

U.-C. Hipler<sup>1</sup>  
S. Zikeli<sup>2</sup>  
P. Elsner<sup>1</sup>  
J. W. Fluhr<sup>1</sup>

# SeaCell® Active – Die natürliche Cellulosefaser mit antimikrobiellen Eigenschaften

SeaCell® Active – The Natural Cellulosic Fibers with Antimicrobial Traits

## Zusammenfassung

Auf der Basis des ZIMMER-Lyocell-Verfahrens erfolgt die Herstellung von SeaCell® und SeaCell® Active-Fasern. Eine besondere Fähigkeit der SeaCell®-Faser ist, Stoffe zu binden und zu absorbieren. Die spezielle Fähigkeit der Metallsorption wird bei der Aktivierung von SeaCell®-Fasern ausgenutzt. Dabei kann das bakterizid wirkende Metall Silber vom bereits fertig ausgeformten cellulosischen Faserkörper absorbiert werden. Die vorliegende Studie zeigt die antimykotische Wirkung von SeaCell® Active in einem *In-vitro*-Testsystem gegenüber *Candida albicans* (DSM 11225), *Candida tropicalis* (ATCC 1169) und *Candida krusei* (ATCC 6258). Darüber hinaus wurde die antibakterielle Aktivität der Fasern mit unterschiedlichen Mengen an SeaCell® Active dosisabhängig gegenüber *Staphylococcus aureus* (ATCC 22923) und *Escherichia coli* (ATCC 35218) nachgewiesen. Ob diese Faser in bioaktiven Textilien Verwendung finden kann, die für spezifische anatomische Regionen und Hautbedingungen mit einer Suszeptibilität für Pilz- und Bakterieninfektionen, speziell *Candida*-Spezies, *Staphylococcus aureus* und *Escherichia coli* geeignet ist, muss durch weitere Untersuchungen, insbesondere *In-vivo*-Tests am Menschen, unter Berücksichtigung möglicher allergischer und toxischer Effekte der Fasern, sichergestellt werden.

## Abstract

SeaCell® and SeaCell® Active fibers can be produced on the basis of the ZIMMER Lyocell process. One particularity of the SeaCell® fiber is its capacity to bind and absorb substances. During the activation of SeaCell® fibers the bactericidal metal silver is absorbed by the fully formed cellulosic fiber through metallsorption. The present study demonstrates the antifungal and antibacterial effect of SeaCell® Active in an *in vitro* test system against *Candida albicans* (DSM 11225), *Candida tropicalis* (ATCC 1169) and *Candida krusei* (ATCC 6258). Furthermore, the antibacterial activity of fibers with different amounts of SeaCell® Active fibers in a dose-dependent manner against *Staphylococcus aureus* (ATCC 22923) and *Escherichia coli* (ATCC 35218) could be demonstrated. If this fiber seems to be suited for bio-active textiles in specific anatomical body regions and skin conditions with a susceptibility for fungal and bacterial infections namely with *Candida* species, *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* must be examined by means of further investigations, especially *in vivo* tests in human considering allergic and toxic effects of the fiber.

## Institutsangaben

<sup>1</sup> Friedrich-Schiller-Universität Jena, Klinik für Dermatologie  
<sup>2</sup> Zimmer AG, Frankfurt

## Korrespondenzadresse

Dr. rer. nat. Uta-Christina Hipler · Klinik für Dermatologie der Friedrich-Schiller-Universität ·  
Erfurter Straße 35 · 07740 Jena · E-mail: chip@derma.uni-jena.de

## Bibliografie

Akt Dermatol 2006; 32: 23–26 © Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York  
DOI 10.1055/s-2005-921161 · ISSN 0340-2541

