

**Abschlussbericht**  
zum Stand des Vorhabens

*Entwicklung eines Ressourcen schonenden Verfahrens  
einer Stabilschaumbeschichtung  
auf elastischen Warenbahnen*

*StableFoamTextile*

gefördert durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück  
Az 28638



**22. Februar 2014**

Koordinator:

**Rökona Textilwerk GmbH**

Joachim Heerbaart  
Schaffhausenstr. 101  
72072 Tübingen  
[www.roekona.de](http://www.roekona.de)

Partner:

**Bergische Universität Wuppertal**

Fb D, Abt. Sicherheitstechnik  
Prof. Dr. Joachim M. Marzinkowski  
Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal  
[www.uch.uni-wuppertal.de](http://www.uch.uni-wuppertal.de)

## **Inhaltsverzeichnis**

	<b>Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>3</b>
	<b>KURZFASSUNG</b>	<b>4</b>
	<b>VORSTELLUNG DER PROJEKTPARTNER</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>ZIELSETZUNG</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>ZUM STAND DER TECHNIK DER SCHAUMAPPRETUR UND SCHAUM- BESCHICHTUNG</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>INNOVATIVES IMPRÄGNIERVERFAHREN</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>ENTWICKLUNG EINER STABILSCHAUMBESCHICHTUNG</b>	<b>18</b>
<b>3.3</b>	<b>ENERGIEEFFIZIENTE TROCKNERTECHNIK</b>	<b>27</b>
<b>4</b>	<b>RESSOURCENEFFIZIENZ UND UMWELTENTLASTUNGSPOTENZIAL</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG</b>	<b>32</b>
<b>6</b>	<b>ZUSAMMENFASSENDER DISKUSSION</b>	<b>36</b>

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b>	<i>Vergleich des bestehenden, zweistufigen Verfahrens der Färbung und Ausrüstung mit dem geplanten innovativen Verfahren.</i>	11
<b>Abbildung 2:</b>	<i>Anordnung der <b>Chromrasterwalze</b> zusammen mit der gummierten Walze zur Imprägnierung von Warenbahnen.</i>	15
<b>Abbildung 3:</b>	<i>Zusammenhang zwischen der Schaumhöhe (trocken) und der Wiedererholung nach einer Stunde Belastung bzw. einer und drei Stunden Entlastung in Abhängigkeit von der Füllstoffmenge in der Schaumrezeptur</i>	19
<b>Abbildung 4:</b>	<i>Zusammenhang zwischen der Schaumhöhe (trocken) und der Wiedererholung nach einer Stunde Belastung bzw. einer und drei Stunden Entlastung in Abhängigkeit von der Temperatur während der Trocknung im Spannrahmen</i>	19
<b>Abbildung 5:</b>	<i>Zusammenhang zwischen der Schaumhöhe (trocken) und der Wiedererholung nach einer Stunde Belastung bzw. einer und drei Stunden Entlastung in Abhängigkeit vom Gehalt an Entschäumer</i>	20
<b>Abbildung 6:</b>	<i>Zusammenhang zwischen der Schaumhöhe (trocken) und der dem Gehalt an unter Wärmeeinwirkung expandierendem Füllstoff „Expancell“</i>	21
<b>Abbildung 7:</b>	<i>Abhängigkeit der Schaumhöhe (trocken) von dem Mischungsverhältnis „weicher“ zu „harter“ Polyurethane als wässrige Dispersion in der Paste</i>	22
<b>Abbildung 8:</b>	<i>Foto eines Schaumes (Draufsicht), der im Mikrowellenofen getrocknet wurde</i>	23
<b>Tabelle 1:</b>	<i>Gegenüberstellung des Foulardverfahrens zum innovativen Imprägnierverfahren</i>	13
<b>Tabelle 2 :</b>	<i>Ausrüstung von Polyesterwirkware und Baumwollgewebe mit einer Fluorcarbonausrüstung, mit einem Antistatikum und Flammschutz</i>	14
<b>Tabelle 3:</b>	<i>Zusammenfassung der Ergebnisse aus praxiskonformen Versuchen zur Anwendung von Rasterwalzen zum Auftrag von Appreturflotten auf Polyesteramaschenwaren</i>	17
<b>Tabelle 4:</b>	<i>Zusammenfassende Darstellung der Prozessbedingungen und Ergebnisse des Praxis-Beschichtungsversuches mit einer Stabilschaumpaste auf Maschenware</i>	25
<b>Tabelle 5:</b>	<i>Gegenüberstellung von Prozess- und Energiedaten zu vergleichbaren Trocknungs- und Fixierprozessen eines Standardspannrahmens (Nr. 1) zum energieeffizienten System</i>	28
<b>Tabelle 6:</b>	<i>Vergleichende Darstellung der Ressourcen- und Energieeinsparpotenziale am Beispiel der Ausrüstung von 1.000 m fertiger Autohimmelverkleidung</i>	31
<b>Tabelle 7:</b>	<i>Wirtschaftlichkeitsberechnung anhand des Praxisversuches Nr. 4.1</i>	33
<b>Tabelle 8:</b>	<i>Idealisierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand des Praxisversuches</i>	34
<b>Tabelle 9:</b>	<i>Vergleich der Gesamtbezugskosten einer Flammkaschierung zur Stabilschaumbeschichtung</i>	34

## KURZFASSUNG

Ziel des Vorhabens ist die Herstellung stabiler, plastisch verformbarer Schäume auf dem Rücken elastischer Flächengebilde mit multifunktionellen Eigenschaften. Diese neuartigen Verbundstoffe sollen die bisher in mehreren Verfahrensschritten zusammengefügt, mehrschichtigen Verbände ersetzen und in einem Ressourcen und Energie schonenden, neuartigen Herstellungsverfahren gebildet werden. Hierfür soll eine großtechnische Anlage eingerichtet werden, die eine spannungsarme Behandlung der textilen Warenbahnen und Bildung der Verbundstoffe sowie den Einsatz von Energie und chemischen Stoffen in höchst effizienter Weise in einem Arbeitsgang ermöglicht.

Die Erwartungshaltung besteht darin, dass gegenüber dem bestehenden Verfahren sich pro Meter Fertigware Einsparungen an Appreturchemikalien (Fleckschutz, Flammfestigkeit) von mindestens 5 g/lfm (ca. 70%), an Erdgas von ca. 0,2 kWh/lfm (ca. 30%) und an VOC-Emissionen bei der Trocknung und Fixierung der Polyurethanschäume von 15 g/lfm (100%) ergeben. Indirekte Umwelteinwirkungen werden ebenfalls durch wegfallende Transporte der Vor- (Schaumstoff für die Kaschierung) und Zwischenprodukte (mit Schaumstoff kaschiertes Textil) zwischen den bisher unterschiedlichen Fertigungsstätten reduziert.

Das Vorhaben wurde in zwei zeitlich getrennte Abschnitte unterteilt. Zunächst war eine Entwicklung der innovativen Verbundstoffe im Labormaßstab vorzunehmen. Stabile PU-Schäume waren zu entwickeln und hinsichtlich ihrer Eigenschaften, z.B. zur Rückerholbarkeit nach Druckbelastung zu untersuchen. Im Hinblick auf den späteren Verfahrensablauf, der eine „nass-in-nass“-Beschichtung mit der Ausbildung zweiseitiger unterschiedlicher Effekte vorsieht, war der Einfluss einer der Schaumbeschichtung vorgeschalteten Hydrophobierung/Fleckschutzausrüstung bzw. FlammSchutzausrüstung als Minimal-Additionsauftrag mit und ohne Zwischentrocknung zu untersuchen. Außerdem war zu untersuchen, inwieweit im Spannrahmen die Luftführung zur Schaumtrocknung von Bedeutung für die Struktur und Dicke der Schaumschicht ist.

Für die Auslegung einer großtechnischen Anlage und zur Untersuchung der Übertragbarkeit der Laborversuche in einen großtechnischen Maßstab wurde ein orientierender Vorversuch im großtechnischen Maßstab durchgeführt. Es erwies sich hierbei, dass die im Laborversuch erzielten Ergebnisse prinzipiell auf großtechnische Parameter übertragbar sind, dass aber für die Entwicklung neuartiger Verbundstoffe und auch eines effizienten Verfahrens sowie für die Herstellung von Gebrauchsmustern eine großtechnische Einrichtung erforderlich ist, die auf die speziellen Bedingungen eines in der Entwicklung gerade abgeschlossenen und damit neuesten Standes der kontinuierlichen Verfahrenstechnik ausgelegt ist, der bei der Textilbeschichtung zum Imprägnieren und sofortigen Beschichten mit neuer Lufttechnik besteht. Hier greifen die Vorgängerprojekte *INNOimpräg* [DBU 27110] und *InTroFix* [BMWi/AiF 0327 455 A] sowie *EnergyEFFdryer* [DBU 30609], die von der Fa. Brückner Trockentechnik koordiniert wurden, in sinnvoller Weise ineinander. Eine großtechnische Umsetzung wurde jedoch aus wirtschaftlichen Gründen vorerst nicht realisiert.

