, B. Tschanz, D. Pittet, Routine disinfection of patients' environmental surfaces. Myth or reality? J Hosp Infect 42, 2, 1999
- [24] Era Tuladhar, Wilma C Hazeleger, Marion Koopmans, Marcel H Zwietering, Rijkelt R Beumer, Erwin Duizer, Residual Viral and Bacterial Contamination of Surfaces after Cleaning and Disinfection. Appl Environ Microbiol 78, 21, 2012

- [25] Anja Jacobshagen, Stefanie Gemein, Martin Exner, Jürgen Gebel, Test methods for surface disinfection: comparison of the Wiperator ASTM standard E2967-15 and the 4-feld test EN 16615. GMS Hyg Infect Control 2020
- [26] Verbund für Angewandte Hygiene e. V. (VAH), Desinfektionsmittel-Kommission, Anforderungen und Methoden zur VAH-Zertifizierung chemischer Desinfektionsverfahren, 2019 https://vahonline.de/files/download/ebooks/eBook_VAH_Methoden_Anforderungen.pdf
- [27] Holger F Rabenau, Ingeborg Schwebke, J. Blümel et al Leitlinie der Deutschen Vereinigung zur Bekämpfung der Viruskrankheiten (DVV) e. V. und des Robert Koch-Instituts (RKI) zur Prüfung von chemischen Desinfektionsmitteln auf Wirksamkeit gegen Viren in der Humanmedizin. Bundesgesundheitsbl 58, 6, 2015
- [28] Holger F Rabenau, Ingeborg Schwebke, Jochen Steinmann, Maren Eggers, Ingrid Rapp I, Dieter Neumann-Haefelin, Quantitative Prüfung der viruziden Wirksamkeit chemischer Desinfektionsmittel auf nicht-porösen Oberflächen. Hyg Med 37,3, 2012
- [29] Robert Koch-Institut (RKI) (2017) Liste der vom Robert Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren. Stand: 31. Oktober 2017 (17. Ausgabe). Bundesgesundheitsbl 60(11):1274–129
- [30] Marc JM Bonten, Mary K Hayden, Catherine Nathan, Jean van Voorhis, Marian Matushek, Sarah Slaughter, Thomas Rice, Robert A Weinstein, Epidemiology of colonisation of patients and environment with vancomycin-resistant enterococci. Lancet 348, 9042, 1996
- [31] David J Weber, William A Rutala, Melissa B. Miller, Kirk Huslage, Emily Sickbert-Bennett, Role of hospital surfaces in the transmission of emerging health care-associated pathogens: Norovirus, Clostridium difficile, and Acinetobacter species. Am J Infect Control 38,5, 2010
- [32] David J Weber, William A Rutala, Hajime Kanamori, Maria F Gergen, Emily Sickbert-Bennett, Carbapenem-Resistant Enterobacteriaceae: Frequency of Hospital Room Contamination and Survival on Various Inoculated Surfaces. Infect Control Hosp Epidemiol 36, 2015
- [33] Axel Kramer, Ingeborg Schwebke, Günter Kampf, How long do nosocomial pathogens persist on inanimate surfaces? A systematic review. BMC Infect Dis 6,130, 2010
- [34] Maryam Niyyati, Alireza Naghahi, Hamed Behniafar, Zoreh Lasjerdi, Occurrence of Free-living Amoebae in Nasal Swabs of Patients of Intensive Care Unit (ICU) and Critical Care Unit (CCU) and Their Surrounding Environments. Iran. J Public Health 47, 6, 2018
- [35] Dongxin Lin, Qianting Ou, Jialing Lin, Yang Peng, Zhenjiang Yao, A metaanalysis of the rates of Staphylococcus aureus and methicillin-resistant S aureus contamination on the surfaces of environmental objects that health care workers frequently touch. Am J Infect Control 45, 4, 2017

- [36] A Lerner, A Adler, J Abu-Hanna, I Meitus, S NavonVenezia, Y Carmeli, Environmental contamination by carbapenem-resistant Enterobacteriaceae. *J Clin Microbiol* 51, 1, 2013
- [37] Pamela S. Falk, Janice Winnike, Carta Woodmansee, M Desai, C. Glen Mayhall, Outbreak of vancomycin-resistant enterococci in a burn unit. *Infect Control Hosp Epidemiol* 21, 9, 2000
- [38] A Rampling, S Wiseman, L Davis, A.P. Hyett, A.N. Walbridge, G.C. Payne, A.J. Cornaby, Evidence that hospital hygiene is important in the control of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*. *J Hosp Infect* 49, 2, 2001
- [39] M Denton, M.H Wilcox, P Parnell, D Green, V Keer, P.M Hawkey, I Evans, P Murphy, Role of environmental cleaning in controlling an outbreak of *Acinetobacter baumannii* on a neurosurgical intensive care unit. *J Hosp Infect* 56,2:106–110, 2004
- [40] Stephanie J Dancer, Liza F White, Jim Lamb, E Kirsty Girvan & Chris Robertson, Measuring the effect of enhanced cleaning in a UK hospital: a prospective crossover study. *BMC Med* 7:28, 2009
- [41] A. Peter Wilson, Deborah Smyth, Ginny Moore, Julie Singleton, Richard Jackson, Vanya Gant, Annette Jeanes, Steven Shaw, Edward James, Ben Cooper, George Kafatos, Barry Cookson, Mervyn Singer, Geoffrey Bellingan, The impact of enhanced cleaning within the intensive care unit on contamination of the nearpatient environment with hospital pathogens: A randomized crossover study in critical care units in two hospitals. *Crit Care Med* 39, 4, 2011
- [42] Aaron S Hess, Michelle Shardell, J Kristie Johnson, Kerri A Thom, Mary-Claire Roghmann, Giora Netzer, Sania Amr, Daniel J Morgan, Anthony D Harris A randomized controlled trial of enhanced cleaning to reduce contamination of healthcare worker gowns and gloves with multidrugresistant bacteria. *Infect Control Hosp Epidemiol* 345, 2013
- [43] Anita Bhalla, Nicole J Pultz, Delores M Gries, Amy J Ray, Elizabeth C Eckstein, David C Aron, Curtis J Donskey, Acquisition of nosocomial pathogens on hands after contact with environmental surfaces near hospitalized patients. *Infect Control Hosp Epidemiol* 25, 2, 2004
- [44] F von Rheinbaben, S Schunemann, T Gross, MH Wolf, Transmission of viruses via contact in a household setting: experiments using bacteriophage phi X174 as a model virus. *J Hosp Infect* 46, 1, 2000
- [45] Usha Stiefel, Jennifer L Cadnum, Brittany C Eckstein, Dubert M Guerrero, Mary Ann Tima, Curtis J Donskey, Contamination of hands with methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* after contact with environmental surfaces and after contact with the skin of colonized patients. *Infect Control Hosp Epidemiol* 32, 2, 2011

