„Holz und Hygiene“

Inhalt

Verwendung von Holz in hygienesensiblen Bereichen
wissenschaftliche Erkenntnisse der letzten 10 Jahre

Holz und Hygiene – ein Widerspruch?
Positionspapier auf Basis wissenschaftlicher Arbeiten

Literatur
zum Thema „Holz und Hygiene“

Präsentation
„Holz und Hygiene - State of the Art“

Robert Stingl
[E-Mail: robert.stingl@boku.ac.at]
Institut für Holzforschung
am Department für Materialwissenschaften und Prozesstechnik
und
Konrad Domig
[E-Mail: konrad.domig@boku.ac.at]
Abteilung Lebensmittelmikrobiologie und –hygiene
am Department für Lebensmittelwissenschaften und Lebensmitteltechnologie
beide an der Universität für Bodenkultur Wien

Verwendung von Holz in hygienesensiblen Bereichen

wissenschaftliche Erkenntnisse der letzten 10 Jahre

von Robert Stingl

Institut für Holzforschung am
Department für Materialwissenschaften und. Prozesstechnik an der
Universität für Bodenkultur Wien
Peter Jordan Str. 82, 1190 Wien
Tel.: 01 – 47654 - 4259
E-Mail: robert.stingl@boku.ac.at

1 Einführung

Holz ist **porös**, **Kunststoff**, **Metall** oder **andere Materialien** sind **porenfrei**. Daraus wurde abgeleitet, dass Holz - besonders im Kontakt mit leicht verderblichen Lebensmitteln, wie Fleisch oder Milchprodukten oder in der Anwendung in Nassräumen, wie Bad oder Sauna - schwer zu reinigen sei bzw. einen guten Nährboden für Bakterien biete. Seit **mehr als 50 Jahren** werden in regelmäßigen Abschnitten Studien veröffentlicht, wo diese Annahme bestätigt, aber auch widerlegt wird.

Mit Hilfe einer **ausführlichen Literaturrecherche** in medizinischen und holztechnologischen Publikationen sollte die Frage geklärt werden, ob **Holz** ein **hygienischer Werkstoff** ist und in hygienesensiblen Bereichen eingesetzt werden kann.

Auf Grund einer Vielzahl von Studien aus den **50iger** bis **70iger** Jahren des letzten Jahrhunderts hat der Werkstoff **Holz** einen **schlechten Ruf** in Hygienefragen. Erst ab ca. **1998** wurden mit neuen Untersuchungsmethoden und Umfeldeinschätzungen wieder Untersuchungen durchgeführt, die ein **realistischeres Bild** von Hygiene darstellten. Die oft überraschenden Ergebnisse dieser Studien zeigten, dass Holz wesentlich **bessere antibakterielle Eigenschaften** als erwartet aufweist. Oft erwiesen sich die traditionellen Werkstoffe wie Glas oder Kunststoff gleich gut oder sogar schlechter als Holz.

2 Short Summary

With an extensive literature research in medical and wood technological publications the question of the usability of wood in hygienic sensitive areas (e.g. kitchen or hospital) should be clarified.

Due to studies from the fifties to seventies of the last century, wood has gained bad reputation regarding hygiene. Studies with new analysis methods, which were published in the last five years, showed a good antibacterial behaviour of wood, quite often better than glass or plastic.

3 Ergebnisse der Recherche

3.1 Antibakterielles Verhalten von Holz

Das antibakterielle Verhalten kann auf mehrere verschiedene **holzspezifische** Eigenschaften - **physikalischer & chemischer** Zuordnung - zurückgeführt werden.

Daher ist es im Vorfeld jeder Untersuchung unabdingbar, dass diese Eigenschaften festgehalten werden. Bereits aus dem **anatomischen Aufbau** von Holz lassen sich viele Verhaltensweisen und deren Unterschiede erklären. Parameter wie Durchmesser von Zellen oder Gefäßen, Verbindungswege zwischen den Zellen oder die nachträgliche Verstopfung der Poren im Zuge der Verthyllung haben großen Einfluss auf das antibakterielle Verhalten. Vor allem die **Porosität** und der **fibrilläre Aufbau** der Zellwand bieten eine nur schwer vorstellbare **Zellraum-Oberfläche** (zur Veranschaulichung: 1 g Holz besitzt ca. $2x10^6$ cm² Zellwandfläche, laut Knigge et al. 1966). Die wichtigsten Bestandteile der Zellwand, **Cellulose** und **Hemicellulose**, sind durch ihre hohe Affinität zu Wasser gekennzeichnet. Diese führt zusammen mit der großen inneren Oberfläche zu der stark **ausgeprägten Hygroskopizität** von Holz. Holz ist also ständig bestrebt, sich auf eine **bestimmte Ausgleichsfeuchte** einzustellen, wobei diese bei Raumtemperatur bei ca. 10 - 15% liegt. Dieses geringe Feuchteangebot bietet für Bakterien oder Keime **sehr ungünstige Lebensbedingungen**. Die Folge ist, dass Mikroorganismen relativ bald absterben, vorausgesetzt dass das Holz nicht ständig durchfeuchtet ist.

Zum antibakteriellen Verhalten von Holz, ausgelöst durch die physikalischen Eigenschaften, kommt noch bei einigen Holzarten ein zusätzlicher Input durch die **eingelagerten Holzinhaltstoffe**. Besonders bei den Holzarten, die zur Familie der Kiefern, Lärchen und Eichen gehören, sind durch die holzeigenen Extraktstoffe eine Steigerung des Bakterienabsterbens zu verzeichnen. Bereits Fengel und Grosser (1975) wiesen auf das aggressive Verhalten von einigen Gerbstoffen auf Mikroorganismen hin.

Auf den folgenden Seiten werden nun einige Studien und deren Ergebnisse präsentiert, in denen die oben genannten Erkenntnisse beschrieben werden.

Annett Milling (geb. Schönwälder) (2004) hat ihre Dissertation dem Thema **"Holz - ein natürlicher Werkstoff mit antibakteriellen Eigenschaften?"** gewidmet. Sie stellte an der Technischen Universität in Braunschweig vergleichende Untersuchungen zum Überleben von Bakterien auf heimischem Holz und Kunststoff mit mikrobiologischen und neuartigen molekularen Methoden an.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden an der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft, Institut für Pflanzenvirologie, Mikrobiologie und biologische Sicherheit in Braunschweig die Holzarten **Fichte** (*Picea abies*), **Ahorn** (*Acer pseudoplatanus*), **Buche** (*Fagus sylvatica*), **Pappel** (*Populus nigra*) sowie **Glas**, **Stahl** und **Kunststoff** (Polyethylen) mit **E. Coli** (*Escherichia coli)* und **Enterokokken** *(Enterococcus faecium)* als Vertreter hygienisch relevanter Testkeime kontaminiert. Aufgebracht (in einer Lösung) wurden $1x10^7$ Kolonien bildende Einheiten (KBE) und das Verhalten während der Untersuchung mit Hilfe einer **molekularen Detektion** verfolgt. Zur Kontrolle wurde parallel die **mikrobiologische Abklatsch-Methode** hinzugefügt.

Auf Abbildung 1 lässt sich nun das Verhalten von Bakterien auf und im Holz bzw. auf anderen Materialien verfolgen.

Nach dem Auftragen der Trägerflüssigkeit mit einer definierten Bakterienanzahl bleibt der Tropfen auf Grund der Oberflächenspannung des Materials kurze Zeit in seiner **ursprünglichen Form** stehen. Nach wenigen Minuten beginnt das Holz die Flüssigkeit aufzunehmen und in die ersten Zellreihen zu verlagern. Auf den anderen Materialien vergrößert der Tropfen nur seine Grundfläche (Abb 1a & b).

Nach 30 Minuten findet die erste Messung mit der Abklatsch-Methode statt, was zur Folge hat, dass alle kontaminierten "Probetropfen" leicht flach gedrückt werden. Ein Teil der Flüssigkeit ist bereits in den Zellwänden eingebaut und führt zur **Fasersättigung** in den obersten Zellreihen. Somit wird die überschüssige Flüssigkeit in den Zellumen eingelagert. Die Bakterien **dringen** gemeinsam mit der Flüssigkeit ebenfalls in **das Holzinnere vor** und besiedeln die obersten Zellumen. Bei den anderen Materialien bleibt die Flüssigkeit unverändert auf der Oberfläche, nur ein geringer Teil der Trägerflüssigkeit verdampft bereits. Bei allen Materialien ist noch kein Bakterienabbau zu beobachten (Abb 1c & d).