## VORSTELLUNG DER PROJEKTPARTNER

Bewilligungsempfänger: Rökona Textilwerk GmbH, Schaffhausenstr. 101, 72072 Tübingen  
[www.roekona.de](http://www.roekona.de)

Fa. Rökona stellt Wirkwaren als Technische Textilien für die Fahrzeuginnenausstattung, für Medizintechnik, für funktionale Arbeits- und Sportbekleidung her. Das Unternehmen gliedert sich in die Produktionsbereiche Wirkerei und Ausrüstung/Veredlung. Unternehmensgründung war 1956. Fa. Rökona verfügt in der Veredlung über moderne Maschinen; die Färbung der Maschenwaren erfolgt diskontinuierlich auf Jet-Färbemaschinen und HT-Baum-Färbeapparaten. Vor dem Spannrahmen sind für die Vorwäsche oder für eine Nachreinigung der gefärbten Ware kontinuierlich betriebene Waschmaschinen angeordnet. Die Spannmaschinen haben unterschiedliche Arbeitsbreiten. Fa. Rökona verfügt über eine Kaschierung mittels Klebeverfahren. Die Flammkaschierung der bei Rökona hergestellten Maschenwaren erfolgt als Lohnauftrag in einem anderen Textilunternehmen in Westdeutschland. Für die Rezeptentwicklung stehen ein Veredlungslabor und ein Qualitätslabor zur Verfügung. Alle notwendigen Kleingeräte für Laborfärbungen und Appretur stehen zur Verfügung.

### Kooperationspartner/

Wissenschaftliche Betreuung: Bergische Universität Wuppertal, Fachbereich D, Fachgebiet Sicherheitstechnik/Umweltchemie, Gaußstr. 20, 42119 Wuppertal  
[www.uch.uni-wuppertal.de](http://www.uch.uni-wuppertal.de)

Das Fachgebiet verfügt über eine inzwischen langjährige Erfahrung in der praxisorientierten Forschung und Entwicklung insbesondere von Verfahren und Produkten zur umweltschonenden Textilherstellung. Mehrere laufende wissenschaftliche Projekte des Fachgebietes haben die Entwicklung von ressourcen- und energieeffizienten Textilveredlungsverfahren, innovativen textilen Produkten (Appretur, Beschichtung) und des prozessintegrierten Umweltschutzes zum Ziel. Die Geräteausstattung beinhaltet u.a. auch Laborapparate für Färbung, Appretur und Beschichtung. Das reststofffreie Imprägnierverfahren wurde im Labor des Fachgebietes kleintechnisch entwickelt und erprobt. Das Fachgebiet war auch an der Entwicklung der energieeffizienten Spannmaschinenteknik beteiligt [*InTroFix*, BMWi/AiF 0327 455 A] und betreut im Rahmen des von der DBU geförderten Entwicklungsvorhabens *EnergyEFFdryer* [DBU 30609] die praxisorientierten Untersuchungen zur Textilausrüstung.

## 1 ZIELSETZUNG

Verbundstoffe aus Textilien mit Schaumstoffen und Folien werden im Bereich der Technischen Textilien und hier insbesondere für Automobiltextilien sowie Berufs- und Sporttextilien in vielfältiger Weise eingesetzt. Die Herstellung erfolgt zunächst getrennt für die Textil- und die Schaumstoffbahnen. Textilbahn und Schaumstoff werden dann in einem speziellen Arbeitsschritt zusammengefügt („kaschiert“). Bei Textilien für die Fahrzeuginnenausstattung handelt es sich um elastische Maschenwaren, im Wesentlichen aus Polyestergeräten, die z.B. mit einer Fleck- oder FlammSchutzrüstung behandelt und in einem separaten Schritt über eine Flammkaschierung mit einem Polyurethanschaumstoff verbunden werden. Die Herstellung der Schaumstoffe aus Polyurethan ist mit der Freisetzung von organischen Lösemitteln als Trenn- und Treibmittel und der Kaschierprozess mit dem Verbrauch von Erdgas und der Freisetzung von Verbrennungsgasen verbunden.

Ziel der Entwicklung eines Ressourcen schonenden Verfahrens zur Bildung stabiler Schaumbeschichtungen auf elastischen Textilbahnen ist das Zusammenführen der beiden Schritte einerseits zur Färbung und Ausrüstung einer Textilbahn und andererseits die Herstellung eines Schaumrückens in einem einzigen Schritt mit gleichzeitigem Aufbau eines am Ende plastisch verformbaren, in sich steifen Verbundstoffes, der sich als Inneneinrichtung für Fahrzeuge eignet. Weiter ist es in einer über dieses Produkt hinausgehenden Entwicklung denkbar, dass sich derartig erzeugte Strukturen gegenüber heutigen Materialien durch ein geringeres Gewicht und weitere funktionelle Eigenschaften auszeichnen. Die Herstellung des Verbundes soll durch Auftrag eines stabilen Schaumes aus Polyurethanvorprodukten aus wässriger Dispersion auf die spannungsfrei/-arm geführte Warenbahn erfolgen, die gegebenenfalls intumeszierende Stoffe enthält, um in der Wärmebehandlung im Spannrahmen eine Fertigungsentwicklung des stabilen Schaumes in einer definierten Schichtdicke zu bewirken. Auf der anderen Seite des Textils soll vor dem Schritt der Schaumbeschichtung ein einseitiger Auftrag der Fleckschutz- und auch FlammSchutzrüstung vorgenommen werden. Das reststofffreie Imprägnierverfahren soll hierbei erstmalig im industriellen Maßstab angewendet werden. Es erlaubt einen sehr geringen Feuchteauftrag (10-50% bezogen auf das Warengewicht), so dass eine „nass-in-nass“-Beschichtung ohne Zwischentrocknung erfolgen kann.

Darüber hinaus soll der Spannrahmen, in dem die Schaumtrocknung, Entwicklung und Fixierung geschieht, der Notwendigkeit einer besonders angepassten Luftführung Rechnung tragen, damit Rücksicht auf die Fertigungsentwicklung des stabilen Schaumes genommen und eine energiesparende Verfahrensweise ermöglicht wird. Ein neuartiges Luft-Wärme-System soll hierfür erstmalig in einer innovativen Maschinen- und Technologiekombination untersucht werden.

## 2 ZUM STAND DER TECHNIK DER SCHAUMAPPRETUR UND SCHAUMBE-SCHICHTUNG

Eine Übersicht über Polyurethanschaumstoffe, deren Eigenschaften, die Ausgangsstoffe, die Herstellverfahren und auch Umweltaspekte, die mit der Freisetzung von niedermolekularen organischen Stoffen, z.B. der Treibstoffe, verbunden sind, ist zusammengefasst zu finden in: [David Eaves: Polymer Foams – Trends in Use and Technology. A Rapra Industry Analysis Report (2001) Rapra Technology Limited, Shawbury, Shrewsbury, Shropshire SHY 4 NR, UK] sowie in [S. T. Lee, N. S. Ramesh: Polymeric Foams – Mechanisms and Materials. CRC Press, Boca Raton, London, New York (2004), ISBN 0-8493-1728-2] und [Kaneyoshi Ashida: Polyurethane and Related Foams – Chemistry and Technology. CRC Press, Boca Raton, London, New York (2007), ISBN 1-58716-159-1]. In dem Buch von Ashida sind viele Beispiele zu den Additiven enthalten, die üblicherweise in Polyurethanschaumstoffen und -beschichtungen Verwendung finden, so beispielsweise zu Flammenschutzmitteln, Antioxidantien, Farbpigmenten, Anti-foulingmittel und anderen. Auch über das Rauchverhalten und die Freisetzung bzw. Bildung von HCN bei thermischer Belastung der Polyurethanschäume wird berichtet. Die Herstellung von Stabilschäumen aus Polyurethan über die mechanische oder physikalische Verschäumung und die Beschichtung von Textilien mit solchen Stabilschäumen ist in der einschlägigen Literatur jedoch nicht zielführend beschrieben.

