

A. Schuster  
E. Schmidt-Eisenlohr  
F. Daschner

# Wie hygienisch und sinnvoll ist Holz in Patientenzimmern?

## Zusammenfassung

Auf Kernholz der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris*) starben Kontaminationen von *Staphylococcus aureus* (Methicillin-resistent), *Enterococcus faecium* (Vancomycin-resistent), *Escherichia coli* (multiresistent), *Pseudomonas aeruginosa* (multiresistent), *Mycobacterium terrae*, *Candida albicans* sowie mit dem nicht pathogenen Pilz *Penicillium camemberti* schneller ab als auf Kunststoff-Oberflächen (Polyethylen, Melamin). Versuche mit üblichen Flächendesinfektionsmitteln (Wirkstoffe Aldehyde, quartäre Ammoniumverbindung und Biguanid, Alkylaminderivat, Alkohol) ergaben mit Ausnahme des Produktes mit kationenaktiven Wirkstoffen auf Holz eine uneingeschränkte Wirksamkeit. Die schlechte Wirkung der kationenaktiven Wirkstoffe auf Holz könnte durch die Wechselwirkung mit anionischen Holzinhaltsstoffen (Polyphenole) erklärt werden.

Obwohl aus krankenhaushygienischer Sicht keine Notwendigkeit für antibakteriell wirksame Oberflächen besteht, können die Ergebnisse dazu dienen, die Vorbehalte gegenüber Holz zu entkräften und – soweit kein besonderes Risiko für Verschmutzungen besteht – Holz als Baustoff im Klinikbereich zu rehabilitieren. Eine Umfrage zeigte, dass vor allem Patienten die Verwendung von Holz befürworten.

Offene Fragen betreffen den antibakteriellen Wirkungsmechanismus, die Relevanz von Verschmutzungen oder mögliche Reinigungsprobleme. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

## Einleitung

Für die Ausführung von Oberflächen im Patientenbereich spielt Holz in Krankenhäusern bisher eine sehr untergeordnete Rolle. Es dominieren Kunststoffe, Metalle, Glas und Keramik, Wände sind meist weiß gestrichen. Falls Holz verwendet wird, so kommt es nur in Kunststoff-beschichteter oder lackierter Form zum Einsatz.

Genau dieser Materialkombination verdanken die Krankenhäuser jedoch ihren „klinischen“ Charme, d. h. ihre sprichwörtliche Ungemütlichkeit. Die kalten und oft spiegelnd-glänzenden Oberflächen wirken abweisend und sorgen für einen Geräuschpegel, der sowohl Mitarbeiter wie Patienten belastet.

Ein wohnlicheres Ambiente in Kliniken wäre wünschenswert. Patienten, die sich wohl fühlen, werden in ihrer Genesung sicher besser unterstützt als Patienten, denen ihre Umgebung ungewohnt, fremd und abweisend anmutet.

Ausgehend von diesen Thesen bietet sich der Werkstoff Holz geradezu an. Er ist sowohl optisch als auch tatsächlich physikalisch „warm“, er vermeidet störende Lichtreflektionen, ist schallschluckend, Feuchtigkeitsausgleichend und sorgt somit für ein ruhigeres und beruhigendes Raumklima.

Auch aus Sicht des Umweltschutzes hat Holz viele Vorteile. Der vergleichsweise leichte und dabei überaus haltbare Baustoff Holz ist nachwachsend und CO<sub>2</sub>-neutral, reparaturfreundlich, kann ohne großen Transportaufwand aus heimischer Produktion bezogen werden und erfüllt damit viele Kriterien einer nachhaltigen Wirtschaftsweise.

Neuere Studien konnten nachweisen, dass gewisse Hölzer ausgeprägte natürliche biozide Eigenschaften besitzen. Als besonders gut wirksam wurde Kiefernkerneholz beschrieben. Kiefernkerneholz, welches durch ein physikalisches Verfahren Wasser besser aufnimmt und verteilt, ist verstärkt biozid wirksam und wird als sogenanntes „Hygieneholz“ vermarktet ([www.wilms.com](http://www.wilms.com)).

Ziel der Untersuchung war, die biozide Wirksamkeit von „Hygieneholz“ (s. o.) auf nosokomial bedeutsame Problemkeime, bevorzugt wurden Antibiotika-resistente Stämme ausgewählt, zu untersuchen. Als Referenzmaterial dienten Kunststoff-Oberflächen. Die Desinfizierbarkeit von „Hygieneholz“ mit im Klinikbereich üblichen Flächendesinfektionsmitteln wurde ebenfalls untersucht.

Abschließend wurde der mögliche Einsatz von „Hygieneholz“ im Krankenhaus beurteilt. Hierfür wurden Patienten und Personal befragt, nachdem in Patientenzimmern „Hygieneholz“ probeweise zum Einsatz kam.

## Material und Methoden

### Prüfkörper

Als Prüfkörper dienten:

- 25 × 10 cm große und 2 cm starke Brettchen (Längsschnitt) aus Kernholz der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris*), das mit dem Wasch-/Trocknungsverfahren K3 der Firma Wilms im Hinblick auf eine verbesserte Wasseraufnahmefähigkeit physikalisch verändert worden war. Dieses Holz wird im Folgenden als „Holz 1“ bezeichnet.
- 25 × 10 cm große und 2 cm starke Brettchen (Längsschnitt) aus Kernholz der Kiefer (*Pinus sylvestris*), das mit dem Wasch-/Trocknungsverfahren K3/7-02 der Firma Wilms im Hinblick auf eine verbesserte Wasseraufnahmefähigkeit physikalisch verändert worden war. Dieses Holz wird im Folgenden als „Holz 2“ bezeichnet.
- 25 × 10 cm große und 2 cm starke Kunststoff-beschichtete Faserplatten („Küchen-Arbeitsplatte“). Die glatte Oberfläche besteht aus einem duroplastischen Melamin-Formaldehyd-Harz, im Folgenden als „Melamin“ bezeichnet.
- 25 × 10 cm große und 0,5 cm starke Kunststoffplatten (HD-Polyethylen) mit ebenfalls glatter Oberfläche, im Folgenden als „Polyethylen“ bezeichnet.