Nach einer Stunden findet die zweite Bakterienanzahl-Bestimmung statt. Die Trägerflüssigkeit ist fast vollständig vom Holz aufgenommen bzw. zu einem kleinen Teil verdampft. Die Zellwände sind bis zu einer **Tiefe von 3 mm** (holzartenabhängig) bereits wassergesättigt. Die äußersten Zellumen sind großteils mit kontaminiertem Wasser gefüllt. Da bei den anderen Materialien ein Eindringen der Flüssigkeit unmöglich ist, verdampft das Wasser allmählich und bildet somit um den Tropfen ein **Mikroklima**. Auch zu diesem Zeitpunkt ist noch auf keinem Material eine Bakterienreduktion zu verzeichnen (Abb 1e & f).

Nach 2 Stunden erfolgt die nächste Messung. Das Holz hat durch Umlagerungen der Flüssigkeiten innerhalb der Zellwände die **gesamte Trägersubstanz** in die **Zellwandstruktur eingebaut**. In den Zellumen befindet sich somit **kein** freies Wasser. Ab diesem Zeitpunkt kommt es im Holz zu einem **massiven Bakterienabbau**, da die lebensnotwendige Feuchtigkeit abgezogen wurde. Die Reduktion findet von innen nach außen statt, da im Vorfeld weniger Feuchtigkeit und Bakterien in die tieferen Schichten vorgedrungen sind. Auch an den Oberfläche, an denen die Bakterienzahl mittels Abklatsch-Methode bestimmt werden, ist eine **deutliche Reduktion** (bis zu -25%) zu verzeichnen. Auf Glas, Metall und Kunststoff hingegen ist die Bakterienanzahl unvermindert hoch. Es ist zwar die Trägerflüssigkeit **fast vollständig verdampft**, es hat sich aber eine **dünne Nährlösungsschicht** ausgebildet. In dieser wird Feuchtigkeit gespeichert und bietet den Bakterien eine Überlebensmöglichkeit (Abb 1g & h).

Nach 24 Stunden ist die Bakterienanzahl auf Holz auf einen Wert von **ca. 10 - 15%** der Ausgangsbelastung **gesunken**. Nur noch in den obersten Zellreihen und an der Oberfläche lassen sich die schädlichen Mikroorganismen detektieren. Nach ca. 5 Stunden konnte bei **Metall** die erste Reduktion festgestellt werden. **Kunststoff** hingegen benötigte fast 20 Stunden, um einen Rückgang verzeichnen zu können.

Die Messungen wurden nach unterschiedlichen **Zeitpunkten abgebrochen. Nach 48 Stunden konnten bei Holz nur noch kleinste** Reste der Bakterienbelastung festgestellt werden. Das Holz hat sich wieder auf seine **natürliche Ausgleichsfeuchte** eingestellt und somit die **Lebensbedingungen** für Bakterien so **verschlechtert**, dass auch der kleine noch vorhandene Rest bald abgestorben ist (Abb 1i). Zu diesem Zeitpunkt war die Bakterienbelastung auf den anderen Werkstoffen noch wesentlich **höher**. Glas benötigte ca. **100 Stunden** - Kunststoff sogar **fast 200 Stunden**, um auf denselben Wert zu fallen, bei denen die Untersuchungen bei Holz (nach 48 Stunden) abgebrochen wurden (Abb 1j).

Diese Studie ist von einer **typischen Belastung** in einem **Haushalt** ausgegangen. Ein Tropfen kontaminiertes Wasser fällt zum Beispiel auf eine Arbeitsfläche und wird nicht sofort abgewischt. Dieser sicher übliche Fall zeigte eindeutig, dass Holz ein **gleichgutes** oder **sogar besseres** antibakterielles Verhalten an den Tag legt.

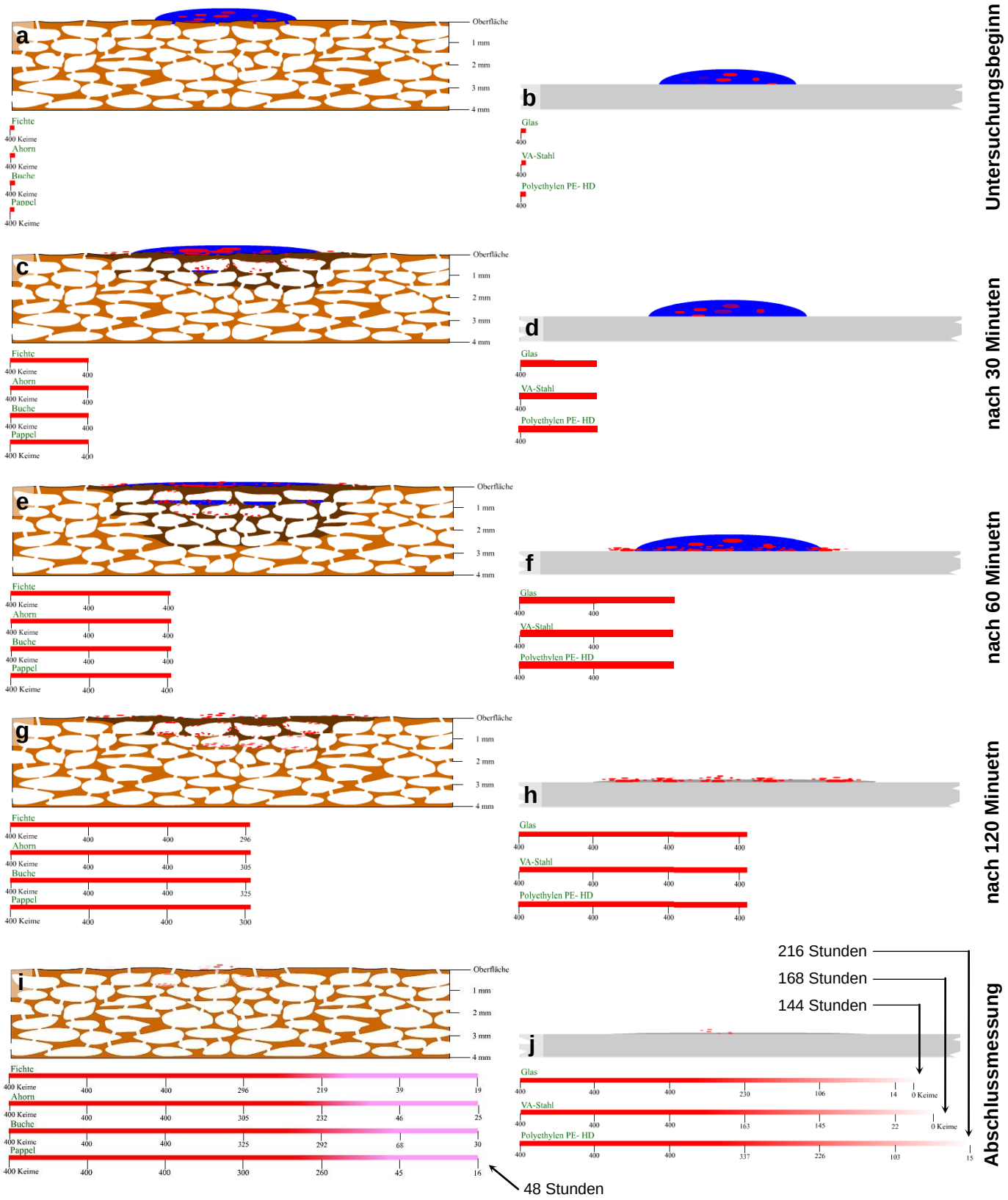

Abbildung 1 - Beobachtung des Bakterienabbaus von kontaminierten Holz, Glas, Stahl und Polyethylen; Kontaminierung mit E. coli Bakterien (10^7 KBE/cm²) (Quelle: Wilms 2006, Milling 2004)

3.2 Einflussfaktoren auf das antibakterielle Verhalten von Holz

3.2.1 Eindringtiefen von Bakterien und Sporen in das Holz

Simone Prechter befasste sich in ihrer Diplomarbeit (Leitung: Prof. G. Cerny - Wissenschaftszentrum Weihenstephan) mit hygienischen Aspekten von Schneidbrettern aus Holz bzw. Kunststoff, welche im Haushalt verwendet werden. Ein wichtiger Punkt ihrer Arbeit war die Bestimmung der **Eindringtiefen** von Bakterien und Sporen in das Holz (Prechter et al. 2002). Hiezu wurde auf mehrere Holzarten 100µl Bakteriensuspension (10^6 KBE mit **E. Coli** (*Escherichia coli*) oder $1{,}8 \times 10^6$ Sporen mit **Heubazillus** (*Bacillus subtilis*)) aufpipettiert. Nach einer Einwirkzeit von 24 Stunden bei 40% relativer Luftfeuchte und 21 °C wurden die Proben aufgetrennt und die Bakterien- bzw. Sporenzahl bestimmt. Sporen, die in der Küchenhygiene eine untergeordnete Rolle spielen, wurden deswegen verwendet, weil sie resistent gegenüber Austrocknungseffekten, sowie gegenüber chemischen und thermischen Hemmfaktoren sind.