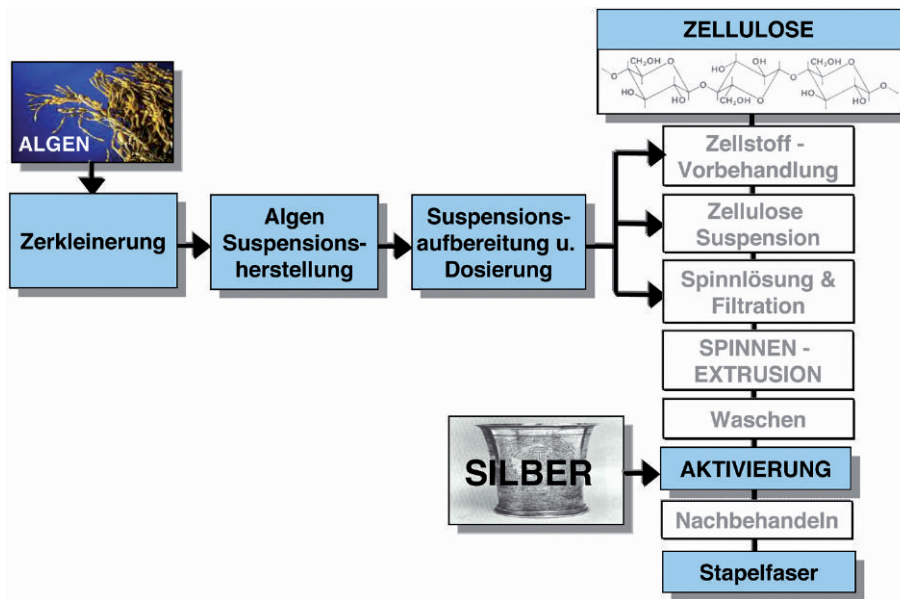


Abb. 1 Schematische Darstellung des SeaCell® Active Herstellungsprozesses.

## Einleitung

Das ZIMMER-Lyocell-Verfahren bildet die Grundlage zur Herstellung von SeaCell® und SeaCell® Active-Fasern [1].

Fein gemahlenes Algenmaterial, vor allem aus der Gruppe der Braun-, Rot-, Grün- und Blaualgen, hier speziell die Braunalge (*Ascophyllum Nodosum* – Knotentang) wird zur Herstellung dieser Spezialfasern verwendet.

Bei der Produktion dieser algeninkorporierten Lyocell-Faser wird eine Cellulosespinnlösung unter Verwendung des Lösungsmittels N-Methylmorpholin-N-Oxid erzeugt, wobei das gemahlene Algenmaterial entweder pulverförmig oder als Algensuspension direkt der Cellulose, der Cellulosemischung oder der Spinnlösung zugeführt werden kann. Die auf diese Weise hergestellte Cellulose-Algen-Spinnlösung wird in der Folge zu Fasern gesponnen (Abb. 1).

Meeresalgen besitzen die Fähigkeit, die im Meerwasser enthaltenen Mineralien aufzunehmen. Analysiert man die Inhaltsstoffe, so können neben Mineralien auch Kohlenhydrate, Aminosäuren, Fette und Vitamine in Meeresalgen nachgewiesen werden. Aufgrund der Vielfalt der wirkaktiven Inhaltsstoffe werden Algen bzw. Algenextrakte vorzugsweise in der Kosmetik sowie in der pharmazeutischen Industrie eingesetzt.

Aus SeaCell®-Fasern hergestellte Gewebe weisen wegen der guten textilphysikalischen Eigenschaften hohe Formstabilität auf, dazu kommt noch der für cellulosische Fasern typische hohe Tragekomfort von Textilien aus SeaCell®-Fasern bzw. aus Fasermischungen mit SeaCell®.

Eine besondere Fähigkeit der SeaCell®-Faser ist, Stoffe zu binden und zu absorbieren. Die spezielle Fähigkeit der Metallsorption wird bei der Aktivierung von SeaCell®-Fasern ausgenutzt. Dabei können bakterizid wirkende Metalle wie Silber, Zink, Kupfer u. a. vom bereits fertig ausgeformten cellulosischen Faserkörper absorbiert werden [2]. Im Gegensatz zur üblicherweise ange-

wandten Methode der Inkorporation der Wirkstoffe in die Spinnlösung ist es bei der Herstellung von SeaCell®-Active möglich, den Wirkstoff durch einen Aktivierungsschritt an der fertig geformten Faser – bis in den Faserkern hinein – dauerhaft einzubringen.

Es ist davon auszugehen, dass die Metalle über freie Carbonyl-, Carboxy- und Hydroxyl-Gruppen der Cellulose sowie der inkorporierten Algen gebunden werden. Aus der Literatur ist z. B. bekannt, dass die in den Algen vorhandenen Phenole durch die Bildung von Chelatkomplexen Metalle aufnehmen können [3,4]. Durch das Quellverhalten der Cellulose, sowie aufgrund der gleichmäßigen Verteilung der Algen über den Faserquerschnitt, werden die Metallionen in der Fasermatrix permanent verankert.

