

# Kupfer für das keimfreie Krankenhaus

## Aktuelle Erkenntnisse zeigen Kupferwerkstoffe als ideale Lösung

**Angesichts der hohen Zahl von Krankenhausinfektionen ist die Suche nach Ursachen und Lösungen ein äußerst aktuelles Thema. Wie schon mehrfach berichtet, könnte Kupfer eine Lösung bieten. Wenn Kupfer hier aber ein neues Anwendungsfeld erschließen will, muss die Branche schnell sein, denn andere Bereiche, wie Edelstahl oder Kunststoff bieten ebenfalls Lösungen an.**

**K**upfer kann aber für sich einen gewichtigen Vorteil anführen: Ganz von selbst, d.h. ohne spezielle Reinigungsmittel, Imprägnierungen oder andere Maßnahmen werden Bakterien bekämpft. Und: Kupfer ist beispielsweise für die von vielen Menschen angefassten Türklinken bereits jetzt weit verbreiteter Werkstoff, der auch ein vom Wert her besseres Image hat als seine Konkurrenz (Bild 1). Nun kann die Kupferlegierungstürklinke sogar noch mit einem weiteren Vorteil punkten: Sie ist hygienischer als die Mitbewerber.

### Bakterien verenden auf Kupfer

Doch warum sterben Bakterien auf Kupferoberflächen? Biochemiker der Uni-

versität Bern haben jetzt gemeinsam mit Materialforschern der Universität des Saarlandes ein wichtiges Detail des Phänomens enträtselt. In Laborversuchen wurde bewiesen, dass die Bakterien nur dann verenden, wenn sie in direktem Kontakt mit der Kupferoberfläche stehen. Einzelne Kupferionen in einer Flüssigkeit reichen dafür oft nicht aus. Diese Erkenntnis wird der Materialtechnik dabei helfen, Beschichtungen zu entwickeln, die Bakterien hemmen können, etwa für Türklinken und Lichtschalter in Krankenhäusern. Rund 500.000 Menschen erleiden laut Robert Koch-Institut jährlich eine Infektion im Krankenhaus. Wie viele daran sterben, schätzen Fachleute unterschiedlich ein. Die Angaben schwanken zwischen 15.000 bis 40.000 Todesfällen pro Jahr.

„Das sind mehr Menschen als im Straßenverkehr sterben“, vergleicht Marc Solioz, Professor für Biochemie der Universität Bern. Gemeinsam mit Frank Mücklich, Professor für Funktionswerkstoffe der Saar-Uni, will Solioz antibakterielle Beschichtungen entwickeln, um damit die Ausbreitung gefährlicher Infektionen in Krankenhäusern einzudämmen. „Für solche neuen Materialien müssen wir aber zuerst verstehen, auf welche Weise das Kupfer die Bakterien tötet. Denn Kupfer ist zugleich das dritthäufigste Spurenelement im menschlichen Körper und dort offenkundig nicht schädlich“, erläutert Solioz.

### Wie kommen Cu-Ionen ins Zellinnere?

Mindestens fünf verschiedene Erklärungsmuster werden derzeit weltweit von Wissenschaftlern untersucht. „Einige vermuten, dass Kupfer die Zellwand der Bakterien destabilisiert und diese dadurch auslaufen. Andere Forscher gehen davon aus, dass sich Kupfer an die DNA der Keime bindet und die Gensequenzen in kleine Stücke zerteilt“, fasst Marc Solioz zusammen. Fakt ist, dass sich im Inneren von getöteten Bakterien unter dem Elektronenmikroskop Kupferionen nachweisen lassen. Wie das Kupfer ins Innere der Zellen gelangt, ist noch unklar, ebenso, wie der zerstörerische Prozess bei Bakterien ausgelöst wird. Im Laborversuch wurde die Laserinterferenztechnologie am Steinbeis-Forschungszentrum für Werkstofftechnik (MECS) in Saarbrücken, das



Fotos: METALL

Aluminiumlegierung, Edelstahl oder Messing für die Türklinke: Aus bakteriologischer Sicht ist die Antwort klar – Kupfer ist hygienischer