Alle Prüfkörper wurden von der Fa. Wilms Holzprodukte, 49152 Bad Essen-Barkhausen bereitgestellt.

### Testkeime und Vorkultur

Zur Testung wurden folgende Mikroorganismen verwendet:

- *Staphylococcus aureus* (Methicillin-resistent)
- *Enterococcus faecium* (Vancomycin-resistent)
- *Escherichia coli* (multiresistent)
- *Pseudomonas aeruginosa* (multiresistent)
- *Mycobacterium terrae*
- *Candida albicans*
- *Penicillium camemberti*

Mit Ausnahme von *Penicillium camemberti* (der von einem Käse isoliert wurde) handelt es sich bei allen anderen Organismen um klinische Isolate aus der Stammsammlung des Institutes für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene Freiburg. Die Anzucht erfolgte über Nacht auf Blutagar (Columbia, Fa. heipha, Heidelberg) und bei 37 °C. Mit 5 ml Müller-Hinton-Bouillon (Fa. Merck, Darmstadt) wurden Suspensionen hergestellt und für die verschiedenen Keime spezifisch mittels Micro-Scan-Turbidimeter (Fa. Dade Behring, Liederbach) auf eine Keimdichte von  $10^8$  KBE<sup>1</sup>/ml eingestellt. Diese Stammlösung wurde mit 0,9%iger NaCl-Lösung auf Konzentrationen von  $5 \times 10^5$  bzw.  $5 \times 10^7$  KBE/ml verdünnt. Zur Verringerung der Oberflächenspannung und zur Simulation einer organischen Belastung wurden 5 Vol-% steriles Pferdeblut zugesetzt (Fa. ACILA GmbH, Mörfelden-Walldorf).

### Kontamination und Probenahme

Zur Vermeidung von Fremdkontaminationen wurden die Prüfkörper vor Versuchsbeginn mit 70%igem Alkohol wischdesinfiziert und unter sterilen Tüchern getrocknet. Anschließend wurden 0,02 ml der jeweiligen Keimsuspension mit der Pipettenspitze auf markierten und 10 cm<sup>2</sup> großen Arealen gleichmäßig verteilt (resultierende Keimkonzentrationen von  $10^3$  und  $10^5$  KBE/cm<sup>2</sup>). Die Antrocknung bei Zimmertemperatur erfolgte innerhalb von 30 Minuten.

Nach der Antrocknung (Startpunkt der Zeitmessungen) blieb die Hälfte der Brettchen unbehandelt, die andere Hälfte wurde mit Desinfektionsmitteln wischdesinfiziert. Die Keimzahlbestimmung der Oberflächen erfolgte durch das RODAC<sup>2</sup> Abklatschverfahren zu den Zeitpunkten 0/0,5/1/4 und 24 Stunden. Die RODAC-Platte (ca. 25 cm<sup>2</sup> Gesamtfläche) wurde für zehn Sekunden mit einem Gewicht von 500 g auf die Probenfläche gedrückt. Für die Versuche ohne Desinfektion wurden RODAC-Platten mit Columbia-Blutagar und für die Desinfektionsversuche Caso-Agar mit Enthemmer (beide Fa heipha, Heidelberg) verwendet. Jedes Areal wurde nur einmal abgeklatscht.

RODAC-Platten für Bakterien wurden bei 37 °C kultiviert. Nach einer Inkubationszeit bis zu 48 h konnten die Kolonien ausgezählt werden. RODAC-Platten für Pilze wurden bei 30 °C bis zu 7 Tage lang bebrütet und

<sup>1</sup> KBE = Kolonie bildende Einheit

<sup>2</sup> RODAC= Replicate Organism Detection and Counting

dann ausgezählt. Ab einer Koloniezahl von 350 pro Platte waren die Kolonien nicht mehr eindeutig voneinander abgrenzbar und somit nicht mehr quantifizierbar. Für jede Bedingung wurden drei Prüfkörper eingesetzt.

## Desinfektion

Für die Desinfektionsversuche kamen Produkte mit üblicherweise im Krankenhaus eingesetzten Wirkstoffen zur Anwendung: Aldehyde, quartäre Ammoniumverbindungen und Guanidinderivate, Alkylaminderivate und Alkohole. Verdünnbare Produkte wurden in derjenigen Anwendungskonzentration eingesetzt, die innerhalb einer Stunde eine Desinfektion bewirkt (gemäß DGHM<sup>3</sup>-Liste):

- Buraton 10F (Aldehyde), Fa. Schülke & Mayr GmbH, Norderstedt, 0,5%ige Lösung
- Sirafan perfekt (quartäre Ammoniumverbindung u. Biguanid), Fa. Henkel Ecolab GmbH&CoKG, Düsseldorf, 1,5%ige Lösung
- Incidin Plus (Alkylaminderivat), Fa. Ecolab GmbH & Co. OHG, Düsseldorf, 0,5%ige Lösung
- Ethanol (70%iger Alkohol), Fa. AllChem GmbH, Breisach, unverdünnte Anwendung

Jedes kontaminierte Areal wurde nach der Antrocknungszeit von 30 Minuten mit einem desinfektionsmittelgetränkten Tuch (keine Mikrofaser) wischdesinfiziert (zweimaliges Wischen). Die Probenahme zum jeweiligen Zeitpunkt (s. o.) erfolgte mittels einer RODAC-Platte (Caso-Agar mit Enthemmer, Fa. heipha, Heidelberg). Innerhalb jeder Versuchsreihe wurde eine 3fach Bestimmung durchgeführt.