Aus Abbildung 2 geht hervor, dass die **Sporen** mit der vom Holz aufgenommenen Flüssigkeit in einigen quergeschnittenen (Hirnschnitt) Holzarten (Ahorn, Buche, Hainbuche) **mehr als 4 mm tief** ins Holz eingedrungen sind. Demgegenüber sind die Eindringtiefen bei längs geschnittenen (Fladerschnitt) Hölzern deutlich geringer.

Bakterien zeigen bei quergeschnittenem Holz die gleichen Eindringtiefen wie Sporen. Bei in Längsrichtung geschnittenen Hölzern haben sie aber nur noch **0,3 - 0,7 mm** (**Eiche sogar 0,05 mm**) Eindringung aufgewiesen.

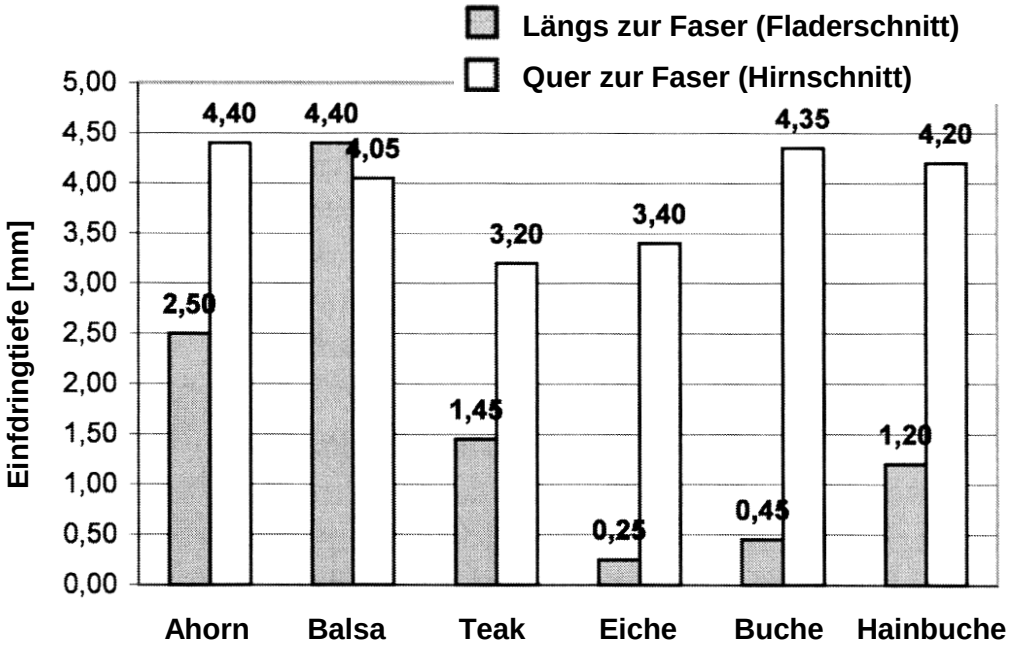

Abbildung 2 - Maximale Eindringtiefe von *Bacillus subtilis* - Sporen bei Längs- und Querschnitten verschiedener Holzarten (Lagerung bei 40% rel. Luftfeuchte; 21°C) (Prechner et al. 2002)

3.2.2 Einfluss der Oberflächenstruktur

Martin Gehrig hat gemeinsam mit Kollegen an der Eidgenössischen Technischen Hochschule (ETH) in Zürich und dem Qualis Laboratorium für Qualitätsuntersuchungen und Heilmittel in Rubigen die hygienischen Eigenschaften von Holz- und Kunststoffbrettern in der Nahrungsmittelverarbeitung und -präsentation untersucht (Gehrig et al. 2000). Besonderes Augenmerk bei dieser Studie wurde auf die **Oberflächenbeschaffenheit** des Probenmaterials aus Ahorn, Buche und Polyethylen gelegt. Es wurden vier verschiedene Annahmen getroffen (Abb 3). Es wurden neue bzw. gebrauchte unbehandelte Bretter, sowie neue bzw. gebrauchte gefettete Bretter mittels einer Pipette und Spachtel mit 0,2 ml physiologischer Kochsalzlösung mit E. Coli (*Escherichia coli*) Bakterien ($1{,}5 \times 10^7$ KBE/ml)) kontaminiert. Gebraucht bedeutet, dass das zu untersuchende Brett einen Monat in einem Haushalt in Verwendung war. Gefettet bedeutet, dass das Probenmaterial vor der Kontamination mit zerlassenem Speisefett (10% Butter) eingerieben wurde. Nach der Kontamination wurde eine Hälfte mit einem handelsüblichen Allzweckreiniger in 50°C warmem Wasser gereinigt und zum Abtrocknen bei Raumtemperatur abgestellt. Die andere Hälfte des Probenmaterials lagerte für 15 Stunden in Plastiksäcken luftdicht verpackt. Abschließend wurde an allen Proben (Abklatsch-Methode) die Keimzahl bestimmt.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten **zwei eindeutige Ergebnisse**: der Einfluss der **Oberflächenstruktur** bei Holz ist **gering**, hingegen ist die **Feuchtigkeit** ein **bestimmender Faktor**. Auf allen gelagerten Proben, die eingefettet sind, zeigte sich ein deutlich höherer Bakterienwert. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass die Flüssigkeit nicht in das Holz eindringen konnte und z.T. sogar bis nach Ablauf der Lagerung als Tropfen erhalten blieb. Bei allen unbehandelten hölzernen Brettern - ob neu oder gebraucht - ist die Oberfläche **fast immer keimfrei**. Daraus kann abgelesen werden, dass die **Oberflächenstruktur** bei Holz **fast keinen Einfluss** hat. **Kunststoffoberflächen** haben bei allen Annahmen am **schlechtesten** abgeschnitten (Abb 3).

Diese Feststellung wird mit REM-Aufnahmen untermauert. Die neu gehobelte Brettoberfläche von Holz zeigt eine **fein poröse Oberfläche**, wo Flüssigkeit rasch in die obersten Zellreihen geleitet werden kann und somit zu einem raschen Abtrocknen des Holzes führt. (Abb 4A). Eine benutzte Holzoberfläche zeigt zwar **viele Strukturschäden**, bleibt aber trotzdem ein poröser Werkstoff mit ähnlichen Feuchtigkeitseigenschaften wie das unbenutzte Brett (Abb 4B). Viele Kunststoffoberflächen werden mit Noppen hergestellt (um Rutschfestigkeit zu gewährleisten), die besonders geeignet sind als **Brutstätten** für Bakterien. Nach der Benutzung eines PE-

Brettes hat dieses eine ähnlich Oberfläche wie Holz (Abb 4C & D). Der maßgebende Unterschied ist aber, dass Flüssigkeiten **langsam** in diesen Spalten trocknen, da keine natürliche Hygroskopizität wie bei Holz gegeben ist. Weiters konnte unter dem Raster-Elektronen-Mikroskop (REM) beobachtet werden, dass durch **vermehrtes** Schneiden diese Spalten wieder geschlossen werden und sich ein **keimförderndes Mikroklima** bildet. Holzspalten öffnen sich beim Trocknen durch das Schwinden wieder und besitzen zusätzlich noch eine **ausgeprägte Hygroskopizität**.