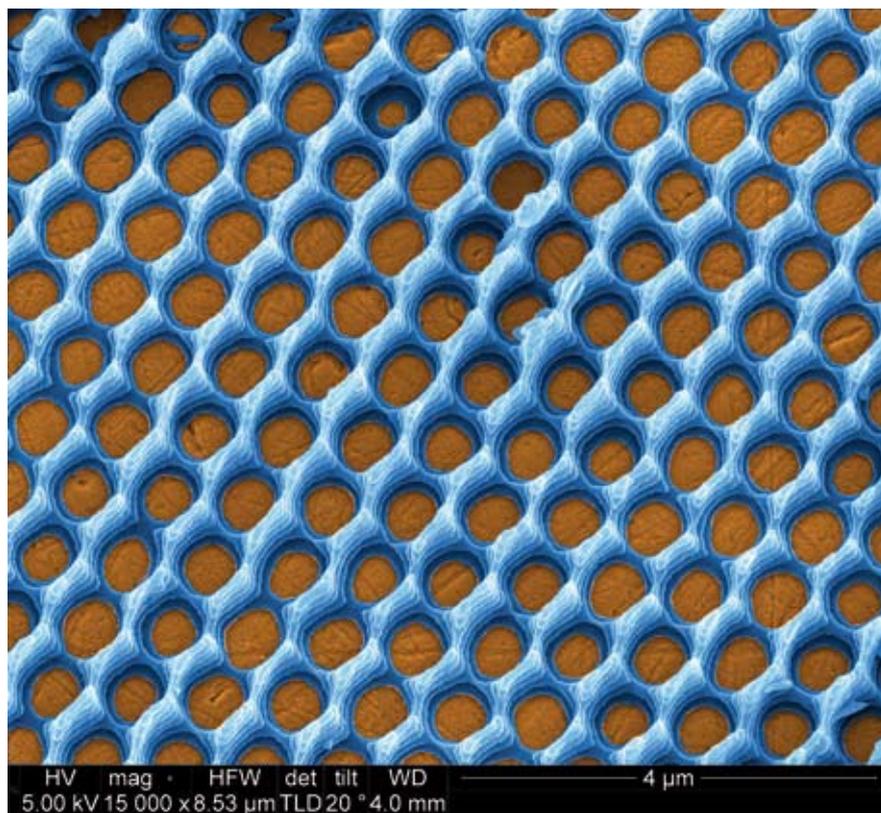


Foto: Universität des Saarlandes

**Bild 2:** Mit gepulsten Laserstrahlen wurde winzige Löcher in die hauchdünne Kunststoffbeschichtung einer Kupferplatte geschossen. Die Löcher waren so klein, dass die Bakterien nicht zur Kupferoberfläche durchdringen konnten. Obwohl Kupferionen freigesetzt wurden, starben die Bakterien ohne direkten Kontakt zur beschichteten Oberfläche kaum ab.

von Prof. Mücklich geleitet wird. Eine Kupferplatte wurde dort mit einer dünnen Kunststoffschicht überzogen. Mit pulserenden Laserstrahlen wurde winzige Löcher in diese Schicht geschossen und so ein wabenartiges Muster erzeugt (Bild 2). Die Löcher waren mit einem halben Mikrometer, kleiner als der Durchmesser der Bakterien. „Das für uns überraschende Ergebnis war, dass die Bakterien auf dieser Oberfläche nicht abgestorben sind, obwohl Kupferionen freigesetzt wurden“, erläutert Mücklich.

Im Vergleichsversuch mit einer unbeschichteten Kupferplatte und der gleichen Konzentration von Kupferionen waren alle Bakterien nach wenigen Stunden vernichtet. „Dies zeigt, dass die Bakterien vor allem beim direkten Kontakt mit der Kupferoberfläche absterben. Offenbar wird dadurch erst die Zellhülle angegriffen und so die Voraussetzung dafür geschaffen, dass die Kupferionen die Zellen völlig zerstören können“, schlussfolgert das interdisziplinäre Forscherteam. Dies lässt vermuten, dass komplexe elektrochemische Prozesse zwischen Kupferplatte und Keimen auf der Oberfläche eine Rolle spie-

len. Sie müssen nun noch genauer erforscht werden, damit aktiv keimtötende Materialoberflächen auf Kupferbasis entwickelt werden können.

### Krankenhäuser und Arztpraxen rüsten auf

Doch selbst, wenn der Mechanismus noch geklärt werden muss, das Ergebnis überzeugt. Immer mehr Krankenhäuser und medizinische Einrichtungen setzen bereits jetzt im Kampf gegen Keime auf antimikrobielle Kupferlegierungen. So nutzte die studentische Beratungsgruppe „Cover Upgrade“ eine süddeutsche Arztpraxis für einen Feldtest. Bei diesem Projekt der Dualen Hochschule Baden-Württemberg wurde erstmals weltweit die antimikrobielle Wirksamkeit von Kupferlegierungen im Einsatz in einer Arztpraxis gemessen.