## Praxisstudie

Auf einer chirurgischen Station des Universitätsklinikums Freiburg wurden zwei Patientenzimmer mit Elementen aus rohem Kiefernholz ausgestattet (Lieferant Fa. Wilms, Holz modifiziert, wie unter „Prüfkörper“ beschrieben, s. o.). Die Patiententischchen erhielten Holzauflagen, ebenso die Ablagen im Bad und die Fensterbänke. Türklinken, die Einlagen der Schubladen des Patiententischchens und die Stoßleisten an der Wand wurden durch dieses Holz ersetzt. Nach einer Benutzungszeit von 2 Monaten wurden die Oberflächenkeimzahlen auf den mit Holz ausgestatteten Flächen sowie die der Referenzflächen mit der RODAC-Methode (s. o.) bestimmt. Kolonien wurden isoliert und mittels Selektivnährböden, Enterotubes sowie dem API-System differenziert. Meinungen und Erfahrungen von Patienten, Pflege- und ärztlichem Personal wurden mit Hilfe eines ausgeteilten Fragebogens erfasst.

## Ergebnisse

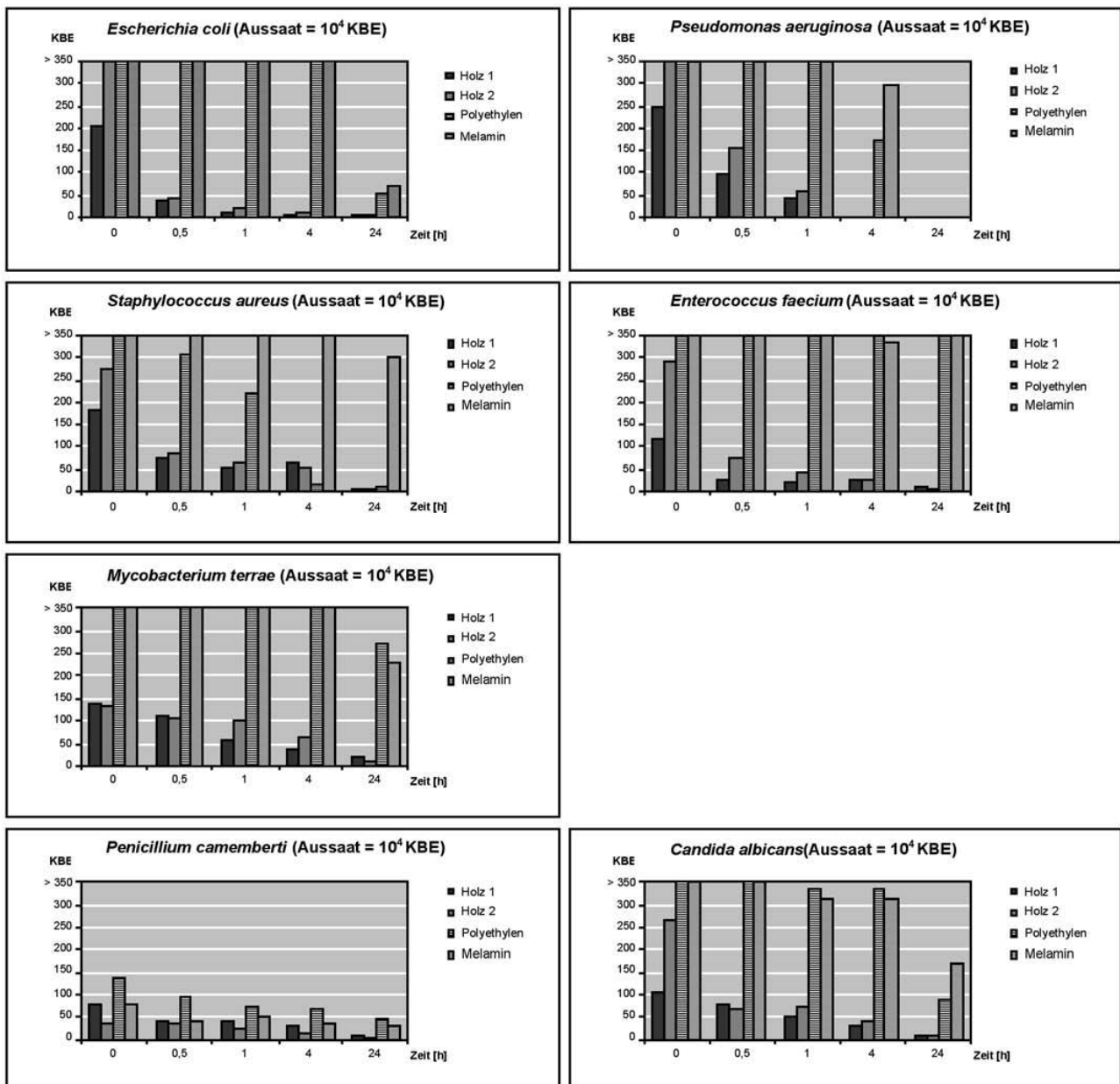
### Absterbeverhalten

Abbildung 1 zeigt die Entwicklung der Keimzahlen nach der jeweiligen Kontamination im Zeitverlauf. Die Zeitskala ist nicht linear, sie trägt die Versuchszeitpunkte nacheinander auf. Die Ausgangskeimzahl auf der abgekatschten Versuchsfläche (10 cm<sup>2</sup>) betrug 10<sup>4</sup> KBE. Mit welcher Erfassungsquote bei den verschiedenen Materialien beim Gebrauch einer RODAC-Platte zu rechnen ist, ist nicht bekannt. Für glatte Oberflächen gilt für einen Einzel-Abklatsch ein Wert von 80% als erreichbar [30], eigene Untersuchungen an Linoleumfußböden ergaben einen Wert von ca. 50%.

