

Aus dem
CharitéCentrum für Diagnostische und Labormedizin
Institut für Hygiene und Umweltmedizin
Direktorin: Prof. Dr. med. Petra Gastmeier

Habilitationsschrift

Nutzung von Surveillancedaten zur Untersuchung von Risikofaktoren postoperativer Wundinfektionen

zur Erlangung der Lehrbefähigung
für das Fach Hygiene & Umweltmedizin

vorgelegt dem Fakultätsrat der Medizinischen Fakultät
Charité-Universitätsmedizin Berlin

von

Dr. med. Seven Johannes Sam Aghdassi

Eingereicht: November 2022
Dekan: Prof. Dr. med. Axel R. Pries
1. Gutachterin: Prof. Dr. med. Simone Scheithauer, Göttingen
2. Gutachter: Prof. Dr. med. Mathias Pletz, Jena

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungen	3
1. Einleitung	4
1.1 Operationsbezogene Risikofaktoren von postoperativen Wundinfektionen	5
1.2 Patientenbezogene Risikofaktoren von postoperativen Wundinfektionen.....	6
1.3 Andere Risikofaktoren von postoperativen Wundinfektionen.....	7
1.4 Fragestellungen	8
2. Eigene Arbeiten.....	9
2.1 Anteil von postoperativen Wundinfektionen an der Gesamtheit nosokomialer Infektionen in deutschen Akutkrankenhäusern	9
2.2 Unterschiede hinsichtlich des Risikos von postoperativen Wundinfektionen zwischen elektiv und notfallmäßig durchgeführten Operationen	20
2.3 Unterschiede hinsichtlich des Risikos von postoperativen Wundinfektionen zwischen weiblichen und männlichen Patient:innen.....	28
2.4 Der Einfluss von ausgewählten Klimaparametern auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens postoperativer Wundinfektionen	39
2.5 Der Einfluss von ausgewählten Klimaparametern auf das Spektrum der für postoperative Wundinfektionen ursächlichen Infektionserreger.....	60
3. Diskussion	70
4. Zusammenfassung	77
5. Literaturangaben.....	79
6. Danksagung	88
7. Erklärung.....	89

Abkürzungen

ASA:	American Society of Anesthesiologists
DWD:	Deutscher Wetterdienst
ECDC:	Europäisches Zentrum für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (engl. <i>European Centre for Disease Prevention and Control</i>)
ITS-KISS:	Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System-Modul für Intensivstationen
KISS:	Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System
KRINKO:	Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention
NI:	Nosokomiale Infektion(en)
NNIS:	National Nosocomial Infection Surveillance
NRZ:	Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen
OP-KISS:	Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System-Modul für operierte Patient:innen
PIK:	Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung
RKI:	Robert Koch-Institut
PPS:	Punktprävalenzerhebung (engl. <i>point prevalence survey</i>)
WHO:	Weltgesundheitsorganisation (engl. <i>World Health Organization</i>)
WI:	Postoperative Wundinfektion(en)

1. Einleitung

Nosokomiale Infektionen (NI) sind mit einer erheblichen Krankheitslast und Mortalität der betroffenen Patient:innen vergesellschaftet (1-3). Postoperative Wundinfektionen (WI) gehören zu den häufigsten NI in Deutschland und Europa (4-6). Schätzungen hinsichtlich der Zahl der jährlich auftretenden NI in Deutschland liegen bei über 470 000 Infektionen, wobei ein Anteil von circa 19% (über 93 000) auf WI entfällt (7). Die Surveillance von NI stellt ein unverzichtbares Instrument in der Praxis der Infektionsprävention dar und kann Infektionsraten nachhaltig senken (8-13). Darüber hinaus kann die Analyse von Surveillancedaten wichtige Hinweise auf NI-Risikofaktoren liefern.

NI-Surveillance in Deutschland ist durch das Infektionsschutzgesetz für Krankenhäuser und andere Einrichtungen des Gesundheitswesens verpflichtend (14). Durch das Robert Koch-Institut (RKI) wird festgelegt, auf welche Arten von NI die Verpflichtung der Durchführung von Surveillance sich bezieht. Neben der krankenhausesweiten Surveillance von *Clostridioides difficile* Infektionen ist in entsprechend zu identifizierenden Risikobereichen die Surveillance von WI sowie Device-assoziierten Septikämien, Pneumonien und Harnwegsinfektionen vorgeschrieben (15).

Das deutsche Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System (KISS) existiert seit 1996 als nationales Netzwerk für NI-Surveillance in Deutschland. Die Organisation des KISS erfolgt durch das Nationale Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen (NRZ). KISS ist unterteilt in verschiedene Module, die unterschiedliche Krankenhausbereiche, Patientengruppen, Prozessindikatoren, Infektionsarten und Infektionserreger fokussieren (16). Das Modul „OP-KISS“ dient zur Surveillance von WI nach bestimmten Indikator-Operationen (12, 17). Über 1 000 chirurgische Abteilungen beteiligen sich regelmäßig an der Surveillance in OP-KISS und übermitteln Daten an das NRZ (18). Seitens des NRZ werden die Daten in aggregierter Form frei zugänglich als Referenzdaten veröffentlicht. Der Methodik von OP-KISS folgend, werden zu jeder erfassten Operation bestimmte patienten- und operationsbezogene Variablen erfasst. Diese umfassen unter anderem Alter, Geschlecht, den operativen Zugangsweg sowie die in den sogenannten National Nosocomial Infection Surveillance (NNIS) Risikoindex einfließenden Angaben zur Wundkontaminationsklasse, Operationsdauer und zum American Society of Anesthesiologists (ASA) Score. Darüber hinaus wird dokumentiert, ob eine WI innerhalb eines definierten postoperativen Beobachtungszeitraums auftritt. WI werden durch Angabe der Infiltrationstiefe sowie der

ursächlichen Infektionserreger weiter charakterisiert (17, 19). Dieser Datenbestand bietet die Möglichkeit durch Analyse der an das NRZ übermittelten Daten mit NI bzw. im Speziellen mit WI assoziierte Risikofaktoren zu identifizieren.

Die im Folgenden dargestellte Unterteilung in operationsbezogene, patientenbezogene und sogenannte „andere“ WI-Risikofaktoren orientiert sich an der Einteilung und den Schwerpunkten eines Reviews von Aghdassi und Gastmeier (20).

1.1 Operationsbezogene Risikofaktoren von postoperativen Wundinfektionen

Unter operationsbezogenen Risikofaktoren sind Einflussfaktoren zu verstehen, die im direkten Zusammenhang mit der Operationstechnik, dem Operationsfeld oder der Operationsdurchführung stehen. Zu den operationsbezogenen WI-Risikofaktoren, die regelhaft in der Literatur aufgeführt werden, gehören ein bereits vor Operationszeitpunkt infizierter oder kontaminierter Operationsbereich bzw. die intraoperative Kontamination des Operationsfeldes (21, 22). Weiterhin stellt eine gegenüber der für die Operationsart üblichen Zeit verlängerte Operationsdauer (23), die Ausdruck einer besonderen Komplexität des durchgeführten Eingriffs sein kann, einen WI-Risikofaktor dar. Insuffiziente Hautdesinfektion, traumatische Haarentfernung, inadäquate Antibiotikaphylaxe, inadäquate Instrumentenaufbereitung sowie das Einbringen von Fremdmaterialien stellen weitere operationsbezogene WI-Risikofaktoren dar (24, 25). Peri- sowie postoperative Hyperglykämie kann durch invasive Eingriffe, insbesondere ausgedehnte Eingriffe, verstärkt werden (26). Hyperglykämie wiederum, ist vielfach als WI-Risikofaktor beschrieben (27, 28). Ebenfalls operationsbedingt kann es bei Patient:innen intraoperativ zu einem Abfall der Körpertemperatur kommen. Hypothermie, die mit einer Verminderung der Gewebedurchblutung einhergeht, ist ebenfalls als WI-Risikofaktor beschrieben (29-31). Erhöhter intraoperativer Blutverlust, beispielsweise aufgrund einer traumatisierenden Operationstechnik, stellt einen weiteren operationsbezogenen WI-Risikofaktor dar (32).

Eine erhöhte Dringlichkeit bzw. die notfallmäßige Durchführung des operativen Eingriffs wird in einigen Studien ebenfalls als Faktor, der das Auftreten von WI begünstigt, beschrieben (33, 34). Im Gegensatz zu anderen operationsbezogenen Risikofaktoren, stellt „Dringlichkeit“ jedoch einen erst wenig untersuchten potentiellen WI-Risikofaktor dar.

Operationsbezogene Risikofaktoren sind in der Praxis der Infektionsprävention und -kontrolle von besonderem Interesse, da sie in der Regel beeinflussbar sind und damit Ansatzpunkte für Interventionen zur Reduktion der WI-Inzidenz darstellen. Aus diesem Grund ist der weiteren

Konkretisierung und Identifikation von operationsbezogenen WI-Risikofaktoren aus infektionspräventiver Sicht eine hohe Bedeutung beizumessen.

1.2 Patientenbezogene Risikofaktoren von postoperativen Wundinfektionen

Patientenbezogene Risikofaktoren hingegen sind in der Regel schwieriger zu beeinflussen als operationsbezogene Risikofaktoren. Dennoch ist ihre Kenntnis eine wichtige Grundlage das Risikoprofil von Patient:innen adäquat einzuschätzen und damit Perspektiven für personalisierte Infektionspräventionsmaßnahmen in der Patientenversorgung zu eröffnen.

Diverse Vorerkrankungen sowie die Einnahme verschiedener Medikamente stehen im Zusammenhang mit einem erhöhten WI-Risiko. Ein erhöhter ASA Score, der den Allgemeinzustand sowie Vorerkrankungen bei der präoperativen Einschätzung von Patient:innen berücksichtigt, korreliert stark mit einem erhöhten WI-Risiko (23). Starkes Übergewicht sowie Diabetes mellitus stellen weitere patientenbezogene WI-Risikofaktoren dar (22, 35, 36). Der Konsum von Sucht- bzw. Genussmitteln, wie Nikotin und Alkohol, erhöht ebenfalls das WI-Risiko (22, 37). Hohes Lebensalter ist ein weiterer patientenbezogener Faktor, der häufig als WI-begünstigend angesehen wird (24, 38).

Staphylococcus aureus stellt einen der häufigsten Erreger von WI dar (39, 40), sodass bei einer vorbestehenden Besiedlung mit *Staphylococcus aureus* von einem erhöhten Risiko für das Auftreten einer WI auszugehen ist (41). Dementsprechend empfiehlt die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) eine präoperative Sanierung von *Staphylococcus aureus* Träger:innen vor bestimmten operativen Eingriffen (42). Seitens der Weltgesundheitsorganisation (engl. *World Health Organization*, WHO) gibt es dazu weitestgehend gleichlautende Empfehlungen (43).