In den Praxisräumen des Heidenheimer Arztes Gert-Michael Gmelin untersuchten die angehenden Wirtschaftsingenieure die herkömmlichen Materialien sowie diverse Bauteile im Alltagstest auf ihre antimikrobielle Wirkung.

Das Resultat: Die neu installierten Bauteile weisen eine erheblich geringere Keimbelastung auf als die konventionellen Komponenten, die Reduktion liegt bei laufendem Praxisbetrieb bei mehr als 80 %.

### Wirksamkeit in Arztpraxis nachgewiesen

Beim Umbau der Heidenheimer Arztpraxis wurden die wichtigsten oft berührten Bauteile durch antimikrobielle Legierungen der Firma Wieland ersetzt. So ließ das Forschungsteam die Türklinken aus verchromtem Stahl bzw. Kunststoff durch die Legierung FX 9 ersetzen, die Kunststoff-Lichtschalter und -Steckdosen wurden durch Bauteile aus L49 substituiert. Die Tresenabdeckung – zuvor aus Kunststoff – wurde ebenfalls aus FX9 ausgeführt (Bild 3), und der verchromte Stahlgriff der Durchreiche durch SW1 ersetzt. Mithilfe eines Luminometers führte das „Cover Upgrade“-Projektteam die Messung der Keimbelastung vor und nach dem Umbau durch. Gemessen wurde die vorhandene Biolumineszenz der Oberflächen, angegeben in „Relativ Light Units“ (RLU), die einen direkten Rückschluss auf die tatsächliche Keimzahl zulässt – je höher dieser Wert, desto höher die Belastung. Die direkte Korrelation dieser beiden Werte

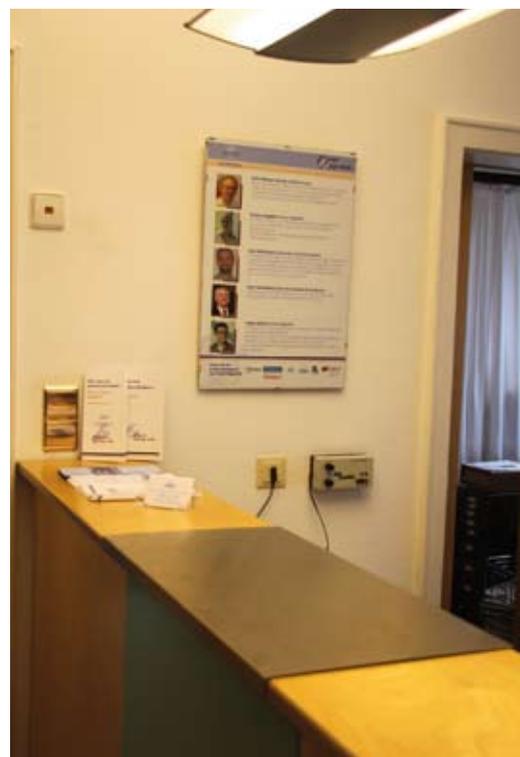


Foto: Wieland

**Bild 3:** Tresen und Lichtschalter aus antimikrobiellen Kupferlegierungen in der Heidenheimer Arztpraxis



Foto: Wieland

**Bild 4: Centre Hospitalier de Rambouillet: Hier wurden an den Schwingtüren Türplatten aus antimikrobiellem Werkstoff eingesetzt.**

wurde während einer Kooperation mit dem Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr in München quantifiziert.

Die Ergebnisse der Messungen bei normalem Praxisbetrieb waren eindeutig: Während auf den nicht antimikrobiellen Teilen eine durchschnittliche Belastung von rund 562 RLU gemessen wurde, ergab sich auf den antimikrobiellen Bauteilen eine Durchschnittsbelastung von ca. 92 RLU. Nach der Studie von „Cover Upgrade“

kann damit von einer Keimreduktion von 83,7 % ausgegangen werden.

Laut Tobias Ziesel, dem Verantwortlichen für Technologie im Projektteam, reichen die in dieser Studie verwendeten Messgeräte nicht aus, um das volle Ausmaß der Keimreduktion zu erfassen. „Da die gemessenen Werte zum großen Teil auf der unteren Messschwelle der verwendeten Geräte liegen, haben wir wohl nicht die gesamte Abnahme erfassen können“. Unter Laborbedingungen erreichen antimikrobielle Kupferlegierungen eine Keimreduktion von 99,99% und mehr innerhalb von zwei Minuten.