In allen Fällen verhielten sich jeweils Holz 1 und 2 zueinander ähnlich und Polyethylen und Melamin ebenfalls (mit Ausnahme des Ansatzes mit *Staphylococcus aureus*). Nach Kontamination und Lagerung unter normalen Raumluftbedingungen konnte auf den Prüflingen ein durch Austrocknung bedingtes Absterben beobachtet werden, welches jedoch in Abhängigkeit der unterschiedlichen Tenazität der Organismen unterschiedlich ausgeprägt war. Die normalerweise zu erwartende Tenazität ist durch die Keimzahlentwicklung auf den nicht bioaktiven Kunststoffoberflächen dokumentiert. Die beiden gram-negativen Keime *Escherichia coli* und *Pseudomonas aeruginosa* (1. Reihe) zeigen sich gegen Austrocknung am empfindlichsten, die gram-positiven Keime *Staphylococcus aureus*, *Enterococcus faecium* und auch *Mycobacterium terrae* (2. und 3. Reihe) sind dagegen deutlich ausdauernder, was insbesondere für die Enterokokken gilt. Das schnelle Absterben der Staphylokokken auf Polyethylen, aber nicht auf Melamin, ist eine nicht erklärbare Inkonsistenz zu den sonst dokumentierten Verhältnissen. Beim Ansatz mit einer Ausgangs-Keimdichte von 10<sup>5</sup> KBE/cm<sup>2</sup> (hier nicht gezeigt) wurden mit den Staphylokokken auf beiden Kunststoffen gleichartige Verläufe erhalten.

---

<sup>3</sup> Deutsche Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie



**Abb. 1.** Absterbekinetik auf verschiedenen Prüfkörpern. Die KBE-Werte sind auf eine Fläche von 10 cm<sup>2</sup> bezogen.

Bei den Pilzen ist das Myzel von *Penicillium camemberti* im Zeitverlauf weniger empfindlich als die Zellen der *Candida*-Hefe (4. Reihe), es konnten mit dem RODAC-Verfahren aber insgesamt nur wenige KBE wiedergewonnen werden. Sowohl auf Holz 1 als auf Holz 2 zeigten sich bereits beim Zeitpunkt t = 0 min (d. h. nach dem Antrocknen der Kontamination, s. o.) deutlich niedrigere Keimzahlen als auf den Kunststoffen. Da beschrieben ist, dass von den eingesetzten Hölzern die eingedrungenen Organismen nicht nur adsorbiert, sondern nach 4 Stunden meist abgetötet sind [27], lassen sich mit der Einschränkung nicht bekannter Erfassungsquoten aus der Ausgangskontamination folgende Reduktionsfaktoren errechnen (die 24-Stunden-Werte sind ebenfalls angegeben) (Tabelle 1).

Insgesamt zeigen in fast allen Fällen<sup>4</sup> die Hölzer eine bessere Keimreduktion mit einer durchschnittlichen Abnahme von 2,8 log-Stufen für 4 und 3,3 log-Stufen für 24 Stunden. Bei den Kunststoffen liegt nach vier Stunden die Abnahme des Logarithmus der Keimzahl bei < 1,7 (der genaue Wert kann nicht angegeben werden, da auf den Kunststoffen viele Platten noch Rasenwachstum zeigten, d. h. nicht auszählbar waren). Die höhere Keimreduktion auf Holz ist am deutlichsten bei den beiden gram-negativen Keimen, die auch die geringste Tenazität aufweisen. Absteigend geordnet nach der log-Stufen-Differenz zwischen Holz und Kunststoff ergibt sich folgende Reihe<sup>5</sup>: *Pseudomonas aeruginosa* (> 2,2), *Escherichia coli* (> 1,8), *Enterococcus faecium* (> 1,1), *Candida albicans* (> 1,0), *Mycobacterium terrae* (> 0,9),

<sup>4</sup> mit Ausnahme des Polyethylen bei *Staph. aureus*

<sup>5</sup> der Ausreißer des Polyethylen bei *Staph. aureus* ging nicht in die Berechnung ein

*Staphylococcus aureus* (> 0,8), *Penicillium camemberti* (0,4). Die beiden Hölzer unterscheiden sich untereinander nur geringfügig und sind, über alle Organismen gemittelt, in ihrer Wirkung genau gleich. Nach 24 Stunden sinken die Keimzahlen sowohl auf den Hölzern als auf den Kunststoffen weiter ab, der genaue Wert kann nur für die beiden Hölzer angegeben werden: hier erreicht die Keimreduktion 3,3 log-Stufen, d. h. es gibt einen weiteren Rückgang um 0,5.

**Tabelle 1.** Reduktionsfaktoren auf Holz und Kunststoff nach 4 und 24 Stunden Exposition unter Raumlufbedingungen<sup>1</sup>

Keim	Material	log. Red. (4 h)	log. Red. (24 h)
<i>Escherichia coli</i>	Holz 1	3,4	3,2
	Holz 2	3,1	3,2
	Melamin	< 1,5	2,2
	Polyethylen	< 1,5	2,3
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Holz 1	3,8	4,0
	Holz 2	4,0	4,0
	Melamin	< 1,5	3,5
	Polyethylen	1,8	3,5
<i>Staphylococcus aureus</i>	Holz 1	2,2	3,2
	Holz 2	2,3	3,2
	Melamin	< 1,5	< 1,5
	Polyethylen	2,8	2,9
<i>Enterococcus faecium</i>	Holz 1	2,6	3,0
	Holz 2	2,6	3,3
	Melamin	< 1,5	< 1,5
	Polyethylen	< 1,5	< 1,5
<i>Mycobacterium terrae</i>	Holz 1	2,4	2,7
	Holz 2	2,2	3,0
	Melamin	< 1,5	1,6
	Polyethylen	< 1,5	1,6
<i>Penicillium camemberti</i>	Holz 1	2,5	3,0
	Holz 2	2,8	3,4
	Melamin	2,4	2,6
	Polyethylen	2,2	2,3
<i>Candida albicans</i>	Holz 1	2,5	3,2
	Holz 2	2,4	3,2
	Melamin	< 1,5	1,8
	Polyethylen	< 1,5	2,0

<sup>1</sup> (Bei Rasenwachstum (> 350 KBE / Platte) kann mit der RODAC-Methode kein exakter Reduktionswert angegeben werden, der Reduktionsfaktor ist dann < 1,5)

