

Aufnahme und Bindung von Innenraum-Schadstoffen durch Wolle am Beispiel von Formaldehyd

G. Wortmann¹, F.-J. Wortmann¹, R. Sweredjuk², F. Doppelmayer², G. Zwiener³

¹Deutsches Wollforschungsinstitut an der RWTH Aachen e.V.,

²Fa. Doppelmayer GmbH, Kempten,

³eco-Umweltinstitut, Köln

Einleitung

Während für die Qualität der Außenluft seit vielen Jahren umfassende Richtlinien vorliegen, gibt es für die Innenraumluft erst sehr wenige Ansätze für Beurteilungsmaßstäbe (s.Tab.1), obwohl sich der Mensch bis zu 90% seiner Zeit in Innenräumen aufhält. Bisher nur unzureichend wurde die Problematik der Luftverunreinigung in Innenräumen hinsichtlich ihrer gesundheitlichen Bedeutung erkannt. Seit Jahren wird in zunehmenden Maße über Befindlichkeitsstörungen im Zusammenhang mit Innenraumbelastungen berichtet (z.B. "sick building syndrom"). Als Folge von schädlichen Umwelteinflüssen können reversible, aber auch irreversible Beeinträchtigungen und Schädigungen der Gesundheit auftreten.

Früher standen akute Wirkungen im Vordergrund. Heute sind es überwiegend chronische Belastungen, sowie Kombinationswirkungen von Schadstoffgemischen im Niedrigdosis-Bereich, deren gesundheitliche Auswirkungen sich erheblich schwieriger abschätzen und beurteilen lassen als die Einzelwirkungen (s. Abb.1). Eine möglich Lösung zur raumlufthygienischen Optimierung stellt der Einsatz von Schafwolle als reaktivem Sorbens für Luftschadstoffe dar. Am Beispiel des Formaldehyds werden sowohl anhand von Prüfkammerversuchen, als auch von Praxisanwendungen die Möglichkeiten des Einsatzes von Schafwolle in diesem Bereich vorgestellt.

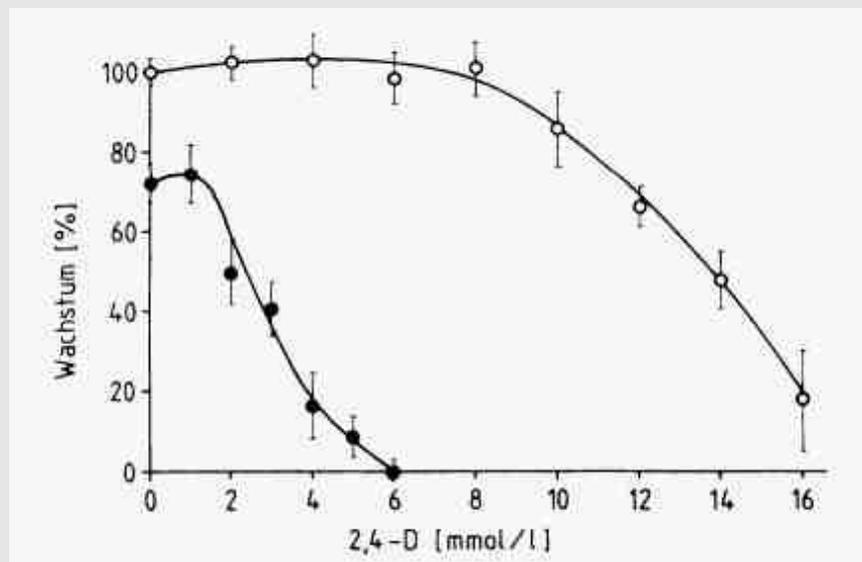


Abb. 1: Toxische Wirkung von 2,4-D ichlorphenoxyessigsäure auf das Wachstum menschlicher Fibroblasten ohne (-o-) bzw. mit einem Gemisch aus 4-Chloranilin, Dicofol und 4-Chlorphenol (o-). Die Konzentrationen von 4-Dichloranilin, Dicofol und 4-Chlorphenol entsprechen jeweils 1/3 ihres NOEC-Wertes (No Observed Effect Concentration). [Jacobi, Witte 1995]