Damit eine Schaumstoffmasse von  $100 \text{ g/m}^2$  ( $140 \text{ g/m}$  Ware bei einer Warenbreite von  $140 \text{ cm}$ ), entsprechend einer Schaumstoffdicke von  $3 \text{ mm}$  gebildet wird, muss bei einem Wassergehalt von  $60\%$  der zu verschäumenden Kunststoffdispersion (inklusive Schaumbildner und Schaumstabilisator)  $250 \text{ g/m}^2$  Schaum aufgetragen werden. Wenn dieser eine Schicht von  $3 \text{ mm}$  Dicke bilden soll, die sich nicht im nachfolgenden thermischen Prozess während des Verdampfens des Wasseranteils verändert, entspricht diese Schaumschicht einem Volumen von  $3.000 \text{ cm}^3$ , bei  $250 \text{ g}$  Schaumgewicht demnach einer Verschäumungszahl von  $12:1$  (Schaumlitergewicht:  $81,5 \text{ g}$ ). Dieser Schaum muss während des gesamten Prozesses (Verschäumen, Auftragen, Trocknen, Fixieren) stabil bleiben. Möglich erscheint auch, einen leichteren, stabileren (hohe Schaumzerfallszeit) Schaum in einer höheren Schichtdicke aufzutragen, der dann gleichmäßig auf die angestrebte Schichtdicke schrumpfen muss. Das erscheint jedoch aus der Sicht des Weges für das zu verdampfende Wasser weniger sinnvoll, da durch Wasserdampfblasen Lunker gebildet werden, die letztlich unerwünscht sind. Eher ist eine niedrigere Schichtdicke und ein geringerer Wassergehalt im Schaum anzustreben, da dies mit einer beschleunigten Trocknung einhergehen sollte. Zudem fördert diese Vorgehensweise die Vermeidung einer vorzeitigen Verhäutung der Schaumschicht, die ein gleichmäßiges Abdampfen des im Textil und im Schaum beinhalteten Wassers behindert. Dann jedoch sind zur Entwicklung eines stabilen Schaumes Additive notwendig, die bei höherer Temperatur (noch während des Trocknungsprozesses) gasförmig zerfallen und damit eine thermische Schaumbildung hervorrufen (intumeszierende Stoffe). Der mengenmäßige Anteil im Schaumrezept soll jedoch wegen der mit dem Zerfall einhergehenden Emissionen gering gehalten werden.

Die Schaumapplikation auf Geweben, die sich durch ein höheres Flächengewicht von den bei Rökona hergestellten Maschenwaren unterscheiden, ist seit der Entwicklung geeigneter Auftragsaggregate (Gaston County/USA, Stork/NL, Zimmer/A und anderer in den achtziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts) bekannt, wird bisher aber nur vereinzelt angewandt. Beim herkömmlichen Imprägnierverfahren durch Tauchen in einem V-förmigen Trog (Foulardchassis), der mit der meist wässrigen Appretlösung gefüllt ist, schließt sich die Entwässerung mittels Foulardwalzenpaar auf einen gleichmäßigen Feuchtegehalt von mindestens 50% an. Dem gegenüber bietet die Schaumapplikation als Additivauftrag einen genau dosierten Auftrag der Appreturchemikalien und einen definierten, meist deutlich unter 50% liegenden Feuchteauftrag. In letzter Zeit wird das Verfahren des Schaumauftrages von Appreturmitteln auf Gewebe über die Rakeltechnik wieder vermehrt eingesetzt, da hierbei nur geringe Restmengen am Ende der Appretur übrig bleiben und somit eine Eingrenzung des Entsorgungsproblems resultiert. Hierbei sind allerdings die Systeminhalte (Vorratsbehälter, Schaummixkopf, Schlauchverbindungen) zu beachten, die nicht unwesentlich in der Menge sind. Es liegen daher bereits einige Erfahrungen zur Anwendung von chemischen Appreturen mittels Schaumapplikation auf Geweben vor. Allerdings fehlt für einen weiten Einsatz der Schaumapplikation die notwendige breite Praxiserfahrung. Außerdem weisen die am Markt verfügbaren Beschichtungsmaschinen gravierende Nachteile für elastische Maschenwaren auf. Eine Beeinträchtigung der Oberflächenstruktur der Maschenwaren, wie sie beispielsweise durch Friktion hervorgerufen werden kann, eine Faltenbildung und andere mechanische und auch thermische Einflüsse und Veränderungen der Ware müssen vermieden werden, da es nach der Beschichtung keine Korrekturmöglichkeit mehr gibt. Für deren spannungslose Appretur und Beschichtung steht aber bisher kein adäquates Aggregat zur Verfügung.

Der Schaumauftrag erfolgt bei Geweben meist mittels Rakel (z.B. Luftrakel), seltener über einen mit Schaum gefüllten, zur Warenbahn hin über einen definierten Schlitz geöffneten Kasten (z.B. Parabolic Coater von Gaston Systems/USA) oder über eine rotierende Siebwalze (z.B. Fa. Stork/NL, Fa. Zimmer/A). Das Prinzip beruht darauf, dass ein über einen Rotor- oder Statikmischer durch Vermischen von Wasser und Luft hergestellter Schaum, der beispielsweise bei einem Luft-Wasser-Verhältnis von 20:1 die Mengen von 50 g Wasser auf 1 Liter Schaum enthält und eine hohe kinematische Viskosität (2.000 bis 8.000 mPa·s) aufweist, auf eine Seite der textilen Warenbahn aufgebracht wird. Durch die hohe Viskosität und den geringen Feuchtegehalt erfolgt nur ein geringfügiges Eindringen der Appretur in das Textil und bewirkt so eine einseitige Applikation. Dies gilt allerdings nur für Stabilschäume und eventuell für spezielle metastabile Schäume. Die meisten metastabilen Schäume und alle instabilen Schäume kollabieren bereits im nassen Zustand, was erwünscht ist und was dazu führt, dass die Viskosität drastisch abfällt und in Abhängigkeit von dem Wassergehalt des aufgetragenen Schaumes zu einem Durchdringen der Ware führt, ähnlich dem Effekt bei einem Auftrag der chemischen Appretur aus wässriger Flotte mittels Pflatsche (einseitig die Warenbahn tangierende Walze). Dieses Verfahren zählt ebenfalls zu den Minimalauftragsverfahren. Allerdings bleibt am Ende des Veredelungsprozesses der Inhalt des Tauchbeckens der Pflatschwalze übrig, meist 20 bis 50 L, die entsorgt werden müssen.

Einseitige Effekte mit instabilen und metastabilen Schäumen sind nur dann möglich, wenn die Appreturflotte bereits trocken ist, bevor diese die Ware vollständig durchdringen konnte. Dies lässt sich regeln entweder durch die Viskosität des Schaumes oder dadurch, dass der Schaumzerfall erst bei Wärmeeinwirkung im Spannrahmen beginnt. Im Gegensatz zum Foulardverfahren bleibt der Schaum auf der Oberfläche des Textils „stehen“. Der technische Stand der Schaumapplikation besteht in einer sehr genauen Dosierung von Wasser, Luft und Chemikalien sowie Kontrolle von Schaumkonsistenz und Fluss.

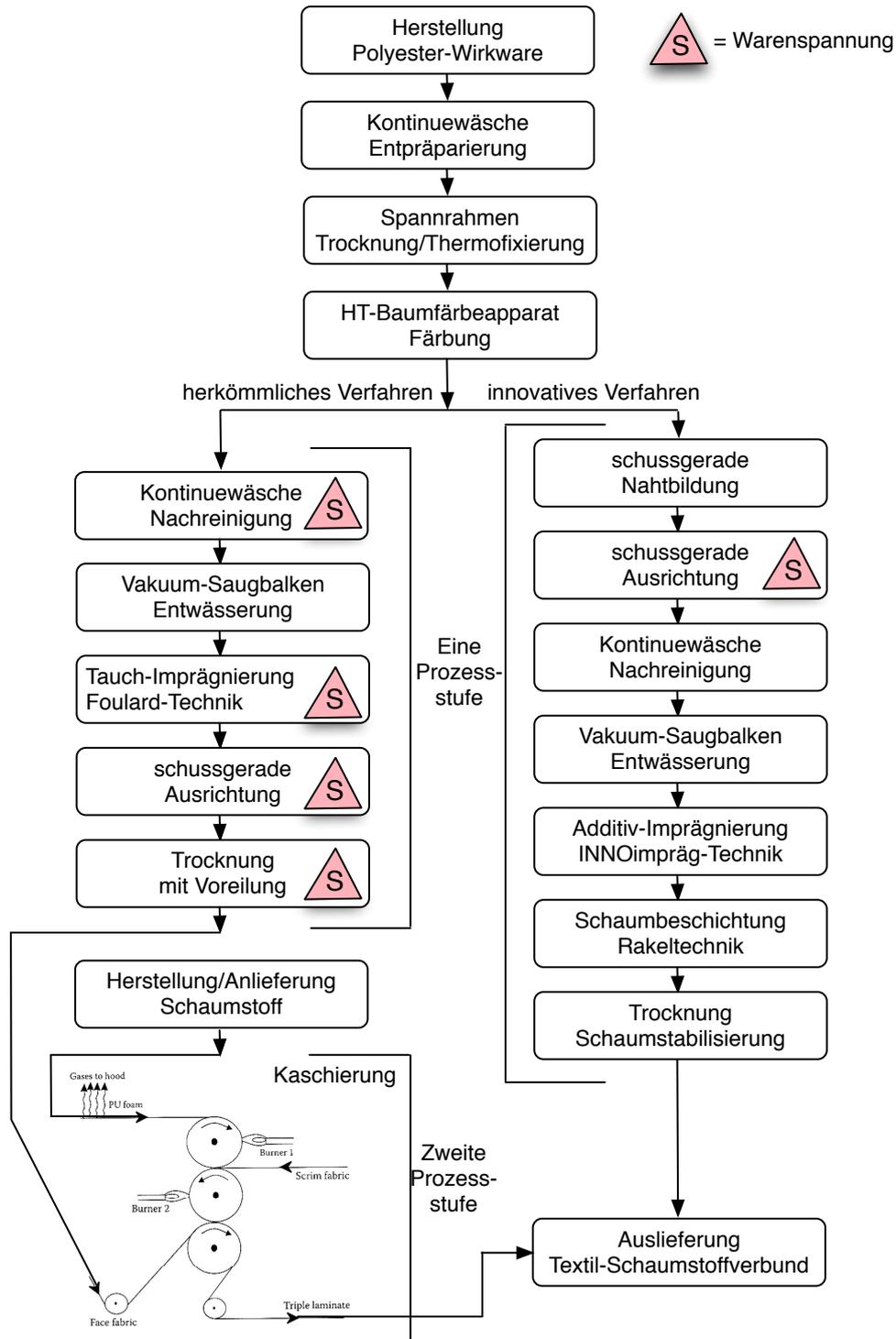
Schaumbeschichtungen sind seit langer Zeit von der Teppichrückenbeschichtung her bekannt, bei der Polyolefine (Latex) mit verschiedenen Füllstoffen als Schaum auf den Rücken der Teppichware aufgestrichen werden und in einem nachfolgenden thermischen Geliervorgang als Teppichrückenschaum fixiert werden. Additive (intumeszierende Stoffe) zur chemischen Schaumentwicklung werden bereits eingesetzt. Beispiele sind Strümpfe, die noppenartige Schaumpolster an der Fußsohle aufweisen, die die Rutschfestigkeit verbessern sollen („rutschsicherer Sohlendruck“). Für bahnenförmige Schaumbeschichtungen mit den Eigenschaften hoher Elastizität und Offenporigkeit sowie einer gröberen Porigkeit reicht die rein chemische Verschäumung aber nicht aus. Auch aus ökologischen Gründen ist wegen der Bildung siedender Kohlenwasserstoffe, die als VOC an die Atmosphäre abgegeben werden, eine Anwendung im größeren Umfang nicht angeraten.