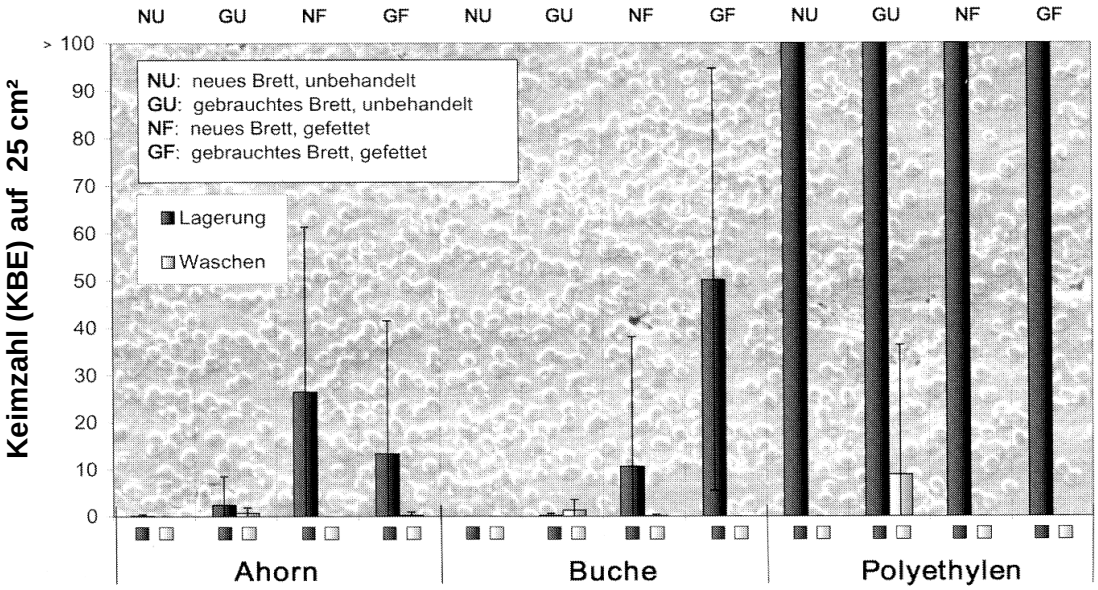

Abbildung 3 - Keimzahl auf Schneidbrettern aus Ahorn, Buche und Polyethylen nach unterschiedlichen Behandlungen und mittelfeuchter Lagerung oder manuellen Waschung (Gehrig et al. 2000)

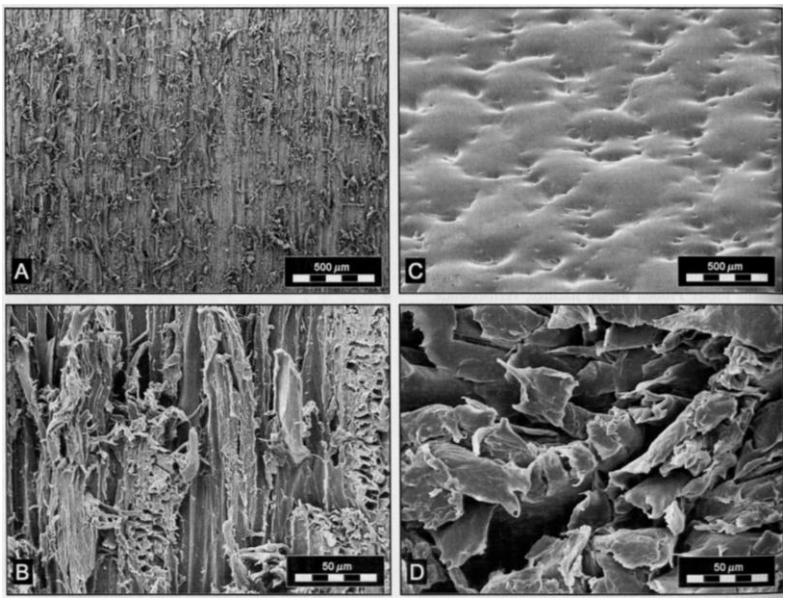

Abbildung 4 - REM-Aufnahmen von Schneidbrettoberflächen. A: neues Ahornbrett (gehobelt); B: gebrauchtes Brett; C: neues PE-Brett mit "genoppter" Fläche; D: gebrauchtes PE-Brett (Gehrig et al. 2000)

3.2.3 Einfluss der Holzfeuchte

Annett Milling (geb. Schönwälder) (Schönwälder 1999) hat bei ihren Forschungstätigkeiten auch den **Einflussfaktor** der **Holzfeuchte** auf das antibakterielle Verhalten von Holz untersucht. Kiefernholzspäne (darrtrocken) wurden mit einer Suspension von E. Coli (*Escherichia coli*) Bakterien ($1x10^9$ KBE / g Holz)) so beimpft, dass die Späne aufgrund unterschiedlich gewählter Mengen des Suspensionsmittels (Wasser) das Probenmaterial **definierte Ausgangsfeuchten** (20%, 50%, 100% 300%) auswiesen.

Bis zu einer **Ausgangsholzfeuchte** von **100% sterben** die Bakterien auf dem Holz im **ähnlichen Maß ab**. Unterschiede sind lediglich in der Geschwindigkeit der einsetzenden Keimreduktion zu sehen. Die Proben mit einer Ausgangsfeuchte zwischen 20% und 100% trocknen gut ab, und ihre Feuchte beträgt nach 24 Stunden nur noch 5 - 12%. Bei einer **Holzfeuchte** von **300%** sind die Zellumina maximal mit Wasser gefüllt und das Holz trocknet dementsprechend langsam aus. Nach 24 Stunden liegt die Holzfeuchte noch immer bei 200% und der **größte Teil** der **Bakterien** ist **lebensfähig** und **kultivierbar**. Je **weniger Wasser** den Organismen zur Verfügung steht, desto **schneller sterben** diese ab. Je mehr Wasser von Holz absorbiert wird, desto länger wird das Wasser in der Holzstruktur gespeichert und steht den Bakterien zur Verfügung, die ihrerseits wiederum länger überleben.

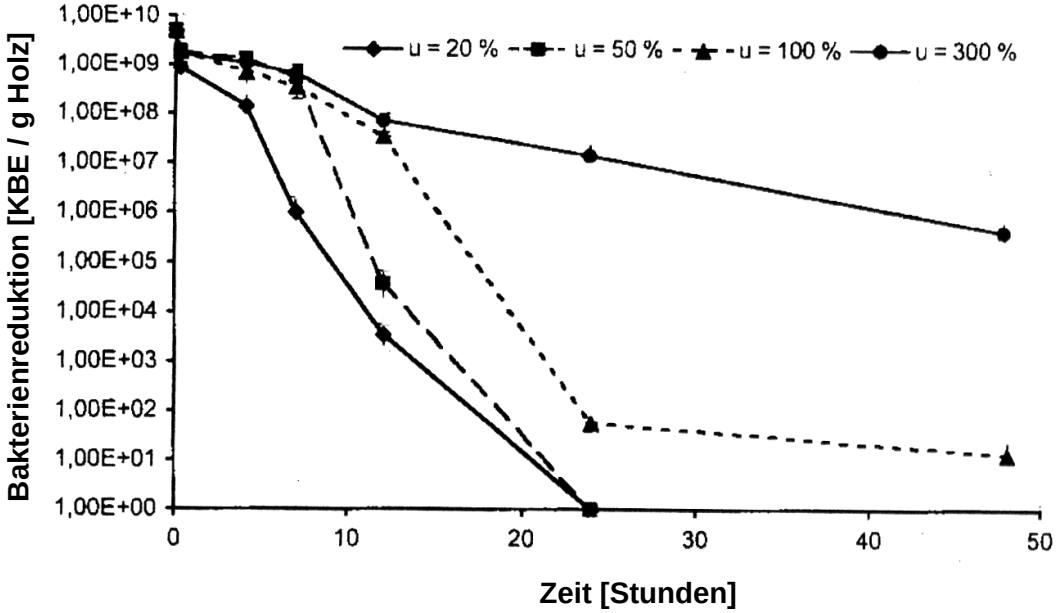

Abbildung 5 - Überleben von E.coli auf Kiefernholzproben mit unterschiedlicher Holzfeuchte ($1x10^9$ KBE / g Holz) (Schönwälder 1999)

3.2.4 Verstärkung des antibakteriellen Verhaltens durch holzeigene Inhaltsstoffe

Annett Milling (geb. Schönwälder) (Schönwälder et al. 2000) hat bei ihren Forschungen neben den **holzphysikalischen Auswirkungen** auf das antibakterielle Verhalten auch **chemische** Untersuchungen durchgeführt. Kiefern-Kernholz, das viele Inhaltsstoffe besitzt, wurde mit der Holzart Buche und als Referenz mit Polyethylen verglichen. Das Probenmaterial wurde mit E. Coli (*Escherichia coli*) Bakterien ($1x10^6$ KBE / cm²) beimpft und nach regelmäßigen Zeitabständen wurde die Keimzahl an der Oberfläche mittels Abklatsch-Methode bestimmt.

