

Sachbericht zum FuE-Vorhaben:

Untersuchungen des Einsatzes neuartiger, dekorativer extrem grob gewirkter Wandverkleidungen aus Schafwolle zur Raumluftverbesserung

Reg.-Nr.: 24/03

Kurztitel: Schafwoll-Wandverkleidung

Chemnitz, den 29.03.2004

Dr. Thomas Pfüller
Projektleiter

Prof. Dr.-Ing. Hilmar Fuchs
Geschäftsführender Direktor

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	1
2	Aufgabenstellung	1
3	Stand der Technik	2
4	Untersuchungen und Ergebnisse	5
4.1	Auswahl und Bewertung der Rohmaterialien	5
4.2	Herstellung verschiedener Strukturen im Labormaßstab	7
4.3	Bestimmung der Absorption von Chemikalien mittels IR	8
4.4	Gravimetrische Bestimmung der Formaldehydabsorption	14
4.5	Messung der Formaldehydabsorption unter einsatznahen Bedingungen	16
4.6	Messung der Formaldehydabsorption bei niedrigen Konzentrationen	18
4.7	Zusammenfassung	20
5	Anwendung und wirtschaftliche Bedeutung	20
6	Literatur	22

1 Einleitung

Mittelpunkt der Untersuchungen ist ein lange bekanntes Naturprodukt – die Schafwolle. Aufgrund ihres Eigenschaftsprofils (sehr hohes Wärmerückhaltevermögen, hohe Wasserdampfaufnahme und –abgabe, sprungelastisches Verhalten) kommt die Wolle in der Bauindustrie in letzter Zeit zunehmend als umweltfreundlicher nachwachsender Rohstoff für Wärme- und Schalldämmung zum Einsatz.

Wolle besteht aus ca. 80 % aus Keratinproteinen, die wiederum 18 verschiedene Aminosäurereste enthalten. Etwa die Hälfte dieser Reste liefert reaktive Seitenketten und ermöglicht damit die Reaktion mit verschiedenen chemischen Verbindungen, wie z. B. Aldehyden.

Damit wird Schafwolle auch als innovatives textiles Produkt zur Minimierung von Schadstoffen in Innenräumen interessant. Voraussetzung für einen effektiven Einsatz von Schafwolle zur Verbesserung der Innenraumluft und ggf. Sanierung von Gebäuden ist das Einbringen des Textilmaterials mit sehr großer wirksamer Faseroberfläche.

2 Aufgabenstellung

Ziel des Forschungsprojektes ist die Herstellung textiler Absorber für die Verbesserung der Qualität der Luft von Innenräumen.

Textiltechnologisch bieten sich dafür insbesondere grobe, dreidimensionale Wirkstrukturen unter Nutzung kurzfasriger, nicht verspinnter Schafwolle an. Entsprechende Technologien wurden vom Sächsischen Textilforschungsinstitut e. V. im Rahmen verschiedener Forschungsarbeiten (u.a. BMWi-Forschungsvorhaben 127/95 „Untersuchungen zur Optimierung von Dämmstricken aus nicht verspinnter Schafwolle“) entwickelt. Die Ergebnisse führten zur Gründung der Fa. Erwotex - Erzgebirgische Wolltextilien GmbH, die erfolgreich extrem grob gewirkte Matten aus Schafwolle für Sitz- und Liegeflächen herstellt. Die Fa. Wool-Engineering GmbH nutzt die Forschungsergebnisse ebenfalls für die Herstellung von Dämmstricken aus Schafwolle.

Durch die Entwicklung dekorativer Wandverkleidungen zur Verbesserung der Innenraumluft können die Verarbeiter von Schafwolle ein neues Marktsegment für den Einsatz dieser produktiven Textiltechnologie erschließen.

Die dafür eingesetzte Technik bietet durch die Nutzung der elektronischen Mustersteuerung vielfältige Möglichkeiten zur Gestaltung der textilen Oberfläche inklusive effektvoller Deko-

Elemente. Bisher ungeklärt sind die konkreten Wirkungen derartiger Produkte auf die Verbesserung der raumlufthygienischen Situation.

Um eine optimale Wirkung im Hinblick auf die Minimierung von Luftschadstoffen zu erzielen, ist die Kenntnis der Zusammenhänge zwischen den Fasereigenschaften, der Struktur der Oberfläche einschließlich deren textil-physikalischer Eigenschaften und der Aufnahme- und Bindungskapazität für relevante Innenraum-Schadstoffe, insbesondere Formaldehyd, erforderlich.

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, durch systematische Untersuchungen Erkenntnisse zum Einfluss der Fasereigenschaften, der Oberflächenbeschaffenheit und Konstruktion von Flächengebilden aus Schafwolle auf die Minimierung von Luftschadstoffen zu erhalten, um daraus Ableitungen zu treffen für die optimale Konstruktion und Gestaltung innovativer dekorativer Schafwoll-Wandverkleidungen, die in entscheidendem Maße die raumlufthygienische Situation verbessern.

3 Stand der Technik

Der Mensch verbringt ca. 90 % seiner Zeit in geschlossenen Räumen und ist einer Vielzahl von Schadstoffen (z. B. Formaldehyd, Pentachlorphenol) ausgesetzt. Die Problematik unzumutbarer Formaldehyd-Konzentrationen, verursacht durch Spanplatten, Lacke, Anstrichstoffe, Tapeten und Textilien, ist nach wie vor Gegenstand öffentlicher Diskussionen. Obwohl bereits 1977 vom Bundesgesundheitsamt (jetzt BgVV) ein Richtwert für Formaldehyd in Innenräumen in Höhe von 0,1 ppm festgelegt wurde, wird eingeschätzt, dass dieser in 10 % der Haushalte überschritten wird [1]. Innenraumbedingte gesundheitliche Störungen und Beeinträchtigungen („sick building syndrom“) und Allergien sind die Folge.

Der Verbesserung der Innenraumluft kommt somit eine große Bedeutung zu.

Prinzipiell existieren dafür folgende Möglichkeiten:

- Sanierung der Gebäude durch Entfernen der entsprechenden belasteten Bauteile, verbunden mit erheblichen Kosten und aus statischen Gründen oft nicht realisierbar
- Beschichtung der emittierenden Materialien, aber Wirkung der Sperrlacke durch Alterung zeitlich begrenzt, Tauwasserbildung möglich
- Einsatz von Schafwolle als reaktives Sorbens; hierbei reagiert z. B. Formaldehyd als reaktives Molekül durch Additions- und Kondensationsreaktionen mit den Seitenketten

der Aminosäuren, wobei sich stabile, unschädliche Verbindungen bilden, die zu irreversiblen Quervernetzungen führen.

Die Fähigkeit von Wolle, Formaldehyd zu absorbieren, ist seit langem bekannt. Reddie und Nicholls untersuchten die Absorption aus wässrigen Lösungen [2]. Sie fanden, dass nicht das gesamte Formaldehyd in Form stabiler Addukte vorliegt.

Causer und McMillan beschrieben die Absorption von Luftschadstoffen an Wollteppichen [3]. Aufgrund der Untersuchungen wurde eine Wirksamkeit von ca. 30 Jahren prognostiziert.

Der Einsatz von Schafwolle zur Sanierung formaldehydbelasteter Gebäude wird bereits praktiziert. Die Fa. Doppelmayer (Kempten/Allgäu) bietet Dämm-Matten aus Schafwolle, sog. doscha-Wolle an. Das Absorbervlies wird unter dem Produktnamen „KAIRATIN“ [4] von der Fa. Raab Karcher Baustoffe vertrieben [5]. Das Vlies mit einer Dicke von mindestens 4 mm und einer Flächenmasse von mindestens 400 g/m² eignet sich für eine vollflächige Verkleidung kontaminierter Wand-, Boden- und Deckenflächen. Es wird direkt auf die schadstoffbelastete Oberfläche aufgebracht, wobei die schadstoffbelastete Luft durch das Absorbermaterial zirkuliert (Kontaktverfahren). Dieses Verfahren ist sinnvoll bei Spanplatten. Oder es wird zwischen eine abgehängte Decke bzw. Versatzschale im Wandbereich eingebracht (Konvektionsverfahren).

In einer Stärke von vier Millimetern kostet es als Bahnenware zwölf Euro pro Quadratmeter. Dazu kommen noch die Kosten für eine Verkleidung der Wand oder Decke, z. B. mit Gipskartonplatten.

Für die nächsten Jahre prognostizieren Experten lt. Fa. Raab Karcher den Sanierungsbedarf - allein in Privathaushalten - auf bundesweit mehrere 100.000 Quadratmeter Wohnfläche. Hinzu kommt ein ebenso umfangreicher Bedarf in öffentlichen Gebäuden, wie Kindergärten, Schulen oder Altersheimen [5].

Die Firma Amnos hat ebenfalls eine Lizenz zum Vertrieb der Wollvliese, allerdings nicht für Sanierungen, sondern für die Anwendung in sogenannten „Raumluftmodulen“. In diesen, bis zu einem Quadratmeter großen Elementen aus Holz oder Metall ist ein Vlies eingelegt, das zu einer allgemeinen Verbesserung der Raumlufte beitragen soll. Die Module können wie ein Bild an die Wand gehängt werden. Da zwischen Wand und Modul ein Abstand eingehalten wird, strömt die Luft hindurch und wird dabei gereinigt [6]. Sie sind jedoch wesentlich teurer als die Rohware. Ein Modul mit einer Grundfläche von einem Quadratmeter kostet 279 Euro. Darin steckt ein zehn Millimeter dickes Wollvlies. Laut Angaben der Firma Amnos beträgt die optimale Modulfläche zur Verbesserung der Raumlufte 5 % des Rauminhaltes in m². Eingesetzt wird es beispielsweise in Zahnarztpraxen, wo es dem typischen „Zahnarztgeruch“

entgegenwirkt. Aber auch in Raucherräumen machen die Module Sinn, denn einer der Hauptschadstoffe im Rauch ist Formaldehyd.

Von der Fa. Trilumina wird eine Leuchtenserie mit integriertem KAIRATIN-Vlies angeboten. Je nach Ausführung (Wand-, Tisch und Stehleuchte) sind 1-2 m² Absorbervlies integriert [7]. Die Untersuchungen zur Wirksamkeit des Wollvlieses bezüglich des Formaldehyd-Abbaues wurden vom Eco-Institut in Köln sowie vom Deutschen Wollforschungsinstitut/RWTH Aachen durchgeführt [8, 9]. Es erfolgten sowohl Prüfungen im Labor als auch unter Praxisbedingungen. Bei Anwendung von 300 ppm Formaldehyd wurde in einer Prüfkammer mit 250 l Volumen, in die ein Vlies der Abmessungen 25x25x2 cm eingehängt war, bereits nach 2 Stunden ein Abbau von 80-88% beobachtet. Nach 24 h war die Abbaurate >95 %. Im Anschluss an die Laborversuche wurden mehrere Praxisuntersuchungen in kommunalen Gebäuden und Fertighäusern durchgeführt. Dabei konnte durch den Einbau von Wollvlies die Formaldehyd-Konzentration von ca. 0,06 bis 0,2 ppm auf unter 0,05 ppm (Empfehlung der WHO) gesenkt werden.

Langzeitmessungen über einen Zeitraum bis zu 3 Jahren belegen die Beständigkeit der deutlich verminderten Formaldehyd-Konzentrationen in der Innenraumluft. Weitere Untersuchungen mit ungesättigten Aldehyden, Dialdehyden und aliphatischen Aldehyden zeigten am Beispiel von Hexanal ein der Reaktion mit Formaldehyd vergleichbares Ergebnis. Zum Nachweis der Vernetzung der Proteine wurde die Methode der Proteinfractionierung durch SDS-Polyacrylamid-Gelelektrophorese eingesetzt. Dabei werden die Proteine zunächst aus der Faser extrahiert und dann in einem elektrischen Feld z. B. nach dem Molekulargewicht und entsprechend ihrer morphologischen Zugehörigkeit aufgetrennt. Durch Formaldehyd vernetzte Proteingruppen lassen sich nicht mehr aus der Faser herauslösen und können somit nicht mehr nachgewiesen werden. Bei der Analyse formaldehydbelasteter Wolle gegenüber unbelasteter mittels HPDSC (High Pressure Differential Scanning Calorimetry) wurde ein Anstieg der Denaturierungstemperatur nachgewiesen.

Auf dem Gebiet der textilchemischen Prüfung werden seit Jahren eigene Forschungsarbeiten mit Bezug zum Projekt durchgeführt.

Als Beispiel seien hier „Untersuchungen der Chemikalienbeständigkeit textiler Materialien gegenüber aggressiven Gasen“ [10] angeführt. Andere Arbeiten befassten sich mit dem Emissionsverhalten textiler Materialien für die Automobilindustrie [11].

Umfangreiches Know-how besteht auch auf dem Gebiet der Schadstoffanalytik und der Veredlung von Textilien, u. a. auch zur Wollausrüstung [12].

Des Weiteren liegen im Sächsischen Textilforschungsinstitut e. V. auf dem Gebiet der Flächengebildeherstellung umfassende Erfahrungen und Kenntnisse zur Verarbeitung kurzfasriger, nicht verspinnbarer Schafwolle mittels KEMAFIL-Technik und zur Verarbeitung von Schafwollstricken auf groben Kettenwirkmaschinen [13, 14, 15].

Die Wollproduktion macht ca. 3 % der Weltfaserproduktion aus. Damit beträgt der Wollanteil 1,5 Millionen Tonnen. Es wird eingeschätzt, dass Wolle auch längerfristig sowohl als hochwertige Bekleidungsfaser, als auch für moderne Verfahren in der Hightech-Industrie eine Rolle spielen wird. Die Woolmark Company, die das international bekannte Wollsiegel als Qualitätsmerkmal für reine Schurwolle vergibt, rechnet damit, dass der Wollverbrauch in Deutschland in den nächsten fünf Jahren jeweils um 2,5 Prozent zunimmt [16].

Erste Marktanalysen haben gezeigt, dass es durchaus ein Kundenpotential im Bereich der Schadstoffminimierung gibt. Einsatzgebiete sind sowohl Altbausanierung als auch der Bereich ökologisches Bauen.

4 Untersuchungen und Ergebnisse

Grundlage des Forschungsprojektes sind die im Sächsischen Textilforschungsinstitut e.V. gewonnenen Erkenntnisse zur Herstellung neuartiger textiler Mattenkonstruktionen unter Verwendung luntenartiger KEMAFIL-Strukturen aus nicht verspinnbarer Schafwolle.

Ausgehend von den zur Verfügung stehenden Rohmaterialien (Wolle verschiedener Herkunft und Qualität) wurde geprüft, welche Qualitäten sich für die Herstellung von Absorbentien eignen. In einem zweiten Schritt wurden diese auf Pilotanlagen des STFI zu textilen Flächengebilden verarbeitet. Es wurde geprüft, inwieweit textilphysikalische Eigenschaften wie Oberflächenbeschaffenheit, Flächenmasse und Porosität die Absorptionskapazität des Materials beeinflussen. Die erfolgversprechenden Varianten werden vom Kooperationspartner hergestellt und in Praxistests auf ihre Wirksamkeit untersucht.

4.1 Auswahl und Bewertung der Rohmaterialien

Die Auswahl der Rohmaterialien erfolgte anhand der von den Industriepartnern vorzugsweise verwendeten Wollsorten. Die Fa. ErwoTex verarbeitet Kammzüge aus gereinigter, ungefärbter Wolle. Dieses Material wurde als Referenzmaterial eingesetzt werden. Zur Bewertung des Einflusses verschiedener Veredlungsvarianten wurden folgende Behandlungen vorgenommen:

- Haushaltwäsche (Wollwaschprogramm , neutrales Waschmittel, 30 °C)
- Reinigung mit Lösemittel (Per)
- Färbung (schwarz, hoher Farbstoffgehalt)

Ein weiteres für die Anwendung in Absorbieren interessantes Ausgangsmaterial ist Reißwolle aus dem Recyclingmaterial von Textilabfällen. Dieses Material hat jedoch nur einen Wollgehalt von 55 – 65 % (Halbwolle). Höhere Wollgehalte können auf Anfrage hergestellt werden. Das für die Untersuchungen verwendete Material der Fa. Soex enthielt einen Wollanteil von ca. 80 %.

	klimatisiert [%]	getrocknet [%]
M1 (roh)	0,14	0,16
M3 (gewaschen)	0,16	0,18
M4 (gereinigt)	0,05	0,06
M6 (gefärbt)	0,23	0,26
M2 (naturfarbig)	0,81	0,92
M5 (Reißwolle)	0,77	0,86

Tab. 1: Restfettgehalt der Wollproben

Da die Fähigkeit, Formaldehyd zu absorbieren, vom Anteil an Wollfett der verwendeten Wolle abhängig ist, wurden die vorliegenden Materialien durch Extraktion mit Dichlormethan (DCM) auf den Anteil extrahierbarer Substanzen untersucht (ISO 3074).

Die Rohwolle (M1) und die daraus durch bestimmte Veredlungs- bzw. Reinigungsverfahren hergestellten Proben (M3, M4, M6) haben einen vergleichsweise geringen Restfettgehalt. Er zeigt, dass die eingesetzte Wolle bereits vorbehandelt und damit entfettet wurde. Die naturfarbige Wolle hat einen höheren Restfettgehalt. Aus der Reißwolle konnten ebenfalls Substanzen extrahiert werden. Diese können jedoch auch aus der Veredlung bzw. aus der vorherigen Verwendung der eingesetzten Wollartikel stammen.