- [46] Luke F Chen, Lauren P Knelson, Maria F Gergen, Olga M Better, Bradley P Nicholson, Christopher W Woods, William A Rutala, David J Weber, Daniel J Sexton, Deverick J Anderson, A prospective study of transmission of MultidrugResistant Organisms (MDROs) between environmental sites and hospitalized patients—the TransFER study. *Infect Control Hosp Epidemiol* 40, 1, 2019
- [47] E Kuczewski, L Henaff, A Regard, L Argaud, AC Lukaszewicz, Th Rimmelé, P Cassier, I Fredenucci, S Loeffert-Frémiot, N Khanafer, Ph Vanhems, Bacterial Cross-Transmission between Inanimate Surfaces and Patients in Intensive Care Units under Real-World Conditions: A Repeated Cross-Sectional Study, *Int. J Environmental Research and Public Health*, 19, 9401, 2022
- [48] Glenn Anderson, Enzo A Palombo, Microbial contamination of computer keyboards in a university setting. *Am J Infect Control* 37, 6, 2009
- [49] Hedieh Wojgani, Catherine Kehsa, Elaine Cloutman-Green, Colin Gray, Vanya Gant, Nigel Klein, Hospital Door Handle Design and Their Contamination with Bacteria: A Real Life Observational Study. Are We Pulling against Closed Doors? *Plos One* 7, 2012
- [50] O Assadian, DJ Leaper, A Kramer, KJ Ousey, Can the design of glove dispensing boxes influence glove contamination? *J Hosp Infect* 94, 3, 2016
- [51] Geehan Suleyman, George Alangaden, Ana Cecilia Bardossy, The Role of Environmental Contamination in the Transmission of Nosocomial Pathogens and Healthcare-Associated Infections. *Curr Infect Dis Rep* 20, 12, 2018
- [52] Verbund für Angewandte Hygiene e. V. (VAH), Desinfektionsmittel-Kommission (2022) Desinfektionsmittel-Liste des VAH. <https://vahliste.mhp-verlag.de/>, besucht am 14.05.2023
- [53] Madan Tandukar, Seungdae Oh, Ulas Tezel, Konstantinos T Konstantinidis, Spyros G Pavlostathis, Long-term exposure to benzalkonium chloride disinfectants results in change of microbial community structure and increased antimicrobial resistance. *Environ Sci Technol* 47, 17, 2013
- [54] Gui-Xin He, Michael Landry, Huizhong Chen, Conner Thorpe, Dennis Walsh, Manuel F Varela, Hongmiao Pan, Detection of benzalkonium chloride resistance in community environmental isolates of staphylococci. *J Med Microbiol* 63, 2014
- [55] Minjae Kim, Michael R Weigand, Seungdae Oh, Janet K Hatt, Raj Krishnan, Ulas Tezel, Spyros G Pavlostathis, Konstantinos T Konstantinidis, Widely Used Benzalkonium Chloride Disinfectants Can Promote Antibiotic Resistance. *Appl Environ Microbiol* 84, 17, 2018
- [56] Agnieszka Chojecka, Patryk Tarka, Krzysztof Kanecki, Aneta Nitsch-Osuch, Evaluation of the Bactericidal Activity of Didecyl Dimethyl Ammonium Chloride in 2-Propanol against *Pseudomonas aeruginosa* Strains with Adaptive Resistance to this Active Substance According to European Standards. *Tenside Surf Det* 56, 4, 2019

- [57] Akikazu Sakudo, Yoshihito Yagyu, Takashi Onodera, Disinfection and Sterilization Using Plasma Technology: Fundamentals and Future Perspectives for Biological Applications. *Int. J. Mol. Sci.* 2019
- [58] Sandra Moritz, Alisa Schmidt, Joachim Sann, Markus H Thoma, Surface modifications caused by cold atmospheric plasma sterilization treatment, *J. Phys. D: Appl. Phys.* 53, 325203, 2020
- [59] Stefan A. Rudhart, Frank Günther, Laura Dapper, Boris A. Stuck, Stephan Hoch, UV-C Light-Based Surface Disinfection: Analysis of Its Virucidal Efficacy Using a Bacteriophage Model. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19, 3246, 2022
- [60] Mahjabeen Khan, Murray McDonald, Kaustubh Mundada, Mark Willcox, Efficacy of Ultraviolet Radiations against Coronavirus, Bacteria, Fungi, Fungal Spores and Biofilm. *Hygiene*, 2, 120–131, 2022
- [61] Tilman E Klassert, Cristina Zubiria-Barrera, Robert Neubert, Magdalena Stock, Antony Schneegans, Mercedes López, Dominik Driesch, Gregor Zakonsky, Petra Gastmeier, Hortense Slevogt, Rasmus Leistner, Comparative analysis of surface sanitization protocols on the bacterial community structures in the hospital environment et al., *Clinical Microbiology and Infection* 28, 1105e1112, 2022
- [62] Elisabetta Caselli, Maria D'Accolti, Alberta Vandini, Luca Lanzoni, Maria Teresa Camerada, Maddalena Coccagna, Alessio Branchini, Paola Antonioli, Pier Giorgio Balboni, Dario Di Luca, Sante Mazzacane, Impact of a Probiotic-Based Cleaning Intervention on the Microbiota Ecosystem of the Hospital Surfaces: Focus on the Resistome Remodulation. *PLoS ONE* 11, 2, e0148857, 2016
- [63] Alberta Vandini, Robin Temmerman, Alessia Frabetti, Elisabetta Caselli, Paola Antonioli, Pier Giorgio Balboni, Daniela Platano, Alessio Branchini, Sante Mazzacane, Hard surface biocontrol in hospitals using microbial-based cleaning products. *Plos One* 9, 9, e10859, 2014
- [64] Vincenza La Fauci, Gaetano Bruno Costa, Francesca Anastasi, Alessio Facciola, Orazio Claudio Grillo, Raffaele Squeri, An innovative approach to hospital sanitization using probiotics: in vitro and field trials. *J Microb Biochem Technol* 7:3, 2015
- [65] Veronica Toffolutti, Aaron Reeves, Martin McKee, David Stuckler, Outsourcing cleaning services increases MRSA incidence: Evidence from 126 english acute trusts. *Soc. Sci. Med.*, 174, 64–69, 2017
- [66] Stephanie J Dancer, Controlling hospital-acquired infection: Focus on the role of the environment and new technologies for decontamination. *Clin. Microbiol. Rev.*, 27, 665–690, 2014.
- [67] Adam S Litwin, Ariel C Avgar, Edmund R Becker, Superbugs vs. Outsourced Cleaners: Employment arrangements and the spread of healthcare-associated infections. *Industrial. Labor. Relat. Rev.*, 70, 2016

- [68] N Kenters, T. Gottlieb, J Hopman, S Mehtar, ML Schweizer, E Tartari, E., ISAC working group Infection Prevention and Control; Huijskens EGW, Voss, A. An international survey of cleaning and disinfection practices in the healthcare environment. *J. Hosp. Infect.*, 100, 236–241, 2018
- [69] Teresa Daniels, Melissa Earlywine, Vicki Breeding, Environmental services impact on healthcare-associated *Clostridium difficile* reduction. *Am. J. Infect. Control*, 47, 2019
- [70] Beatrice Casini, Benedetta Tuvo, Michela Scarpaci, Michele Totaro, Federica Badalucco, Silvia Briani, Grazia Luchini, Anna Laura Costa, Angelo Baggiani, Implementation of an Environmental Cleaning Protocol in Hospital Critical Areas Using a UV-C Disinfection Robot; *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 20, 4284, 2023
- [71] Philip C Carling, Judene M Bartley, Evaluating hygienic cleaning in health care settings: what you do not know can harm your patients. *Am J Infect Control.*;38(5 Suppl 1), 2010
- [72] K Vickery, A Deva, A Jacombs, J Allan, P Valente, IB Gosbell, Presence of biofilm containing viable multiresistant organisms despite terminal cleaning on clinical surfaces in an intensive care unit. *J. Hosp. Infect*, 80, 52–55, 2012
- [73] H Hu, K Johani, IB Gosbell, ASW Jacombs, A Almatroudi, GS Whiteley, AK Deva, S Jensen, K Vickery, Intensive care unit environmental surfaces are contaminated by multidrug-resistant bacteria in biofilms: Combined results of conventional culture, pyrosequencing, scanning electron microscopy, and confocal laser microscopy. *J. Hosp. Infect.*, 91, 2015
- [74] JA Otter, K Vickery, JT Walker, E de Lancey Pulcini, P Stoodley, SD Goldenberg, JAG Salkeld, J Chewins, S Yezli, JD Edgeworth, Surface-attached cells, biofilms and biocide susceptibility: Implications for hospital cleaning and disinfection. *J. Hosp. Infect.*, 89, 2015.
- [75] Catherine L Passaretti, Jonathan A Otter, Nicholas G Reich, Jessica Myers, John Shepard, Tracy Ross, Karen C Carroll, Pam Lipsett, Trish M Perl, An Evaluation of Environmental Decontamination With Hydrogen Peroxide Vapor for Reducing the Risk of Patient Acquisition of Multidrug Resistant Organisms. *Clin Infect Dis* 56, 1, 2013
- [76] Canadian Agency for Drugs and Technologies in Health (CADTH), Non-Manual Techniques for Room Disinfection in Healthcare Facilities: A Review of Clinical Effectiveness and Guidelines (Rapid Response Report: Summary with critical Appraisal). CADTH, Ottawa, ON, 2014
- [77] Michelle Doll, Daniel J Morgan, Deverick Anderson, Gonzalo Bearman, Touchless Technologies for Decontamination in the Hospital: a Review of Hydrogen Peroxide and UV Devices. *Curr Infect Dis Rep* 17, 9, 2015
- [78] Detlef Reichenbacher, Marc Thanheiser, Dominique Krüger, Aktueller Stand zur Raumdekontamination mit gasförmigem Wasserstoffperoxid Status quo of room decontamination by vaporized hydrogen peroxide. *Hyg Med* 35, 6, 2010