Auch mit einem erhöhten Inokulum von 10<sup>6</sup> KBE auf der Versuchsfläche nahm die Keimzahl auf den Hölzern tendenziell stärker als auf den Kunststoffen ab, allerdings waren die Reduktionsraten nicht so hoch wie in anderen Untersuchungen<sup>6</sup> beschrieben [27]. Nach vier Stunden zeigten noch fast alle RODAC-Platten Rasenwachstum, d.h. die Keimzahl lag über 350 KBE, einzig mit Holz 1 waren bei *Escherichia coli* unter 200 KBE auszählbar. Nach 24 Stunden ergaben alle Kunststoff-Oberflächen immer noch Rasenwachstum, ebenso beide Hölzer bei *Enterococcus faecium*. Für die anderen Organismen zeigten sich nach 24 Stunden auf den Holzoberflächen reduzierte Keimzahlen, in absteigender Reihenfolge waren dies in KBE: *Candida albicans* (< 350), *Penicillium camemberti* (< 300), *Mycobacterium terrae* (< 150), *Staphylococcus aureus* (< 100), *Escherichia coli* (< 100), *Pseudomonas aeruginosa* (< 5).

### Desinfektionsversuche

Für eine erfolgreiche Anwendung der vier untersuchten Desinfektionsmittel wurde gemäß den üblichen Verfahren eine Reduktion der Keimzahl um mindestens 5 log-Stufen vorausgesetzt. Die Prüfkörper wurden mit je 10<sup>6</sup> KBE kontaminiert, so dass eine Keimzahl von unter 10 KBE erwartet wurde. Die Tabelle 2 fasst die Ergebnisse für die verwendeten Organismen und Desinfektionsmittel zusammen. Mit Ausnahme des Produktes Sirafan perfekt, mit dem auf beiden Holzoberflächen bei *Escherichia coli*, *Enterococcus faecium*

<sup>6</sup> dort wurden keine Hospitalkeime getestet

und *Staphylococcus aureus* das Desinfektionskriterium nicht erreicht werden konnte, waren alle Desinfektionsversuche erfolgreich.

**Tabelle 2.** Desinfektionsmittelanwendung auf Holz und Kunststoff. Logarithmische Reduktionsfaktoren (Ausgangskeimzahl  $10^6$  KBE)

Desinfektionsmittel	Keim	Holz	Kunststoff
Buraton 10F	<i>Escherichia coli</i>	6,0	6,0
Wirkstoffe: Aldehyde	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	6,0	6,0
	<i>Staphylococcus aureus</i>	6,0	6,0
	<i>Enterococcus faecium</i>	6,0	6,0
	<i>Mycobacterium terrae</i>	6,0	6,0
	<i>Penicillium camemberti</i>	6,0	6,0
	<i>Candida albicans</i>	6,0	6,0
Incidin Plus	<i>Escherichia coli</i>	6,0	6,0
Wirkstoff: Alkylaminderivat	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	6,0	6,0
	<i>Staphylococcus aureus</i>	6,0	6,0
	<i>Enterococcus faecium</i>	6,0	6,0
	<i>Mycobacterium terrae</i>	6,0	6,0
	<i>Penicillium camemberti</i>	6,0	6,0
	<i>Candida albicans</i>	6,0	6,0
Sirafan perfekt	<i>Escherichia coli</i>	4,6	6,0
Wirkstoffe: quartäre Ammoniumverbindung und Biguanid	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	5,6	6,0
	<i>Staphylococcus aureus</i>	4,3	6,0
	<i>Enterococcus faecium</i>	4,3	5,7
	<i>Mycobacterium terrae</i>	6,0	6,0
	<i>Penicillium camemberti</i>	6,0	5,6
	<i>Candida albicans</i>	5,9	5,8
Ethanol 70%	<i>Escherichia coli</i>	6,0	5,8
Wirkstoffe: Alkohol	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	6,0	6,0
	<i>Staphylococcus aureus</i>	6,0	6,0
	<i>Enterococcus faecium</i>	6,0	6,0
	<i>Mycobacterium terrae</i>	6,0	6,0
	<i>Penicillium camemberti</i>	6,0	6,0
	<i>Candida albicans</i>	6,0	6,0

### Praxisstudie

Bei den Umgebungsuntersuchungen fanden sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Keimzahlen auf den Holzoberflächen und den Referenzmaterialien (Kunststoff, Glas, lackierte Buche). Auf dem Kiefernkerneholz konnten folgende potenziell pathogene Keime seltener nachgewiesen werden: *Enterococcus faecium*, *Enterococcus faecalis* und *Klebsiella* spp. Diese Keime wurden an den Tür- und Nachttischgriffen sowie an den Ablagen nachgewiesen. Die Befragung von Patienten und Stationspersonal (Tabelle 3) ergab, dass die Akzeptanz der Patienten gut bis sehr gut ist, hier wurde die Verwendung von Holz als angenehm empfunden und befürwortet. Das Pflegepersonal bestätigte das wohnlichere Ambiente, war aber aufgrund von Erfahrungen und Vorbehalten in Bezug auf die Entfernung von Verfleckungen eher kritisch eingestellt. Im patientennahen Bereich kam es zu bleibenden Verfleckungen, z. B. durch Kaffee und Medikamente und damit zusammenhängend zu einem erhöhten Zeitaufwand für das Reinigungspersonal.