Die Muster 1, 3, 4 und 6 repräsentieren die für die Herstellung der Absorbiermatten eingesetzte Wolle. Sie lag als Faserflocke vor.

Muster 1 wurde so eingesetzt, wie vom Hersteller bezogen (roh).

Muster 3 wurde in einem Schonwaschverfahren gewaschen und luftgetrocknet.

Muster 4 wurde in einem Chemischreinigungsverfahren mit Per gereinigt.

Muster 6 wurde mit dem Metallkomplexfarbstoff Wofalan schwarz BLN gefärbt (Standardrezeptur, 4 %ige Färbung).

Muster 2 ist naturfarbige Wolle (Wolle von „schwarzen“ Schafen); Kardenband

Muster 5 ist das Recyclingprodukt Reißwolle mit einem Wollanteil von ca. 80 %.

PES (Stapelfaser: 38mm, 1,0 dtex) diente als Vergleichsmuster

4.2 Herstellung verschiedener Strukturen im Labormaßstab

Die Herstellung verschiedener, extrem grober Strukturen erfolgte auf den im Institut vorhandenen Maschinen. Ziel war es, die Oberfläche bzw. die Porosität der Erzeugnisse so zu gestalten, dass Ihre Schadstoffaufnahmekapazität optimal genutzt werden kann. Dabei wurde berücksichtigt, dass auch der optische Effekt, d.h. die Verwendbarkeit als dekoratives Element für den Wohnraumbereich, erhalten bleibt.

Die Versuche erfolgten mit verschiedenen Varianten von auf einer extrem groben Rechts/Rechts-Kettenwirkmaschine hergestellten Flächengebilde. Diese Maschine ist in der Lage, Wollstricke, die nach der Kemafil-Verfahren hergestellt wurden, zu verarbeiten. Das Kemafil-Verfahren ist eine Vorzugsvariante zur Nutzung nicht verspinnbarer Fasern in luntentartigen Fasersträngen. Als Vergleichsmaterial wurden Nadelvliesstoffe hergestellt.

Die Versuchsmusterherstellung umfasst textiltechnologische Untersuchungen zur Verarbeitbarkeit unterschiedlicher Wollsorten sowie zu erreichbaren Strickdurchmessern. Die Eigenschaften der Stricke wurde durch Variation der Strickdurchmesser beeinflusst.

Für die Untersuchungen wurden folgende Schafwollsorten ausgewählt:

- Schurwollkämmlinge
- Schafwollflocken
- Krempelflug
- Karden- und Krempelbänder

Es konnte gezeigt werden, dass durch Variation der Fadenzugkräfte und Maschenzahlen die Strickeigenschaften wie Durchmesser, Zusammendrückbarkeit, Packungsdichte und Porenanteil gezielt beeinflussbar ist. Die Variation des Strickdurchmessers lässt erkennen, dass eine breite Erzeugnispalette zur Verfügung gestellt werden kann.

Durch Variation des Materialeinsatzes sowie des Einzuges und der Legung der Grundfäden ergeben sich vielfältige Möglichkeiten zur Konstruktion von Gewirkestrukturen mit geschlossenem oder gitterartigem Aussehen.

4.3 Bestimmung der Absorption von Chemikalien mittels Infrarotspektrometrie (IR)

Messapparatur

Die Apparatur besteht aus einem geschlossenen Kreislaufsystem, in dem das Messgas (Luft mit Chemikalie) kontinuierlich sowohl durch die Probe als auch durch den Detektor gepumpt wird.

Dazu wurden die zur Kalibrierung des IR-Analysators verwendete Messanordnung, bestehend aus Analysator und Kalibriereinrichtung (Pumpe mit Probeneinlass über ein Septum) um einen mit Fasern gefüllten Absorber (Waschflasche) ergänzt.

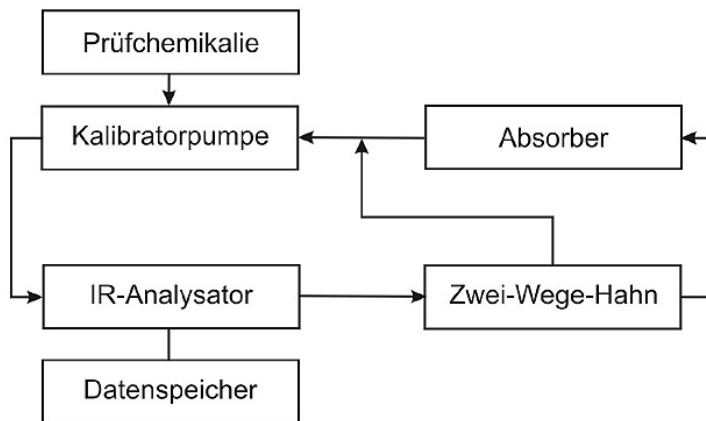


Abb. 1: Blockschaltbild Adsorptionsapparatur

Mittels eines Zwei-Wege-Hahns kann der Gasstrom am Absorber vorbei geleitet werden.

Durchführung der Messungen

Die Apparatur wurde zu Messbeginn mit Luft gespült, um ggf. noch vorhandene Chemikalienreste zu beseitigen. Der Absorber wurde mit 10 g Fasermaterial befüllt. Die Messapparatur wurde luftdicht verschlossen und die Messung der Konzentration der entsprechenden Chemikalie gestartet. Die eigentliche Messung wurde bei konstanter Grundlinie begonnen. Dazu wurde der Absorber vom Kreislauf getrennt und die Chemikalie mittels Injektionsspritze zugesetzt. Nach Erreichen der Maximalkonzentration wurde der Absorber in den Kreislauf geschaltet. Die Registrierung der gemessenen Konzentration der Chemikalie im Kreislaufgas erfolgte mittels eines Datenloggers. Nach dem der Messwert unter 20 % des Ausgangswertes lag bzw. nach 2 Stunden wurde die Messung abgebrochen.

Messergebnisse

Die Konzentration der zu messenden Chemikalie wurde alle 10 Sekunden (bzw. bei den letzten Messungen alle 30 Sekunden) aufgezeichnet. Die temporäre Speicherung der Daten

erfolgte mit einem Datenlogger. Von da aus wurden die Daten auf einen Computer übertragen und mittels Excel ausgewertet.

Das folgende Diagramm enthält die Rohdaten einer Messung (Muster M1, Formaldehyd).

Diagramm 1 zeigt den typischen Verlauf einer Messung. Der erste Kurvenabschnitt stellt die Grundlinie vor der Zugabe der Chemikalie dar. Nachdem die zu prüfende Chemikalie zugegeben wurde, steigt der Messwert bis zur gleichmäßigen Verteilung innerhalb des Messsystems. Nach Erreichen des Maximums wurde der Zwei-Wege-Hahn umgestellt und die mit Chemikalie belastete Luft über den Absorber geführt. Durch Absorption am Fasermaterial vermindert sich die Konzentration in Abhängigkeit von der Wirksamkeit des Absorbers mehr oder weniger schnell. Am Ende der Messung wurde die Apparatur mit Luft gespült. Dabei wurde das Grundsignal erreicht. Bei erneutem Schließen des Kreislaufs steigt die Konzentration wieder etwas an. Das zeigt, dass auch eine Desorption der Chemikalie von der Faser möglich ist.

Muster 1 (roh), Formaldehyd, 2. Messung

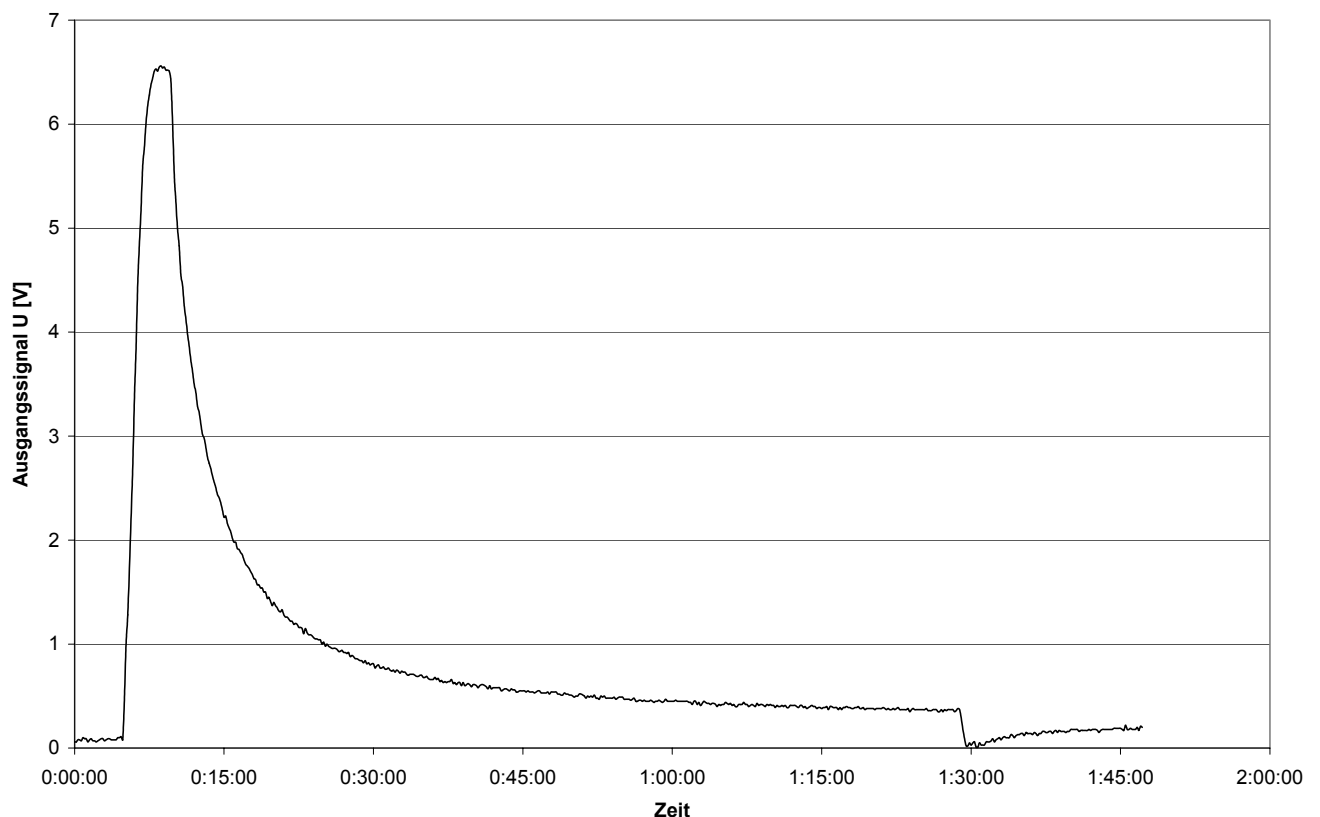


Diagramm 1: Beispiel eines typischen Absorptionsverlaufs

Zur Auswertung der auf diese Weise ermittelten Desorptionskurven wurden diese normiert, d.h. die Ausgangskonzentration wurde zu 100% gesetzt. Damit konnten die geringfügigen

Konzentrationschwankungen, die bei der Zugabe der Chemikalien auftreten, ausgeglichen werden. Die Wiederholungsmessungen wurden in einem Diagramm zusammengefasst.

Reihe 1 – 3 steht für die drei Einzelmessungen.

Die sich daraus ergebenden Diagramme enthalten nur noch die Daten des Sorptionsvorgangs. Das Diagramm 2 ist ein Beispiel dafür und zeigt die Absorptionskurven von drei Parallelmessungen.

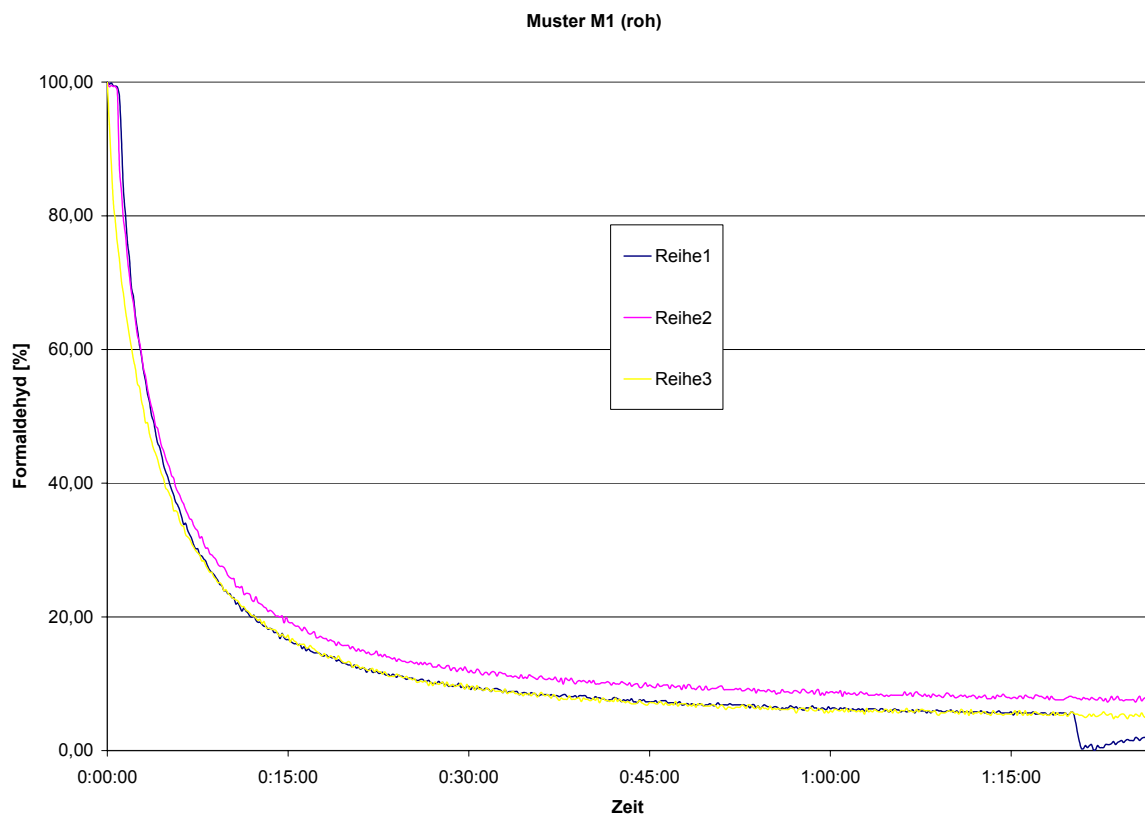


Diagramm 2: Formaldehydabsorption an Wolle (Muster M1)

Aus den Messdaten wurden verschiedene Parameter ermittelt.

- Halbwertszeit: Zeit in der sich die Ausgangskonzentration auf die Hälfte reduziert [min]
- Sorptionsgeschwindigkeit: ist die Abnahme der Konzentration pro Minute. Die Angabe erfolgt zu einer definierten Zeit (z.B. Halbwertszeit) [ppm/min]
- Restkonzentration: Konzentration der Chemikalie nach einer bestimmten Zeit [%]
- Anhand dieser Daten können die Absorptionseigenschaften der Fasern gegenüber den eingesetzten Chemikalien verglichen werden. Diese Eigenschaften beziehen sich vorzugsweise auf die Absorptionskinetik im System Faser/Chemikalie.

Der Vergleich der Sorptionsparameter zeigt, dass sich Halbwertszeit und Restkonzentration proportional zueinander verhalten, d.h. einer großen Halbwertszeit entspricht eine hohe

Restkonzentration. Die Sorptionsgeschwindigkeit ist der Halbwertszeit und der Restkonzentration umgekehrt proportional. Bei einer hohen Sorptionsgeschwindigkeit ergibt sich eine kurze Halbwertszeit.

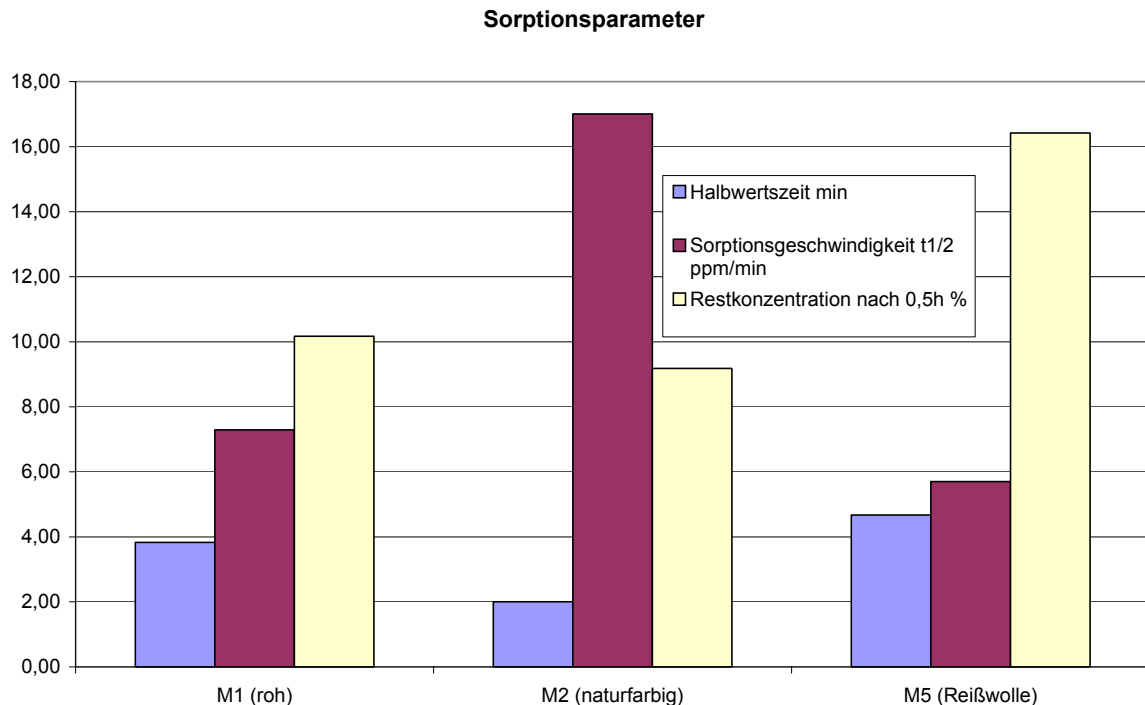


Diagramm 3: Darstellung der Sorptionsparameter

Da die Proportionalität der Parameter gegeben ist, wurde für die Auswertung der Messdaten der jeweils aussagekräftigste ausgewählt.

