

Aus dem  
Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen  
und der Klinik für Pferde  
der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

**Optimierung der chirurgischen Händedesinfektion in einer Pferdeklunik:  
Einfluss der Durchführungstechnik auf die Keimreduktion**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines  
Doctor medicinae veterinariae (Dr. med. vet.)  
durch die Veterinärmedizinische Fakultät  
der Universität Leipzig

eingereicht von  
Tina Rocktäschel  
aus Karl-Marx-Stadt

Leipzig, 2021

Mit Genehmigung der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Dekan: Prof. Dr. Dr. Thomas Vahlenkamp

Betreuer: Prof. Dr. Uwe Truyen  
Prof. Dr. Walter Brehm

Gutachter: Prof. Dr. Uwe Truyen, Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen,  
Veterinärmedizinische Fakultät Leipzig

Prof. Dr. Walter Brehm, Klinik für Pferde, Veterinärmedizinische Fakultät Leipzig

PD Dr. habil. Uta Delling, Klinik für Pferde, Stiftung Tierärztliche Hochschule  
Hannover

Tag der Verteidigung: 21.09.2021

*Ich trage dein Herz bei mir. Ich trage es in meinem Herzen.*

***Für meinen Papa.***



**Inhaltsverzeichnis**

1	Einleitung .....	1
2	Literaturübersicht .....	3
2.1	Residente und transiente Hautflora .....	3
2.2	Asepsis und Antiseptik .....	4
2.3	Grundlagen und allgemeine Voraussetzungen für eine effektive Händehygiene.....	4
2.4	Händewaschung .....	5
2.4.1	Limitationen der Händewaschung.....	5
2.5	Händedesinfektion.....	6
2.5.1	Historie der Händedesinfektion.....	6
2.5.2	Hygienische Händedesinfektion .....	8
2.5.3	Chirurgische Händedesinfektion .....	8
2.5.4	Aliphatische Alkohole .....	10
2.5.5	Dauer und Wirksamkeit der chirurgischen Händedesinfektion .....	12
2.5.6	Compliance .....	13
2.5.7	Zulassung und Prüfung von Händedesinfektionsmitteln.....	15
2.6	Nosokomiale Infektionen, Surgical Site Infections (SSI) .....	16
2.6.1	<i>Staphylococcus aureus</i> .....	18
2.6.1.1	Methicillin-resistente <i>Staphylococcus aureus</i> (MRSA).....	18
2.7	Handschuhe .....	21
2.7.1	Nutzen und Limitationen von Handschuhen .....	21
3	Veröffentlichung .....	24
3.1	Eigenanteil zur Veröffentlichung.....	24
3.1.1	Publikation .....	26
4	Diskussion .....	50
5	Zusammenfassung .....	61
6	Summary .....	63
7	Literaturverzeichnis .....	65
	Danksagung .....	79

## Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
<	kleiner als
>	größer als
≤	kleiner gleich
≥	größer gleich
®	Registered Trade Mark
°C	Grad Celsius
µl	Mikroliter
AQL	Accepted Quality Level (statistischer Messwert für ein einheitliches Qualitätsniveau bei der Herstellung von z. B. medizinischen Einmalhandschuhen)
AWMF	Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V.
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CA-MRSA	Community-acquired Methicillin-resistente(r) <i>Staphylococcus aureus</i>
CC	klonaler Komplex
CEN	Comité Européen de Normalisation (Europäisches Komitee für Standardisierung)
cfu	colony-forming units
cm	Centimeter
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
d	Tag(e)
d. h.	das heißt
DIN	Deutsche Norm, Deutsche Industrienorm
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
ECT	electroconductivity testing, Messung der elektrischen Leitfähigkeit
EN	Europäische Norm
ESBL	Extended-Spectrum-β-Lactamase
et al.	und andere
g	Gramm
ggf.	gegebenenfalls
GKZ	Gesamtkeimzahl

## Abkürzungsverzeichnis

h	Stunde(n)
HA-MRSA	Hospital-assoziierte Methicillin-resistente(r) <i>Staphylococcus aureus</i>
IHO	Industrieverband Hygiene und Oberflächenschutz
KbE	Koloniebildende Einheiten
KISS	Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System
l	Liter
LA-MRSA	Livestock (Nutztier-)-assoziierte Methicillin-resistente(r) <i>Staphylococcus aureus</i>
log <sub>10</sub>	dekadischer Logarithmus, Logarithmus zur Basis 10
LR	log reduction
min	Minute(n)
ml	Milliliter
mm	Millimeter
MRSA	Methicillin-resistente(r) <i>Staphylococcus aureus</i>
n	Anzahl
NRZ	Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen
OP	Operation
PbP	Penicillin-Bindeprotein(e)
PVP	Polyvinylpyrrolidon, Povidon
RKI	Robert Koch-Institut
<i>S.</i>	<i>Staphylococcus</i>
<i>Sc.</i>	<i>Streptococcus</i>
SCC <sub>mec</sub>	Staphylococcal Cassette Chromosome <i>mec</i>
sec	Sekunde(n)
sog.	sogenannt
spp.	mehrere Spezies
SSI	Surgical Site Infection(s)
ssp.	Subspezies
Tab.	Tabelle
WHO	World Health Organization
WLT	Wasser-Leck-Test
VAH	Verbund für Angewandte Hygiene e. V.
V/V	Volume/Volume
z. B.	zum Beispiel

## 1 Einleitung

Die Hände des medizinischen Personals gelten als wichtigste Übertragungsquelle von Krankheitserregern (KAMPF und KRAMER 2016). Daher stellt die chirurgische Händedesinfektion einen entscheidenden Aspekt zur Verhütung nosokomialer Infektionen dar (KAMPF und KRAMER 2016). Obwohl die chirurgische Händedesinfektion Bestandteil der täglichen Routine ist, scheinen die Grundkenntnisse hierüber selbst bei chirurgischen Fachtierärzten gering zu sein (VERWILGHEN 2015). Eine Studie von VERWILGHEN (2015) ergab, dass 66 % der spezialisierten Tierärzte in der Klein- und Großtierchirurgie nicht gemäß eines nationalen oder internationalen Standardprotokolls verfahren. Die Prävalenz von postoperativen Wundinfektionen (Surgical Site Infections, SSI) reicht in der Pferdechirurgie von 9,5 % bis über 60 % (VERWILGHEN 2016, ISGREN et al. 2017, SCHARNER et al. 2018), wobei schätzungsweise 35 % der SSI nicht in den Patientenakten dokumentiert sind (TURK et al. 2015). Weiterhin ist unbekannt, wie viele SSI erst nach der Entlassung der Patienten diagnostiziert werden (VERWILGHEN 2015). Postoperative Infektionen stellen eine häufige Komplikation in der Pferdechirurgie dar und stehen in Zusammenhang mit erhöhten Behandlungskosten, aufwendiger postoperativer Pflege, einem verlängerten Klinikaufenthalt der Patienten, sowie möglicherweise erhöhter Mortalität (MOODLEY und GUARDABASSI 2009, ISGREN et al. 2017). In diesem Zusammenhang stellen Infektionen mit multiresistenten Bakterien eine besondere Herausforderung hinsichtlich der Prävention und Behandlung dar und limitieren therapeutische Optionen. In den letzten Jahren wurde in europäischen Pferdekliniken die Verbreitung eines Methicillin-resistenten *Staphylococcus aureus* (MRSA) des klonalen Komplexes (CC) 398 beobachtet (ABDELBARAY et al. 2014). Dabei handelt es sich um einen Pferde-spezifischen CC398-Subklon (Clade C), der durch seine Gentamicin-Resistenz charakterisiert ist und schwere nosokomiale Infektionen bei Pferden verursachen kann (ABDELBARAY et al. 2014). Im Gegensatz zur Humanmedizin werden in den meisten deutschen Tierkliniken bislang keine routinemäßigen MRSA-Screenings zum Zeitpunkt der Klinikaufnahme durchgeführt, obwohl 2,2 % bis 9,3 % der Pferde bereits bei stationärer Aufnahme MRSA-Träger sind (WALTHER und KÖCK 2017). Diese nicht-identifizierten MRSA-Träger können in der Folge resistente Stämme auf andere Patienten, das Personal und die Umwelt übertragen (PANCHAUD et al. 2010, WALTHER und KÖCK 2017, KÖCK und CUNY 2020). Dazu wurde bereits berichtet, dass etwa 20 % der Tierärzte und des Personals in Pferdekliniken nasal mit MRSA kolonisiert sind (CUNY et al. 2015). Dadurch kann es zur unbeabsichtigten Transmission von MRSA sowie anderen primär oder fakultativ

pathogenen Mikroorganismen auf Patienten während einer Operation (OP) kommen. Die chirurgische Händedesinfektion ist eine simple und effektive Maßnahme zum Schutz vor SSI, welche zu einer vorhersagbaren Keimzahlreduktion führt, wenn sie im Alltag korrekt durchgeführt wird (LÖFFLER 2008, HÜBNER und SCHWEBKE 2019). Neben den Händehygiene-Maßnahmen stellen zusätzlich auch Einmalhandschuhe bei der Behandlung von Patienten sowie sterile Handschuhe während der Operation eine Erregerbarriere dar und verhindern die wechselseitige Übertragung zwischen Klinikpersonal und Patienten. Perforierte Handschuhe sind mit einem höheren Risiko für SSI assoziiert (ROTTER 2008, KAMPF und KRAMER 2016, KRINKO 2018). Die Prävalenz von Handschuhperforationen liegt bei bis zu 67 % aller chirurgischen Eingriffe (EKLUND et al. 2002, VERWILGHEN et al. 2011a), wobei der Großteil der Perforationen (83,3 % bis 92,6 %) unbemerkt stattfindet (THOMAS et al. 2001, CHARACTER et al. 2003). Vor diesem Hintergrund spielt die Effizienz der chirurgischen Händedesinfektion eine zentrale Rolle zur Verhinderung postoperativer Wundinfektionen. Im Vergleich zur Humanmedizin existieren in der Veterinärmedizin nur wenige Studien, die sich mit der Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln für die chirurgische Händedesinfektion beschäftigen (TRAUB-DARGATZ et al. 2006, VERWILGHEN et al. 2011b, DA SILVEIRA et al. 2016, BIERMANN et al. 2019). In keiner dieser Studien wurde die Wirksamkeit eines alkoholischen Desinfektionsmittels unter dem Aspekt unterschiedlicher Anwendungsprotokolle begutachtet. Die vorliegende Arbeit hatte folgende Ziele: 1. Erfassung der gegenwärtigen Gewohnheiten (Status quo) bei der chirurgischen Händedesinfektion in der Klinik für Pferde der Veterinärmedizinischen Fakultät Leipzig. 2. Vergleich der Effektivität der Keimreduktion zwischen der routinemäßig durchgeführten chirurgischen Händedesinfektion (Status quo, Phase 1) und der Desinfektion gemäß eines Standardprotokolls (Phase 2) beruhend auf den „Anforderungen und Methoden zur VAH-Zertifizierung chemischer Desinfektionsverfahren“ (VAH 2016). Die Hypothese war, dass ein standardisiertes Protokoll bei der Reduktion der Bakterienzahl effizienter wäre. Hierfür wurde die Gesamtkeimzahl auf den Händen vor der OP (nach dem Händewaschen und nach dem Desinfizieren) und nach der OP bestimmt. 3. Bestimmung der Handschuhperforationsrate nach der OP sowie Untersuchung des Einflusses von Perforationen auf die Keimzahl der Hände. 4. Charakterisierung des Bakterienspektrums im Hinblick auf Bakterien, die als Erreger von SSI beschrieben sind. 5. Bestimmung der Prävalenz von MRSA auf den Händen und Charakterisierung möglicher MRSA-Isolate mit besonderem Augenmerk auf die europaweit in Pferdekliniken verbreitete Gentamicin-resistente Subpopulation von MRSA CC398 (Clade C).



## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Residente und transiente Hautflora

Die residente bzw. hauteigene Flora setzt sich vorwiegend aus koagulase-negativen Staphylokokken sowie Mikrokokken zusammen. Temporär kann *Staphylococcus (S.) aureus* auftreten. Bei den koagulase-negativen Staphylokokken ist z. B. *Staphylococcus epidermidis* zu nennen. Weiterhin sind Propioni- und Corynebakterien zu finden. Die residente Hautflora lebt in Eubiose, wobei die Bakterien in relativ konstanter Zusammensetzung und Menge vorliegen. Diese Flora besitzt eine Schutzfunktion gegenüber einer Kolonisation durch Krankheitserreger. Die Keimzahl der residenten Hautflora liegt zwischen  $10^2$  bis  $10^3$  Koloniebildenden Einheiten (KbE)/cm<sup>2</sup>. Die hauteigene Flora stellt im Normalfall (intakte Haut) keine Gefahr für den Organismus dar, kann jedoch bei Eintrag in sterile Körperhöhlen oder auf nicht-intakter Haut zu Infektionen führen (ROTTER 2008).

Kontaminanten der Haut, wie bspw. Bakterien, Viren oder Pilze, die nicht zur hauteigenen Flora gezählt werden, gehören der sogenannten transienten Flora an. Hierbei handelt es sich um Mikroorganismen, die aus der Umgebung auf die Hände gelangen und somit durch die Hände übertragen werden können. Diese kommen nur zeitweise auf der Haut vor. Somit setzt sich die transiente Flora aus allen Mikroorganismen zusammen, die sich vorübergehend auf den Händen befinden (ROTTER 2008).

Die residente Flora reicht von der Hautoberfläche bis zum *Stratum corneum* und ist zudem in den Haarfollikeln präsent. Dagegen besiedelt die transiente Flora die Haut nur temporär und setzt sich aus Bakterien, Pilzen sowie Viren zusammen, welche ursächlich für nosokomiale Infektionen sein können. Dabei variiert die Persistenz der unterschiedlichen Erreger auf der Haut. Während Bakterien und Hefepilze eine Stunde oder länger auf der Haut überleben können, reicht die Zeitspanne bei Viren von 10 Minuten bis zu mehreren Stunden (KAMPF und KRAMER 2016). Die Keimdichte der Hände steigt mit zunehmender Dauer der Tätigkeit linear an; für nicht behandschuhte Hände im Durchschnitt um 16 Keime pro Minute (KAMPF 2003). Von Infektionsflora wird beim Vorhandensein von Erregern gesprochen, die kausal für aktuelle Infektionen an den Händen sind (ROTTER 2008, KAMPF und KRAMER 2016). Zumeist betrifft dies *S. aureus* und  $\beta$ -hämolisierende Streptokokken (ROTTER 2008).

## **2.2 Asepsis und Antisepsis**

Die Asepsis beinhaltet Maßnahmen zur Verhütung von Wundinfektionen. Dazu zählen die Sterilisation von Instrumenten, die Oberflächendesinfektion des Operationsfeldes, das Tragen steriler Operationshandschuhe, sowie der Einsatz steriler Abdecktücher. Durch Sterilisation weisen die Materialien im Rahmen der Asepsis eine völlige Keimfreiheit auf.

Im Gegensatz dazu stehen die Maßnahmen der Antisepsis, bei der bereits kontaminierte Areale oder Bereiche durch eine Desinfektion behandelt werden. Hierzu gehören die Händedesinfektion, die Desinfektion von infizierten Wunden, die Desinfektion des Operationsfeldes sowie von Flächen (Böden und Wände im Operationstrakt, Gebrauchs- und Einrichtungsgegenstände) und der Luft in geschlossenen Räumen (LITZKE 2004a).

## **2.3 Grundlagen und allgemeine Voraussetzungen für eine effektive Händehygiene**

Als Grundvoraussetzung für die Reinigung und Desinfektion der Hände des medizinischen Personals gelten saubere, kurze Fingernägel, die abgerundet geschnitten werden und nicht über die Fingerkuppen ragen (KRINKO 2007, KRAMER et al. 2007, GEBEL und CARTER 2016, ANON. 2020b). Künstliche und lackierte Nägel (inklusive Gel-Lack) sind nicht erlaubt (KRINKO 2007, KRAMER et al. 2007, ANON. 2020b). Zudem darf das medizinische Personal an den Händen und Unterarmen keinerlei Schmuck tragen; dies betrifft auch Eheringe, Armbanduhren sowie Piercings (KRINKO 2007, KRAMER et al. 2007, GEBEL und CARTER 2016, ANON. 2020b). Eine weitere Voraussetzung für eine erfolgreiche Händehygiene ist die sorgfältige und regelmäßige Hautpflege (KRAMER et al. 2007, GEBEL und CARTER 2016). Insbesondere bei chirurgischen Eingriffen dürfen keine Verletzungen oder Entzündungen an den Händen und dem Nagelbett der an der OP teilnehmenden Personen vorhanden sein (GEBEL und CARTER 2016, ANON. 2020b). Bestehen akute Infektionen an den Händen, so sind chirurgische Eingriffe aufgrund der erhöhten Infektionsgefahr zu unterlassen (ROTTER 2008). Armaturen und Seifen- oder Desinfektionsmittelspender sollten mit dem Ellbogen betätigt und keinesfalls mit den Händen bedient werden (ANON. 2020b).

## **2.4 Händewaschung**

Ziel der Händewaschung ist die Entfernung von Schmutzpartikeln und adhärenen Mikroorganismen (ROTTER 2008). Dabei wird eine Waschlotion ohne antimikrobielle Wirkung angewandt (KAMPF und KRAMER 2016). Da feste Seifen häufig Kontaminationen aufweisen, sind flüssige Seifen aus einem Spender vorzuziehen (KAMPF und KRAMER 2016). Voraussetzung für die Hautverträglichkeit ist ein neutraler oder schwach saurer pH-Wert (KAMPF und KRAMER 2016). Die residente Hautflora ist verglichen mit der transienten Flora mechanisch nur schwer reduzierbar (ROTTER 2008), weshalb eine ausschließliche Händewaschung mit Wasser und Seife für die präoperative Antiseptik nicht ausreichend ist. Waschplätze sollten mit leicht erreichbaren Dispensern für Seife, Desinfektionsmittel, Handpflegeprodukten sowie Einmalhand- oder Papiertüchern ausgestattet sein (ROTTER 2008). Spender für Flüssigseife sollten leicht entfernbar und hitzeresistent im Hinblick auf die thermische Wiederaufbereitung sein (ROTTER 2008). Außerdem sollten Einmalflaschen in den Seifenspendern eingesetzt werden, da ein Wiederbefüllen mit einem Kontaminationsrisiko verbunden ist (KAMPF und KRAMER 2016). Die Verwendung von Einweghandtüchern (Papier oder Textil) dient neben dem Abtrocknen der Hände der Entfernung von Seifenrückständen und von Bakterien-tragenden Hautschuppen, weshalb elektrische Handtrockner in klinischen Einrichtungen abzulehnen sind (ROTTER 2008). Das Hygienemanagement in Kliniken sollte auch die sanitären Einrichtungen umfassen, da Wasserauslässe an Handwaschbecken einen beachtlichen Kontaminationspfad für nosokomiale Infektionen darstellen und bis zu 50 % der Infektionen mit Pseudomonaden in der Humanmedizin auf Wasserleitungen zurückzuführen sind (TRAUTMANN et al. 2005, TRAUTMANN et al. 2006).

### **2.4.1 Limitationen der Händewaschung**

Lang andauernde und/oder zu häufige Händewaschungen führen zu Hautschädigungen und sind daher abzulehnen (KRAMER et al. 2003, ROTTER 2008). Jede einzelne Händewaschung beeinträchtigt bereits den Wasser-Lipid-Mantel der Hautoberfläche und führt zur Reduktion antimikrobieller Schutzfaktoren der Haut (KRAMER et al. 2003, KRAMER et al. 2007), weshalb ein desinfizierendes Einreibeverfahren einer Händewaschung vorzuziehen ist. Die Hautverträglichkeit von Seifen ist im Vergleich zu alkoholischen Händedesinfektionsmitteln in allen Kriterien für die Verträglichkeitsbeurteilung signifikant schlechter (KRAMER et al. 2003). Seifen wirken sich demnach durch Entfettung, transepidermalen Wasserverlust und

Austrocknung negativ auf die Hautintegrität aus (KRAMER et al. 2003, KRAMER et al. 2007). Durch die resultierende Rauigkeit, Schuppung (Desquamation) und Rissbildung (Rhagaden) entstehen Nischen, in denen sich Mikroorganismen festsetzen und vermehren können (KRAMER et al. 2003, KRAMER et al. 2007, HÜBNER et al. 2015, KAMPF und KRAMER 2016, MCGUCKIN und GOVEDNIK 2017, HÜBNER und SCHWEBKE 2019). Letztlich führt die Austrocknung und Verhornungsstörung zu einem hyperkeratotisch-rhagadiformen Handekzem (KRAMER et al. 2003). Häufige Waschungen führen somit zu fehlender Regeneration der Schutzschicht und zum Herauslösen der interzellulären Kittsubstanzen, wodurch die Haut durchlässiger für chemische Noxen wird (KRAMER et al. 2003, KRAMER et al. 2007). Da die Hautverträglichkeit von Seifen demnach signifikant schlechter als die von alkoholischen Händedesinfektionsmitteln ist (BOYCE 2003, KRAMER et al. 2003, KRINKO 2007) wird empfohlen, die Hände nur bei sichtbarer Verschmutzung zu waschen (HÜBNER et al. 2006, LÖFFLER 2008, VERWILGHEN et al. 2011, KAMPF und KRAMER 2016). Um einer Hautirritation vorzubeugen, ist regelmäßiger Hautschutz bzw. Hautpflege erforderlich (KAMPF und KRAMER 2016).

## **2.5 Händedesinfektion**

Die Händedesinfektion gilt als wirksamste Einzelmaßnahme zur Unterbrechung von Infektionsketten und trägt einen wichtigen Beitrag zur Verhütung nosokomialer Infektionen bei (PERLITZ und HÜBNER 2013). Unterschieden werden je nach Indikationsstellung die hygienische und chirurgische Händedesinfektion.

### **2.5.1 Historie der Händedesinfektion**

Ignaz Philipp Semmelweis beschäftigte sich um 1847 mit dem Auftreten des Kindbettfiebers in der I. und II. Gebärklinik des Wiener Allgemeinen Krankenhauses. Während die Prävalenz des Puerperalfiebers an der I. Gebärklinik fast 20 % betrug, lag diese dagegen bei < 3 % in der II. Gebärklinik. Die Ätiologie der unterschiedlichen Mortalitätsraten der beiden Kliniken erkannte Semmelweis, als der befreundete Gerichtsmediziner Kolletschka bei einer Autopsie durch einen seiner Schüler eine Schnittwunde mit dem kontaminierten Skalpell erhielt und an demselben Krankheitsbild (Sepsis) verstarb, wie die vom Kindbettfieber betroffenen Mütter. Während an der I. Gebärklinik Medizinstudenten im Rahmen ihrer Ausbildung Sektionen durchführten, wurden an der II. Gebärklinik ausschließlich Hebammen ausgebildet, die den Sektionssaal nie betraten. Semmelweis schlussfolgerte, dass Medizinstudenten bei der vaginalen Untersuchung

von gebärenden Frauen noch anhaftende Leichenpartikel von der zuvor durchgeführten Sektion in deren Geburtswege einbrachten, und normales Händewaschen mit Wasser und Seife zur Reinigung der Hände nach einer Sektion daher nicht ausreichend sei. Daraufhin forderte Semmelweis eine fünfminütige Behandlung der Hände – zunächst mit Chlorabspaltern (Hypochloritlösung), später aus Kostengründen mit 4%iger Chlorkalklösung für jede Person, die den Kreißaal betrat. Die mütterliche Sterblichkeit in der I. Gebärklinik konnte somit innerhalb von zwei Monaten von 18,3 % auf 2,2 % gesenkt werden. Weiterhin stellte Semmelweis fest, dass die Infektionsverbreitung nicht nur von den sektionsausübenden Medizinstudenten ausging, sondern auch von Wöchnerin zu Wöchnerin übertragen werden konnte. Nachdem sich das Kindbettfieber einer erkrankten Wöchnerin auf elf weitere Frauen tödlich ausgewirkt hatte, welche in der Reihenfolge nacheinander behandelt worden waren, forderte Semmelweis 1847 eine hygienische Händedesinfektion nach jeder vaginalen Untersuchung und nach jedem Kontakt mit infizierten Körperstellen. Trotz der Unkenntnis über bakterielle Krankheitserreger wurde Ignaz Semmelweis somit zum Vorreiter für die hygienische Händedesinfektion.

Als Pionier der Antisepsie gilt der schottische Chirurg Sir Joseph Lister. Dieser entwickelte um 1860 präventive Maßnahmen zur Verhinderung postoperativer Wundinfektionen. Angelehnt an die Erkenntnisse über Mikroorganismen von Louis Pasteur, dass Bakterien neben Fermentations- und Fäulnisprozessen auch zu eitrigen Entzündungen im Gewebe führen können, führte Lister die ausschließliche Nutzung sauberer und hitzedesinfizierter Instrumente sowie antiseptische Maßnahmen zur Keimreduktion ein. Die Hände der Operateure wurden vor der Durchführung einer Operation in einer 2,5%igen Karbolsäurelösung gebadet (ROTTER 2008). Die Unterscheidung zwischen hygienischer und chirurgischer Händedesinfektion fand erst 1905 durch Carl Flüge statt (HÜBNER und SCHWEBKE 2018).

In Deutschland werden Alkohole erst seit 1958 als Referenzsubstanz bei der Prüfung von Händedesinfektionsmitteln eingesetzt (HÜBNER und SCHWEBKE 2018). Zuvor wurden Alkohole nur zur Entfettung der Haut vor der eigentlichen chirurgischen Händedesinfektion mittels Sublimat (Quecksilber(II)-chlorid) und Karbol (Phenol) angewandt (HÜBNER und SCHWEBKE 2018). Mitte der 1960er Jahre entwickelte der Hamburger Herzchirurg Peter Kalmár gemeinsam mit der Fabrik Dr. Bode & Co das erste Einreibepreparat: das auch heute noch erhältliche „Sterillium®“ (HÜBNER und SCHWEBKE 2018).

### **2.5.2 Hygienische Händedesinfektion**

Ziel der hygienischen Händedesinfektion ist die schnellst- und größtmögliche Reduzierung der transienten Hautflora (LITZKE 2004b, ROTTER 2008). Im Gegensatz zur chirurgischen Händedesinfektion wird bei der hygienischen Händedesinfektion die residente, hauteigene Flora geschont (ROTTER 2008). Zudem ist bei der hygienischen Händedesinfektion keine Langzeitwirkung (remanenter Effekt) erforderlich, wie es bei einer Operation der Fall ist (ROTTER 2008). Eine hygienische Händedesinfektion unter Verwendung eines alkoholischen Händedesinfektionsmittels wird vor bestimmten Tätigkeiten sowie nach (potenzieller) Kontamination der Hände notwendig (KAMPF und KRAMER 2016). Die sogenannten „5 Momente der Händedesinfektion“ gemäß World Health Organization (WHO) schreiben eine hygienische Händedesinfektion vor Patientenkontakt, vor aseptischen Tätigkeiten, nach Kontakt mit (potenziell) infektiösen Materialien, nach Patientenkontakt, sowie nach Kontakt mit der unmittelbaren Patientenumgebung vor (KAMPF und KRAMER 2016). Weiterhin wird nach dem Ablegen von Handschuhen eine hygienische Händedesinfektion notwendig, da diese unbemerkt Mikroperforationen aufweisen und Erreger durchgedrungen sein können (KAMPF und KRAMER 2016). Zur Dekontaminierung der Hände sollte ein Volumen von 3-5 ml eines schnell wirksamen Händedesinfektionsmittels mit einer Einwirkzeit von 30 sec eingerieben werden (ROTTER 2008, KAMPF et al. 2009). Dabei muss beachtet werden, dass die gesamte Oberfläche der Hände über die Einwirkzeit feucht benetzt bleibt und das Desinfektionsmittel anschließend bis zum Trocknen eingerieben wird (ROTTER 2008, KAMPF et al. 2009). Der Vorteil der hygienischen Händedesinfektion gegenüber einer Händewaschung besteht in der effektiveren Reduktion von Kontaminanten (ROTTER 2008). Desinfektionsmittelspender sind platzsparend und können überall in der klinischen Einrichtung zur Verfügung gestellt werden, wo es nötig ist (ROTTER 2008). Ergänzend können im Alltag Kittelflaschen mitgeführt werden, wenn das Anbringen von Wandspendern an bestimmten Lokalisationen nicht möglich ist (KAMPF und KRAMER 2016).