Da Silber keine negativen Begleiterscheinungen, wie zum Beispiel Irritationen der Haut, hervorruft, ist die Anwendung von Silber als Aktivierungsmittel zur Herstellung von SeaCell® Active-Fasern das bevorzugte Element [5].

Die geringe Abgabe von Silberionen aus der SeaCell® Active-Faser bewirkt, dass der antibakterielle Effekt langfristig erhalten bleibt. Vom dermatologischen und hygienischen Gesichtspunkt ist damit gewährleistet, dass es nicht zu Reizungen der Haut kommt. Der hervorragende Tragekomfort der cellulosischen Faser bleibt erhalten [6, 7].

Neben quantitativen Analysen mittels Atomabsorptionsspektroskopie, SeaCell® Active enthält rund 6000 ppm Silber, wurde die Silberverteilung über den Faserquerschnitt untersucht. Dazu wurde die SeaCell® Active-Faser in flüssigem Stickstoff gebrochen. Dieser Kryobruck wurde dann im Rasterelektronenmikroskop (LEO Type DSM 962) analysiert. Neben dem Rückstreubild wurde auch mittels energiedispersiver Röntgenanalyse (EDX-Detektor OXFORD Instruments) die Silberverteilung an der Faserbruchfläche dargestellt (Abb. 2).

REM Aufnahme

EDX - Silber Mapping

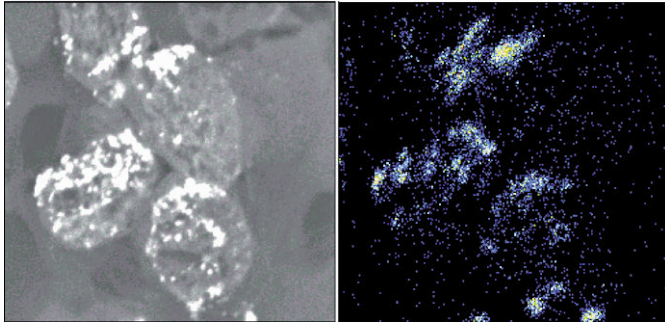


Abb. 2 Silberverteilung in SeaCell® Active-Faser (EDX-Mapping).

In der Abb. 2 ist das jeweilige Elektronen-Rückstreubild der entsprechenden Silber Mapping-Aufnahme gegenübergestellt. Im Rückstreubild, das auch eine Materialkontrastwiedergabe ist (jeweils linkes Bild), weisen dunklere Stellen auf leichte Elemente und helle Stellen auf schwere Elemente wie Silber hin.

Bei den Silbermapping-Aufnahmen (jeweils rechtes Bild), zeigen die hellen Stellen das Vorhandensein von Silber an. Aus diesen Aufnahmen ist deutlich zu erkennen, dass das Silber regelmäßig über den Faserquerschnitt verteilt ist, und sich nicht nur ausschließlich an der Faseroberfläche befindet.

Die Produktionstechnologie der SeaCell® und SeaCell® Active-Fasern entspricht den höchsten ökologischen Anforderungen, beide Fasern sind nach ÖKO-TEX Standard 100, Produktionsklasse I für Babyartikel, zertifiziert.

### Antimikrobielle Untersuchungen

Die Haut stellt die Grenzfläche zwischen Körper und den manchmal unwirtlichen Umweltbedingungen dar. Textilien haben einen intensiven Kontakt mit der menschlichen Haut. Sie spielen

eine entscheidende Rolle insbesondere bei Hautzuständen wie Neurodermitis, vermehrter Schweißneigung, Patienten mit Diabetes und Altershaut; diese werden durch bzw. von Bakterien- und Pilzbefall der Haut verursacht bzw. begleitet. Aus diesem Grund wurden *In-vitro*-Untersuchungen über die antimikrobiellen Eigenschaften von SeaCell® Active-Fasern durchgeführt.

### Antimykotische Eigenschaften der SeaCell® Active-Faser

Die Untersuchung wurde mit dem Ziel durchgeführt, die antimykotische Wirkung von SeaCell® Active gegen verschiedene Pilze der Familie *Candida* zu prüfen.