Die Schaumbeschichtung soll anstelle der Schaumstoffkaschierung vorgenommen werden. Schaumstoffe haben für den Anwendungsbereich Himmel/Automotive eine Dicke von 0,5 mm bis 4 mm, eine gleiche Dicke sollen die stabilen Schäume haben, die über das Beschichtungsverfahren hergestellt werden. PUR-Schaumstoffe haben ein Raumgewicht von 28-75 kg/m<sup>3</sup>, standardmäßig von 32 kg/m<sup>3</sup>. Sie werden in einem kontinuierlichen Verfahren durch Vermischen von zwei Komponenten (Polyole und Isocyanate) hergestellt. Bei weichen, elastischen Schaumstoffen wird von langkettigen Vorprodukten ausgegangen. Neben Heptan und Pentan als Treibmittel wird auch CO<sub>2</sub> eingesetzt, das in einer Nebenreaktion des Isocyanates mit Wasser, das in geringen Mengen dem Gemisch zugesetzt wird, freigesetzt wird. Alternativ werden heute Penta-Fluor-Propan oder Penta-Fluor-Butan als ebenfalls nicht brennbare Treibmittel eingesetzt werden. Diese Mittel stehen aber im Verdacht einer Wirkung als Treibhausgas. Bei der Hartschaumbildung beträgt die Menge an Pentan 10 Gew.% bezogen auf die Gesamtmenge der beiden Komponenten Polyol und Isocyanat. Weitere organische Lösemittel werden bei der Formbildung freigesetzt. Nach dem Aushärten der Formen werden die quaderförmigen Teile an den schmalen Seiten zusammengefügt, so dass eine Schaumstoffrolle entsteht. Dann werden Schaumstoffbahnen in der festgelegten Dicke durch Abspalten aus der Schaumstoffrolle gebildet und für den Transport aufgewickelt. Es entsteht dadurch ein an der Oberfläche offenporiger Schaumstoff.

Ein Vorteil einer Schaumbeschichtung besteht darin, dass der Schaumrücken erheblich besser am Textil anhaftet (größere Haftfläche durch Benetzung anstelle der punktuellen Anhaftung je nach Kaschierverfahren). Wenn die Polyesterwerkware mit einer Fleckschutzausrüstung versehen wurde, wirken die Fluorcarbonharze der Haftung des Schaumstoffes unabhängig vom Ka-

schierverfahren entgegen. Das Schaumstoffkaschieren ist sehr weit verbreitet. Die Verfahren der Kaschierung sind vielfältig (Schmelzkleber, Dispersionskleber, Art des Auftrages der Kleber, Flammkaschierung). Die Festigkeit der Anhaftung, die Elastizität und das Rückerholungsvermögen sowie das Schaumgewicht sind charakteristische Größen und dürfen durch eine Schaumbeschichtung, wie sie jetzt entwickelt werden soll, nicht nachteilig verändert werden. Bei der Flammkaschierung von Schaumstoffen auf textile Trägermaterialien erfolgt ein Anschmelzen der Schaumstoffoberfläche, wobei durch die offene Gasflamme Verbrennungsprodukte sowie noch im Schaumstoff vorhandene niedermolekulare Stoffe aus der Herstellung freigesetzt werden. Die Abgase werden im Allgemeinen ohne Reinigung an die Umgebung abgegeben. Eine Übersicht zu den Kaschierverfahren gibt: [Andreas Giessmann: Substrat- und Textilbeschichtung – Praxiswissen für Beschichtungs- und Kaschiertechnologien. Springer Heidelberg, ISBN 978-3-642-01416-1].

Das derzeit noch eingesetzte zweistufige Verfahren der Herstellung von Verbundstoffen aus Textilgewebe oder Wirkware mit Schaumstoffbahnen wird im Automobil als dekorative und funktionelle Textilien für den Autohimmel, für Säulen- und Seitenverkleidungen und auch für Polsterstoffe eingesetzt. Nach dem Färben werden die Textilbahnen meist durch Tauchverfahren mit einer chemischen Appretur versehen und im Spannrahmen getrocknet und fertig gespannt. Anschließend erfolgt die Kaschierung einer Schaumstoffbahn auf die Unterseite der textilen Warenbahn. Das zweistufige Verfahren ist für Maschenwaren mit einer hohen Zugbelastung verbunden, die zu nachteiligen Qualitätseffekten führen kann. Außerdem wird der Schaumstoff in einem anderen Unternehmen produziert und per LKW an das Unternehmen geliefert, bei dem dann die Kaschierung erfolgt. Wegen des geringen Gewichtes sind Transport und auch Zwischenlager wenig effizient einzusetzen. Im neuen, einstufigen Verfahren soll die Warenbahn nach einer Kontinuwäsche durch Absaugen entwässert, dann im günstigsten Fall nass-in-nass und einseitig mit der Appreturchemikalie imprägniert und anschließend mit einem Schaum beschichtet werden, der bei der nachfolgenden Trocknung und Fixierung durch intumeszierende Bestandteile weiter aufgebaut und verfestigt wird. Nachfolgende Abbildung zeigt einen Vergleich des bestehenden zweistufigen Kaschierverfahrens mit der einstufigen Schaumbeschichtung.



**Abbildung 1:** Vergleich des bestehenden, zweistufigen Verfahrens der Färbung und Ausrüstung (1. Stufe) sowie Flammkaschierung (2. Stufe) mit dem geplanten innovativen Verfahren.

### 3 ERGEBNISSE

#### 3.1 INNOVATIVES IMPRÄGNIERVERFAHREN

Zum Appretieren werden die Chemikalien üblicherweise aus wässriger Lösung oder Dispersion auf die textilen Warenbahnen aufgetragen. Als Auftragsaggregat ist der Foulard am weitesten verbreitet. Der Foulard besteht aus einem Chassis oder Netztrog und mindestens zwei gummierten Walzen, zwischen denen die Warenbahn, die im Chassis mit einem Überschuss der wässrigen Flotte benetzt bzw. imprägniert wird, auf einen definierten Wassergehalt abgequetscht wird. Die mit diesem Wassergehalt auf der Ware verbleibenden Chemikalien führen beim nachfolgenden Trocken- und Fixierprozess zu den gewünschten Effekten. Zu beachten ist die Füllung des Chassis, die am Ende des Imprägnierprozesses übrig bleibt. Diese als *Systemfüllung* bezeichnete Flottenmenge hängt ab vom Füllvolumen des Chassis sowie der Zuleitungen und des Vorratstanks, in dem am Ende des Prozesses üblicherweise ein Überschuss an Imprägnierflotte in der Größenordnung von 10 bis 50 L vorliegt. Diese Flottenmengen entstehen immer dann, wenn der Flottenansatz nur mit einer Genauigkeit von 10 L vorgenommen werden kann und ein *Sicherheitsausgleich* für die nicht genau bekannte Flottenaufnahme (L Imprägnierflotte/kg Ware) zu berücksichtigen ist. Oft schleppt die textile Warenbahn aus vorhergehenden Prozessstufen der Textilveredlung in Wasser lösliche oder dispergierbare Stoffe in das Imprägnierbad ein, weshalb das Restbad am Ende des Prozesses für eine nachfolgende Verwendung unbrauchbar wird.