### **2.5.3 Chirurgische Händedesinfektion**

Eine chirurgische Händedesinfektion ist vor allen operativen Eingriffen und von allen im sterilen Bereich an der OP beteiligten Mitarbeitern durchzuführen (LITZKE 2004b, KRAMER et al. 2007, AWMF 2016, KRINKO 2018). Während des chirurgischen Eingriffs soll eine Übertragung von Infektionserregern über die Hände des Operationsteams in die Wunde des Patienten verhindert werden (LITZKE 2004b). Durch die chirurgische Händedesinfektion soll die Erregerdichte auf

den Händen daher auf ein erreichbares Minimum reduziert werden, um im Falle einer Perforation der OP-Handschuhe das Risiko einer SSI so weit wie möglich zu senken (KRAMER et al. 2007). Das Ziel der chirurgischen Händedesinfektion liegt in der Elimination der transienten Hautflora und der größtmöglichen Reduktion der residenten Hautflora für die Dauer einer Operation (SUCHOMEL et al. 2009, KRINKO 2018). Perforierte OP-Handschuhe sind mit einem höheren Risiko für postoperative Wundinfektionen verbunden (ROTTER 2008, KAMPF und KRAMER 2016, KRINKO 2018). Durch unbehandelte Hände kann im Falle eines Handschuhdefektes eine Erregermenge in Höhe von  $10^3$  bis  $10^4$  KbE in die chirurgische Wunde eingebracht werden (ROTTER 2008), wodurch die Gefahr einer schwerwiegenden postoperativen Infektion besteht. Nach einer chirurgischen Händedesinfektion beträgt die übertragbare Keimmenge nur noch weniger als 100 KbE, was dieses Risiko deutlich minimiert (ROTTER 2008). Um die Gefahr einer Erregertransmission bei Handschuhläsionen für die gesamte Operationsdauer möglichst gering zu halten, sollten Präparate für die chirurgische Händedesinfektion eine möglichst hohe Langzeitwirkung (sog. Remanenzwirkung) aufweisen (ROTTER 2008). Prinzipiell existieren bei der chirurgischen Händehygiene zwei verschiedene Techniken: die chirurgische Händewaschung (Surgical Hand Scrub), sowie die chirurgische Händedesinfektion (Surgical Hand Rub) (ROTTER 2008). Bei einer chirurgischen Händewaschung werden antiseptische Detergenzien angewandt, wie bspw. Chlorhexidindigluconat-, Hexachlorophen-, Triclosan- oder PVP-Jod-Seife (ROTTER 2008). Die Dauer einer Surgical Hand Scrub sollte 5 Minuten nicht übersteigen (ROTTER 2008). Die Gebrauchsanweisungen der Hersteller differieren je nach Produkt und sollten bei der Anwendung beachtet und eingehalten werden. Im Gegensatz zu einer chirurgischen Händedesinfektion ist im Anschluss an eine chirurgische Händewaschung eine Abtrocknung der Hände mit sterilen Handtüchern erforderlich (ROTTER 2008). Bei der Durchführung der chirurgischen Händedesinfektion wird ein kleines Volumen von 3 bis 5 ml des Desinfektionsmittels mit Hilfe des Ellenbogens aus dem Spender in die Handfläche gepumpt (ROTTER 2008). Anschließend wird dieses auf der gesamten Hautoberfläche von Händen, Handgelenken und ggf. von Unterarmen eingerieben (ROTTER 2008). Entsprechend der Deklaration des Herstellers für die Einwirkzeit sollen die Hände über diesen Zeitraum permanent feucht gehalten werden, was ein Nachdosieren des Desinfektionsmittels erfordert (ROTTER 2008). Bei alkoholischen Händedesinfektionsmitteln muss zwingend auf die gleichmäßige Verteilung auf den Händen geachtet werden (KAMPF et al. 2008). Obwohl die Seifenwaschung heutzutage kein Bestandteil der chirurgischen Händedesinfektion mehr ist (AWMF 2016), werden die Hände üblicherweise vor der chirurgischen Händedesinfektion gewaschen, um

anhaftenden Schmutz zu entfernen. Dabei sollten die Fingerspitzen aufwärts zeigen und die Ellenbogen den tiefsten Punkt darstellen, um eine Rekontaminierung durch herabrinnendes Waschwasser zu verhindern (ROTTER 2008). Häufige oder zu lang andauernde Händewaschungen mit Seife und das Bürsten der Haut können allerdings Hautirritationen herbeiführen und sind daher abzulehnen (KRAMER et al. 2003, ROTTER 2008, TANNER et al. 2009, KAMPF und KRAMER 2016). Zudem ist deren keimsenkende Wirkung vernachlässigbar (HÜBNER et al. 2006, ROTTER 2008). Nur bei sichtbarer Verschmutzung unter den Nägeln kann ein (Einmal-) Nagelreiniger oder eine weiche Bürste zur Säuberung der subungualen Räume verwendet werden, wenn diese nicht durch eine einfache Händewaschung entfernt werden kann (ROTTER 2008, KAMPF und KRAMER 2016). Inzwischen belegen zahlreiche Studien, dass bei optisch sauberen Händen keine routinemäßige Händewaschung vor der Desinfektion notwendig ist (HÜBNER et al. 2006, LÖFFLER 2008, KAMPF und KRAMER 2016). Nach der initialen Händewaschung und vor der Anwendung alkoholischer Einreibemittel müssen die Hände sorgfältig abgetrocknet werden, da durch die Hydratation der Haut bzw. Restfeuchtigkeit eine Beeinträchtigung der Desinfektionsmittelwirkung durch den Verdünnungseffekt stattfinden kann (ROTTER 2008, LÖFFLER und KAMPF 2008). Die Abtrocknung der Hände kann mittels Einmaltüchern aus Papier oder Textil durchgeführt werden (ROTTER 2008, VERWILGHEN et al. 2011b, KAMPF und KRAMER 2016). Die Verwendung steriler Tücher ist nicht notwendig (ROTTER 2008). Nach der Desinfektion ist darauf zu achten, dass das Desinfektionsmittel vollständig evaporiert und die Hände trocken sind, bevor sterile Handschuhe angelegt werden (ROTTER 2008, KRINKO 2018). Sind die Hände bedingt durch das Desinfektionsmittel noch feucht, können Handschuhperforationen die Folge sein (PITTEN et al. 2000, KRINKO 2018). Im Anschluss an eine chirurgische Händedesinfektion sollte keineswegs eine (antiseptische) Händewaschung folgen (LILLY et al. 1979). Dies würde zu einer wesentlichen Reduzierung des antimikrobiellen Effekts der Desinfektion führen (ROTTER 2008).

#### **2.5.4 Aliphatische Alkohole**

Für die Händedesinfektion stehen hochkonzentrierte Alkohole oder Gemische von Alkoholen mit anderen Antiseptika zur Verfügung (ROTTER 2008). Zu den Hauptmerkmalen der Alkohole zählen das breite Wirkungsspektrum und die rasche Wirksamkeit in  $\leq 30$  sec (KRAMER et al. 2008). Die Alkoholkonzentration korreliert positiv mit der mikrobiziden Wirksamkeit (ROTTER 2008, KRAMER et al. 2008). Bei gleicher Alkoholkonzentration besitzt Propan-1-ol die höchste Wirksamkeit gefolgt von Propan-2-ol, während Ethanol die geringste Effektivität besitzt (ROTTER



2008). Propan-1-ol besitzt bei Konzentrationen von 60-80 % ein breites Wirkspektrum gegen Bakterien (inklusive Mykobakterien), Pilze, behüllte Viren und zum Teil gegen unbehüllte Viren mit geringer Hydrophilie (z. B. Adenoviren). Selbiges gilt für Propan-2-ol bei Konzentrationen von 60-85 %. Gegen Protozoen ist Propan-1-ol mäßig wirksam, während Propan-2-ol keine Wirksamkeit besitzt (KRAMER et al. 2008).

Haupteinsatzgebiete von Ethanol, Propan-1-ol und Propan-2-ol stellen die Hautantiseptik, sowie die hygienische (Einwirkdauer  $\geq 15$  sec) und die chirurgische Händedesinfektion (Einwirkdauer 1,5-5 min) dar (KRAMER et al. 2008). Bei der Hautantiseptik muss bezüglich der Einwirkzeit zwischen talgdrüsenarmer und talgdrüsenreicher Haut unterschieden werden (gemäß Desinfektionsmittelliste des VAH) (KRAMER et al. 2008). Ein großer Vorteil der Alkohole ist die niedrigere Oberflächenspannung im Vergleich zu Wasser bzw. wässrigen Lösungen, was zu einer verbesserten Benetzbarkeit der Hautoberfläche mit Eindringen in tiefere Poren und kapilläre Spalten führt (KRAMER et al. 2008). Somit wird durch die Anwendung von alkoholischen Händedesinfektionsmitteln sowohl die Bakterienflora der Hautoberfläche erfasst als auch eine Wirkung bis in die oberen Hautschichten erreicht (KRAMER et al. 2003). Die Wirkung der Alkohole setzt an der Membran der Mikroorganismen an (KRAMER et al. 2008). Aufgrund dieses Wirkungsmechanismus (Fällungsvorgänge an Proteinen) geht bei der Anwendung von Alkoholen keine Gefahr von Resistenzentwicklungen aus (KRAMER et al. 2008). Kurzkettige Alkohole wirken auch gegen behüllte Viren, während unbehüllte Viren nur durch Ethanol  $\geq 80$  % V/V und Methanol beeinflusst werden (KRAMER et al. 2008). Aufgrund ihrer schnellen Wirksamkeit, der lokalen Verträglichkeit, kurzen Trocknungszeit und Abwesenheit systemischer Nebenwirkungen sind Ethanol, Propan-1-ol und Propan-2-ol entweder einzeln oder in Kombination das Mittel der Wahl für die Händedesinfektion und Hautantiseptik (KRAMER et al. 2007, KRAMER et al. 2008). Das in dieser Studie angewandte Präparat Sterillium® (BODE Chemie GmbH) enthält eine Kombination aus Propan-1-ol und Propan-2-ol. Sterillium® wirkt bakterizid, levurozid, tuberkulozid, mykobakterizid und begrenzt viruzid gegen Adeno-, Polyoma- und Rotaviren (ANON. 2020a). Zudem besitzt Sterillium® eine rückfettende Wirkung und erhöht bei wiederholter Anwendung die Hautfeuchtigkeit (ANON. 2020a). Als Händedesinfektionsmittel ist Sterillium® in der VAH-Liste, IHO Viruzidie-Liste und der RKI-Liste (Bereich A, Bereich begrenzt viruzid) gelistet (ANON. 2020a). Als limitierender Faktor für die Verwendung von Alkoholen gilt die fehlende Wirksamkeit gegen Bakteriensporen (KRAMER et al. 2007, KRAMER et al. 2008). Lokal angewandt, sind weder Allergien noch systemische oder

Langzeitnebenwirkungen zu befürchten (BOYCE 2003, KRAMER et al. 2003, KRAMER et al. 2008). Wenn allergische Reaktionen auftreten, werden diese eher durch die enthaltenen Zusätze, wie bspw. Duftstoffe im Desinfektionsmittel, hervorgerufen (BOYCE 2003). Ethanol, Propan-1-ol und Propan-2-ol werden daher als Nichtirritans eingestuft (KRAMER et al. 2003).

### **2.5.5 Dauer und Wirksamkeit der chirurgischen Händedesinfektion**

Um die Compliance des Klinikpersonals zu fördern und die Haut nicht übermäßig zu strapazieren, sollte die Dauer einer Händedesinfektion so kurz wie möglich, aber so lange wie für die Wirksamkeit nötig sein (ROTTER 2008). Die Wirksamkeit des Händedesinfektionsmittels korreliert mit der Dauer der Anwendung (KAMPF et al. 2005, ROTTER 2008). Präparate zur Händedesinfektion werden nach EN 12791 auf ihre Wirksamkeit geprüft, wobei die Einreibedauer des Händedesinfektionsmittels je nach Zusammensetzung und Alkoholkonzentration zwischen 1,5 min (KAMPF et al. 2005) bis 5 min variiert (ROTTER 2008). In der Regel sind zumeist drei Minuten üblich (ROTTER 2008). Wie KHAN et al. (2003) aufgezeigt haben, besteht die Gefahr, dass selbst derartig kurze Zeiten von 1,5 min nicht von den Chirurgen eingehalten werden, was die Problematik der Compliance mit der akkuraten Durchführung einer Händedesinfektion verdeutlicht. Tabelle 1 zeigt basierend auf dem Wirkstoff und der entsprechenden Alkoholkonzentration die nach EN 12791 geprüfte Einreibedauer und die daraus resultierenden mittleren  $\log_{10}$ -Reduktionen.

**Tab. 1:** Mittlere log<sub>10</sub>-Reduktionen antiseptischer Seifen und alkoholischer Einreibepreparate (ROTTER 2008).

Wirkstoff	Konzentration (%) <sup>1</sup>	Dauer (min)	mittlere log <sub>10</sub> -Reduktion	
			sofort	nach 3 h
<b>chirurgische Händewaschung mit</b>				
PVP-Jod-Seife	0,8	5	1,0	0,2
Chlorhexidindigluconat-Seife	4	3	0,8	0,8
Hexachlorophen-Seife	3	4	0,3	1,0
Triclosan-Seife	1	2	0,4	-
<b>chirurgische Händedesinfektion mit</b>				
Propan-1-ol	60	3	2,5-3,4	1,2-2,2
Propan-2-ol	90	3	2,4	1,4
Propan-2-ol	80	3	2,3	1,2
Propan-2-ol	70	3	1,5-2,1	0,8-1,0
Ethanol	85	3	2,2	-
PVP-Jod-Lösung	1	5	1,9	0,8

<sup>1</sup> bei Alkoholen % V/V

Die in Tabelle 1 aufgeführten antiseptischen Seifen zur chirurgischen Händewaschung erfüllen allerdings nicht die Anforderungen der Europäischen Norm EN 12791 an die Wirksamkeit (ROTTER 2008), da sie innerhalb von längstens 5 min eine geringere Wirkung aufweisen als eine Desinfektion mit dem Referenzwirkstoff Propan-1-ol 60 % nach 3-minütiger Einwirkdauer (KRAMER et al. 2007, ROTTER 2008). Die bei Chirurgen oftmals präferierten Seifen sind somit nicht geeignet (ROTTER 2008). Nach EN 12791 geprüfte Mittel für die chirurgische Händedesinfektion besitzen einen hohen Soforteffekt, wobei die Bakterienanzahl sechs Stunden nach der Desinfektion noch ca. eine Zehnerpotenz unter dem Basiswert lag (ROTTER et al. 2007a).

### 2.5.6 Compliance

Die Wirksamkeit eines Händedesinfektionsmittels ist nicht ausschließlich abhängig von der richtigen Anwendung, sondern wird zudem maßgeblich von der Compliance des Klinikpersonals beeinflusst. Die Compliance stellt die Bereitschaft oder Motivation des Klinikpersonals zur

korrekten Ausübung der Hygienemaßnahmen dar. Obwohl die Händedesinfektion eine einfache Maßnahme mit großer Wirkung darstellt, liegt die Bereitschaft zur Händehygiene im Krankenhausbereich durchschnittlich bei nur 50 % der erforderlichen Situationen (ROTTER 2008, KAMPF und KRAMER 2016). Gründe für eine mangelnde Compliance sind bspw. eine zu geringe Anzahl an vorhandenen Waschplätzen oder Desinfektionsmittelspendern, ungünstig platzierte Waschplätze, fehlende Bereitstellung von benötigten Hygieneutensilien (z. B. durch mangelhaftes Auffüllen der Spender), fehlendes oder mangelhaftes Bewusstsein oder Kenntnisse über Hygienemaßnahmen, bestehende Hautirritationen oder trockene Haut, Stresssituationen bzw. Notfälle, fehlende Vorbildfunktion von Vorgesetzten, sowie fehlende Integration in die Routine des Praxis- oder Klinikalltags (ROTTER 2008, LÖFFLER 2008). Häufig wird von medizinischem Personal für die Ablehnung der Händedesinfektion das Argument vorgebracht, dass alkoholische Präparate zu einem unangenehmen Brennen auf der Haut führen (BOYCE 2003, LÖFFLER 2008, VISSCHER und RANDALL WICKETT 2012). Da ein Brennen bei einer Händewaschung nicht auftritt, entsteht fälschlicherweise die Schlussfolgerung, dass das Waschen der Hände weniger schädlich für die Haut sei, als eine alkoholische Desinfektion (LÖFFLER 2008, VISSCHER und RANDALL WICKETT 2012). Tatsächlich ist ein brennendes Gefühl auf der Haut beim Auftragen eines Desinfektionsmittels ein Hinweis für eine bereits vorgeschädigte Haut (BOYCE 2003, LÖFFLER 2008, HÜBNER und SCHWEBKE 2019). Die Händedesinfektion stellt für die Haut auch eine gewisse Belastung dar, nur ist diese wesentlich geringer als die Belastung durch eine Händewaschung (BOYCE 2003, LÖFFLER 2008, VISSCHER und RANDALL WICKETT 2012, MCGUCKIN und GOVEDNIK 2017).

Untersuchungen im humanmedizinischen Sektor haben gezeigt, dass das Risiko für das Nichteinhalten von Hygienemaßnahmen oder für die mangelhafte Durchführung bei Ärzten und Auszubildenden der Pflegeberufe signifikant höher ist als beim Pflegepersonal (PITTET 2000). Medizinstudenten wiesen mit 78,9 % die höchste, und erfahrenere Ärzte mit 43,3 % die niedrigste Compliance auf (PITTET und BOYCE 2001). Zudem wirkt sich das Tragen von Handschuhen negativ auf die Compliance aus (PITTET 2000). Weitere die Compliance reduzierende Faktoren stellen das Nichtvorhandensein schriftlicher Richtlinien für die Händehygiene, sowie fehlendes Bewusstsein für Patientensicherheit und Eigenschutz dar (PITTET und BOYCE 2001). Wie PITTET et al. (2000) zeigen konnten, korreliert die Verbesserung der Compliance mit der Reduktion der Rate an nosokomialen Infektionen. Die Compliance konnte dabei durch die Einführung alkoholischer Händedesinfektionsmittel über mehrere Jahre von

48 % auf 66 % gesteigert werden, während die Rate der nosokomialen Infektionen gleichzeitig von 17 % auf 10 %, und die MRSA-Übertragungsrate von 2 % auf 1 % sank (PITTET et al. 2000). Um die Wirksamkeit der Händedesinfektionsmittel durch richtige Anwendung zu garantieren, sollte die Förderung der Compliance des Klinikpersonals ein wichtiger Aspekt der Hygienebeauftragten darstellen. Ein schlechter Hautzustand ist zugleich mögliche Ursache für eine reduzierte Compliance und wirkt sich durch eine initial höhere bakterielle Kolonisierung und die schwierigere Desinfizierbarkeit der Nischen und Risse negativ auf den Desinfektionserfolg aus (DE ALMEIDA E BORGES et al. 2007, LÖFFLER 2008, HÜBNER et al. 2015, MCGUCKIN und GOVEDNIK 2017, HÜBNER und SCHWEBKE 2019). Entgegen der Annahme, alkoholische Händedesinfektionsmittel würden in ihrer Wirkung durch Hautpflegemittel stark beeinträchtigt werden, stehen die Ergebnisse der Untersuchungen von PICKERING et al. (2011), DE ACEITUNO et al. (2015) und PAULA et al. (2017). Demnach wird die Wirkung alkoholischer Händedesinfektionsmittel durch Hautpflegeprodukte kaum beeinflusst (PAULA et al. 2017), und bleibt selbst auf fett- und schmutzbehafteter Haut überwiegend erhalten (PICKERING et al. 2011, DE ACEITUNO et al. 2015). Auch HEEG (2003) bestätigte, dass sich die Reduktionsfaktoren nach einer Händedesinfektion auf gepflegter und nicht gepflegter Haut nicht signifikant unterscheiden und auch nach mehrfacher Hautpflege keine Beeinträchtigung der Desinfektionswirkung erfolgt. Somit besteht kein Grund auf die Hautpflege bzw. den Hautschutz aus Sorge um eine verminderte Desinfektionsmittelwirkung zu verzichten. Auch bei geringer Verschmutzung der Hände ist eine Verminderung der Wirkung nicht zu befürchten (PICKERING et al. 2011, DE ACEITUNO et al. 2015).

### **2.5.7 Zulassung und Prüfung von Händedesinfektionsmitteln**

Im europäischen Raum findet die Überprüfung der Wirksamkeit von Händedesinfektionsmitteln über offizielle Testmethoden des Europäischen Komitees für Standardisierung (Comité Européen de Normalisation, CEN) statt (ROTTER 2008). Dabei werden die verschiedenen Präparate nach EN 12791 (2005) geprüft (ROTTER 2008). Die zu testenden Agentien werden an sauberen Händen von 18-20 Probanden angewandt (ROTTER 2008). Entsprechend der Gebrauchsanweisung des Herstellers wird das Testpräparat appliziert (ROTTER 2008). Die Effizienz des Händedesinfektionsmittels wird über die Messung der Keimreduktion auf den Händen getestet, wobei die Wirkung stets mit einem Referenzprodukt verglichen wird (KAMPF et al. 2008). Da Alkohole gegen die residente Hautflora hochwirksam sind, wird als Referenzverfahren Propan-1-ol 60 % angewandt, wobei die Hände kontinuierlich über drei

Minuten mit dem Referenzalkohol feucht gehalten werden (ROTTER 2008, KAMPF et al. 2008, KAMPF und KRAMER 2016). Unmittelbar nach der Händedesinfektion wird an einer Hand der Soforteffekt gemessen, während die andere Hand für drei Stunden behandschuht und erst nach Ablauf dieser Zeit untersucht wird (Langzeiteffekt nach 3 Stunden) (GEBEL et al. 2003, ROTTER 2008). Die Testergebnisse des zu prüfenden Händedesinfektionsmittels dürfen sowohl für den sofortigen Effekt, als auch im Hinblick auf den Langzeiteffekt, nicht unterhalb der Referenzwerte liegen (GEBEL et al. 2003, ROTTER 2008, KAMPF et al. 2008, KAMPF und KRAMER 2016). Durch die Referenzdesinfektion lässt sich eine Sofortwirkung von 2,7 log<sub>10</sub>-Stufen erzielen (KAMPF und KRAMER 2016), während die Koloniezahl nach drei Stunden unter dem intakten OP-Handschuh noch immer um 2,2 log<sub>10</sub>-Stufen niedriger als der Ausgangswert ausfällt (KAMPF und OSTERMEYER 2004, KRAMER et al. 2007). Auf europäischer Ebene werden die Standardmethoden zur Wirksamkeitsprüfung der Desinfektionsmittel durch das CEN erstellt, die im Anschluss in nationale Normen überführt werden (bspw. DIN EN) (GEBEL und CARTER 2016). In Deutschland werden für verschiedene Anwendungsbereiche Desinfektionsmittellisten durch den Verbund angewandter Hygiene e. V. (VAH), der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e. V. (DVG) und dem Robert Koch-Institut (RKI) veröffentlicht. Die VAH-Richtlinien beinhalten Prüfmethode für die hygienische Händewaschung und die Händedesinfektion (GEBEL et al. 2008). Für die VAH-Zertifizierung und Listung von Produkten gelten bestimmte Anforderungen an die Wirkspektren Bakterizidie, Tuberkulozidie, Mykobakterizidie, Fungizidie, Levurozidie und Viruzidie (VAH 2016). Bei den Testverfahren zur Wirkungsüberprüfung von Desinfektionsmitteln wird zwischen Suspensionstests und praxisnahen Tests unterschieden (GEBEL et al. 2008).

## **2.6 Nosokomiale Infektionen, Surgical Site Infections (SSI)**

Von einer nosokomialen Infektion wird beim Vorhandensein von lokalen oder systemischen Infektionsanzeichen gesprochen, die durch Erreger oder deren Toxine hervorgerufen werden und zeitlich im Zusammenhang mit stationären oder ambulant durchgeführten medizinischen Maßnahmen stehen (RÖCKEN 2004, HAUSCHILD und NOLTE 2004, NRZ 2017). Entscheidend ist, dass die Infektion bei der Krankenhausaufnahme noch nicht existent war und sich auch nicht in der Inkubationsphase befand (GASTMEIER 2016). In zeitlicher Hinsicht kann eine Infektion erst dann als nosokomial bezeichnet werden, wenn die ersten Symptome frühestens am dritten Tag des Klinikaufenthaltes auftreten (NRZ 2017). Während des Klinikaufenthaltes erworbene Infektionen, die jedoch erst nach der Entlassung in Erscheinung getreten sind, zählen ebenfalls

zu den nosokomialen Infektionen (GASTMEIER 2016, NRZ 2017). Infektionen, die innerhalb von 30 bzw. 90 Tagen nach einer Operation an der Inzisionsstelle, dem operierten Organ oder in der eröffneten Körperhöhle auftreten, werden als nosokomiale postoperative Wundinfektionen klassifiziert (NRZ 2017). Diese Infektionen können endogener Ursache (Keimflora des Tieres) oder exogener Ursache (Eintrag durch medizinisches Personal, kontaminiertes Equipment, Umwelt) sein (KUKANICH et al. 2012, HAYES et al. 2014, GASTMEIER 2016, MÜLLER et al. 2017, KRINKO 2018, NRZ 2017). Die drei wichtigsten Keimquellen stellen somit der Mensch, das Tier selbst und Geräte in medizinischen Einrichtungen dar (MÜLLER et al. 2017). Mängel im Hygienemanagement erhöhen das Infektionsrisiko in Kliniken und Praxen (MÜLLER et al. 2017). Die Transmission von Erregern erfolgt zumeist von Patient zu Patient oder durch indirekte Übertragung durch das Klinikpersonal (KUKANICH et al. 2012). Etwa 90 % bis 95 % der Transmissionen finden durch Kontakt statt, vor allem durch kontaminierte Hände (HAUSCHILD und NOLTE 2004, MÜLLER et al. 2017). Durch die Übertragung nosokomialer Erreger über die Hände von Mitarbeitern im operativen Bereich können SSI bei Patienten ausgelöst werden (KAMPF und KRAMER 2016). Im Bereich der Pferdechirurgie reicht die Prävalenz von SSI von 9,5 % bis über 60 % (VERWILGHEN 2016, ISGREN et al. 2017, BIERMANN et al. 2018, SCHARNER et al. 2018). Bei Kleintieren wurden Prävalenzen von 3,5 % bis 7,6 % angegeben (MÜLLER et al. 2017). Als häufigste Verursacher bakterieller SSI bei Pferden gelten insbesondere gramnegative Bakterien wie *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp., *Acinetobacter baumannii* und ESBL-bildende *Enterobacteriaceae* (CLARK et al. 2008, WIELER und EWERS 2011a,b, KUKANICH et al. 2012, WALTHER et al. 2018, VAN DER KOLK et al. 2019), aber auch koagulase-positive und -negative Staphylokokken, darunter vor allem *S. aureus*, MRSA, *S. pseudintermedius*, *S. haemolyticus* und *S. lugdunensis* (TIMONEY 2004, VAN DUIJKEREN et al. 2004, MOODLEY und GUARDABASSI 2009, RUSCHER et al. 2009, KERN und PERRETTEN 2013, MCMANUS et al. 2015, KÖCK und CUNY 2020); sowie Streptokokken wie bspw. *Streptococcus equi* ssp. *zooepidemicus* und *Streptococcus sanguinis* (CHRISTLEY et al. 2001, TIMONEY 2004, CLARK et al. 2008, PANCHAUD et al. 2010, VALENTIN-WEIGAND 2011). Nosokomiale Infektionen stehen in Zusammenhang mit prolongierten Krankenhausaufenthalten (sog. Hospitalismus), höheren Behandlungskosten, gesteigertem postoperativen Pflegeaufwand, sowie erhöhter Morbiditäts- und Mortalitätsrate (MOODLEY und GUARDABASSI 2009, KUKANICH et al. 2012, HAYES et al. 2014, GASTMEIER 2016, ISGREN et al. 2017, BIERMANN et al. 2018, SAKR et al. 2018).