Hinsichtlich des Faktors Geschlecht existiert in der Literatur abhängig von der durchgeführten Operationsart eine Varianz dahingehend, wann weibliche und wann männliche Patient:innen ein erhöhtes WI-Risiko aufweisen. Für abdominalchirurgische und orthopädische Eingriffe besteht eher eine Assoziation zwischen männlichem Geschlecht und dem Auftreten von WI (16, 44). Bei herzchirurgischen Eingriffen besteht jedoch eine entgegengesetzte Assoziation (44). Die zum Teil uneindeutigen Ergebnisse hinsichtlich Geschlecht und WI-Risiko zeigen die Notwendigkeit die Wechselwirkungen zwischen Geschlecht und Infektionsvulnerabilität eingehend und unter Zuhilfenahme von großen Datenpools, beispielsweise auf Basis von Surveillancedaten, zu untersuchen.

1.3 Andere Risikofaktoren von postoperativen Wundinfektionen

Neben den oben beschriebenen operations- und patientenbezogenen WI-Risikofaktoren existieren eine Reihe von weiteren Risikofaktoren, die die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer WI erhöhen können, die jedoch häufig außerhalb des Fokus bei der Diskussion von WI-Risikofaktoren liegen.

Die während der Operation vorherrschende Arbeitsatmosphäre beeinflusst das Ergebnis der Operation. Es gibt Hinweise, dass eine laute, unruhige Arbeitsatmosphäre mit einem erhöhten WI-Risiko in Verbindung steht (45, 46). In ähnlicher Weise konnte für häufige Türöffnungen während der Operation gezeigt werden, dass ein derartiges Verhalten mit einem erhöhten WI-Risiko assoziiert ist (47).

Das seltene Durchführen einer Operationsart innerhalb einer operativen Abteilung kann ein Risiko für das Auftreten von WI nach Eingriffen dieser Art darstellen. Diese Assoziation, die möglicherweise auf einem Mangel an Erfahrung des Operationsteams mit der durchgeführten Prozedur beruht, konnte in verschiedenen Publikationen und für verschiedene Operationsarten dokumentiert werden (48-50).

Die Wechselwirkung von Klimafaktoren und dem Auftreten von NI ist bislang nur wenig erforscht. Dass die NI-Inzidenz gewissen saisonalen Schwankungen unterliegt, konnte jedoch bereits für nosokomiale Blutstrominfektionen gezeigt werden (51, 52). Darüber hinaus konnte auch für WI eine Assoziation zwischen warmen Temperaturen und einer erhöhten Infektionsinzidenz gezeigt werden (53, 54). Die genannten Publikationen basierten jedoch auf der Beobachtung einer begrenzten Zahl von Operationen. Robustere Aussagen hinsichtlich der Korrelation von Temperatur bzw. weiteren Klimafaktoren und dem Auftreten von NI im Allgemeinen bzw. WI im Speziellen, sind insbesondere vor dem Hintergrund des Klimawandels jedoch außerordentlich wichtig. Analysen großer Datenpools, zum Beispiel auf Basis von Surveillancedaten, könnten dabei wegweisende Schlussfolgerungen ermöglichen.

1.4 Fragestellungen

Hinsichtlich relevanter WI-Risikofaktoren wurden bereits eine Vielzahl von Fragestellungen untersucht, die zum Teil exemplarisch im obenstehenden Text beschrieben sind. Die vorliegende Habilitationsschrift soll die bestehende wissenschaftliche Auseinandersetzung mit der Thematik bereichern, in dem auf die folgenden Fragestellungen eingegangen wird:

- Welchen Anteil machen WI hinsichtlich der Gesamtheit der NI in deutschen Krankenhäusern aus?
- Wie ist die Relevanz des Faktors „Dringlichkeit“ in Bezug auf das Risiko des Auftretens von WI einzuordnen?
- Wie ist die Relevanz des Faktors „Geschlecht“ in Bezug auf das Risiko des Auftretens von WI einzuordnen?
- Welche Assoziation besteht zwischen ausgewählten Klimaparametern und dem Auftreten von WI?
- Welche Assoziation besteht hinsichtlich ausgewählter Klimaparameter und dem Spektrum der für WI ursächlichen Infektionserreger?

2. Eigene Arbeiten

2.1 Anteil von postoperativen Wundinfektionen an der Gesamtheit nosokomialer Infektionen in deutschen Akutkrankenhäusern

Behnke M, Aghdassi SJ, Hansen S, Diaz LAP, Gastmeier P, Piening B. The Prevalence of Nosocomial Infection and Antibiotic Use in German Hospitals. Dtsch Arztebl Int. 2017;114(50):851-7. DOI: 10.3238/arztebl.2017.0851.

In dieser Arbeit wurden Ergebnisse der dritten nationalen Punktprävalenzerhebung (engl. *point prevalence survey*, PPS) zu NI und zur Antibiotikaaanwendung in deutschen Akutkrankenhäusern, welche im Jahr 2016 durchgeführt wurde, dokumentiert. Bereits 1994 sowie 2011 fanden PPS zu den genannten Endpunkten mit einer weitestgehend übereinstimmenden Methodik statt (55-57). Die Erhebungen in den Jahren 2011 und 2016 basierten auf den methodischen Vorgaben des Europäischen Zentrum für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (engl. *European Centre for Disease Prevention and Control*, ECDC) (58, 59). Die Veröffentlichung der methodischen Vorgaben in den Erhebungsprotokollen war jeweils mit einem Aufruf des ECDC an die Staaten der europäischen Union verbunden nationale PPS zu organisieren, um so eine internationale Datenbasis zu schaffen. In beiden Fällen wurde die Umsetzung der PPS in Deutschland vom NRZ koordiniert (60, 61).

Der Methodik des ECDC folgend, waren die auf freiwilliger Basis teilnehmenden Akutkrankenhäuser aufgefordert in einem Zeitraum von circa zwei bis drei Wochen alle Stationen des Krankenhauses zu begehen und dabei die zum Zeitpunkt der Erhebung anwesenden Patient:innen dahingehend zu evaluieren, ob diese zum Erhebungszeitpunkt eine aktive NI aufwiesen bzw. Antibiotika erhielten. Anders als bei der kontinuierlichen Surveillance, wie sie beispielsweise im KISS-Modul für Intensivstationen (ITS-KISS) betrieben wird, sollte im Rahmen der PPS keine Fokussierung auf zuvor definierte Risikobereiche innerhalb des Krankenhauses erfolgen, sondern explizit auch Stationen mit anzunehmenden geringen NI-Prävalenzen eingeschlossen werden. Die zugrundeliegenden Definitionen der NI wurden dabei vom ECDC einheitlich festgelegt (59).

Nach Auswertung der Daten aller 218 sich an der PPS 2016 beteiligenden und in den finalen Datensatz einfließenden deutschen Akutkrankenhäuser wurde eine Gesamtprävalenz von Patient:innen mit NI von 4,6% errechnet. WI wurden dabei als zweithäufigste NI identifiziert,

mit einem Anteil von 22,4% an allen dokumentierten NI. Basierend auf der ermittelten Prävalenz aller Patient:innen mit NI entsprach dies einer Prävalenz von Patient:innen mit WI von 1,1% (62). Sowohl hinsichtlich des Anteils an allen NI sowie in Bezug auf die Prävalenz der Patient:innen mit WI, waren die Ergebnisse der deutschen PPS 2016 dabei konsistent zu denen der deutschen PPS 2011 (56, 62).

Aus der vorliegenden Arbeit lassen sich die folgenden Schlussfolgerungen ableiten:

- WI gehören zu den häufigsten NI in deutschen Akutkrankenhäusern.
- Zwischen 2011 und 2016 waren keine relevanten Veränderungen hinsichtlich der Prävalenz von Patient:innen mit WI in deutschen Akutkrankenhäusern zu beobachten.

Die vorliegende Arbeit dokumentiert die Relevanz und Häufigkeit von WI bei Patient:innen in Deutschland. Einschränkend ist darauf hinzuweisen, dass es sich bei den Daten der 218 deutschen Krankenhäuser nicht um eine repräsentativ ausgewählte Gruppe handelte. Dennoch belegt der hohe Anteil von WI an allen NI die Notwendigkeit zugrundeliegende Risikofaktoren, die die Entwicklung einer WI begünstigen, tiefgreifender zu verstehen.

Originalpublikation:

Behnke M, Aghdassi SJ, Hansen S, Diaz LAP, Gastmeier P, Piening B. The Prevalence of Nosocomial Infection and Antibiotic Use in German Hospitals. Dtsch Arztebl Int. 2017;114(50):851-7.

<https://doi.org/10.3238/arztebl.2017.0851>

2.2 Unterschiede hinsichtlich des Risikos von postoperativen Wundinfektionen zwischen elektiv und notfallmäßig durchgeführten Operationen

Aghdassi SJS, Schroder C, Gastmeier P. Urgency of surgery as an indicator for the occurrence of surgical site infections: data from over 100,000 surgical procedures. J Hosp Infect. 2021;110:1-6. DOI: 10.1016/j.jhin.2020.12.017.

Die Unterteilung in patientenbezogene, operationsbezogene und andere Risikofaktoren erleichtert die systematische Auseinandersetzung mit der Fragestellung, welche Faktoren das Auftreten von WI begünstigen. Um die Auswirkungen der Dringlichkeit eines Eingriffs auf die Wahrscheinlichkeit, dass es im postoperativen Verlauf zu einer WI kommt, einzuschätzen, wurde die vorliegende Untersuchung durchgeführt.

Datenbasis für die retrospektive Analyse waren die Daten des KISS-Moduls OP-KISS. Die Unterscheidung in elektive und notfallmäßige Eingriffe wird im Rahmen von OP-KISS für die beiden Indikator-Operationen „Sectio Caesarea“ (63) sowie „Eingriffe am Kolon“ (64) durchgeführt. In Anlehnung an eine Festlegung des ECDC (65), wird Dringlichkeit in der OP-KISS Methodik dabei so definiert, dass zwischen Indikationsstellung und Durchführung der Operation ein Zeitintervall von maximal 24 Stunden liegen darf (19). Für die Analyse wurde ein Dreijahreszeitraum, 2017 bis einschließlich 2019, gewählt. Die Assoziation zwischen elektiver und notfallmäßiger Operation und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer WI wurde mittels multivariabler Analyse untersucht (66).

Der nachfolgende Text entspricht dem Abstract der Arbeit „*Urgency of surgery as an indicator for the occurrence of surgical site infections: data from over 100,000 surgical procedures*“ von Aghdassi et al. (DOI: 10.1016/j.jhin.2020.12.017):

„Background: The risk for surgical site infections (SSIs) is influenced by patient- and procedure-related factors. Urgent surgery represents a challenge in operative medicine and is frequently linked to a variety of complications, including SSIs.

Aim: We aimed to investigate whether urgency was significantly associated with SSI occurrence, and determine whether collection of this variable provided useful information for SSI surveillance.

Methods: We performed a retrospective data analysis of caesarean sections (C-sections) and colon surgeries conducted between 2017 and 2019 within the German national SSI surveillance network. A multivariable logistic

regression model was utilized to determine the influence of urgency on SSI occurrence. For this purpose, data on procedures and SSIs were associated with available department- and patient-related parameters.