Die Zudosierung von flüssigen Chemikalien als Lösungen und Dispersionen ist heute bei hoher Genauigkeit möglich. So ist vereinzelt in der Praxis die genau bemessene Bereitstellung der Imprägnierbäder für die Appretur anzutreffen, bei der der Verbrauch an Imprägnierbad während des ersten Teils einer Partie gemessen und der Restbedarf sogleich berechnet und bereitgestellt wird. Am Ende bleibt dann nur noch die Chassisfüllung übrig. Diese *Vorausberechnung des Flottenverbrauches* ist jedoch nur bei größeren Partien möglich, da mindestens 10 Minuten Prozesszeit erforderlich sind, um eine genaue Flottenverbrauchsmessung durchzuführen und die Zudosierung einzustellen.

Ein weiteres Problem besteht darin, dass insbesondere Maschenwaren oder zugempfindliche Waren durch die Passage im Chassis und die bis zum Walzenpaar des Foulards mitgeschleppte Flotte, die ein Mehrfaches des Warengewichtes ausmachen kann, unter eine hohe Längsspannung kommen. Die damit verbundene „Längung“ der Ware muss im nachfolgenden Trocknungs- und Fixierprozess als „Schrumpfung“ wieder egalisiert werden. Eine spannungsarme Passage während des Imprägniervorganges ist umgekehrt mit großen Qualitätsvorteilen verbunden, die derzeit oft nur durch Nachbesserungen zu erzielen sind. Bei einer Änderung des Imprägnierverfahrens darf es deshalb auch nicht zu nachteiligen Einflüssen auf die Qualität der Ware kommen. Wenn sofort im Anschluss an die Imprägnierung der Warenbahn deren Beschichtung vorgenommen werden soll, muss jede Zugspannung vermieden werden. Außerdem soll die Feuchtemenge, die zur Imprägnierung auf die Ware gebracht wird, aus energetischen Gründen auf ein Minimum beschränkt werden.

Das im Projekt *INNOimpräg* entwickelte Auftragsverfahren für die chemische Appretur sieht einen gezielten Auftrag genau mit der benötigten Menge an Appreturchemikalien und Wasser vor, einseitig oder die Ware durchdringend. Die Flottenauftragsmenge wird über eine Rasterwalze bemessen und in Kontakt zur Ware gebracht. Die wässrige Lösung bzw. Dispersion wird in den Zwickel gebracht, der zwischen der Rasterwalze und einer an diese angelegten gummierten Walze gebildet wird. Die Zudosierung der Imprägnierflotte erfolgt passgenau zur Warenlänge, so dass keine Flottenreste am Ende des Prozesses übrig bleiben. Damit soll ein verlustfreies und Ressourcen schonendes Imprägnieren der textilen Warenbahnen ermöglicht werden.

Durch die Beschränkung der Appretur auf eine Wareseite soll erreicht werden, dass beispielsweise bei einer Fluorcarbonausrüstung zur Fleckschutzausrüstung oder Hydrophobierung, die nur einseitig appliziert wird, eine verbesserte Haftung des Schaumes an der nicht ausgerüsteten Seite besteht und es durch den einseitigen Auftrag nicht zu einer Haftverringering des Schaumes kommt. Gleichzeitig soll es durch die Beschränkung auf einen einseitigen Auftrag zur Einsparung von hochwertigen chemischen Stoffen kommen (Ressourcenschonung). In der nachfolgenden Tabelle sind das Foulardverfahren und das neue Imprägnierverfahren zusammenfassend gegenübergestellt.

**Tabelle 1:** Gegenüberstellung des Foulardverfahrens zum innovativen Imprägnierverfahren zur Imprägnierung von textilen Warenbahnen bezogen auf eine Arbeitsbreite von 2 m und für eine „trocken-in-nass“-Ausrüstung

<b>Eigenschaft</b>	<b>Foulardverfahren</b>	<b>Innovatives Imprägnierverfahren</b>
Mindestflottenaufnahme (trockene Warenbahn)	50% (PET)	15%
Benetzungsart	immer vollständiges Tauchen/ Netzen	wahlweise einseitiges bis vollständiges Benetzen
Anwendungsbreite	alle Verfahren: Vorbehandeln, Färben, Appretieren, Tauchbeschichten	nur Appretieren
Warenbahnspannung	hoch	niedrig
Foulardwalzen	zur gleichmäßigen Entwässerung erforderlich	nicht erforderlich (dadurch auch keine mechanische Beanspruchung des Textils)
Restflotte (ohne Zuführungssystem)	mind. 20 L	keine
Reinigungsaufwand bei Partiewechsel	hoch min. 50 L Wasser	gering max. 5 L Wasser
Investkosten	ca. 80.000 €	voraussichtlich > 100.000 €

Bei der Entwicklung des innovativen Imprägnierverfahrens kamen verschiedene Maschenwaren der Fa. Rökona zum Einsatz. Versuche mit verschiedenen Einstellungen der Rasterwalze wur-

den zunächst immer nur mit farbigem Wasser durchgeführt, um eine gleichmäßige Benetzung der Warenbahn zu untersuchen. Im Hinblick auf den späteren Einsatz dieser Verfahrenstechnik zur Appretur von Textilien wurden aber auch drei Ausrüstungsarten gewählt: eine Hydrophobierung/Oleophobierung mit Fluorcarbonharzen, eine FlammSchutzausrüstung mit organischen Phosphorverbindungen und eine Antistatikausrüstung.

**Tabelle 2:** *Ausrüstung von Polyesterwirkware und Baumwollgewebe mit einer Fluorcarbonausrüstung, mit einem Antistatikum und FlammSchutz. Positionierung 2; Beschreibung der Zusammensetzung und der Eigenschaften der Appreturen [Abschlussbericht INNOImpräg DBU 27110]*

Art der Ausrüstung	Fluorcarbon FC	Antistatikum AS	FlammSchutz F
Konzentration	30 g/L	20 g/L	100 g/L
pH-Wert	5,8	4,6	3,6
Leitfähigkeit	26 $\mu$ S/cm	22 $\mu$ S/cm	26 $\mu$ S/cm
Temperatur	20°C	20°C	20°C
CSB der Flotte	17.800 mg/L	5.700 mg/L	19.600 mg/L
Oberflächenspannung	45,4 - 46,4 mN/m	29,8 - 31,9 mN/m	52,0 - 52,6 mN/m
Viskosität (200 RPM, Messteil 61)	4,1 cP	3,9 cP	5,3 cP
Trocknungstemperatur	150°C	150°C	120°C

Als günstigste Rasterwalzenart hatte sich eine Chromrasterwalze mit einer ausschließlich linienförmigen Gravur (Winkel zur Achse 45°, Flankenwinkel 80°, Lineatur 100/cm, Volumen 20 mL/m<sup>2</sup>) erwiesen. Die Rasterwalze wurde so eingestellt, dass ein größerer Umschlingungswinkel der Ware um die Walze ermöglicht wurde.

Für die Laboreinrichtung wurden bei den Versuchen folgende Bedingungen zur „**trocken-in-nass**“-Ausrüstung von Polyesterwirkwaren gewählt [Abschlussbericht INNOImpräg DBU 27110]:

Umfangsgeschwindigkeit der Rasterwalze 5,3 m/min; Drehrichtung der Rasterwalze und gummierten Zwickelwalze jeweils mit der Warenrichtung

Warengeschwindigkeit: 8,4 m/min

Flottenaufnahme der Polyesterwirkware 006 (88 g/m<sup>2</sup>):  $\varnothing$  52%

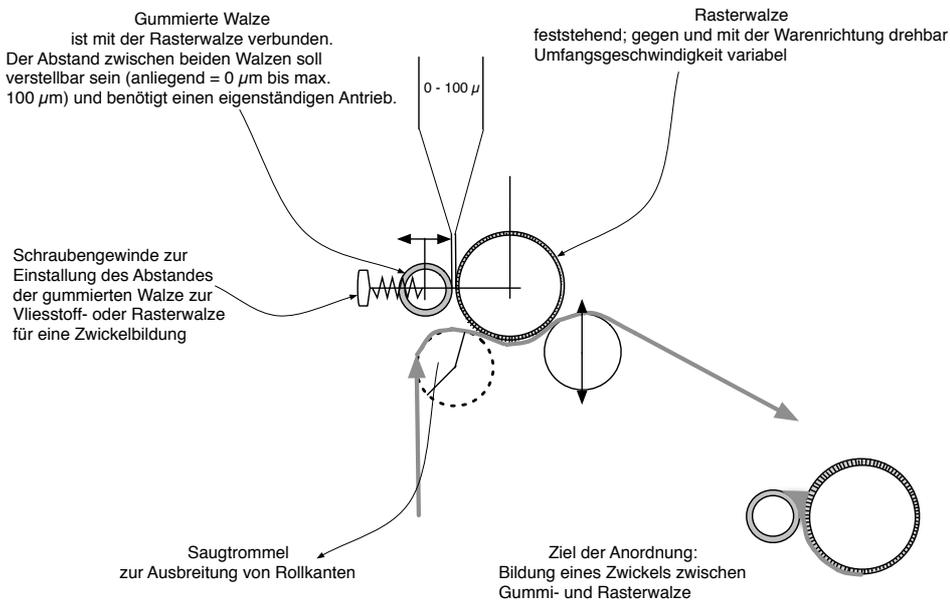
Flottenaufnahme der Polyesterwirkware 402 (146 g/m<sup>2</sup>):  $\varnothing$  23%

Alle Werte der Flottenaufnahme sind Mittelwerte aus > 10 Versuchen.