### 2.6.1 ***Staphylococcus aureus***

*Staphylococcus aureus* ist ein gram- und katalasepositives, fakultativ anaerobes kugelförmiges Bakterium (VALENTIN-WEIGAND 2011). *Staphylococcus* spp. treten im Allgemeinen auf gesunder Haut und Schleimhaut von Mensch und Tier auf; stellen aber auch wichtige Erreger purulenter Infektionen und von Lebensmittelvergiftungen dar (VALENTIN-WEIGAND 2011). Ein Großteil der SSI wird durch Staphylokokken ausgelöst (HÜBNER und WENDT 2016). *S. aureus* ist ein fakultativ pathogener Erreger, der bei Mensch und Tier sowohl lokale Infektionen als auch schwere systemische Infektionskrankheiten auslösen kann (HÜBNER und WENDT 2016). *S. aureus* konnte bei 6-12 % der Wundabstriche von Kleintieren und bei 23 % der Abstriche von Pferden isoliert werden (WALTHER und KÖCK 2017). Bei 30 % der Normalbevölkerung besteht eine persistierende, sowie bei bis zu 40 % eine intermittierende nasale Kolonisation mit *S. aureus* ohne Erkrankungsfolge (SAKR et al. 2018, HÜBNER und WENDT 2016). Im Hinblick auf die weite Verbreitung des Erregers auf der Haut von medizinischem Personal und Patienten und der Rate der nasalen Kolonisation wird dessen Bedeutung für das Auftreten nosokomialer Infektionen verdeutlicht (HÜBNER und WENDT 2016). Das Vorhandensein einer nasalen Kolonisation mit *S. aureus* stellt auch für den Patienten selbst ein Risiko dar (SAKR et al. 2018, KRINKO 2018). Patienten, die nasale Träger von *S. aureus* sind, haben ein bis zu 5-fach höheres Risiko eine SSI zu entwickeln als nicht-kolonisierte Patienten (KRINKO 2018). Die Inzidenz von *S. aureus*-ausgelösten SSI kann durch ein präoperatives Screening auf den Erreger und eine anschließende Dekolonisierung signifikant gesenkt werden (KRINKO 2018). Neben den Händen des medizinischen Personals stellen auch kontaminierte Oberflächen und Untersuchungsgegenstände, wie z. B. Stethoskope, mögliche Übertragungsquellen dar (KUKANICH et al. 2012). Nach einer Untersuchung von Stethoskopen einer Kleintierklinik, wurde *S. aureus* beispielsweise bei 7 % und MRSA bei 2 % der untersuchten Stethoskope nachgewiesen (KUKANICH et al. 2012).

#### 2.6.1.1 **Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA)**

In den letzten Jahrzehnten hat die Bedeutung multiresistenter Erreger im Bereich der Krankenhaushygiene kontinuierlich zugenommen (KÖCK und CUNY 2020). Gemeinsames Merkmal der Methicillin-resistenten Stämme stellt die Resistenz gegenüber Methicillin/Oxacillin und weiteren  $\beta$ -Lactamantibiotika (Penicilline, Cephalosporine und Carbapeneme) dar; ausgenommen sind Cephalosporine der 5. Generation (HÜBNER et al. 2016). Die



Unempfindlichkeit gegenüber antibiotischen Wirkstoffen kommt durch das Vorhandensein von Penicillin-Bindeproteinen (PbP) zustande (HÜBNER et al. 2016). PbP2a ist ein modifiziertes Penicillin-bindendes Protein, welches sich durch seine niedrige Affinität für  $\beta$ -Laktamantibiotika auszeichnet (mit Ausnahme von Cephalosporinen der 5. Generation) (PARK et al. 2013, HÜBNER et al. 2016). PbP2a-produzierende Bakterien können nicht durch  $\beta$ -Lactamase-Hemmer inhibiert werden (PARK et al. 2013). Als *mecA*-Gen wird das Resistenzgen bezeichnet, welches für PbP2a codiert (HÜBNER et al. 2016). Durch Akquisition des *mecA*-Gens auf der Staphylococcal Cassette Chromosome *mec* (SCC*mec*)-Kassette erhält *S. aureus* somit seine Resistenzeigenschaften (CUNY et al. 2015). Die SCC*mec*-Kassette stellt ein variables chromosomales Genelement dar, auf dem die verschiedenen Resistenzgene abgelegt sind und die zwischen den Bakterien übertragbar ist (HÜBNER et al. 2016).

Für die epidemiologische Beschreibung der Herkunft werden MRSA-Stämme in die folgenden drei Kategorien eingeteilt: Community-acquired MRSA (CA-MRSA), Hospital-assoziierte MRSA (HA-MRSA) und Livestock-assoziierte MRSA (LA-MRSA) (HÜBNER et al. 2016). Dabei werden HA-MRSA klassischerweise in Krankenhauseinrichtungen erworben und gelten als Verursacher nosokomialer Infektionen (VALENTIN-WEIGAND 2011). *S. aureus* besitzt eine klonale Populationsstruktur, weshalb Isolate bei der Typisierung mittels Multilocus Sequence Typing (MLST) zu bestimmten klonalen Linien zugeordnet werden können (CUNY et al. 2015). LA-MRSA werden durch den Kontakt zu landwirtschaftlichen Nutztieren übertragen (WALTHER und KÖCK 2017). Eine nasale Kolonisation mit MRSA kommt bei 0,8-1,3 % der gesunden Bevölkerung vor (WALTHER und KÖCK 2017, KÖCK und CUNY 2020). Bestimmte Berufsgruppen weisen eine besonders hohe Prävalenz bei der Besiedelung mit MRSA auf (FISCHER et al. 2016, KÖCK und CUNY 2020). Landwirte mit beruflich bedingtem Kontakt zu Schweinen sind zu über 80 % nasal kolonisiert, Tierärzte bis zu 45 %, Rinder- und Geflügelhalter zu 35-38 % respektive 9 %, sowie Schlachthofmitarbeiter bis zu 8 % (FISCHER et al. 2016, WALTHER und KÖCK 2017, KÖCK und CUNY 2020). Für die Aufnahme von Angehörigen dieser Berufsgruppen in ein Krankenhaus, empfiehlt die Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention (KRINKO) des Robert Koch-Instituts bereits seit über 10 Jahren ein MRSA-Screening (KÖCK und CUNY 2020). Im Gegensatz zur Humanmedizin werden in deutschen Tierkliniken bislang keine routinemäßigen MRSA-Screenings zum Zeitpunkt der Klinikaufnahme durchgeführt, obwohl 2,2 bis 9,3 % der aufgenommenen Pferde bereits bei der Aufnahme MRSA-Träger sind (WALTHER und KÖCK 2017) und daher resistente Stämme auf andere Patienten, das Personal

und die Umwelt übertragen können (PANCHAUD et al. 2010, WALTHER und KÖCK 2017, KÖCK und CUNY 2020). Auch Haustiere können MRSA-Träger sein und dabei asymptomatisch bleiben (WALTHER und KÖCK 2017, VALENTIN-WEIGAND 2011). Die Prävalenz asymptomatischer MRSA-Träger liegt zwischen 0,4-2,6 % bei Hunden und bis zu 1,4 % bei Katzen (WALTHER und KÖCK 2017). Bei einer in Deutschland vorgenommenen Untersuchung von Wundabstrichen verschiedener Tierarten lag der Anteil von MRSA an allen detektierten *S. aureus* bei Kleintieren zwischen 46 % (Katzen) und 63 % (Hunde), sowie 41 % bei Pferden (WALTHER und KÖCK 2017). Bei 23 % der equinen Wundinfektionen wurde *S. aureus* isoliert, wovon wiederum 41 % MRSA darstellten (KÖCK und CUNY 2020). Tierärzte und Mitarbeiter in Pferdekliniken sind mit 20 % besonders häufig nasal MRSA-kolonisiert (CUNY et al. 2015, KÖCK und CUNY 2020). Antibiotikabehandlungen, Langzeit-Hospitalisierung von Pferden und die nasale Kolonisation des veterinärmedizinischen Personals erhöhen das Risiko für das Auftreten von Wundinfektionen und MRSA-Ausbrüchen in Pferdekliniken (WALTHER und KÖCK 2017). Auf europäischem Gebiet sind Nutztiere überwiegend Träger von MRSA der klonalen Linie CC398, welche sich von den in Krankenhäusern zirkulierenden Stämmen unterscheidet (WALTHER und KÖCK 2017). CC398 ist bei unterschiedlichen Nutztierarten weit verbreitet (CUNY et al. 2015). Regional betrachtet steigt der Anteil an LA-MRSA mit der Nutztierdichte (KÖCK und CUNY 2020). Im letzten Jahrzehnt hat sich europaweit in Pferdekliniken insbesondere der Stamm MRSA ST398, *spa*-Typ t011 (seltener t6867) SCC*mecIVa* mit phänotypischer Gentamicin-Resistenz (*aacA-aphD* Gen) verbreitet (CUNY et al. 2015, KÖCK und CUNY 2020). 2006 wurden erstmals Isolate dieses spezifischen Subklons (Clade C) von CC398 detektiert (ABDELBARAY et al. 2014). Clade C kommt bei hospitalisierten Pferden und veterinärmedizinischem Personal in Deutschland, sowie in benachbarten europäischen Ländern (Vereinigtes Königreich, Österreich, Schweiz, Niederlande, Belgien) vor (ABDELBARAY et al. 2014). CUNY et al. (2015) untersuchten 272 MRSA-Isolate von equinen Infektionen aus 17 Pferdekliniken und 39 Pferdepraxen in Deutschland, wobei 82,7 % der untersuchten MRSA zu dem klonalen Komplex CC398 zugeordnet werden konnten, sowie 66 % zu CC398 Clade C. Dieser Subklon wird mit nosokomialen Infektionen bei Pferden assoziiert; dagegen stellen Menschen vor allem (Über-) Träger dar, während Infektionen hier nur äußerst selten auftreten (ABDELBARAY et al. 2014).

## **2.7 Handschuhe**

### **2.7.1 Nutzen und Limitationen von Handschuhen**

Das Tragen steriler Handschuhe ist ein unerlässlicher Bestandteil der Maßnahmen zur Infektionsprävention, da die residente Hautflora mittels chirurgischer Händedesinfektion nur in begrenztem Maße reduziert werden kann (PARTECKE et al. 2009, MEAKIN et al. 2016). Handschuhe dienen durch ihre Barrierefunktion sowohl dem Eigenschutz als auch dem Schutz des Patienten, sowie der Unterbrechung von Infektionsketten im klinischen Alltag (RÖCKEN 2004, YINUSA et al. 2004, MISTELI et al. 2009, PARTECKE et al. 2009, EGELER et al. 2016, KAMPF und KRAMER 2016). Auch wenn sterile OP-Handschuhe eine Erregerbarriere darstellen, ersetzt das Tragen der Handschuhe keinesfalls die vorherige chirurgische Händedesinfektion (RÖCKEN 2004). Die Aufrechterhaltung einer adäquaten Barriere- und Schutzfunktion setzt die Intaktheit des Handschuhmaterials voraus (PARTECKE et al. 2009). Bei Einbrechen dieser Barriere durch Perforationen im Handschuh kann es zur Übertragung von Bakterien in die Wunde kommen (MEAKIN et al. 2016, HAYES et al. 2017). Perforierte OP-Handschuhe sind mit einem höheren Risiko für SSI verbunden (ROTTER 2008, KAMPF und KRAMER 2016, KRINKO 2018). Medizinische Handschuhe müssen daher höchsten Qualitätsansprüchen genügen und mechanischen sowie chemischen Belastungen standhalten können (RÖCKEN 2004). Für medizinische Einmalhandschuhe gelten die Qualitätskriterien der europäischen Norm DIN EN 455 (RÖCKEN 2004). Gemäß DIN EN 455-1 wird die Dichtigkeit medizinischer Handschuhe mittels Wasser-Leck-Prüfung überprüft, indem 1000 ml Wasser in den Handschuh eingefüllt und der Austritt von Wassertröpfchen über 2 Minuten visuell untersucht wird (PITTEN und KRAMER 2003, PARTECKE et al. 2009). Maßstab für die Dichtigkeitsbewertung von Handschuhen ist das sog. Accepted Quality Level (AQL) (RÖCKEN 2004). Um die Anforderungen an die Dichtigkeit zu erfüllen, sollten medizinische Schutzhandschuhe ein AQL von  $\leq 1,5$  aufweisen (PITTEN und KRAMER 2003, RÖCKEN 2004, AWMF 2016). Die Perforationsrate von OP-Handschuhen wird mit bis zu 82,5 % angegeben (PITTEN und KRAMER 2003, CHARACTER et al. 2003, ROTTER 2008, PARTECKE et al. 2009, MEAKIN et al. 2016, ELCE et al. 2016, BIERMANN et al. 2018). Die bisher einzige Untersuchung zu Perforationsraten von Handschuhen in der Pferdechirurgie ergab  $\geq 1$  Perforationen (1-6 Defekte pro Handschuh) bei 22,4 % der getesteten Handschuhe, wobei 65 % der Perforationen bei ausschließlich rechtshändigen Teilnehmern am linken Handschuh und 31 % der Perforationen am rechten Handschuh auftraten (ELCE et al. 2016). Das Perforationsrisiko hängt von der Art und Invasivität des Eingriffs ab,

wobei orthopädische Eingriffe ein besonders hohes Risiko darstellen und minimal invasive Eingriffe dagegen mit einem geringeren Risiko assoziiert werden (LAINE und AARNIO 2001, PITTEN und KRAMER 2003, CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, HAYES et al. 2014, ELCE et al. 2016, BIERMANN et al. 2018). In der Pferdechirurgie sind orthopädische Eingriffe, Weichteiloperationen und Probelaparotomien mit einem rund 3-fach höheren Perforationsrisiko für Handschuhe behaftet als minimal invasive Eingriffe (ELCE et al. 2016). Ein weiteres Kriterium stellt die Funktion des Trägers des Handschuhs dar, da Perforationen im Handschuh vergleichsweise häufiger bei Chirurgen als bei den Assistenten auftreten (LAINE und AARNIO 2001, CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, PARTECKE et al. 2009, HAYES et al. 2014, MEAKIN et al. 2016, HAYES et al. 2017, BIERMANN et al. 2018). Zudem haben CHARACTER et al. (2003) festgestellt, dass bei einer Beteiligung von mehr als einem Chirurgen bei einer Operation bei den erfahreneren Chirurgen mehr Perforationen auftreten. Außerdem gilt, je länger die Tragedauer, desto höher ist das Risiko für Perforationen der Handschuhe (LAINE und AARNIO 2001, CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, ROTTER 2008, MISTELI et al. 2009, PARTECKE et al. 2009, HAYES et al. 2014, EGELER et al. 2016, ELCE et al. 2016, HAYES et al. 2017, BIERMANN et al. 2018). Die Untersuchung von Mikroperforationen in Handschuhen in der Abteilung für Allgemeine Chirurgie der Ernst-Moritz-Arndt-Universität in Greifswald durch PARTECKE et al. (2009) ergab eine Rate von 15,4 % bei  $\leq 90$  min, 18,1 % bei 91-150 min und 23,7 % bei  $> 150$  min Operationsdauer. Mehr als die Hälfte der Perforationen (66,7 %) fanden sich dabei an der nicht-dominanten Hand (linke Hand der Chirurgen), wobei die häufigste Lokalisation für Defekte der linke Zeigefinger (32,3 %) darstellte (PARTECKE et al. 2009). In der Pferdechirurgie besteht für Eingriffe mit einer Dauer  $> 60$  min das 2,5-fache Risiko für Handschuhperforationen im Vergleich zu Operationen mit einer Dauer von  $\leq 60$  min (ELCE et al. 2016). In der Kleintiermedizin wurden ebenfalls höhere Perforationsraten (84 % aller Perforationen) bei einer Operationsdauer  $> 60$  min nachgewiesen (CHARACTER et al. 2003). YINUSA et al. (2004) und BIERMANN et al. (2018) stellten fest, dass nur maximal ein Viertel aller Perforationen von den Handschuhträgern bemerkt wurden. Bei der Untersuchung von CHARACTER et al. (2003) wurde sogar bei 92,6 % der defekten Handschuhpaare keine Perforation von den Chirurgen bemerkt. Aufgrund dessen, wird ein Handschuhwechsel alle 60-90 Minuten während der Operation empfohlen (CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, PARTECKE et al. 2009, HARNOB et al. 2010, HAYES et al. 2017, BIERMANN et al. 2018). Jedoch wird diese Empfehlung in der Praxis zumeist nicht umgesetzt (PARTECKE et al. 2009). Einige Autoren empfehlen das Tragen von zwei Paar Standard-OP-Handschuhen (sog. „Double-

Gloving“) für Eingriffe mit erhöhtem Perforationsrisiko (THOMAS et al. 2001, PITTEN und KRAMER 2003, CHARACTER et al. 2003, RÖCKEN 2004, YINUSA et al. 2004, MISTELI et al. 2009, PARTECKE et al. 2009, HAYES et al. 2014, HAYES et al. 2017, KRINKO 2018).

### **3 Veröffentlichung**

#### **3.1 Eigenanteil zur Veröffentlichung**

Das Projekt wurde am Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen und der Klinik für Pferde der Universität Leipzig unter der Betreuung von Herrn Prof. Dr. Uwe Truyen, Frau Dr. Stephanie Speck und Herrn Prof. Dr. Walter Brehm durchgeführt. Die Konzeption der Studie erfolgte in Zusammenarbeit mit den oben genannten Personen.

Die Herstellung der sterilen Probenlösung PBS, sowie die Befüllung der Polypropylenbeutel mit dieser Flüssigkeit erfolgten eigenständig.

Die Dokumentation der individuellen Gewohnheiten bei der chirurgischen Händedesinfektion während der Erhebung des Status quo erfolgte mit Hilfe der Unterstützung von Herrn Mario Reinhardt anhand eines eigens erstellten Frage- und Dokumentationsbogens. Die Anleitung der Teilnehmer nach dem Standardprotokoll für die chirurgische Händedesinfektion erfolgte aufgrund der simultanen präoperativen Vorbereitung von Chirurgen und Assistenten mit der Hilfe von Herrn Mario Reinhardt.

Um eine sofortige Verarbeitung der Proben im Labor zu gewährleisten, wurde die Probennahme durch Herrn Mario Reinhardt, und die Herstellung der Verdünnungsreihen sowie das Ausspateln der Proben auf die Blutagar-Platten durch Frau Evelin Brumme unterstützt.

Die Ablesung der Blutplatten, die Isolierung sowie vorläufige Identifizierung möglicher SSI-auslösender Bakterien und die Bestimmung der Gesamtkeimzahlen erfolgten zunächst unter Anleitung von Frau Dr. Stephanie Speck, im weiteren Verlauf der Arbeit eigenständig. Die weitere molekularbiologische Bestimmung dieser isolierten Bakterienspezies mittels MALDI-TOF wurde durch die Firma Diagnosticum Neukirchen durchgeführt. Die klonale Analyse und Antibiotika-Resistenzbestimmung der identifizierten MRSA fand durch Frau Dr. Christiane Cuny, Robert Koch-Institut Wernigerode, statt. Die Untersuchung der Handschuhe auf Perforationen wurde ausschließlich selbstständig durchgeführt.

Die statistische Auswertung erfolgte durch Frau Dr. Katharina Renner-Martin aus dem Institut für Mathematik der Abteilung für Integrative Biologie und Biodiversitätsforschung der Universität für Bodenkultur in Wien.

## Veröffentlichung

Die Erstellung des Abstracts, der Einleitung, des Material- und Methodenteils (außer MRSA-Typisierung und Statistik), sowie die Auswertung und Darstellung der Ergebnisse erfolgten selbstständig.

Die Erstellung der Diskussion und Revision der Veröffentlichung erfolgte in Zusammenarbeit mit Frau Dr. Stephanie Speck.

Es wurden keine weiteren als die angegebenen Quellen verwendet.

## 3.1.1 Publikation

## PLOS ONE

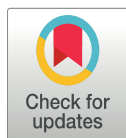
## RESEARCH ARTICLE

# Surgical hand preparation in an equine hospital: Comparison of general practice with a standardised protocol and characterisation of the methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* recovered

Tina Rocktäschel<sup>1</sup>, Katharina Renner-Martin<sup>2</sup>, Christiane Cuny<sup>3</sup>, Walter Brehm<sup>4</sup>, Uwe Truyen<sup>1</sup>, Stephanie Speck<sup>1\*</sup>

**1** Institute of Animal Hygiene and Veterinary Public Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Leipzig, Leipzig, Germany, **2** Institute of Mathematics, Department of Integrative Biology and Biodiversity Research, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, Austria, **3** Robert Koch Institute, National Reference Centre for Staphylococci and Enterococci, Wernigerode, Germany, **4** Department for Horses, Faculty of Veterinary Medicine, University of Leipzig, Leipzig, Germany

\* [stephanie@speck-kaysser.de](mailto:stephanie@speck-kaysser.de)



## OPEN ACCESS

**Citation:** Rocktäschel T, Renner-Martin K, Cuny C, Brehm W, Truyen U, Speck S (2020) Surgical hand preparation in an equine hospital: Comparison of general practice with a standardised protocol and characterisation of the methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* recovered. PLoS ONE 15(12): e0242961. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242961>

**Editor:** Adolfo Maria Tambella, University of Camerino, ITALY

**Received:** October 16, 2019

**Accepted:** November 12, 2020

**Published:** December 22, 2020

**Copyright:** © 2020 Rocktäschel et al. This is an open access article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

**Data Availability Statement:** All relevant data are within the manuscript and its [Supporting Information files](#).

**Funding:** Leipzig University provided support in the form of an Open Access Publishing Fund. No additional external funding was received for this study.

**Competing interests:** The authors have declared that no competing interests exist.

## Abstract

Presurgical hand asepsis is part of the daily routine in veterinary medicine. Nevertheless, basic knowledge seems to be low, even among specialised veterinary surgeons. The major objectives of our study were to assess current habits for presurgical hand preparation (phase 1) among personnel in a veterinary hospital and their effectiveness in reducing bacteria from hands in comparison to a standardised protocol (phase 2). Assessment of individual habits focused on time for hand washing and disinfection, the amount of disinfectant used, and the usage of brushes. The standardised protocol defined hand washing for 1 min with liquid neutral soap without brushing and disinfection for 3 min. All participants (2 surgeons, 8 clinic members, 32 students) used Sterillium®. Total bacterial counts were determined before and after hand washing, after disinfection, and after surgery. Hands were immersed in 100 ml sterile sampling fluid for 1 min and samples were inoculated onto Columbia sheep blood agar using the spread-plate method. Bacterial colonies were manually counted. Glove perforation test was carried out at the end of the surgical procedure. Differences in the reduction of relative bacterial numbers between current habits and the standardised protocol were investigated using Mann-Whitney-T-Test. The relative increase in bacterial numbers as a function of operation time ( $\leq 60$  min,  $>60$  min) and glove perforation as well as the interaction of both was investigated by using ANOVA. Forty-six and 41 preparations were carried out during phase 1 and phase 2, respectively. Individual habits differed distinctly with regard to time (up to 8 min) and amount of disinfectant (up to 48 ml) used both between participants and between various applications of a respective participant. Comparison of current habits and the standardised protocol revealed that the duration of hand washing had no significant effect on reducing bacteria. Contrary, the reduction in bacterial numbers after disinfection by the standardised protocol was significantly higher ( $p < 0.001$ )



compared to routine every-day practice. With regard to disinfection efficacy, the standardised protocol completely eliminated individual effects. The mean reduction in phase 1 was 90.72% (LR = 3.23; right hand) and 89.97% (LR = 3.28; left hand) compared to 98.85% (LR = 3.29; right hand) and 98.92% (LR = 3.47; left hand) in phase 2. Eight participants (19%) carried MRSA (*spa* type t011, CC398) which is well established as a nosocomial pathogen in veterinary clinics. The isolates could further be assigned to a subpopulation which is particularly associated with equine clinics (mainly t011, ST398, gentamicin-resistant). Glove perforation occurred in 54% (surgeons) and 17% (assistants) of gloves, respectively, with a higher number in long-term invasive procedures. Overall, bacterial numbers on hands mainly increased over time, especially when glove perforation occurred. This was most distinct for glove perforations on the left hand and with longer operating times. Our results demonstrate that standardised protocols highly improve the efficacy of hand asepsis measures. Hence, guiding standardised protocols should be prerequisite to ensure state-of-the-art techniques which is essential for a successful infection control intervention.

## Introduction

In human medicine, surgical hand asepsis is an established measure to prevent surgical site infections (SSI) and the same is likely true in veterinary medicine [1, 2]. SSI are most commonly caused by microbes of the transient skin flora [3]. However, even though presurgical hand asepsis is the most effective preventive measure for SSI and part of the daily routine, basic knowledge seems to be low, even among specialised veterinary surgeons [4]. Moreover, compliance to adhere permanently to an established standard protocol is rather missing. According to a survey amongst ACVS and ECVS surgical specialists, 66% did not adhere to state-of-the-art protocols using hydro-alcoholic solutions [4]. SSI rates up to 52.6% were reported for equine surgical procedures but it has also been assumed that approximately 35% of SSI are not documented in the medical record system [5–7]. How many infections are diagnosed anyplace after discharge of the patients remains unknown [4]. SSI are associated with prolonged hospitalisation, higher treatment costs, and may also lead to higher morbidity and mortality rates [8–11]. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) could increase the risk for the development of SSI [11–13]. More than 6% of SSI have been associated with MRSA in an equine veterinary hospital in the UK whereas a large German study found MRSA to be associated with 9.4% of wound infections in horses [13, 14]. In recent years, MRSA of the clonal complex (CC) 398 seem to have been widely distributed in equine hospitals in Europe [15]. So far, MRSA screenings are not routinely performed in German veterinary hospitals, although 2.2–9.3% of admitted horses are carriers and could therefore spread resistant strains to other patients, veterinary staff and the environment [8, 16, 17]. Moreover, 20% of veterinarians and staff in equine clinics have been reported to be nasally colonised by MRSA [18]. Unintentional transfer of microorganisms to patients during surgery and treatment may therefore also occur. Wearing surgical gloves constitutes a barrier against transmission of bacteria from hands to surgical wounds but an incidence of glove punctures in large animal surgery of up to 66% highlights the necessity of an adequate and reliable hand disinfection procedure [19, 20]. Compared to human medicine, there are only few studies that focused on the efficacy of disinfectants for presurgical hand asepsis in veterinary medicine; some of these included different hand disinfection products and techniques, determined bacterial counts and species [21–25].

Mainly alcohol-based gels, alcohol-based hand rubs with additional active ingredients (Ava-gard<sup>®</sup>, Sterillium<sup>®</sup>), hand scrubs and soaps containing chlorhexidine and PVP-iodine were compared for reduction of aerobic bacterial counts. In some of these studies, practical guidance on the steps of surgical hand preparation was given according to WHO guidelines [23–26]. The amount of product used and the application times were chosen according to the manufacturers' recommendations [23–25]. None of these studies evaluated the efficacy of a disinfectant using different application protocols.

The objectives of this study were 1) to assess current habits for presurgical hand preparation among personnel in an equine hospital and veterinarians-in-training, and 2) to compare the efficacy of hand asepsis done as routine every-day practice (phase 1) versus a standardised protocol (phase 2) in reducing bacteria from hands. The hypothesis was that a standardised protocol would be more efficient in reducing bacterial numbers. We further determined the prevalence of MRSA on hands before and after hand washing, after disinfection, and after surgery. Further, MRSA isolates were characterised with regard to the subpopulation of MRSA CC398 associated with equine hospitals.

## Material and methods

The study was conducted at the department for horses of a veterinary teaching hospital. It was implemented in the daily routine at the clinic. Forty-two participants volunteered in the study: two equine surgeons (surgeon A and B), eight staff members, and 32 students. The study was performed as a subproject of a large perennial survey about "Zoonotic transmission of LA-MRSA to humans exposed to livestock" (permission no. 47/09, Ethics Committee of Otto von Guericke University Magdeburg, 09/04/2009). Human sample collection was permitted for skin and mucosa of the nasal vestibulum. Specifications included the information of each participant about the methodology and aims of the study prior to participation, informed consent of each participant, and personal communication of results. Orally informed consent was obtained from all volunteers prior to participation. Bacterial numbers on hands were determined (1) prior to hand washing, (2) after washing and drying hands with a sterile towel, (3) after surgical hand disinfection, and (4) after surgery. For each surgical intervention the total time (min) of surgery and the type of surgical procedure (minimally invasive, invasive) were recorded. For analyses, surgeries were categorised in  $\leq 60$  min and  $> 60$  min. All samples collected were assigned to numbers, and data were analysed in the laboratory anonymously. Prior to each presurgical preparation, detailed information was queried using a standardised in-house questionnaire with main focus on the participants' previous activities on that day (S1 Table). All participants used Sterillium<sup>®</sup> (Bode Chemie GmbH, Hamburg, Germany) an alcohol-based hand rub containing Propan-2-ol (45 g/100 g), Propan-1-ol (30 g/100 g), and mece-tronium etilsulfate (0.2 g/100 g) which belongs to the quarternary ammonium compounds. The study consisted of two parts (phase 1 and 2) which are described in detail below.