Findings: A total of 115,648 procedures were included in the analysis: 78,288 C-sections and 37,360 colon surgeries. For C-sections, the SSI rate per 100 procedures was 0.98 (95% confidence interval: 0.85-1.11) for urgent and 0.46 (0.40-0.53) for elective procedures ($P<0.001$). For open colon surgeries, SSI rates were 9.66 (8.89-10.49) for urgent and 8.60 (8.13-9.11) for elective procedures ($P<0.001$). For laparoscopic colon surgeries, SSI rates did not differ significantly. Multivariable analysis revealed that urgency significantly increased the likelihood of SSI occurrence only for C-sections.

Conclusion: Urgency significantly increased the SSI risk of C-sections, but not colon surgeries. Hence, collection of this variable is useful for SSI surveillance of C-sections, but may be dispensable for other procedures. Future analyses on the matter should therefore focus on other procedure types.” (66)

Aus der vorliegenden Publikation lassen sich die folgenden Schlüsse ableiten:

- Erhöhte Dringlichkeit kann das Auftreten von WI begünstigen. Die Korrelation zwischen Dringlichkeit und WI scheint jedoch nach Eingriff zu variieren.
- Das WI-Risiko nach Sectio Caesarea zeigte eine signifikante Assoziation zu Notfalleingriffen. Die Arbeit belegte somit an dieser Stelle intuitive Annahmen.
- In Bezug auf Eingriffe am Kolon zeigte sich anders als bei der Sectio Caesarea kein signifikant erhöhtes WI-Risiko nach dringlichen Eingriffen im Vergleich zu elektiven Operationen.

Die vorliegende Arbeit dokumentiert die Relevanz des operationsbezogenen Risikofaktors „Dringlichkeit“ in Bezug auf das Auftreten von WI, zeigt jedoch auch, dass relevante Unterschiede nach Operationsart bestehen. Einschränkend in Bezug auf die Interpretation ist anzumerken, dass es sich nicht um eine Analyse repräsentativ ausgewählter Daten handelte.

Originalpublikation:

Aghdassi SJS, Schroder C, Gastmeier P. Urgency of surgery as an indicator for the occurrence of surgical site infections: data from over 100,000 surgical procedures. *J Hosp Infect.* 2021;110:1-6.

<https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.12.017>

2.3 Unterschiede hinsichtlich des Risikos von postoperativen Wundinfektionen zwischen weiblichen und männlichen Patient:innen

Aghdassi SJS, Schroder C, Gastmeier P. Gender-related risk factors for surgical site infections. Results from 10 years of surveillance in Germany. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2019;8:95. DOI: 10.1186/s13756-019-0547-x.

Neben operationsbezogenen Risikofaktoren, stellen patientenbezogene Risikofaktoren einen wichtigen Ansatzpunkt zum besseren Verständnis der WI-begünstigenden Faktoren dar. Entsprechend wurde in der vorliegenden Arbeit die Assoziation zwischen Geschlecht und Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer WI untersucht.

Erneut fungierten die Daten des Moduls OP-KISS als Datenbasis für eine retrospektive Analyse. Es wurden die an das NRZ übermittelten Daten des Zehnjahreszeitraums, 2008 bis einschließlich 2017, verwendet. Die Variable „Geschlecht“ wird bei allen in OP-KISS wählbaren Indikator-Operationen erfasst (19). Zum Zweck der Analyse wurden die in OP-KISS verfügbaren Indikator-Operationen in fachspezifische Gruppen (Orthopädie & Traumatologie, Abdominalchirurgie, Herz- und Gefäßchirurgie, Neurochirurgie, Allgemeinchirurgie) zusammengefasst (67). Die Assoziation zwischen weiblichen bzw. männlichen Geschlecht und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer WI wurde mittels multivariabler Analyse untersucht (67).

Der nachfolgende Text entspricht dem Abstract der Arbeit „*Gender-related risk factors for surgical site infections. Results from 10 years of surveillance in Germany*“ von Aghdassi et al. (DOI: 10.1186/s13756-019-0547-x):

„Background: Surgical site infections (SSI) are among the most frequently occurring healthcare-associated infections worldwide. Various analyses to determine risk factors have been conducted in the past, generally attributing a higher SSI-risk to male patients. However, when focusing on specific procedures, this is not always true. Our objective was to identify for which procedures male or female sex represents an independent risk factor for SSI and which parameters may explain these differences.

Methods: We used the database of surgical procedures from the German national nosocomial infection surveillance system. We included procedures conducted between 2008 and 2017. We excluded procedures solely executed for one sex (e.g. mastectomy) and procedures with 20,000 or fewer

operations. The observed outcome was the occurrence of SSI. All models were adjusted for confounders, which were eliminated with backward selection. The following factors were included in the analysis: age, ASA score, wound contamination class, duration of surgery, and season. All models contained the investigated factor sex.

Results: Sixteen procedure types with 1,266,782 individual procedures and 18,824 SSI were included. Overall, the incidence rate ratio and the adjusted odds ratio for SSI were significantly higher for male patients. The included individual procedures were grouped into five surgical categories. For orthopedics and traumatology as well as abdominal surgery, SSI-rates were significantly higher for male patients. For heart and vascular surgery, SSI-rates were significantly higher for female patients. Other included surgical categories and individual procedures yielded diverse results. Similar results were found when solely analyzing deep and organ-space SSI. Multivariable analysis for attributable gender-related risk factors revealed differences with regard to underlying risk factors.

Conclusions: SSI-rates differ by sex for certain procedures. When examining underlying risk factors, differences between male and female patients can be demonstrated. Our analysis considered a limited number of parameters, which were not sufficient to fully explain the observed differences. Further studies are required to obtain a more comprehensive understanding of the topic and to include gender-specific aspects into future SSI-prevention strategies.” (67)

Aus der vorliegenden Arbeit lassen sich die folgenden Schlussfolgerungen ableiten:

- Es existieren geschlechtsspezifische Unterschiede hinsichtlich des Risikos eine WI zu entwickeln.
- Betrachtete man alle Operationsarten zusammengefasst, bestand bei männlichen Patienten ein signifikant höheres WI-Risiko als bei weiblichen Patientinnen.
- Weibliche Patientinnen wiesen ein signifikant höheres WI-Risiko nach herz- und gefäßchirurgischen Operationen sowie allgemeinchirurgischen, nicht-abdominalchirurgischen Operationen auf, was eine Varianz des Risikofaktors „Geschlecht“ in Bezug auf die Operationsart zeigte.

Die vorliegende Arbeit dokumentiert die Relevanz des patientenbezogenen Risikofaktors „Geschlecht“ in Bezug auf das Auftreten von WI. Wie schon bei der Fragestellung, inwieweit Operationen mit erhöhter Dringlichkeit mit einem erhöhten WI-Risiko assoziiert sind, zeigt sich auch hier eine Komplexität, die eine klare Aussage, welches Geschlecht ein höheres WI-Risiko aufweist, im Einzelfall erschwert. Festzuhalten ist jedoch, dass männliche Patienten generell ein höheres Risiko eine WI zu entwickeln, aufweisen. Analog zur zuvor vorgestellten Arbeit ist auch hier einschränkend anzumerken, dass die Analyse nicht auf repräsentativen Daten basierte. Aufgrund der sehr hohen Zahl in die Analyse eingeschlossener Operationen (über 1 000 000 Eingriffe), kann jedoch von einer hohen Validität der Schlussfolgerungen ausgegangen werden (67).

Originalpublikation:

Aghdassi SJS, Schroder C, Gastmeier P. Gender-related risk factors for surgical site infections. Results from 10 years of surveillance in Germany. *Antimicrob Resist Infect Control*. 2019;8:95.

<https://doi.org/10.1186/s13756-019-0547-x>

2.4 Der Einfluss von ausgewählten Klimaparametern auf die Wahrscheinlichkeit des Auftretens postoperativer Wundinfektionen

Aghdassi SJS, Schwab F, Hoffmann P, Gastmeier P. The Association of Climatic Factors with Rates of Surgical Site Infections: 17 Years' Data From Hospital Infection Surveillance. Dtsch Arztebl Int. 2019;116(31-32):529-36. DOI: 10.3238/arztebl.2019.0529.

Basierend auf den oben präsentierten Untersuchungsergebnissen hinsichtlich „Dringlichkeit“ als Beispiel für operationsbezogene und „Geschlecht“ als Beispiel für patientenbezogene Risikofaktoren, wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit ein Fokus auf einen anderen potentiellen Risikofaktor gelegt.

Um die wissenschaftliche Auseinandersetzung hinsichtlich der Fragestellung, welche Wechselwirkung zwischen Klimafaktoren und dem Auftreten von NI sowie speziell WI besteht, zu bereichern, wurde erneut die umfangreiche Datenbank des Moduls „OP-KISS“ herangezogen. Es wurde zur Analyse ein Zeitraum von 17 Jahren, 2000 bis einschließlich 2016, ausgewählt. Im Zuge einer Kooperation mit dem Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung (PIK) konnte der Datensatz mit ausgewählten Klimaparametern des Deutschen Wetterdiensts (DWD) verknüpft werden (68, 69). Anhand der Angaben Datum und Postleitzahl konnte eine Zuordnung zwischen in OP-KISS dokumentierter Operation und den Klimaparametern der Messungen des DWD erfolgen.

„Unsere Analysen schlossen folgende Klimaparameter ein: Monatsmitteltemperatur als kontinuierliche sowie kategoriale Variable (< 5/5 bis < 10/10 bis < 15/15 bis < 20/≥ 20 °C), Niederschlagsmenge (mm), relative Luftfeuchtigkeit (%), Dampfdruck (Hektopascal), Anzahl der Sonnenstunden pro Monat, Anzahl der Hitzetage (Temperaturmaximum > 30 °C) pro Monat, Anzahl der Eistage (Temperaturmaximum < 0 °C) pro Monat, Anzahl der Starkregentage pro Monat (> 30 mm pro Tag) sowie Längen- und Breitengrad.“ (68)

Die einzelnen Klimaparameter zeigten untereinander eine deutliche Korrelation, daher wurde die Analyse mit Fokus auf den Parameter Außentemperatur, genauer gesagt der durchschnittlichen Außentemperatur im Monat der Operation, durchgeführt (68). Die Assoziation zwischen durchschnittlicher Außentemperatur im Operationsmonat und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer WI wurde mittels multivariabler Analyse untersucht.

Der nachfolgende Text entspricht dem Abstract der Arbeit „*The Association of Climatic Factors with Rates of Surgical Site Infections: 17 Years' Data From Hospital Infection Surveillance*” von Aghdassi et al. (DOI: 10.3238/arztebl.2019.0529):

„Background: Surgical site infections (SSI) are among the most common healthcare-associated infections. The aim of our explorative study was to determine how selected climatic factors are associated with SSI rates.

Methods: SSI rates were calculated for operative procedures included in the surgical site infection surveillance component (OP-KISS) of the German Nosocomial Infection Surveillance System (Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System, KISS) during the years from 2000 to 2016. The surgeries were associated with department-related and patient-related data. Data of the German Meteorological Service (Deutscher Wetterdienst, DWD), including outdoor temperature and rainfall, were used to analyze the association between climatic factors and rates of SSI. Analyses focused on temperature which showed strong correlations with other climatic parameters. A descriptive analysis was performed, using the chi-squared test. Adjusted odds ratios (AORs) were calculated for SSI rates in relation to temperature, using a multivariable logistic regression model.