Tab. 1: Gesundheitliche Wirkungen innenraumluftrelevanter Stoffe

Innenraumluftrelevante Stoffe mit reversiblen Wirkungspotential

- **irritative Wirkung:**

- Formaldehyd, Passivrauchen
- flüchtige organische Stoffe (VOC):
 - Alkane: Xylole, Toluol
 - Ether, Ester, Ketone
 - Terpene, NO_x

- **geruchliche Wirkung:** Styrol
- Chlornaphatalin
- Xylole

Innenraumrelevante Stoffe mit irreversiblen Wirkungspotential

- **sensibilisierend**
Aldehyde: Formaldehyd
Ester: Acrylester
Terpene, Isocyanate

- **karzenogen**
Asbest
spez. künstl. Mineralfaser
Benzo(a)pyren) Passivrauchen
Pentachlorphenol, Radon

- **fruchtschädigend**
Glycoether, Kohlenmonoxid
PCB, Toluol, Trichlormethan

- **karzenogen (verdächtig)**
Dichlormethan, Formaldehyd
spez. künstl. Mineralfaser
Tetrachlorethen (PER), PCB

Prüfkammer- und Praxisuntersuchungen

Um die Verhältnisse bei Maßnahmen zur Sanierung von formaldehydbelasteten Räumen zu simulieren, wurden zunächst verschiedene Prüfkammerversuche (Prüfkammer: 250 l Volumen; Wollvlies 25 x 25 x 2 cm, pH 6.6, Feuchte 11%; Klimabedingungen: Luftwechselrate: 0 h⁻¹, Temperatur: 23 °C, rel. Luftfeuchte: 45%) mit dem Ziel durchgeführt zu prüfen, inwieweit sich Schafwolle zur Reduzierung der Formaldehyd-Belastung der Raumluft eignet.

Bei Anwendung von 300 ppm Formaldehyd wurden in der Prüfkammer innerhalb von 24 Std. 96.7 % ± 0.6 % Formaldehyd von der Wolle sorbiert. Schon nach 2 Std. war ein Abbau zwischen 80 und 88 % zu beobachten (s. Abb. 2). Alle durchgeführten Prüfungen zeigen einen asymptotischen Kurvenverlauf gegen Null (Beispiel s. Abb. 3).