## Glove perforation test

The majority of participants wore sterile non-powdered latex gloves (Vasco OP Sensitive, 0.21 mm on the palm and 0.175 mm at the cuff; B. Braun Melsungen AG). Sterile latex-free polyisoprene gloves (Vasco OP Free, 0.21 mm on the palm and 0.205 mm at the cuff; B. Braun Melsungen AG) were used by surgeon B due to a latex allergy. According to the manufacturer, the used gloves revealed an acceptable quality level (AQL) of 0.65 which corresponds to category III [27]. Double-gloving was not practiced at any time. Immediately after termination of the surgical procedure, gloves were taken off and visually tested for the presence of lesions by a modified water leak test (WLT) [20]. Briefly, gloves were filled with coloured water, tightly

closed and gently pressed. Any leak and the location of perforations were recorded for each glove. Occurrence of glove perforation was determined with regard to the type of surgery and operation time ( $\leq 60$  min,  $>60$  min). In addition, participants were asked for notice of glove perforation.

### Sample collection

Samples were collected from both hands of each participant. This corresponded to the assumption that glove punctures, which often occur only on one hand (most frequently the nondominant hand) [20], would influence bacterial counts on hands after surgery. Each hand was immersed in 100 ml sterile phosphate buffered saline (PBS, pH 7.2) filled into polypropylene bags (Sarstedt, Nümbrecht, Germany) while holding the bag tightly around the participant's wrist as described by Traub-Dargatz et al. [21]. Prior to sample collection at the hospital, we compared PBS and neutralizer EIII (recommended by the German Association for Applied Hygiene, VAH) for their suitability as sampling fluid. EIII was composed of tryptic soy broth (TSB) with 0.3% lecithin, 0.1% L-histidine, 0.5% sodium thiosulfate, and 3% Tween 80. Both fluids were tested by twelve volunteers each after presurgical hand preparation using the standardised protocol (see study phase 2). Samples were cultured and bacterial numbers were enumerated as described below. As expected, higher bacterial counts were obtained using EIII compared to PBS. Results obtained with both sampling fluids can be taken from S2 Table. In contrast to PBS, neutralizer EIII left a sticky feel on hands, which was judged unsuitable with regard to gloving. Another step of hand washing would have influenced residual effects of the disinfectant as well as bacterial numbers on hands. Hence, we decided to use PBS without any neutralising ingredient. During the sampling process, PBS was thoroughly dispersed all-over the surfaces of each hand for 1 min. Thereafter, bags were tightly closed, placed on crushed ice and samples were further processed within 15 min after collection.

### Sample processing

Each sample obtained before and after washing, and after surgery was diluted by two serial ten-fold dilutions in PBS. Samples taken after disinfection were used undiluted and in a dilution of 1:10. A 100  $\mu$ l-aliquot of each undiluted and serially diluted sample was inoculated onto Columbia agar plates (5% sheep blood; OXOID Thermo Fisher Scientific, Wesel, Germany) in duplicates using sterile spreaders. Plates were incubated at 37°C for 24 h and subsequently examined for colonies suggestive of *Staphylococcus* (*S.*) *aureus* and other bacteria that might be associated with wound infection in horses, like *S. pseudintermedius*, *S. lugdunensis*, streptococci, and coliforms [28–32]. Subcultures were taken and the original plates kept under CO<sub>2</sub>-atmosphere (AnaeroGen, OXOID) in a 2.5-liter anaerobic jar for another 24 h. After 48 h of incubation, bacterial colonies were manually counted by the lead author and mean colony-forming units (cfu)/ml were calculated. Isolates were identified by MALDI TOF elsewhere (Diagnosticum, Neukirchen, Germany).

### Typing of MRSA

*S. aureus* were subjected to antimicrobial susceptibility testing and were further characterised by *spa* typing as described [33]. Related *spa* types (cost values  $\leq 4$ ) were grouped into *spa*-clonal clusters (*spa* CCs) using the BURP algorithm (Ridom StaphType software version 2.2.1, Ridom GmbH, Würzburg, Germany). *Spa*-CCs were allocated to MLST CCs through the *spa*-Server database ([www.spaserver.ridom.de](http://www.spaserver.ridom.de)) and the database of the German National Reference Centre for staphylococci and enterococci. Discrimination of the equine hospital associated subpopulation from the general animal adapted population of CC398 (LA-MRSA C398) was

performed by PCR using generate primers as previously described [18]. Antimicrobial susceptibility testing was performed by using the broth microdilution method according to DIN 58940 and applying EUCAST breakpoints for interpretation of the results ([www.eucast.org](http://www.eucast.org)). The following antibiotics were tested: penicillin, oxacillin, ceftazidime, fosfomycin, gentamicin, linezolid, erythromycin, clindamycin, tetracycline, tigecycline, vancomycin, teicoplanin, ciprofloxacin, mupirocin, moxifloxacin, daptomycin, fusidic acid-sodium, rifampicin and trimethoprim/sulfamethoxazole.

### Phase 1—routine practice protocol (status quo)

For status quo-analysis, surgeons and assistants did prepare in their respective daily routine. Students were guided in presurgical hand asepsis by the respective surgeon on the spot. Prior to presurgical preparation, the handles of the disinfectant dispensers were pulled down two to three times to deflate the small tube inside the dispenser. Each participant started with hand washing using a liquid, neutral, non-antiseptic soap (Lifosan<sup>®</sup> soft, B. Braun Melsungen AG). Presurgical preparation of each participant was observed and recorded by the lead author in detail with focus on the hand washing technique (i.e. usage of nail cleaners, sponges and brushes), the frequency of soaping and rinsing, and the time taken for soaping and rinsing. The amount of disinfectant used by everyone was deduced from the number of hubs taken from the dispenser. The volume (ml)/hub was measured in a series of preceding tests by pressing the handle of the dispenser all the way down. In addition, the distribution of disinfectant and the rubbing technique were noted, and the time was measured for the duration of the rub-in procedure. Hands were gloved after complete evaporation of Sterillium<sup>®</sup>. Each surgeon prepared for ten surgical interventions in study phase 1. Three staff members participated in more than one surgery but students participated only once. The timely distance between presurgical preparations was at least one day, with the exception of surgeon B who once had two surgeries the same day. The number of presurgical preparations conducted in phase 1 is given in Table 1. The timely distance between surgeries can be taken from S3 Table.

### Phase 2 –hand preparation according to a standardised protocol

In phase 2, a standardised protocol for presurgical hand disinfection was implemented. The protocol was deduced from the “VAH method 12” outlined in the “Requirements and methods for certification of chemical disinfection procedures” given by the German Association for Applied Hygiene (VAH) Disinfectants Commission [34] which is one of the most important German reference institutions for issuance of certificates and listing of disinfection procedures. “VAH method 12” is based on DIN EN 12791:2018–01 (Chemical disinfectants and antiseptics—Surgical hand disinfection—Test method and requirements (phase 2, step 2); German version). A contact time of 3 min was chosen based on the VAH reference method for

**Table 1. Number of presurgical hand preparations performed in phase 1 and 2 of the study.**

Number of presurgical preparations conducted	Phase 1 “routine practice protocol”			Phase 2 “standardised protocol”		
	Surgeons (n = 2 <sup>a</sup> )	Staff (n = 4 <sup>b</sup> )	Students (n = 16 <sup>c</sup> )	Surgeons (n = 2 <sup>a</sup> )	Staff (n = 5)	Students (n = 16 <sup>c</sup> )
	20	10	16	20	5	16
<b>Total number per study phase</b>	46			41		

<sup>a</sup>Each surgeon prepared for ten surgical interventions accounting for a total of 20 surgeries in phase 1 and 2, respectively. Time between surgeries and hand asepsis procedures was at least one day except for surgeon B who once had two surgeries at the same day (S3 Table).

<sup>b</sup>Three staff members participated in four, three and two surgical interventions, respectively (S3 Table).

<sup>c</sup>Students participated only once (S3 Table).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242961.t001>

surgical hand disinfection, i.e. 60vol% Propan-1-ol for 3 min. Detailed practical guidance on the different steps of surgical hand preparation was given to all participants by the lead author. In addition, instructions with clear illustrations were posted next to the washbasins.

The standardised protocol was as follows: (1) Wash with Lifosan<sup>®</sup> soft (B. Braun) without brushing for 1 min. (2) Dry hands using a sterile towel. (3) Start rub-in procedure for a contact time of 3 min. Apply disinfectant to the cupped hand. Rub the hands using the following order: palm to palm including wrists, right palm over left dorsum with interlaced fingers and vice versa, palm to palm with fingers interlaced and backs of fingers to opposing palms, rotational rubbing of left thumb clasped in right palm and vice versa, rotational rubbing backwards and forwards with clasped fingers of right hand in left palm and vice versa [34, 35]. (4) Repeat every step five times to complete one cycle. (5) Repeat cycles continuously whilst keeping hands wet over the period of 3 min [34]. In preceding tests, the total amount of disinfectant needed to keep hands wet for 3 min was measured and was 12 ml (glove sizes S, M) and 18 ml (glove sizes L, XL) of disinfectant, respectively. Disinfection of the forearms (by rubbing forearm against forearm) was performed additionally for surgical interventions operated deeply within the abdomen. Hands were gloved after complete evaporation of Sterillium<sup>®</sup>. Each surgeon prepared for ten surgical interventions in study phase 2. Staff members and students participated only once. The timely distance between surgeries can be taken from [S3 Table](#). The number of presurgical preparations conducted in phase 2 is also given in [Table 1](#).

### Statistical analyses

Prior to sampling, the sample size was calculated using G\*Power (a priori type statistical power analysis; two-tailed,  $\alpha = 0.01$ , power 0.8, effect size 0.85) [36, 37]. The results obtained during phase 1 and 2 of the study were entered and prepared in Microsoft Excel. Percentage reductions were calculated from the bacterial counts before and after hand washing, and after disinfection. In addition, mean  $\log_{10}$ -reductions (LR) were calculated for the difference between after hand washing and after disinfection.

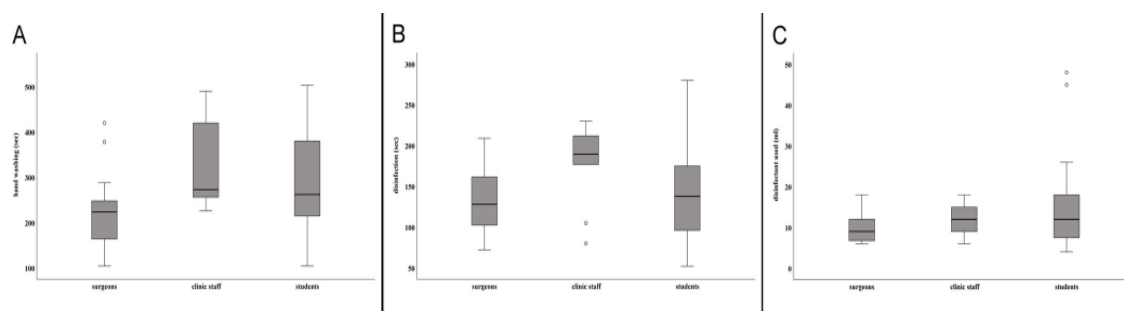
Differences in the relative bacterial count reduction of phases 1 and 2 were investigated using a Mann-Whitney-Test. In this context, the differences from before to after hand washing as well as the differences from after hand washing to after hand disinfection were considered. Since one aim of this study was to detect a significant improvement in the relative bacterial count reduction after disinfection by using a standardised protocol, the significance level was set to 0.01 in this analysis. The percentage increase was calculated from the bacterial counts obtained after hand disinfection and after surgery.

The relative increase in bacterial counts as a function of the duration of surgical procedures and glove perforations was investigated using ANOVA with a defined p-value of 0.05. Only those samplings with a valid result obtained after disinfection and after surgery were included in statistical analyses. Moreover, outliers (i.e. values which lay far beyond the majority of the other values) were eliminated before running the ANOVA [38]. This was necessary as most parametric statistics are not very robust against outliers which may decrease statistical power. All statistical analyses were done using SPSS Statistics 26 (IBM Deutschland GmbH, Ehningen, Germany).

## Results

### Surgical hand disinfection

**Hand preparation habits observed in phase 1.** Mean duration of hand washing among surgeons was 229 sec ( $\pm 76$  sec) compared to 328 sec ( $\pm 97$  sec) among clinic staff, and 273 sec ( $\pm 112$  sec) among students ([Fig 1A](#)). Details about personal hand preparation habits are



**Fig 1. Presurgical hand preparation observed during phase 1 of the study.** (A) Duration of washing hands (sec). (B) Duration of hand disinfection (sec). (C) Amount (ml) of disinfectant used. Box plots demonstrate minimum, first quartile, median, third quartile and maximum amount. The horizontal line within each box represents the median for duration of hand washing and disinfection (sec), and the median amount of disinfectant used, respectively; error bars indicate minimum and maximum. Open circles indicate values that are 1.5–3 times outside the interquartile range from the first or third quartile. Results represent data from 46 presurgical preparations collected at 20 surgical interventions.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242961.g001>

summarised in Table 2. The frequency of soaping and rinsing was six times at maximum. Disinfection was performed over 133 sec on average ( $\pm 39$  sec) among surgeons, 179 sec ( $\pm 49$  sec) among clinic staff, and 147 sec ( $\pm 62$  sec) among students (Fig 1B). The amount of disinfectant used varied between 4 ml and 48 ml (Fig 1C). Fig 1A–1C distinctly shows that there was a large variation in performing surgical hand disinfection. Overall, the largest differences were found among students, although it should be mentioned that they also formed the largest group of participants. However, even for surgeons a wide variation in the duration of hand washing and hand disinfection was noticed. Mean bacterial counts obtained from each participant in phase 1 are given in S3 Table.

It was observed that the distribution of the disinfectant was mostly irregular with thumbs, fingertips and backside of the fingers most frequently forgotten. None of the participants used a consistent or standardised rubbing technique.

**Efficacy of presurgical hand preparation.** Mean bacterial numbers obtained from each participant at each step of sampling are given in S3 Table. Time for hand washing had no significant influence on germ reduction as bacterial counts determined after washing did not differ significantly between phase 1 (individual routine practice with up to 8 min of hand washing) and phase 2 (standardised protocol with 1 min hand wash) (right hand  $p = 0.270$ , left hand  $p = 0.031$ ). In contrast, the decrease in bacterial numbers seen after disinfection using the standardised protocol was highly significant (right hand  $p < 0.001$ , left hand  $p < 0.001$ ). For the right hand, the mean rank in phase 1 was 28.44 and 60.44 in phase 2. For the left hand, a

**Table 2. Preparation of surgical hand asepsis observed in phase 1 of the study.**

Observation	Documented cases during phase 1		
	Surgeons	Staff	Students
Usage of nail cleaners	0	0	0
Usage of a sponge	12	6	14
Usage of a brush	19	10	16
Nails only	3	0	6
Nails and/or hands	16	10	10
Forearms additionally	12	7	5
Soaping and rinsing 1x	6	0	3
Soaping and rinsing 2-5x	14	10	12
Soaping and rinsing >5x	0	0	1

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242961.t002>

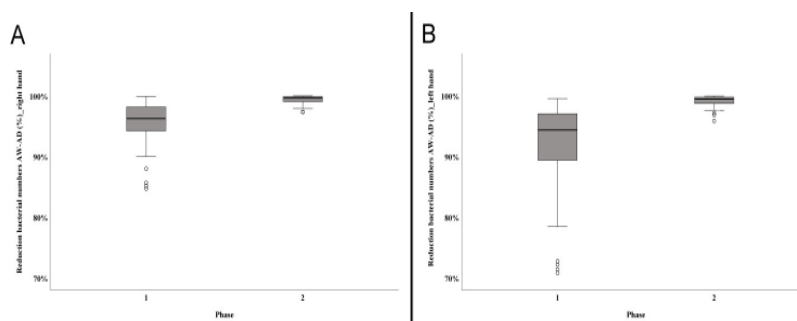
similar result was shown with a mean rank of 26.11 for phase 1 and 62.59 for phase 2. The strength of the effect according to Cohen (1992) [39] is  $r = 0.63$  (right hand) and  $r = 0.73$  (left hand) and thus corresponds to a strong effect. The mean reduction in phase 1 was 90.72% (LR = 3.23; right hand) and 89.97% (LR = 3.28; left hand) in contrast to a mean reduction of 98.85% (LR = 3.29; right hand) and 98.92% (LR = 3.47; left hand) in phase 2 (Fig 2).

**Bacterial numbers determined after surgery.** Independent of the study phase, an increase in bacterial numbers was mainly noticed after surgery (Fig 3A and 3B). In order to investigate, whether the time for surgery, the perforation of gloves, or both has an influence on bacterial numbers, 72 data sets each for the left and the right hand could be evaluated statistically. For the right hand, neither the investigated effect of time ( $p = 0.603$ ) nor perforation of the glove ( $p = 0.741$ ) proved to be significant (Table 3). The interaction of both effects significantly influenced bacterial numbers ( $p = 0.036$ ) (Table 3). In contrast, the effect of a perforated glove ( $p < 0.001$ ), the duration of the surgery ( $p = 0.003$ ), and the interaction between perforated glove and duration of the surgery ( $p = 0.027$ ) were found to be significant for the left hand (Table 3). The entire model investigated using ANOVA proved to be significant with  $p < 0.001$ .

### Bacteria found on hands

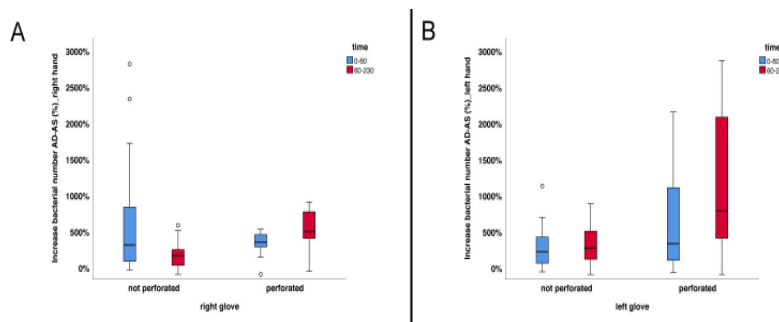
Grampositive as well as gramnegative bacteria were isolated from hands. The grampositive bacteria were *S. aureus*, *S. caprae*, *S. chromogenes*, *S. equorum*, *S. haemolyticus*, *S. lugdunensis*, *S. pasteurii*, *S. pseudintermedius*, *S. saprophyticus*, *S. warneri* and *S. xylosum*, *Streptococcus* (*Sc.*) *equi* subsp. *zooepidemicus*, *Sc. oralis*, *Sc. pluranimalium*, and *Sc. sanguinis*. Gramnegative bacteria included three species of *Enterobacteriaceae*: *Citrobacter koseri*, *Escherichia coli*, and *Klebsiella oxytoca*. *Citrobacter koseri* was isolated from the left hand of surgeon A in a total of fifteen pre-surgical preparations at all steps of sampling. It was found out that the skin of the surgeon's left palm was dry and cracked. Retrospective analysis of data obtained during phase 1 of the study revealed that surgeon A usually brushed nails, palms and rear surfaces of his hands.

*S. aureus* ( $n = 17$ ) was cultured from a total of eleven participants (nine students, one staff member, one surgeon). Of the seventeen *S. aureus*, fourteen were characterised as MRSA and originated from eight of the 42 study participants (19%); seven students and one surgeon. Seven of the MRSA isolates were obtained from surgeon B ( $n = 2$  in phase 1;  $n = 5$  in phase 2);



**Fig 2. Efficacy of disinfection using two different protocols.** The figure illustrates the reduction of bacterial numbers in %. (A) Decrease in bacterial numbers on the right hand determined in phase 1 and phase 2 of the study. (B) Decrease in bacterial numbers on the left hand determined in phase 1 and phase 2 of the study. Box plots demonstrate minimum, first quartile, median, third quartile and maximum amount. The horizontal line within each box represents the median; error bars indicate minimum and maximum. The open circles indicate values that are 1.5–3 times the interquartile range from the first quartile. Data were obtained from a total of 46 (phase 1) and 41 (phase 2) presurgical preparations, respectively. AW—after hand washing; AD—after disinfection.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242961.g002>



**Fig 3. Increase in bacterial numbers determined after surgery.** The figure shows the shift in bacterial counts with regard to glove perforation and duration of the surgical intervention. (A) Results obtained for the right hand. (B) Results obtained for the left hand. Box plots demonstrate minimum, first quartile, median, third quartile and maximum amount. The horizontal line within each box represents the median; error bars indicate minimum and maximum. The circles indicate values that are 1.5–3 times the interquartile range from the first or third quartile. Data were obtained from a total of 72 presurgical preparations. AD—after disinfection; AS—after surgery.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242961.g003>

from each of others, MRSA was isolated only once. Surgeon B had contact to patients before entering the surgery room or used one of the computers at the clinic (Tables 4 and S1). All students carrying MRSA also reported having contact to patients before. Before hand-washing, samples of seven participants revealed MRSA in study phase 1. In four of these, MRSA was still present after disinfection in phase 1. In contrast, MRSA was grown from only one sample taken after surgery (phase 1). In phase 2, MRSA were detected before (6 participants) and after washing hands (2 participants), and after surgery (2 participants) but not in any sample taken after disinfection. All MRSA were allocated to *spa* type t011 or t6575 within the clonal complex CC398. With the exception of *spa* type t6575 all isolates were additionally grouped within the horse-specific subpopulation of CC398 (t011, ST398, gentamicin-resistant). Characteristics of all isolates are given in Table 4.

### Glove perforation

Over the study period, a total of 174 gloves were collected and tested for perforation (Table 5). The mean duration of a surgery was  $76 \pm 45$  min. Invasive procedures included

**Table 3. Results of ANOVA for between-subjects effects.**

Source	Left hand					Right hand				
	Type III sum of squares	df	Mean square	F	Sig.	Type III sum of squares	df	Mean square	F	Sig.
Corrected model	8973980.041 <sup>a§</sup>	3	2991326.680	10.730	<0.001	1590559.240 <sup>a#</sup>	3	530186.413	2.034	0.117
Intercept	25826427.151	1	25826427.151	92.638	<0.001	9304583.921	1	9304583.921	35.697	<0.001
Glove perforated	6887662.671	1	6887662.671	24.706	<0.001	28801.573	1	28801.573	0.110	0.741
Time	2602003.249	1	2602003.249	9.333	0.003	71204.176	1	71204.176	0.273	0.603
Glove perforated * time	1430826.861	1	1430826.861	5.132	0.027	1194054.100	1	1194054.100	4.581	0.036
Error	18957558.350	68	278787.623			17724619.438	68	260656.168		
Total	47288804.891	72				33932071.302	72			
Corrected total	27931538.391	71				19315178.677	71			

Only those samplings with a valid result obtained after disinfection and after surgery were included in statistical analyses. Seventy-two gloves of the left hand (28 perforated, 44 intact) and 72 gloves of the right hand (22 perforated, 50 intact) could be included.

<sup>a§</sup> –R Squared = 0.321 (adjusted R Squared = 0.291);

<sup>a#</sup> –R Squared = 0.082 (adjusted R Squared = 0.042); df—degrees of freedom; F—value of F-statistic; Sig.—significance

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242961.t003>



Table 4. Characterisation of MRSA isolates.

Isolate No.	<i>spa</i> -Type	Clonal complex	Resistance phenotype
33 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
37 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
38 <sup>a</sup>	t6575	CC398	PEN, OXA, ERY, CLI, TET, CEF, OXA/SU
45 <sup>b</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
47 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
48 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
69 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
70 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
71 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
83 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
89 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
91 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
94 <sup>b</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU
95 <sup>a</sup>	t011	CC398	PEN, OXA, GEN, TET, CIP, MOX, CEF, OXA/SU

<sup>a</sup>Contact to horses.

<sup>b</sup>Working on the computer.

CIP, ciprofloxacin; CLI, clindamycin; ERY, erythromycin; CEF, cefoxitin; GEN, gentamicin; MOX, moxifloxacin; OXA, oxacillin; OXA/SU, oxacillin/sulbactam; PEN, penicillin; TET, tetracycline.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242961.t004>

soft tissue and orthopaedic procedures (excluding arthroscopies). Minimally invasive procedures were arthroscopies. The occurrence of glove perforations was higher for surgeons (54%) compared to assistants (17%). In 85% of surgical interventions monitored, glove perforation was unnoticed by the participants. Perforations occurred most frequently in both gloves (Table 5) with thumb and index finger mostly affected. The occurrence of glove perforation for invasive procedures was 39% (52/134) compared to 18% (7/40) for minimally invasive procedures. A higher proportion of perforations (41% of gloves) occurred during surgical procedures with a duration of >60 min, compared to procedures ≤60 min (29% of gloves ruptured).

Table 5. Incidence of glove perforations noticed after surgery.

Variable	Number of gloves per variable (total number = 174)	Number of gloves perforated			
		total (%)	both gloves (%)	left glove only (%)	right glove only (%)
<b>Surgery type</b>					
Invasive	134	52/134 (39%)	34/52 (65%)	14/52 (27%)	4/52 (8%)
Soft tissue	122	46/122 (38%)	30/46 (65%)	12/46 (26%)	4/46 (9%)
Orthopaedic	12	6/12 (50%)	4/6 (67%)	2/6 (33%)	0/6 (0%)
Minimally invasive (Arthroscopy)	40	7/40 (18%)	4/7 (57%)	0/7 (0%)	3/7 (43%)
<b>Total</b>	<b>174</b>	<b>59/174 (34%)</b>	<b>38/59 (64%)</b>	<b>14/59 (24%)</b>	<b>7/59 (12%)</b>
<b>Surgery duration</b>					
≤60 min	98	28/98 (29%)	16/28 (57%)	9/28 (32%)	3/28 (11%)
>60 min	76	31/76 (41%)	22/31 (71%)	5/31 (16%)	4/31 (13%)
<b>Participant</b>					
Surgeon	80	43/80 (54%)	28/43 (65%)	11/43 (26%)	4/43 (9%)
Assistant	94	16/94 (17%)	10/16 (63%)	3/16 (19%)	3/16 (19%)

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242961.t005>

## Discussion

The two aspects of this study were 1) to assess personal habits for presurgical hand preparation among personnel and veterinarians-in-training at an equine hospital, and 2) to compare the efficacy of hand asepsis done as routine every-day practice (phase 1) versus a standardised protocol (phase 2) in reducing bacteria from hands. The prevalence of the horse-specific MRSA subpopulation of CC398 (t011, ST398, gentamicin-resistant) was determined, additionally. Although there are guidelines on hand hygiene given by the WHO [26], analysis of phase 1 revealed that presurgical preparation greatly varied among participants. This is in accordance to international surveys among veterinary surgical specialists which revealed that approximately 70% of the participants did not adhere to state-of-the-art protocols [3, 4]. Overall, the highest variation was found among students, but it should be noticed that they also formed the largest group of participants. Most of our participants mainly focused on hand washing (up to 8 min) whereas the mean application time of disinfectant was less than 3 min. The majority brushed nails, hands and forearms, though excessive washing or brushing does not increase efficacy and the use of presurgical hand-rubbing should be favoured over scrubbing [26, 40]. However, it is conceivable that a brush may be beneficial on visibly dirty hands before entering the surgery room not only in large animal clinics [26]. Excessive brushing is widely known to damage skin thereby increasing the risk of colonisation by pathogenic bacteria [41]. Moreover, the application of alcoholic disinfectants on damaged skin may lead to unpleasant burning and skin irritation resulting in less compliance [5]. As has been described elsewhere, washing of hands can be shortened to one min because time for hand washing had no significant influence on germ reduction ( $p = 0.270$  and  $p = 0.031$ ), though hand washing with neutral soap can remove loosely adherent transient skin flora [5, 26]. Total bacterial counts obtained in both phases of our study were similar to other reports [21, 22, 42–47]. Nevertheless, initial bacterial counts might have been underestimated in our study, because in nearly half of the investigations, participants reported about hand washing and/or disinfection prior to sampling (S1 Table). In phase 1, the relative reduction in bacterial numbers after disinfection also varied widely which might be attributed to personal habits. Introducing a standardised protocol completely eliminated personal effects and resulted in a highly significant reduction in bacterial numbers in phase 2 (approximately 99%) compared to phase 1 (approximately 90–91%) of the study on both hands. Education and training are important and critical for improving hand hygiene practices [26]. At our faculty, students are trained in hand hygiene and hand asepsis based on the WHO guidelines at the beginning of their third year of study. Nevertheless, compliance to these guidelines might not consistently be successful and students need to be trained repeatedly for long-lasting improvement. Hence, a guiding standardised protocol, e.g. presented in the form of images, and a timer, are highly recommended particularly for trainees and students with little experience in presurgical procedures.