Auswertung

Absorption von Formaldehyd

Der Vergleich der Formaldehydabsorption der Wollproben erfolgte anhand der Halbwertszeiten. Einer geringen Halbwertszeit entspricht eine hohe Absorptionsgeschwindigkeit und damit einer schnellen Verminderung der Schadstoffkonzentration.

Polyesterfaser wurde ebenfalls geprüft. Die Halbwertszeit betrug 61 min. Im Vergleich zu Muster M1 (roh) mit ca. 4 min bedeutet das eine um den Faktor 12 langsamere Abnahme der Formaldehydkonzentration auf die Hälfte des Ausgangswertes.

Im Diagramm 4 wurden die Ergebnisse der Formaldehydabsorption der Rohmuster und der mit DCM extrahierten Muster zusammengefasst. Zur Klärung von Unstimmigkeiten wurden die Messungen von drei Rohmustern wiederholt und zusätzlich mit in das Diagramm aufgenommen.

Anhand der Halbwertszeiten kann gezeigt werden, dass die mit DCM extrahierten Proben durchweg langsamer absorbieren. Das weist auf eine Blockierung der reaktiven Gruppen in der Wolle hin.

Vergleicht man die verschiedenen behandelten Varianten des Rohmusters (M3, M4, M6), ergibt sich bei der gewaschenen Probe eine geringfügige Erhöhung der Absorptionsgeschwindigkeit. Offenbar werden die für die Absorption erforderlichen Gruppen aktiviert. Die Wiederholungsmessung ergab jedoch keine so deutliche Verbesserung der Aktivität. Das mit Perchlorthylen gereinigte Muster zeigt eine etwas verminderte Absorptionsgeschwindigkeit. Das gefärbte Muster zeigt keine signifikante Veränderung im Sorptionsverhalten.

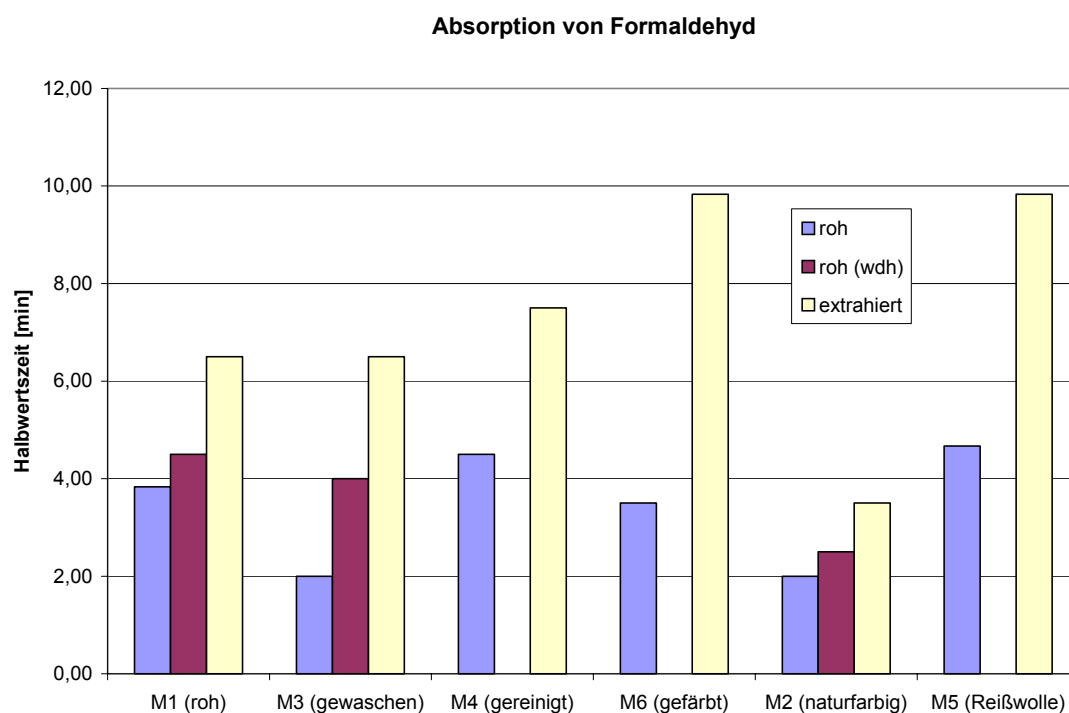


Diagramm 4: Vergleich der Formaldehydabsorption verschiedener Wollproben

Die Bewertung der unterschiedlichen Rohmaterialien (M1, M2, M6) zeigt eine schnellere Absorption bei der naturfarbigen Wolle und eine langsamere Absorption bei der Reißwolle im Vergleich mit dem Muster M1. Da Muster M2 (naturfarbig) einen höheren Restfettgehalt als M1 (roh) besitzt, kann dieser Parameter nicht als alleiniges Kriterium für die Sorptionsaktivität verantwortlich sein.

Ausschlaggebend für die größere Aktivität der Probe M2 ist ihr Vorliegen als Kardenband.

Die Wollfasern wurden parallelisiert und damit aufgelockert. Dadurch ist die Faseroberfläche leichter zugänglich als bei der Faserflocke.

Absorption von Schwefeldioxid

Schwefeldioxid ist ein weiteres reaktives Schadgas, für das Wolle als Absorber in Frage kommt.

Im Diagramm 5 sind die Halbwertszeiten für die Fasern Polyester, Wolle (M1 roh) und naturgefärbte Wolle dargestellt. Die Ergebnisse der Wollmuster sind den Formaldehydwerten sowohl vom absoluten Wert als auch von der Reihenfolge in der Absorptionsaktivität ähnlich. Polyester absorbiert Schwefeldioxid langsamer (Faktor ca. 2,5), jedoch nicht so langsam wie Formaldehyd.

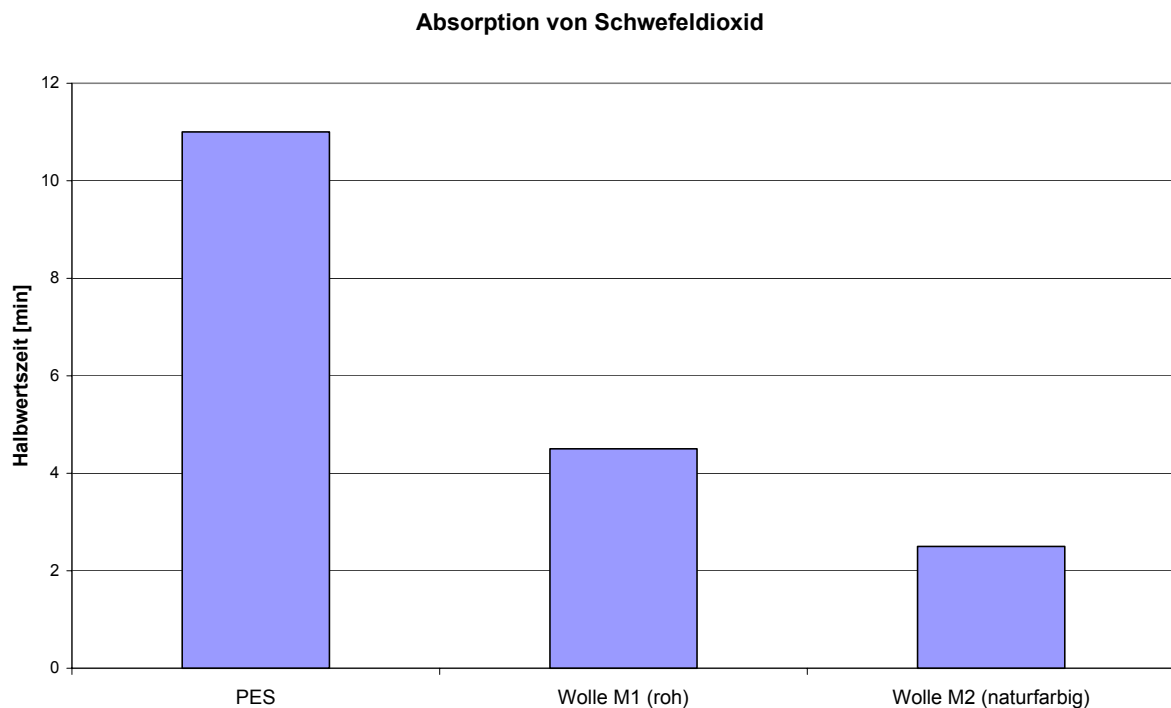


Diagramm 5: Absorption von Schwefeldioxid

Absorption von Lösemitteln

Zur Bewertung der Fähigkeit zur Absorption von Lösemitteln wurden Toluol und Styrol ausgewählt. Beide Chemikalien können unter ungünstigen Bedingungen in der Wohnraumlufte vorhanden sein.

Die Ergebnisse zeigten, dass Lösemittel nur sehr langsam absorbiert werden. Deshalb erfolgte die Bewertung anhand der Zeit bis zur Abnahme des Messwertes um 20 %. Die Halbwertszeit konnte bei den meisten Messungen (vor allem bei PES) nicht ermittelt werden.

Die Absorptionsaktivität ist bei Polyester bei beiden Lösemitteln gering. Toluol wurde von allen Proben schlecht aufgenommen. Wolle zeigt jedoch eine deutlich größere Affinität zu Styrol als Polyester.

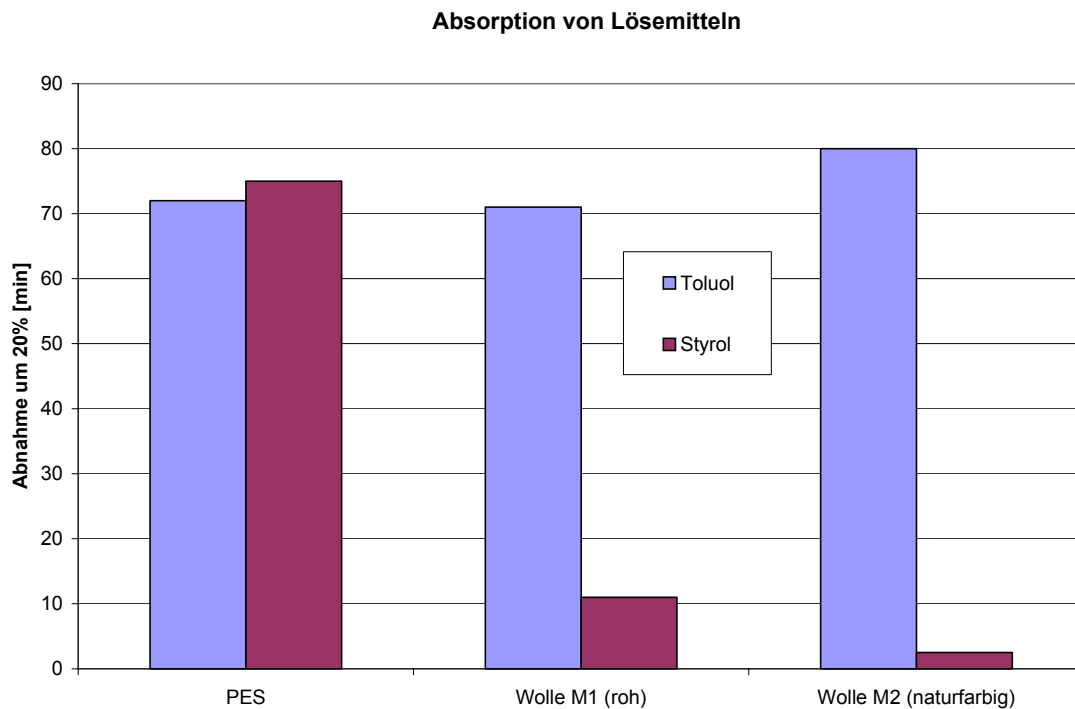


Diagramm 6: Absorption von Lösemitteln

4.4 Gravimetrische Bestimmung der Formaldehydabsorption bei extrem hoher Formaldehydkonzentration

Zur Aufklärung des Absorptionsvermögens von Wolle wurden unterschiedliche Proben in konzentrierter Formaldehydatmosphäre gelagert und die absorbierte Menge gravimetrisch anhand der Massezunahme ermittelt. Dazu wurden die Proben zuerst mit Wasser gesättigt.

Die Durchführung der Messungen erfolgte in einem Exikkator, in dessen unterem Teil sich die Prüflüssigkeit (Wasser, 37 %ige Formaldehydlösung) befand. Im oberen Teil wurden die Prüfmuster in Wägegläschen angeordnet.

Da das Formaldehyd als wässrige Lösung eingesetzt wurde, musste der Feuchtegehalt der Wolle schon vor der Messung maximal sein, da anderenfalls absorbiertes Wasser die Messwerte verfälscht. Dazu wurden die Faserproben 7 Tage in einer mit Wasser gesättigten Atmosphäre aufbewahrt. Danach wurde das Wasser durch konzentrierte Formaldehydlösung ersetzt. Die Messung der Massezunahme erfolgte nach 24, 48 und 144 Stunden. Danach wurden die Muster im Trockenschrank bei 105 °C behandelt und erneut über Wasser gesättigt.

Gravimetrische Messungen

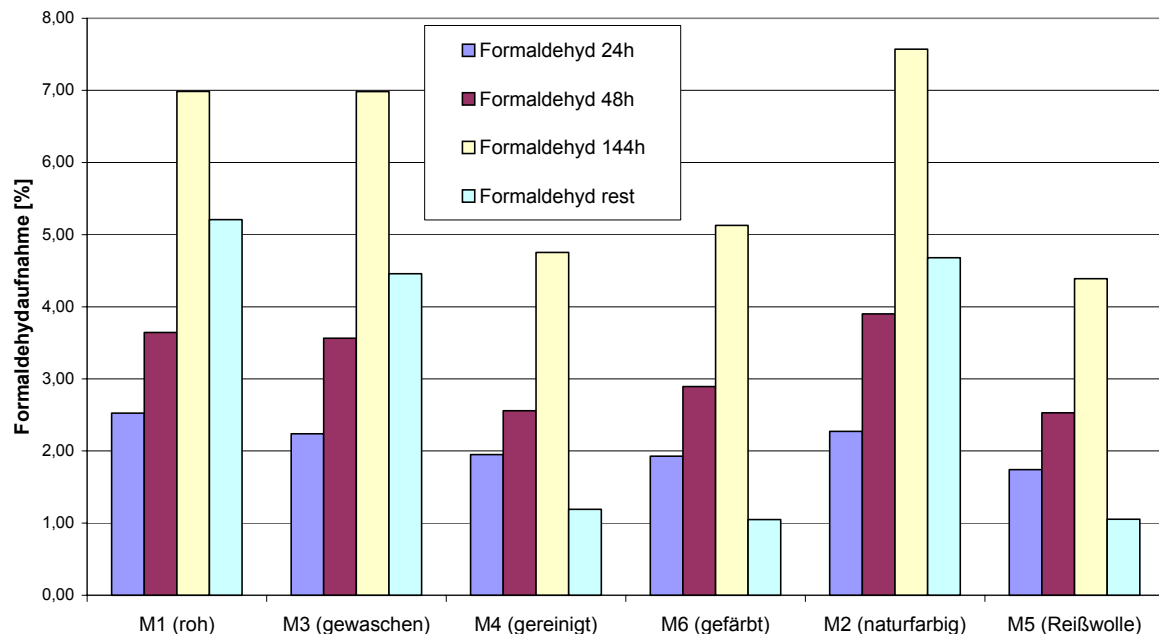


Diagramm 7: Massezunahme der Wollproben in konzentriertem Formaldehyddampf

Die Ergebnisse wurden in Diagramm 7 dargestellt. Offenbar wurde die Sättigungsgrenze der Proben nach 6 Tagen nicht erreicht. Anhand der ermittelten Werte werden trotzdem Unterschiede zwischen den Mustern deutlich.

Muster 1, 2 und 3 unterscheiden sich nur gering in ihrer Aufnahmekapazität für Formaldehyd. Muster 4, 5 und 6 besitzen eine deutlich geringeres Aufnahmevermögen als die anderen Muster. Bei Reißwolle (Muster 5) ist das durch den geringeren Wollgehalt und durch eine gewisse Vorbelastung der Faser, die im Laufe ihrer Vorgeschichte auftrat, erklärbar. Beim gefärbten Muster (Muster 6) wirkt sich der in die Faser eingelagerte Farbstoff negativ auf das Absorptionsvermögen aus. Eine mögliche Erklärung ist die Blockierung reaktiver Gruppen in der Wolle. Die geringere Absorptionskapazität der mit Lösemittel gereinigten Wolle ist nicht ohne weiteres erklärbar.