**Tabelle 3.** Befragung von Patienten und Pflegepersonal

Fragen	Patienten	Pflegepersonal
Wie gefällt Ihnen die Zimmereinrichtung mit Holz?	100% sehr gut/gut	30% sehr gut/gut
Empfinden Sie die Holzoberflächen wohnlicher als Kunststoff- oder Metalloberflächen?	100% ja	80% ja
Empfinden Sie die Ablagen im Bad als hygienisch?	25% ja	10% ja
Gibt es Nachteile durch die Holzausstattung?	0% ja	30% ja
Erscheinen Ihnen Nachttische und Ablagen nach der Reinigung sauber?	75% ja	30% ja
Wie schätzen Sie die Reinigung der Holzflächen ein?	100% sehr gut/gut	10% sehr gut/gut
Sollen die Holzflächen beibehalten werden?	75% ja	20% ja (50% nein)

## Diskussion

Als Hauptursache der Ablehnung von Holz, insbesondere von oberflächlich unbehandeltem Holz, können Erfahrungen und Regelungen im Lebensmittelbereich gelten, die Holz als ausgesprochen unhygienisches Material dargestellt haben. Über viele Jahrzehnte hinweg wurden Untersuchungen publiziert, in denen typischerweise Holzbrettchen höhere Keimzahlen aufwiesen als solche aus Kunststoff. Außerdem waren auf Holz Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahmen weniger effektiv [1, 4, 14, 15, 16, 24, 30, 31]. Die für das Kunststoff-Brettchen sprechende Argumentation fordert eine geschlossene, nicht poröse, leicht zu reinigende und zu desinfizierende Oberfläche [1, 15, 17, 24] und ist damit die gleiche wie die für Oberflächen im Krankenhausbereich [9]. Ein Überblick über die im Küchenbereich diskutierte Thematik wird von Milling [19] gegeben. Dass auch mit Kunststoffen im Küchenbereich spezifische Probleme verbunden sind, wie das Auftreten tiefer Kerben im Gebrauch [1, 2, 13, 15] sowie die Neigung zur Biofilmbildung und Verfärbungen, spielte keine Rolle – die Verwendung von Holz im Lebensmittelbereich wurde untersagt oder eingeschränkt [12, 23, 32]. Seit 1994 wurden dann mehrere Untersuchungen publiziert, in denen Holz hygienisch (Kontaminations-Expositions-Wiederfindungs-Tests) besser abschnitt als Kunststoff [2, 3, 24].

Dieser Widerspruch lässt sich dadurch auflösen, dass in früheren Studien nicht berücksichtigt wurde, aus welcher Baumart die untersuchten Holzprodukte hergestellt waren und ebenfalls nicht, welche Schnittrichtung oder welche Holz- bzw. Luftfeuchte vorlag. Als derzeitigen Stand fasst Milling [19] zusammen, dass von allen Hölzern flüssige Kontaminationen ins Innere aufgenommen und somit im Bereich von  $10^3$ – $10^4$  KBE/cm<sup>2</sup> von der Oberfläche teilweise entfernt werden und dass bei manchen Holzarten ausgeprägte biozide Eigenschaften zusätzlich dafür sorgen, dass diese Keime im Holz effektiv abgetötet werden. Bei solchen Hölzern ist es nicht möglich, adsorbierte Keime nachträglich wieder aus der Holzstruktur freizusetzen. Antibakteriell wirksam war insbesondere die Eiche (*Quercus* sp.) und das Kernholz der Gemeinen Kiefer (*Pinus sylvestris*). Bei der Lärche (*Larix* sp.) waren die Ergebnisse widersprüchlich. Ahorn (*Acer* sp.) und Rotbuche (*Fagus sylvatica*) zeigten keinerlei biozide Eigenschaften. Diese Ergebnisse können im Prinzip mit der Resistenzklassen-Einteilung von Bauhölzern gegen Befall mit holzerstörenden Pilzen in Bezug gesetzt werden. Eichenkernholz gilt als resistent, Kiefern- und Lärchenkernholz als mäßig resistent, während Buchenholz generell nicht resistent ist [7]. Da Küchenutensilien meist aus Rotbuche (*Fagus sylvatica*) bzw. Ahorn (*Acer* sp.) hergestellt werden, welche keine bakterizid wirksamen Hölzer liefern, sind auch die früher erhaltenen Ergebnisse plausibel. Geringere Keimzahlen auf experimentell kontaminiertem Holz gehen sowohl auf die Verlagerung ins Innere, auf Austrocknungseffekte sowie auf antibakteriell wirksame Substanzen zurück.

Die ausgeprägte antibakterielle, d. h. biozide Wirkung von Kiefernkernholz (*Pinus sylvestris*) und Eichenholz (*Quercus* sp.) sowie Standort-abhängig auch von Lärchenholz (*Larix* sp.) wurde seither eingehend untersucht und beschrieben [19]. Besonders Kiefernkernholz<sup>7</sup> zeigt deutlich biozide Wirkungen. Die biozide Wirkung ist abhängig vom zur Verfügung stehenden Wasser, d.h. je trockener eine Kontamination, desto höher ist der Effekt [26]. Gramnegative Keime werden von Kiefernkernholz besser abgetötet als grampositive Keime [20, 21, 26, 27]. Die spezifisch biozide Wirkung von rohen Hölzern wird an der

<sup>7</sup> Kernholz wird nur von manchen Baumarten gebildet. Es dient nicht mehr der Wasserleitung und wird durch diverse Stoffeinlagerungen versiegelt (Gegensatz = Splintholz). Bei der Kiefer wird das Kernholz nach 20–40 Jahren gebildet

Holzoberfläche erst ab Keimzahlen über  $10^6$  KBE/cm<sup>2</sup> deutlich fassbar (z. B. durch Abklatschverfahren). Bei Kontaminationen mit geringeren Keimdichten ist bei allen Hölzern eine Keimreduktion durch Eindringen in und Adsorption an die Holzstruktur festzustellen [3]. Bei bioziden Hölzern werden die in die Holzstruktur eingedrungenen Keime dort stets auch abgetötet, d. h. die an der Oberfläche feststellbare Keimzahlverringerung beruht nicht nur auf einer bloßen Verlagerung.

Die antibakteriellen Eigenschaften konnten bei Kiefernkernelholz, welches durch physikalische Behandlung in seiner Wasseraufnahme verbessert war (Erzeugnis der Fa. Gustav Wilms Holzprodukte, Bezeichnung K3), nochmals verstärkt werden. Bei einer Keimdichte von  $10^6$  KBE/cm<sup>2</sup> konnten aus K3 nach 4 Stunden keine Testkeime (*Escherichia coli*) mehr isoliert werden [27]. Diese Keimreduktion um sechs log-Stufen übersteigt die Anforderungen an die Leistung der Flächendesinfektion im Klinikbereich.