The method we used to obtain total colony counts was in accordance to others, however, although obligatory according to the VAH method we used and recommended by other investigators, neutralising agents were not added to the sampling fluid in our investigations [21, 25, 26, 42]. Adding neutralising agents directly into the sampling fluid, which is exposed to the hands, reduces bias towards false positive efficacy of the disinfectant [25]. On the other hand, growth-enhancing properties have been attributed to the neutralizer leading to higher bacterial numbers [25]. Moreover, when testing disinfectants for virucidal activity, no specific neutralizers are required as they might be harmful to the cell lines used for viral growth. During testing, the virucidal activity must be immediately suppressed after contact-time by dilution in ice-cold diluent which is defined as cell culture medium supplemented with foetal calf serum [48]. As our study was performed in a veterinary clinic, we decided to abstain from adding a

neutralizer because the residual effect of the disinfectant is desired in surgical hand asepsis [25]. This might have been resulted in an overestimation of disinfectant efficiency and can be seen as a major limitation of our study. However, we used only Sterillium<sup>®</sup> and sampling as well as sample processing was performed in a consistent manner. Therefore, the bias introduced would be identical for all results.

A wide range of bacteria was isolated including human- and animal-associated coagulase-negative and -positive staphylococci [49]. Of bacteria which have been associated with SSI in horses, *S. aureus*, MRSA, *S. lugdunensis*, *S. pseudintermedius*, *Sc. equi* ssp. *zooepidemicus*, *Escherichia coli*, and *Klebsiella oxytoca* were found [28–32]. Eleven of 42 participants (26.2%) harboured *S. aureus* and 19.0% (8/42) carried MRSA on their hands which is more than the reported prevalence of MRSA colonisation in equine veterinarians [18, 50]. The majority of MRSA strains was allocated to the *spa* type t011 within the clonal complex CC398. MRSA CC398 is well established as a nosocomial pathogen in veterinary clinics and nasal colonisation of staff attending horses has been reported [15, 18]. The *spa* type t011-isolates could further be assigned to a subpopulation which is particularly associated with equine clinics [15, 18]. The risk of mutual transmission between horses and humans and the need for surveillance at the equine-human interface has been recently described [18]. The fact that mainly students carried MRSA highlights the necessity to raise awareness for identifying MRSA-colonised patients and environmental reservoirs, transmission routes, barrier precautions, and hand hygiene. This is strengthened by the finding that samples from one surgeon were repeatedly MRSA-positive. Among the potential reasons for that are: nasal carriage of MRSA by this participant, MRSA-carriage of patients which were handled immediately before sampling, contamination of equipment or surfaces at the premises serving as a reservoir. Nasal carriage of MRSA by horses and staff could not be investigated during this study but is part of an ongoing survey to be published elsewhere. MRSA challenges infection prevention and control interventions in equine healthcare and the utility of hand hygiene for prevention of MRSA colonisation in veterinary personnel has been demonstrated [51, 52]. Our data set is not large enough to support a statistical analysis. However, MRSA was mainly reduced by disinfection at least below the level of detection which underlines the findings that alcoholic hand rubs have an impact on MRSA [53]. The variety of other pathogenic and also zoonotic bacteria isolated at different steps of sampling underlines the need for proper hand hygiene not only when preparing for surgery. Moreover, the repeated isolation of *Citrobacter koseri* from the left hand of surgeon A shows that skin care is crucial to maintain the natural skin barrier and to prevent colonisation with transient pathogenic bacteria.

Glove perforation most often occurred in gloves worn by surgeons and in gloves used in invasive procedures. This was in accordance to other investigations in small and large animal surgery which suggested that invasive procedures and surgeons are associated with a higher risk of glove perforation [19, 20, 54–56]. Differences in glove perforation rates associated with the material of the gloves (i.e. latex gloves versus latex-free gloves) were not evaluated. Glove perforation ( $p < 0.001$ ), time ( $p = 0.003$ ), as well as the interaction between both, glove perforation and time of surgery ( $p = 0.027$ ), resulted in a significant relative increase in bacterial counts on the left hand. Contrary to this, only the combination of glove perforation and time significantly influenced bacterial numbers on the right hand. A possible explanation might be that perforations more frequently occur in gloves on the nondominant (mainly the left) hand which are punctured by suture needles or instruments held in the dominant hand [20, 56, 57]. Moreover, the nondominant hand is rather used for gross manipulations [57]. Furthermore, glove perforations increase with the duration of glove wear [58]. The modified WLT used enables to determine the location of any leak but might underestimate the number of detected perforations [19, 20, 57]. In accordance to other studies, surgical interventions of  $\leq 60$  min

resulted in less glove perforations compared to procedures of >60 min [19, 20, 56]. Glove perforations have been reported to increase the risk for SSI in human surgery [19, 20]. However, the association of glove perforation and SSI was not examined in this study, in part because we became aware of only one horse that developed SSI.

Hand asepsis is an important and simple hygiene measure to decrease the risk of nosocomial infections. To the authors best knowledge, the aspect of comparing “general practice” in presurgical hand preparation to a standardised protocol has not been investigated so far. Our results demonstrate that guiding standardised protocols highly improve the efficacy of hand hygiene measures thereby ensuring compliance with established protocols.

## Supporting information

**S1 Table. Activities prior to surgery reported by the study participants.** Prior to each presurgical preparation, detailed information was queried using a standardised in-house questionnaire with main focus on the participants’ previous activities on that day. The table summarises results from 87 questionnaires.

(DOCX)

**S2 Table. Bacterial numbers (cfu/ml) obtained in a laboratory test series using the standardised hand disinfection protocol and two different sampling fluids.** After hand disinfection for 3 min according to the standardised protocol, hands were immersed in 100 ml sterile phosphate buffered saline (pH 7.2) or neutralizer EIII filled into polypropylene bags while holding the bag tightly around the participant’s wrist. The fluid was thoroughly dispersed all over the surfaces of each hand for 1 min. EIII was composed of tryptic soy broth with 0.3% lecithin, 0.1% L-histidine, 0.5% sodium thiosulfate, and 3% Tween 80. Samples were used undiluted and in a dilution of 1:10. A 100 µl-aliquot of each undiluted and serially diluted sample was inoculated onto Columbia agar plates in duplicates using sterile spreaders. After 48 h of incubation at 37°C, bacterial colonies were manually counted and mean colony-forming units (cfu)/ml were calculated.

(DOCX)

**S3 Table. Data collected at a total of 87 presurgical preparations using Sterillium® for surgical hand disinfection.** Surgeons A and B prepared for 10 surgical interventions per study phase. In phase 1, three staff members (staff 2, 3, and 4) participated in four, three and two surgical interventions, respectively. Students participated only once. The timely distance given does not necessarily mean that the respective surgeon had no surgery in-between. Mean bacterial counts given were determined from colonies counted on agar plates inoculated in duplicates. BW—before washing; AW—after washing; AD—after disinfection; AS—after surgery; ne—not evaluable; na—not applicable, as this participant assisted in only one surgery in this phase of the study; a—time between surgery no. 10 of study phase 1 and surgery no. 1 in phase 2.

(DOCX)

## Acknowledgments

The authors gratefully acknowledge the expert technical assistance of M. Reinhardt, E. Brumme, and D. Ruster.

## Author Contributions

**Conceptualization:** Tina Rocktäschel, Walter Brehm, Uwe Truyen, Stephanie Speck.

**Data curation:** Tina Rocktäschel, Katharina Renner-Martin, Christiane Cuny.

**Formal analysis:** Tina Rocktäschel, Katharina Renner-Martin, Stephanie Speck.

**Investigation:** Tina Rocktäschel, Christiane Cuny, Stephanie Speck.

**Methodology:** Katharina Renner-Martin, Christiane Cuny, Stephanie Speck.

**Project administration:** Uwe Truyen, Stephanie Speck.

**Supervision:** Walter Brehm, Uwe Truyen, Stephanie Speck.

**Validation:** Stephanie Speck.

**Visualization:** Tina Rocktäschel, Katharina Renner-Martin.

**Writing – original draft:** Tina Rocktäschel, Christiane Cuny, Walter Brehm, Uwe Truyen, Stephanie Speck.

**Writing – review & editing:** Tina Rocktäschel, Katharina Renner-Martin, Christiane Cuny, Walter Brehm, Uwe Truyen, Stephanie Speck.

## References

1. Uçkay I, Harbarth S, Peter R, Lew D, Hoffmeyer P, Pittet D. Preventing surgical site infections. *Expert Rev Anti Infect Ther*. 2010; 8(6): 657–670. <https://doi.org/10.1586/eri.10.41> PMID: 20521894
2. Anderson ME. Contact precautions and hand hygiene in veterinary clinics. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*. 2015; 45(2): 343–360. <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2014.11.003> PMID: 25532949
3. Verwilghen D, Grulke S, Kampf G. Presurgical hand asepsis: concepts and current habits of veterinary surgeons. *Vet Surg*. 2011; 40(5): 515–521. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2011.00846.x> PMID: 21736594
4. Verwilghen D. Surgical site infections: What do we know? *Equine Vet J*. 2015; 47(6): 753–755. <https://doi.org/10.1111/evj.12480> PMID: 26475770
5. Verwilghen D. The World Health Organization's Clean Hands Save Lives: A concept applicable to equine medicine as Clean Hands Save Horses. *Equine Vet Educ*. 2016; 8(Suppl 2): 1–9.
6. MacDonald DG, Morley PS, Bailey JV, Barber SM, Fretz PB. An examination of the occurrence of surgical wound infection following equine orthopaedic surgery (1981–1990). *Equine Vet J*. 1994; 26(4): 323–326. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1994.tb04394.x> PMID: 8575401
7. Turk R, Singh A, Weese JS. Prospective surgical site infection surveillance in dogs. *Vet Surg*. 2015; 44(1): 2–8. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2014.12267.x> PMID: 25196800
8. Panchaud Y, Gerber V, Rossano A, Perreten V. Bacterial infections in horses: a retrospective study at the University Equine Clinic of Bern. *Schweiz Arch Tierheilkd*. 2010; 152(4): 176–182. <https://doi.org/10.1024/0036-7281/a000040> PMID: 20361396
9. Ahern BJ, Richardson DW, Boston RC, Schaer TP. Orthopedic infections in equine long bone fractures and arthrodeses treated by internal fixation: 192 cases (1990–2006). *Vet Surg*. 2010; 39(5): 588–593. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2010.00705.x> PMID: 20459481
10. KuKanich KS, Ghosh A, Skarbek JV, Lothamer KM, Zurek L. Surveillance of bacterial contamination in small animal veterinary hospitals with special focus on antimicrobial resistance and virulence traits of enterococci. *J Am Vet Med Assoc*. 2012; 240(4): 437–445. <https://doi.org/10.2460/javma.240.4.437> PMID: 22309016
11. Sakr A, Brégeon F, Mège JL, Rolain JM, Blin O. *Staphylococcus aureus* nasal colonization: An update on mechanisms, epidemiology, risk factors, and subsequent infections. *Front Microbiol*. 2018; 9: 2419. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02419> PMID: 30349525
12. Iqbal HJ, Ponniah N, Long S, Rath N, Kent M. Review of MRSA screening and antibiotics prophylaxis in orthopaedic trauma patients; The risk of surgical site infection with inadequate antibiotic prophylaxis in patients colonized with MRSA. *Injury*. 2017; 48(7): 1382–1387. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2017.04.012> PMID: 28473167
13. Bortolami A, Williams NJ, McGowan CM, Kelly PG, Archer DC, Corró M, et al. Environmental surveillance identifies multiple introductions of MRSA CC398 in an Equine Veterinary Hospital in the UK, 2011–2016. *Sci Rep*. 2017; 7(1): 5499. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05559-8> PMID: 28710350

14. Vincze S, Stamm I, Kopp PA, Hermes J, Adlhoch C, Semmler T, et al. Alarming proportions of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in wound samples from companion animals, Germany 2010–2012. *PLoS One* 2014; 9: e85656. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085656> PMID: 24465637
15. Abdelbary MM, Wittenberg A, Cuny C, Layer F, Kurt K, Wieler LH, et al. Phylogenetic analysis of *Staphylococcus aureus* CC398 reveals a sub-lineage epidemiologically associated with infections in horses. *PLoS One*. 2014; 9(2): e88083. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088083> PMID: 24505386
16. Walther B, Köck R. Mensch und Tier–Antibiotikaresistenzen bei Haustieren? *Allgemeinartz*. 2017; 39: 48–49.
17. Köck R, Cuny C. Multiresistente Erreger bei Tier und Mensch. *Med Klin Intensivmed Notfmed*. 2018. <https://doi.org/10.1007/s00063-018-0487-x> PMID: 30276566
18. Cuny C, Abdelbary MMH, Köck R, Layer F, Scheidemann W, Werner G, et al. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from infections in horses in Germany are frequent colonizers of veterinarians but rare among MRSA from infections in humans. *One Health*. 2015; 2: 11–17. <https://doi.org/10.1016/j.onehlt.2015.11.004> PMID: 28616471
19. Biermann NM, McClure JT, Sanchez J, Doyle AJ. Observational study on the occurrence of surgical glove perforation and associated risk factors in large animal surgery. *Vet Surg*. 2018; 47(2): 212–218. <https://doi.org/10.1111/vsu.12757> PMID: 29218807
20. Elce YA, Laverty S, Almeida da Silveira E, Piat P, Trencart P, Ruzickova P, et al. Frequency of undetected glove perforation and associated risk factors in equine surgery. *Vet Surg*. 2016; 45(8): 1066–1070. <https://doi.org/10.1111/vsu.12562> PMID: 27684500
21. Traub-Dargatz JL, Weese JS, Rousseau JD, Dunowska M, Morley PS, Dargatz DA. Pilot study to evaluate 3 hygiene protocols on the reduction of bacterial load on the hands of veterinary staff performing routine equine physical examinations. *Can Vet J*. 2006; 47(7): 671–676. PMID: 16898109
22. Verwilghen DR, Mainil J, Mastrocicco E, Hamaide A, Detilleux J, van Galen G, et al. Surgical hand asepsis in veterinary practice: Evaluation of soap scrubs and alcohol based rub techniques. *Vet J*. 2011; 190(3): 372–377. <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2010.12.020> PMID: 21316990
23. Chou PY, Doyle AJ, Arai S, Burke PJ, Bailey TR. Antibacterial efficacy of several surgical hand preparation products used by veterinary students. *Vet Surg*. 2016; 45(4): 515–522. <https://doi.org/10.1111/vsu.12473> PMID: 27120271
24. da Silveira EA, Bubeck KA, Batista ER, Piat P, Laverty S, Beauchamp G, et al. Comparison of an alcohol-based hand rub and water-based chlorhexidine gluconate scrub technique for hand antisepsis prior to elective surgery in horses. *Can Vet J*. 2016; 57(2): 164–168. PMID: 26834268
25. Biermann NM, McClure JT, Sanchez J, Saab M, Doyle AJ. Prospective, randomised clinical trial of four different presurgical hand antiseptic techniques in equine surgery. *Equine Vet J*. 2018; 47: 212–218.
26. Anonymous. WHO Guidelines on Hand Hygiene in Health Care. 2009. Available from [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44102/9789241597906\\_eng.pdf;jsessionid=2A4074FD0B4C06BC829877C64D1907B1?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44102/9789241597906_eng.pdf;jsessionid=2A4074FD0B4C06BC829877C64D1907B1?sequence=1). Cited 11 September 2019.
27. Anonymous. Regulation (EU) 2016/425 of the European Parliament and of the Council on personal protective equipment and repealing Council Directive 89/686/EEC. 2016. Available from <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0425&from=DE>. Cited 31 May 2020.
28. Panchaud Y, Gerber V, Rossano A, Perreten V. Bacterial infections in horses: a retrospective study at the University Equine Clinic of Bern. *Schweiz Arch Tierheilkd*. 2010; 152(4): 176–182. <https://doi.org/10.1024/0036-7281/a000040> PMID: 20361396
29. Böcher S, Tønning B, Skov RL, Prag J. *Staphylococcus lugdunensis*, a common cause of skin and soft tissue infections in the community. *J Clin Microbiol*. 2009; 47(4): 946–950. <https://doi.org/10.1128/JCM.01024-08> PMID: 19244465
30. Clark C, Greenwood S, Boison JO, Chirino-Trejo M, Dowling PM. Bacterial isolates from equine infections in western Canada (1998–2003). *Can Vet J*. 2008; 49(2): 153–160. PMID: 18309745
31. Timoney JF. The pathogenic equine streptococci. *Vet Res*. 2004; 35(4): 397–409. <https://doi.org/10.1051/vetres:2004025> PMID: 15236673
32. Ruscher C, Lübke-Becker A, Wlekinski CG, Soba A, Wieler LH, Walther B. Prevalence of methicillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius* isolated from clinical samples of companion animals and equidae. *Vet Microbiol*. 2009; 136(1–2): 197–201. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2008.10.023> PMID: 19097710
33. Harmsen D, Claus H, Witte W, Rothgänger J, Claus H, Turnwald D, et al. Typing of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in a university hospital setting by using novel software for spa repeat determination and database management. *J Clin Microbiol*. 2003; 41(12): 5442–5448. <https://doi.org/10.1128/jcm.41.12.5442-5448.2003> PMID: 14662923

34. Association for Applied Hygiene Disinfectants Commission. Requirements and methods for VAH certification of chemical disinfection procedures. 1st ed. Wiesbaden: mhp-Verlag GmbH; 2015.
35. Chow A, Arah OA, Chan SP, Poh BF, Krishnan P, Ng WK, et al. Alcohol handrubbing and chlorhexidine handwashing protocols for routine hospital practice: a randomized clinical trial of protocol efficacy and time effectiveness. *Am J Infect Control*. 2012; 40(9): 800–805. <https://doi.org/10.1016/j.ajic.2011.10.005> PMID: 22325731
36. Faul F, Erdfelder E, Lang A-G, Buchner A. G\*Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behav Res Methods*. 2007; 39: 175–191. <https://doi.org/10.3758/bf03193146> PMID: 17695343
37. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang A-G. Statistical power analyses using G\*Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behav Res Methods*. 2009; 41: 1149–1160. <https://doi.org/10.3758/BRM.41.4.1149> PMID: 19897823
38. Lix LM, Keselman JC, Keselman HJ. Consequences of assumption violations revisited: A quantitative review of alternatives to the One-Way Analysis of Variance F Test. *Rev Educ Res*. 1996; 66(4): 579–619.
39. Cohen J. A power primer. *Psychol Bull*. 1992; 122(1): 155–159. <https://doi.org/10.1037//0033-2909.112.1.155> PMID: 19565683
40. Loeb MB, Wilcox L, Small F, Walter S, Duff Z. A randomized trial of surgical scrubbing with a brush compared to antiseptic soap alone. *Am J Infect Control*. 1997; 25: 11–15. [https://doi.org/10.1016/s0196-6553\(97\)90047-x](https://doi.org/10.1016/s0196-6553(97)90047-x) PMID: 9057938
41. Larson EL, Hughes CA, Pyrek JD, Sparks SM, Cagatay EU, Bartkus JM. Changes in bacterial flora associated with skin damage on hands of health care personnel. *Am J Infect Control*. 1998; 26(5): 513–521. [https://doi.org/10.1016/s0196-6553\(98\)70025-2](https://doi.org/10.1016/s0196-6553(98)70025-2) PMID: 9795681
42. Kampf G, Ostermeyer C, Heeg P, Paulson D. Evaluation of two methods of determining the efficacies of two alcohol-based hand rubs for surgical hand asepsis. *Appl Environ Microbiol*. 2006; 72(6): 3856–3861. <https://doi.org/10.1128/AEM.02746-05> PMID: 16751489
43. Noparat W, Siripanichakorn K, Tribuddharat C, Danchaiwijitr S. Persistence of antimicrobial effect of antiseptics in surgical hand hygiene regimens. *J Med Assoc Thai*. 2005; 88(Suppl 10): 177–182. PMID: 16850666
44. Barbadoro P, Martini E, Savini S, Marigliano A, Ponzio E, Prospero E, et al. In vivo comparative efficacy of three surgical hand preparation agents in reducing bacterial count. *J Hosp Infect*. 2014; 86(1): 64–67. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2013.09.013> PMID: 24246664
45. López-Gigosos RM, Mariscal-López E, Gutierrez-Bedmar M, García-Rodríguez A, Mariscal A. Evaluation of antimicrobial persistent activity of alcohol-based hand antiseptics against bacterial contamination. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis*. 2017; 36(7): 1197–1203. <https://doi.org/10.1007/s10096-017-2908-9> PMID: 28132117
46. Kampf G, Ostermeyer C. Efficacy of two distinct ethanol-based hand rubs for surgical hand disinfection—a controlled trial according to prEN 12791. *BMC Infect Dis*. 2005; 5–17. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-5-5> PMID: 15679899
47. Pietsch H. Hand antiseptics: rubs versus scrubs, alcoholic solutions versus alcoholic gels. *J Hosp Infect*. 2001; 48(Suppl A): 33–36. [https://doi.org/10.1016/s0195-6701\(01\)90010-6](https://doi.org/10.1016/s0195-6701(01)90010-6) PMID: 11759022
48. EN 14675: Chemical disinfectants and antiseptics—Quantitative suspension test for the evaluation of virucidal activity of chemical disinfectants and antiseptics used in the veterinary area—Test method and requirements—(Phase 2, step 1).
49. Becker K, Heilmann C, Peters G. Coagulase-negative staphylococci. *Clin Microbiol Rev*. 2014; 27(4): 870–926. <https://doi.org/10.1128/CMR.00109-13> PMID: 25278577
50. Anderson ME, Lefebvre SL, Weese JS. Evaluation of prevalence and risk factors for methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* colonization in veterinary personnel attending an international equine veterinary conference. *Vet Microbiol*. 2008; 129(3–4): 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2007.11.031> PMID: 18187274
51. Weese JS, Rousseau J, Willey BM, Archambault M, McGeer A, Low DE. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in horses at a veterinary teaching hospital: frequency, characterization, and association with clinical disease. *J Vet Intern Med*. 2006; 20(1): 182–186. [https://doi.org/10.1892/0891-6640\(2006\)20\[182:msaiha\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1892/0891-6640(2006)20[182:msaiha]2.0.co;2) PMID: 16496939
52. Wieler LH, Ewers C, Guenther S, Walthers B, Lübke-Becker A. Methicillin-resistant staphylococci (MRS) and extended-spectrum beta-lactamases (ESBL)-producing *Enterobacteriaceae* in companion animals: nosocomial infections as one reason for the rising prevalence of these potential zoonotic pathogens in clinical samples. *Int J Med Microbiol*. 2011; 301(8): 635–641. <https://doi.org/10.1016/j.ijmm.2011.09.009> PMID: 22000738

53. Sroka S, Gastmeier P, Meyer E. Impact of alcohol hand-rub use on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: an analysis of the literature. *J Hosp Infect.* 2010; 74(3): 204–211. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2009.08.023> PMID: 20061061
54. Hayes GM, Reynolds D, Moens NM, Singh A, Oblak M, Gibson TW, et al. Investigation of incidence and risk factors for surgical glove perforation in small animal surgery. *Vet Surg.* 2014; 43(4): 400–404. <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2014.12159.x> PMID: 24617791
55. Meakin LB, Gilman OP, Parsons KJ, Burton NJ, Langley-Hobbs SJ. Colored indicator undergloves increase the detection of glove perforations by surgeons during small animal orthopedic surgery: A randomized controlled trial. *Vet Surg.* 2016; 45(6): 709–714. <https://doi.org/10.1111/vsu.12519> PMID: 27412490
56. Character BJ, McLaughlin RM, Hedlund CS, Boyle CR, Elder SH. Postoperative integrity of veterinary surgical gloves. *J Am Anim Hosp Assoc.* 2003; 39(3): 311–320. <https://doi.org/10.5326/0390311> PMID: 12755206
57. Yinusa W, Li YH, Chow W, Ho WY, Leong JC. Glove punctures in orthopaedic surgery. *Int Orthop.* 2004; 28(1): 36–39. <https://doi.org/10.1007/s00264-003-0510-5> PMID: 14534831
58. Assadian O, Kramer A, Ouriel K, Suchomel M, McLaws M-L, Rottman M, et al. Suppression of surgeons' bacterial hand flora during surgical procedures with a new antimicrobial surgical glove. *Surg Infect (Larchmt).* 2014; 15(1): 43–49. <https://doi.org/10.1089/sur.2012.230> PMID: 24116857



**Supporting information****S1 Table. Activities prior to surgery as reported by the participants taken from a total of 87 questionnaires.**

Activity prior to presurgical hand asepsis	Times reported by		
	surgeons	staff	students
Office work	9	1	0
Working at the computer	13	1	1
Being on the phone	4	0	0
Contact to horses (examination, treatment, assistance)	11	10	27
Washing hands after contact to horses	3	2	9
Touching surfaces in the hospital/stable, equipment	10	2	7
Hand wash $\leq 10$ min ago	1	2	6
Hand wash $> 10$ min ago	1	4	8
Hand wash (can't remember how long ago)	4	2	5
Hand wash & disinfection	0	0	4
Hand disinfection	0	0	4

**S2 Table. Bacterial numbers (cfu/ml) obtained in a laboratory test series using the standardised hand disinfection protocol and two different sampling fluids.**

Test No.	Colony-forming units/ml	
	phosphate buffered saline	neutralizer EIII
1	15	41
2	40	27
3	40	600
4	165	190
5	145	14
6	0	170
7	10	36
8	75	5
9	20	300
10	405	140
11	15	23
12	20	73

Using EIII sometimes resulted in much higher cfu/ml compared to PBS. This can be attributed to its neutralising effect by eliminating residual activity of the disinfectant. Moreover, the neutraliser has bacterial growth-enhancing properties as it contains TSB and lecithin. Adding neutralising agents directly into the sampling fluid, which is exposed to the hands, reduces further bias towards false positive efficacy (Biermann et al. 2019) [25]. As our study was performed in a veterinary clinic, we decided not to follow this protocol because the residual effect of the disinfectant is desired in surgical hand asepsis.