Results: For the altogether 2 004 793 included operative procedures, 32 118 SSIs were documented. Temperatures ≥ 20 °C were associated with a significantly higher occurrence of SSI compared to temperatures <5 °C (AOR: 1.13; 95% confidence intervals [1.06; 1.20]). This increase was found for gram-positive pathogens (AOR: 1.13 [1.03; 1.23]) and, even more pronounced, for gram-negative pathogens (AOR: 1.20 [1.07; 1.35]). The association was strongest for superficial SSI caused by gram-negative pathogens (AOR: 1.38 [1.16; 1.64]).

Conclusion: An association between climatic factors and SSI rates was demonstrated. The predicted rise in global temperatures by up to 4 °C by the end of this century compared to preindustrial levels may increase the likelihood of SSI and should be taken into consideration in future preventive strategies.” (68)

Aus der vorliegenden Arbeit lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

- Operationen, die in Monaten mit einer höheren durchschnittlichen Temperatur durchgeführt wurden, waren mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit einer WI assoziiert.
- Es waren Hinweise auf erregerabhängige Unterschiede zu beobachten, da die beschriebene Assoziation insbesondere bei WI, die durch gramnegative Infektionserreger ausgelöst wurden, ausgeprägt war.
- Oberflächliche WI unterlagen einer stärkeren Assoziation mit der Außentemperatur als tiefere WI.
- Vor dem Hintergrund des Klimawandels stellt diese Assoziation einen relevanten Ansatzpunkt für Fragestellungen der öffentlichen Gesundheit dar.

Die Assoziation zwischen erhöhter Außentemperatur und erhöhter Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer WI bedurfte weiterer Untersuchungen. Vor allem die beobachtbaren erregerspezifischen Unterschiede wurden dabei als interessant eingestuft und daher in einer Folgeanalyse untersucht. Limitierend anzumerken ist erneut, dass es sich bei den analysierten Daten nicht um die Daten einer repräsentativen Stichprobe handelte.

Originalpublikation:

Aghdassi SJS, Schwab F, Hoffmann P, Gastmeier P. The Association of Climatic Factors with Rates of Surgical Site Infections: 17 Years' Data From Hospital Infection Surveillance. Dtsch Arztebl Int. 2019;116(31-32):529-36.

<https://doi.org/10.3238/arztebl.2019.0529>

2.5 Der Einfluss von ausgewählten Klimaparametern auf das Spektrum der für postoperative Wundinfektionen ursächlichen Infektionserreger

Aghdassi SJS, Gastmeier P, Hoffmann P, Schwab F. Increase in surgical site infections caused by gram-negative bacteria in warmer temperatures: Results from a retrospective observational study. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2021;42(4):417-24. DOI: 10.1017/ice.2020.463.

Die vorliegende Publikation stellte eine differenziertere Auseinandersetzung mit dem Datensatz dar, welcher bereits für die Veröffentlichung „*The Association of Climatic Factors with Rates of Surgical Site Infections: 17 Years' Data From Hospital Infection Surveillance*“ von Aghdassi et al. verwendet wurde (68). Die in jener Publikation diskutierten Unterschiede zwischen gramnegativen und grampositiven Infektionserregern, wurden erregerspezifisch weiter untersucht. Im Rahmen der OP-KISS Methodik wird für jede dokumentierte WI angegeben, ob ein ursächlicher bzw. mehrere ursächliche Erreger identifiziert wurden und wenn dies der Fall ist, um welchen Erreger bzw. welche Erreger es sich handelt. Die Ergebnisse wurden wie bereits bei der vorhergehenden Publikation im fachlichen Austausch mit Kolleg:innen des PIK interpretiert.

Der nachfolgende Text entspricht dem Abstract der Arbeit „*Increase in surgical site infections caused by gram-negative bacteria in warmer temperatures: Results from a retrospective observational study*“ von Aghdassi et al. (DOI: 10.1017/ice.2020.463):

„Objective: Surgical site infections (SSIs) occur more frequently during periods of warmer temperatures. We aimed to investigate for which pathogens this association is particularly strong.

Design: A retrospective observational study was conducted.

Methods: Data from the SSI-module of the German nosocomial infection surveillance system between 2000 and 2016 were linked with data from the German Meteorological Service. Patient- and procedure-related data were associated with monthly aggregated meteorological data. Due to high correlation with other meteorological parameters, we focused on the outside temperature. Adjusted odds ratios were calculated for SSI rates relating to temperature. SSIs were stratified by pathogen. A P value of <.05 was considered significant.

Results: Altogether, 2,004,793 procedures resulting in 32,118 SSIs were included. Generally, warmer temperatures were associated with a higher SSI risk, especially for SSIs with gram-negative pathogens. This association was particularly prominent for Acinetobacter spp, Pseudomonas aeruginosa, and certain Enterobacteriaceae. Per additional 1°C, we observed a 6% increase in the SSI risk for Acinetobacter spp and a 4% increase for Enterobacter spp. Superficial SSIs with Acinetobacter spp were 10 times more likely to occur when comparing surgeries in months with mean temperatures of $\geq 20^{\circ}\text{C}$ to mean temperatures of $< 5^{\circ}\text{C}$.

Conclusions: Higher temperatures were associated with increased SSI rates caused by gram-negative bacteria. Future SSI prevention measures should consider this aspect. Underlying shifts in microbiome composition due to climate factors should be included in further analyses. Given the expected rise of global temperatures until the end of the century, this topic has relevance from multiple perspectives.” (69)

Aus der vorliegenden Arbeit lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen:

- WI verursacht durch Enterobakterien, *Pseudomonas aeruginosa* und *Acinetobacter* spp. zeigen eine besonders starke Assoziation zu höheren Temperaturen.

Die zugrundeliegenden Mechanismen, die diese Assoziation bedingen, sind noch nicht ausreichend erforscht. Denkbar ist zum Beispiel, dass die Komposition des Mikrobioms der operierten Patient:innen durch die einwirkende Außentemperatur vor und nach Operation beeinflusst wird und dies sich beim Spektrum der WI-Erreger manifestiert. Einschränkend sei erneut darauf hingewiesen, dass es sich bei dem Datensatz nicht um eine repräsentative Stichprobe handelte.

Originalpublikation:

Aghdassi SJS, Gastmeier P, Hoffmann P, Schwab F. Increase in surgical site infections caused by gram-negative bacteria in warmer temperatures: Results from a retrospective observational study. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2021;42(4):417-24.

<https://doi.org/10.1017/ice.2020.463>

3. Diskussion

Die dargestellten Arbeiten dokumentieren die Häufigkeit und Relevanz von WI und illustrieren eine Vielzahl von Risikofaktoren, die das Auftreten von WI begünstigen.

Prävalenzerhebungen stellen eine gute Möglichkeit dar die häufigsten NI zu ermitteln und erlauben anders als kontinuierliche Surveillance einen Einschluss aller Bereiche eines Krankenhauses (55, 70). Die Prävalenz der Patient:innen mit WI lag bei der deutschen PPS 2016 bei circa 1,1% (62). Dies bedeutet, dass an einem willkürlichen Tag in deutschen Akutkrankenhäusern von 100 stationär behandelten Patient:innen ein:e Patient:in eine WI aufweist. Durch Extrapolation der Daten der deutschen PPS 2011 wurde errechnet, dass in Deutschland jährlich über 93 000 WI auftreten, die zu mehr als 2 300 attribuibaren Todesfällen führen (7). Neben dem Schaden für die Patient:innen selbst, resultieren aus WI signifikante Mehrkosten. Eine Kostenanalyse von Strobel et al. aus dem Jahr 2021 schätzte die Mehrkosten durch WI auf über 5 000 Euro pro WI (71). Sowohl unter ethischen als auch ökonomischen Gesichtspunkten besteht folglich die dringende Notwendigkeit WI zu vermeiden. Dazu ist es unerlässlich Risikofaktoren zu kennen, die das Auftreten von WI begünstigen. Aus infektionspräventiver Sicht geschieht dies mit dem Ziel Risikofaktoren unmittelbar zu beeinflussen und bestenfalls zu minimieren oder Patient:innen, die entsprechende Risikofaktoren aufweisen, frühzeitig zu identifizieren und gegebenenfalls angepasste Präventionsmaßnahmen zu initiieren. Die Identifikation von NI-Risikofaktoren im Allgemeinen bzw. WI-Risikofaktoren im Speziellen geht folglich über rein epidemiologische Fragestellungen hinaus und stellt einen wichtigen Schritt in Richtung einer personalisierten Infektionsprävention dar (72).

Die oben dargestellte Publikation zur Assoziation dringlicher Operationen mit dem Auftreten postoperativer Wundinfektionen adressiert einen operationsbezogenen Risikofaktor, der zuvor noch nicht anhand von großen Surveillancedatenbanken bzw. in Studien mit suffizienter Größe dezidiert untersucht wurde. Die Variable „Dringlichkeit“ wird entsprechend der OP-KISS Methodik bislang lediglich bei den Indikator-Operationen „Sectio Caesarea“ und „Eingriffe am Kolon“ erfasst (19). Interessanterweise zeigte sich, anders als auf Basis theoretischer Überlegungen durch die Autor:innen zunächst vermutet wurde, ein hinsichtlich der beiden Indikator-Operationen unterschiedliches Ergebnis. Notfallmäßige Sectiones waren gegenüber elektiven Sectiones mit einem signifikant höherem WI-Risiko assoziiert, dieses Ergebnis ließ sich jedoch weder für laparoskopische noch offen chirurgische Eingriffe am Kolon

reproduzieren (66). Hinsichtlich der Assoziation von Dringlichkeit und WI bei Sectiones zeigte unsere Publikation weitestgehend eine Übereinstimmung mit anderen Veröffentlichungen (73, 74). In Bezug auf die Eingriffe am Kolon kann spekuliert werden, dass „*Notfalleingriffe möglicherweise durch erfahrenere Operateur:innen durchgeführt werden*“ (66). Die Erfahrung der durchführenden Operateur:innen korreliert invers mit dem Risiko einer WI (75). Da die Erfahrung der Operateur:innen im Rahmen unserer multivariablen Analyse jedoch nicht als Einflussfaktor zur Verfügung stand, handelt es sich um eine potentielle Limitation hinsichtlich der Generalisierbarkeit unserer Ergebnisse. Als wichtige Schlussfolgerung aus unserer Arbeit für die Praxis der Krankenhaushygiene und Infektionsprävention bleibt jedoch festzuhalten, dass Patient:innen, bei denen eine notfallmäßige Sectio Caesarea erfolgt, ein signifikant höheres WI-Risiko aufweisen. Diese Patientengruppe sollte folglich bei zukünftigen Surveillance- und Infektionspräventionsaktivitäten verstärkt berücksichtigt werden. Um konkrete Empfehlungen, die in Bezug auf Patient:innen mit bestimmten Notfalleingriffen in die infektionspräventive Praxis übernommen werden können, festzulegen, stellt ein Studiendesign im Sinne einer Interventionsstudie intuitiv ein geeignetes Mittel dar. Dabei wäre es beispielsweise denkbar Patient:innen mit Notfalleingriffen zu gleichen Teilen in einer Interventionsgruppe und einer Kontrollgruppe zu randomisieren. Patient:innen der Interventionsgruppe würden dann eine zusätzliche infektionspräventive Maßnahme (beispielsweise die Verwendung von antimikrobiell beschichtetem Nahtmaterial) erfahren. Organisatorisch erschwerend wäre bei einem solchen Studiendesign allerdings, dass eine Zustimmung der Patient:innen zur Studienteilnahme in Notfallsituationen nur schwierig einzuholen ist.