[79] George Byrns, Thomas P Fuller, The risks and benefits of chemical fumigation in the health care environment. *J Occup Environ Hyg* 8, 2, 2011

[80] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung (DGUV), Prävention chemischer Risiken beim Umgang mit Desinfektionsmitteln im Gesundheitswesen (Factsheets, DGUV Information 207–206). DGUV, Berlin. <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3151>, 2016

[81] Robert Koch-Institut (RKI) (2017) Liste der vom Robert Koch-Institut geprüften und anerkannten Desinfektionsmittel und -verfahren. Stand: 31. Oktober 2017 (17. Ausgabe). *Bundesgesundheitsbl* 60(11):1274–1297

[82] C Adlhart, J Verran, NF Azevedo, H Olmez, MM Keinänen-Toivola, I Gouveia, LF Melo, F Crijs, Surface modifications for antimicrobial effects in the healthcare setting: a critical overview. *J Hosp Infect*;99, 3, 2018

[83] VDI-Statusreport, Antimikrobielle Oberflächen zur Infektionsprävention, 2020

[84] Urbashi Mahanta, Mudrika Khandelwal, Atul Suresh Deshpande, Antimicrobial surfaces: a review of synthetic approaches, applicability and outlook. *J Mater Sci* 56, 2021

[85] Achille Francone, Santos Merino, Aritz Retolaza, Jorge Ramiro, Sofia A. Alves, Joana Vieira de Castro, Nuno M. Neves, Ainara Arana, Jose M. Marimon, Clivia M. Sotomayor Torres, Nikolaos Kehagias, Impact of surface topography on the bacterial attachment to micro- and nano-patterned polymer films, *Surfaces and Interfaces*, 101494, 2021

[86] SE Tebbs, A Sawyer, SJ Elliot, Influence of surface morphology on in vitro bacterial adherence to central venous catheters, *British Journal of Anaesthesia*, 72, 5, 1994

[87] James D Bryers, William G Characklis, Processes governing primary biofilm formation. *Biotechnol. Bioeng.*, 24, 1982

[88] Iker De-la-Pinta, Mónica Cobos, Julen Ibarretxe, Elizabeth Montoya, Elena Eraso, Teresa Guraya, Guillermo Quindós, Effect of biomaterials hydrophobicity and roughness on biofilm development. *J Mater Sci: Mater Med* 30, 77, 2019

[89] Songze Wu, Botao Zhang, Yi Liu, Xinkun Suo, Hua Li, Influence of surface topography on bacterial adhesion: A review (Review); *Biointerphases* 13, 6, 060801-1, 2018

[90] LM Mireles et, Interactions of active compounds of disinfectants on metallic and polymeric hospital surfaces

Abbildung 1

In Anlehnung an: KRINKO-Empfehlungen 2022 [13]

Abbildung 2

In Anlehnung an: Literaturstelle [82]

Robotik in der Pflege

Ingolf Rascher, Management for Health Amsterdam/Bochum

1. Kurzbeschreibung des Themenfeldes bzw. Stellenwert des Themenbereich für die Pflege	200
2. Problemstellung	201
2.1 Szenarien	202
2.1.1 Szenario Psychosoziale Betreuung	202
2.1.2 Szenario Begleitung und Unterstützungsdienste mit Dokumentationsmöglichkeit - Pflegeassistenz	202
2.1.3 Szenario Erkennen von Personen und Situationen	203
3. Stand der Wissenschaft, Technik und Evidenz	203
4. Darstellung der Empfehlungen	204
5. Fazit/Ausblick	205
6. Literaturverzeichnis	206

1. Kurzbeschreibung des Themenfeldes bzw. Stellenwert des Themenbereiches für die Pflege

Die Pflege steht der Herausforderung eines steigenden Bedarfs nach Versorgung pflegebedürftiger Menschen (Statistisches Bundesamt. Destatis. 2023) bei gleichzeitigem Arbeitskräftemangel sowie einer sinkenden Zahl an Versicherten gegenüber. Um dieser Situation zu begegnen, wird seit einigen Jahren auch vor dem Hintergrund einer „Guten Pflege“ aus Sicht der Beschäftigten und der zu Pflegenden für den verstärkten Einsatz von Technik zur Unterstützung der Pflege plädiert. Roboter (Shishehgar et al. 2019) können hierfür durch pflegepraxisnahe Anwendungen einen wichtigen Baustein darstellen.

Technische Systeme sind in der Pflege nicht ungewöhnlich. Mit der Digitalisierung bzw. Automatisierung geht zugleich ein steter Wandel einher. Der Roboter als technisches Assistenzsystem erhält aktuell durch diverse Forschungsvorhaben einen neuen Stellenwert. Robotik, so die Aussagen, könnte eine Lösung zur Abfederung der sich abzeichnenden Problemlage in der Pflege sein, die Lebensqualität der Pflegebedürftigen verbessern, die Arbeit der Pflegekräfte erleichtern, informell Pflegenden unterstützen und die Effizienz und Effektivität von Pflegeleistungen erhöhen. Die Mensch-Roboter Kollaboration (MRK) in der Pflege ist gleichwohl eine Disziplin mit noch wenig Erkenntnissen. Die Vielfältigkeit, der im Pflegebereich diskutierten Technologien erfordert für jede Roboter- und Technikategorie beziehungsweise für die durch diese

abgedeckten Anwendungsfelder eine eigene Risiko-Nutzen-Abschätzung. Benötigt werden gut evaluierte Praxiserfahrungen, Analysen zu konkreten Tätigkeitsprofilen der Robotik in der Pflege sowie Handlungsleitfäden.