#### Praxiseinsatz im Centre Hospitalier de Rambouillet

Der Praxiseinsatz von antimikrobiellen Legierungen der Wieland-Werke verläuft bisher sehr erfolgreich. Das aktuellste Beispiel ist das Centre Hospitalier de Rambouillet im Großraum Paris. Hier wurden diverse Innenraum-Elemente installiert, um das Infektionsrisiko für die Patienten zu senken: Ausgetauscht wurden unter anderem Tischwagen, die nun mit maßgeschneiderten Oberflächen aus der Legierung S23 mit der chemischen Zusammensetzung CuZn23Al3Co ausgestattet sind. Ebenfalls aus dieser Legierung wurden Türplatten für die typischen Schwingtüren gefertigt (Bilder 4 und 5). Des Weiteren kommen Lichtschalter aus L49 mit der Zusammensetzung CuNi9Sn2 zum Einsatz sowie Handläufe aus M37 mit der Zusammensetzung CuZn37.

Foto: Wieland



**Bild 5: Centre Hospitalier de Rambouillet: Schwingtüre in Nahaufnahme mit antimikrobiellen Türplatten**

Die hierzulande bisher bekannteste Krankenhaus-Referenz ist die Asklepios Klinik Wandsbek in Hamburg. Im Rahmen des vom Deutschen Kupferinstitut (DKI) begleiteten Feldversuches „Antimikrobielle Kupferoberflächen“ wurden hier in zwei Stationen über mehrere Monate hinweg Türgriffe, Türplatten und Lichtschalter gegen solche aus speziellen Kupferlegierungen ausgetauscht. Das Ergebnis: Auf den Kupferoberflächen fanden sich im Vergleich zu den herkömmlichen Materialien deutlich weniger Antibiotika-resistente Bakterien wie MRSA (Methicillin-resistenter Staphylococcus aureus).

Bereits im Jahr 2008 hat die US-Umweltbehörde EPA die antimikrobielle Wirkung von ausgewählten Kupferlegierungen anerkannt. In zahlreichen, weltweit durchgeführten Studien konnte diese Wirkung ebenfalls nachgewiesen werden.

#### Mit Kohlendioxid zu bakterienfreien Kunststoffoberflächen

Doch auch bei anderen Werkstoffen, wie z.B. Kunststoffen, läuft die Forschung mit dem Ziel Bakterienfreiheit. Neu ist, dass man solche Oberflächen mit Nanosilber nachträglich behandeln und somit gegen Bakterien beständig machen kann. Kunststoffe werden normalerweise gefärbt, mit Additiven versehen und funktionalisiert, damit sie für jede Anwendung die besten Eigenschaften erzielen. Diese sogenannte Compoundierung von Kunststoffbauteilen wird bei hohen Temperaturen durchgeführt – dadurch ist jedoch die Verwendung von wärmeempfindlichen Stoffen wie Pharmazeutika nicht möglich. Sie würden den hohen Temperaturen nicht Stand halten. Darüber hinaus ist bei vielen Kunststoffen eine Beschichtung der Oberfläche erforderlich.

Einen neuen Ansatz verfolgen Forscher des Fraunhofer-Instituts für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT in Oberhausen: Sie kombinieren die Vorteile von Compoundierung und Oberflächenbeschichtung, um Kunststoffe mit überkritischem Kohlendioxid zu imprägnieren. „Wir pumpen flüssiges Kohlendioxid in einen Hochdruckbehälter mit den zu imprägnierenden Kunststoffteilen und erhöhen Temperatur und Druck so lange, bis das Gas den überkritischen Zustand erreicht. Anschließend steigern wir den Druck. Teilweise lösen sich Additive, wie Farbstoffe oder pharmazeutische Substanzen, vollständig im Kohlendioxid auf



Foto: Fraunhofer UMSICHT

**Bild 6:** Durch die nanoskaligen Silberpartikel haben Bakterien in Kunststoffoberflächen keine Chance.

und diffundieren zusammen mit dem Gas in den Kunststoff. Dieser Vorgang dauert nur wenige Minuten“, erläutert Manfred Renner, Abteilungsleiter Leder- und Hochdrucktechnik. In Oberflächen wie Türgriffen können auf diese Weise nach dem Herstellungsprozess nanoskalige Silberpartikel oberflächennah und materialeffizient eingebracht werden, wodurch die Vermehrung von Bakterien gestoppt wird. Mit der neuen Imprägniermethode lassen sich anders als bei der Compoundierung auch wärmeempfindliche Stoffe wie Pharmazeutika einbringen. Gleichzeitig werden Imprägnate wie Pigmente, Nanopartikel oder UV-Stabilisatoren eingespart und dort angereichert, wo sie wirksam sind – in der Nähe der Oberfläche. Kratzer können diese Form der Imprägnierung nicht beeinträchtigen.