Alternativ zu einem prospektiven randomisierten Studiendesign ist jedoch auch denkbar die routinemäßig zu erhebenden Parameter zur Surveillance in OP-KISS bei Patient:innen mit Notfalleingriffen auszuweiten. Um auf das oben aufgeführte Beispiel zurückzukommen, wäre ein möglicher Zusatzparameter bei Patient:innen mit bestimmten elektiven Eingriffen und bestimmten Notfalleingriffen, ob antimikrobiell beschichtetes Nahtmaterial bei der Operation verwendet wurde. Beispielsweise mittels logistischer Regressionsanalyse ließe sich dann untersuchen, ob die Art des Nahtmaterials einen signifikanten Einflussfaktor hinsichtlich des Auftretens von WI bei dieser Patientengruppe darstellt. Anders als bei einer Interventionsstudie, die klassischerweise einen oder eine begrenzte Zahl von Einflussfaktoren untersucht, könnte über einen solchen Ansatz eine größere Zahl von Parametern, die die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer WI bei Patient:innen mit Notfalleingriffen beeinflussen könnten, untersucht werden. So ließe sich im Sinne einer Beobachtungsstudie basierend auf Surveillance- und Beobachtungsdaten über die Zeit ebenfalls eine Datenbasis schaffen, die eine Einschätzung zulässt, welche

infektionspräventiven Zusatzmaßnahmen bei Patient:innen mit bestimmten Notfalleingriffen zu empfehlen sind.

Unsere Analyse zur Assoziation von Geschlecht und WI lieferte wichtige Erkenntnisse zur besseren Einordnung der zuvor verfügbaren Literatur zu diesem Thema. Der Einschluss von über 1 000 000 Operationen aus einem Zeitraum von zehn Jahren verleiht der Analyse Robustheit und erhöht somit die Belastbarkeit der Schlussfolgerungen (67). Ein Kernergebnis, wonach WI nach abdominalchirurgischen und orthopädischen bzw. traumatologischen Operationen signifikant häufiger bei männlichen Patienten auftraten, untermauerte die Resultate vorangegangener Studien (16, 44). Das Ergebnis, dass nach herz- und gefäßchirurgischen Operationen signifikant häufiger bei weiblichen Patientinnen WI auftraten, findet ebenfalls, insbesondere bezüglich herzchirurgischer Eingriffe, Bestätigung in anderen Studien (44). Diese Kohärenz zu anderen Arbeiten, verbunden mit der großen Anzahl eingeschlossener Operationen in unserer Analyse, lässt eine differenzierte Einordnung vereinzelter Studien, die dahingehend abweichende Ergebnisse zeigten, zu. Diese basierten häufig auf wesentlich geringeren Zahlen eingeschlossener Patient:innen (76). In Bezug auf die infektionspräventive Praxis gilt, wie schon bereits bei der oben diskutierten Publikation bezüglich Dringlichkeit und WI, dass *„in Zukunft derartige Daten genutzt werden könnten, um einen „maßgeschneiderten“, patientenorientierten und individuellen Ansatz in der Prävention von WI zu etablieren“* (67). Denkbar ist beispielsweise, dass *„bestimmte Dekolonisationsverfahren sich nach Geschlecht unterscheiden könnten oder zusätzliche Präventionsmaßnahmen nur für weibliche oder männliche Patient:innen durchgeführt werden“* (67). Dass derartige Fragestellungen zielführend mit Surveillancedaten untersucht werden können, zeigt beispielsweise die Arbeit von Denkel et al *„zum Effekt der antiseptischen Waschung mit Chlorhexidin oder Octenidin auf mit zentralvenösem Zugang assoziierte Blutstrominfektionen“* (77). Hier wurde in einer Cluster-randomisierten Studie anhand von Intensivstationen, die sich an ITS-KISS beteiligten, untersucht, ob die Durchführung einer Waschung mit zwei unterschiedlichen antiseptischen Substanzen gegenüber einer konventionellen Waschung mit Wasser und Seife einen infektionspräventiven Effekt auf das Auftreten von mit zentralem Gefäßkatheter-assoziierten Blutstrominfektionen aufwies (77). Bei der zur Beurteilung maßgeblichen Endgröße, die Katheter-assoziierten Blutstrominfektion, handelte es sich dabei um eine Information, die routinemäßig innerhalb von ITS-KISS erhoben wurde. Ein derartiger Ansatz wäre auch in Bezug auf die obenstehend diskutierte Fragestellung denkbar, welche zusätzlichen infektionspräventiven Maßnahmen bei weiblichen bzw.

männlichen Patient:innen, gegebenenfalls in Abhängigkeit der durchgeführten Operationsart, sinnvoll wären. Um diesen Gedanken konzeptionell auszuführen, sei im Folgenden beispielhaft ein möglicher Studienansatz beschrieben: Durch retrospektive Analyse der OP-KISS Daten ließen sich Abteilungen mit herzchirurgischem Schwerpunkt und einer oberhalb des für die Operationsart zu erwartenden WI-Rate ermitteln. Bei Abteilungen mit einer tendenziell überdurchschnittlich hohen WI-Rate besteht nämlich eine höhere Wahrscheinlichkeit einen infektionspräventiven Effekt beobachten zu können. Diese Abteilungen könnten dann mit einem Verfahren zur Cluster-Randomisierung in zwei bzw. mehrere Gruppen eingeteilt werden. Innerhalb dieser Gruppen würden die Maßnahmen zur WI-Prävention, zum Beispiel die präoperativen Dekolonisationsverfahren, in diesem Fall in Bezug auf weibliche Patientinnen, die bei herzchirurgischen Operationen nach unseren Daten eine höhere WI-Rate aufweisen, variieren. Der untersuchte Endpunkt wäre folglich die WI-Rate bei Patientinnen nach herzchirurgischer Operation in Abhängigkeit vom Dekolonisationsverfahren.

Alternativ zu einem derartigen Ansatz, der auf einer Intervention basiert, stellt auch hier die bereits oben diskutierte Möglichkeit der Erhebung weiterer Parameter im Rahmen der OP-KISS Routinesurveillance bei weiblichen bzw. männlichen Patient:innen mit bestimmten operativen Eingriffen eine Möglichkeit dar, potentiell geeignete zusätzliche Präventionsmaßnahmen zu identifizieren.

Die Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit sind mannigfaltig. Mitarbeiter:innen des RKI untersuchten die Auswirkungen von Hitze auf die Mortalität in Deutschland im Jahr 2022. Die Autor:innen konstatierten, dass durch den Klimawandel in Zukunft mit einer ansteigenden Anzahl von hitzebedingten Todesfällen zu rechnen ist (78). Insbesondere längere Hitzeperioden stehen mit einer erhöhten Inzidenz von kardiovaskulären Ereignissen sowie akutem Nierenversagen im Zusammenhang (79, 80). Auch hinsichtlich Infektionen und im Speziellen NI gibt es Daten, die auf eine Korrelation zwischen warmen Temperaturen und Infektionen hindeuten (51-54). Ziel unserer Analyse zur Assoziation von ausgewählten Klimafaktoren und dem Auftreten von WI war es, die in anderen Arbeiten gezeigte Assoziation anhand eines großen Datenpools von über 2 000 000 Operationen aus einem Zeitraum von 17 Jahren zu bestätigen bzw. zu relativieren. Unsere Ergebnisse zeigten generell eine Übereinstimmung zu den oben genannten anderen Publikationen (68). Der besondere Wert unserer Arbeit bestand erneut darin, dass aufgrund der sehr großen Zahl von eingeschlossenen Operationen robuste Aussagen möglich waren und das Potential von Zufallseffekten so minimiert wurde. Durch unsere Kooperation mit dem PIK hatten wir die

Möglichkeit eine Vielzahl von Klimaparametern, die auf Messungen des DWD basierten, in unsere Analysen einzuschließen. Aufgrund der hohen Korrelation dieser Parameter untereinander, befanden wir es jedoch als zielführend die Analyse mit Fokus auf die durchschnittliche Außentemperatur im Monat der Operation durchzuführen (68). Bewusst wurde die durchschnittliche Außentemperatur im Monat der Operation und nicht etwa die Temperatur am Tag der Operation gewählt. Dies erfolgte aus zwei Beweggründen. Zum einen ist davon auszugehen, dass anhaltende Wetterverhältnisse einen größeren Einfluss auf den menschlichen Organismus haben als kurzzeitige Veränderungen. Zum anderen war für die einzelnen Datensätze der Zeitpunkt des für die WI ursächlichen Ereignisses nicht bekannt (68).

Interessanterweise war die beobachtete Assoziation zwischen warmen Temperaturen im Operationsmonat und dem Auftreten von WI besonders für WI, die durch gramnegative Infektionserreger verursacht waren, ausgeprägt (68), was daraufhin in einer weiterführenden Analyse nach Erreger stratifiziert untersucht wurde. Dabei zeigte sich insbesondere für WI verursacht durch bestimmte Enterobakterien, *Pseudomonas aeruginosa* und *Acinetobacter* spp. eine starke Assoziation (69). Vorausgegangene Arbeiten dokumentierten bereits einen Anstieg von NI mit gramnegativen Erregern in warmen Monaten. So konnte beispielsweise basierend auf ITS-KISS Daten gezeigt werden, dass NI durch gramnegative Erreger auf Intensivstationen in warmen Monaten (Durchschnittstemperatur ≥ 20 °C) signifikant häufiger auftraten als in kühlen Monaten (Durchschnittstemperatur < 5 °C) (81). Sowohl in Bezug auf die Arbeit von Schwab et al. als auch unserer Analysen zum Thema „Klimafaktoren und WI“ gilt, dass die für die Analyse zur Verfügung stehenden Daten nicht ausreichen, um die beobachteten Veränderungen des Spektrums der ursächlichen Infektionserreger zu erklären (69, 81). Denkbar ist, dass es durch länger anhaltende warme und insbesondere heiße Perioden zu Veränderungen in der Zusammensetzung des Mikrobioms der Patient:innen kommt. Diese Veränderungen könnten nicht nur das veränderte Erregerspektrum, sondern möglicherweise auch die Infektionsanfälligkeit als solche beeinflussen (82-84).