Zu beobachten sind aktuell gegenläufige Aktivitäten zur Unterstützung der Pflege durch Robotertechnologien. Einerseits zeigen aktuelle Arbeiten, dass das Potenzial von Robotern in der Pflege vorhanden ist und sich mit aktuellen Robotern prinzipiell gut umsetzen lässt. Andererseits wird jedoch häufig der Fokus auf einzelne Robotertechnologien gelegt und in der Folge kann Unterstützung nur mit deren Fähigkeiten geleistet werden. Das Paradigma der fähigkeitsorientierten kooperativen bzw. kollaborativen Robotik (auch „Kobotik“ genannt) kann begegnet werden, in dem Mensch und Roboter Aufgaben gemeinsam erledigen. Dieses aus der Produktion stammende Paradigma sieht verschiedene Grade der Kooperation vor, die von geführter Kooperation (Vorgabe von Bewegungen und Interaktion) über die Nutzung von Robotern als „dritte Hand“ bspw. zum Führen von Gegenständen bis zur Übergabe von Arbeits(teil)aufgaben und paralleler Arbeit von Mensch und Roboter an einer Aufgabe reicht (Franke, 2019). Das Potenzial dieses Konzepts wurde in der Pflege ebenfalls erkannt (Buxbaum & Sen 2018). In der Pflege werden verschiedene Potenziale von Robotik beschrieben. Hülsken-Giesler und Daxberger (Hülsken-Giesler, M. & Daxberger, 2018) verweisen jedoch darauf, dass der aktuelle Erkenntnistand zur Pflegerobotik dem Charakter der Pflegetätigkeit als personenbezogener Dienstleistung nicht gerecht werden würde. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit partizipativer Technologieentwicklung, um den Verselbständigungstendenzen moderner Technologien (Remmers 2018) eine sozio-technische Innovation entgegenzusetzen, in der Prozesse und Technik als Einheit geplant und umgesetzt werden. Der Einsatz in der Pflege soll bestehende Chancen (physische Entlastung, bessere Arbeitsorganisation, psychische Entlastung) aufnehmen, die Einsatzbereiche aber sollen über einfache Transferaufgaben (Krings & Weinberger 2017) hinausgehen. Entlang der oben beschriebenen Fähigkeiten von Mensch und Roboter bedeutet dies Roboter so einzusetzen, dass Pflegekräfte durch Übernahme von Tätigkeiten oder die Ausführung zusätzlicher Tätigkeiten durch Roboter entlastet werden, oder dass Roboter sie direkt bei Tätigkeiten unterstützen, wo dies möglich ist.

2. Problemstellungen

In der Pflege sollte der Einsatz von Robotern dem Bedarf folgen. Die Frage wäre also „Für welches Problem ist Robotik die Lösung (Rascher, Ingolf. Digitalisierung in der Altenpflege. Symposium am 9.12.2022). Um Einsatzmöglichkeiten speziell für die Altenpflege zu analysieren, wurden zwischen April bis Juni 2018, 207 stationäre Pflegeeinrichtungen angeschrieben. Von den angeschriebenen Einrichtungen haben 163 einen Fragebogen beantwortet. Dabei wurde der sozialwissenschaftliche Diskurs zur Technologisierung auf dem Hintergrund aktueller Entwicklungen des Pflegesektors (wie die Wissensexplosion, Zunahme der Aufgaben in der Pflege als Folge der demografischen Entwicklung) berücksichtigt. Die Aufgabe der Teilnehmer*innen an der Befragung bestand darin, relevante Pflegeprozesse zu identifizieren, in denen man sich eine Unterstützung vorstellen kann. Dabei sollten auch nicht-technische Lösungen genannt werden. Ethische Fragestellungen und Datenschutz wurden berücksichtigt, Arbeitsmarkt- und bildungspolitische Fragestellungen wurden nicht adressiert. Im Mittelpunkt stand die Frage nach wirkorientierten und sozial vertretbaren Einsatzmög-

lichkeiten: „Können Roboter zu guter Pflege beitragen?“ Dabei sollte die aus der Bedarfsanalyse heraus entwickelte Problemstellungen unabhängig von den aktuellen Einsatzmöglichkeiten, die der Roboter aktuell hat, formuliert werden.

2.1 Szenarien

In einer Großradarphase wurden 78 Prozesse genannt, die für einen Einsatz geprüft werden sollten. Im Rahmen eines Konsensverfahrens, an dem sich 15 Altenpflegeeinrichtungen aus NRW beteiligten, wurden realistisch eingeschätzte Szenarien für die weitere Untersuchung festgelegt (Rascher, Ingolf 2020. Einsatz humanoider Robotik in der Altenpflege, Beitrag Z.1.14. GfA, Dortmund (Hrsg.): Frühjahrskongress 2020, Berlin. Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch?)

2.1.1 Szenario Psychosoziale Betreuung

- Der Roboter ist in der Lage, mit seinen Mitmenschen emotional zu interagieren, ihre Probleme zu erfassen, auszuwerten und ihnen Lösungsvorschläge anzubieten. Er kann sie zur Reflexion und möglichen Handlungsänderungen anregen.
- Für die Pflegebedürftigen bedeutet dies mehr Unabhängigkeit: Während sie zuvor auf die Hilfe vom Fachpersonal angewiesen waren, steht ihnen nun rund um die Uhr der Roboter zur Ausführung ihrer Bedürfnisse und Wünsche zur Verfügung

Einsatzbereiche in der Pflegepraxis:

- Maßnahmen zur Kontaktpflege zu den Angehörigen
- Durchführung von Besuchen im Zimmer, Einzeltherapie bei besonders gehemmten Bewohnern mit dem Ziel, sie langsam gruppenfähig zu machen und sie in die Hausgemeinschaft zu integrieren
- Sicherung und Steigerung der Lebensqualität der Bewohner durch die soziale, physische und geistige Ansprache z. B. durch Förderung des Kurzzeitgedächtnisses (Gedächtnistraining)

2.1.2 Szenario Begleitung und Unterstützungsdienste mit Dokumentationsmöglichkeit - Pflegeassistent

- Pflegeassistent dient dazu, Pflegekräfte zu entlasten und Abläufe in der Pflege zu erleichtern, ohne Qualitätsverluste in der Versorgung hinnehmen zu müssen.
- Daten, die für das QM benötigt werden, sollen durch Pepper abgefragt und in die Dokumentationssysteme übertragen werden

Einsatzbereiche in der Pflegepraxis:

- Die Kommunikation zwischen Bewohner, den Mitarbeitern und den Mitbewohnern soll gestärkt und biografisch verankerte Fähigkeiten des Bewohners sollen wieder aufgespürt werden.
- Typische Einsatzbereiche sind Dokumentation - Übernahme der Pflegeplanung aus der Vorausplanung, die es für jeden Bewohner gibt. Kundenfeedback vor Ort. Digitale Datenerfassung bei z. B. Mitarbeiterbefragungen, Bewohnerbefragungen, Zufriedenheitsanalysen

2.1.3 Szenario Erkennen von Personen und Situationen

- Systeme zur Information und Überwachung mit dem Ziel der „Selbstoptimierung“

Einsatzbereiche in der Pflegepraxis:

- Beispiele: Sturzerkennung, intelligente Notrufsysteme, Vitaldatenmonitoring, Überwachungs- und Ortungssysteme.

Im Zeitraum Oktober 2019 bis Juni 2022 wurden die Szenarien in der Praxis erprobt. Informationen zu den Praxiserfahrungen wurden der Fachöffentlichkeit (FutureArena Metropolitan University Helsinki am 4. und 5. Mai 2023) vorgestellt.