**S3 Table. Data collected at a total of 87 presurgical preparations using Sterillium® for surgical hand disinfection.**

Person no.	Study phase	Left hand					Right hand					Duration of surgery	Timely distance between surgeries
		mean cfu/ml				glove perforated (0 = no, 1 = yes)	mean cfu/ml				glove perforated (0 = no, 1 = yes)		
		BW	AW	AD	AS		BW	AW	AD	AS			
Surgeon A	1	37000	24000	1610	11600	0	25500	19300	143	867	1	≤60 min	na
Surgeon A	1	31000	13800	550	1860	1	32000	6590	81	3050	1	>60 min	9 d
Surgeon A	1	15300	6270	227	1050	1	6730	1270	10	143	0	≤60 min	1 d
Surgeon A	1	14100	5360	418	1480	0	5090	667	33	150	0	>60 min	1 d
Surgeon A	1	15500	12600	1220	2860	1	14900	6500	36	4570	0	≤60 min	3 d
Surgeon A	1	21500	9320	600	2180	1	2000	1050	20	85	1	>60 min	1 d
Surgeon A	1	41500	14500	714	286	1	40000	5550	96	364	1	≤60 min	7 d
Surgeon A	1	19500	3140	255	1640	1	6500	350	10	40	1	>60 min	1 d
Surgeon A	1	64500	22000	714	5640	0	8500	6140	29	100	0	≤60 min	13 d
Surgeon A	1	10000	3670	41	4360	1	6500	524	20	182	1	>60 min	1 d
Surgeon B	1	1140	164	6	91	1	857	633	20	76	1	≤60 min	na
Surgeon B	1	22500	4000	355	ne	1	4680	524	15	ne	0	>60 min	49 d
Surgeon B	1	7820	3270	473	1860	1	3910	667	96	600	0	≤60 min	6 d
Surgeon B	1	2320	714	20	450	1	6180	864	86	450	1	≤60 min	15 d

Veröffentlichung

Surgeon B	1	1430	20	15	20	0	2910	143	157	364	0	>60 min	6 d
Surgeon B	1	714	364	52	52	1	619	286	100	550	1	≤60 min	22 d
Surgeon B	1	7820	1570	181	2410	1	3090	429	20	25	0	≤60 min	6 d
Surgeon B	1	1860	250	24	591	1	1200	1000	120	2910	1	>60 min	16 d
Surgeon B	1	9230	3410	71	429	0	6550	2230	157	455	0	>60 min	4 d
Surgeon B	1	2860	1500	323	1860	1	4050	614	23	105	0	≤60 min	3 h
Staff 1	1	2290	200	55	36	0	1400	300	16	139	0	≤60 min	na
Staff 2	1	55000	7820	245	2300	0	49000	2680	162	1100	0	>60 min	na
Staff 2	1	12200	4910	864	3180	0	17600	12400	527	11100	0	>60 min	10 d
Staff 2	1	14900	4140	105	619	0	9730	3000	223	864	0	>60 min	12 d
Staff 2	1	19900	11700	314	2230	1	19900	2950	177	1640	1	>60 min	15 d
Staff 3	1	62000	3730	195	333	0	110000	7950	182	1100	0	>60 min	na
Staff 3	1	13000	2190	76	1480	0	35500	5730	295	1680	1	>60 min	5 d
Staff 3	1	56000	14100	64	1380	1	37000	8820	73	2050	0	>60 min	22 d
Staff 4	1	22500	4000	355	ne	1	4680	524	15	ne	0	>60 min	na
Staff 4	1	9230	3410	71	429	0	6550	2230	157	455	0	>60 min	75 d
Student 1	1	600	250	20	464	0	857	455	ne	30	0	≤60 min	na
Student 2	1	3180	238	18	ne	0	1550	476	73	40	0	>60 min	na
Student 3	1	43600	13400	143	700	0	32600	15500	700	827	0	>60 min	na
Student 4	1	13500	12800	3560	5820	0	32500	16000	3860	11500	0	≤60 min	na
Student 5	1	15700	4450	46	250	0	24000	4550	18	300	0	≤60 min	na

Veröffentlichung

Student 6	1	6270	524	30	1910	0	5230	1300	52	952	0	≤60 min	na
Student 7	1	1550	200	ne	ne	1	1590	455	10	2000	1	≤60 min	na
Student 8	1	15700	3140	110	750	0	41500	4230	227	2860	0	>60 min	na
Student 9	1	ne	2950	105	571	0	ne	3000	445	762	0	≤60 min	na
Student 10	1	2140	650	10	150	1	700	455	10	100	1	>60 min	na
Student 11	1	295	120	35	190	0	450	273	15	20	0	>60 min	na
Student 12	1	28300	26000	4340	6770	0	79500	33800	727	3770	0	≤60 min	na
Student 13	1	7000	1640	290	1180	0	9140	1650	371	1620	0	≤60 min	na
Student 14	1	2480	450	25	45	0	8950	4270	24	70	0	>60 min	na
Student 15	1	15800	3140	30	100	0	9180	4500	4	1200	1	≤60 min	na
Student 16	1	667	100	29	350	0	3680	500	224	667	0	≤60 min	na
Surgeon A	2	54500	51500	124	619	0	19200	17900	38	400	0	≤60 min	41 d <sup>a</sup>
Surgeon A	2	79100	33300	436	823	0	27900	10100	64	332	0	≤60 min	66 d
Surgeon A	2	21800	12800	68	668	0	13300	6910	43	255	1	>60 min	4 d
Surgeon A	2	46500	21100	227	405	0	26000	13000	100	219	0	≤60 min	8 d
Surgeon A	2	26500	17900	386	1150	0	10600	5450	110	323	0	>60 min	8 d
Surgeon A	2	15100	14800	245	2160	1	6270	5860	55	322	1	>60 min	11 d
Surgeon A	2	59300	33500	52	577	1	47800	11400	80	186	1	≤60 min	8 d
Surgeon A	2	17600	4770	114	3380	1	7360	2100	132	950	1	>60 min	1 d
Surgeon A	2	7450	3500	145	514	1	6640	2680	43	368	0	≤60 min	19 d
Surgeon A	2	18000	12000	141	564	0	16500	13300	52	327	1	≤60 min	2 d

Veröffentlichung

Surgeon B	2	1480	159	2	18	1	500	380	0	6	1	≤60 min	22 d <sup>a</sup>
Surgeon B	2	13900	6180	30	10	1	3680	636	2	36	0	≤60 min	21 d
Surgeon B	2	2180	209	4	10	0	2360	205	2	0	1	≤60 min	6 d
Surgeon B	2	3590	500	3	14	0	5270	409	5	3	0	≤60 min	9 d
Surgeon B	2	10300	3180	7	146	1	2820	250	4	2	1	>60 min	12 d
Surgeon B	2	1060	619	4	5	1	1410	355	2	2	0	≤60 min	44 d
Surgeon B	2	4860	160	3	3	0	3950	459	1	1	0	≤60 min	6 d
Surgeon B	2	7410	2410	1	2	1	6640	1590	1	8	0	≤60 min	41 d
Surgeon B	2	1030	476	2	2560	1	1160	500	1	891	0	≤60 min	1 d
Surgeon B	2	7180	3050	2	134	0	11100	667	2	50	0	>60 min	20 d
Staff 4	2	3590	500	3	14	0	5270	409	5	3	0	≤60 min	58 d
Staff 5	2	54500	51500	124	619	0	19200	17900	38	400	0	≤60 min	na
Staff 6	2	60000	9050	659	641	0	15500	7050	264	450	0	≤60 min	na
Staff 7	2	2360	173	1	9	1	3580	541	0	1	1	≤60 min	na
Staff 8	2	116000	61400	73	3200	0	35000	15000	20	582	0	≤60 min	na
Student 17	2	5950	3820	77	195	0	2410	619	73	118	0	>60 min	na
Student 18	2	16500	4140	50	4910	0	9450	4550	38	3270	0	≤60 min	na
Student 19	2	450	450	4	2	0	1270	591	2	8	0	≤60 min	na
Student 20	2	1000	620	3	4	0	8640	3140	5	10	0	≤60 min	na
Student 21	2	9550	4410	10	873	0	8180	382	10	82	1	>60 min	na
Student 22	2	5680	1950	20	67	0	9770	4000	4.5	9	0	≤60 min	na

## Veröffentlichung

Student 23	2	2450	350	10	176	0	2330	476	10	100	0	≤60 min	na
Student 24	2	36500	7860	1	18	1	33800	7450	2	25	0	≤60 min	na
Student 25	2	11700	2000	1	2	0	8500	3090	1	4	0	≤60 min	na
Student 26	2	1640	1240	3	13	0	857	277	2	11	0	≤60 min	na
Student 27	2	42000	7140	27	71	1	16500	9080	9	40	1	≤60 min	na
Student 28	2	1550	955	30	90	0	1550	750	20	20	0	≤60 min	na
Student 29	2	3180	1910	1	35	0	3820	1760	2	68	0	≤60 min	na
Student 30	2	29200	23000	11	17	0	63300	28500	53	109	0	≤60 min	na
Student 31	2	1240	100	1	2	0	1090	100	1	2	0	≤60 min	na
Student 32	2	34100	14700	15	32	0	46900	21500	14	33	0	>60 min	na

Surgeons A and B prepared for 10 surgical interventions per study phase. In phase 1, three staff members (staff 2 – 4) participated in four, three and two surgical interventions, respectively. Students participated only once. Mean bacterial counts given were determined from colonies counted on agar plates inoculated in duplicates.

BW – before washing;

AW – after washing;

AD – after disinfection;

AS – after surgery;

ne – not evaluable;

na – not applicable, as this participant assisted in only one surgery in this phase of the study;

a – time between surgery no. 10 of study phase 1 and surgery no. 1 in phase 2

## 4 Diskussion

Die Händedesinfektion stellt die wirksamste Einzelmaßnahme zur Unterbrechung von Infektionsketten dar (PERLITZ und HÜBNER 2013, SPARKSMAN et al. 2015, HÜBNER und SCHWEBKE 2019). Keine andere Maßnahme in der Krankenhaushygiene hat einen nachweislich so enormen präventiven Nutzen und ist dabei so einfach durchzuführen (KAMPF und KRAMER 2016, HÜBNER und SCHWEBKE 2019). Ziel der chirurgischen Händedesinfektion ist die Elimination der transienten Hautflora und die größtmögliche Reduktion der residenten Mikroorganismen auf den Händen des chirurgischen Teams (KRAMER et al. 2003, HÜBNER et al. 2006, ROTTER 2008, SUCHOMEL et al. 2009, KRINKO 2018). Heutzutage werden hierfür Händedesinfektionsmittel auf alkoholischer Basis empfohlen (KAMPF et al. 2008, SUCHOMEL et al. 2009, KRINKO 2018). Grund dafür sind zahlreiche Vorteile gegenüber antiseptischen Seifen, wie die stärkere antimikrobielle Wirkung, rascher Wirkungseintritt, gute Hautverträglichkeit sowie die einfache Applikation (KAMPF et al. 2008, SUCHOMEL et al. 2009).

Hauptaspekt der vorliegenden Studie war der Wirksamkeitsvergleich der routinemäßig durchgeführten chirurgischen Händedesinfektion (Status quo) mit einem standardisierten Protokoll unter Nutzung eines alkoholischen Händedesinfektionsmittels (Sterillium®). Zum Zeitpunkt des Status quo existierte kein einheitliches Verfahren bei der chirurgischen Händedesinfektion, weder unter den Chirurgen, noch unter den Mitarbeitern der Klinik (Assistentenärzte) oder den Studenten. Die Teilnehmer wurden zuvor mittels Fragebogen über ihre Routine-Handhabung der chirurgischen Händedesinfektion befragt, wobei keiner der Teilnehmer eine Angabe über die von ihm eingehaltene Dauer der Händewaschung und -desinfektion, die praktizierte Einreibetechnik sowie das verwendete Händedesinfektionspräparat erteilen konnte. Insbesondere die teilnehmenden Studenten gaben vor Beginn der chirurgischen Händedesinfektion häufig an, Unwissenheit über das genaue Prozedere zu besitzen. Die Analyse des Status quo in Phase 1 der Studie ergab, dass die präoperative Vorbereitung unter den Teilnehmern sehr unterschiedlich war. Ähnliches wurde in einer internationalen Umfrage des European und American College of Veterinary Surgeons beschrieben (VERWILGHEN et al. 2011a). Die meisten Teilnehmer in der vorliegenden Arbeit fokussierten sich in Phase 1 hauptsächlich auf das Händewaschen (bis zu 8,4 Minuten). In Phase 2 wurde das Waschen der Hände auf eine Minute reduziert. Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Dauer des Händewaschens keinen signifikanten Einfluss auf die Keimreduktion hat (Phase 1:  $p = 0,270$ ; Phase 2:  $p = 0,031$ ) wodurch die Aussage gestützt wird, dass



präoperative Händewaschungen mit einer Dauer von maximal einer Minute ausreichend sind (PARIENTI et al. 2002, KAMPF und OSTERMEYER 2005, KRAMER et al. 2007, KAMPF und OSTERMEYER 2009, VERWILGHEN 2016). Die Händewaschung kann die bakterizide Wirkung des Desinfektionsmittels durch den Verdünnungseffekt beeinträchtigen (HÜBNER et al. 2006, LÖFFLER und KAMPF 2008, ROTTER 2008, LÖFFLER 2008). Es wird deshalb empfohlen, die Hände vor der alkoholischen Händedesinfektion nur bei einer sichtbaren Verschmutzung zu waschen (HÜBNER et al. 2006, LÖFFLER 2008, VERWILGHEN et al. 2011, AWMF 2016, KAMPF und KRAMER 2016), zumal die keimsenkende Wirkung der Händewaschung vernachlässigbar ist (HÜBNER et al. 2006, ROTTER 2008). Dabei sollte eine pH-neutrale, nicht-desinfizierende Seife für maximal 1 Minute verwendet und die Hände im Anschluss gründlich abgetrocknet werden, bevor ein alkoholisches Desinfektionsmittel angewandt wird (VERWILGHEN 2016).

Die Mehrheit der Studienteilnehmer bürstete sich in Phase 1 die Nägel, Hände und Unterarme, obwohl das Bürsten der Haut von Händen und Unterarmen bereits seit Jahren als obsolet angesehen wird (TANNER et al. 2009). Untersuchungen belegen zudem, dass das Bürsten die Wirksamkeit nicht erhöht (LOEB et al. 1997, TANNER et al. 2009) und, entgegen der Annahme die Dekontamination zu fördern, sogar zu erhöhten Keimzahlen auf den Händen führen kann (TANNER et al. 2009, KRINKO 2007). Das Bürsten schädigt zudem die Hautoberfläche und erhöht durch die Entstehung von Abschürfungen und Zunahme der Permeabilität das Risiko einer Besiedlung durch pathogene Bakterien (TANNER et al. 2009, VERWILGHEN et al. 2011). Wenn überhaupt, sollten Bürsten, besser noch Nagelreiniger, ausschließlich zur Entfernung von hartnäckigem, schwerlöslichem Schmutz unter den Nägeln angewandt werden (VERWILGHEN et al. 2011, VAH 2020).

Neben den enormen Unterschieden bezüglich der Dauer der Händewaschung und -desinfektion variierte die genutzte Menge an Desinfektionsmittel stark (4-48 ml). Kleine Volumina wie 6 ml haben abhängig von der Größe der Hände und der zu benetzenden Hautoberfläche eine schlechtere Wirksamkeit, auch wenn die Hände über eine Einwirkzeit von 3 Minuten permanent mit dem Präparat feucht gehalten werden (KAMPF und OSTERMEYER 2014). Dies suggeriert, dass höhere Desinfektionsmittelmengen benötigt werden, als durch die Herstellerangabe deklariert wird. BELLISSIMO-RODRIGUES et al. (2016) konnten entsprechend zeigen, dass mit Zunahme der Größe der Hände auch die benötigte Desinfektionsmittelmenge steigt, aber die von den meisten Herstellern deklarierte Standardmenge von 3 ml insbesondere bei großen Händen nicht ausreichend ist. Das benötigte Volumen variiert somit in Abhängigkeit von der

Größe der Hände und der Einreibzeit. In dieser Studie wurde in vorhergehenden Labortests die Gesamtmenge an Desinfektionsmittel gemessen, die benötigt wird, um die Hände 3 Minuten lang feucht zu halten. Für kleine bis mittelgroße Hände (Handschuhgrößen S, M) war eine Desinfektionsmittelmenge von ca. 12 ml und für große bis sehr große Hände (Handschuhgrößen L, XL) eine Menge von ca. 18 ml erforderlich, um eine Benetzung der gesamten Hautoberfläche zu garantieren. In der Studie von SUCHOMEL et al. (2009) waren im Durchschnitt 9 ml Sterillium® für eine Einreibzeit von 3 min zur vollständigen Benetzung der Hände notwendig.

Die ermittelten Ausgangskeimzahlen dieser Studie waren äquivalent zu anderen Berichten (PIETSCH 2001, NOPARAT et al. 2005, KAMPF und OSTERMEYER 2005, TRAUB-DARGATZ et al. 2006, KAMPF et al. 2006, VERWILGHEN et al. 2011b, BARBADORO et al. 2014, LÓPEZ-GIGOSOS et al. 2017). Dennoch könnten die anfänglichen Keimzahlen in dieser Studie unterschätzt worden sein, da die Teilnehmer in beinahe der Hälfte der Untersuchungen über eine Händewaschung und/oder Desinfektion 10 Minuten bis 1 Stunde vor der Probennahme berichteten (Tabelle S1, siehe Veröffentlichung). Vor Beginn der Probennahme wurden die Methoden zur Ermittlung der Gesamtkoloniezahl und Probennahme über einen Zeitraum von einem halben Jahr wiederholt mit Probanden aus dem Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen getestet und die Ergebnisse im Vergleich mit bereits existierender Literatur für valide befunden (TRAUB-DARGATZ et al. 2006, Verwilghen et al. 2011b, ELCE et al. 2016, BIERMANN et al. 2018). Durch das Eintauchen der Hand in 100 ml PBS, wie von TRAUB-DARGATZ et al. (2006) beschrieben, konnte die GKZ der gesamten Handoberfläche erfasst werden. Diese Methode steht im Gegensatz zu anderen Untersuchungen, bei denen ausschließlich die Fingerkuppen beprobt wurden (KAMPF et al. 2005, KAMPF und OSTERMEYER 2005, SUCHOMEL et al. 2008, KAC et al. 2009, VERWILGHEN et al. 2011b). Mithilfe dieser Methode werden auch Bereiche, die bei der Desinfektion oft außer Acht gelassen werden, wie z. B. die Fingerzwischenräume und Handrücken erfasst, was mit einer punktuellen Messung der Keimzahlen auf den Fingerkuppen nicht möglich ist. Die Einführung des Standardprotokolls führte zu einer hochsignifikanten Reduktion der Bakterienzahlen in Phase 2 (ca. 99 %,  $p < 0.001$ ) im Vergleich zum Status quo (ca. 90-91 %). Die durchschnittliche Reduktion im Status quo betrug 90,72 % (LR = 3,23) für die rechte Hand und 89,97 % (LR = 3,28) für die linke Hand im Gegensatz zu einer durchschnittlichen Reduktion von 98,85 % (LR = 3,29) für die rechte Hand und 98,92 % (LR = 3,47) für die linke Hand in Phase 2 der Studie (Abbildung 2, siehe Veröffentlichung). Diese Ergebnisse zeigen, dass bei der eigenverantwortlichen Einreibetechnik

zum Zeitpunkt Status quo keine gleichmäßige Keimreduktion an beiden Händen erreicht werden konnte. Dies konnte mittels Standardprotokoll behoben werden, da eine vergleichbare Keimreduktion zwischen der linken und rechten Hand nach der Desinfektion stattfand, was der identischen Einreibetechnik an beiden Händen zu verdanken ist. Besonders bei den Studenten konnten in Phase 2 verbesserte Resultate in der Keimreduktion erreicht werden, weshalb ein Standard beibehalten werden sollte, um die Qualität der Maßnahme zu sichern.

In dieser Studie konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die Bakteriendichte nach erfolgter chirurgischer Händedesinfektion während des Tragens der Operationshandschuhe erneut ansteigt. Dies ist in Übereinstimmung mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen (MARCHETTI et al. 2003, KAMPF et al. 2005, HÜBNER et al. 2006, ROTTER et al. 2007a,b, KAMPF et al. 2008, KAMPF und OSTERMEYER 2009, ASSADIAN et al. 2014). Durch höhere Bakterienzahlen unter dem Handschuh nimmt auch das Risiko von SSI erneut zu (KAMPF und OSTERMEYER 2009). ROTTER et al. (2007b) kamen bei ihrer Untersuchung über den Langzeiteffekt von Sterillium® zu dem Schluss, dass die mikrobielle Belastung auf den Händen 6 Stunden nach erfolgter Desinfektion immer noch signifikant unter der Ausgangskeimzahl liegt. In der vorliegenden Studie konnte die Remanenzwirkung ebenfalls beobachtet werden, da die Gesamtkeimzahl nach der OP bis auf drei Ausnahmen (2-mal Chirurg B, 1-mal Student 7) bei allen Teilnehmern unterhalb der gemessenen Ausgangskeimzahl lag. Bei Chirurg B und Student 7 lag die Keimzahl nach der OP in zwei respektive einem Fall oberhalb der Ausgangskeimzahl, wobei in allen Fällen der Handschuh perforiert war.

Es wurde ein breites Spektrum von Bakterien von den Händen isoliert, einschließlich koagulase-negativer und -positiver Staphylokokken, Streptokokken sowie *Enterobacteriaceae*. Von denjenigen Bakterien, die mit SSI bei Pferden assoziiert werden, wurden *S. aureus*, MRSA, *S. lugdunensis*, *S. pseudintermedius*, *Streptococcus equi* ssp. *zooepidemicus*, *Escherichia coli* und *Klebsiella oxytoca* detektiert (TIMONEY 2004, CLARK et al. 2008, RUSCHER et al. 2009, BÖCHER et al. 2009, PANCHAUD et al. 2010). Bei 26,2 % der Teilnehmer (11/42) wurde *S. aureus* festgestellt und 19 % (8/42) trugen MRSA an den Händen, was sich in die bisher berichteten Prävalenzen der MRSA-Besiedlung bei Pferdeterärzten eingliedert (HANSELMAN et al. 2006, ANDERSON et al. 2008, CUNY et al. 2015, KÖCK und CUNY 2020). Sieben der acht MRSA-Träger waren Studenten. Die Mehrzahl der MRSA-Stämme wurde dem *spa*-Typ t011 innerhalb des klonalen Komplexes CC398 zugeordnet. MRSA CC398 wurde mit nosokomialen Infektionen in Tierkliniken in Zusammenhang gebracht und die nasale Besiedlung des

betreuenden Personals wurde bereits thematisiert (ABDELBARY et al. 2014, CUNY et al. 2015). Die *spa*-Typ t011-Isolate konnten ferner einer Subpopulation zugeordnet werden, die mit Pferdekliniken assoziiert ist (ABDELBARY et al. 2014, CUNY et al. 2015). Das Risiko einer wechselseitigen Übertragung zwischen Pferd und Mensch und die Notwendigkeit der Einführung von Screenings wurde erst kürzlich thematisiert (CUNY et al. 2015). Die Tatsache, dass in der vorliegenden Studie MRSA überwiegend von den Händen der Studenten isoliert wurden, unterstreicht die Notwendigkeit, das Bewusstsein für die Identifizierung von MRSA-besiedelten Patienten und Umweltreservoirien, Transmissionswegen, Trennung steriler und unsteriler Bereiche und für die Händehygiene zu schärfen. Dies gilt insbesondere, da ein Chirurg der Studie wiederholt MRSA-positiv war und die Studenten im Rahmen des praktischen Jahres innerhalb verschiedener Fachbereiche und Kliniken rotieren und damit zu einer Übertragung beitragen können. Zu den möglichen Gründen für eine wiederholte MRSA-Isolierung von den Händen eines Teilnehmers könnte eine nasale MRSA-Kolonisation dieses Teilnehmers gehören, aber auch eine MRSA-Kolonisation von unmittelbar vor der Probennahme untersuchten oder behandelten Pferden, sowie eine Kontamination von Geräten oder Oberflächen in der Klinik oder den Büroräumen (bspw. PC-Tastaturen). Die nasale Kolonisation mit MRSA von Pferden und Personal wurde im Rahmen dieser Studie nicht untersucht. Die Händehygiene hat nachweislich einen großen Einfluss auf die Verhinderung der MRSA-Kolonisierung beim tierärztlichen Personal (ANDERSON et al. 2008, WEESE et al. 2006, WIELER et al. 2011). Wie PITTET et al. (2000) und SROKA et al. (2010) bestätigten, ist eine gesteigerte Nutzung alkoholischer Händedesinfektionsmittel mit einer signifikanten Reduktion der MRSA-Rate assoziiert. Die Größe des Datensatzes dieser Studie ist allerdings nicht ausreichend, um eine statistische Analyse des Einflusses der chirurgischen Händedesinfektion mittels Sterillium® auf die Reduktion bzw. Eliminierung von MRSA zu erlauben. Mit der standardisierten Technik konnten MRSA zumindest nach der Desinfektion nicht mehr von den Händen isoliert werden, was die Aussage von PITTET et al. (2000) und SROKA et al. (2010) unterstützen könnte. Die Vielzahl anderer, oben genannter (fakultativ) pathogener und auch zoonotischer Bakterien, die bei den verschiedenen Schritten der Probennahme isoliert wurden, unterstreicht die Notwendigkeit einer adäquaten Händehygiene – und zwar nicht nur im Sinne der Vorbereitung auf eine Operation.

Die Mehrheit (66 %) der Spezialisten für Pferdechirurgie orientiert sich in der Praxis nicht an etablierten Standardprotokollen zur chirurgischen Händedesinfektion, bei welchen alkoholische Händedesinfektionsmittel als Mittel der Wahl gelten (VERWILGHEN 2015). Alkoholische

Desinfektionsmittel werden in der Regel gut vertragen. Grund für die mangelnde Compliance im Einsatz von alkoholischen Desinfektionsmitteln dürfte sein, dass die Anwendung alkoholischer Einreibepreparate auf geschädigter Haut zu einem Brennen und Hautreizungen führen können (BOYCE 2003, LÖFFLER 2008, VISSCHER und RANDALL WICKETT 2012, VERWILGHEN 2016). Auch in dieser Studie berichteten einige Teilnehmer von einem unangenehmen Brennen beim Auftragen von Sterillium®. Ursache dessen ist jedoch eine bereits vorgeschädigte Haut (BOYCE 2003, LÖFFLER 2008, HÜBNER und SCHWEBKE 2019). Das Brennen nach dem Auftragen des Alkohols kann somit als Indikator der Intaktheit der Haut gesehen werden (LÖFFLER 2008). Ursächlich hierfür sind häufige Händewaschungen oder das Bürsten der Haut, welche die epidermale Barriere schädigen und zur Austrocknung der Haut führen (LÖFFLER 2008, VERWILGHEN et al. 2011a). Durch mangelhafte Aufklärung und Schulung von Mitarbeitern entsteht jedoch die fälschliche Annahme, dass die alkoholischen Desinfektionsmittel für das Brennen beim Auftragen und die Hautschädigungen verantwortlich sind (LÖFFLER 2008). Das Resultat dessen ist, dass die Hände im Alltag weniger desinfiziert werden zugunsten einer gesteigerten Waschfrequenz, wodurch sich die bereits bestehenden Hautirritationen allerdings noch weiter verstärken (LÖFFLER 2008). Häufige Händewaschungen hemmen die Regeneration des oberflächlichen Hautfilms und führen so zur Schädigung des *Stratum corneum* (DE ALMEIDA E BORGES et al. 2007, VERWILGHEN et al. 2011). Mikroorganismen können sich in der Folge leichter in den Hautschichten ansiedeln und die Desinfektionsmaßnahme überleben (LÖFFLER 2008). Wie Studien beweisen, ist die Bakteriendichte daher bei Handekzemen deutlich höher als auf intakter Haut (DE ALMEIDA E BORGES et al. 2007, LÖFFLER 2008). In dieser Studie wurden für die linke Hand des Chirurgen A höhere Keimzahlen erfasst als für die rechte Hand. Der Vergleich des Hautzustandes der beiden Hände ergab, dass die Haut der linken Hand trocken, squamös und rissig war. Die wiederholte Isolierung von *Citrobacter koseri* von der linken Hand des Chirurgen A zeigt auf, dass regelmäßige Hautpflege ausschlaggebend ist, um die natürliche Hautbarriere aufrechtzuerhalten und die Besiedlung mit (fakultativ) pathogenen Bakterien zu verhindern. Insofern spielt die Erhaltung der Intaktheit der Haut nicht nur aus Arbeitsschutzgründen eine Rolle, sondern auch aus hygienischer Sicht. Die Vorteile einer Händedesinfektion mit alkoholischen Einreibepreparaten gegenüber einer Händewaschung liegen in ihrer effizienten und raschen antimikrobiellen Wirkung und damit zudem in der Zeiteinsparung (ROTTER 2008).

Im Berufsalltag sind die Angewohnheiten bei der Händehygiene häufig so antrainiert, dass eine Änderung des Verhaltens bei langjährigen Mitarbeitern vermutlich sehr schwer umzusetzen ist (LÖFFLER 2008). Daher muss die Aufklärung über den richtigen Umgang mit Händehygiene (einminütige Händewaschung bei sichtbarer Verschmutzung, Verwendung alkoholischer Desinfektionsmittel, regelmäßiger Hautschutz und -pflege) schon während der Berufsausbildung erfolgen (LÖFFLER 2008). Die Grundlage sollten z. B. die WHO-Richtlinien für die Händehygiene bilden (WHO 2009). Ein standardisiertes Protokoll, bspw. mit Bildern zur Einreibetechnik und einer Stopp- oder Sanduhr, besonders für Auszubildende, Praktikanten und Studenten, mit wenig Erfahrung in der präoperativen Vorbereitung, ist sehr zu empfehlen.