Eine thermische Behandlung der Faser führt zu einer deutlichen Verminderung des aufgenommenen Formaldehyds. Muster mit hoher Aufnahme (z.B. Muster 3 (gewaschen) Verminderung um 36 %) geben jedoch weniger Formaldehyd wieder ab als Muster mit geringer Aufnahme (z.B. Muster 4 (gereinigt) Verminderung um 75 %). Dieses Verhalten kann dadurch erklärt werden, dass in den Makromolekülen der Wolle funktionelle Gruppen unterschiedlicher Reaktivität vorhanden sind. In Fasern mit geringer Vorbelastung sind die reaktiveren Gruppen noch nicht blockiert. Es kann mehr Substanz aufgenommen werden und die Bindung zu den absorbierten Molekülen ist stärker. Bei Fasern, die bereits chemisch

vorbelastet wurden, sind nur noch die weniger stark absorbierenden funktionellen Gruppen verfügbar. Die Bindung der Schadstoffe erfolgt weniger fest und kann durch Einwirkung von Hitze und Wasser wieder gelöst werden.

Es konnte festgestellt werden, dass sich eine Chemischreinigung negativ auf das Absorptionsvermögen der Wolle bezüglich Formaldehyd auswirkt.

4.5 Messung der Formaldehydabsorption unter einsatznahen Bedingungen

Die Prüfung der Absorptionseigenschaften der von der Fa. Erwotex hergestellten Wollmatten erfolgte unter ähnlichen Bedingungen, wie sie in Wohnräumen vorgefunden werden. In einem für Versuchszwecke entwickelten Gebäude (Öko-Haus) stand ein Zimmer für die Formaldehydmessungen zur Verfügung. Die Technik für Messungen und Datenregistrierung wurde von der Fa. Wünschmann entwickelt und zur Verfügung gestellt. Abbildung 2 zeigt den prinzipiellen Messaufbau.



Abb. 2: Messanordnung zur Formaldehydmessung im Öko-Haus

Es wurden jeweils 4 Matten an der Wand mittels Stäben und Haken befestigt. Damit wurde ca. 8 m² der Wandfläche mit Wollabsorber belegt. Zur Messung wurden Raumtemperatur, Luftfeuchte und Formaldehydkonzentration gemessen und registriert. Die einzelnen Messkurven sind im Anhang in den Diagrammen A24 – A26 dargestellt. Zur Messung wurde

mittels eines Sprühgerätes Formaldehyd freigesetzt und die Konzentration dieses Luftschadstoffes im Raum verfolgt. Zum Vergleich wurde die Konzentration ohne und mit jeweils 4 Absorbermatten der beiden Varianten dick und dünn vermessen. Die Ergebnisse sind in Diagramm 8 zusammengefasst.

In den Messungen wurde die Formaldehydkonzentration über 8 Stunden verfolgt. Da es nicht möglich war, die Ausgangskonzentration bei allen Versuchen genau gleich einzustellen, wurde der Ausgangswert zu 100 % gesetzt. Es zeigt sich eine deutlich schnellere Abnahme des Schadstoffs bei Anwesenheit der Matten. Trotz der unterschiedlichen Konstruktion der Absorber (Matte dick: Flächenmasse 2260 g/m², Matte dünn: Flächenmasse 1760 g/m²), bestand kein signifikanter Unterschied in der Wirkung zwischen den beiden Varianten. Anhand des Kurvenverlaufs kann man erkennen, dass der Unterschied in der Konzentrationsabnahme vor allem bei hohen Formaldehydgehalten gegeben ist.

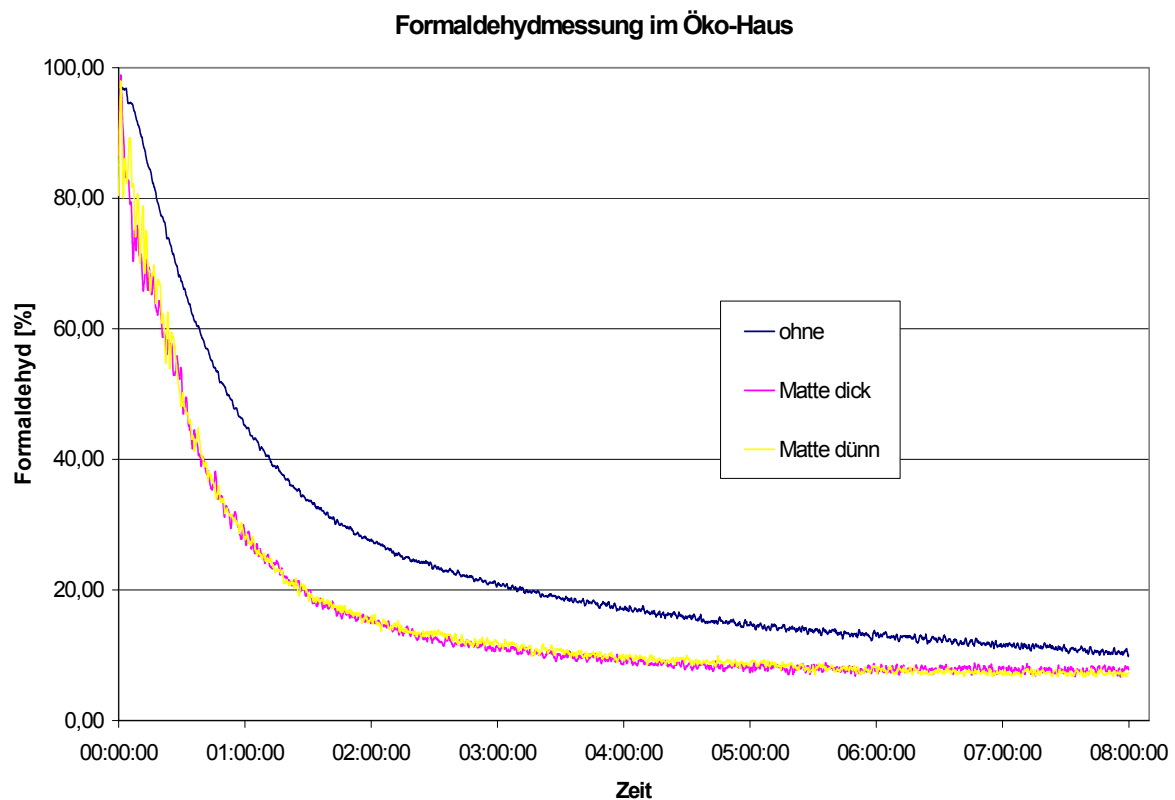


Diagramm 8: Formaldehydmessung an Wollabsorbern im Öko-Haus

Bei einem Volumen des zur Messung verwendeten Raumes von ca. 41 m³ und einer Absorberfläche von ca. 8 m² ergibt sich ein Beladungsfaktor von 0,2 m²/m³. Unter diesen Bedingungen verringerte sich die Halbwertszeit von 51:30 min auf 29:10 min (Matte dick) bzw. 30:00 (Matte dünn), d.h. die Zeit zur Abnahme der Formaldehydkonzentration auf die Hälfte hat sich nahezu halbiert. Die Messungen zeigen, dass die Absorptionswirkung in erster

Linie von der Oberfläche der Matten abhängt und weniger von Dicke bzw. Flächenmasse. Eine höhere Flächenmasse bedeutet jedoch mehr zur Verfügung stehendes Material. Damit ist eine längere Wirksamkeit zu erwarten. Generelle Vorgaben zur Größe der anzuwendenden Absorberfläche können nicht getroffen werden. Diese richten sich nach den konkreten Verhältnissen vor Ort (Schadstoffbelastung der Luft, bedingt durch Formaldehydabgabe) und sicher nicht zuletzt auch nach der für den Absorber zur Verfügung stehenden Wandfläche. Die Wirksamkeit der verwendeten Absorberfläche sollte durch Messung der Schadstoffkonzentration geprüft werden.

4.6 Messung der Formaldehydabsorption bei niedrigen Konzentrationen

Aufgrund der vorhandenen Messtechnik konnte die Formaldehydkonzentration bei den Messungen mittels Infrarot-Gasanalytators nur im Bereich von 0 bis 20 ppm mit einer Genauigkeit von $\pm 5\%$ (1 ppm) vermessen werden. Dieser Bereich ist für grundlegende Untersuchungen zum Vergleich der verwendeten Materialien gut geeignet. Für Messungen im Bereich der in der Raumluft tatsächlich auftretenden Konzentrationen (< 1 ppm) war diese Messmethodik jedoch nicht empfindlich genug und es musste ein zusätzliches Messverfahren mit entsprechend empfindlicher Technik angewendet werden. Da der Konzentrationsbereich von 0,01 bis 0,5 ppm (Empfehlung für Wohnräume: Formaldehyd $< 0,1$ ppm) für das Wohlbefinden in einem Innenraum von entscheidender Bedeutung ist, wurde das Entwicklungs- und Prüflabor Holztechnik Dresden GmbH (eph) mit einer Messung beauftragt. Ziel war die Bestimmung der Wirkung eines Wollabsorbers auf die Formaldehydkonzentration bei konstanter Beladung des Prüfgases.

Versuchsmaterial: Wollmatte, dick der Fa. Erwotex; Abmessungen: ca. 1000 x 500 mm mit einer wirksamen Oberfläche von ca. 1 m²

Die Bestimmung der Formaldehydkonzentration erfolgte in Anlehnung an die Prüfkammermethode lt. DIN ENV 717-1.

Prüfbedingungen:

Temperatur: 23 °C \pm 0,5K rel. Luftfeuchte: 45 \pm 3 %

Luftwechselzahl: 1 \pm 0,05 h⁻¹ Beladungsfaktor: 1 m²/m³

Prüfkammervolumen: 1 m³

Als Analysengerät wurde das AL 4021 eingesetzt, das auf der Basis des Acetylaceton-Verfahrens mit Fluoreszenzdetektion arbeitet. Die Formaldehydkonzentration wurde über 16 Stunden alle 30 Sekunden gemessen. Anschließend wurde die Wollmatte in die Prüfkammer

gehängt und für weitere 52 Stunden die Formaldehydkonzentration ermittelt. Die Ergebnisse sind im Diagramm 9 dargestellt.

Die Messwerte zeigen, dass man durch das Einbringen der Wollmatte eine Abnahme der Formaldehydkonzentration um ca. 41 % erreicht werden kann, die sich über den Beobachtungszeitraum von 52 Stunden nicht verminderte. Der Mittelwert der Formaldehydkonzentration sank von 0,29 ppm auf 0,17 ppm.

Bei der Interpretation dieser Ergebnisse sind folgende Gegebenheiten der Messung zu beachten:

- 1 m² Absorberfläche pro m³ Raumluft bedeutet, dass die Matten zur Ausnutzung beider Seiten in den Raum gehängt werden müssten. Bei Wandanbringung wie im Ökohaus ist ggf. nur eine Seite wirksam und die Fläche halbiert sich.
- Eine Luftwechselzahl von 1, (d.h. 1 kompletter Luftwechsel pro Stunde) ist in Wohnräumen bei geschlossenen Fenstern und Türen nicht zu erwarten.
- Andererseits bedeutet dieser relativ hohe Luftwechsel eine ständige Nachlieferung von mit Schadstoff belasteter Luft, d.h. eine konstante Belastung der Probe mit 0,375 mg reinem Formaldehyd pro Stunde. Dieser Wert sollte in der Praxis durch die Formaldehydabgabe von Mobiliar nicht erreicht werden.

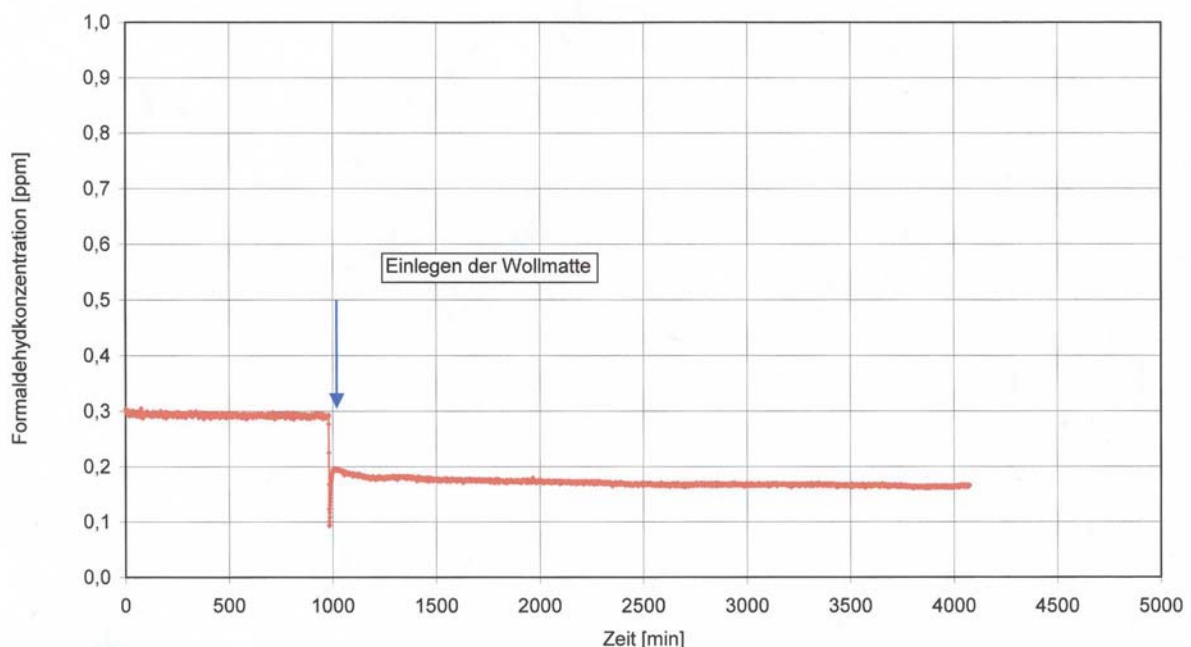


Diagramm 9: Formaldehydabsorption Prüfkammer

Die Messung bestätigt das Absorptionsvermögen der Wollmatte. Weiterführende Messungen zur Klärung des Langzeitverhaltens bzw. zur Regenerierbarkeit des Absorbers waren

innerhalb des vorliegenden Forschungsprojektes nicht möglich, können jedoch bei Bedarf in einem Folgeprojekt durchgeführt werden.

4.7 Zusammenfassung

Die Untersuchungen zeigen, dass die von der Fa. Erwotex zur Verfügung gestellte Wolle als Absorber für reaktive Luftschadstoffe wie Formaldehyd und Schwefeldioxid geeignet ist.

Die untersuchten Behandlungsverfahren (Wäsche, Chemischreinigung, Färbung) beeinflussen das Absorptionsvermögen nur geringfügig. Es konnte gezeigt werden, dass Kardenband als Struktur mit sehr günstigem Masse/Volumen-Verhältnis und damit einer sehr offenen Struktur für die Konstruktion von Absorbieren besonders gut geeignet ist. Zur Verarbeitung der in dieser Form vorliegenden Wolle wurde sie mittels Kemafil-Technik zu einem Strang geformt und auf einer extrem groben Rechts/Rechts-Kettenwirkmaschine zum Flächengebilde (Absorbermatte) verarbeitet. Sowohl die Ergebnisse unter Laborbedingungen (Prüfkammer) als auch durch die Untersuchungen im Öko-Haus bewiesen, dass diese Konstruktion zur Absorption von Formaldehyd geeignet ist. Die Bestimmung der pro Kubikmeter erforderlichen Absorberfläche ist so ohne weiteres nicht möglich, da diese von den konkreten Bedingungen (Formaldehydabgabe in den Raum, Luftaustausch, Luftfeuchte usw.) abhängig ist. Die Absorption nicht- bzw. weniger reaktiver Schadstoffe (Lösemittel) ist möglich, jedoch weniger effektiv.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei hoher Schadstoffbeladung des Absorbers unter ungünstigen Bedingungen (hohe Temperatur, hohe Luftfeuchtigkeit) eine Abgabe der aufgenommenen Chemikalien erfolgen kann.

Die Untersuchung des Langzeitverhaltens und der Regenerierbarkeit des Absorbers waren innerhalb des vorliegenden Forschungsprojektes nicht vorgesehen. Da diese Daten für die Bewertung der Einsatzmöglichkeiten der Produkte als Schadstofffänger wichtig sind, sollten sie in einem Folgeprojekt ermittelt werden.

5 Anwendung und wirtschaftliche Bedeutung

Die Verarbeitung von Wolle zu groben Gewirken erleichtert die Einbringung dieser textilen Absorber in den Innenraum und ermöglicht eine dekorative Gestaltung. Außerdem können mit dem Flächengebilde weitere Funktionen erreicht werden. So können z.B. durch den Einbau lastaufnehmender Fäden Befestigungselemente entstehen.

Die Wirksamkeit von Wolle wurde in verschiedenen anderen Aufmachungsformen (Vliesstoffe) bereits nachgewiesen. Da die Oberflächenstruktur und Porosität der entwickelten Produkte sehr gut den Anforderungen zur Verbesserung des Absorptionsvermögens angepasst werden kann, ist eine Steigerung der Sorptionseigenschaften und damit die Verwendbarkeit der Erzeugnisse zur Verbesserung der Innenraumluft gegeben.

Die Entwicklung und Produktion von Schadstoffabsorbentien ist ein Weg zur Sicherung der Existenz der mit der Herstellung von Wollmatten beschäftigten Unternehmen und unterstützt weiterhin die Schafwollproduzenten der Region. Derartige Erzeugnisse erweitern die Produktpalette, sichern den Produktionsstandort und damit Arbeitsplätze in den vorwiegend mittelständigen Unternehmen und erhöhen deren Wettbewerbsfähigkeit.