3. Stand der Wissenschaft, Technik und Evidenz

Die arbeitsteilige Kooperation von Mensch und Roboter kann menschliche und technische Stärken miteinander verbinden, Schwächen auf beiden Seiten kompensieren und durch enge Zusammenarbeit einen Mehrwert erbringen. Menschen sind kreativ und empathisch, sie können Situationen beurteilen und auf der Grundlage von Beobachtungen flexible und situationsangepasste Lösungs- und Handlungsstrategien entwickeln und umsetzen. Maschinen fehlen ungeachtet der Fortschritte auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz Kreativität, Empathie und Beurteilungsfähigkeit noch weitgehend. Dafür können sie Aktivitäten mit gleichbleibender Qualität und Effizienz wiederholt und ohne Ermüdung durchführen und dabei bei Bedarf auch größere Kräfte wirken lassen. Für die Pflege bedeutete dies bisher, dass Roboter für wiederkehrende und gleichförmig ablaufende Aufgaben im Servicebereich mit wenig Interaktion oder für das Entertainment bspw. Pflegeheimbewohnern eingesetzt werden. Roboter neuerer Entwicklung können Menschen heute Tätigkeiten abnehmen, diese erst ermöglichen oder mit ihnen zusammenarbeiten (Rascher, Ingolf. In: Deckert, Rascher, Recken 2022, Digitalisierung in der Altenpflege) Das klassische Bild von Robotern als isoliert agierende Maschinen wandelt sich, denn bereits aktuelle Generationen von Robotern sind auch auf die Interaktion mit Menschen ausgerichtet (Franke 2019). In daraus resultierenden Settings führen Mensch und Roboter eigene Teilaufgaben im gemeinsamen Arbeitsraum aus, um ein gemeinsames Ziel zu erreichen. Roboter und Menschen können eng zusammenarbeiten: Die Technik ist bereit. Neue Schnittstellen

erlauben nicht nur eine einfache und sichere Bedienung, sondern auch eine echte Kooperation, die auf wechselseitigem Informationsaustausch beruht. Wir können den Interaktionsgrad frei wählen. Kommunizieren wir nur, was zu tun ist? Interagieren wir physikalisch? Kooperieren wir? (Mensch Roboter Interaktion). Für die Pflege wird entscheidend sein, ob das Verständnis von Robotern als isoliert agierende, explizit zu instruierende und auf feste Aufgaben beschränkte Werkzeuge wahrgenommen werden, oder ob sie menschliche Aufgaben ergänzen, übernehmen oder ausweiten und somit als Akteure der Pflege in Kooperation mit Menschen auftreten sollen.

Aktuell gibt es keine Lösungen für die nahtlose Integration verschiedener Roboter in Pflegeprozesse, in denen sie entlang ihrer Fähigkeiten Aufgaben übernehmen. Zudem sind vorhandene Einsatzszenarien oft Insellösungen, in denen Roboter durch Unterstützung versierter Techniker oder mit hohem Bedienaufwand für vergleichbar kleine Einsatzzwecke genutzt werden. Pflegekräfte müssen daher über Wissen bzgl. Bedienung und Konfiguration von Robotern verfügen. Der Roboter wird als (zusätzliches) Werkzeug eingesetzt und arbeitet nicht (wie in anderen Bereichen, bspw. Fertigung) Hand in Hand mit der Pflegekraft, was zu Reibungsverlusten und Akzeptanzproblemen führen kann

4. Darstellung der Empfehlungen

Roboter können Pflegekräfte unterstützen, indem sie diese entlasten oder zusätzliche Arbeiten ausführen. Die Zukunft dieser Unterstützung liegt in kooperativen Mensch-Roboter-Teams, die entlang der spezifischen Fähigkeiten von Menschen und Robotern gemeinsam Pflege Tätigkeiten erbringen. Ermöglicht werden soll dies vor allem durch neue Roboterplattformen (vgl. BMBF- Robotik in der Pflege). Gefördert wurden von 2019 bis 2023 anwendungsorientierte Verbundprojekte in zwei Schwerpunkten, sowohl zur Entwicklung als auch zur Erprobung innovativer robotischer Systeme, die auf praxisbezogene Anforderungen der Pflege in konkreten Anwendungsfeldern ausgerichtet sein sollten,

Eine Robotertechnologie oder -plattform allein kann nur Teile der anfallenden Pflegearbeit unterstützen, andere wichtige Bedarfe bleiben unerfüllt. Für den Praxiseinsatz müssten verschiedene Roboterplattformen genutzt werden, um breit und bedarfsorientiert Unterstützung leisten zu können. So ist bspw. Pepper, der in der Pflege aktuell wohl meistgenannte Roboter, zwar für Entertainment einsetzbar und bei Patienten beliebt, jedoch immobil und außerhalb kommunikativer Situationen kaum einsetzbar. Pepper ist ein humanoider Roboter der gemeinschaftlich von dem französischen Unternehmen Aldebaran Robotics SAS und dem japanischen Telekommunikations- und Medienkonzern SoftBank Mobile Corp. entwickelt wurde. Am 24. Mai 2016 wurde Pepper bei der Messe Innorobo in Frankreich der Öffentlichkeit vorgestellt.

Andere Roboter (Roboterplattformen) haben nicht die kommunikativen Fähigkeiten Peppers, können aber für den Transport von Patienten oder Material genutzt werden. Der Umgang mit Robotern soll möglichst intuitiv und ohne explizite Instruktion möglich sein, um das hierfür benötigte Wissen gering zu halten. Die Steuerung der Roboter soll daher intelligent und mithilfe verfügbarer Daten und Dokumentationen aus der Pflege umgesetzt werden, die mit echter KI ausgestattet sind. Führend auf diesem Gebiet ist Japan. Hier wird u.a. ein „Care Assist Robot“ (Zeitschrift Pflege 2023) entwickelt, der dabei helfen kann Patient*innen in Krankenhäusern oder Bewohner*innen in Pflegeeinrichtungen aus dem Bett zu heben oder sie zur Toilette zu begleiten. Ein Roboter mit dem Namen GARMI der Firma Geriatronics (Munich Institute of Robotics and Ma-

chine Intelligence - MIRMI) aus München wurde für ältere Menschen konzipiert. Er unterstützt sie bei Aktivitäten und kann bei Rehabilitationsübungen physisch unterstützen.

Zur Integration von Robotern als kooperative Akteure in der Erbringung von Pflege müssen Interaktionsszenarien und ihre technische Umsetzung entwickelt werden in denen Mensch und Roboter Hand in Hand zusammenarbeiten und gemeinsam gute Pflege erbringen. Zur Erreichung dieser Ziele ist die gemeinsame Gestaltung der Unterstützung durch Methoden der partizipativen Gestaltung bzw. der nutzerzentrierten Entwicklung notwendig. Roboter in der Pflege werfen ethische, juristische und soziale (ELSA) Fragen auf (bspw. Kornwachs 2019). Es wäre hilfreich, wenn sich der öffentliche Diskurs weniger an unrealistischen Bedrohungsszenarien orientiert, sondern die viel weitreichenderen gesellschaftlichen Möglichkeiten ins Auge fassen würde.