### Umweltschonendes Imprägnieren mit überkritischem CO<sub>2</sub>

Während der Imprägnierung hat das überkritische Kohlendioxid zwei Aufgaben: Es öffnet die polymere Struktur und ermöglicht so einen Stofftransport in die Oberfläche. Außerdem kann es bereits gelöste Additive enthalten und diese zum Zeitpunkt der Druckentspannung in die Polymeroberfläche abscheiden. Das Verfahren birgt großes Potential, denn Kohlendioxid ist nicht brennbar, nicht toxisch und kostengünstig. Es zeigt zwar ein lösemittelähnliches Verhalten, hat aber nicht die Nebenwirkungen der gesundheits- und umweltschädigenden Lösemittel, die beispielsweise beim Lackieren verwendet werden. Ob Türklinken, automobiler Bedienelemente oder andere Oberflächen, die von vielen verschiedenen Nutzern berührt werden, die Methode findet diverse Einsatzmöglichkeiten und Anwendungen,

Bauteile materialeffizient und umweltschonend den Bedürfnissen ihrer Kunden anzupassen.

### Silberfreie antimikrobielle Beschichtung für Kunststoffe

Ein weiterer Ansatz vermeidet Silber: INNOVENT e.V. ist es gelungen, ein Verfahren zu entwickeln, mit dem kostengünstig antibakterielle Oberflächen auf praktisch allen Kunststoffen unabhängig von deren Geometrie erzeugt werden können.

Die heute gängigen Verfahren zur Erzeugung solcher antibakterieller Eigenschaften verwenden, wie oben gezeigt, überwiegend oberflächlich aufgetragenes Silber oder in das Material eingearbeitete Biozide wie Triclosan. Bei Bioziden wie Triclosan wird aufgrund des Wirkmechanismus befürchtet, dass Bakterien dagegen resistent werden können – im Labor wurde diese Möglichkeit bereits nachgewiesen.



Foto: Innovent

**Bild 7:** Nachweis der antibakteriellen Wirkung nach ISO 22196. Eine Bakterienkultur wurde 24 Stunden mit unbehandeltem (links) und behandeltem (rechts) ABS in Kontakt gebracht und dann auf einem Nährboden angezchtet. Auf dem behandelten ABS wurden alle Keime abgetötet, wie am Ausbleiben der als weiße Punkte erkennbaren Bakterienkolonien zu erkennen ist.

Besonders bedenklich ist, dass die Keime in diesen Versuchen gleichzeitig eine Resistenz gegen andere Antibiotika entwickelt haben.

Der breite Einsatz von Silber ist laut INNOVENT e.V. ebenfalls in Frage zu stellen, da die langfristige Wirkung dieses Schwermetalls auf Mensch und Umwelt kaum abzuschätzen ist. Daher wurde jetzt mit dem kostengünstigen Verfahren der Fluorierung eine Möglichkeit entwickelt, antibakteriell wirkende Oberflächen zu erzeugen. Die Technologie wird bislang z.B. angewendet, um Plastikbehälter undurchlässig für Lösungsmittel zu machen oder um die Benetzbarkeit von Kunststoffen mit Flüssigkeiten sowie die Festigkeit von Verklebungen und Bedruckungen auf Kunststoffen zu verbessern. Die neue Methode kann bei praktisch allen Kunststoffen eingesetzt werden, um stark antibakterielle Oberfläche zu erzeugen. Durch Tests nach ISO Norm 22196 (Bild 7) konnte die Wirksamkeit gegen eine Vielzahl von Keimen, darunter auch Staphylococcus aureus, nachgewiesen werden. Keiner der getesteten Keime zeigte sich gegen die so behandelten Oberflächen unempfindlich; auch das sich dagegen resistente Keime entwickeln können erscheint mit Blick auf den Wirkmechanismus äußerst unwahrscheinlich.

### Fazit

Das Problem ist erkannt, Lösungsansätze gibt es mehrere. Kupfer kann hier eine ideale Lösung bieten, denn nicht zu vergessen sind weitere bewährte Kupfereigenschaften: Glanz, Wert, Formbarkeit, Beständigkeit und – ganz wichtig – Recyclierbarkeit.