Durch die Erweiterung der Fachkompetenz des Institutes auf dem Gebiet der Messung von Absorptionseigenschaften bzw. Schadstoffen werden weitere Kunden für Prüfaufträge gewonnen. Die angewendeten Prüfverfahren stehen weiteren Interessenten zur Verfügung.

Der Transfer der Forschungsergebnisse erfolgte während der Projektbearbeitung durch die enge Zusammenarbeit mit den Kooperationspartnern. Darüber hinaus ist die Publikation allgemein gültiger Ergebnisse durch Veröffentlichungen (Vorträge, Publikationen, Poster) geplant. Der betriebliche Geheimnisschutz der Projektpartner wird durch bilaterale sowie patentrechtliche Maßnahmen gewahrt.

6 Literatur

- [1] Bundesgesundheitsblatt 09/92, S.482; Springer-Verlag, Berlin
- [2] Reddie, R. N.; Nicholls, C. H.
„Absorption of formaldehyde by wool“
Textile Research Journal, Band 41 (1971) 4, S. 303-311
- [3] Causer, S. M.; McMillan
„Control of indoor air pollution with wool carpeting“
Australasian Textiles, Band 14 (1994) 3, S. 48
- [4] Internetpräsentation der Fa. Fritz Doppelmayer,
Am Petzenbühl 3, 87439 Kempten
<http://www.doschawolle.de/schadstoffabbau/index.html>
- [5] Internetpräsentation der Fa. Raab Karcher GmbH,
Hanauer Landstraße 150, 60314 Frankfurt M.
<http://www.raabkarcher.de>
- [6] Internetpräsentation der Fa. Amnos Europe B.V. i.o.
Bovenburen 149, NL-9675HC Winschoten
<http://www.amnos.de>
- [7] Internetpräsentation der Fa. Trilumina GmbH,
Schwaigerner Straße 23, 74193 Schwaigern - Massenbach
<http://www.trilumina.de>
- [8] Wortmann, G.; Zwiener, G.; Sweredjuk, R.; Doppelmayer, F.; Wortmann, F.-J.
„Aufnahme und Bindung von Innenraum-Schadstoffen durch Wolle am Beispiel von Formaldehyd“
DWI Reports, Band 122 (1999), S. 590-595
- [9] Wortmann, G.; Sweredjuk, R.; Zwiener, G.; Doppelmayer, F.; Wortmann, F.-J.
„Chemisorption proteinreaktiver Luftschadstoffe durch Wolle“
DWI Reports, Band 124 (2001), S. 378-385
- [10] Pfüller, T.
„Untersuchungen zur Chemikalienbeständigkeit textiler Materialien gegenüber aggressiven Gasen“
Schlussbericht des Sächsischen Textilforschungsinstitutes e. V. zum BMWi-Vorhaben Nr. 311/95, 1996
- [11] Pfüller, T.
„Untersuchung zum Emissionsverhalten textiler Materialien für die Automobilindustrie mit dem Ziel der Emissionsminimierung“
Schlussbericht des Sächsischen Textilforschungsinstitutes e. V. zum BMWi-Vorhaben Nr. 295/99, 2000
- [12] Thomas, H.; Reif, J.
„Umweltfreundliche Veredlungsverfahren für Wolle durch Vorbehandlung mit elektrischen Gasentladungen“
Schlussbericht des DWI und des STFI zum AIF-Vorhaben Nr. 9658 B, 1996

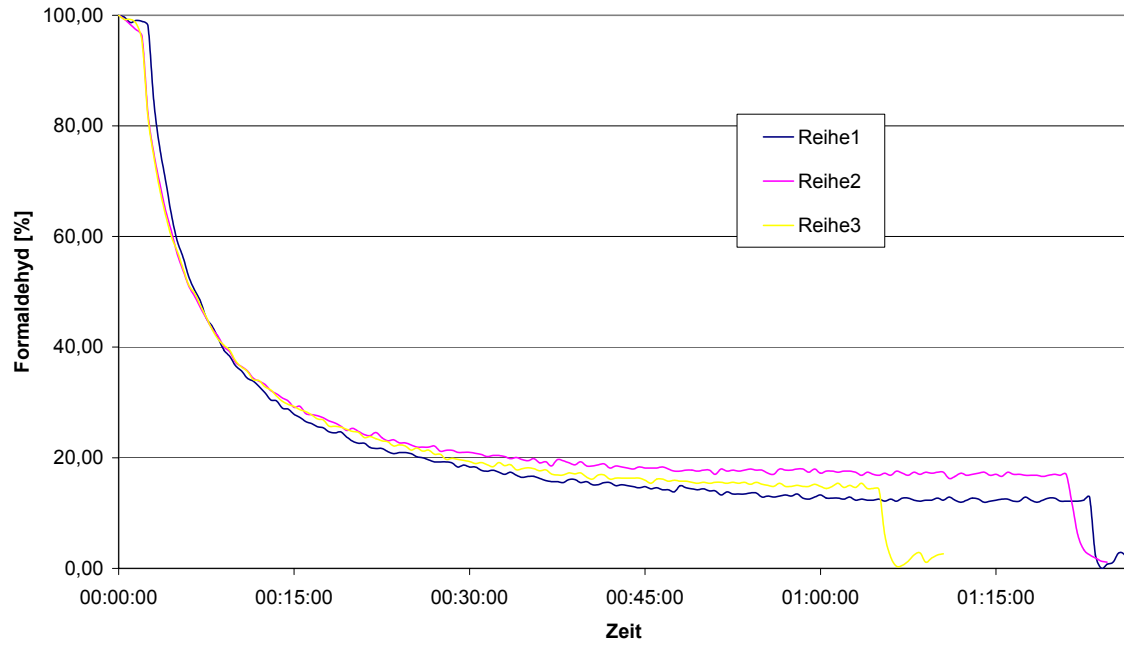
- [13] Hufnagl, E.
„Untersuchungen zur Optimierung der Eigenschaften von Dämmstricken aus nicht verspinnbarer Schafwolle“
Schlussbericht zum BMWi-Vorhaben 127/95, 1996
- [14] Hufnagl, E.
„Untersuchungen der Möglichkeiten zur Strukturverbesserung im ländlichen Raum durch Verarbeitung von Schafwolle zu neuartigen textilen Mattenkonstruktionen“
Dokumentation des Sächsischen Textilforschungsinstitutes e. V. zum Forschungsvorhaben Nr. 35002; 1998
- [15] Hufnagl, E.
Untersuchungen der Möglichkeiten zur Strukturverbesserung im ländlichen Raum durch Verarbeitung von Schafwolle zu neuartigen Sitz- und Liegeflächen
Schlussbericht des Sächsischen Textilforschungsinstitutes e. V. zum Forschungsvorhaben Nr. 35003, 1999
- [16] Höcker, H.
Vortrag zur 10. Internationalen Wollforschungskonferenz, Aachen, Nov. 2000

Anlagen

Verzeichnis der Anlagen

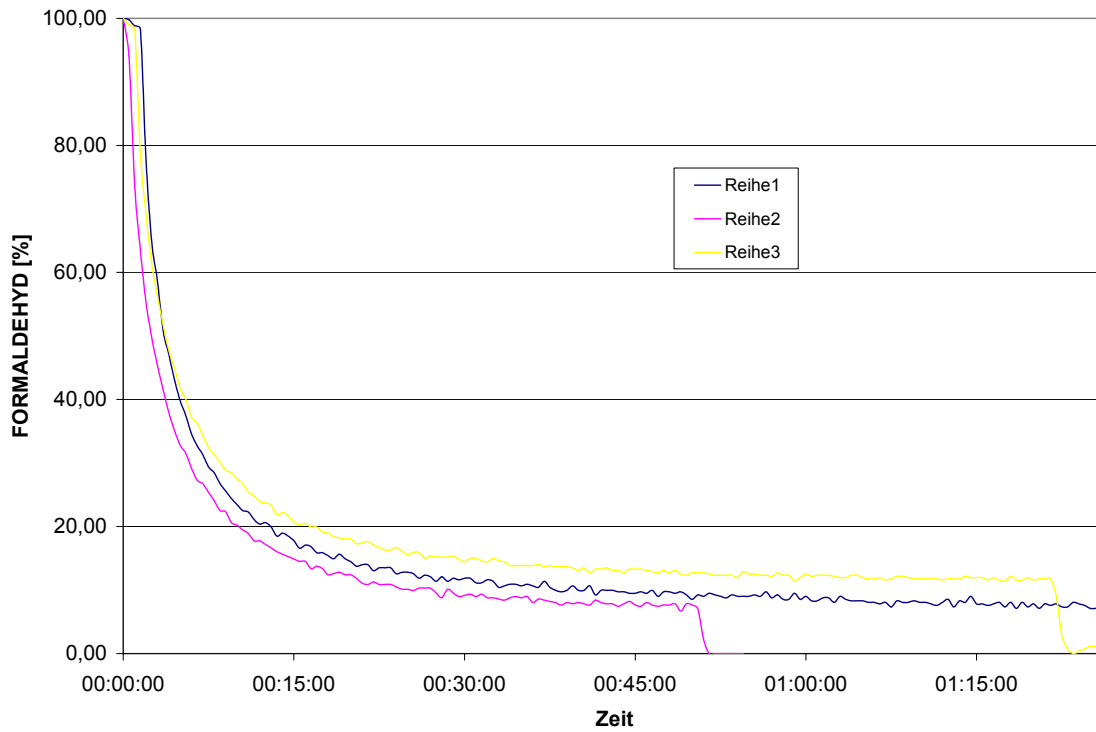
- A1 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M1) roh
- A2 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M2) naturfarbig
- A3 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M3) gewaschen
- A4 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M4) gereinigt
- A5 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M5) gefärbt
- A6 Absorption von Formaldehyd an Reißwolle (M6)
- A7 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M1) roh (Wiederholungsmessung)
- A8 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M2) naturfarbig (Wiederholungsmessung)
- A9 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M3) gewaschen (Wiederholungsmessung)
- A10 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M1) extrahiert
- A11 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M2) naturfarbig, extrahiert
- A12 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M3) gewaschen, extrahiert
- A13 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M4) gereinigt, extrahiert
- A14 Absorption von Formaldehyd an Wolle (M5) gefärbt, extrahiert
- A15 Absorption von Formaldehyd an Reißwolle (M6), extrahiert
- A16 Absorption von Toluol an Polyester
- A18 Absorption von Toluol an Wolle M2 (naturfarbig)
- A19 Absorption von Schwefeldioxid an Polyester
- A20 Absorption von Schwefeldioxid an Wolle M1 (roh)
- A21 Absorption von Schwefeldioxid an Wolle M2 (naturfarbig)
- A22 Absorption von Styrol an Wolle M1 (roh)
- A23 Absorption von Styrol an Wolle M2 (naturfarbig)
- A24 Formaldehydmessung im Öko-Haus (ohne Absorbermatte)
- A25 Formaldehydmessung im Öko-Haus (Absorbermatte 1, dick)
- A26 Formaldehydmessung im Öko-Haus (Absorbermatte 2, dünn)