5. Fazit/Ausblick

Aus pflegewissenschaftlicher und -praktischer Perspektive sollte das Einvernehmen aller Beteiligten – vor allem der Pflegekräfte – mit Chancen und Risiken des Einsatzes der Robotik und seinen pflegerischen, präventiven, emotionalen und wirtschaftlichen Zielen sichergestellt sein. Für den Einsatz ist zu beachten, dass die Verantwortung für die Pflege und die Sicherung hoher Lebensqualität bei den Gepflegten und darüber hinaus bei Pflegekräften verbleibt. Einsatzbereiche sind dann erfolgsversprechend, wenn sie dort eingesetzt werden, wo sich durch komplementären Einsatz von Menschen, Roboter und digitaler Vernetzung Synergien ergeben. Die arbeitsteilige Kooperation von Mensch und Roboter kann menschliche und technische Stärken miteinander verbinden, Schwächen auf beiden Seiten kompensieren und durch enge Zusammenarbeit einen Mehrwert erbringen. Menschen sind kreativ und empathisch, sie können Situationen beurteilen und auf der Grundlage von Beobachtungen flexible und situationsangepasste Lösungs- und Handlungsstrategien entwickeln und umsetzen. Maschinen fehlen ungeachtet der Fortschritte auf dem Gebiet der künstlichen Intelligenz Kreativität, Empathie und Beurteilungsfähigkeit noch weitgehend. Dafür können sie Aktivitäten mit gleichbleibender Qualität und Effizienz wiederholt und ohne Ermüdung durchführen und dabei bei Bedarf auch gezielt größere Kräfte wirken lassen. In Deutschland ist der Einsatz von Robotik in der Pflege überwiegend durch Förderprojekte geprägt. Es gibt noch wenig verstetigte Einsatzbereiche in (körpernahen) echten Pflegesettings. Für die Pflege und das Gesundheitswesen werden Roboter wertvoller werden, wenn sie mit künstlicher Intelligenz (KI) ausgestattet werden. Die Integration von ChatGPT der Firma open.ai in Roboterplattformen führt dazu das Befehle in normaler Sprache ausreichen, um einem Roboter eine Aufgabe in einer unübersichtlichen Umgebung aufzutragen. Die Algorithmen ermitteln von selbst, wie Roboter die Aufgabe erledigt. Bisher mussten Experten Roboter für jede einzelne Aktion aufwändig programmieren. Der Einsatz fortschrittlicher Sprachmodelle in der Robotik bietet zukünftig neue Möglichkeiten.

6. Literaturverzeichnis

BMBF- Robotik in der Pflege, (<https://www.interaktive-technologien.de/foerderung/bekanntmachungen/robotik-pflege>, zuletzt abgerufen am 1. Juni 2023)

Buxbaum, H., Sen, S. (2018). Kollaborierende Roboter in der Pflege. In: Bendel, O. (eds) Kollaborierende Roboter in der Pflege – Sicherheit in der Mensch-Maschine-Schnittstelle. SpringerGabler. S.1-23

Franke, J. (2019). Handbuch Mensch-Roboter-Kollaboration. Carl Hanser Verlag GmbH Co KG.

Hülsken-Giesler, M. & Daxberger, S. (2018). Robotik in der Pflege aus pflegewissenschaftlicher Perspektive. In Pflegeroboter Springer, S. 125–139.

Kornwachs, Klaus (2019) Smart Robots – Smart Ethics? Zeitschrift für Datenschutz und Datensicherheit DuD. Heft 42. Seiten 332-341

Krings, B.-J. & Weinberger, N. (2017). Kann es technische Assistenten in der Pflege geben? Überlegungen zum Begriff der Assistenz in Pflegekontexten. In Biniok, P. & Lettkemann, E. (Hrsg.): Assistive Gesellschaft: Multidisziplinäre Erkundungen zur Sozialform „Assistenz“ Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 183–201.

Munich Institute of Robotics and Machine Intelligence – MIRMI. <https://geriatrics.mirmi.tum.de/de/>

PFLEGE Zeitschrift 4.2023 / Michael Irmeler. Roboter und KI in der Pflege. 7. S. 20

Prilla, Michael; Rascher, Ingolf (2023) FutureArena. Metropolitan University Helsinki. <https://www.metropolia.fi/en/about-us/news-and-events/futures-arena>

Remmers, H. (2018). Pflegeroboter: Analyse und Bewertung aus Sicht pflegerischen Handelns und ethischer Anforderungen. In Pflegeroboter Springer, S. 161–179.

Rascher, Ingolf. (2022) Digitalisierung in der Altenpflege. Symposium am 9. 12.2022

Rascher, Ingolf. (2020) Einsatz humanoider Robotik in der Altenpflege, Beitrag Z.1.14. GfA,

Dortmund (Hrsg.): Frühjahrskongress 2020, Berlin. Digitaler Wandel, digitale Arbeit, digitaler Mensch?

Rascher, Ingolf (2022) Der Einsatz humanoider Robotik in der Pflege. In: Decker, Rascher, Recken (2022. Digitalisierung in der Altenpflege. Springer Essentials. S.28-33)

Shishehgar et al. 2019. The effectiveness of various robotic technologies in assisting older adults. DOI: 10.1177/1460458217729729

Statistisches Bundesamt. Destatis. 2023 (<https://www.destatis.de/DE/Themen/Querschnitt/Demografischer-Wandel/Hintergruende-Auswirkungen/demografie-pflege.html> zuletzt abgerufen am 19.06.2023)

Digitale Lösungen und elektronische Monitoringsysteme

Franziska Mair, Thomas Kant und Chantal Janik, HARTMANN Digital Venture

1. Kurzbeschreibung und Stellenwert des Themenbereiches auf der Intensivstation	208
2. Problemstellungen im Kontext der Intensivstation (ITS)	209
3. Stand der Wissenschaft, Technik und Evidenz	210
4. Darstellung der Empfehlungen für bauliche Voraussetzungen	211
5. Fazit und Ausblick	212
6. Literaturverzeichnis	213

1. Kurzbeschreibung und Stellenwert des Themenbereiches auf der Intensivstation

Daten sind heute nicht mehr nur als Rohmaterial zu betrachten, sondern als wertvolle Ressource, die uns bei der Bewältigung von Herausforderungen unterstützt und zu positiven Veränderungen führen kann. Daten spielen auch bei der Infektionsprävention eine große Rolle. Digitalen Lösungen und Monitoringsystemen sind ein zentrales Element dafür. Auf der Intensivstation hat das einen hohen Stellenwert, da es sich um eine besonders gefährdete Patientengruppen handelt. In diesem Kapitel werden Funktionsweise, Wirksamkeit und Voraussetzungen von Monitoring- und digitalen Lösungen aufgezeigt.

Der Einsatz von digitalen Lösungen und Monitoringsystemen bietet eine Vielzahl von Vorteilen, um Infektionen auf Intensivstationen zu reduzieren:

- Durch digitale Analyse und Feedback können hygienerelevante Prozesse optimiert werden. So können häufig Daten durchgehend voll automatisiert erfasst werden. Die integrierte Datenanalyse liefert wertvolle Informationen zur Identifizierung von Verbesserungspotenzialen.
- Aussagekräftige Berichte unterstützen das Hygieneteam bei der Umsetzung von Änderungen, und das Feedback zu Verhaltensweisen ermöglicht eine kontinuierliche Verbesserung. Darüber hinaus ermöglicht die Analyse großer Datenmengen die Entwicklung von Algorithmen, die Muster erkennen und frühzeitig auf Veränderungen hinweisen können. Dies ermöglicht eine schnellere Reaktion auf kritische Zustände und eine verbesserte Patientenversorgung.

- Die Integration von Daten aus verschiedenen Quellen und Geräten ist ein weiterer wichtiger Aspekt. Durch die Schaffung einer interoperablen Infrastruktur können Informationen nahtlos zwischen verschiedenen Überwachungssystemen und medizinischen Geräten ausgetauscht werden. Dies ermöglicht ein umfassenderes Bild des Patientenzustands und eine bessere Qualität der Pflege.

Aber wie funktionieren diese Monitoring-Systeme eigentlich? Ein entscheidendes Element ist ein Sensor bzw. die Hardware, die die Daten sammeln. Diese Daten werden dann in einem zentralen Data Hub gespeichert und über verschiedene Dashboards können diese dann im Anschluss zur Evaluierung oder Analyse eingesehen werden.

Um diese Konzepte zu verdeutlichen, sollen hier zunächst zwei Ansätze dienen, die im späteren Verlauf noch detaillierter beschrieben werden: Erstens, die automatische Erfassung und Auswertung der Händehygiene. Zweitens der Einsatz von Natural Language Processing und Algorithmen zur digitalen Infektionssurveillance.