Die von den in ihren Flächengewichten unterschiedlichen Wirkwaren aufgenommenen Flottenvolumina waren entgegen der Erwartung nicht gleich. Die Flottenaufnahme von schwereren Maschenwaren lag bei 34 g/m<sup>2</sup>, die der leichteren Ware bei 46 g/m<sup>2</sup>. Im Laborversuch war über das Warengewicht, die Geschwindigkeit der Rasterwalze und die Warengeschwindigkeit keine auf andere Warengewichte übertragbare Flottenaufnahme zu berechnen. Da keine weiteren Rasterwalzen zur Verfügung standen, konnte der Zusammenhang zwischen Flottenaufnahme, Warengewicht und Warenart nicht näher untersucht werden. Es ist aber anzunehmen, dass bei einem Artikelwechsel und möglicherweise auch bei einem Wechsel der Veredlungsrezeptur in Abhängigkeit von der Viskosität und möglicherweise auch von der Oberflächenspannung (Netzfähigkeit) der

Veredlungsflotte auch ein Wechsel der Rasterwalze (Lineatur, Näpfchenvolumen) erforderlich sein wird. Das werden jedoch erst Versuche auf einer praxiskonformen Pilotanlage zeigen können.

INNOimpräg - definierter Auftrag von wässrigen Appreturmittel enthaltenen Lösungen und Dispersionen mittels Zweiwalzensystem



**Abbildung 2:** Anordnung der **Chromrasterwalze** zusammen mit der gummierten Walze zur Imprägnierung von Warenbahnen. Die Stahlwalze hinter der Rasterwalze ist höhenverstellbar eingerichtet [Abschlussbericht INNOimpräg DBU 27110]. Zwischen Raster- und Gummiwalze bildet sich ein Zwickel zur Aufnahme der Behandlungsflotte.

Die Abhängigkeit von der Umfangsgeschwindigkeit der Rasterwalze (bei gleichbleibender Warengeschwindigkeit) konnte durch die Laborversuche nachgewiesen werden [Abschlussbericht INNOimpräg DBU 27110].

Wird die Umfangsgeschwindigkeit der Rasterwalze auf 3,9 m/min reduziert, so werden auch niedrigere Flottenaufnahmen festgestellt:

Flottenaufnahme der Polyesterwirkware 006 (88 g/m <sup>2</sup> ):	ø 35%
Flottenaufnahme der Polyesterwirkware 402 (146 g/m <sup>2</sup> ):	ø 19%
Alle Werte der Flottenaufnahme sind Mittelwerte aus > 10 Versuchen.	

Wird die Umfangsgeschwindigkeit der Rasterwalze weiter auf 2,8 m/min reduziert, so gleicht sich die Flottenaufnahme nicht in gleichem Maße an:

Flottenaufnahme der Polyesterwirkware 006 (88 g/m <sup>2</sup> ):	ø 28%
Flottenaufnahme der Polyesterwirkware 402 (146 g/m <sup>2</sup> ):	ø 18%
Alle Werte der Flottenaufnahme sind Mittelwerte aus > 10 Versuchen.	

Auch zur „*nass-in-nass*“-Ausrüstung wurden Versuche mit Polyesterwirkwaren durchgeführt.

Umfangsgeschwindigkeit der Rasterwalze: 1,4 m/min; Drehrichtung der Rasterwalze und gummierten Walze mit der Warenrichtung

Warengeschwindigkeit: 8,4 m/min

Die Ausrüstung erfolgte mit einem Hydrophobierungsmittel (30 g/L); der Flotte wurde ein Netzmittel (1,5 g/L) zugegeben. Die Warenbahn war vorher nur mit einem Netzmittel auf einen Feuchtegehalt von 20% eingestellt worden.

Flottenaufnahme additiv (nass-in-nass):  $\varnothing$  27%

Gesamtflottenaufnahme (1: trocken-in-nass; 2: nass-in-nass):  $\varnothing$  50%

Für eine gleichmäßige Imprägnierung erwies sich ein Zusatz eines Netzmittels als notwendig. Dies hatte keine Auswirkungen auf den Effekt der Wasserabweisung bei einer Hydrophobierung.

Zusammenfassend konnte als Ergebnis der Laborversuche zum Einsatz von Rasterwalzen festgestellt werden [Abschlussbericht *INNOimpräg*, DBU 27110]:

Mit Rasterwalzen konnte im direkten Kontakt mit der Warenbahn ein gleichmäßiger Flottenauftrag erzielt werden, so weit dies die vorhandene technische Einrichtung der Labortechnik und die damit verbundene Präzision zuließ. Durch die Anordnung einer gummierten Walze mit kleinerem Walzendurchmesser parallel zur Rasterwalze konnte ein Zwickel für den Flottenvorrat gebildet werden. Die Zuführung der Flotte erfolgte über einen entlang des Zwickels changierenden Schlauches, die Zudosierung der Flotte mit einer Zahnrad- oder Schlauchpumpe. Letztere ist wegen der einfacheren Reinigung zu bevorzugen.

Der Flottenauftrag war abhängig von der Drehrichtung Rasterwalze und der gummierten Walze mit oder gegen die Richtung der Fortbewegung der Warenbahn. Die bei gegenläufiger Bewegungsrichtung entstehende Friktion zwischen Rasterwalze und Warenoberfläche führte insbesondere bei sehr leichten und offenen Maschenwarenstrukturen zu Verschiebungen und zur Faltenbildung. Als optimale Anordnung erwies sich ein System mit zusätzlichen Leitwalzen, mit dem eine definierte Umschlingung der Rasterwalze ermöglicht wurde.

Der Flottenauftrag konnte von 60% (durchdringende Benetzung) ausgehend bis 10% gleichmäßig realisiert werden. Mit abnehmendem Flottenauftrag (< 20%) wird das Bild der benetzten Oberfläche bei einer „trocken-in-nass“-Verfahrensweise allerdings unruhiger, trockene und wenig benetzte Stellen nehmen zu. Auf die benetzte Seite beschränkte Ausrüstungseffekte konnten im Laborversuch nicht beobachtet werden.

Die Näpfchen bzw. Linien der Rasterwalze werden beim Kontakt mit der Ware nicht vollständig entleert. Bei jedem Flottenwechsel muss daher eine gründliche Reinigung mit Wasser (und Netzmittel) erfolgen, um die Rasterwalze in den Ausgangszustand zurückzuführen. Das System mit der Zwickelanordnung erwies sich hierfür als robust und gut zugänglich. Die Wassermenge kann bei gezielter Anwendung auf eine geringe Menge beschränkt werden.

Auf der Pilotanlage eines Maschinenbauunternehmens, die im Praxismaßstab zur Verfügung stand und bei der eine Rasterwalze aus einem Flottenreservoir (Chassis mit ca. 8 L Füllvolumen)

Appreturflotte aufnimmt und direkt bzw. über ein Doppeldosierrakelsystem auf die Ware, die um eine Transportwalze angeordnet ist, aufträgt, wurden Versuche mit verschiedenen Appreturen durchgeführt [ZIMMER, Klagenfurt, November 2011]. Eine Auswahl der Ergebnisse ist in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

**Tabelle 3:** Zusammenfassung der Ergebnisse aus praxiskonformen Versuchen zur Anwendung von Rasterwalzen zum Auftrag von Appreturflotten auf Polyesteramaschenwaren, Warengeschwindigkeit: 25 m/min

Artikel der Maschenware Rakelbezeichnung	Gewicht g/m <sup>2</sup>	Art der Ausrüstung Summe Konzentration der Ausrüstchemikalien	Flotten- aufnahme %	Bemerkungen
8-17 DR VR 2508 oben DR 2508 unten	125	Hydrophobierung/ Oleo- phobierung 120 g/L	31	Auftragsbild wirkt sofort nach der Benetzung leicht streifig, nach Luftgang i.O.
8-17 DR VS 2524 oben DR VS 2504 unten	125	Polyurethanausrüstung 950 g/L	4	gezielt einseitiger Auftrag, Unterseite bleibt trocken
3-47 DR VR 2508 oben DR 2504 unten	135	Hydrophobierung/ Oleo- phobierung (+ Netzmittel) 150 g/L	13,5	Auftragsbild i.O. deutlicher Unterschied zwi- schen ober- und Unterseite
3-47 DR VR 2510 oben DR VR 2510 unten	135	Hydrophobierung/ Oleo- phobierung (+ Netzmittel) 150 g/L	44	Auftragsbild i.O. Ware deutlich durchtränkt

Die Versuche sind insgesamt zufriedenstellend verlaufen. Als nachteilig an der Maschinenkonstruktion wurden das Volumen des Flottenreservoirs, das zu einer Restflotte führen wird, und die Anordnung des Flottenreservoirs unterhalb der Transportwalze angesehen. Das Maschinenbauunternehmen verfügte über eine große Auswahl von Rasterwalzen, die zielsicher zur Anwendung kamen, was auf eine große Erfahrung schließen lässt. Dennoch wird dieser Maschinentyp nicht häufig eingesetzt, was aus der bisher nur geringen Verbreitung zu schließen ist.