Wolle M1

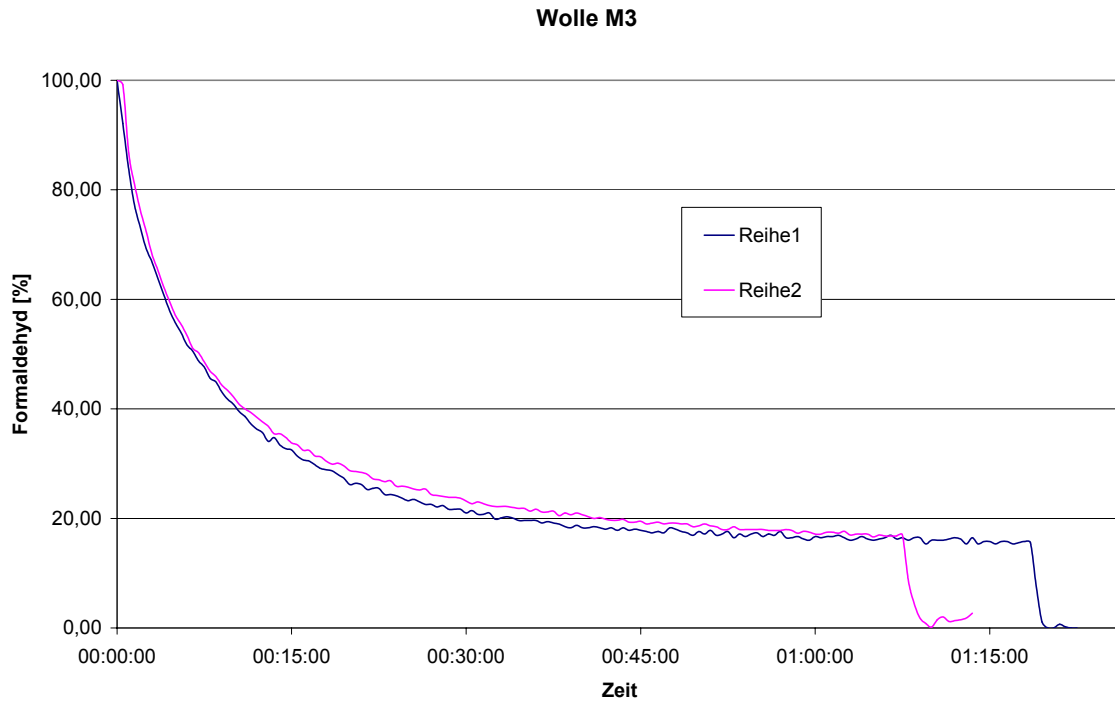


A1: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M1) roh

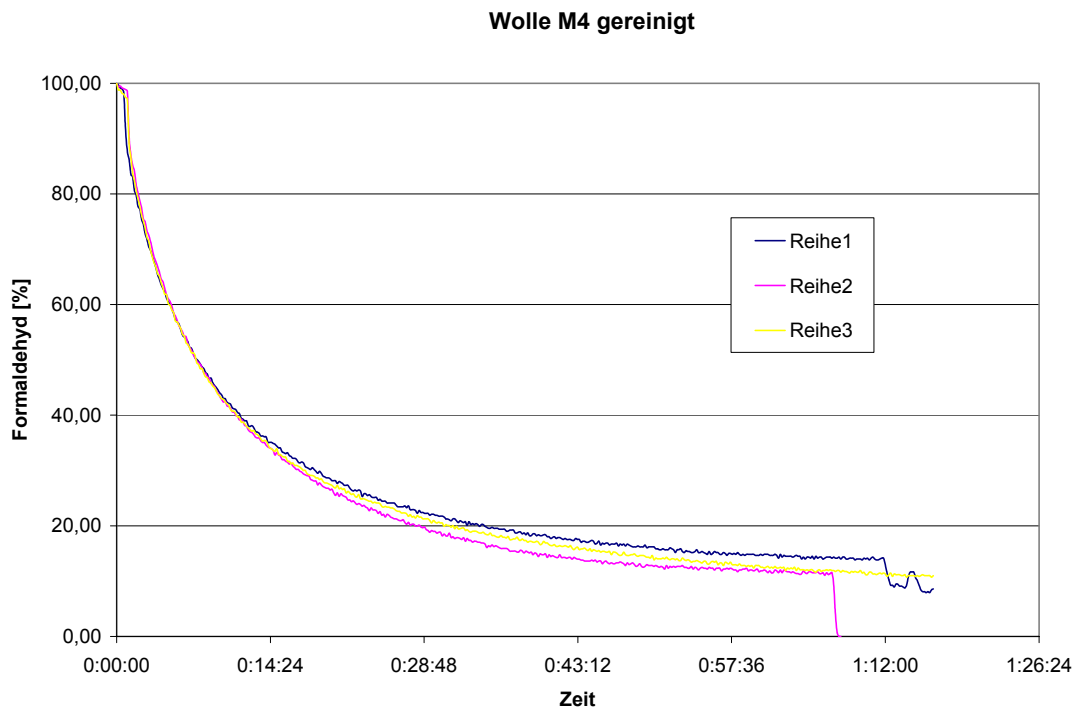
Wolle M2 roh



A2: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M2) naturfarbig

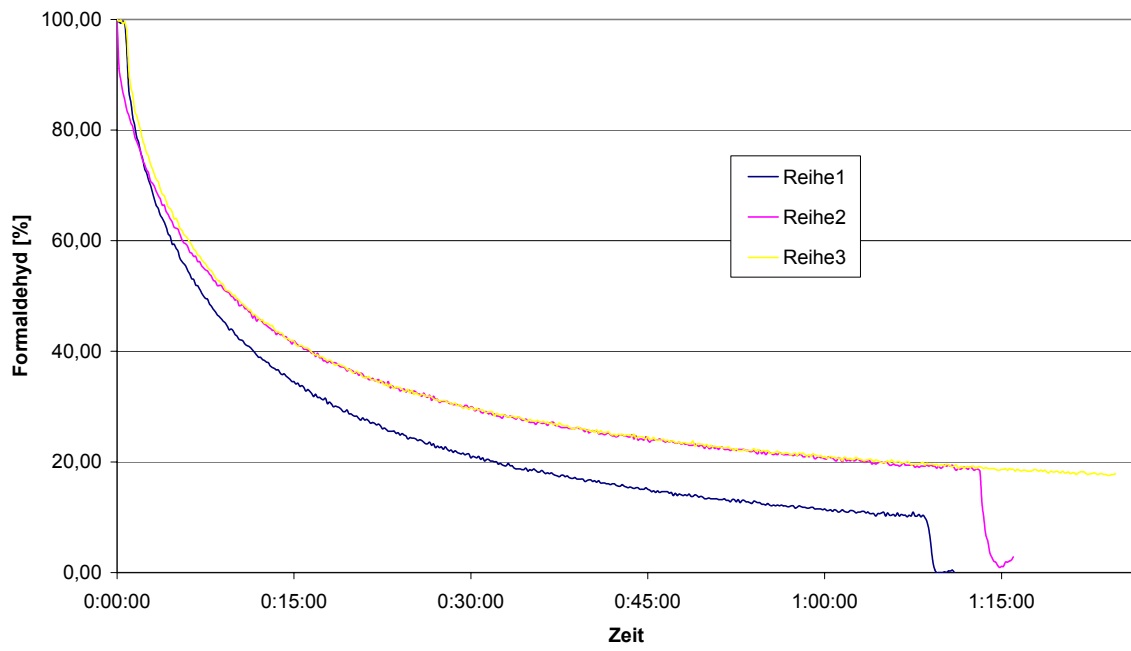


A3: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M3) gewaschen



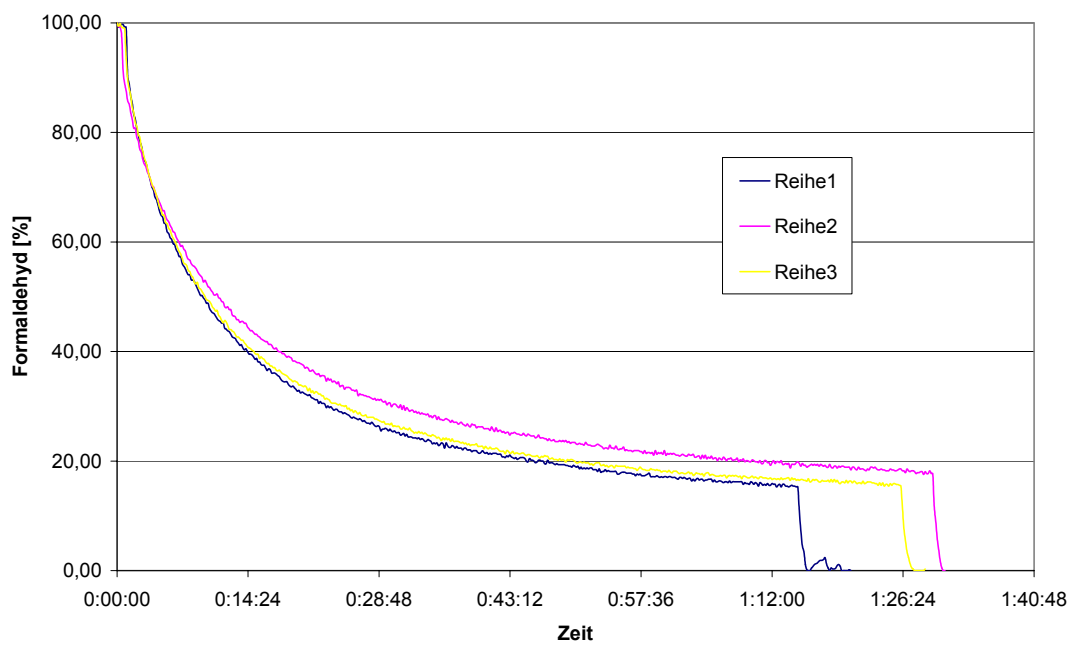
A4: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M4) gereinigt

Wolle M5 gefärbt



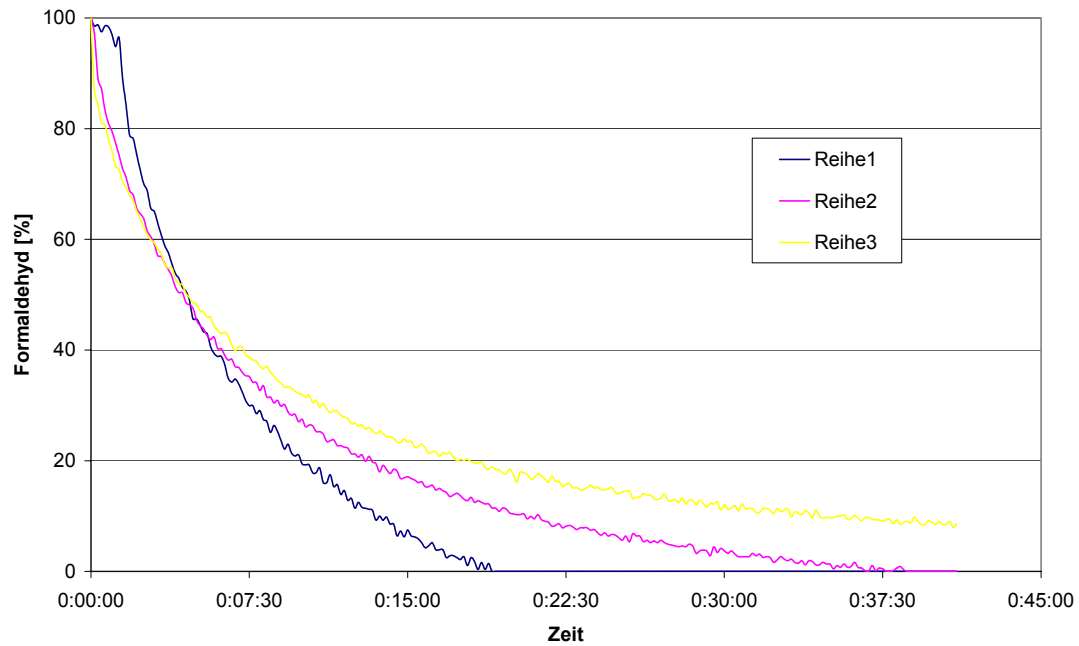
A5: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M5) gefärbt

Reißwolle M6



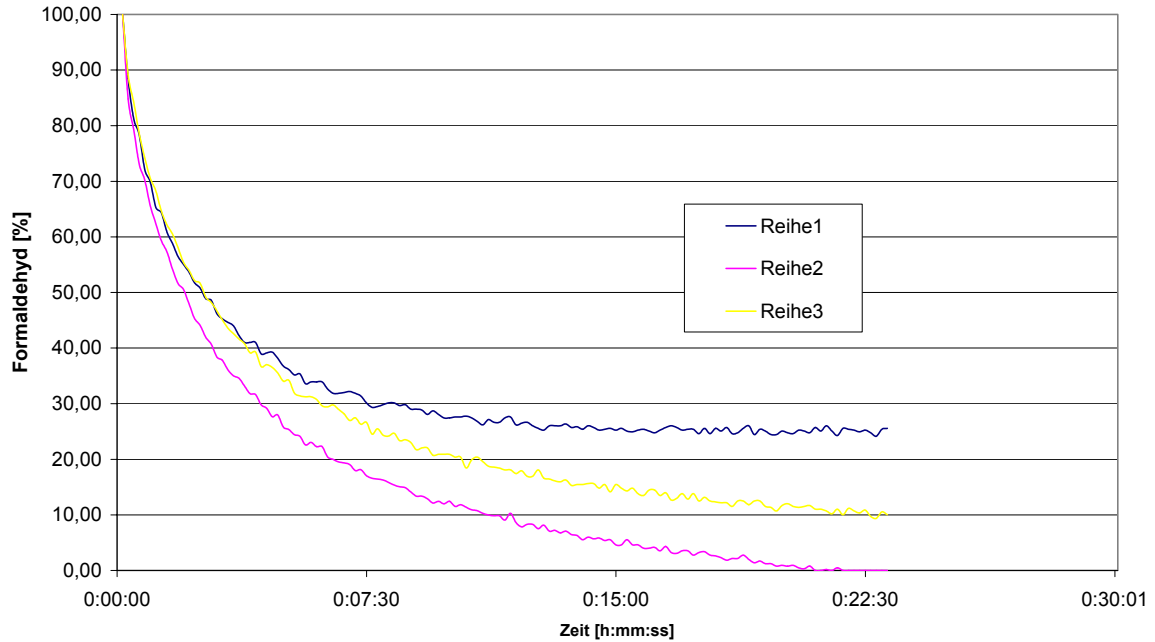
A6: Absorption von Formaldehyd an Reißwolle (M6)

Wolle M1 roh wdh.



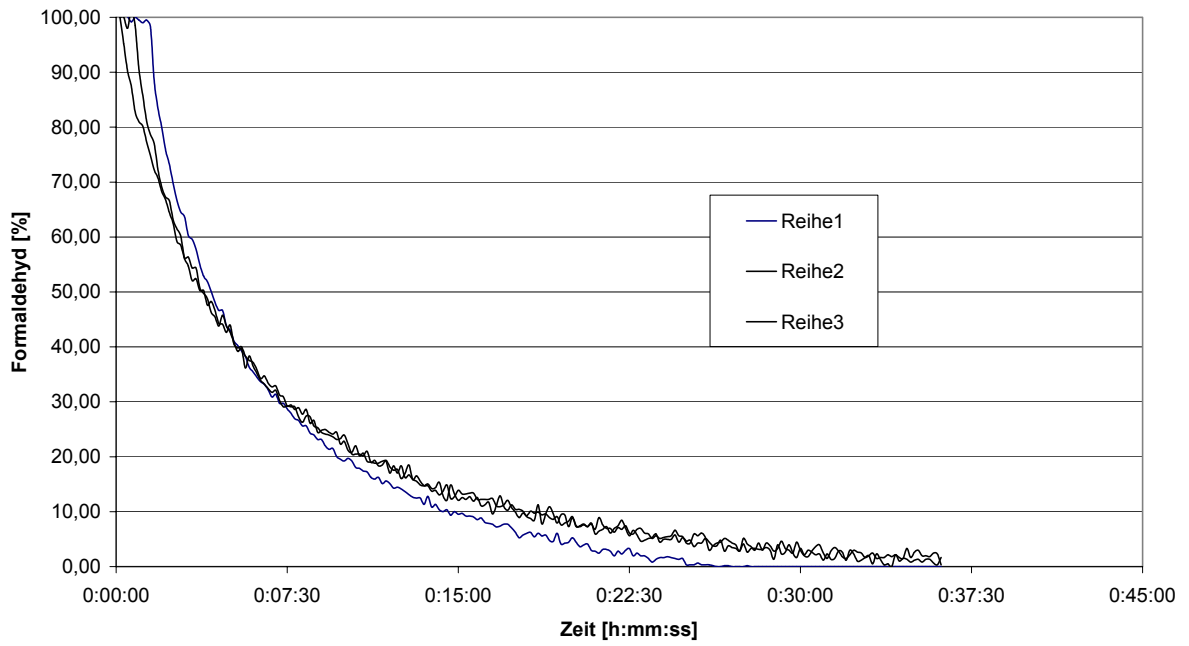
A7: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M1) roh (Wiederholungsmessung)

Wolle M2 wdh.



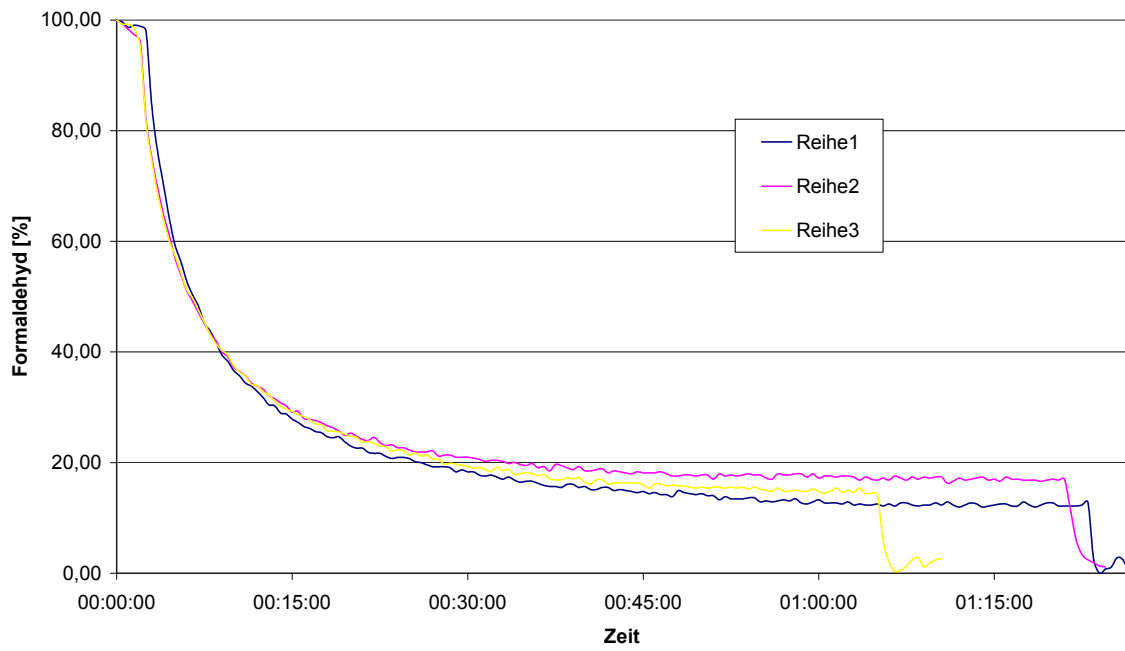
A8: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M2) naturfarbig (Wiederholungsmessung)

Wolle M3 wdh.



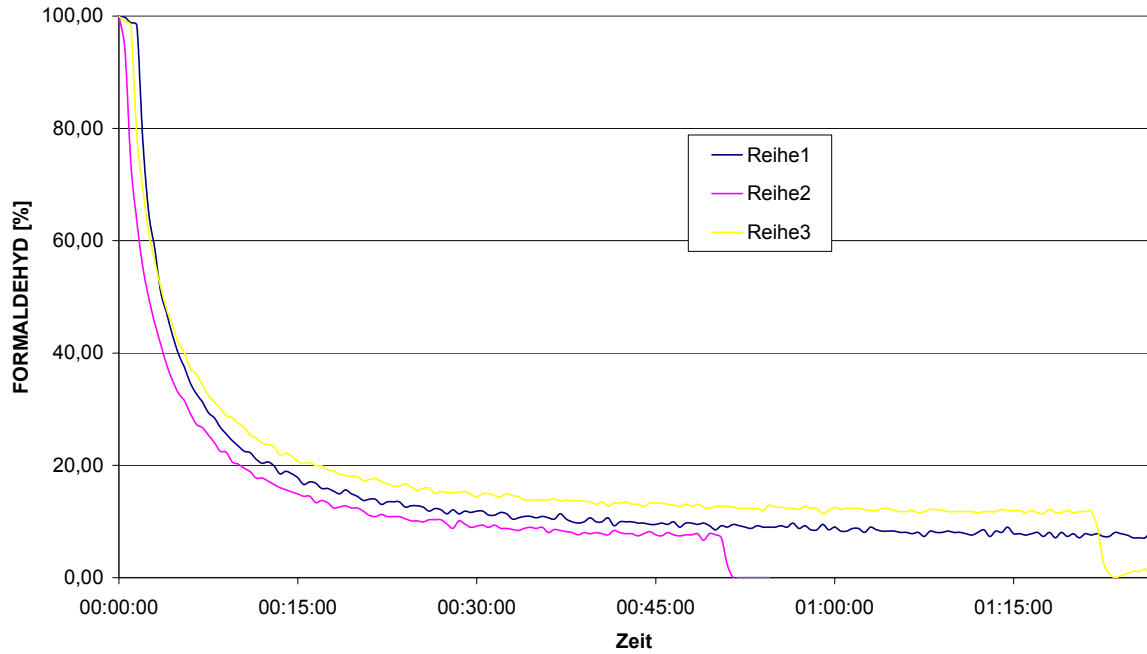
A9: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M3) gewaschen (Wiederholungsmessung)

Wolle M1 extr.



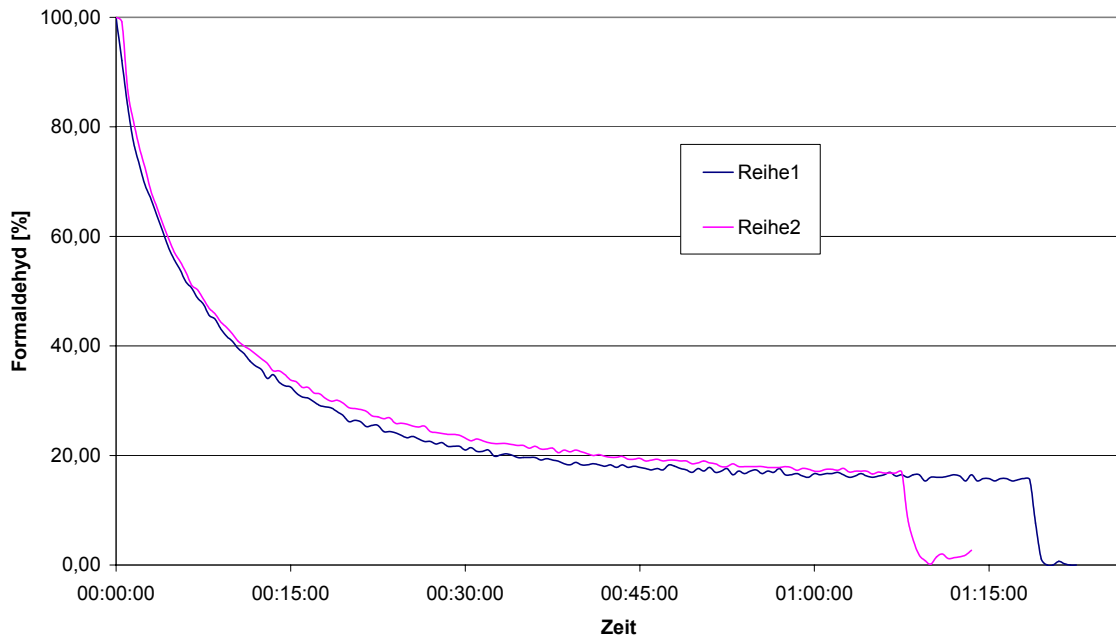
A10: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M1) extrahiert

Wolle M2 extr.