2. Problemstellungen im Kontext der Intensivstation (ITS)

Die Unterstützung von digitalen Lösungen in der Infektionsprävention gewinnt auch immer mehr an Wichtigkeit, wenn man beachtet, dass die Händehygiene Compliance (HHC), welche sich nach den von der WHO definierten 5 Momente der Händehygiene richtet, nur bei knapp 50 % liegt. Ursachen [1] hierfür können hoher zeitlicher Druck und Personalmangel auf den Stationen sein. Aber auch ein nicht vorhandenes Bewusstsein für die 5-WHO-Momente, sowie fehlende oder leere Spender können die HHC negativ beeinflussen.

In Bezug auf die Prävention nosokomialer Infektionen zeigen Studien, dass drei zentrale Themenfelder im Fokus stehen.

1. Compliance in Bezug auf die Händehygiene sowie die persönliche Schutzausrüstung
2. Automatische Infektionsclustererkennung
3. Umgebungsreinigung (Bsp. Luftqualität)

Um den Herausforderungen in Bezug auf Hygiene entgegenzuwirken und Probleme zu minimieren, werfen wir einen Blick auf einige wichtige Hintergrundinformationen. Im Gesundheitsbereich werden 90 % der Krankheitserreger [2] über die Hände übertragen. Es ist jedoch besorgniserregend, dass nur etwa jede zweite vorgeschriebene Händedesinfektion tatsächlich praktiziert wird [3]. Dieses Hygienedilemma hat schwerwiegende Konsequenzen: Es kommt zu nosokomialen Infektionen (englisch: healthcare-associated infections (HAI)), die zu zahlreichen Todesfällen und enormen Kosten für die Gesellschaft führen. Jährlich treten in Europa etwa 0,6 Millionen HAI [4] auf, was Kosten in Höhe von rund 2 Milliarden Euro [5] verursacht und zu etwa 30.000 Todesfällen [6] führt. Eine Reihe von Herausforderungen erschweren die Umsetzung

wirksamer Hygienemaßnahmen. Ein häufiges Problem besteht darin, dass Spender-einheiten im Eingangsbereich zur Station häufig leer sind, was ein erhebliches Risiko darstellt. Andererseits werden Spender in anderen Räumen kaum benutzt, was ebenfalls eine Lücke im Hygienesystem darstellt. Darüber hinaus erfüllen nicht alle Stationen die Hygienestandards in Bezug auf die Spenderausstattung entsprechend den Referenzwerten der Aktion Saubere Hände (ASH). Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass konkrete Daten fehlen, um das Hygieneverhalten zu verbessern und gezielte Maßnahmen zu ergreifen.

3. Stand der Wissenschaft, Technik und Evidenz

Angesichts der gravierenden Auswirkungen unzureichender Händehygiene und der Herausforderungen bei der Umsetzung wirksamer Hygienemaßnahmen möchten wir in diesem Kapitel zwei Ansätze vorstellen, die Krankenhäusern dabei helfen können, alle notwendige Vorgaben einzuhalten und sich gleichzeitig reibungslos in den Stationsalltag integrieren lassen. Konkret soll verdeutlicht werden wie automatisches Händehygiene-Monitoring und digitale Infektionssurveillance zu einer effektiveren Infektionskontrolle beitragen können und wie sie einen wichtigen Schritt in Richtung einer verbesserten Patientensicherheit darstellen.

Beim automatischen Händehygiene-Monitoring werden alle Händedesinfektionen mit Hilfe von Sensoren automatisch erfasst. Die Sensoren, werden an vorhandenen Desinfektionsmittelspendern angebracht und messen automatisch alle Händedesinfektionen rund um die Uhr. Die gesammelten Daten, wie die abgegebene Menge oder der Ort der Händedesinfektion, werden anschließend automatisch ausgewertet und dem Benutzer in einem Online-Dashboard übersichtlich dargestellt. Neben der reinen Datenerfassung und -auswertung ist es auch wichtig, dass ein Händehygiene-Monitoring auch die Möglichkeit bietet, gezielte Interventionen zur Steigerung der Händehygiene-Compliance umzusetzen. Zum Beispiel könnten zusätzliche Sensoren für das Stationspersonal verwendet werden, um berufsgruppenspezifische, anonyme Daten zur Händedesinfektion zu erfassen und gleichzeitig das Bewusstsein des Personals für die Händedesinfektion zu erhöhen. Die Einführung von Transpondern führte beispielsweise zu einer 66 %igen Zunahme der Händedesinfektionen im Rahmen eines Projekts am Universitätsklinikum Brandenburg [7]. Eine weitere mögliche Intervention stellt die aktive Einbindung des Stationspersonals in die Datenauswertung dar. Als Beispiel dafür könnten die ausgewerteten Daten auf Monitoren dem Personal transparent dargestellt werden, um das Vertrauen in das System zu stärken und gemeinsam über Maßnahmen zur Steigerung der Händehygiene-Compliance zu diskutieren.

Neben der Erfassung der Händehygiene an Desinfektionsmittelspendern könnten mithilfe von Sensoren auch weitere hygienekritische Prozesse im Krankenhaus erfasst und analysiert werden. Zum Beispiel könnten die verwendeten Sensoren an Inkubatoren in einer Neonatologie-Station angebracht werden, um das Öffnen und Schließen der Klappen zu erfassen. In Kombination mit der Erfassung der Spenderverwendung kann so analysiert werden, ob eine Händedesinfektion erfolgt ist.

Eine weitere Anwendung besteht darin, Blutkulturen zu verfolgen, die oft per Rohrpost im Krankenhaus verschickt werden. Da es wichtig ist, dass die Blutkulturen schnell

transportiert und getestet werden, kann mithilfe von Sensoren jederzeit ermittelt werden, wo sich die Proben aktuell befinden und wie lange die Transport- und Verweildauer beträgt.

Auch im Bereich der Infektionsclustererkennung wurden in den letzten Jahren zahlreiche Lösungen entwickelt, um Infektionen in Krankenhäusern frühzeitig zu erkennen und Ausbrüche zu vermeiden. Dies wird jedoch oft durch die große Anzahl von Datenpunkten zu allen Patienten im klinischen Alltag erschwert, die sich häufig in verschiedenen Medien und IT-Systemen befinden, die nicht immer miteinander vernetzt sind und sich somit das Erkennen von Clustern manchmal schwierig gestaltet.

Hier kommen digitale Lösungen zur Infektionssurveillance ins Spiel, mit deren Hilfe Krankenhäuser Datenmengen schneller und effizienter verarbeiten können. Im ersten Schritt werden dabei alle Patientendaten über (standardisierte) Schnittstellen in das Programm zur Infektionssurveillance übertragen und dort ausgewertet. Mithilfe von Natural Language Processing werden diese Daten dann automatisch nach Anzeichen von Infektionen untersucht, wobei vordefinierte Regeln, z. B. vom European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), angewendet werden. Wenn durch diese Überprüfung ein Verdachtsfall identifiziert wird, wird das medizinische Personal benachrichtigt, das dann manuell überprüfen kann, ob tatsächlich eine Infektion wahrscheinlich ist oder nicht. Dadurch wird die Reaktionsgeschwindigkeit bei Verdachtsfällen erheblich erhöht, und das medizinische Personal kann sich auf ausgewählte Fälle mit hoher Infektionswahrscheinlichkeit konzentrieren.