Bei 54 % der von Chirurgen verwendeten und bei 39 % der bei invasiven Eingriffen verwendeten Handschuhe trat eine Handschuhperforation auf. Somit waren invasive Verfahren im Vergleich zu minimal invasiven Verfahren und die Funktion als Chirurg im Vergleich zu den Assistenten mit einem höheren Risiko von Handschuhperforation assoziiert. Diese Erkenntnisse stimmen mit den Resultaten anderer Untersuchungen überein (THOMAS et al. 2001, LAINE und AARNIO 2001, CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, PARTECKE et al. 2009, HAYES et al. 2014, TURK et al. 2015, ELCE et al. 2016, MEAKIN et al. 2016, HAYES et al. 2017, BIERMANN et al. 2018). Als Ursache größerer Perforationsraten bei invasiven Eingriffen wird die durch die Operationstechnik bedingte stärkere Manipulation im Gewebe und das erhöhte Instrumentenhandling genannt, sowie spezielle Aspekte in der Großtierchirurgie wie dem größeren manuellen Kraftaufwand, Manipulationen in der Tiefe der Körperhöhle mit eingeschränkter Sicht oder Wundverschlüsse der Bauchhöhle mit großen Nadeln und stärkerem Nahtmaterial (BIERMANN et al. 2018). Bei den Chirurgen führt das stärkere Instrumentenhandling und die im Vergleich zu den Assistenten höhere Manipulation im Operationsgebiet zu einem erhöhten Risiko für Handschuhdefekte (LAINE und AARNIO 2001, MEAKIN et al. 2016, ELCE et al. 2016). Im Vergleich zu den Chirurgen (54 %) lag die Handschuhperforationsrate der Assistenten (Klinikmitarbeiter und Studenten) bei 17 %. Die Studenten reichten dem Operateur Instrumente an und waren somit weniger aktiv an der Operation beteiligt, was das Risiko einer Handschuhperforation minimiert. Insgesamt betrachtet lag die Handschuhperforationsrate in dieser Studie bei 34 %, was das Ergebnis der auf Handschuhperforationen in der Pferdechirurgie bezogenen Studie von ELCE et al. (2016) übersteigt (22,4 % Perforationsrate). Allerdings dürfte das Resultat bei letzterer unterschätzt worden sein, da während der Operation bemerkte Handschuhperforationen aus der Studie

ausgeschlossen wurden und daher nicht in die Rate eingeflossen sind (ELCE et al. 2016). Unterschiede in den Handschuhperforationsraten, die mit dem Material der Handschuhe (d. h. Latexhandschuhe gegenüber latexfreien Handschuhen) zusammenhängen, konnten aufgrund der zu geringen Anzahl an Probanden mit Nutzung latexfreier Handschuhe ( $n = 1$ , Chirurg B) nicht ausgewertet werden. Es existieren jedoch Hinweise in der Literatur, dass bei Verwendung latexfreier Handschuhe aus Polyisopren ein höheres Perforationsrisiko als bei Latexhandschuhen besteht (HAYES et al. 2014).

Interessanterweise wurde für die linke Hand eine signifikante Zunahme ( $p = 0.027$ ) der Keimzahlen in Abhängigkeit von der Dauer der Operation und dem Auftreten einer Handschuhperforation festgestellt. Mit steigender Handschuh-Tragedauer konnte ein Anstieg der Perforationsrate beobachtet werden. In Übereinstimmung mit anderen Studien zu dieser Thematik führten chirurgische Eingriffe von  $\leq 60$  min zu einer geringeren Anzahl an Handschuhperforationen im Vergleich zu Interventionen mit einer Dauer von  $> 60$  min (CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, HAYES et al. 2014, ELCE et al. 2016, HAYES et al. 2017, BIERMANN et al. 2018). Aus der Literatur geht hervor, dass die Mehrheit der Perforationen an der nicht-dominanten (meist der linken) Hand entsteht (CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, PARTECKE et al. 2009, HARNOß et al. 2010, HÜBNER et al. 2010, ELCE et al. 2016, BIERMANN et al. 2018). Eine mögliche Erklärung hierfür könnte sein, dass der nicht-dominanten Hand Nadelstiche oder andere Traumata durch das Instrumentenhandling der dominanten Hand zugefügt werden (CHARACTER et al. 2003, ELCE et al. 2016). Dagegen existieren Untersuchungen, in denen keine signifikant höhere Perforationsrate bei der nicht-dominanten Hand nachgewiesen werden konnte (EGELER et al. 2016, MEAKIN et al. 2016, HAYES et al. 2017). Um Lücken in der Infektionsprävention durch defekte Handschuhe zu verhindern, wird für die Veterinärmedizin ein periodischer Handschuhwechsel alle 60 Minuten während der Operation empfohlen (CHARACTER et al. 2003, HAYES et al. 2017, BIERMANN et al. 2018). Jedoch wird diese Empfehlung in der Praxis zumeist nicht umgesetzt (PARTECKE et al. 2009), was auch den Beobachtungen dieser Studie entspricht. Einige Autoren empfehlen als Alternative zum Handschuhwechsel das double-gloving (THOMAS et al. 2001, CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, HAYES et al. 2014, EGELER et al. 2016, MEAKIN et al. 2016, HAYES et al. 2017, KRINKO 2018). Die Autorin dieser Arbeit ist der Ansicht, dass double-gloving für Operationen mit  $> 60$  min Dauer und für besonders invasive Eingriffe (wie z. B. orthopädische Operationen) ratsam im Hinblick auf die Minimierung der Prävalenz von Handschuhdefekten

sein kann. Eine weitere Möglichkeit wäre das Tragen von Handschuhen mit verstärktem Material, die speziell für die Durchführung orthopädischer Eingriffe entwickelt wurden (CHARACTER et al. 2003, HAYES et al. 2014, EGELER et al. 2016, HAYES et al. 2017). Allerdings sind diese Spezialhandschuhe oft um ein Vielfaches kostenintensiver als herkömmliche OP-Handschuhe, bieten dafür aber einen höheren Tragekomfort als doppelt angelegte Handschuhe und gewährleisten zudem die Fingerfertigkeit und das Gefühlsempfinden (EGELER et al. 2016, HAYES et al. 2017). Die Perforationsraten bei der Anwendung von double-gloving und der Nutzung orthopädischer Handschuhe sind geringer als beim Tragen einzelner Standard-OP-Handschuhe (LAINE und AARNIO 2001, YINUSA et al. 2004, EGELER et al. 2016, MEAKIN et al. 2016). Bei Einzelhandschuhen traten verglichen mit dem double-gloving 4-mal häufiger Perforationen auf (MEAKIN et al. 2016). Die häufigsten Lokalisationen für Handschuhperforationen stellten der Zeigefinger und Daumen dar, was konform zu den Ergebnissen anderer Untersuchungen ist (LAINE und AARNIO 2001, CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, PARTECKE et al. 2009, HARNOß et al. 2010, HÜBNER et al. 2010, EGELER et al. 2016, BIERMANN et al. 2018). Der zur Bewertung in unserer Studie verwendete Wasser-Leck-Test (WLT) wird in den meisten Studien zur Untersuchung der Perforationsrate von Handschuhen verwendet (LAINE und AARNIO 2001, CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, HAYES et al. 2014, EGELER et al. 2016, MEAKIN et al. 2016, ELCE et al. 2016, HAYES et al. 2017, BIERMANN et al. 2018). Der modifizierte Wasser-Leck-Test (zusätzliche Anfärbung der Flüssigkeit) ermöglicht es zwar, die Lokalisation eines Handschuhdefekts zu bestimmen, allerdings könnte trotz Nutzung dieser Methode die Anzahl der detektierten Perforationen noch unterschätzt worden sein (BIERMANN et al. 2018, ELCE et al. 2016, YINUSA et al. 2004). Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit (ECT, electroconductivity testing) beruht auf einer Verringerung des elektrischen Widerstands bei einer Leckage im Handschuh und ist verglichen mit der Wasser-Leck-Methode sensitiver und zuverlässiger (CHARACTER et al. 2003, BIERMANN et al. 2018). Bei der Untersuchung von BIERMANN et al. (2018) wurden beide Methoden zur Identifikation von Handschuhperforationen angewandt, wobei 64 % der Perforationen sowohl mit dem WLT als auch mit dem ECT nachgewiesen werden konnten; die übrigen 36 % konnten allerdings nur mit dem ECT festgestellt werden. Demnach können mit der ECT-Methode auch sehr kleine, visuell nicht sichtbare Perforationen identifiziert werden; eine exakte Lokalisation der Perforationsstellen ist mit dieser Methode jedoch nicht möglich (CHARACTER et al. 2003, BIERMANN et al. 2018). Aus diesem Grund wurde in dieser Studie der WLT angewandt. Die hohe Anzahl an unbemerkten Perforationen (85 %) steht in Übereinstimmung mit den



Ergebnissen aus weiterer Literatur (THOMAS et al. 2001, LAINE und AARNIO 2001, CHARACTER et al. 2003, YINUSA et al. 2004, HARNOS et al. 2010, HAYES et al. 2014, EGELER et al. 2016, HAYES et al. 2017, BIERMANN et al. 2018). Unbemerkte Handschuhperforationen erhöhen das Potential für SSI. Der Zusammenhang zwischen dem Auftreten von Handschuhperforationen und der Prävalenz von SSI wurde in dieser Studie nicht untersucht, da die Anzahl der Pferde, die eine SSI entwickelten, zu gering ausfiel ( $n = 1$ ). Ein limitierender Faktor für die vorliegende Studie ist die fehlende Aufzeichnung antibiotischer Vorbehandlungen der Patienten, welche möglicherweise zu einer Unterschätzung der resultierenden SSI-Rate geführt haben könnte. Darüber hinaus fehlten Daten zum Auftreten von SSI, welche nach der Entlassung ggf. durch den Haustierarzt behandelt und nicht in der klinischen Akte dokumentiert wurden.

Die hier vorgestellte Studie hat folgende Limitation: Die Probennahmen wurden in den regulären Tagesablauf einer Pferdeklinik eingebunden. Aus diesem Grund wurde auf die Zugabe eines Neutralisationsmittels in die Probensammelflüssigkeit verzichtet, da die Residualwirkung des Desinfektionsmittels bei der chirurgischen Händedesinfektion erwünscht ist (BIERMANN et al. 2019). Dies könnte zu einer Überschätzung der Desinfektionswirkung geführt haben und kann als eine wesentliche Einschränkung der Studie angesehen werden. Da alle Teilnehmer Sterillium® verwendeten und die Probennahme sowie die Probenaufbereitung einheitlich durchgeführt wurden, wäre jedoch eine Verzerrung für alle Ergebnisse identisch.

Die chirurgische Händedesinfektion ist eine simple und effektive Maßnahme zur Prävention nosokomialer Infektionen, welche zu einer vorhersagbaren Keimzahlreduktion führt, wenn sie im Alltag korrekt durchgeführt wird (LÖFFLER 2008, HÜBNER und SCHWEBKE 2019). Entscheidend für das Erreichen der deklarierten Wirkung sind die Verwendung einer für die Größe der Hände ausreichenden Desinfektionsmittelmenge, die Einreibetechnik zur Vermeidung von Benetzungslücken, die Einwirkzeit und indessen die permanente Feuchthaltung der Hände mit dem Präparat, der Hautzustand und die regelmäßige Pflege dessen (HÜBNER und SCHWEBKE 2019). Alle Faktoren, die den Erfolg der Desinfektion negativ beeinflussen könnten, sollten ausgeschaltet werden. Regelmäßige Hautpflege beugt nicht nur toxisch-irritativen Hautschäden vor, sondern steigert durch das subjektive Wohlbefinden zugleich die Compliance bei der Durchführung der Händedesinfektion (HEEG 2003, KRINKO 2007). Regelmäßige Schulungen für Mitarbeiter und Studenten über die Zusammenhänge, wissenschaftliche Datenlage und die Aufklärung über Fehlannahmen zur Händedesinfektion bilden den Grundstein für eine verbesserte Infektionsprävention und sollten auch Bestandteil des

Qualitätsmanagements an Tierkliniken sein. Die Compliance des Personals hat enormen Einfluss auf die korrekte Anwendung und somit auf die Wirksamkeit des Desinfektionsmittels. Die Implementierung von Hygieneplänen und die konsequente Umsetzung der entsprechenden Hygienemaßnahmen spielen eine essentielle Rolle in der Infektionsprävention. Der Aspekt des Vergleichs der "Routine-Praxis" bei der chirurgischen Händedesinfektion mit einem standardisierten Protokoll ist nach Ansicht der Autorin bisher nicht untersucht worden. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Einführung und strikte Einhaltung eines standardisierten Protokolls die Wirksamkeit der Händedesinfektion maßgeblich verbessert und damit möglicherweise auch das Risiko einer wechselseitigen Übertragung von Krankheitserregern verringert.

## 5 Zusammenfassung

Tina Rocktäschel

### **Optimierung der chirurgischen Händedesinfektion in einer Pferdeklinik: Einfluss der Durchführungstechnik auf die Keimreduktion**

Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen und Klinik für Pferde,  
Veterinärmedizinische Fakultät, Universität Leipzig

Eingereicht im März 2021

64 Seiten, 1 Tabelle, 125 Literaturangaben

Schlüsselwörter: Chirurgische Händedesinfektion, Keimreduktion, methicillinresistenter *Staphylococcus aureus* (MRSA), Handschuhperforation, Pferdechirurgie, postoperative Wundinfektion

**Einleitung:** Die Hände des medizinischen Personals gelten als wichtigste Übertragungsquelle von Krankheitserregern. Methicillin- und multiresistente Erreger stellen die Tiermedizin vor besondere Herausforderungen und limitieren therapeutische Optionen. Obwohl die chirurgische Händedesinfektion einen wichtigen und alltäglichen Bestandteil der Infektionsprävention darstellt, scheinen die Grundkenntnisse hierüber selbst bei chirurgischen Fachtierärzten gering zu sein. Studien haben gezeigt, dass 66 % der Chirurgen sich nicht an etablierte Standardprotokolle halten. Neben der Händedesinfektion stellen sterile OP-Handschuhe eine zusätzliche Barriere für die Übertragung von Bakterien dar. Allerdings sind perforierte Handschuhe mit einem höheren Risiko für postoperative Infektionen (SSI) verbunden, wobei die SSI-Rate in der Pferdechirurgie bis über 60 % reicht.

**Ziele der Untersuchungen:** Die Hauptziele dieser Arbeit lagen in der Erhebung der individuellen Gewohnheiten bei der Durchführung der chirurgischen Händedesinfektion in einer Pferdeklinik (Phase 1) und dem Vergleich der Keimreduktion mit einem Standardprotokoll (Phase 2). Ferner wurden die Proben auf Bakterienspezies gescreent, die SSI induzieren können. Darüber hinaus wurde die Rate von Handschuhperforationen bestimmt.

**Material und Methoden:** Die Observation der individuellen Gewohnheiten (Phase 1) umfasste die Dauer der Händewaschung und -desinfektion, die genutzte Desinfektionsmittelmenge und

die Verwendung von Bürsten. Das Standardprotokoll in Phase 2 beinhaltete eine 1-minütige Händewaschung mit flüssiger, pH-neutraler Seife ohne Bürsten und die Händedesinfektion über 3 Minuten. Alle Teilnehmer (2 Chirurgen, 8 Klinikmitarbeiter, 32 Studenten) verwendeten Sterillium® für die Händedesinfektion. Die Gesamtkeimzahlen wurden jeweils vor und nach dem Händewaschen, nach der Desinfektion und nach der Operation bestimmt. Zur Probennahme wurden die Hände für 1 Minute in 100 ml sterile phosphatgepufferte Lösung getaucht und die Bakterienkulturen auf Columbia-Schafblutagar angezchtet. Die Bakterienkolonien wurden manuell ausgezählt und die Bakterienspezies mittels MALDI-TOF identifiziert. Die Handschuhe wurden postoperativ mit einem modifizierten Wasser-Leck-Test auf Perforationen untersucht.

**Ergebnisse:** In Phase 1 und Phase 2 wurden 46 bzw. 41 Händedesinfektionen durchgeführt. Die individuellen Gewohnheiten unterschieden sich deutlich zwischen den Teilnehmern hinsichtlich der Dauer des Händewaschens (bis zu 8 min) und der Desinfektion, sowie der Menge des verwendeten Desinfektionsmittels (bis zu 48 ml). Die Dauer des Händewaschens in Phase 1 und 2 zeigte keinen statistisch signifikanten Effekt auf die Bakterienreduktion. Bei Verwendung des Standardprotokolls war die Reduktion der Keimzahlen nach der Desinfektion im Vergleich zur täglichen Routine signifikant höher ( $p < 0.001$ ). Die mittlere Reduktion in Phase 1 betrug 90,72 % (LR = 3,23; rechte Hand) und 89,97 % (LR = 3,28; linke Hand) im Vergleich zu 98,85 % (LR = 3,29; rechte Hand) und 98,92 % (LR = 3,47; linke Hand) in Phase 2. Bei acht Teilnehmern (19 %) wurde MRSA (*spa* Typ t011, CC398) nachgewiesen. Die MRSA-Isolate konnten ferner einer Subpopulation zugeordnet werden, die besonders mit Pferdekliniken assoziiert wurde (hauptsächlich t011, ST398, Gentamicin-resistent). Handschuhperforationen traten bei 54 % (Chirurgen) bzw. 17 % (Assistenten) der Handschuhe auf, wobei eine höhere Prävalenz bei invasiven Eingriffen und Operationen mit einer Dauer von > 60 Minuten vorlag. Die Mehrheit (85 %) der Perforationen blieben vom Operationsteam unbemerkt, wobei Zeigefinger und Daumen die am häufigsten punktierten Stellen waren. Insgesamt nahmen die Bakterienzahlen an den Händen im Laufe der Zeit erneut zu, insbesondere wenn eine Handschuhperforation auftrat.

**Schlussfolgerung:** Die Einhaltung eines Standardprotokolls nach neuestem Stand der Wissenschaft trägt zu einer quantitativ höheren und gleichmäßigeren Keimreduktion beider Hände bei. Die Implementierung eines standardisierten Händedesinfektionsplans sichert die Qualität der aseptischen Maßnahme und ist besonders für die Ausbildung und Schulung von Studenten mit geringer chirurgischer Erfahrung unerlässlich.

## 6 Summary

Tina Rocktäschel

### **Optimization of surgical hand disinfection in an equine clinic: Influence of disinfection technique on germ reduction**

Institute of Animal Hygiene and Veterinary Public Health and Department for Horses, Faculty of Veterinary Medicine, Leipzig University

Submitted in March 2021

64 pages, 1 table, 125 references

Keywords: surgical hand disinfection, germ reduction, methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA), glove perforation, equine surgery, surgical site infection

**Introduction:** Hands of medical personnel are considered the most important source of pathogen transmission. Methicillin- and multiresistant strains of pathogens provide particular challenges to veterinary medicine and limit therapeutic options. Surgical hand disinfection is a major aspect of infection prevention, but basic knowledge seems to be low, even among specialized veterinary surgeons. Studies revealed that 66 % of surgeons do not adhere to established standard protocols. Besides hand disinfection, sterile surgical gloves provide an additional barrier to the transmission of bacteria. However, perforated gloves are associated with a higher risk of surgical site infections (SSI), with an SSI rate in equine surgery exceeding 60 %.

**Objective:** The major objectives were to assess current habits for presurgical hand preparation (phase 1) among personnel in a veterinary equine hospital and to compare the effectiveness in reducing bacteria from hands with a standardized protocol (phase 2). Moreover, samples were screened for bacteria known to cause surgical site infection. The rate of glove perforation was determined, additionally.

**Material and methods:** Individual habits were recorded with regards to the time taken for washing and disinfecting hands, the amount of disinfectant used, as well as the usage of brushes (Phase 1). In contrary to the personal habits, the applied standardized protocol (Phase 2) defined washing hands for 1 minute with liquid neutral soap without brushing and disinfection for

## Summary

3 minutes. All participants (2 surgeons, 8 clinic members, 32 students) used Sterillium® for disinfection. Total bacterial counts were determined before and after hand washing, after disinfection and after surgery. In brief, hands were immersed in 100 ml sterile phosphate-buffered saline for 1 minute and cultures were inoculated onto Columbia sheep blood agar using the spread-plate method. Bacterial colonies were manually counted. Surgical gloves were investigated for perforations after surgery using a modified water leak test.

**Results:** Forty-six and 41 hand disinfection preparations were carried out during phase 1 and phase 2, respectively. Individual habits differed distinctly between participants regarding the duration of handwashing (up to 8 min) and disinfection as well as the amount of disinfectant used (up to 48 ml). The duration of hand washing in phase 1 and 2 revealed no statistically significant effect on reducing bacteria. In contrary, using the standardized protocol in phase 2, reduction in bacterial numbers after disinfection was significantly higher ( $p < 0.001$ ) compared to current habits. The mean reduction in phase 1 was 90.72 % (LR = 3.23; right hand) and 89.97 % (LR = 3.28; left hand) compared to 98.85 % (LR = 3.29; right hand) and 98.92 % (LR = 3.47; left hand) in phase 2. Eight participants (19 %) carried MRSA (*spa* type t011, CC398) which is well established as a nosocomial pathogen in veterinary clinics. The isolates were further assigned to a subpopulation which is particularly associated with equine clinics (mainly t011, ST398, gentamicin-resistant). Glove perforation occurred in 54 % (surgeons) and 17 % (assistants) of gloves, respectively, with a higher number in invasive procedures and operations lasting > 60 minutes. The majority (85 %) of perforations was unnoticed by the surgical team, with index fingers and thumbs most frequently affected. Overall, bacterial numbers on hands mainly increased over time during surgery, especially when glove perforation occurred.

**Conclusion:** Adherence to state-of-the-art standardized protocols contributes to a quantitatively higher and constant germ reduction on both hands. The implementation of a standardized hand disinfection protocol ensures a high quality of aseptic measures and is essential for the education and training of students with little surgical experience.

**7 Literaturverzeichnis**

Abdelbary MM, Wittenberg A, Cuny C, Layer F, Kurt K, Wieler LH, Walther B, Skov R, Larsen J, Hasman H, Fitzgerald JR, Smith TC, Wagenaar JA, Pantosti A, Hallin M, Struelens MJ, Edwards G, Böse R, Nübel U, Witte W. Phylogenetic analysis of *Staphylococcus aureus* CC398 reveals a sub-lineage epidemiologically associated with infections in horses. *PLoS One*. 2014;9(2):e88083. DOI: 10.1371/journal.pone.0088083

Anderson ME, Lefebvre SL, Weese JS. Evaluation of prevalence and risk factors for methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* colonization in veterinary personnel attending an international equine veterinary conference. *Vet Microbiol*. 2008;129(3-4):410-7.

Anon. Alkoholische Hände-Desinfektionsmittel. 2020a (zitiert vom 22.01.2020):1-12, <<https://produktkatalog.bode-chemie.de/produkte/haende/produktblaetter/sterillium.pdf>>.

Anon. Händehygiene. 2020b (zitiert vom 28.01.2020), <<https://www.bbraun.de/de/produkte-und-therapien/hygiene/haendehygiene.html#>>.

Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften e.V. (AWMF) 2016. Leitlinien zur Hygiene in Klinik und Praxis. Händedesinfektion und Händehygiene (zitiert vom 22.01.2020):1-15, <[https://www.awmf.org/uploads/tx\\_szleitlinien/029-027l\\_S2k\\_Haendedesinfektion\\_Haendehygiene\\_2016-08.pdf](https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/029-027l_S2k_Haendedesinfektion_Haendehygiene_2016-08.pdf)>.

Assadian O, Kramer A, Ouriel K, Suchomel M, McLaws M-L, Rottman M, Leaper D, Assadian A. Suppression of surgeons' bacterial hand flora during surgical procedures with a new antimicrobial surgical glove. *Surg Infect (Larchmt)*. 2014;15(1):43-9.

Barbadoro P, Martini E, Savini S, Marigliano A, Ponzio E, Prospero E, D'Errico MM. In vivo comparative efficacy of three surgical hand preparation agents in reducing bacterial count. *J Hosp Infect*. 2014;86(1):64-7.

Bellissimo-Rodrigues F, Soule H, Gayet-Ageron A, Martin Y, Pittet D. Should Alcohol-Based Handrub Use Be Customized to Healthcare Workers' Hand Size? *Infect Control Hosp Epidemiol*. 2016;37(2):219-21.

Biermann NM, McClure JT, Sanchez J, Doyle AJ. Observational study on the occurrence of surgical glove perforation and associated risk factors in large animal surgery. *Vet Surg*. 2018;47(2):212-8.

Biermann NM, McClure JT, Sanchez J, Saab M, Doyle AJ. Prospective, randomised clinical trial of four different presurgical hand antiseptic techniques in equine surgery. *Equine Vet J*. 2019;51(5):600-5.

Böcher S, Tønning B, Skov RL, Prag J. *Staphylococcus lugdunensis*, a common cause of skin and soft tissue infections in the community. *J Clin Microbiol*. 2009;47(4):946-50.

Boyce JM. Hautverträglichkeit. In: Kampf G, Hrsg. *Hände-Hygiene im Gesundheitswesen*. 1. Aufl. Berlin: Springer Verlag; 2003. p. 175-192.

Character BJ, McLaughlin RM, Hedlund CS, Boyle CR, Elder SH. Postoperative integrity of veterinary surgical gloves. *J Am Anim Hosp Assoc*. 2003;39(3):311-20.

Christley RM, Hodgson DR, Rose RJ, Wood JL, Reids SW, Whitear KG, Hodgson JL. A case-control study of respiratory disease in Thoroughbred racehorses in Sydney, Australia. *Equine Vet J*. 2001;33(3):256-64.

Clark C, Greenwood S, Boison JO, Chirino-Trejo M, Dowling PM. Bacterial isolates from equine infections in western Canada (1998-2003). *Can Vet J*. 2008;49(2):153-60.

Cuny C, Abdelbary MMH, Köck R, Layer F, Scheidemann W, Werner G, Witte W. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* from infections in horses in Germany are frequent colonizers of veterinarians but rare among MRSA from infections in humans. *One Health*. 2015;2:11-7.

da Silveira EA, Bubeck KA, Batista ER, Piat P, Laverty S, Beauchamp G, Archambault M, Elce Y. Comparison of an alcohol-based hand rub and water-based chlorhexidine gluconate scrub technique for hand antisepsis prior to elective surgery in horses. *Can Vet J*. 2016;57(2):164-8.

de Aceituno AF, Bartz FE, Hodge DW, Shumaker DJ, Grubb JE, Arbogast JW, Dávila-Aviña J, Venegas F, Heredia N, García S, Leon JS. Ability of Hand Hygiene Interventions Using Alcohol-Based Hand Sanitizers and Soap To Reduce Microbial Load on Farmworker Hands Soiled during Harvest. *J Food Prot*. 2015;78(11):2024-32.



de Almeida e Borges LF, Silva BL, Gontijo Filho PP. Hand washing: changes in the skin flora. *Am J Infect Control.* 2007;35(6):417-20.

Egeler K, Stephenson N, Stanke N. Glove perforation rate with orthopedic gloving versus double gloving technique in tibial plateau leveling osteotomy: A randomized trial. *Can Vet J.* 2016;57(11):1156-60.

Eklund AM, Ojajärvi J, Laitinen K, Valtonen M, Werkkala KA. Glove punctures and postoperative skin flora of hands in cardiac surgery. *Ann Thorac Surg.* 2002;74(1):149-53.

Elce YA, Lavery S, Almeida da Silveira E, Piat P, Trencart P, Ruzickova P, Reardon RJM. Frequency of Undetected Glove Perforation and Associated Risk Factors in Equine Surgery. *Vet Surg.* 2016;45(8):1066-70.

Fischer J, Hille K, Mellmann A, Schaumburg F, Kreienbrock L, Köck R. Low-level antimicrobial resistance of Enterobacteriaceae isolated from the nares of pig-exposed persons. *Epidemiol Infect.* 2016;144(4):686-90.