Das Ergebnis ist eindeutig, **Kiefern-Kernholz** zeigt das **beste** antibakterielle Verhalten (Abb 6). Die großen Differenzen innerhalb der beiden Holzarten lassen sich mehr auf ein unterschiedliches chemisches Verhalten zurückführen. Die natürlich eingelagerten Inhalts- bzw. Gerbstoffe (besonders bei Kiefernarten, Lärche oder Eiche) steigern die Abtötung der Bakterien erheblich. Besonders bei den sekundären Extraktstoffen, den **Polyphenole (Tannine)** konnte diese Eigenschaft nachgewiesen werden (Laks et al. 1988, Berghold 2004).

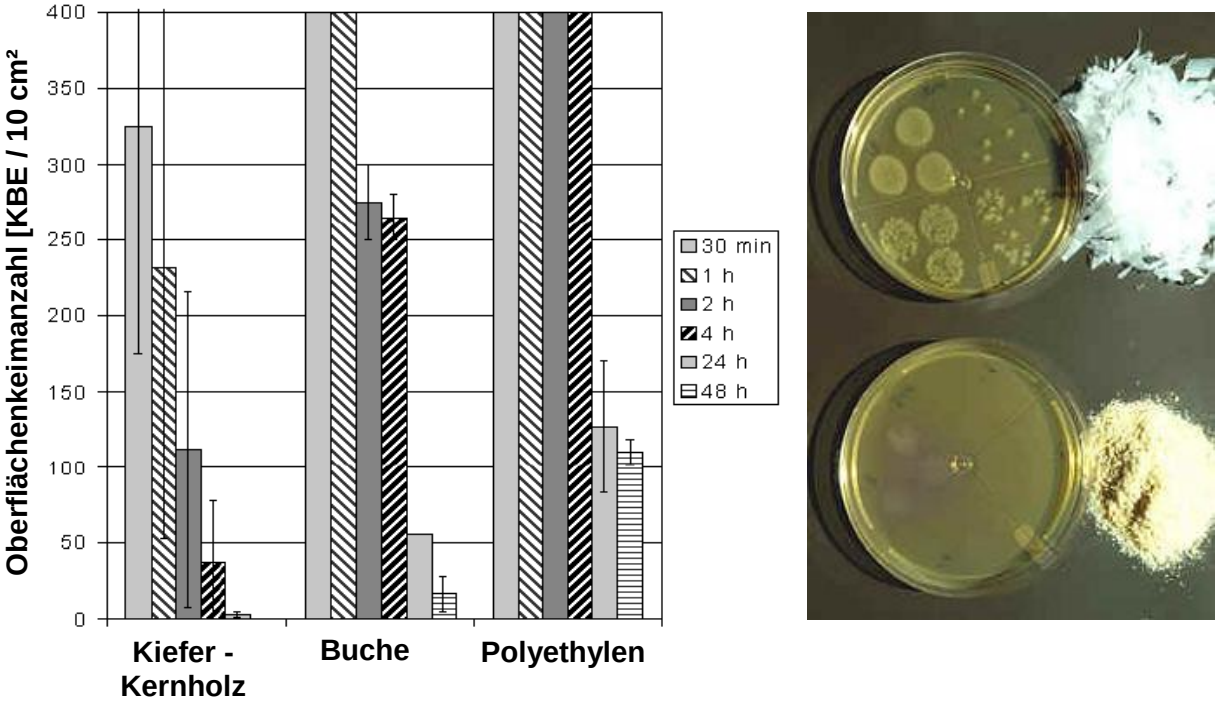

Abbildung 6 - Bestimmung der Oberflächenbakterienanzahl von Kiefer, Buche und Kunststoff; Beimpfung mit E.coli - $1x10^6$ KBE/cm², linke Abbildung Vergleich des Überlebens von E.coli Bakterien ($1x10^9$ KBE/g) nach 24 Stunden auf Kiefernspäne (unten) und Kunststoff (oben), rechte Abbildung (beide Schönwälder et al. 2000)

3.3 Reinigungs- und Desinfektionsverhalten von Holz

Abgesehen von der antibakteriellen Wirkung eines Werkstoffes sollten auch das **Reinigungs- bzw. Desinfektionsverhalten günstig** sein. Das bedeutet, dass mit möglichst **geringen Zeitaufwand** bzw. **Materialaufwand** (Menge des Reinigungs- und Desinfektionsmittels) ein **optimales Ergebnis** erreicht werden sollte.

Bei den meisten in den letzten Kapiteln erwähnten Studien wurde auch das Reinigungs- und Desinfektionsverhalten von Holz und anderen Werkstoffen untersucht. In den folgenden Unterkapiteln werden einige Einflussfaktoren auf das oben erwähnte Verhalten näher erläutert.

3.3.1 Einfluss der Materialwahl und Holzart

Stefan Gebken (2004) untersuchte im Rahmen seiner Diplomarbeit an der Fachhochschule Oldenburg (Studiengang Chemietechnik und Biotechnologie) die **antimikrobielle Wirkung** von Holz unter Berücksichtigung **praktischer Anwendungsbereiche**. Unter anderem befasste sich diese Arbeit mit dem Desinfektionsverhalten von Holz im Vergleich zu anderen Werkstoffen, die in hygienesensiblen Bereichen Anwendung finden. Das Probenmaterial wurde mit einer Keimsuspension (10^9 KBE/ml) mit E. Coli (*Escherichia coli*) kontaminiert. Nach der Desinfektion mit einem Desinfektionsmittel-Wasser-Gemisch (2%) wurde anschließen in sehr engen Zeitintervallen die Keimzahl bestimmt.

Bei dem Vergleich der Desinfektion unterschiedlicher **Oberflächenmaterialien** mit E. Coli als Kontaminant zeigt Abbildung 8, dass **Hygienefliesen** aus Keramik über einen Zeitraum von **15 Minuten** eine **hohe Oberflächenkontamination** aufwiesen. Kunststoff mit unebener Oberfläche (genoppt) erzielt bei der Desinfektion wesentlich niedrigere Keimzahlen jedoch nimmt die **Konzentration** auf der **Kiefern-Kernholzoberfläche am stärksten ab**. Die Reduktion auf ein **Minimum** erfolgt bereits nach **10 Minuten**. Im Vergleich, bei Kunststoff und Keramik kann nach 30 Minuten noch eine geringe, aber deutlich messbare Keimzahl registriert werden. Dieses Ergebnis lässt zwei Rückschlüsse zu: Einerseits besitzt **Kiefern-Kernholz** eine hohes Maß an **natürlicher antibakterieller Wirkung**, anderseits können sich in den kleinen **Rillen** und **Unebenheiten** bei Kunststoff oder Keramik Bakterien **gut einnisten** und sich sogar gegen Desinfektionsmittel **abschotten**.

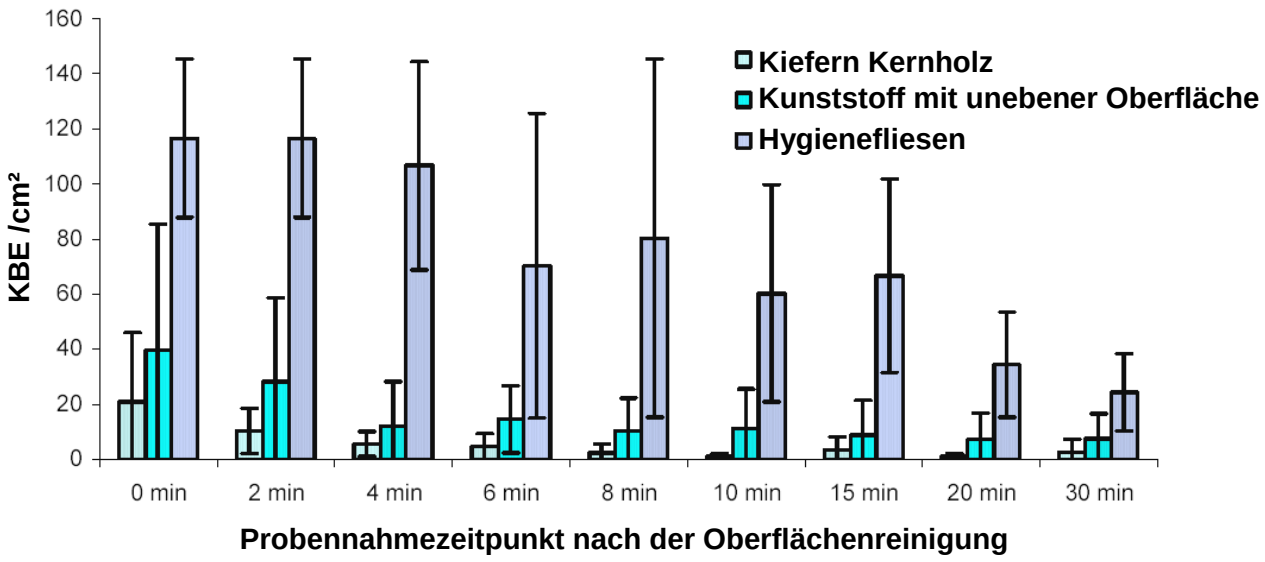

Abbildung 8 - Keimzahlabnahme nach Reinigung mit einem Desinfektionsmittel-Wasser-Gemisch auf verschiedenen Materialien nach einer Kontamination mit E. coli (10^9 KBE/ml) Bakterien (Gebken 2004)