Um eine zeitnahe Alarmierung sowie eine schnelle Reaktionsmöglichkeit sicherzustellen, ist es wichtig, dass auch Schnittstellen zur Mikrobiologie vorhanden sind, sodass Befunde, sobald sie in das Mikrobiologiesystem eingegeben werden, direkt analysiert und berücksichtigt werden können. Zusätzlich ist es notwendig, dass ein Programm zur digitalen Infektionssurveillance kontinuierlich erweitert und verbessert wird, um sowohl die Effizienz als auch die Wirksamkeit zu steigern und eine bessere Performance zu erlangen.

4. Darstellung der Empfehlungen für bauliche Voraussetzungen

Monitoring-Lösungen spielen eine entscheidende Rolle bei der Erfassung und Speicherung von Daten, um einen effektiven Einsatz zu gewährleisten. Um dies zu ermöglichen, sind bestimmte Voraussetzungen erforderlich, die jedoch einfach umzusetzen sind, wie beispielsweise freie Stellen an den Decken für die Sensoren, ausreichend Steckdosen und eine stabile WLAN-Verbindung, um den Anforderungen moderner medizinischer Technologien gerecht zu werden. Eine sorgfältige Planung der WLAN-Abdeckung ist dabei von großer Bedeutung, um eine nahtlose Datenkommunikation sicherzustellen.

Die gesammelten Daten aus den Monitoring-Lösungen bieten nicht nur die Möglichkeit, Verhaltensweisen zu analysieren, sondern haben auch einen Mehrwert für zukünftige Evaluierungen. Sie liefern beispielsweise Informationen darüber, welche Wege auf einer Station häufiger genutzt werden und welche weniger frequentiert

sind. Diese Datenmengen können genutzt werden, um Erkenntnisse für optimierte bauliche Voraussetzungen abzuleiten.

Die Integration der generierten Daten in den Stations- und Arbeitsalltag erfordert eine sorgfältige Planung und Durchführung. Regelmäßige Besprechungen wie Teammeetings oder Hygienesitzungen bieten die Möglichkeit, relevante Informationen aus den Daten zu extrahieren und in den täglichen Ablauf zu integrieren. Die Verknüpfung der erhobenen Daten mit anderen Informationsquellen wie dem Krankenhausinformationssystem (KISS) erfordert spezielles Know-how in der Krankenhaus-IT. Es ist wichtig, Schnittstellen zu schaffen, um einen reibungslosen Datenaustausch zu gewährleisten, sei es durch die Nutzung standardisierter Schnittstellen oder durch die Vereinbarung entsprechender Anbindungen in den Verträgen mit den Softwareanbietern.

Für einen erfolgreichen Wandel im Klinikum ist ein sorgfältig geplanter Change-Prozess unerlässlich. Es ist wichtig, das Personal auf die Nutzung neuer Daten vorzubereiten und sicherzustellen, dass sich niemand überwacht fühlt. Schulungen und Sensibilisierungsmaßnahmen sind dabei von großer Bedeutung, um den Mitarbeitern die neuen Technologien verständlich zu machen und die Vorteile der Datenanwendung transparent zu vermitteln. Die Einbindung wichtiger interner Stakeholder wie die IT-Abteilung, der Betriebsrat, die Geschäftsführung und die Hygiene-Abteilung von Anfang an ist entscheidend. Die Bildung einer eigenen Projektgruppe kann sicherstellen, dass die Interessen und Anforderungen aller Beteiligten berücksichtigt werden, um potenzielle Probleme frühzeitig zu erkennen und entsprechende Lösungsstrategien zu entwickeln.

5. Fazit und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass Monitoring-Systeme einen maßgeblichen Beitrag zur Verbesserung der Compliance und zur Früherkennung von Infektionen leisten können. Obwohl bereits existierende Systeme implementiert und genutzt werden, bedarf es baulicher Maßnahmen und einer entsprechenden Infrastruktur, um ihre optimale Anwendung zu gewährleisten. Dazu gehören ausreichend Steckdosen und ein funktionierendes WLAN-Netz, um eine reibungslose Implementierung sowie eine störungsfreie Nutzung zu garantieren.

Die zunehmende Erfassung und Analyse von Daten eröffnet zudem weitere Vorteile und es wird erwartet, dass sich in diesem Bereich noch bedeutende Entwicklungen vollziehen werden, einschließlich der Integration von künstlicher Intelligenz und einer umfassenderen Vernetzung sowohl intern als auch extern über verschiedene Geräte. Diese Entwicklungen haben das Potenzial, Prozesse zu optimieren und die Sicherheit sowie Effektivität der Gesundheitsversorgung nachhaltig zu verbessern.

Ein entscheidender Ausblick liegt in der Einführung intelligenter Lösungen und anderer Monitoringsysteme, um wertvolle Daten zu generieren und das Infektionsrisiko effektiv zu reduzieren. Durch die kontinuierliche Sammlung und Analyse dieser Daten können wir unsere Arbeitsprozesse kontinuierlich verbessern und Erkenntnisse gewinnen, die allen Beteiligten zugutekommen, sei es den Patienten, dem Krankenhauspersonal oder dem Management. Die Erfassung und Analyse dieser Daten ermöglichen

gezielte Maßnahmen zur Verbesserung des Hygieneverhaltens, beispielsweise zur Steigerung der Durchführung von Händedesinfektionen. Dieser ganzheitliche Ansatz zielt darauf ab, das Bewusstsein für Hygiene zu schärfen und ein sichereres Umfeld für Patienten und medizinisches Personal zu schaffen. Indem wir die Herausforderungen anerkennen und proaktiv handeln, können wir das Hygienedilemma erfolgreich angehen und zur Verbesserung der Infektionsprävention beitragen.

Es ist an der Zeit, intelligente Lösungen zu implementieren, um das Infektionsrisiko zu reduzieren und die Gesundheitsversorgung sicherer und effektiver zu gestalten. Mit kontinuierlicher Weiterentwicklung und Fortschritten in der Technologie werden wir in der Lage sein, die Infektionsprävention auf ein neues Niveau zu heben und die Gesundheit aller Beteiligten besser zu schützen. Das Sammeln von Daten wird auch zukünftig zahlreiche Vorteile bringen und uns dabei helfen, unsere Prozesse stetig zu verbessern. Durch die Erkenntnisse aus den Daten können wir zudem Algorithmen entwickeln, die uns von Nutzen sein werden. Daher ist es von großer Bedeutung, Daten nicht nur als Rohmaterial zu betrachten, sondern als wertvolle Ressource, die uns bei der Bewältigung der Herausforderungen unterstützt und zu positiven Veränderungen führt.

6. Literaturverzeichnis

[1] Kintzli, P. (2022): Inwiefern kann aus den digitalen Projekten von HARTMANN rein Digitaler Zwilling zur Infektionsprävention in Krankenhäusern entwickelt werde?. Unveröffentlichte Bachelorarbeit. Duale Hochschule Baden-Württemberg Heidenheim.

[2] Kramer A (2006) GMS Krankenhaushyg Interdiszip 1(1): Doc14

[3] KRINKO (2016) Bundesgesundheitsbl 59: 1189-1220.

[4] Suetens et al. (2018) Euro Surveill 23(46): pii=1800516.

[5] Nachtigall & Bonsignore (2018) Krankenhaushygiene up2date 13:419-431.

[6] Europäische Zahlen: Suetens, Carl et al. "Prevalence of healthcare-associated infections, estimated incidence and composite antimicrobial resistance index in acute care hospitals and long-term care facilities: results from two European point prevalence surveys, 2016 to 2017." Euro surveillance : bulletin Europeen sur les maladies transmissibles = European communicable disease bulletin vol. 23,46 (2018): 1800516. doi:10.2807/1560-7917.ES.2018.23.46.1800516.

[7] Unveröffentlichte Studie - Daten bei der PAUL HARTMANN AG.