Gastmeier P. Definitionen, Ursachen, Epidemiologie und Surveillance von NI. In: Kramer A, Assadian O, Exner M, Hübner NO, Simon A, Hrsg. Krankenhaus- und Praxishygiene: Hygienemanagement und Infektionsprävention in medizinischen und sozialen Einrichtungen. 3. Aufl. München: Urban & Fischer Verlag; 2016. p. 164-182.

Gebel J, Carter A. Vorbedingungen für und Anforderungen an die Reinigung und Desinfektion. In: Kramer A, Assadian O, Exner M, Hübner NO, Simon A, Hrsg. Krankenhaus- und Praxishygiene: Hygienemanagement und Infektionsprävention in medizinischen und sozialen Einrichtungen. 3. Aufl. München: Urban & Fischer Verlag; 2016. p. 24-29.

Gebel J, Kirsch-Altena A, Exner M. Anforderungen an die Wirksamkeit (EN). In: Kampf G, Hrsg. Hände-Hygiene im Gesundheitswesen. 1. Aufl. Berlin: Springer Verlag; 2003. p. 65-70.

Gebel J, Kirsch-Altena A, Exner M, Schwebke I. Prüfung der Wirksamkeit chemischer Desinfektionsmittel. In: Kramer A, Assadian O, Hrsg. Wallhäußers Praxis der Sterilisation, Desinfektion, Antiseptik und Konservierung. Qualitätssicherung der Hygiene in Industrie, Pharmazie und Medizin. 1. Aufl. Stuttgart: Thieme Verlag; 2008. p. 601-609.

Hanselman BA, Kruth SA, Rousseau J, Low DE, Willey BM, McGeer A, Weese JS. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* colonization in veterinary personnel. *Emerg Infect Dis.* 2006;12(12):1933-8.

Harnoß JC, Partecke LI, Heidecke CD, Hübner NO, Kramer A, Assadian O. Concentration of bacteria passing through puncture holes in surgical gloves. *Am J Infect Control.* 2010;38(2):154-8.

Hauschild G, Nolte I. Erreger und Erregerreservoir nosokomialer Infektionen. In: Dietz O, Litzke L-F, Hrsg. *Lehrbuch der Allgemeinen Chirurgie für Tiermediziner.* 6. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2004. p. 63-65.

Hayes GM, Reynolds D, Moens NM, Singh A, Oblak M, Gibson TW, Brisson BA, Nazarali A, Dewey C. Investigation of incidence and risk factors for surgical glove perforation in small animal surgery. *Vet Surg.* 2014;43(4):400-4.

Hayes G, Singh A, Gibson T, Moens N, Oblak M, Ogilvie A, Reynolds D. Influence of orthopedic reinforced gloves versus double standard gloves on contamination events during small animal orthopedic surgery. *Vet Surg.* 2017;46(7):981-5.

Heeg P. Hautpflege und Händedesinfektion. In: Kampf G, Hrsg. *Hände-Hygiene im Gesundheitswesen.* 1. Aufl. Berlin: Springer Verlag; 2003. p. 193-199.

Hübner NO, Goerdt AM, Stanislawski N, Assadian O, Heidecke CD, Kramer A, Partecke LI. Bacterial migration through punctured surgical gloves under real surgical conditions. *BMC Infect Dis.* 2010;10:192. DOI:10.1186/1471-2334-10-192

Hübner NO, Kampf G, Kamp P, Kohlmann T, Kramer A. Does a preceding hand wash and drying time after surgical hand disinfection influence the efficacy of a propanol-based hand rub? *BMC Microbiol.* 2006;6:57. DOI:10.1186/1471-2180-6-57

Hübner N-O, Schwebke I. Haben wir seine Botschaft verstanden? – Ein Abriss zur Geschichte der Händehygiene anlässlich des 200. Geburtstages von Ignaz Philipp Semmelweis. *Epid Bull.* 2018;18:177-9.

Hübner N-O, Schwebke I. Ein Beitrag zum Internationalen Tag der Händehygiene. Dichtung und Wahrheit – von Mythen, Irrtümern und Begleitumständen zur Händedesinfektion. *Epid Bull.* 2019;19:157-61.

Hübner N-O, Schwebke I, Mätzke K, Pohrt U. Aspekte der Hautverträglichkeit, des Hautschutzes und der Hautpflege. *Epid Bull.* 2015;18:149-52.

Hübner N-O, Simon A, Kramer A. MRSA, VISA und VRSA. In: Kramer A, Assadian O, Exner M, Hübner N-O, Simon A, Hrsg. Krankenhaus- und Praxishygiene. Hygienemanagement und Infektionsprävention in medizinischen und sozialen Einrichtungen. 3. Aufl. München: Urban & Fischer Verlag; 2016. p. 246-53.

Hübner N-O, Wendt C. Bakterielle Infektionen. In: Kramer A, Assadian O, Exner M, Hübner N-O, Simon A, Hrsg. Krankenhaus- und Praxishygiene. Hygienemanagement und Infektionsprävention in medizinischen und sozialen Einrichtungen. 3. Aufl. München: Urban & Fischer Verlag; 2016. p. 231-233.

Isgren CM, Salem SE, Archer DC, Worsman FC, Townsend NB. Risk factors for surgical site infection following laparotomy: Effect of season and perioperative variables and reporting of bacterial isolates in 287 horses. *Equine Vet J.* 2017;49(1):39-44.

Kac G, Masméjean E, Gueneret M, Rodi A, Peyrard S, Podglajen I. Bactericidal efficacy of a 1.5 min surgical hand-rubbing protocol under in-use conditions. *J Hosp Infect.* 2009;72(2):135-9.

Kampf G. Mikrobielle Besiedlung der Hände und ihre epidemiologische Bedeutung. In: Kampf G, Hrsg. Hände-Hygiene im Gesundheitswesen. 1. Aufl. Berlin: Springer Verlag; 2003. p. 29-64.

Kampf G, Kramer A. Händehygiene. In: Kramer A, Assadian O, Exner M, Hübner NO, Simon A, Hrsg. Krankenhaus- und Praxishygiene: Hygienemanagement und Infektionsprävention in medizinischen und sozialen Einrichtungen. 3. Aufl. München: Urban & Fischer Verlag; 2016. p. 11-14.

Kampf G, Ostermeyer C. A 1-minute hand wash does not impair the efficacy of a propanol-based hand rub in two consecutive surgical hand disinfection procedures. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2009;28(11):1357-62.

Kampf G, Ostermeyer C. Efficacy of two distinct ethanol-based hand rubs for surgical hand disinfection - a controlled trial according to prEN 12791. *BMC Infect Dis.* 2005;5-17.

Kampf G, Ostermeyer C. Influence of applied volume on efficacy of 3-minute surgical reference disinfection method prEN 12791. *Appl Environ Microbiol.* 2004;70(12):7066-9.

Kampf G, Ostermeyer C. Small volumes of n-propanol (60%) applied for 3 minutes may be ineffective for surgical hand disinfection. *Antimicrob Resist Infect Control.* 2014;3:15. DOI: 10.1186/2047-2994-3-15

Kampf G, Ostermeyer C, Heeg P. Surgical hand disinfection with a propanol-based hand rub: equivalence of shorter application times. *J Hosp Infect.* 2005;59(4):304-10.

Kampf G, Ostermeyer C, Heeg P, Paulson D. Evaluation of two methods of determining the efficacies of two alcohol-based hand rubs for surgical hand asepsis. *Appl Environ Microbiol.* 2006;72(6):3856-61.

Kampf G, Ostermeyer C, Kohlmann T. Bacterial population kinetics on hands during 2 consecutive surgical hand disinfection procedures. *Am J Infect Control.* 2008;36(5):369-74.

Kampf G, Reichel M, Feil Y, Eggerstedt S, Kaulfers P-M. Einfluss der Einreibetechnik auf die benötigte Einreibezeit und die Benetzung der Hand bei der hygienischen Händedesinfektion. *Hyg Med.* 2009;34:24-31.

Kern A, Perreten V. Clinical and molecular features of methicillin-resistant, coagulase-negative staphylococci of pets and horses. *J Antimicrob Chemother.* 2013;68(6):1256-66.

Khan A, McLaren SG, Nelson CL. Surgical hand scrub practices in orthopaedic surgery. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;414:65-8.

Köck R, Cuny C. Multiresistente Erreger bei Tier und Mensch. *Med Klin Intensivmed Notfmed.* 2020;115(3):189-97.

Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention am Robert Koch-Institut (KRINKO). Prävention postoperativer Infektionen im Operationsgebiet. *Bundesgesundheitsbl.* 2007;50:377-93.

Kommission für Krankenhaushygiene und Infektionsprävention am Robert Koch-Institut (KRINKO). Prävention postoperativer Wundinfektionen. Bundesgesundheitsbl. 2018;61:448-73.

Kramer A, Hübner NO, Assadian O. Anforderungen an die chirurgische Händedesinfektion und verändertes Prozedere. GMS Krankenhaushyg Interdiszip. 2007;2(2):Doc55. ISSN 1863-5245

Kramer A, Mersch-Sundermann V, Gerdes H, Pitten FA, Tronnier H. Toxikologische Bewertung für die Händedesinfektion relevanter antimikrobieller Wirkstoffe. In: Kampf G, Hrsg. Händehygiene im Gesundheitswesen. 1. Aufl. Berlin: Springer Verlag; 2003. p. 105-162.

Kramer A, Reichwagen S, Below H, Heldt P, Weber U, Widulle H, Nürnberg W. Alkohole. In: Kramer A, Assadian O, Hrsg. Wallhäußers Praxis der Sterilisation, Desinfektion, Antiseptik und Konservierung. Qualitätssicherung der Hygiene in Industrie, Pharmazie und Medizin. 1. Aufl. Stuttgart: Thieme Verlag; 2008. p. 643-669.

KuKanich KS, Ghosh A, Skarbek JV, Lothamer KM, Zurek L. Surveillance of bacterial contamination in small animal veterinary hospitals with special focus on antimicrobial resistance and virulence traits of enterococci. J Am Vet Med Assoc. 2012;240(4):437-45.

Laine T, Aarnio P. How often does glove perforation occur in surgery? Comparison between single gloves and a double-gloving system. Am J Surg. 2001;181(6):564-6.

Lilly HA, Lowbury EJ, Wilkins MD. Limits to progressive reduction of resident skin bacteria by disinfection. J Clin Pathol. 1979;32(4):382-5.

Litzke L-F. Asepsis und Antisepsis. In: Dietz O, Litzke L-F, Hrsg. Lehrbuch der Allgemeinen Chirurgie für Tiermediziner. 6. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2004a. p. 69.

Litzke L-F. Sterilisation und Desinfektion. In: Dietz O, Litzke L-F, Hrsg. Lehrbuch der Allgemeinen Chirurgie für Tiermediziner. 6. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2004b. p. 71-72.

Loeb MB, Wilcox L, Smaill F, Walter S, Duff Z. A randomized trial of surgical scrubbing with a brush compared to antiseptic soap alone. Am J Infect Control. 1997;25:11-15.

Löffler H. Sauber macht krank – Das Zusammenspiel von Händehygiene und Handekzemen. Akt Dermatol. 2008;34(10):371-5.

Löffler H, Kampf G. Hand disinfection: how irritant are alcohols? *J Hosp Infect.* 2008;70(Suppl.1):44-8.

López-Gigosos RM, Mariscal-López E, Gutierrez-Bedmar M, García-Rodríguez A, Mariscal A. Evaluation of antimicrobial persistent activity of alcohol-based hand antiseptics against bacterial contamination. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2017;36(7):1197-1203.

Marchetti MG, Kampf G, Finzi G, Salvatorelli G. Evaluation of the bactericidal effect of five products for surgical hand disinfection according to prEN 12054 and prEN 12791. *J Hosp Infect.* 2003;54(1):63-7.

McGuckin M, Govednik J. Irritant Contact Dermatitis on Hands. *Am J Med Qual.* 2017;32(1):93-9.

McManus BA, Coleman DC, Deasy EC, Brennan GI, O'Connell B, Monecke S, Ehrlich R, Leggett B, Leonard N, Shore AC. Comparative Genotypes, Staphylococcal Cassette Chromosome mec (SCCmec) Genes and Antimicrobial Resistance amongst *Staphylococcus epidermidis* and *Staphylococcus haemolyticus* Isolates from Infections in Humans and Companion Animals. *PLoS One.* 2015;10(9):e0138079. DOI: 10.1371/journal.pone.0138079

Meakin LB, Gilman OP, Parsons KJ, Burton NJ, Langley-Hobbs SJ. Colored Indicator Undergloves Increase the Detection of Glove Perforations by Surgeons During Small Animal Orthopedic Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Vet Surg.* 2016;45(6):709-14.

Misteli H, Weber WP, Reck S, Rosenthal R, Zwahlen M, Fueglistaler P, Bolli MK, Oertli D, Widmer AF, Marti WR. Surgical glove perforation and the risk of surgical site infection. *Arch Surg.* 2009;144(6):553-8.

Moodley A, Guardabassi I. Clonal spread of methicillin-resistant coagulase-negative staphylococci among horses, personnel and environmental sites at equine facilities. *Vet Microbiol.* 2009;137(3-4):397-401.

Müller W, Schlenker G, Zucker B-A. Hygiene in Tierkliniken und Kleintierpraxen. In: Zucker B-A, Hrsg. *Kompodium der Tierhygiene.* 5. Aufl. Berlin: Lehmanns Media; 2017. p. 30.

Nationales Referenzzentrum für Surveillance von nosokomialen Infektionen (NRZ). Definitionen nosokomialer Infektionen für die Surveillance im Krankenhaus-Infektions-Surveillance-System (KISS-Definitionen). 2017 (zitiert vom 06.09.2020):1-82, DOI: 10.17886/rkipubl-2016-013.2 <[https://www.nrz-hygiene.de/fileadmin/nrz/module/KISS\\_Definitionen\\_E-Book\\_Neuaufgabe\\_06\\_2017.pdf](https://www.nrz-hygiene.de/fileadmin/nrz/module/KISS_Definitionen_E-Book_Neuaufgabe_06_2017.pdf)>.

Noparat W, Siripanichakorn K, Tribuddharat C, Danchaiwijitr S. Persistence of antimicrobial effect of antiseptics in surgical hand hygiene regimens. *J Med Assoc Thai.* 2005;88(Suppl 10):177-82.

Panchaud Y, Gerber V, Rossano A, Perreten V. Bacterial infections in horses: a retrospective study at the University Equine Clinic of Bern. *Schweiz Arch Tierheilkd.* 2010;152(4):176-82.

Parianti JJ, Thibon P, Heller R, Le Roux Y, von Theobald P, Bensadoun H, Bouvet A, Lemarchand F, Le Coutour X. Hand-rubbing with an aqueous alcoholic solution vs traditional surgical handscrubbing and 30-day surgical site infection rates: a randomized equivalence study. *JAMA.* 2002;288:722-7.

Park J, Friendship RM, Weese JS, Poljak Z, Dewey CE. An investigation of resistance to  $\beta$ -lactam antimicrobials among staphylococci isolated from pigs with exudative epidermitis. *BMC Vet Res.* 2013;9:211. DOI: 10.1186/1746-6148-9-211

Partecke LI, Goerdts AM, Langner I, Jaeger B, Assadian O, Heidecke CD, Kramer A, Huebner NO. Incidence of microperforation for surgical gloves depends on duration of wear. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2009;30(5):409-14.

Paula H, Hübner NO, Assadian O, Bransmüller K, Baguhl R, Löffler H, Kramer A. Effect of hand lotion on the effectiveness of hygienic hand antiseptics: Implications for practicing hand hygiene. *Am J Infect Control.* 2017;45(8):835-8.

Perlitz C, Hübner N-O. Die hygienische Händedesinfektion – Ein Beitrag zum Internationalen Tag der Händehygiene am 5.5. *Epid Bull.* 2013;17:143-5.

Pickering AJ, Davis J, Boehm AB. Efficacy of alcohol-based hand sanitizer on hands soiled with dirt and cooking oil. *J Water Health.* 2011;9(3):429-33.

Pietsch H. Hand antiseptics: rubs versus scrubs, alcoholic solutions versus alcoholic gels. *J Hosp Infect.* 2001;48(Suppl A):33-6.

Pitten FA, Herdemann G, Kramer A. The integrity of latex gloves in clinical dental practice. *Infection.* 2000;28(6):388-92.

Pitten FA, Kramer A. Schutzhandschuhe im Gesundheitswesen. In: Kampf G, Hrsg. *Händehygiene im Gesundheitswesen.* 1. Aufl. Berlin: Springer Verlag; 2003. p. 201-220.

Pittet D. Improving compliance with hand hygiene in hospitals. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2000;21(6):381-6.

Pittet D, Boyce JM. Hand hygiene and patient care: pursuing the Semmelweis legacy. *Lancet Infect Dis.* 2001;1:9-20.

Pittet D, Hugonnet S, Harbarth S, Mourouga P, Sauvan V, Touvneau S, Perneger TV. Effectiveness of a hospital-wide programme to improve compliance with hand hygiene. *Lancet.* 2000;356(9238):1307-12.

Röcken F. Vorbereitung des Chirurgen. In: Kramer M, Hrsg. *Kompodium der Allgemeinen Veterinärchirurgie.* 1. Aufl. Hannover: Schlütersche Verlagsgesellschaft mbH & Co. KG; 2004. p. 196-204.

Rotter ML. Desinfektion der Hände. In: Kramer A, Assadian O, Hrsg. *Wallhäußers Praxis der Sterilisation, Desinfektion, Antiseptik und Konservierung. Qualitätssicherung der Hygiene in Industrie, Pharmazie und Medizin.* 1. Aufl. Stuttgart: Thieme Verlag; 2008. p. 146-158.

Rotter ML, Kampf G, Suchomel M, Kundi M. Population kinetics of the skin flora on gloved hands following surgical hand disinfection with 3 propanol-based hand rubs: a prospective, randomized, double-blind trial. *Infect Control Hosp Epidemiol.* 2007a;28(3):346-50.

Rotter ML, Kampf G, Suchomel M, Kundi M. Long-term effect of a 1.5 minute surgical hand rub with a propanol-based product on the resident hand flora. *J Hosp Infect.* 2007b;66(1):84-5.



Ruscher C, Lübke-Becker A, Wleklinski CG, Soba A, Wieler LH, Walther B. Prevalence of Methicillin-resistant *Staphylococcus pseudintermedius* isolated from clinical samples of companion animals and equidae. *Vet Microbiol.* 2009;136(1-2):197-201.

Sakr A, Brégeon F, Mège JL, Rolain JM, Blin O. *Staphylococcus aureus* Nasal Colonization: An Update on Mechanisms, Epidemiology, Risk Factors, and Subsequent Infections. *Front Microbiol.* 2018;9:2419. DOI: 10.3389/fmicb.2018.02419

Scharner D, Gittel C, Winter K, Blaue D, Schedlbauer C, Vervuert I, Brehm W. Comparison of incisional complications between skin closures using a simple continuous or intradermal pattern: a pilot study in horses undergoing ventral median celiotomy. *PeerJ.* 2018;6:e5772. DOI: 10.7717/peerj.5772

Sparksman KP, Knowles TG, Werrett G, Holt PE. A Preliminary Study on the Use and Effect of Hand Antiseptics in Veterinary Practice. *J Small Anim Pract.* 2015;56(9):553-9.

Sroka S, Gastmeier P, Meyer E. Impact of alcohol hand-rub use on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: an analysis of the literature. *J Hosp Infect.* 2010;74(3):204-11.

Suchomel M, Gnant G, Weinlich M, Rotter M. Surgical hand disinfection using alcohol: the effects of alcohol type, mode and duration of application. *J Hosp Infect.* 2009;71(3):228-33.

Tanner J, Khan D, Walsh S, Chernova J, Lamont S, Laurent T. Brushes and picks used on nails during the surgical scrub to reduce bacteria: a randomised trial. *J Hosp Infect.* 2009;71(3):234-8.

Thomas S, Agarwal M, Mehta G. Intraoperative glove perforation—single versus double gloving in protection against skin contamination. *Postgrad Med J.* 2001;77(909):458-60.

Timoney JF. The pathogenic equine streptococci. *Vet Res.* 2004;35(4):397-409.

Traub-Dargatz JL, Weese JS, Rousseau JD, Dunowska M, Morley PS, Dargatz DA. Pilot study to evaluate 3 hygiene protocols on the reduction of bacterial load on the hands of veterinary staff performing routine equine physical examinations. *Can Vet J.* 2006;47(7):671-6.

Trautmann M, Bauer C, Schumann C, Hahn P, Höher M, Haller M, Lepper PM. Common RAPD pattern of *Pseudomonas aeruginosa* from patients and tap water in a medical intensive care unit. *Int J Hyg Environ Health*. 2006;209(4):325-31.

Trautmann M, Lepper PM, Haller M. Ecology of *Pseudomonas aeruginosa* in the intensive care unit and the evolving role of water outlets as a reservoir of the organism. *Am J Infect Control*. 2005;33(5 Suppl 1):S41-9.

Turk R, Singh A, Weese JS. Prospective surgical site infection surveillance in dogs. *Vet Surg*. 2015;44(1):2-8.

Valentin-Weigand P. Grampositive Kokken. In: Selbitz H-J, Truyen U, Valentin-Weigand P, Hrsg. *Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre*. 9. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2011. p. 261-269.

van der Kolk JH, Endimiani A, Graubner C, Gerber V, Perreten V. *Acinetobacter* in veterinary medicine, with an emphasis on *Acinetobacter baumannii*. *J Glob Antimicrob Resist*. 2019;16:59-71.

van Duijkeren E, Box AT, Heck ME, Wannet WJ, Fluit AC. Methicillin-resistant staphylococci isolated from animals. *Vet Microbiol*. 2004;103(1-2):91-7.

Verbund für Angewandte Hygiene e.V. (VAH) 2016. Anforderungen und Methoden zur VAH-Zertifizierung chemischer Desinfektionsverfahren (zitiert vom 23.01.2020):1-53, ISSN 2364-4222, <[https://www.mhp-medien.de/fileadmin/MHP/Zusatzinhalte/127-4/VAH\\_Methodenbuch\\_1ErgOktober2016.pdf](https://www.mhp-medien.de/fileadmin/MHP/Zusatzinhalte/127-4/VAH_Methodenbuch_1ErgOktober2016.pdf)>.

Verwilghen D. Surgical site infections: What do we know? *Equine Vet J*. 2015;47(6):753-5.

Verwilghen D. The World Health Organization's Clean Hands Save Lives: A concept applicable to equine medicine as Clean Hands Save Horses. *Equine Vet Educ*. 2016;8(Suppl 2):1-9.

Verwilghen D, Grulke S, Kampf G. Presurgical hand antisepsis: concepts and current habits of veterinary surgeons. *Vet Surg*. 2011a;40(5):515-21.

Verwilghen DR, Mainil J, Mastrocicco E, Hamaide A, Detilleux J, van Galen G, Serteyn D, Grulke S. Surgical hand antisepsis in veterinary practice: Evaluation of soap scrubs and alcohol based rub techniques. *Vet J.* 2011b;190(3): 372-7.

Visscher MO, Randall Wickett R. Hand hygiene compliance and irritant dermatitis: a juxtaposition of healthcare issues. *Int J Cosmet Sci.* 2012;34(5):402-15.

Walther B, Klein KS, Barton AK, Semmler T, Huber C, Wolf SA, Tedin K, Merle R, Mitrach F, Guenther S, Lübke-Becker A, Gehlen H. Extended-spectrum beta-lactamase (ESBL)-producing *Escherichia coli* and *Acinetobacter baumannii* among horses entering a veterinary teaching hospital: The contemporary "Trojan Horse". *PLoS One.* 2018;13(1):e0191873. DOI: 10.1371/journal.pone.0191873

Walther B, Köck R. Mensch und Tier – Antibiotikaresistenzen bei Haustieren? *Allgemeinarzt.* 2017;39:48-9.

Weese JS, Rousseau J, Willey BM, Archambault M, McGeer A, Low DE. Methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in horses at a veterinary teaching hospital: frequency, characterization, and association with clinical disease. *J Vet Intern Med.* 2006;20(1):182-6.

Wieler LH, Ewers C. Gattung *Escherichia*. In: Selbitz H-J, Truyen U, Valentin-Weigand P, Hrsg. *Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre.* 9. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2011a. p. 187-197.

Wieler LH, Ewers C. Gattung *Klebsiella*. In: Selbitz H-J, Truyen U, Valentin-Weigand P, Hrsg. *Tiermedizinische Mikrobiologie, Infektions- und Seuchenlehre.* 9. Aufl. Stuttgart: Enke Verlag; 2011b. p. 197-198.

Wieler LH, Ewers C, Guenther S, Walther B, Lübke-Becker A. Methicillin-resistant staphylococci (MRS) and extended-spectrum beta-lactamases (ESBL)-producing *Enterobacteriaceae* in companion animals: nosocomial infections as one reason for the rising prevalence of these potential zoonotic pathogens in clinical samples. *Int J Med Microbiol.* 2011;301(8):635-41.

World Health Organization (WHO) 2009. WHO guidelines on hand hygiene in health care. First global patient safety challenge (zitiert vom 30.12.2020):1-270, <<https://www.who.int/publications/i/item/9789241597906>>.

Yinusa W, Li YH, Chow W, Ho WY, Leong JC. Glove punctures in orthopaedic surgery. *Int Orthop.* 2004;28(1):36-9.

## Danksagung

Ein herzliches und großes Dankeschön gebührt **Prof. Dr. Uwe Truyen**, Direktor des Instituts für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen, für die sehr gute Betreuung, die Unterstützung bei der Planung und Durchführung meiner Dissertation und den stetigen Zuspruch während der gesamten Doktorandenzeit. Zudem danke ich **Prof. Dr. Walter Brehm**, Direktor der Klinik für Pferde, für die Möglichkeit, diese Doktorarbeit in der Klinik für Pferde durchgeführt haben zu dürfen. Ich danke dem **Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen** und der **Klinik für Pferde** für die gemeinschaftliche Finanzierung meines Projektes.

Besonderer Dank gilt **Dr. Stephanie Speck**, welche mich zu Beginn sehr gut in der mikrobiologischen Diagnostik angelehrt, mir selbstständiges bakteriologisches Arbeiten beigebracht, und mich außerdem permanent und unermüdlich bei der Durchführung der Studie, der Vorbereitung des Vortrages in Budapest und der Publikation unterstützt und begleitet hat. Die Zusammenarbeit war für mich eine prägende und sehr lehrreiche Zeit, in der ich mich auch auf persönlichem Wege sehr weiter entwickeln konnte. Vielen lieben Dank.

Ich danke weiterhin **Mario Reinhardt**, **Evelin Brumme** und **Dana Rüster** für die Unterstützung im Labor. Ihr wart immer zur Stelle, besonders wenn es schnell gehen musste, und habt dabei für einen reibungslosen Ablauf gesorgt. Weiterhin möchte ich mich bei allen **Labormitarbeitern/-innen und Mitdoktoranden/-innen** bedanken, die sich zur Validierung der Methodik während der Laborvoruntersuchungen beproben haben lassen.

Last but not least – ich bedanke mich von ganzem Herzen bei meinen lieben **Eltern Galina & Andreas**, meinem **Matthias** und meiner **Familie, Elke & Klaus, Marita & Kalle**, und bei meinen **Freunden**, die immer an mich glauben und das Thema Doktorarbeit bestimmt schon nicht mehr hören können. Danke, dass ihr immer für mich da seid und stets ein offenes Ohr für mich habt. Dank an meine **Katze Pina**, die mich mit Schmuse- und Schnurreinheiten auch mal abgelenkt hat und immer bei mir saß, während ich schrieb.

### **Ein eigener Absatz. Ganz in Rot. Nur für dich – Papa.**

Ich bedanke mich unendlich bei meinem Papa, der mich über das gesamte Studium bis zum Beginn der Doktorarbeit bei jedem Schritt immer seelisch, finanziell und mit ganzer Kraft unterstützt, motiviert und aufgebaut hat. Ich hoffe, dass ich bald deinen Namen „Dr. Rocktäschel“ mit Stolz und dir zu Ehren weitertragen darf; dir damit meine tiefe Dankbarkeit erweisen und dir für die ganzen Jahre deiner endlosen Liebe und Unterstützung etwas zurückgeben kann.

Danke Papa 