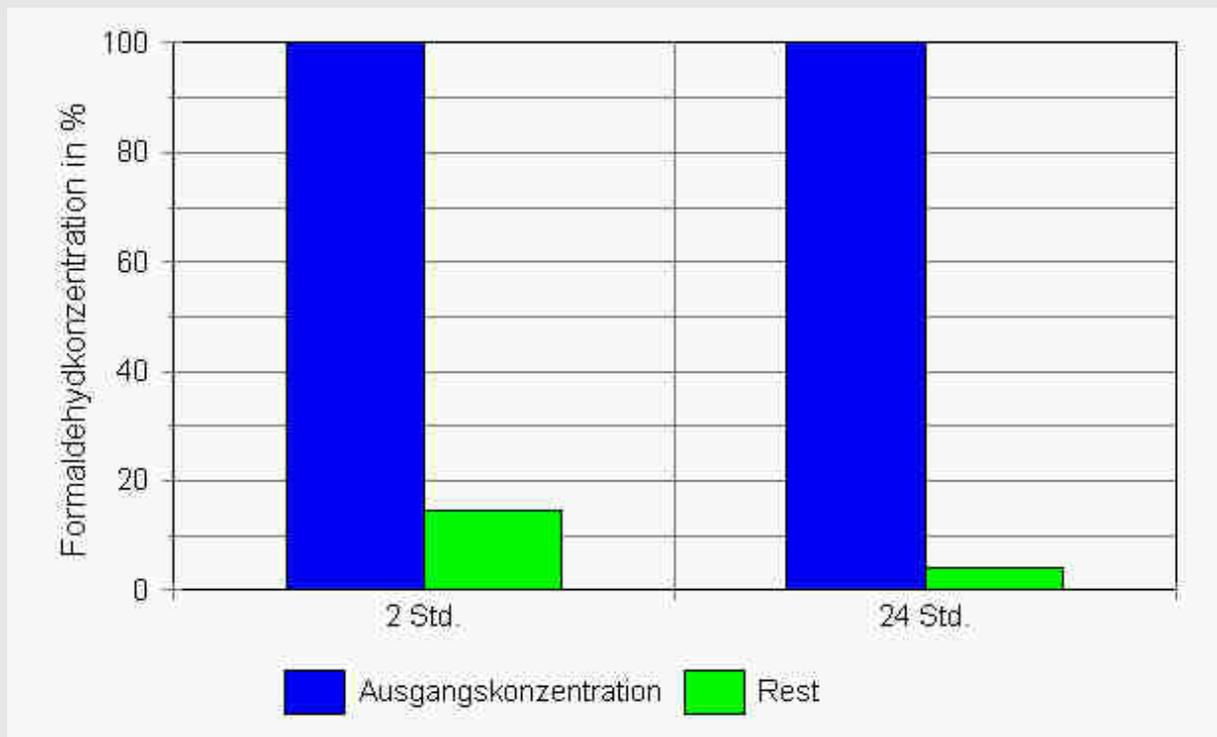


Abb. 2: Abnahme der Formaldehydkonzentration nach 2 und nach 24 Std. bei einer Ausgangskonzentration von 300ppm Formaldehyd (Angabe von Mittelwerten).

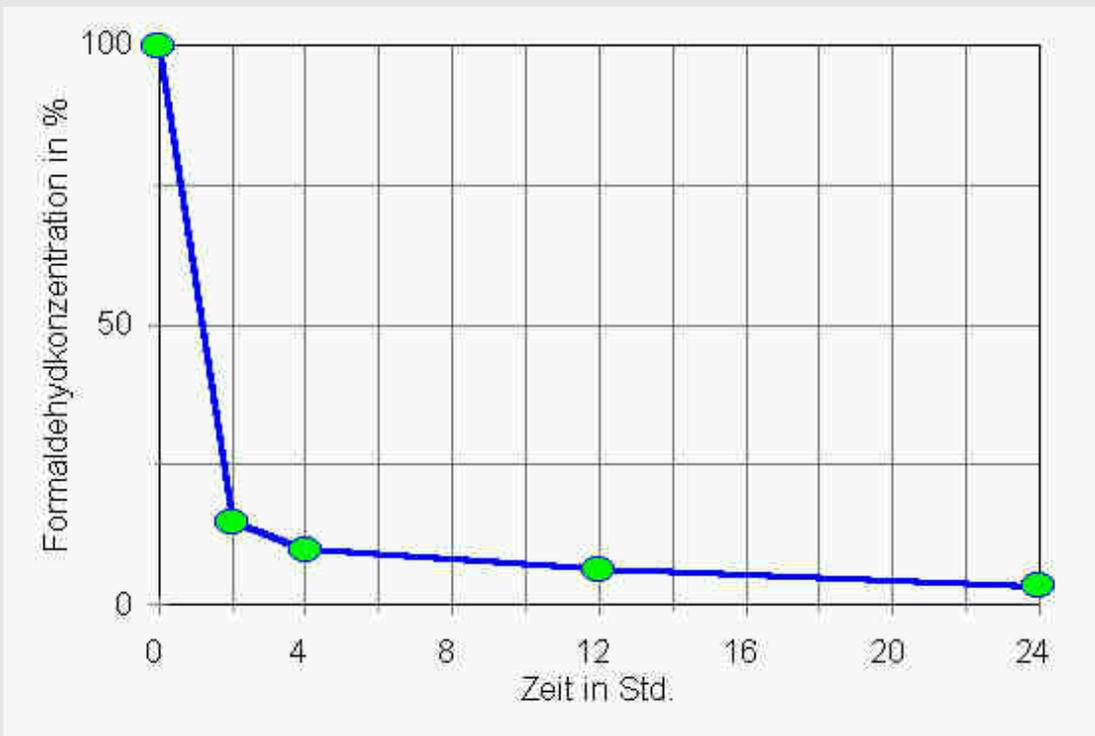


Abb. 3: Abnahme der Formaldehydkonzentration nach 2, 4, 12 und 24 Std. bei einer Ausgangskonzentration von 300 ppm Formaldehyd.

Für die Sanierung formaldehydbelasteter Gebäude ist die Verwendung von Gipsfaserplatten denkbar, die einseitig mit dichtvernadelter Schafwolle kaschiert sind. Um dies zu simulieren, wurde eine Prüfkammer durch ein in einem Rahmen gespanntes Wollvlies in zwei gleiche Räume geteilt. Nach Vorgabe von 10 ppm Formaldehyd in den einen Raum, wurde nach 24 Std. die Formaldehydkonzentration im durch das Wollvlies abgetrennten Raum bestimmt. Die Messwerte (4 Versuchreihen mit je 6 Messungen) lagen zwischen < 0,02 ppm und 0,07 ppm.