Die eigenen Untersuchungen an nosokomial bedeutsamen Stämmen konnten dagegen nur eine sehr viel schwächer ausgeprägte Keimreduktion feststellen. Nach einer Kontamination mit  $10^6$  KBE pro K3Prüfkörper konnte etwa nach einer Stunde Exposition eines multiresistenten *Escherichia coli*-Stammes eine Reduktion um 3,4 log-Stufen festgestellt werden (die Keimreduktion auf den Kunststoff-Vergleichsflächen lag bei 1,5). Der Unterschied könnte auf einer erhöhten Tenazität des klinischen *E.-coli*-Stammes, auf der variablen Wirksamkeit von Hölzern unterschiedlicher Herkunft oder auf der 5%igen Zugabe von Pferdeblut beruhen. Da bereits beschrieben wurde, dass eine Zugabe von Rinderserumalbumin (oder Fettstoffen) die biozide Wirksamkeit deutlich reduziert [24] und die oben zitierte, sehr hohe Keimreduktion ohne Proteinzugabe erreicht wurde, erscheint ein entsprechender Einfluss als möglich, auch Unterschiede zwischen Kiefernholzern verschiedener Herkunft sind beschrieben [20].

Die genaue Ursache der bioziden Wirkung von Holz ist noch unbekannt. Diskutiert wird sowohl ein physikalischer Mechanismus als auch lösliche oder unlösliche Inhaltsstoffe [19], die den Effekt allein oder in Kombination ermöglichen. Eine physikalische Ursache wäre die Bindung an Holzstrukturen mit hygroskopischem, für Mikroorganismen letalem Wasserentzug [17, 28]. Inhaltsstoffe, die für biozide Wirkungen in Frage kommen, sind Polyphenole wie Tannine [10, 11, 18, 25], Flavonoide oder andere Phenole [6, 22] sowie Stilbene [8]. Bei wiederholter Beanspruchung „verbraucht“ sich die Wirksamkeit nicht, auch nach zehnmaliger, sukzessiver Kontamination der gleichen Stelle bleibt die biozide Wirksamkeit von Kiefernkernelholz voll erhalten – allerdings ist ein Kapazitätseffekt messbar, d. h. mit steigender Keimbelastung (untersucht bis  $10^8$  KBE/cm<sup>2</sup>) verlängern sich die Eliminationszeiten [27]. Flüchtige Komponenten könnten an der Wirkung ebenfalls beteiligt sein, denn frisches Holz wirkt etwas besser als über 41 Monate gelagertes. Dieser Effekt war allerdings erst bei Keimdichten über  $10^9$  KBE/g und mit Kiefernholzspänen messbar [19]. Die ungenügende Wirksamkeit des Desinfektionsmittels Sirafan perfekt könnte auf die Inaktivierung von Benzalkoniumchlorid und Oligo-[di(iminoimidocarbonyl)iminohexamethylen] durch phenolische Holzinhaltstoffe (Hydroxylanion-Gruppen, OH<sup>-</sup>) zurückgehen. Da Sirafan perfekt aber auch auf den Kunststoff-Oberflächen zwar desinfizierend, aber doch etwas schwächer wirksam war als die Vergleichsprodukte, könnte auch eine von der Molekül-Ladung unabhängige Wirkstoffadsorption eine Rolle gespielt haben (Textilfasern des Wischtuches oder Zellulose-Fibrillen des Holzes). Alle anderen Desinfektionsmittel (Aldehyde, Amine und Alkohol) waren bei der Anwendung auf Holz uneingeschränkt wirksam. Als Fazit kann gezogen werden, dass gegen rohes Holz im Stationsbereich von Kliniken keine hygienischen Vorbehalte geltend gemacht werden können, wenn zur Beseitigung von potenziell infektiösen Kontaminationen Desinfektionsmittel eingesetzt werden, die nicht auf kationenaktiven Verbindungen basieren. Von unbehandelten Holzflächen gehen nicht mehr und nicht weniger Infektionsgefahren aus als von anderen Materialien auch. In Bereichen mit geringem Verschmutzungsrisiko (keine Körperflüssigkeiten, Sekrete, Exkrete, Handkontaktflächen usw.) kann rohes Holz in Kliniken eine hervorragende Alternative darstellen, die von Patienten sehr befürwortet wird. Im Gegensatz zu anderen Werkstoffen schafft Holz ein ausgeglichenes Raumklima und eine vertraute und wohnlichere Atmosphäre [29], es wirkt schallschluckend, es vermeidet störende Lichtreflexionen und ist ein umweltverträglicher, nachwachsender und damit nachhaltiger Werkstoff.