Basierend auf unseren beiden oben dargestellten Arbeiten hinsichtlich Klimafaktoren und WI, sollten weitergehende Analysen erfolgen. Neben einer weiteren Auseinandersetzung mit zur Verfügung stehenden Surveillancedaten, beispielsweise in Bezug auf die Fragestellung, bei welchen Operationsarten die Assoziation zwischen Klimafaktoren und WI-Risiko besonders ausgeprägt ist, könnten insbesondere Interventionsstudien, die zum Beispiel saisonale Dekolonisationsmaßnahmen untersuchen, wichtige Erkenntnisse erbringen, wie Patient:innen auch während Hitzeperioden bestmöglich vor WI zu schützen sind. Eine Limitation unserer

Analysen zur Assoziation von Klimafaktoren und WI-Risiko bestand darin, dass wir nicht über die Information verfügten, ob die Stationen, auf denen die Patient:innen postoperativ und bei längerem präoperativem Krankenhausaufenthalt gegebenenfalls auch vor der Operation betreut wurden, über Klimaanlage verfügten. Eine Untersuchung dahingehend wäre folglich eine sinnvolle Folgefragestellung aus den Ergebnissen unserer Arbeiten. Dabei wäre es wahrscheinlich nicht zielführend, da zu arbeitsaufwendig um in die Routinesurveillance integriert zu werden, für jede Patient:in festzuhalten, wieviel Zeit in klimatisierten und wieviel Zeit in nicht klimatisierten Räumlichkeiten verbracht wurde. Denkbar wäre jedoch, mittels einer Umfrage für die an OP-KISS teilnehmenden chirurgischen Abteilungen zu erheben, ob ihre Patient:innen postoperativ und gegebenenfalls auch präoperativ regelhaft auf Stationen mit oder ohne Klimaanlage in den Patientenzimmern untergebracht werden. Ergänzend dazu könnte in einer Subgruppe der an OP-KISS teilnehmenden Abteilungen in regelmäßigen Abständen und insbesondere an Hitzetagen die Innenraumtemperatur der Patientenzimmer erfasst werden. So ließe sich die auf Patient:innen unmittelbar einwirkende Wärmebelastung, insbesondere an heißen Tagen, abschätzen und mit den WI-Raten ins Verhältnis setzen.

Über die bereits diskutierten wissenschaftlichen Folgefragestellungen hinaus stellt die Generierung von Vorhersagemodellen anhand der in Surveillancedaten beobachteten Korrelation von Klimafaktoren und dem Auftreten von WI einen vielversprechenden Ansatz dar, um den wissenschaftlichen Dialog im Hinblick auf die Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit zu bereichern. Mit einem derartigen Ansatz konnten Liou et al. für die Vereinigten Staaten zeigen, dass in bestimmten Regionen des Südosten der USA zu einem Anstieg der WI-Inzidenz von bis zu 3% bis zum Jahr 2060 kommen könnte (85). Auf Basis einer Verknüpfung der OP-KISS Daten mit Daten des DWD wäre eine solche Projektion ebenfalls für Deutschland möglich. Dass Deutschland im Vergleich zu den Vereinigten Staaten dabei klimatisch weniger divers ist, wäre für die zur Vorhersage notwendige Datenmenge dabei wahrscheinlich von Vorteil. Neben dem wissenschaftlichen Wert einer solchen Modellierung hätte diese auch eine gewisse politische Dimension, indem sie die wahrscheinlich auch für Deutschland zu erwartenden ungünstigen Auswirkungen des Klimawandels auf die menschliche Gesundheit, hier konkret des WI-Risikos, dokumentieren und so die Wichtigkeit von dem Klimawandel entgegenwirkenden Maßnahmen aus der Perspektive der Infektionsprävention und Krankenhaushygiene unterstreichen würde.

Die obenstehenden Arbeiten dokumentieren den großen Nutzen von Surveillancedaten, um WI-Risikofaktoren zu identifizieren. Konventionelle, auf manueller Durchsicht von Befunden

basierende Surveillance von NI im Allgemeinen bzw. WI im Speziellen ist jedoch mit einem erheblichen Personal- und Zeitaufwand verbunden (86, 87). Spätestens im Kontext der Coronavirus-Pandemie wurde deutlich, wie wichtig effiziente Arbeitsabläufe sind, um Ressourcen effektiv zu nutzen und im Bedarfsfall anderweitig einsetzen zu können. Mitarbeiter:innen der Krankenhaushygiene, die in Deutschland regelhaft die Datenerhebung der Surveillance von NI durchführen, mussten aufgrund der Pandemie mitunter Surveillanceaktivitäten depriorisieren, um sich anderen, akuten Aufgaben zuzuwenden. Um auch in zukünftigen Situationen mit Belastungsspitzen Surveillanceaktivitäten fortzusetzen, stellt die Automatisierung einzelner bzw. aller Arbeitsschritte der Surveillance eine vielversprechende Möglichkeit dar (88, 89). Hinsichtlich der Surveillance von WI ist dabei der semiautomatische Ansatz zur WI-Surveillance bei endoprothetischen Operationen, der von Kolleg:innen des Universitätsklinikums Utrecht entwickelt wurde, hervorzuheben (90, 91). Über einen Algorithmus, der Krankenhauswiederaufnahmen, Reoperationen, mikrobiologische Befunde und Antibiotikagaben berücksichtigt, werden Patient:innen, die eine hohe Wahrscheinlichkeit aufweisen, eine WI zu haben, identifiziert. Lediglich für diese Patient:innen, und nicht wie bei der manuellen WI-Surveillance für alle in die Surveillance eingeschlossenen Patient:innen, erfolgt im Anschluss eine manuelle Durchsicht der Befunde durch Fachpersonal. Sowohl im Hinblick auf Sensitivität, Spezifität und Zeitersparnis ließen sich mit diesem Ansatz zufriedenstellende Ergebnisse erzielen (90, 91). Eine Anpassung dieser Methode auf den deutschen Kontext sowie eine Weiterentwicklung und Verbesserung existierender Algorithmen sollten dabei als zukünftige Ziele im Vordergrund stehen. Durch Automatisierung von Arbeitsschritten der WI-Surveillance wiederum können Valenzen geschaffen werden, die das gezielte Untersuchen von weiteren Risikofaktoren über die Erfassung von zusätzlichen Parametern erlauben. Beispielhaft sei hier erneut die Fragestellung, welches Nahtmaterial bei einer Operation verwendet wurde, genannt. Diese Information könnte bei einem automatisierten Datenfluss ohne menschlichen Mehraufwand in die Surveillancedatenbank übermittelt werden. Somit bietet die Automatisierung von WI-Surveillance nicht nur die Perspektive eine größere Anzahl von Operationen mit geringerem Zeitaufwand zu beobachten, sondern eröffnet auch Möglichkeiten potentielle Risikofaktoren regelhaft zu erfassen, deren Erhebung aktuell aus zeitlichen oder arbeitsorganisatorischen Gründen nicht möglich erscheint.

4. Zusammenfassung

Prävalenzerhebungen sind ein effektives Mittel, um NI nicht nur in zuvor definierten Risikobereichen, sondern im gesamten Krankenhaus zu erfassen. Die Durchführung einer PPS auf nationaler Ebene ermöglicht durch Aggregieren der Daten aller teilnehmenden Krankenhäuser ferner die Berechnung von Referenzdaten. Die wiederholte Durchführung von Prävalenzerhebungen ermöglicht es außerdem Trends zu identifizieren und zu beschreiben. WI gehörten bei den bisher in Deutschland durchgeführten Prävalenzerhebungen zu den häufigsten NI. Extrapolationen der PPS-Daten konnten zeigen, dass WI mit einer erheblichen Krankheitslast und Letalität vergesellschaftet sind. Die Identifikation von Risikofaktoren, die das Auftreten von WI begünstigen, stellt eine Voraussetzung dar, um präventive Strategien zur Vermeidung von WI zu entwickeln und anzupassen. In der Auseinandersetzung mit WI-Risikofaktoren ist eine Unterteilung in operationsbezogene, patientenbezogene und andere Risikofaktoren hilfreich. Ein bislang wenig untersuchter operationsbezogener Risikofaktor ist die Dringlichkeit der durchgeführten Operation. Durch eine Analyse von Surveillancedaten der Indikator-Operationen „Sectio Caesarea“ und „Eingriffe am Kolon“ des Moduls OP-KISS aus den Jahren 2017 bis einschließlich 2019 konnten wir zeigen, dass notfallmäßig durchgeführte Sectiones mit einem signifikant höheren WI-Risiko assoziiert waren als elektiv durchgeführte Eingriffe. Bei Eingriffen am Kolon waren dahingehend keine signifikanten Unterschiede zu beobachten. Die Geschlechtszugehörigkeit als potentiellen patientenbezogenen WI-Risikofaktor untersuchten wir im Rahmen einer retrospektiven Analyse, die OP-KISS Daten der Jahre 2008 bis einschließlich 2017 beinhaltet. Es zeigte sich eine generelle Assoziation zwischen männlichem Geschlecht und einem erhöhten WI-Risiko. Im Hinblick auf einzelne operative Fachgebiete zeigten sich jedoch Unterschiede. Zwar war das WI-Risiko nach abdominalchirurgischen und orthopädischen bzw. traumatologischen Operationen bei männlichen Patienten signifikant höher als bei weiblichen Patientinnen, hinsichtlich herz- und gefäßchirurgischer Operationen war jedoch eine inverse Assoziation zu beobachten. Mit einer weiteren Analyse, die ebenfalls retrospektiv auf OP-KISS Daten basierte und über 2 000 000 Operationen aus 17 Jahren einschloss, konnten wir dokumentieren, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von WI saisonalen, durch die durchschnittliche Außentemperatur im Operationsmonat bedingten Schwankungen unterlag. Operationen, die in wärmeren Monaten durchgeführt wurden, waren mit einem höheren WI-Risiko assoziiert. Besonders stark war diese Assoziation bei WI, die durch gramnegative Erreger ausgelöst wurden, ausgeprägt. Ziel der Identifikation von WI-Risikofaktoren ist es zur Wissensgrundlage für angepasste

Präventionsmaßnahmen beizutragen. Die in dieser Habilitationsschrift ausgewählten Publikationen liefern dazu wichtige Ansatzpunkte.