Für den Einsatz dieser Raster-Auftragstechnologie wird vom Maschinenbauunternehmen des geplanten Gesamtsystems dieses Vorhabens und Koordinator des Vorhabens *INNOimpräg* [DBU 27110] ein schrittweiser Umbau einer baugleichen Pilotanlage eines anderen Herstellers erwogen. Die Anlage ist bei einem Textilveredlungsunternehmen an einem Spannrahmen angeschlossen worden, so dass demnächst die Erprobung anderer Anordnungen der Rasterwalze und Fahrweisen vorgenommen werden können.

### 3.2 ENTWICKLUNG EINER STABILSCHAUMBESCHICHTUNG

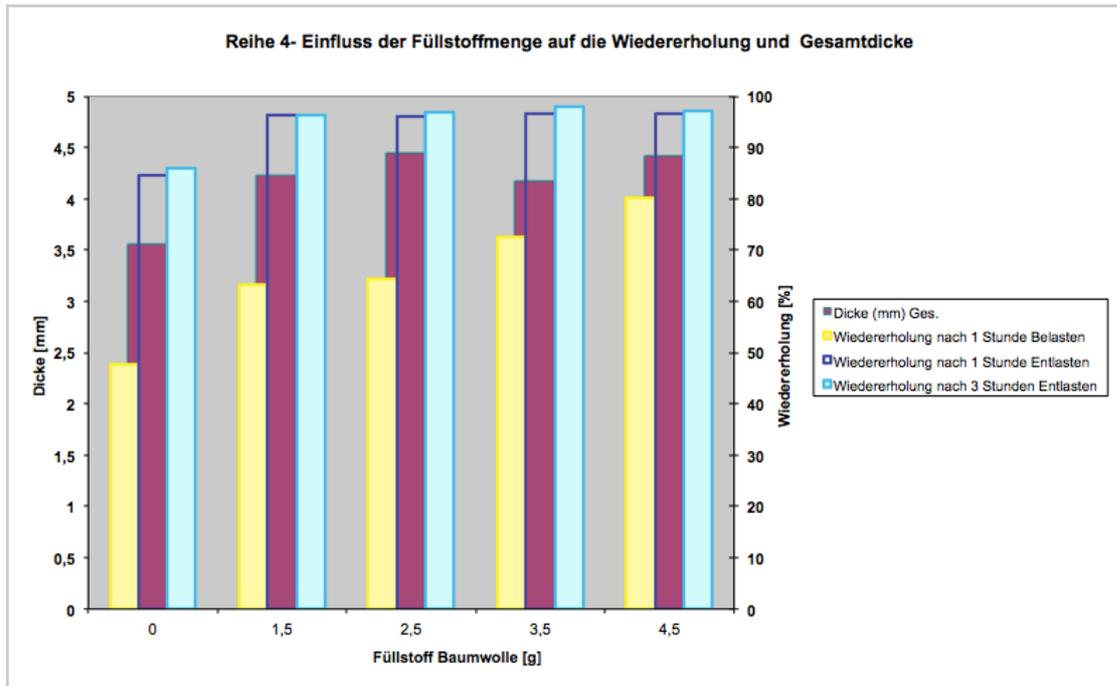
Für den Beginn dieses Vorhabens waren Laborversuche zur Stabilschaumbildung vorgesehen, die Hinweise zu grundsätzlichen Rezept- und Verfahrensbedingungen ergeben sollten. Im vorgesehenen Zeitraum blieben jedoch die Versuchsergebnisse hinter den Erwartungen zurück, so dass erheblich mehr Zeit als ursprünglich geplant für diesen Teil des Vorhabens in Anspruch genommen werden musste. Die Entwicklung konnte jedoch im Verlaufe des Jahres 2012 so weit abgeschlossen werden, dass ein erster, orientierender Praxisversuch einige wesentliche Unterschiede zwischen der Verfahrensweise im Labor und denen, die unter Praxisbedingungen zu erwarten sind, aufzeigen konnte.

Im Labor erfolgt die Verschäumung von Polyurethandispersionen mit einem Küchenmixer, der eine Regelung der Drehgeschwindigkeit des Schneebesens in mehreren Stufen ermöglicht. Die Reihenfolge der Zugabe der Komponenten der Rezeptur und die dabei gewählte Drehgeschwindigkeit des Schneebesens, der auch als Rührer fungierte, waren für die spätere Schaumentwicklung und Gleichmäßigkeit des Schaumes von ausschlaggebender Bedeutung. Insbesondere die Zugabe der Füllstoffe, als solche wurden kurzstapelige Baumwollfasern („Baumwolle“) und unter Temperatureinfluss expandierende Additive („chemischer Füllstoff“) eingesetzt, musste langsam und bei den Baumwollfasern auch in vereinzelter Form erfolgen. Eine gleichmäßige Verteilung der Füllstoffanteile erwies sich als ein wesentlicher Punkt zur Erzielung der gewünschten Schaumstruktur. Die Zugabe der Füllstoffe hatte auch positive Auswirkungen auf eine Steigerung der Stabilität und Elastizität des Schaumes.

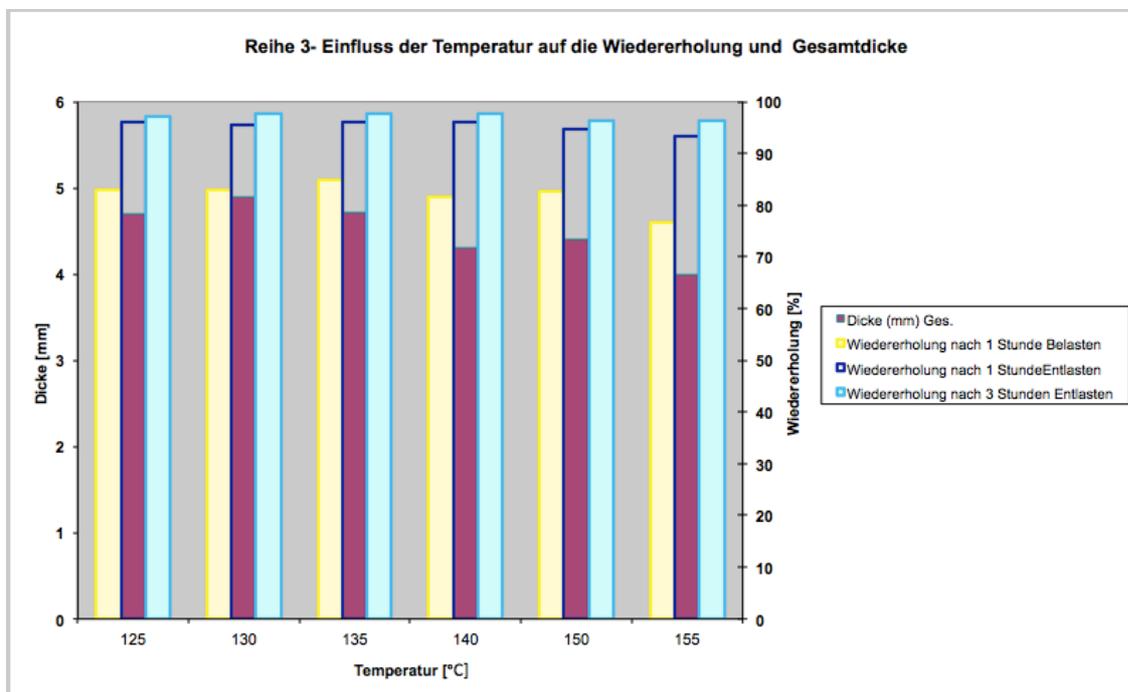
Die Rezeptur hatte folgende Zusammensetzung (bis auf die Füllstoffe lagen alle Komponenten als wässrige Dispersionen vor):

Polyurethan „weich“:	550 – 650 g/kg
Polyurethan „hart“:	80 – 160 g/kg
Verschäumer:	15 – 80 g/kg
Vernetzer:	30 – 40 g/kg
Stabilisator:	30 – 80 g/kg
Füllstoff:	0 – 65 g/kg
Summe:	1.000 g = 1 kg (entsprechend anteilige Erhöhung der Komponenten)

In der nachfolgenden Abbildung ist beispielsweise der Zusammenhang von Schaumhöhe (trocken) und der Wiedererholung des Polyurethanschaumes nach einer Stunde Belasten sowie nach einer und drei Stunden Entlastung für unterschiedliche Anteile am Füllstoff Baumwolle dargestellt. Die Wiedererholung nach Belasten und Entlasten des Schaumes mit einem definierten Gewicht entspricht der Prüfung, die mit einem auf Maschenware flammkaschierten Schaumstoff von der Wareseite her durchgeführt wird, um bei einer – anwendungsorientierten – Stoßbelastung die vollständige („100%“) Rückbildung einer glatten Oberfläche zu untersuchen. Mit ca. „2 g“ eingewogenem, entsprechend 30 g/kg Füllstoffanteil wird eine maximale Schaumhöhe erreicht, jedoch ist die Wiedererholung auch beim höchsten Füllstoffanteil noch nicht ausreichend.