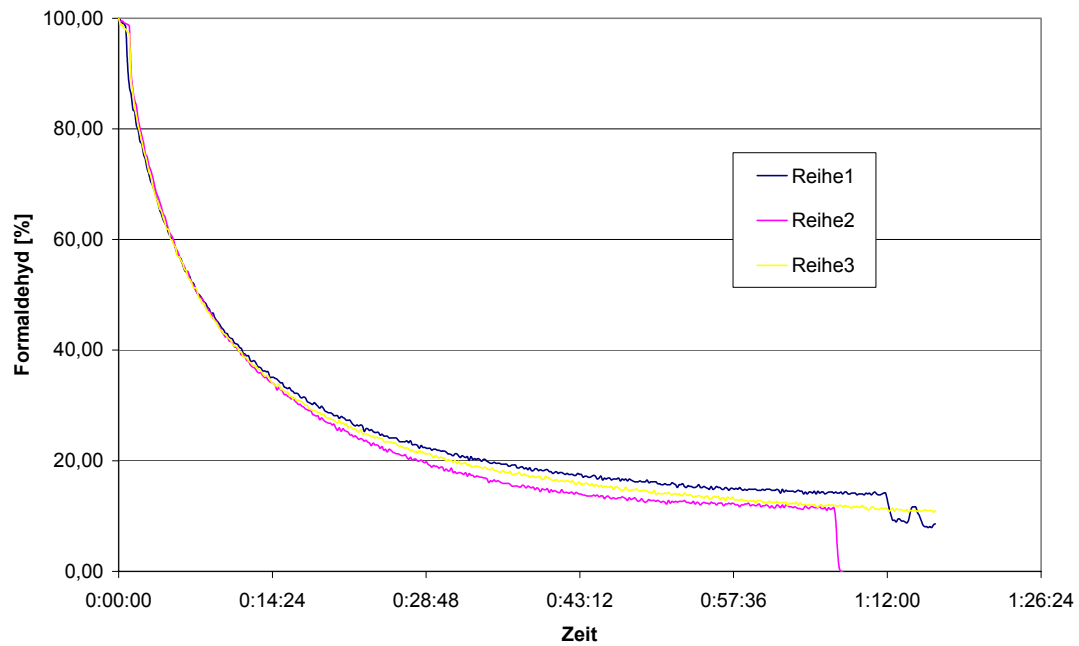
A11: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M2) naturfarbig, extrahiert

Wolle M3 extr.



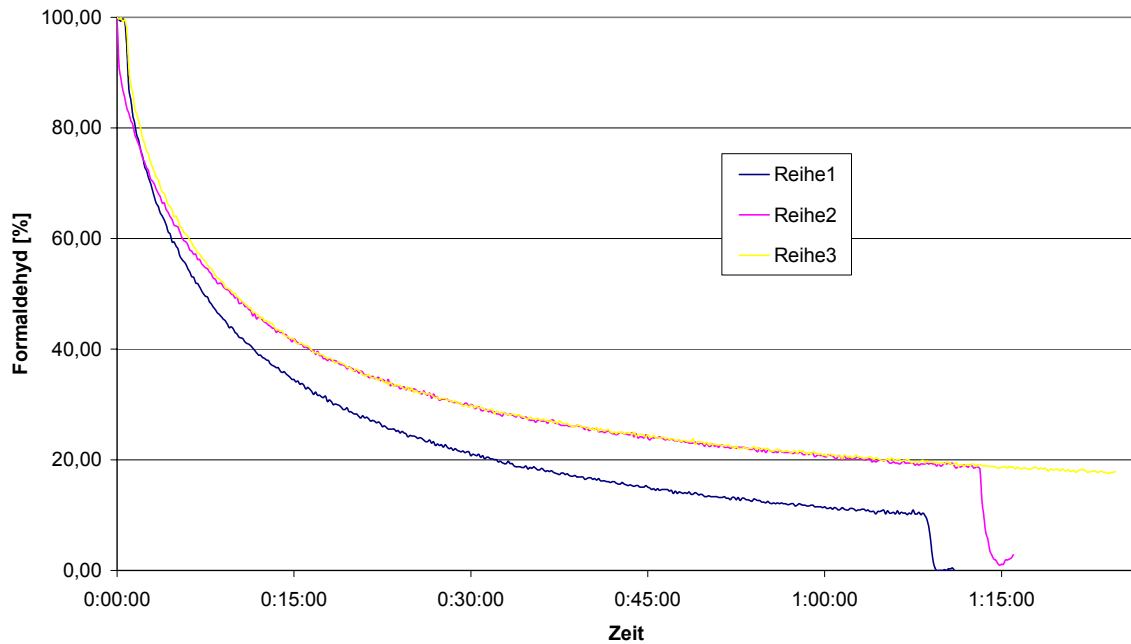
A12: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M3) gewaschen, extrahiert

Wolle M4 extr.



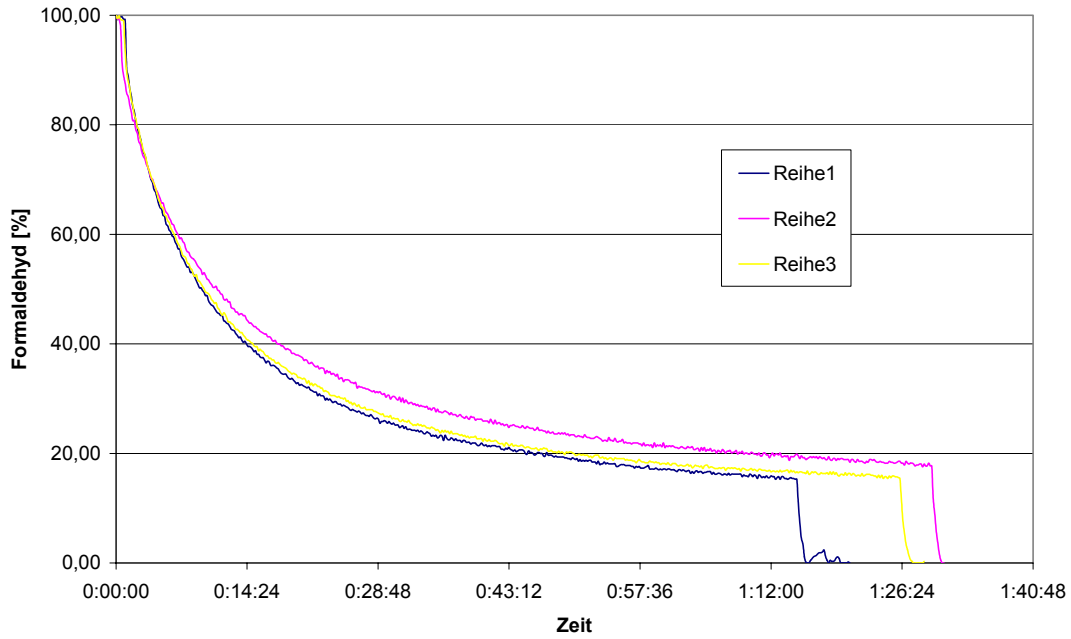
A13: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M4) gereinigt, extrahiert

Wolle M5 extr.



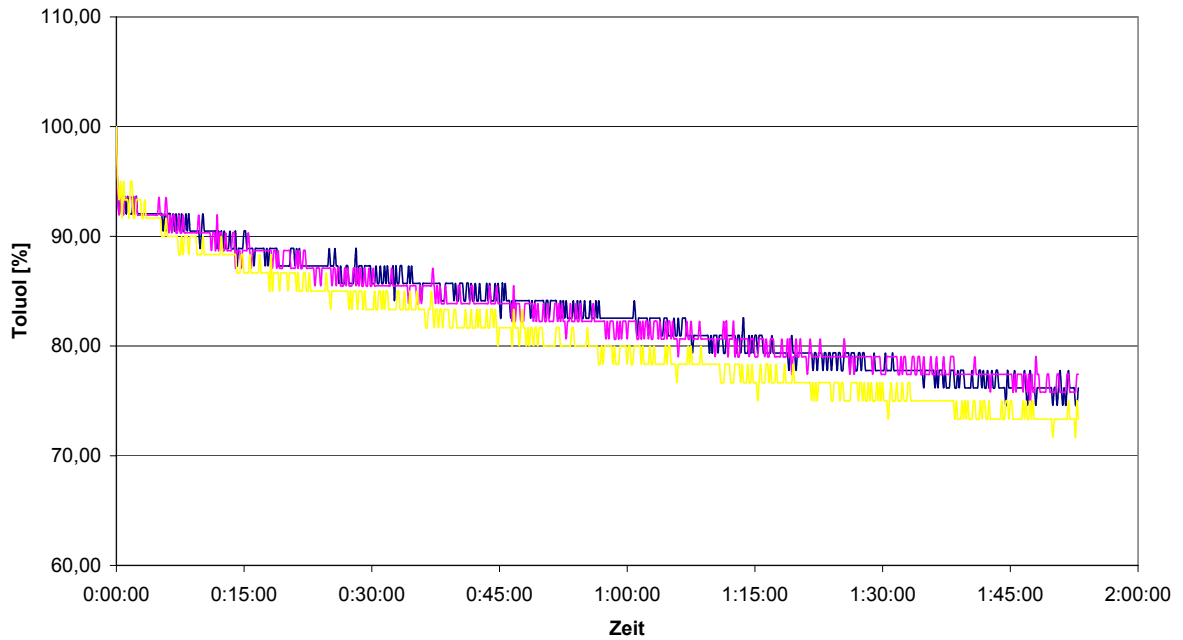
A14: Absorption von Formaldehyd an Wolle (M5) gefärbt, extrahiert

Reißwolle M6 extr.



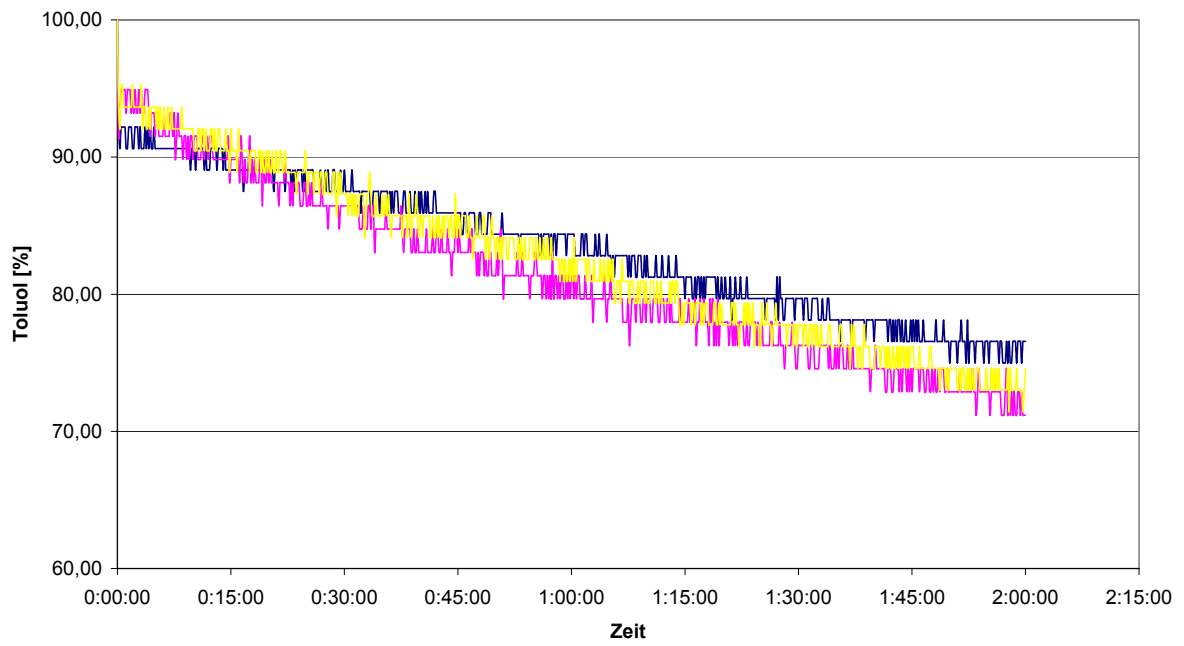
A15: Absorption von Formaldehyd an Reißwolle (M6), extrahiert

PES



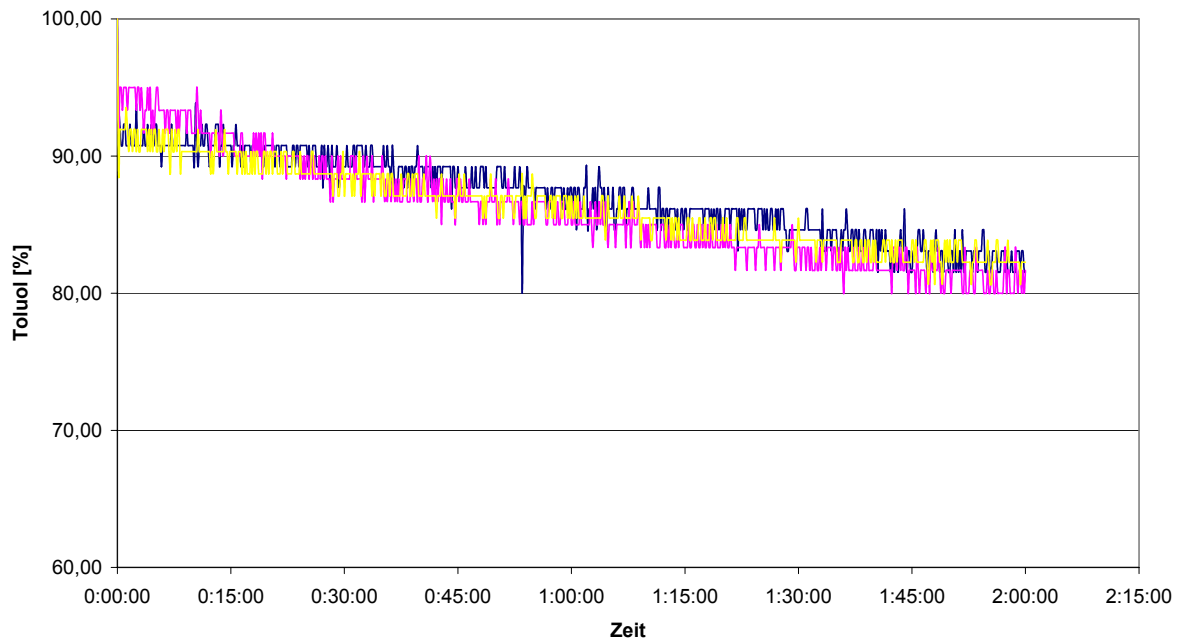
A16: Absorption von Toluol an Polyester

Muster 1 (Wolle)

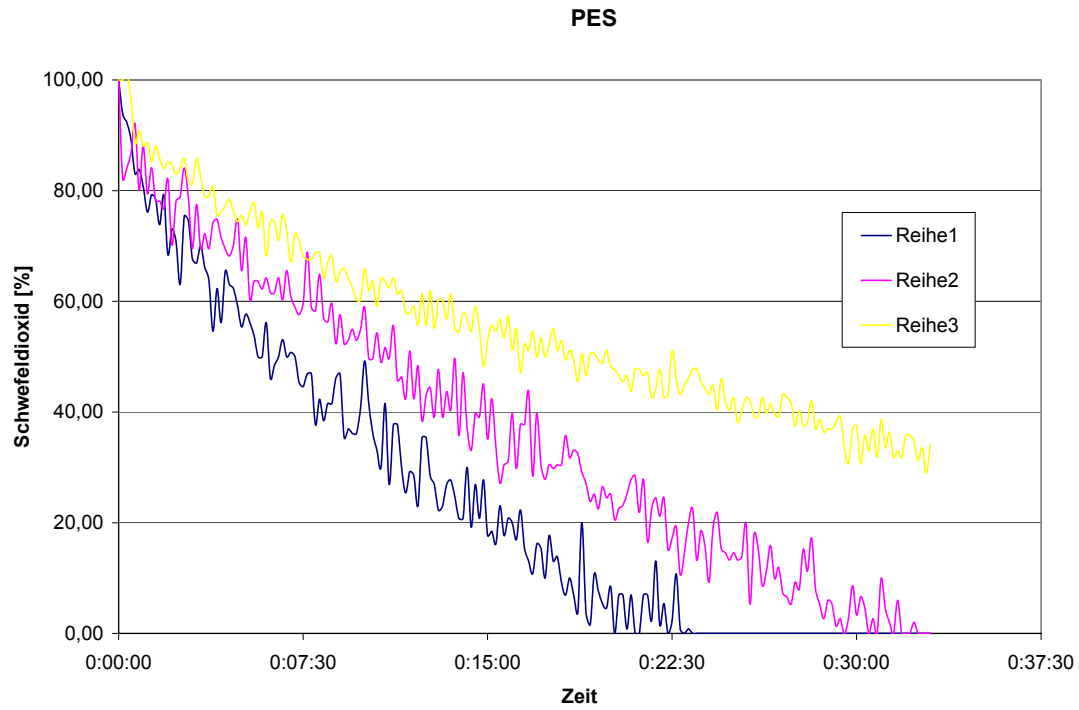


A17: Absorption von Toluol an Wolle M1 (roh)