5. Literaturangaben

1. Cassini A, Plachouras D, Eckmanns T, Abu Sin M, Blank HP, Ducomble T, et al. Burden of Six Healthcare-Associated Infections on European Population Health: Estimating Incidence-Based Disability-Adjusted Life Years through a Population Prevalence-Based Modelling Study. *PLoS Med.* 2016;13(10):e1002150.
2. Allegranzi B, Bagheri Nejad S, Combescure C, Graafmans W, Attar H, Donaldson L, et al. Burden of endemic health-care-associated infection in developing countries: systematic review and meta-analysis. *Lancet.* 2011;377(9761):228-41.
3. World Health Organization (WHO). Report on the burden of endemic health care-associated infection worldwide. Geneva: WHO; 2011. Online verfügbar unter: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/80135/9789241501507_eng.pdf;jsessionid=651B4E2D575A62E2EAC24558A9332BE5?sequence=1. Abgerufen am 07.11.2022.
4. Suetens C, Latour K, Karki T, Ricchizzi E, Kinross P, Moro ML, 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 Surveill.* 2018;23(46).
5. Zingg W, Metsini A, Balmelli C, Neofytos D, Behnke M, Gardiol C, et al. National point prevalence survey on healthcare-associated infections in acute care hospitals, Switzerland, 2017. *Euro Surveill.* 2019;24(32).
6. European Centre for Disease Prevention and Control. Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals. Stockholm: ECDC; 2013. Online verfügbar unter: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/media/en/publications/Publications/healthcare-associated-infections-antimicrobial-use-PPS.pdf>. Abgerufen am 07.11.2022.
7. Zacher B, Haller S, Willrich N, Walter J, Abu Sin M, Cassini A, et al. Application of a new methodology and R package reveals a high burden of healthcare-associated infections (HAI) in Germany compared to the average in the European Union/European Economic Area, 2011 to 2012. *Euro Surveill.* 2019;24(46).
8. Gastmeier P, Geffers C, Brandt C, Zuschneid I, Sohr D, Schwab F, et al. Effectiveness of a nationwide nosocomial infection surveillance system for reducing nosocomial infections. *J Hosp Infect.* 2006;64(1):16-22.
9. Gastmeier P, Schwab F, Sohr D, Behnke M, Geffers C. Reproducibility of the surveillance effect to decrease nosocomial infection rates. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2009;30(10):993-9.

10. Geubbels EL, Nagelkerke NJ, Mintjes-De Groot AJ, Vandenbroucke-Grauls CM, Grobbee DE, De Boer AS. Reduced risk of surgical site infections through surveillance in a network. *Int J Qual Health Care*. 2006;18(2):127-33.
11. Schwab F, Geffers C, Barwolff S, Ruden H, Gastmeier P. Reducing neonatal nosocomial bloodstream infections through participation in a national surveillance system. *J Hosp Infect*. 2007;65(4):319-25.
12. Brandt C, Sohr D, Behnke M, Daschner F, Ruden H, Gastmeier P. Reduction of surgical site infection rates associated with active surveillance. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2006;27(12):1347-51.
13. Abbas M, de Kraker MEA, Aghayev E, Astagneau P, Aupee M, Behnke M, et al. Impact of participation in a surgical site infection surveillance network: results from a large international cohort study. *J Hosp Infect*. 2019;102(3):267-76.
14. Kerwat K, Just M, Wulf H. [The German Protection against Infection Act (Infektionsschutzgesetz (IfSG))]. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. 2009;44(3):182-3.
15. [Surveillance of nosocomial infections as well as the detection of pathogens with special resistance and multi-resistance]. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz*. 2013;56(4):580-3.
16. Schroder C, Schwab F, Behnke M, Breier AC, Maechler F, Piening B, et al. Epidemiology of healthcare associated infections in Germany: Nearly 20 years of surveillance. *Int J Med Microbiol*. 2015;305(7):799-806.
17. Brandt C, Hansen S, Sohr D, Daschner F, Ruden H, Gastmeier P. Finding a method for optimizing risk adjustment when comparing surgical-site infection rates. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2004;25(4):313-8.
18. Kramer TS, Schroder C, Behnke M, Aghdassi SJ, Geffers C, Gastmeier P, et al. Decrease of methicillin resistance in *Staphylococcus aureus* in nosocomial infections in Germany-a prospective analysis over 10 years. *J Infect*. 2019;78(3):215-9.
19. Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen. Surveillance postoperativer Wundinfektionen. Online verfügbar unter: https://www.nrz-hygiene.de/files/Protokolle/OP-Protokolle/Wundinfektionen/OP_KISS_Protokoll_WI_v202011.pdf. Abgerufen am 07.11.2022.
20. Aghdassi SJS, Gastmeier P. Novel approaches to surgical site infections: what recommendations can be made? *Expert Rev Anti Infect Ther*. 2017;15(12):1113-21.

21. Culver DH, Horan TC, Gaynes RP, Martone WJ, Jarvis WR, Emori TG, et al. Surgical wound infection rates by wound class, operative procedure, and patient risk index. National Nosocomial Infections Surveillance System. *Am J Med.* 1991;91(3B):152S-7S.
22. Neumayer L, Hosokawa P, Itani K, El-Tamer M, Henderson WG, Khuri SF. Multivariable predictors of postoperative surgical site infection after general and vascular surgery: results from the patient safety in surgery study. *J Am Coll Surg.* 2007;204(6):1178-87.
23. Mangram AJ, Horan TC, Pearson ML, Silver LC, Jarvis WR. Guideline for prevention of surgical site infection, 1999. Hospital Infection Control Practices Advisory Committee. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 1999;20(4):250-78; quiz 79-80.
24. Owens CD, Stoessel K. Surgical site infections: epidemiology, microbiology and prevention. *J Hosp Infect.* 2008;70 Suppl 2:3-10.
25. Allegranzi B, Zayed B, Bischoff P, Kubilay NZ, de Jonge S, de Vries F, et al. New WHO recommendations on intraoperative and postoperative measures for surgical site infection prevention: an evidence-based global perspective. *Lancet Infect Dis.* 2016;16(12):e288-e303.
26. Duncan AE. Hyperglycemia and perioperative glucose management. *Curr Pharm Des.* 2012;18(38):6195-203.
27. Ata A, Lee J, Bestle SL, Desemone J, Stain SC. Postoperative hyperglycemia and surgical site infection in general surgery patients. *Arch Surg.* 2010;145(9):858-64.
28. Kotagal M, Symons RG, Hirsch IB, Umpierrez GE, Dellinger EP, Farrokhi ET, et al. Perioperative hyperglycemia and risk of adverse events among patients with and without diabetes. *Ann Surg.* 2015;261(1):97-103.
29. Kurz A, Sessler DI, Lenhardt R. Perioperative normothermia to reduce the incidence of surgical-wound infection and shorten hospitalization. Study of Wound Infection and Temperature Group. *N Engl J Med.* 1996;334(19):1209-15.
30. Seamon MJ, Wobb J, Gaughan JP, Kulp H, Kamel I, Dempsey DT. The effects of intraoperative hypothermia on surgical site infection: an analysis of 524 trauma laparotomies. *Ann Surg.* 2012;255(4):789-95.
31. Rauch S, Miller C, Brauer A, Wallner B, Bock M, Paal P. Perioperative Hypothermia- A Narrative Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2021;18(16).
32. Aeschbacher P, Nguyen TL, Dorn P, Kocher GJ, Lutz JA. Surgical Site Infections Are Associated With Higher Blood Loss and Open Access in General Thoracic Practice. *Front Surg.* 2021;8:656249.

33. Petrosillo N, Drapeau CM, Nicastrì E, Martini L, Ippolito G, Moro ML, et al. Surgical site infections in Italian Hospitals: a prospective multicenter study. *BMC Infect Dis.* 2008;8:34.
34. Rioux C, Grandbastien B, Astagneau P. Impact of a six-year control programme on surgical site infections in France: results of the INCISO surveillance. *J Hosp Infect.* 2007;66(3):217-23.
35. Cheadle WG. Risk factors for surgical site infection. *Surg Infect (Larchmt).* 2006;7 Suppl 1:S7-11.
36. Waisbren E, Rosen H, Bader AM, Lipsitz SR, Rogers SO, Jr., Eriksson E. Percent body fat and prediction of surgical site infection. *J Am Coll Surg.* 2010;210(4):381-9.
37. Kong L, Liu Z, Meng F, Shen Y. Smoking and Risk of Surgical Site Infection after Spinal Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surg Infect (Larchmt).* 2017;18(2):206-14.
38. Dominioni L, Imperatori A, Rotolo N, Rovera F. Risk factors for surgical infections. *Surg Infect (Larchmt).* 2006;7 Suppl 2:S9-12.
39. Cantlon CA, Stemper ME, Schwan WR, Hoffman MA, Qutaishat SS. Significant pathogens isolated from surgical site infections at a community hospital in the Midwest. *Am J Infect Control.* 2006;34(8):526-9.
40. Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen. KISS Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System Modul OP-KISS Referenzdaten. Berechnungszeitraum: Januar 2017 bis Dezember 2021. Erstellungdatum: 4. Mai 2022. Online verfügbar unter: https://www.nrz-hygiene.de/files/Referenzdaten/OP/201701_202112_OPRef.pdf. Abgerufen am 07.11.2022.
41. Wertheim HF, Melles DC, Vos MC, van Leeuwen W, van Belkum A, Verbrugh HA, et al. The role of nasal carriage in *Staphylococcus aureus* infections. *Lancet Infect Dis.* 2005;5(12):751-62.
42. Prävention postoperativer Wundinfektionen. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz.* 2018;61(4):448-73.
43. Global guidelines for the prevention of surgical site infection, second edition. Geneva: World Health Organization; 2018. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. Online verfügbar unter: <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1168437/retrieve>. Abgerufen am 07.11.2022.
44. Langelotz C, Mueller-Rau C, Terziyski S, Rau B, Krannich A, Gastmeier P, et al. Gender-Specific Differences in Surgical Site Infections: An Analysis of 438,050 Surgical

Procedures from the German National Nosocomial Infections Surveillance System.

Viszeralmedizin. 2014;30(2):114-7.

45. Dholakia S, Jeans JP, Khalid U, Dholakia S, D'Souza C, Nemeth K. The association of noise and surgical-site infection in day-case hernia repairs. *Surgery*. 2015;157(6):1153-6.
46. Kurmann A, Peter M, Tschan F, Muhlemann K, Candinas D, Beldi G. Adverse effect of noise in the operating theatre on surgical-site infection. *Br J Surg*. 2011;98(7):1021-5.
47. Roth JA, Juchler F, Dangel M, Eckstein FS, Battegay M, Widmer AF. Frequent Door Openings During Cardiac Surgery Are Associated With Increased Risk for Surgical Site Infection: A Prospective Observational Study. *Clinical Infectious Diseases*. 2018;69(2):290-4.
48. Calderwood MS, Kleinman K, Huang SS, Murphy MV, Yokoe DS, Platt R. Surgical Site Infections: Volume-Outcome Relationship and Year-to-Year Stability of Performance Rankings. *Med Care*. 2017;55(1):79-85.
49. SooHoo NF, Lieberman JR, Ko CY, Zingmond DS. Factors predicting complication rates following total knee replacement. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88(3):480-5.
50. Wu SC, Chen CC, Ng YY, Chu HF. The relationship between surgical site infection and volume of coronary artery bypass graft surgeries: Taiwan experience. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2006;27(3):308-11.
51. Eber MR, Shardell M, Schweizer ML, Laxminarayan R, Perencevich EN. Seasonal and temperature-associated increases in gram-negative bacterial bloodstream infections among hospitalized patients. *PLoS One*. 2011;6(9):e25298.
52. Schwab F, Gastmeier P, Hoffmann P, Meyer E. Summer, sun and sepsis-The influence of outside temperature on nosocomial bloodstream infections: A cohort study and review of the literature. *PLoS One*. 2020;15(6):e0234656.
53. Anthony CA, Peterson RA, Polgreen LA, Sewell DK, Polgreen PM. The Seasonal Variability in Surgical Site Infections and the Association With Warmer Weather: A Population-Based Investigation. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2017;38(7):809-16.
54. Anthony CA, Peterson RA, Sewell DK, Polgreen LA, Simmering JE, Callaghan JJ, et al. The Seasonal Variability of Surgical Site Infections in Knee and Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2018;33(2):510-4 e1.
55. Ruden H, Gastmeier P, Daschner F, Schumacher M. [Nosocomial infections in Germany. Their epidemiology in old and new Federal Lander]. *Dtsch Med Wochenschr*. 1996;121(42):1281-7.