Bei den Untersuchungen von Simone Prechter (siehe 3.2.1) wurden mehrere **Hartholzarten** in bezug auf ihr **Reinigungsverhalten** untersucht (Prechter et al. 2002). Auf den Prüfflächen (25 cm²) wurden jeweils 0,5 ml **E. coli** (*Escherichia coli*) Suspension aufgebracht und gleichmäßig verspachtelt. Anschließend wurde gewartet bis die aufgebrachte Flüssigkeit im **Luftstrom** mit laminarer Strömung (0,38 m/sec) **abgetrocknet** war. Je nach Porosität und Hygrophobitität der Werkstoffe variierte die Abtrocknungszeit zwischen **wenigen Minuten** und **mehreren Stunden**. Anschließend wurde mittels Abklatsch-Methode die Wiederfindungsrate von Bakterien bestimmt, die Rückschluss auf den **Reinigungsgrad** zuließ. Als Reinigungsmittel wurden 2 ml **Geschirrspülmittel** (Palmolive ® Original) auf 5 l Leitungswasser (50°C) und **Fleckensalz** (auf 0,5% zudosiert) verwendet.

Bei der Reinigung mit einem **tensidehältigen Reinigungsmittel** (Palmolive ® Original) konnte zwischen den untersuchten Holzarten und dem Kunststoff Polyethylen **kein signifikanter Unterschied** festgestellt werden, wobei hier die Oberflächenstruktur und Schnittrichtung keine Berücksichtung fanden (Abb 9). Bei allen Reinigungen kann ein optimales Ergebnis verzeichnet werden. Die selben Resultate werden mit einer Desinfektion mit einer 0,5% Flecksalzlösung erreicht.

Hier muss aber darauf hingewiesen werden, dass bei **Berücksichtigung** der **Oberflächenstruktur** und der **Schnittrichtung** bei Holz die Ergebnisse **stark** voneinander abweichen.

3.3.2 *Einfluss der Oberflächenstruktur und Schnittrichtung des Holzes*

Bei weiteren Untersuchungen von Simone Prechter (siehe 3.2.1) wurden mehrere **Hartholzarten** in bezug auf ihr **Reinigungsverhalten** und **Oberflächenstruktur** untersucht (Prechter et al. 2002). Bei den Reinigungsversuchen mit E. coli - Bakterien (*Escherichia coli*) kontaminierten Werkstoffoberflächen (längs- und quergeschnitten) wurden glatte als auch aufgeraute Werkstoffproben eingesetzt. Das Aufrauen der Oberfläche erfolgte mit einem **Teppichmesser**, indem in jeweils 2 mm Abstand zunächst in senkrechter und waagrechter Richtung 0,2 - 0,4 mm tiefe **Kerben eingeritzt** wurden. Anschließend wurden zudem - ebenfalls in 2 mm Distanzen - Kerben in den beiden diagonalen Richtungen (45° und 135°) eingeschnitten. Die zu behandelnden Proben wurden in die **Reinigungslösung getaucht** und mit einer sterilen **Geschirrspülbürste** mit Kunststoffborsten (Borstenfläche 10 cm²) 10 mal unter gleichmäßigem Druck abgebürstet. Sodann wurden die Proben kurz aus dem Reinigungsmittel entnommen und anschließend die Reinigung wiederholt. Letztlich wurden die Oberflächen mit 25 ml sterilem **Wasser nachgespült**. Nach einer Abtropfphase von 3 Minuten wurde mit Hilfe der Abklatsch-Methode der Reinigungserfolg bestimmt.

Der Reinigungseffekt wird über die **Wiederfindungsrate** bestimmt. Dieser Wert gibt an, wie viele Prozente der ursprünglich auf den Werkstoffoberflächen befindlichen Bakterien durch die Reinigung oder Desinfektion entfernt oder abgetötet werden konnte. Es zeigt sich, dass sich der **Kunststoff** sowohl mit **glatter** als auch rauer Oberfläche am **besten reinigen** lässt, dass aber **Ahorn**, **Teak**, **Eiche**, **Buche** und **Hainbuche** mit glatten Oberflächen **nur unwesentlich schlechter** abschneidet (max. um 2%). In aufgerautem Zustand ist zwar **Ahorn** und **Buche** etwas **schlechter zu reinigen**, doch liegt der erzielte Reinigungseffekt mit **über 96%** noch deutlich über dem von Borneff et al. (1988a & b) für Reinigungsverfahren im Haushalt **geforderten Mindestwert** von 90% (Abb 9).

Deutlich **schlechter** schneiden die Holzwerkstoffe im Vergleich zu Kunststoff ab, sofern sie als **Querschnitt** (quer zur Stammachse geschnitten - Hirnschnitt) vorliegen. Besonders bei **Ahorn** und **Buche** kommt es zu einer **deutlichen Abnahme** des **Reinigungseffektes**. Überraschenderweise lässt sich bei allen Holzarten eine teilweise **deutliche Tendenz** zur **besseren Reinigung** bei **aufgerauten Oberflächen** erkennen, bei Kunststoff hingegen einen leichten Rückgang. Im aufgerautem Zustand erreichen **alle** Holzarten die Mindestanforderung von 90% Keimreduktion.

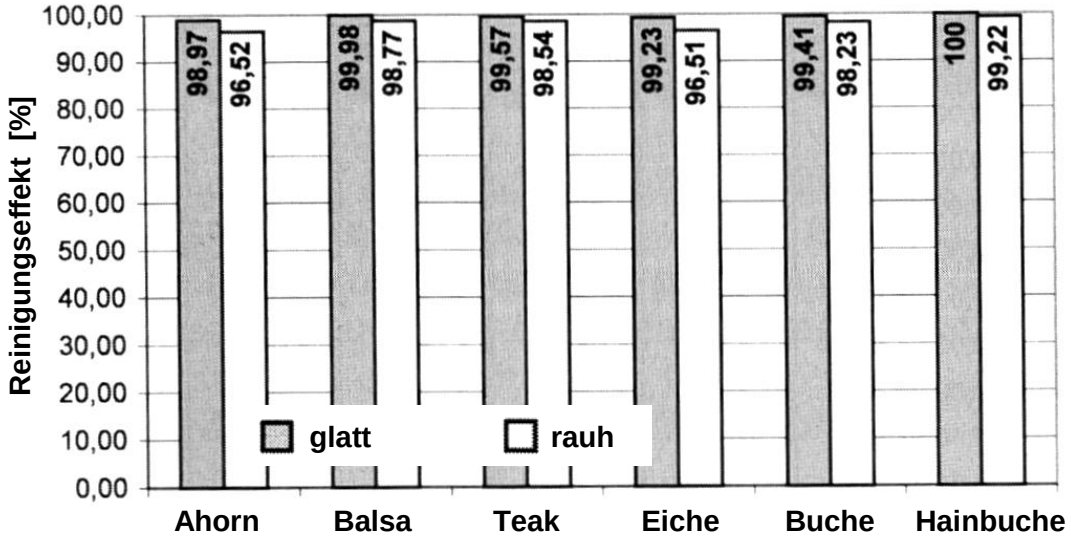

Abbildung 9 - Durchschnittlicher Reinigungseffekt von Palmolive ® Original bei Kontaminierung mit E. Coli auf glatter und rauer Oberfläche bei Holzlängsschnitte (Fladerschnittrichtung) und Kunststoff (Polyetylen) (Prechner et al. 2002)