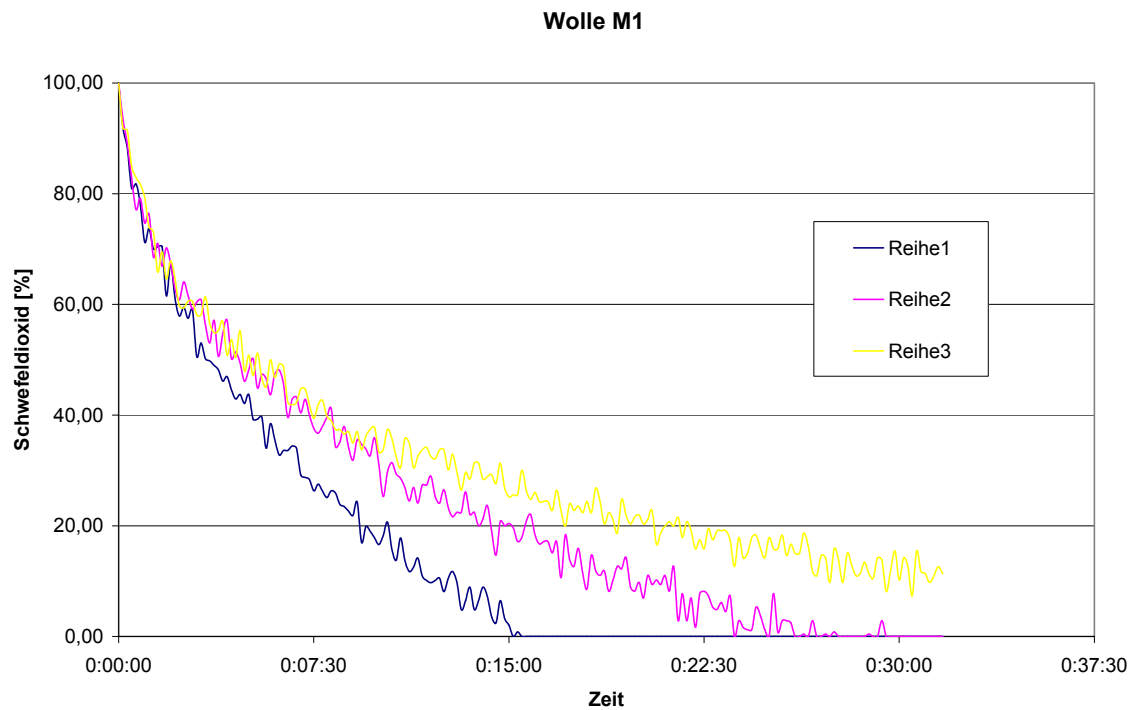
Wolle M2



A18: Absorption von Toluol an Wolle M2 (naturfarbig)

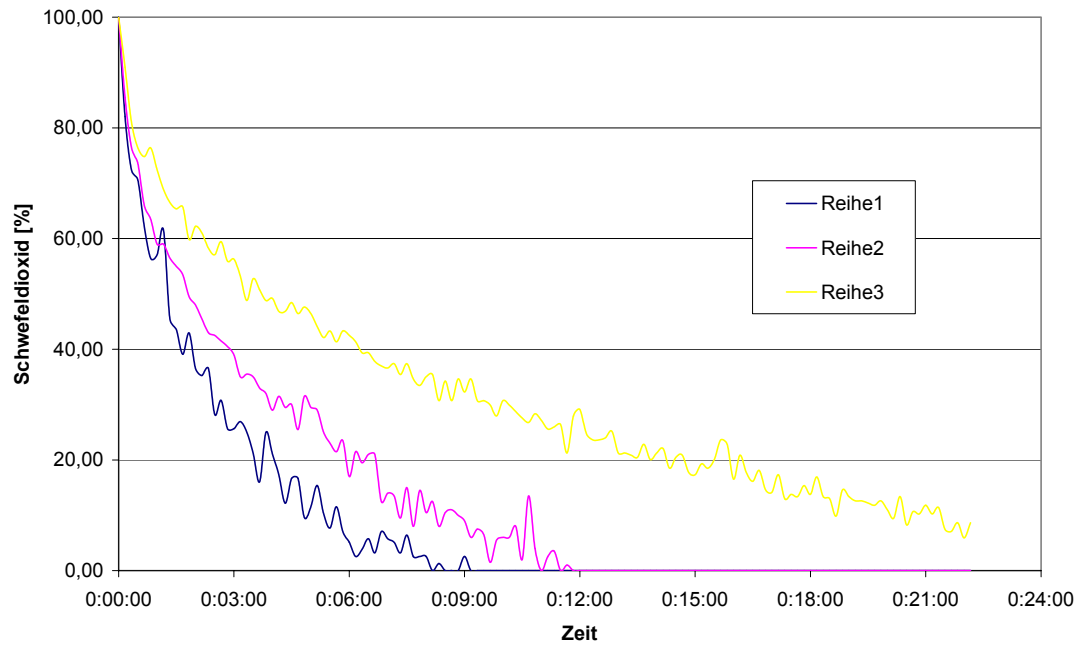


A19: Absorption von Schwefeldioxid an Polyester



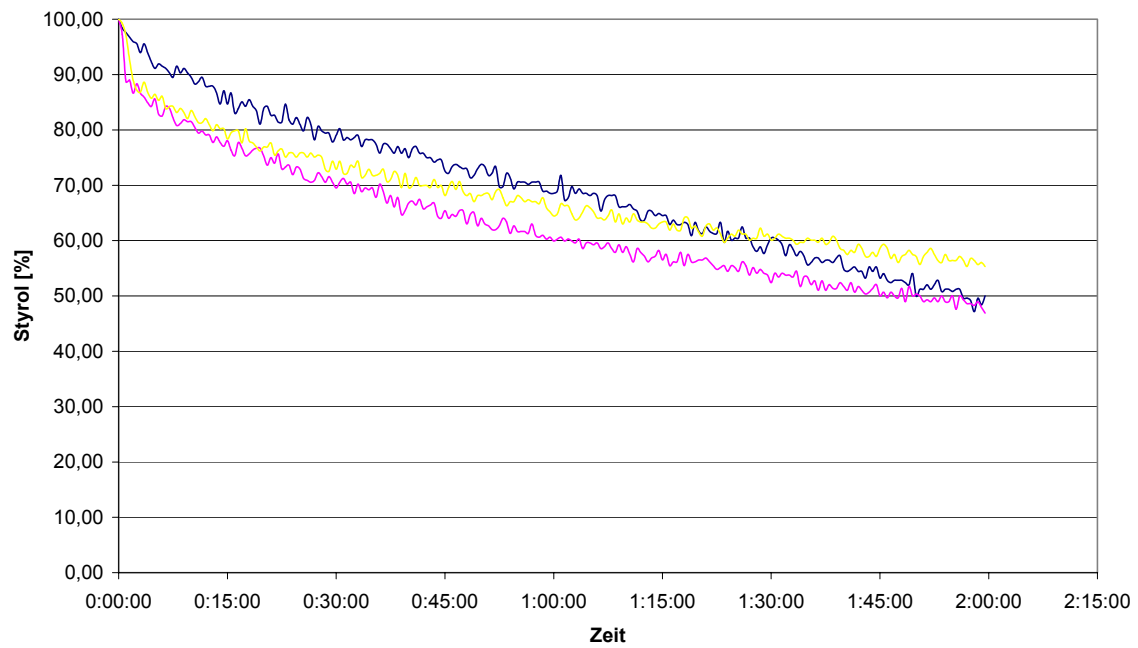
A20: Absorption von Schwefeldioxid an Wolle M1 (roh)

Wolle M2



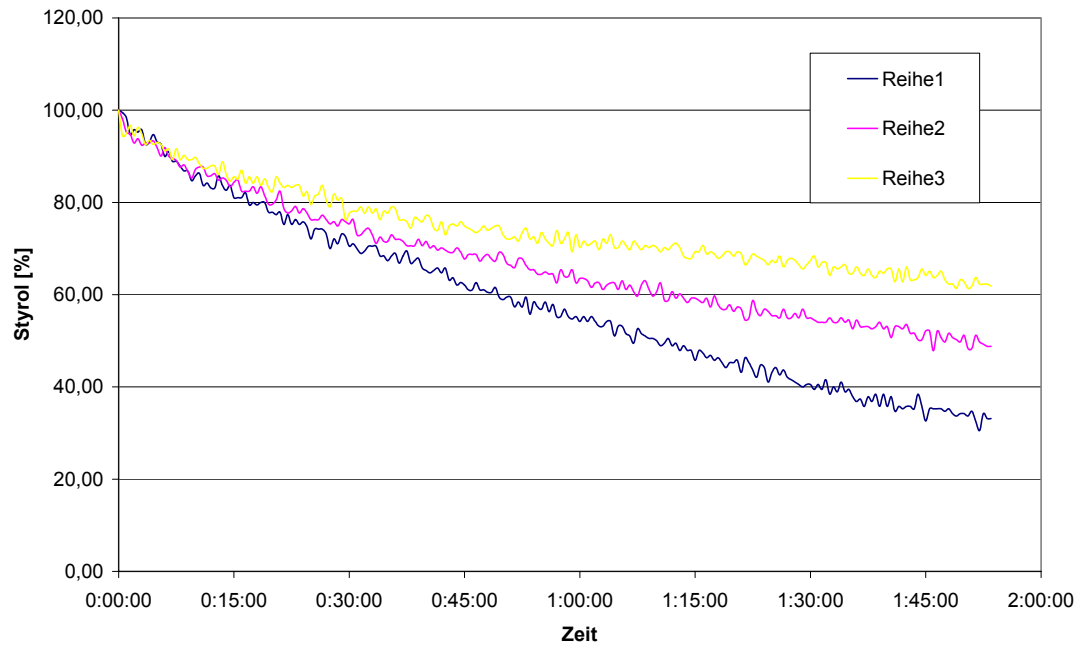
A21: Absorption von Schwefeldioxid an Wolle M2 (naturfarbig)

Wolle M1



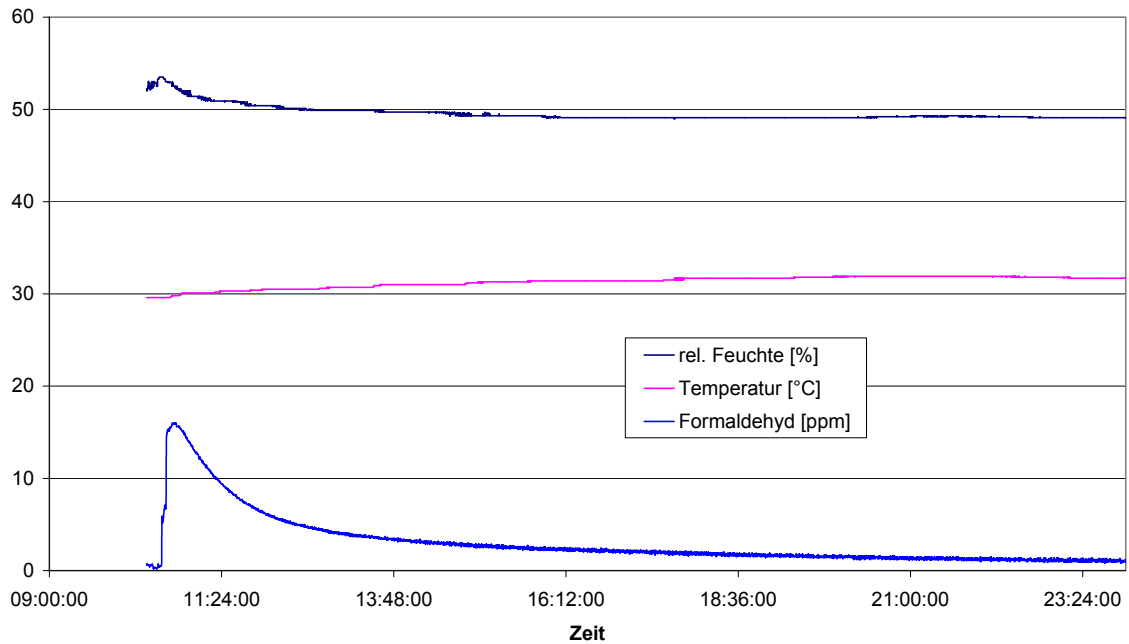
A22: Absorption von Styrol an Wolle M1 (roh)

Wolle M2



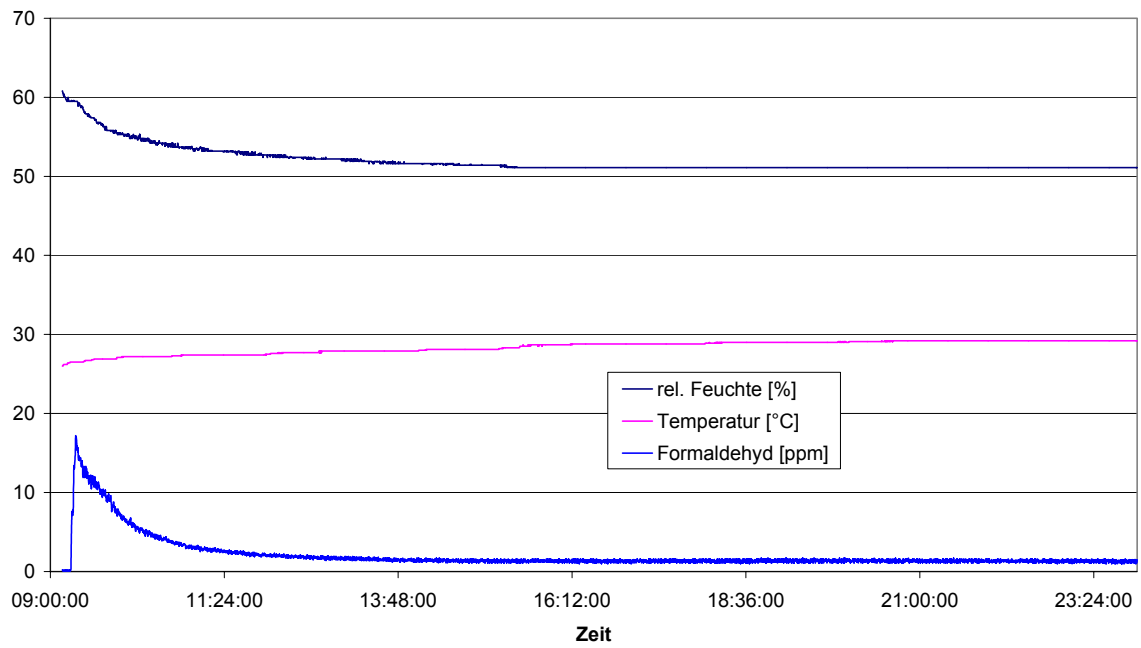
A23: Absorption von Styrol an Wolle M2 (naturfarbig)

Messung ohne Matte



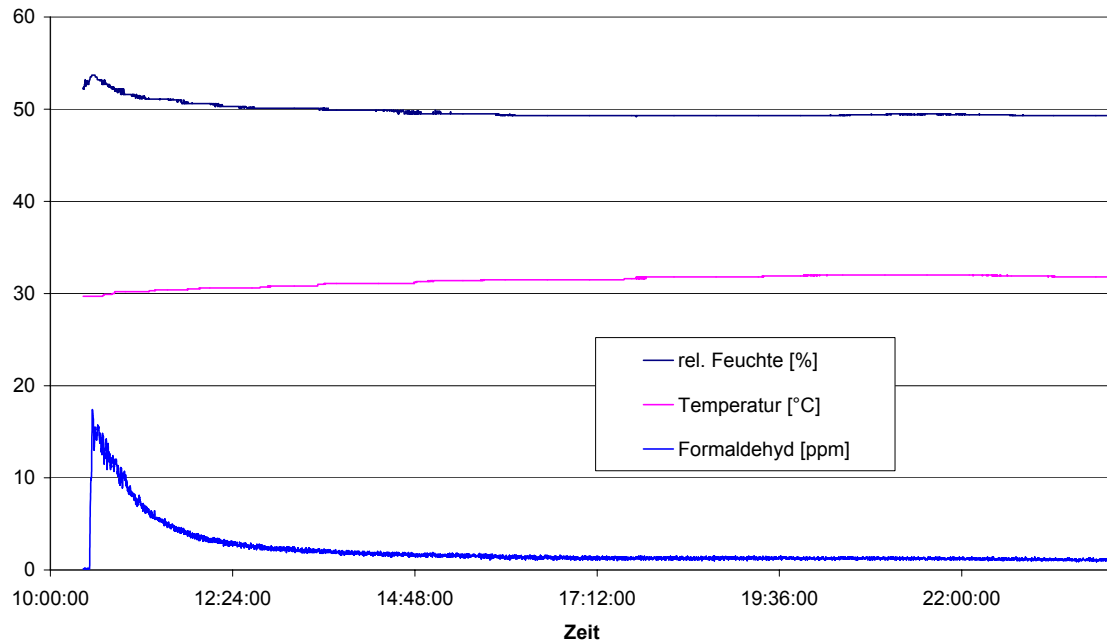
A24: Formaldehydmessung im Öko-Haus (ohne Absorbermatte)

Messung Matte 1 (dick)



A25: Formaldehydmessung im Öko-Haus (Absorbermatte 1, dick)

Messung Matte 2 (dünn)



A26: Formaldehydmessung im Öko-Haus (Absorbermatte 2, dünn)