## Literatur

1. Abrishami SH, Tall BD, Bruursema TJ, Epstein PS, Shah DB: Bacterial adherence and viability on cutting board surfaces. *J. Food Safety* 1994; 14: 153–172
2. Ak NO, Cliver DO, CW Kaspar: Decontamination of plastic and wooden cutting boards for kitchen use. *J. Fd. Prot.* 1994; 57: 23–30
3. Ak NO, Cliver DO, Kaspar CW: Cutting boards of plastic and wood contaminated experimentally with bacteria. *J. Fd. Prot.* 1994; 57: 16–22
4. Borneff J, Hassinger R, Wittig J, Edenharder R: Untersuchungen zur Keimverbreitung in Haushaltsküchen. I. Problemstellung, Versuche, Ergebnisse. *Zbl. Bakt. Hyg. B* 1988; 186: 1–29
5. Borneff J, Hassinger R, Wittig J, Edenharder R: Untersuchungen zur Keimverbreitung in Haushaltsküchen. II. Mitteilung: Beurteilung der Resultate and hygienische Schlussfolgerungen. *Zbl. Bakt. Hyg. B.* 1988; 186: 30–44
6. Cowan MM: Plant products as antimicrobial agents. *Clin. Microbiol. Rev.* 1999; 12: 564–582
7. DIN EN 350-2: Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten – Natürliche Dauerhaftigkeit von Vollholz – Teil 2: Leitfaden für die natürliche Dauerhaftigkeit und Tränkbarkeit von ausgewählten Holzarten von besonderer Bedeutung in Europa; Ausgabe:1994-10
8. Duke JA: Handbook of biologically active phytochemicals and their activities. Boca Raton, FL. CRC Press 1992
9. Empfehlung d. Kommission f. Krankenhaushygiene u. Infektionsprävention b. Robert Koch-Institut: Anforderungen a. d. Hygiene b. d. Reinigung u. Desinfektion v. Flächen. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz* 2004; 47: 51–61 (6.1 Beschaffenheit v. Oberflächen i. Hinblick a. Reinigung u. Desinfektion, S. 58)
10. Field JA, Kortekaas S, Lettinga G: The tannin theory of methanogenic toxicity. *Biol. Wastes* 1989; 29: 241–262.
11. MM: Plant products as antimicrobial agents. *Clin. Microbiol. Rev.* 1999; 12: 564–582
12. Geflügelfleischhygiene-Verordnung/ GFIHV (in der derzeit gültigen Fassung): Kapitel I, Anlage 2: Beschaffenheit und Ausstattung der Räume, in denen Geflügelfleisch gewonnen, zubereitet oder behandelt wird
13. Gehrig M, Schnell G, Zürcher E, Kucera LJ: Hygienic aspects of wood and polyethylene cutting boards regarding food contamination. A comparison. *Holz Roh-Werkstoff* 2000; 58: 265–269
14. Gerigk K: Anwendungstechnische und bakteriologische Untersuchungen von Kunststoffschneidbrettern. *Fleischwirtsch.* 1966; 11: 1215–1216
15. Gilbert RJ, Watson HM: Some laboratory experiments on various meat preparation surfaces with regard to surface contamination and cleaning. *J. Fd. Technol.* 1971; 6: 163–170
16. Großklaus D, Levetzow R: Neue Untersuchungen über die hygienisch – technologische Eignung von Schneidunterlagen aus Kunststoff. *Fleischwirtsch* 1967; 47: 38–40
17. Kampelmacher EH, Mossel DAA, van Schothorst M, van Noorle Jansen LM: Quantitative Untersuchungen über die Dekontamination von Holzflächen in der Fleischverarbeitung. *Alimenta (Sonderausgabe Lebensmittel tierischer Herkunft)* 1971; 70–76
18. Laks PE, McKaig PA: Flavonoid biocides: wood preservatives based on condensed tannins. *Holzforschung* 1988; 42 (5): 299–306
19. Milling A: Holz – ein natürlicher Werkstoff mit antibakteriellen Eigenschaften? Vergleichende Untersuchungen zum Überleben von Bakterien auf Holz und Kunststoff mit mikrobiologischen und molekularen Methoden. Dissertation an der TU Braunschweig, 2005 (Druckjahr)
20. Milling A, Kehr R, Wulf A, Smalla K: Survival of bacteria on wood and plastic particles: Dependence on wood species and environmental conditions. *Holzforschung* 2005; 59: 72–81
21. Milling A, Kehr R, Wulf A, Smalla K: The use of wood in practice – a hygienic risk? Holz als Roh- und Werkstoff 2005; (in Druck, als online-Publikation ab 03.11.2005 zugänglich)
22. Rauha JP, Remes S, Heinonen M, Hopia A, Kähkönen M, Kujala T, Pihlaja K, Vuorela H, Vuorela P: Antimicrobial effects of Finnish plant extracts containing flavonoids and other phenolic compounds. *Intern. J. Food Microbiol.* 2000; 56: 3–12
23. Milling A, Kehr R, Wulf A, Smalla K: The use of wood in practice – a hygienic risk? Holz als Roh- und Werkstoff 2005; (in Druck, als online-Publikation ab 03.11.2005 zugänglich)
24. Rödel W, Hechelmann H, Dresel J: Hygieneaspekte zu Schneidunterlagen aus Holz und Kunststoff. *Fleischwirtsch.* 1994; 74: 814–821
25. Scalbert A: Antimicrobial properties of tannins. *Phytochem.* 1991; 30 (12): 3875–3883
26. Schönwälder A: Hygienische Aspekte bei Holz und Holzprodukten. *AFZ – Der Wald* 1999; 15: 789–791
27. Schönwälder A, Kehr R, Wulf A, Smalla K: Wooden boards affecting the survival of bacteria? Holz als Roh- und Werkstoff 2002; 60: 249–257
28. Schulz H: Holz im Kontakt mit Lebensmitteln. *Holz–Zentralblatt* 1995; 84: 1395, 1400.

29. Schuster F: Vom Gestalten der Dinge aus Holz und ihre Wirkung auf den Menschen. Holz Heim Hygiene 1958; 43: 101–106
30. Seyfarth H: Mikrobiologisches Monitoring Oberflächen/Personal. Beitrag in CONCEPT-Symposium: Good (microbial) Monitoring Practice, 21./22. Oktober 1999; Heidelberg. S. 1–26
31. Snyder OP: The microbiology of cleaning and sanitizing a cutting board 1997; <http://www.hi-tm.com/Documents/Cutboard.html>
32. Schuster F: Vom Gestalten der Dinge aus Holz und ihre Wirkung auf den Menschen. Holz Heim Hygiene 1958; 43: 101–106

### **Korrespondenzadresse**

Prof. Dr. Franz Daschner  
Institut für Umweltmedizin und Krankenhaushygiene  
Universitätsklinikum Freiburg  
Hugstetterstr. 55,  
79106 Freiburg  
Tel.: 0761 270 5481  
Fax: 0761 270 5486  
E-Mail: [deborah.lawrie-blum@uniklinikfreiburg.de](mailto:deborah.lawrie-blum@uniklinikfreiburg.de)