Untersucht wurden: *Candida albicans*, *Candida parapsilosis*, *Candida glabrata*, *Candida tropicalis* und *Candida krusei*. *Candida albicans* ist für eine weitverbreitete juckende Hautinfektion durch Hefen, insbesondere in Hautfalten, verantwortlich. Diese Pilzinfektionen werden mit warmen, feuchten und okklusiven Bedingungen in Verbindung gebracht, z.B. in den Armbeugen, unter den Brüsten sowie im Genital- und Analbereich.

Es wurden zwei verschiedene *In-vitro*-Testsysteme verwendet: zum einen eine klassische Inkubation mit den Standard-Pilzstämmen auf verschiedenen Fasern für einen Zeitraum von 24 Stunden. Die antimykotische Wirkung wurde in einer Neubauer-Zählkammer quantifiziert. Zusätzlich wurde eine Anfärbung mit dem neuen Fluoreszenzfarbstoff FUN-1® durchgeführt. Mit Hilfe dieses Farbstoffes können die aktiven Pilzspezies angefärbt werden [8]. In Abb. 3 ist deutlich zu sehen, dass während der Behandlung mit 100% Sea Cell® Active fast alle lebenden *Candida albicans* und *Candida krusei* abgetötet werden (Abb. 3).

Die durchgeführten Untersuchungen zeigten eine hervorragende antimykotische Wirkung gegen verschiedene Pilze der Familie *Candida*, nämlich *Candida albicans*, *Candida glabrata*, *Candida krusei* und *Candida tropicalis*. Andere *Candida*-Spezies wie z.B. *C. parapsilosis* (Onychomykose), *C. glabrata* (Genitalinfektion), *C. tropicalis* und *C. krusei* reagierten ebenfalls empfindlich auf die SeaCell® Active-Fasern [9].

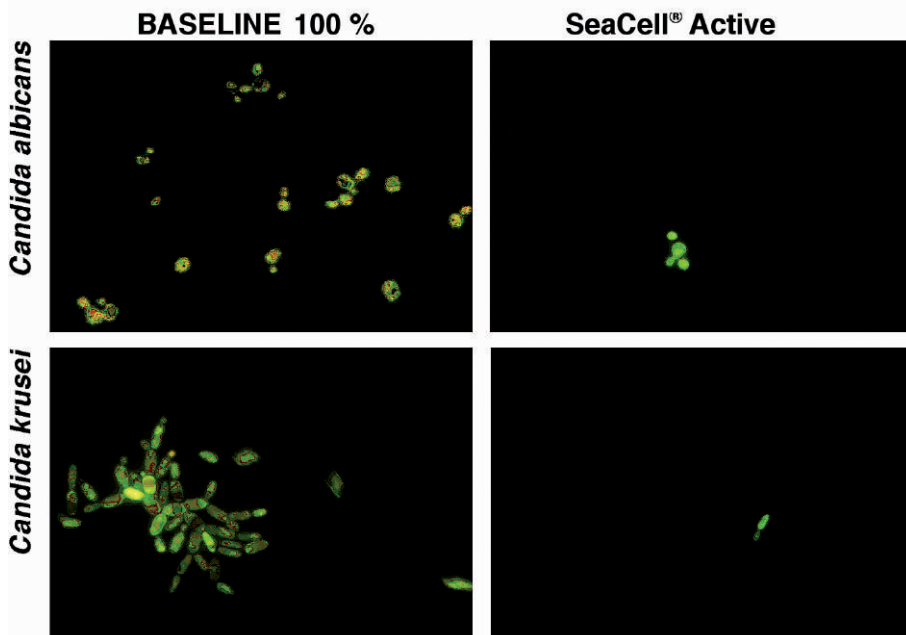


Abb. 3 Nachweis der fungiziden Wirkung von SeaCell® Active gegenüber *Candida albicans* und *Candida krusei* mit Hilfe der FUN-1-Färbung vor und nach der Inkubation.

Das auffallendste Ergebnis war die Konzentrationsabhängigkeit (Anteil von SeaCell® Active-Fasern im Gewebe) der antimykotischen Wirkung bei allen untersuchten Spezies. Diese Ergebnisse wurden durch die FUN-1-Färbung bestätigt.