Bei Objekten in Fertigbauweise finden sich große Mengen an Preßspanplatten, die als Quellen für die Freisetzung von Formaldehyd verantwortlich sind. Die Umfassungswände können im Sanierungsfall vollständig mit kaschierten Gipsfaserplatten verkleidet werden. Um dieses Konzept zu simulieren, wurden in einer weiteren Versuchsreihe die Seitenflächen der Prüfkammer mit Schafwolle ausgekleidet und eine Formaldehydkonzentration von 300 ppm eingestellt. Nach 24 Std. wurden in der Prüfkammer Formaldehydkonzentrationen zwischen 0,23 und 0,7 ppm gemessen, was einem mittleren Formaldehydabbau von 99,8 % ($\pm 0,05$, $n=5$) entspricht.

In einer weiteren Versuchsreihe wurde die Abhängigkeit des Formaldehydabbaus von der Größe der Absorberoberfläche geprüft (s. Abb. 4).

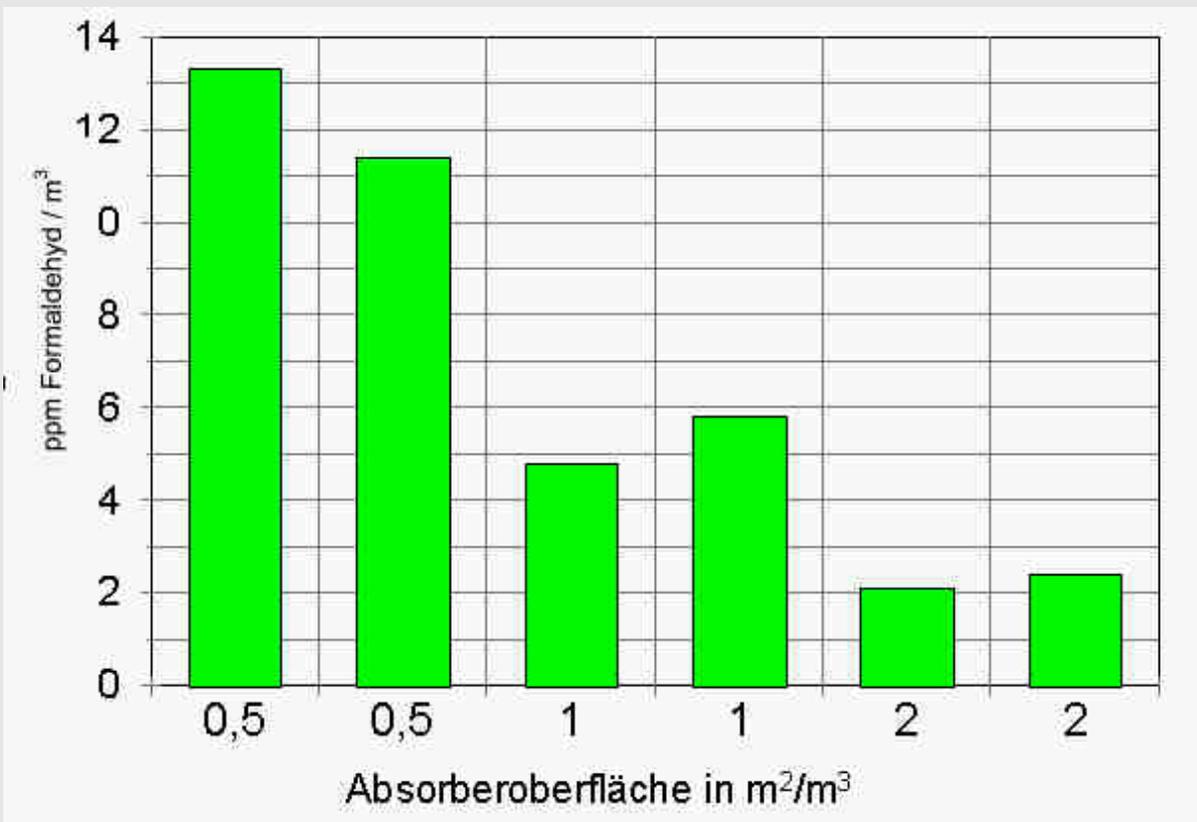


Abb. 4: Formaldehyd abbau in Abhängigkeit von der Absorberoberfläche Im Anschluß an die Prüfkammerversuche wurde die Wolle mehreren Praxisversuchen in Wohnhäusern und kommunalen Gebäuden unterzogen. Es handelte sich überwiegend um Gebäude, bei denen aufgrund konstruktiver Gegebenheiten ein Ausbau der Formaldehyd-Quellen einem Abriß der Gebäude gleichkommt. Die Praxisversuche zeigten, daß durch den Einbau der Wolle die Formaldehyd-Konzentration von ca 0,06 bis 0,2 ppm auf unter 0,05, also auf weniger als die Hälfte des BgVV-Richtwertes, gesenkt werden konnte (s. Abb. 5).

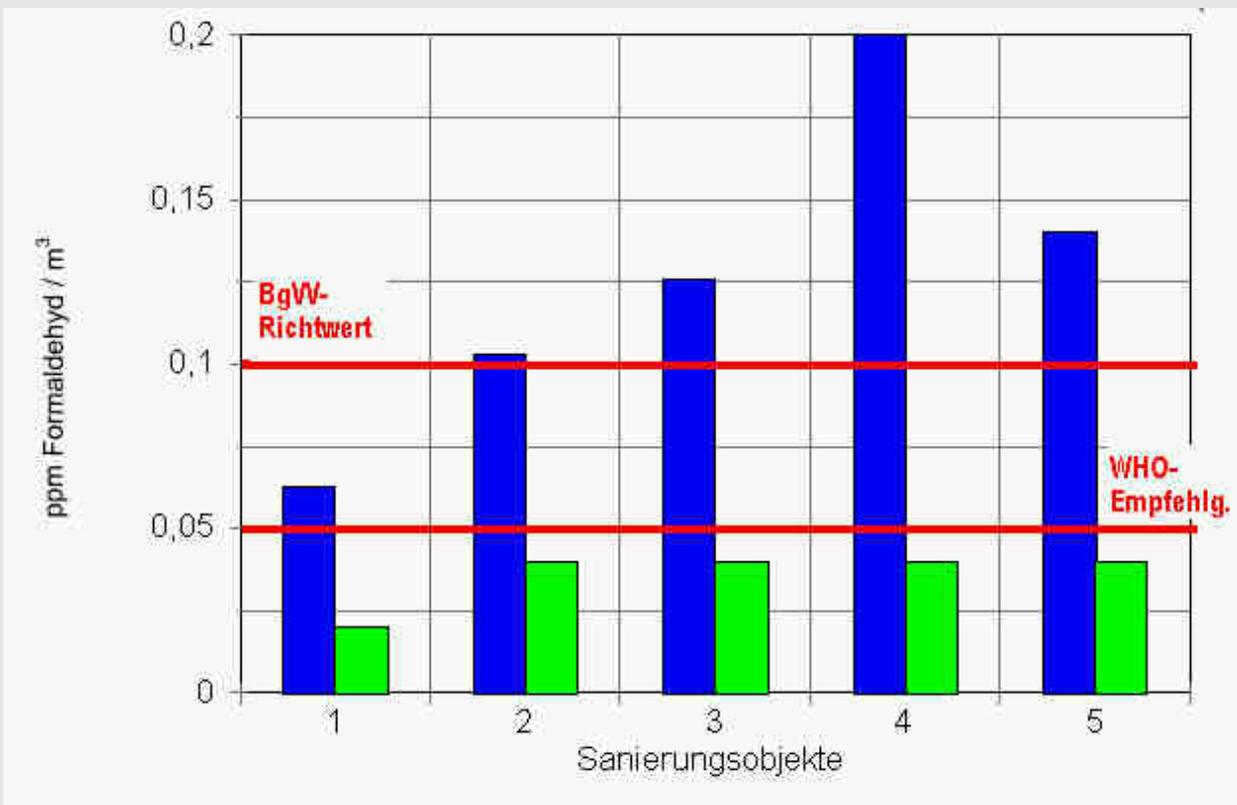


Abb. 5: Formaldehydabbau in der Innenraumluft verschiedener Gebäude. blau: vor Sanierung; grün: nach Sanierung