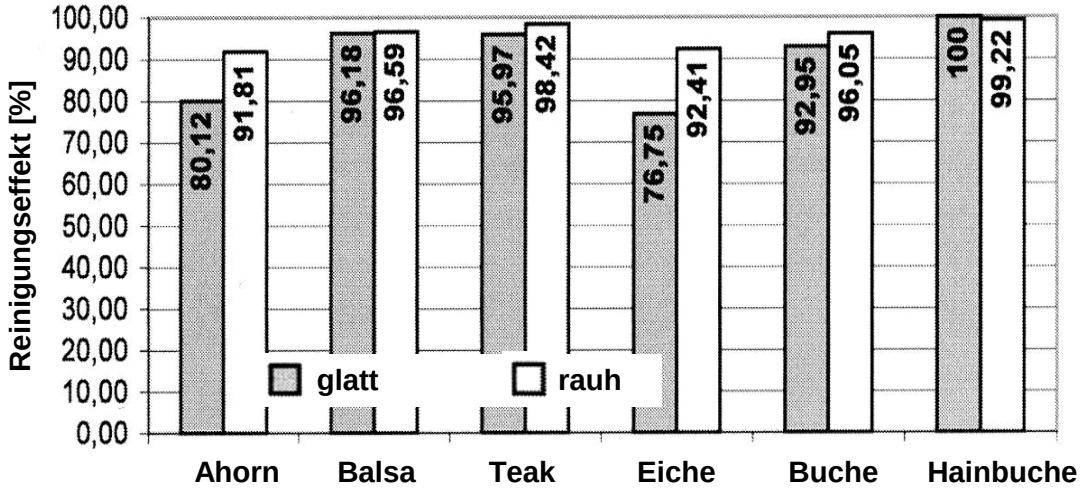

Abbildung 10 - Durchschnittlicher Reinigungseffekt von Palmolive ® Original bei Kontaminierung mit E. Coli auf glatter und rauer Oberfläche bei Holzquerschnitt (Hirnschnittrichtung) und Kunststoff (Polyetylen) (Prechner et al. 2002)

4 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

"Ist **Holz** ein **hygienischer Werkstoff**?" oder "Kann Holz in **hygienesensiblen Bereichen eingesetzt** werden?"

Ausgehend von einer Vielzahl von Studien, welche in den letzten 50 Jahren verfasst wurden, hat Holz einen schlechten Ruf in bezug auf Hygienefragen. Dementsprechend hat der **Gesetzgeber** reagiert und durch Verordnungen und Gesetze Holz aus vielen Lebensbereichen verbannt. Erst in den letzten 8 Jahren hat ein Umdenken eingesetzt. Dies lässt sich auf mehrere Gründe zurückführen: Durch ein steigendes **ökologisches Bewusstsein** und eine Rückbesinnung auf alte Werte hat Holz als Baustoff wieder starken Zuspruch bekommen. Weiters wurden in den letzten Jahren einige Projekte vorangetrieben, die durch neue und genauere Untersuchungsmethoden oft überraschende **Ergebnisse** brachten.

In den folgenden Punkten werden diese neuen Ergebnisse noch einmal kurz zusammengefasst:

1) Antibakterielles Verhalten:

- Bei einer im **Haushalt** oder **Krankenhaus üblichen Belastung** mit Bakterien hat **Holz** ein **ähnliches** oder **oft sogar besseres antibakterielles Verhalten** als **Kunststoff**, **Glas** oder **Stahl** (Milling 2004).
- Holz, **parallel** zur **Stammachse** geschnitten, bietet **größeren Widerstand** gegen das **Eindringen** von **Bakterien** in das Holz im Vergleich zu quer geschnittenem Holz (Prechner et al. 2002).
- Die **Oberflächenstruktur** hat nur **geringen Einfluss** auf die antibakterielle Wirkung. **Gehobelte** oder bereits **strukturgeschädigte Oberflächen** haben ein fast **gleichartiges** Verhalten (Gehrig et al. 2000).
- Die zur Verfügung stehende **Feuchtigkeit** spielt eine **bedeutende Rolle**. Je **weniger Wasser** bereit steht, desto **schneller sterben** Bakterien ab. Das heißt, **je geringer** die **Holzfeuchte**, um so **schneller** ist eine **Bakterienreduktion** zu verzeichnen (Gehrig et al. 2000, Schönwälder 1999).
- Natürlich eingelagerten **Inhalts-** bzw. **Gerbstoffe** (besonders bei **Kiefernarten**, **Lärche** oder **Eiche**) **steigern** das **antibakterielle Verhalten** erheblich (Berghold 2004, Schönwälder et al. 2000).

2) Reinigungs- und Desinfektionsverhalten:

- Holz hat grundsätzlich ein **gleichgutes**, teilweise sogar **besseres Reinigungs-** und **Desinfektionsverhalten** wie andere üblich verwendete Werkstoffe (Gebken 2004).
- Die **Oberflächenstruktur** und **Schnittrichtung** (längs / quer zur Stammachse) haben zwar Einfluss auf das **Reinigungsverhalten**, führen aber nur in **wenigen Fällen** zu einer **massiven Reduktion** der **Keimabtötung** (Prechter et al. 2002).
- Die meisten üblich eingesetzten **Desinfektionsmittel** haben bei **Holz** das gleiche **Desinfektionsverhalten** wie bei **anderen Werkstoffen** (Stehlein et al. 2004).

Es stellt sich nun die Frage, haben sich die **Wissenschaftler** der letzten 50 Jahre, die dieses Thema behandelt haben **geirrt**? Diese Frage kann mit einem eindeutigen **Nein** beantwortet werden. Die Untersuchungen aus den 50iger - 70iger Jahren des letzten Jahrhunderts wurden von der **fleischverarbeitenden Industrie** in Auftrag gegeben. Hier wurden natürlich auch die **Extrembedingungen** der Fleischverarbeitung in den Studien umgesetzt. Die Arbeiten der letzten Jahre hingegen haben Umweltbedingungen aus dem **Haushalt** oder aus **Krankenhäusern** als Grundlage ihrer Untersuchungen herangezogen. Somit lassen sich die Untersuchungen nur schwer vergleichen und sind einzeln betrachtet richtig.

Grundsätzlich konnten die Bedenken der Lebensmittelverarbeiter (hier besonders Fleisch-, Fisch- und Milchindustrie) nicht aus der Welt geschaffen werden. Die hier vorherrschenden **Extrembedingungen**, wo ständig mit Lebensmittelresten, die die Poren des Holzes verstopfen können, gearbeitet wird, sind für Holzarten, die keine inhaltsstoffbezogene antibakterielle Wirkung aufweisen, **problematisch** (Kelch et al. 1958; Rödel et al. 1994).

In allen anderen Bereichen, vom **Haushalt** (Badezimmer oder Küche) über **öffentliche Institutionen** (Bäder, Sauna) bis hin zu **Krankenhäuser**, kann Entwarnung gegeben werden. Bei der **richtigen Anwendung** (z.b. keine ständige Durchfeuchtung) des Werkstoffes Holz ist das **antibakterielle Verhalten gleichgut** oder oft **sogar besser**, als bei den anderen traditionellen Werkstoffen (z.b. Glas oder Kunststoff) (Strehlein et al. 2002).

Es ist sogar die Behauptung zulässig, dass durch den Einsatz von bestimmten Holzarten, die ein **hohes Potential** an **natürlicher antibakterieller Wirkung** besitzen, in **hygienesensiblen Bereichen** eine **Reduktion von Reinigungs-** bzw. **Desinfektionsmitteln** möglich wäre.

Holz und Hygiene – ein Widerspruch?

Positionspapier auf Basis wissenschaftlicher Arbeiten (State of the Art in Kurzform)

von Konrad Domig

Department für Lebensmittelwissenschaften und Lebensmitteltechnologie
Abteilung Lebensmittelmikrobiologie und -hygiene
Universität für Bodenkultur Wien
Gregor Mendel Straße 33, 1180 Wien
Tel.: 01 – 47654 - 6105
E-Mail: konrad.domig@boku.ac.at

Die **Verwendung von Holz** hat bei der Produktion, Lagerung, dem Transport und der Zubereitung vieler Lebensmittel eine lange und vielfältige Tradition und kann bei einzelnen Lebensmitteln auch bedeutend zur **Produktqualität** beitragen. Holzprodukte wurden und werden vor allem als **Hilfsmittel** für die **Gewinnung** und **Zubereitung** von Lebensmitteln, als Essbesteck, Geschirr und als Vorrats- und Transportbehälter eingesetzt. Sie sind als Schneidbretter, Nudelbretter, Hackstöcke, Schlachttröge, Rührlöffel, Schöpfkellen, Nudelwalker, Geschirr und Besteck (Teller, Schüsseln, Körbe, Jausenbretter, Löffel, Spieße), **Behälter** für die Lebensmittelproduktion und **Lagerung** (Milchgebsen, Käsereifungsbretter, Rührkübel, Eimer, Zuber, Fässer, Puderkästen, Räuchergestelle) und **Verpackungen** bzw. **Transportbehältnisse** (Kisten, Körbe, Paletten, Holzwolle) in Verwendung (Schulz, 1995; Gebken 2004; Milling 2005).