56. Behnke M, Hansen S, Leistner R, Diaz LA, Gropmann A, Sohr D, et al. Nosocomial infection and antibiotic use: a second national prevalence study in Germany. *Dtsch Arztebl Int.* 2013;110(38):627-33.
57. Hansen S, Sohr D, Piening B, Pena Diaz L, Gropmann A, Leistner R, et al. Antibiotic usage in German hospitals: results of the second national prevalence study. *J Antimicrob Chemother.* 2013;68(12):2934-9.
58. European Centre for Disease Prevention and Control. Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals - protocol version 4.3. Stockholm: ECDC; 2012. Online verfügbar unter: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/media/en/publications/Publications/0512-TED-PPS-HAI-antimicrobial-use-protocol.pdf>. Abgerufen am 07.11.2022.
59. European Centre for Disease Prevention and Control. Point prevalence survey of healthcare-associated infections and antimicrobial use in European acute care hospitals – protocol version 5.3. Stockholm: ECDC; 2016. Online verfügbar unter: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/media/en/publications/Publications/PPS-HAI-antimicrobial-use-EU-acute-care-hospitals-V5-3.pdf>. Abgerufen am 07.11.2022.
60. Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen. Deutsche Nationale Punkt-Prävalenzstudie zu nosokomialen Infektionen und Antibiotika-Anwendung 2011 - Abschlussbericht. Online verfügbar unter: <https://www.nrz-hygiene.de/projekte/praevalenzerhebung/pps-2011?file=files/Projekte/PPS%202011/PPS-Abschlussbericht-Stand05-08-2013final.pdf&cid=305>. Abgerufen am 07.11.2022.
61. Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen. Deutsche nationale Punkt-Prävalenzerhebung zu nosokomialen Infektionen und Antibiotika-Anwendung 2016 - Abschlussbericht. Online verfügbar unter: https://www.nrz-hygiene.de/files/Projekte/PPS%202016/PPS_2016_Abschlussbericht_20.07.2017.pdf. Abgerufen am 07.11.2022.
62. Behnke M, Aghdassi SJ, Hansen S, Diaz LAP, Gastmeier P, Piening B. The Prevalence of Nosocomial Infection and Antibiotic Use in German Hospitals. *Dtsch Arztebl Int.* 2017;114(50):851-7.
63. Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen. Anlage zum OP-KISS Protokoll: Beschreibung der Indikator-OP-Arten. SECC - Sectio Caesarea. Online verfügbar unter: https://www.nrz-hygiene.de/files/Protokolle/OP-Protokolle/Indikator-OP/2023/2023_SECC.pdf. Abgerufen am 07.11.2022.

64. Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen. Anlage zum OP-KISS Protokoll: Beschreibung der Indikator-OP-Arten. COLO - Eingriffe am Kolon. Online verfügbar unter: https://www.nrz-hygiene.de/files/Protokolle/OP-Protokolle/Indikator-OP/2023/2023_COLO.pdf. Abgerufen am 07.11.2022.
65. European Centre for Disease Prevention and Control. Surveillance of surgical site infections and prevention indicators in European hospitals - HAI-Net SSI protocol, version 2.2. Stockholm: ECDC; 2017. Online verfügbar unter: <https://www.ecdc.europa.eu/sites/default/files/documents/HAI-Net-SSI-protocol-v2.2.pdf>. Abgerufen am 07.11.2022.
66. Aghdassi SJS, Schroder C, Gastmeier P. Urgency of surgery as an indicator for the occurrence of surgical site infections: data from over 100,000 surgical procedures. *J Hosp Infect.* 2021;110:1-6.
67. Aghdassi SJS, Schroder C, Gastmeier P. Gender-related risk factors for surgical site infections. Results from 10 years of surveillance in Germany. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2019;8:95.
68. Aghdassi SJS, Schwab F, Hoffmann P, Gastmeier P. The Association of Climatic Factors with Rates of Surgical Site Infections: 17 Years' Data From Hospital Infection Surveillance. *Dtsch Arztebl Int.* 2019;116(31-32):529-36.
69. Aghdassi SJS, Gastmeier P, Hoffmann P, Schwab F. Increase in surgical site infections caused by gram-negative bacteria in warmer temperatures: Results from a retrospective observational study. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2021;42(4):417-24.
70. Saleem Z, Godman B, Hassali MA, Hashmi FK, Azhar F, Rehman IU. Point prevalence surveys of health-care-associated infections: a systematic review. *Pathog Glob Health.* 2019;113(4):191-205.
71. Strobel RM, Leonhardt M, Förster F, Neumann K, Lobbes LA, Seifarth C, et al. The impact of surgical site infection—a cost analysis. *Langenbeck's Archives of Surgery.* 2022;407(2):819-28.
72. Stewart S, Robertson C, Kennedy S, Kavanagh K, Haahr L, Manoukian S, et al. Personalized infection prevention and control: identifying patients at risk of healthcare-associated infection. *J Hosp Infect.* 2021;114:32-42.
73. Alfouzan W, Al Fadhli M, Abdo N, Alali W, Dhar R. Surgical site infection following cesarean section in a general hospital in Kuwait: trends and risk factors. *Epidemiol Infect.* 2019;147:e287.

74. Killian CA, Graffunder EM, Vinciguerra TJ, Venezia RA. Risk factors for surgical-site infections following cesarean section. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2001;22(10):613-7.
75. Wurtz R, Wittrock B, Lavin MA, Zawacki A. Do new surgeons have higher surgical-site infection rates? *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2001;22(6):375-7.
76. Pedroso-Fernandez Y, Aguirre-Jaime A, Ramos MJ, Hernandez M, Cuervo M, Bravo A, et al. Prediction of surgical site infection after colorectal surgery. *Am J Infect Control.* 2016;44(4):450-4.
77. Denkel LA, Schwab F, Clausmeyer J, Behnke M, Golembus J, Wolke S, et al. Effect of antiseptic bathing with chlorhexidine or octenidine on central line-associated bloodstream infections in intensive care patients: a cluster-randomized controlled trial. *Clin Microbiol Infect.* 2022;28(6):825-31.
78. Winklmayr C adHM. Hitzebedingte Mortalität in Deutschland 2022. *Epid Bull* 2022;42:3-9.
79. Liu J, Varghese BM, Hansen A, Zhang Y, Driscoll T, Morgan G, et al. Heat exposure and cardiovascular health outcomes: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Planet Health.* 2022;6(6):e484-e95.
80. Hansen AL, Bi P, Ryan P, Nitschke M, Pisaniello D, Tucker G. The effect of heat waves on hospital admissions for renal disease in a temperate city of Australia. *Int J Epidemiol.* 2008;37(6):1359-65.
81. Schwab F, Gastmeier P, Meyer E. The warmer the weather, the more gram-negative bacteria - impact of temperature on clinical isolates in intensive care units. *PLoS One.* 2014;9(3):e91105.
82. Wenzel RP. Surgical site infections and the microbiome: An updated perspective. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2019;40(5):590-6.
83. Lederer AK, Pisarski P, Kousoulas L, Fichtner-Feigl S, Hess C, Huber R. Postoperative changes of the microbiome: are surgical complications related to the gut flora? A systematic review. *BMC Surg.* 2017;17(1):125.
84. Alverdy JC, Hyoju SK, Weigerinck M, Gilbert JA. The gut microbiome and the mechanism of surgical infection. *Br J Surg.* 2017;104(2):e14-e23.
85. Liou RJ, Earley MJ, Forrester JD. Effect of climate on surgical site infections and anticipated increases in the United States. *Sci Rep.* 2022;12(1):19698.
86. van Mourik MSM, van Rooden SM, Abbas M, Aspevall O, Astagneau P, Bonten MJM, et al. PRAISE: providing a roadmap for automated infection surveillance in Europe. *Clinical Microbiology and Infection.* 2021;27:S3-S19.

87. Mitchell BG, Hall L, Halton K, MacBeth D, Gardner A. Time spent by infection control professionals undertaking healthcare associated infection surveillance: A multi-centred cross sectional study. *Infection, Disease & Health*. 2016;21(1):36-40.
88. Dos Santos RP, Silva D, Menezes A, Lukasewicz S, Dalmora CH, Carvalho O, et al. Automated healthcare-associated infection surveillance using an artificial intelligence algorithm. *Infect Prev Pract*. 2021;3(3):100167.
89. Freeman R, Moore LSP, García Álvarez L, Charlett A, Holmes A. Advances in electronic surveillance for healthcare-associated infections in the 21st Century: a systematic review. *Journal of Hospital Infection*. 2013;84(2):106-19.
90. Sips ME, Bonten MJM, van Mourik MSM. Semiautomated Surveillance of Deep Surgical Site Infections After Primary Total Hip or Knee Arthroplasty. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2017;38(6):732-5.
91. Verberk JDM, van Rooden SM, Koek MBG, Hetem DJ, Smilde AE, Bril WS, et al. Validation of an algorithm for semiautomated surveillance to detect deep surgical site infections after primary total hip or knee arthroplasty-A multicenter study. *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2021;42(1):69-74.

6. Danksagung

Mein Dank gilt meinen Kolleginnen und Kollegen im Institut für Hygiene und Umweltmedizin der Charité-Universitätsmedizin Berlin, mit denen ich es sehr schätze zusammenzuarbeiten und von deren konstruktivem Feedback ich bei meiner Arbeit sehr profitiere. Des Weiteren danke ich allen Personen, die mir auf meinem akademischen und beruflichen Weg unterstützend zur Seite standen und stehen.

Mein besonderer Dank gebührt Frau Prof. Dr. med. Petra Gastmeier, unter deren Leitung ich meinen Weg im Bereich der Krankenhaushygiene und Infektionsprävention gefunden habe. Dank ihrer exzellenten fachlichen Unterstützung und ihres wertschätzenden, ermutigenden Umgangs konnte ich mich in einem für meine Entwicklung sehr förderlichen Umfeld wissenschaftlich und professionell entfalten.

Ich danke außerdem dem Berlin Institute of Health für die Unterstützung, die ich als Geförderter im Rahmen des Digital Clinician Scientist Programm erfahren darf.

Ich danke Herrn Helmut Josef Wanninger, von dem ich so viel gelernt habe und der immer an mich geglaubt und mich unterstützt hat.

7. Erklärung

§ 4 Abs. 3 (k) der HabOMed der Charité

Hiermit erkläre ich, dass

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wurde,
- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden,
- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité –Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

.....
Datum

.....
Unterschrift