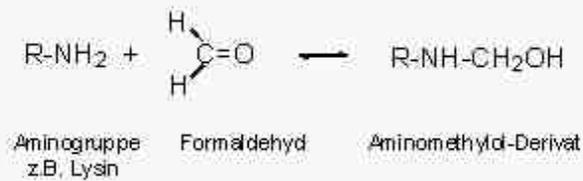
Wollanalytik

Der Formaldehyd diffundiert über die Wolloberfläche ins Faserinnere. Die eindiffundierten Moleküle können mit vielen

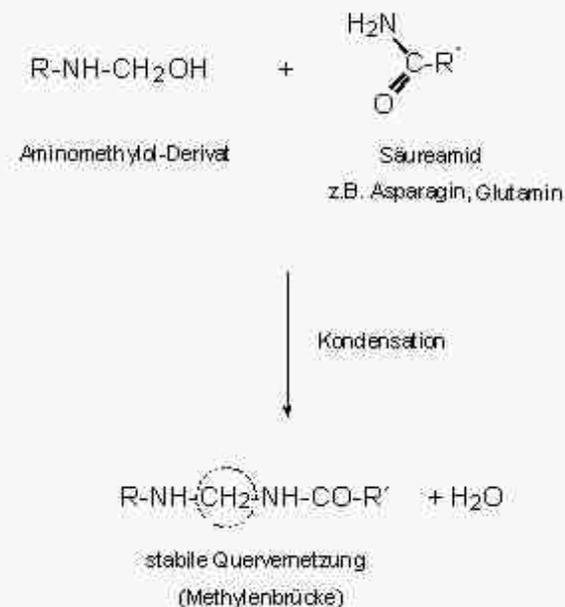
Aminosäure-Seitenketten chemisch reagieren, insbesondere mit den Seitengruppen der Aminosäuren Lysin, Glutamin, Asparagin, Histidin, Arginin, Tyrosin, Tryptophan, Cystin und Cystein.

In der Wollfaser reagieren die eindiffundierten Formaldehyd-Moleküle zunächst in den lysin- und glutaminreichen Mikrofibrillenproteinen (IF) und anschließend mit den Aminosäureresten der schwefelreichen Matrix (IFAPs), in die die IF eingebettet sind.

1. Reaktionsschritt



2. Reaktionsschritt



Bei der elektrophoretischen Fraktionierung der Wollproteine werden die Proteine zunächst aus der Faser extrahiert und dann im elektrischen Feld z.B. nach dem Molekulargewicht aufgetrennt. Durch Formaldehyd vernetzte Proteingruppen lassen sich nicht mehr oder nur noch unvollständig aus der Faser herauslösen. In Abbildung 7 sind die Ergebnisse der elektrophoretischen Fraktionierung der Proteine aus unbehandelter und formaldehyd-exponierter Wolle gegenübergestellt. Nach Formaldehydaufnahme fehlen die Proteingruppen der IF im elektrophoretischen Muster der Wolle, was die bevorzugte Vernetzung dieser Wollkomponente widerspiegelt.