#### Antibakterielle Eigenschaften der SeaCell® Active-Fasern

Neben der antimykotischen Wirkung wurde geprüft, ob SeaCell® Active eine antibakterielle Wirkung aufweist. Dazu wurden zwei verschiedene *Staphylococcus-aureus*-Stämme und einen *Escherichia-coli*-Stamm verwendet. *Staphylococcus aureus* ist für schwere Hautinfektionen verantwortlich und trägt darüber hinaus oftmals zur Exazerbation der atopischen Dermatitis bei. *Escherichia coli* (*E. coli*) ist ein Bakterium, das oft bei Infektionen im Zwischenfingertraum und im Genitalbereich auftritt.

In den durchgeführten *in-vitro*-Testungen konnte die Wirkung von SeaCell® Active gegenüber den Bakterienstämmen *Staphylococcus aureus* und *Escherichia coli* eindeutig nachgewiesen werden. Diese antibakterielle Wirkung zeigte sich in Abhängigkeit von der Dosierung und war bei einem Gehalt von 100% SeaCell® Active am höchsten. Eine mittlere Wirkung wurde in einem Mischgewebe mit 5% SeaCell® Active und eine hohe Aktivität bei einem Anteil von 10% bis 20% SeaCell® Active beobachtet [10].

#### Schlussfolgerungen

Die bisherigen Ergebnisse zeigen die antimykotische und antibakterielle Wirkung von SeaCell® Active-Stoffen in einer standardisierten *in-vitro*-Testreihe. Ob diese Faser in bioaktiven Textilien Verwendung finden kann, die für spezifische anatomische Regionen und Hautbedingungen mit einer Suszeptibilität für Pilz- und Bakterieninfektionen, speziell *Candida*-Spezies, *Staphylococcus*

*aureus* und *Escherichia coli* geeignet ist, muss durch weitere Untersuchungen, insbesondere *in-vivo*-Tests am Menschen, unter Berücksichtigung möglicher allergischer und toxischer Effekte der Fasern, sichergestellt werden. Wenn diese Ergebnisse auch bei Tragetests bestätigt werden, scheint SeaCell® Active für den Einsatz in bioaktiven Textilien z.B. für Sportbekleidung, Unterwäsche, Socken, Arbeitskleidung, Heimtextilien und Hygieneartikel, insbesondere auch für Allergiker, gut geeignet zu sein.

#### Literatur

- <sup>1</sup> Zikeli S. Lyocell fibers with health-promoting effect through incorporation of seaweed. *Chemical Fibers International* 2001; 51: 272 – 276
- <sup>2</sup> Zikeli S. SeaCell® Active - Eine neue cellulosische Faser mit antimikrobiellen Eigenschaften. *Avantex – International Forum and Symposium for High-tech Apparel Textiles*, Mai 2002
- <sup>3</sup> Zhou D, Zhang L, Zhou J, Guo S. Cellulose/chitin beads for absorption of heavy metals in aqueous solution. *Water Res* 2004; 38: 2643 – 2650
- <sup>4</sup> Pedersen A. Studies on phenol content and heavy metal uptake in fungi. *Hydrobiologia* 1984; 116/117: 498 – 504
- <sup>5</sup> Freudiger A. SeaCell® eine neue Faser in der textilen Welt. 13. Spinnerei-Kolloquium, Festhalle Denkendorf: 27./28. April 2004
- <sup>6</sup> Lansdown AB. Silver. I: Its antibacterial properties and mechanism of action. *J Wound Care* 2002; 11: 125 – 130
- <sup>7</sup> Williams RL, Doherty PJ, Vince DG, Grashoff GJ, Williams DF. The biocompatibility of silver. *Brit Rev Biocompatibility* 1989; 5: 221 – 243
- <sup>8</sup> Millard PJ, Roth BL, Thi HP, Yue ST, Haugland RP. Development of the FUN-1 family of fluorescent probes for vacuole labeling and viability testing of yeasts. *Appl Environ Microbiol* 1997; 63: 2897 – 2905
- <sup>9</sup> Fluhr J, Hipler UC, Elsner P. Silver-loaded cellulosic fibers with antifungal and anti-bacterial properties new bio-active fibers for intelligent textiles: SeaCell® Active. *Proceedings of the Textile Institut 83rd World Conference (83rd TIWC)* 23.-27. Mai, 2004, Shanghai, China: 2004; 2: 633 – 637
- <sup>10</sup> Hipler UC, Elsner P, Fluhr JW. Anti-fungal and anti-bacterial properties of a silver-loaded cellulosic fiber. *J Biomedical Mat Res: Part B - Applied Biomaterials*, 2005 (im Druck)