Aktuell erfolgt in vielen Anwendungsfällen eine auf Basis wissenschaftlicher Ergebnisse als **ungerechtfertigt** zu bezeichnende **Diskriminierung** des **Werkstoffs Holz**. Bei der Verwendung für die Konstruktion von Gebäuden, der Verwendung als Arbeitsoberfläche, von Gerätschaften, Paletten und Verpackungsmaterial kann diese Benachteiligung besonders festgestellt werden. Die dabei angeführten Gründe beziehen sich auf die **Porosität** des Werkstoffs Holz, das Risiko von **Splittern** (Fremdkörpergefahr in Lebensmitteln) und das Fehlen von entsprechenden **Reinigungs- und Desinfektionsverfahren**. Im Gegensatz zu diesen Beobachtungen in der betrieblichen Praxis bescheinigen mehrere aktuelle Untersuchungen dem Holz Eigenschaften, die es bei richtigem Einsatz und richtiger Pflege anderen Werkstoffen gegenüber **gleichwertig** in manchen Anwendungsfällen auch **überlegen** erscheinen lassen.

Aus **rechtlicher Sicht** sind die Werkstoffe und die geforderten Eigenschaften werkstoffneutral gehalten und der Einsatz von Holz ist nicht explizit ausgeschlossen (EU-VO 852/2004: Anhang II, Kap. 2 (Material für Räumlichkeiten); Anhang II, Kap. 5 (Materialien, Gegenstände, Armaturen und EU-VO 1935/2004 über Materialien und Gegenstände, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen).

Wichtige Voraussetzung für den verantwortungsvollen Einsatz von Holz ist die Berücksichtigung der Grundsätze des **Hygienic Design**. Die hygienische Gestaltung von Geräten, Anlagen und Gebäuden befasst sich mit der Konstruktion von leicht reinigbaren Anlagen und Betriebsstätten in der Lebensmittelindustrie. Von diesen dürfen **keine Gefahren** durch mangelnde Hygiene, verursacht durch schlechte Reinigbarkeit, ausgehen. Potenzielle Gefahren sind **Infektions- und Intoxikationserreger**, sowie natürlich auch **mikrobielle Verderbserreger**. Deren Vorhandensein soll durch optimierte Anlagen und durch leicht durchführbare, effektive und umweltschonende Reinigungsverfahren minimiert bzw. ausgeschlossen werden.

Ein **bedeutender Anteil** der registrierten lebensmittelbedingten **Infektionskrankheiten** ist vermutlich auf **Kreuzkontaminationen** zurückzuführen. Es kommt zur Übertragung von Rückständen und Gewebsflüssigkeit von rohem Fleisch und Geflügel, die sich auf der Arbeitsfläche befinden, auf der dann Salat, Gemüse bzw. andere ohne Kochen unverzüglich verzehrsfertige Lebensmittel zubereitet werden. So werden die **Mikroorganismen** und **potenziell vorhandenen Krankheitserreger** (Viren, Bakterien) aus den Rohprodukten zu Kontaminanten der verzehrsfertigen Produkte (Klontz et al., Klass et al.).

Kritische Betrachtung der bislang vorliegenden Studien

Die **kritische Diskussion** betreffend den Einsatz von Holz im Bereich der Lebensmittelproduktion (-reifung, Präsentation, Verkauf) erstreckt sich inzwischen über einen **langen Zeitraum**. Konkurrierende Werkstoffe, wie Edelstahl und Kunststoffe haben die Verwendung des Werkstoffes Holz oft in **Nischenbereiche** zurückgedrängt. Während der Einsatz von Holz in bestimmten Bereichen qualitätsrelevant ist (z. B. Weinreifung in Holzfässern) werden gegen die Verwendung von Holz in anderen Bereichen v.a. Hygieneaspekte vorgebracht. Im **Zeitabschnitt 1960 bis 1995** wurde der Einsatz von Holz im Bereich der Lebensmittelproduktion auf Basis von mikrobiologischen Analysen **sehr kritisch beurteilt** (Kelch und Palm, 1958; Grossklaus und Levetzow, 1967; Kampelmacher et al., 1971; Gilbert und Watson, 1971; Borneff et al., 1988a und 1988b; Rödel et al., 1994). Untersucht wurden bei diesen Arbeiten vor allem Schneidbretter und Hackstöcke in der Fleischwirtschaft. Wissenschaftliche **Arbeiten der letzten Jahre** haben den Werkstoff Holz in Teilbereichen rehabilitiert. Teilweise kann Holzwerkstoffen ein antimikrobielles Verhalten bestätigt werden bzw. wird durch die Ergebnisse die Sicherheit von anderen Werkstoffen mitunter in Frage gestellt (z. B. Biofilmbildung). Die oft widersprüchlichen Ergebnisse der einzelnen Studien sind mitunter auf unterschiedliche Prüfmethoden, Testmikroorganismen und die Nichtbeachtung von Einflussfaktoren (Schnittrichtung, Holzart, Feuchtigkeit und Vorbehandlung) und Umgebungsbedingungen zurückzuführen. Anschließend sind **eine Reihe von Faktoren** angeführt, die erheblichen Einfluss auf die Versuchsergebnisse zeigen (Milling et al., 2005a, Carpentier, 1997):

 # Auswahl der Testflächen (Holz- und Vergleichsflächen):

- Holzart: Eiche, Birke, Esche, Buche, Ahorn,…
- Schnittrichtung
  - Längs- oder Querschnitte (Orientierung der Holzfasern)
- Oberflächenbearbeitung und Vorbehandlung
  - sägerauh, gehobelt, geschliffen,…
  - speziell vorbehandelt z. B Thermoholz (ThermoWood®, Hygieneholz®)
- Beschaffenheit/Abnutzungsgrad
  - neu/gebraucht, glatt/aufgeraut, Schnittkerben, Risse,…
- Vorbereitung der Testflächen
  - Reinigung
  - Entkeimung
    - UV-Licht: Ak et al, (1994b),
    - Desinfektionsmittel, Mikrowellen, thermische Desinfektion)
  - Wassergehalt / Trocknung

 # Auswahl der Testmikroorganismen und deren Vorbereitung

- Art der Teststämme
- Ursprung der Teststämme: Wildtyp- oder Laborstämme, Reinstämme bzw. komplexe mikrobielle Gemeinschaften
- Methodik der Oberflächenkontamination

 # Inkubations- und Untersuchungsbedingungen:

- Temperatur, Feuchte, Zeit

 # Grad und Art der Verschmutzung der Testoberflächen

- Methode zur Kontamination der Oberflächen
- Fett, tierisches Gewebe,…
- Einwirkzeit

Methodik zur Probenziehung

- *in-situ* Technik
- Wischtechniken
- Eintauch und Abspülverfahren
- Kontaktverfahren (Abdruck- bzw. Überschichtung mit Nährmedien)
- zerstörende Techniken (hobeln,…)

Analyse der Mikroorganismengehalte

- Methoden und Medien zur kulturellen Analyse (Agarverfahren, MPN-Verfahren)
- Elektrometrische Verfahren: Impedanz
- Molekularbiologische Methoden
- Viable but not culturable (VNBC) Status von Mikroorganismen

Auf Basis der angesprochenen Faktoren und der im Literaturteil angeführten wissenschaftlichen Arbeiten ist eine **positive Bewertung** des Einsatzes von **Holz** im Bereich der Lebensmittelproduktion **möglich**. Voraussetzung sind **klar definierte Bedingungen** und Umgebungsfaktoren (Hygienic Design, definierte Reinigungs- und Desinfektionsmaßnahem), die eine Gefährdung des Konsumenten durch Lebensmittel, die in Holzkontakt waren, **minimieren** bzw. **ausschließen.**