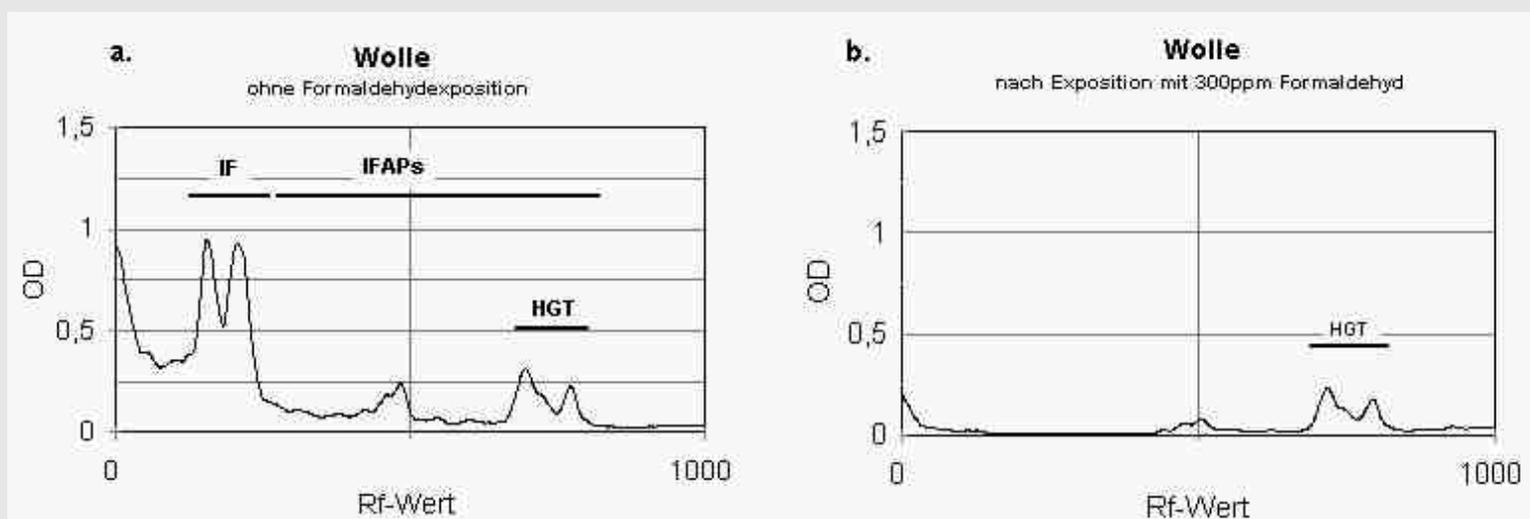


Abb.6: Densitometrische Ausmessung der elektrophoretischen Fraktionierung (SDS-PAGE) von extrahierten Proteinen aus

unbehandelter (a) und formaldehyd-exponierter Wolle (b).

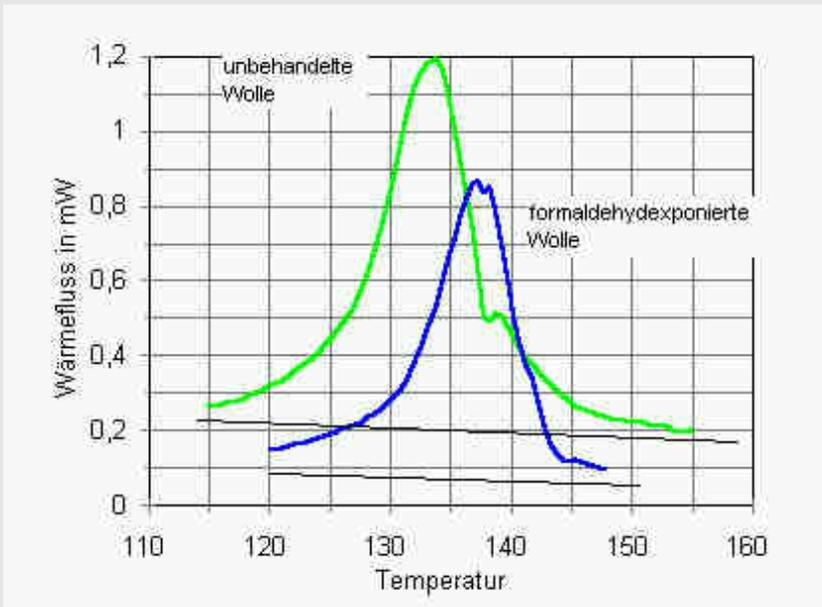


Abb.7: Schmelzverhalten der IF (HPDSC) Die Analyse der formaldehydexponierten Wolle mittels HPDSC (High Pressure Differential Scanning Calorimetry) zeigt im Vergleich zu unbehauelter Wolle einen Anstieg der Schmelztemperatur der IF als Konsequenz der Vernetzung der mikrofibrillären Regionen der Wolle (s. Abb.7).

Zusammenfassung und Ausblick

Die Ergebnisse der Labor- und Praxisversuche zeigen, dass die Wolle ein wirksames Sorbens zur Bindung von Formaldehyd aus der Raumluft dargestellt. Umfangreiche Literaturrecherchen und Erfahrungswerte lassen die Hypothese zu, dass sich für die Wolle weitere Anwendungsmöglichkeiten mit dem Ziel einer Verbesserung der raumlufthygienischen Situation erschließen lassen.

zum Patent angemeldet: EP 0652318; PCT/EP 98/01691

©DWI (letzte Änderung 07.04.04)