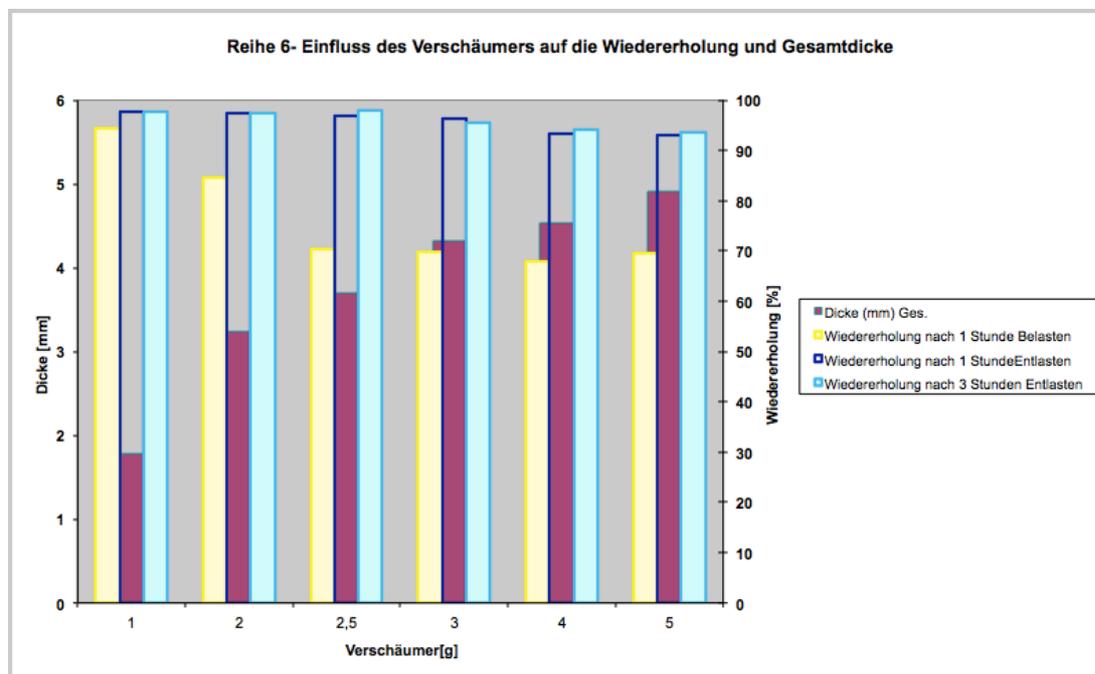
**Abbildung 3:** Zusammenhang zwischen der Schaumhöhe (trocken) und der Wiedererholung nach einer Stunde Belastung bzw. einer und drei Stunden Entlastung in Abhängigkeit von der Füllstoffmenge in der Schaumrezeptur (eingewogene Mengen, entsprechen 0 bis 65 g/kg Schaumbeschichtungspaste)



**Abbildung 4:** Zusammenhang zwischen der Schaumhöhe (trocken) und der Wiedererholung nach einer Stunde Belastung bzw. einer und drei Stunden Entlastung in Abhängigkeit von der Temperatur während der Trocknung im Spannrahmen. (Füllstoffmenge in der Schaumrezeptur: 4,5 g eingewogene Menge, entsprechend 65 g/kg Schaumbeschichtungspaste)

Als weiterer wesentlicher Parameter erwies sich die Trocknungstemperatur. Bei niedrigen Temperaturen, ca. 130°C wird die höchste Schaumdicke erhalten, jedoch ist die Oberflächenstabil-

tät (Wiedererholung) nur gering. Bei einer Temperatur  $> 145^{\circ}\text{C}$  besteht die Gefahr der Vergilbung des Polyurethanschaumes. Ein ähnlicher Zusammenhang besteht in Abhängigkeit vom Gehalt an Stabilisator. Mit zunehmendem Anteil ( $> 40\text{ g/kg}$ ) nimmt die Schaumdicke ab, die Wiedererholung nach der Belastung verbleibt auf niedrigem Niveau ( $< 60\%$ ) und nach einer bzw. drei Stunden Entlastung ( $< 90\%$ ).



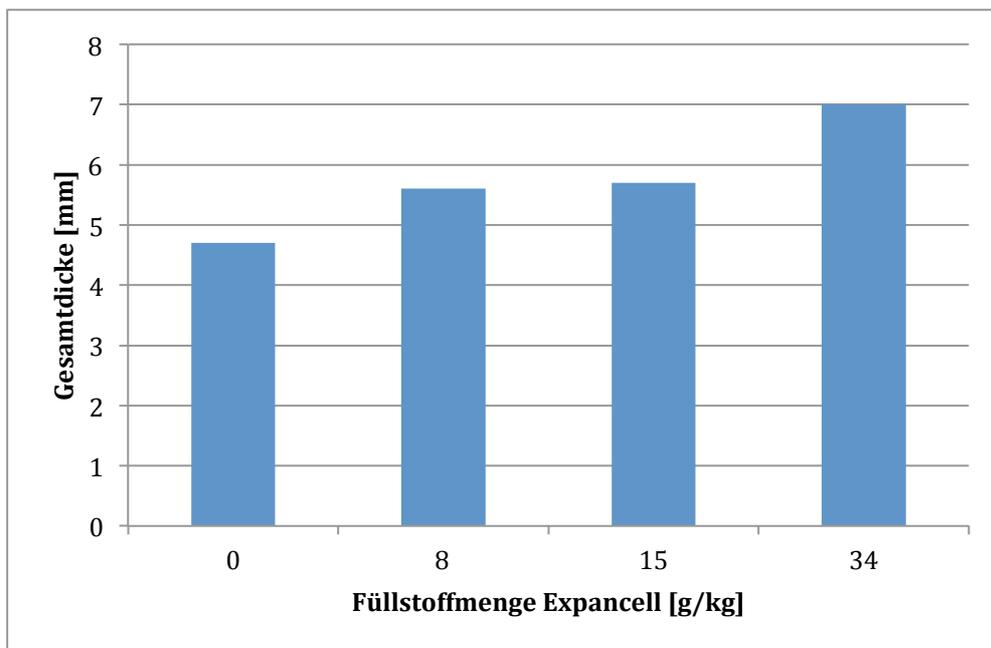
**Abbildung 5:** Zusammenhang zwischen der Schaumhöhe (trocken) und der Wiedererholung nach einer Stunde Belastung bzw. einer und drei Stunden Entlastung in Abhängigkeit vom Gehalt an Entschäumer (jeweils g eingewogene Menge, entsprechend 15-80 g/kg Schaumbeschichtungspaste)

Der Verschäumer (Alkylaminoxid) führt mit zunehmendem Anteil in der Schaumbeschichtungspaste erwartungsgemäß zu höheren Schaumhöhen, obwohl beim Schaumlitergewicht (ca. 110 g/L) kein Unterschied festzustellen war. Ein zu hoher Gehalt an Verschäumer und auch an Stabilisator (Ammoniumstearat) kann sich bei der späteren Verwendung der schaumbeschichteten Textilien durch Thermomigration nachteilig bemerkbar machen („Fogging“). Beide Stoffe sollen daher in möglichst geringer Konzentration eingesetzt werden.

Als Ergebnis aller Laborversuchsreihen wurde eine Rezeptur ausgewählt, die ein ausgewogenes Mengenverhältnis von weichem und hartem Polyurethan (als Dispersion), Stabilisator, Verschäumer und Vernetzer, ohne und mit Füllstoff aufweist. Während die Rezeptur ohne Faserfüllstoff keine hohe Schaumdicke liefert, erhält man mit Baumwollfasern als Füllstoff ein deutlich höheres Schaumgewicht (bis + 50%) und kann auch eine Steigerung der Schaumhöhe erreichen. Mit chemisch expandierenden Additiven kann eine gleichbleibend hohe Schaumdicke erzielt werden. Der Anteil des bei Erwärmung expandierenden Füllstoffes in der Schaumbeschichtungspaste kann auf weniger als 40 g/kg begrenzt werden. Diese Variation weist die günstigste Wiedererholung nach Druckbelastung auf, die bei fast 95% liegt. Schaumflächengewichte von 225-250 g/m<sup>2</sup> können bei einer Schaumdicke von bis zu 4,6 mm erreicht werden.

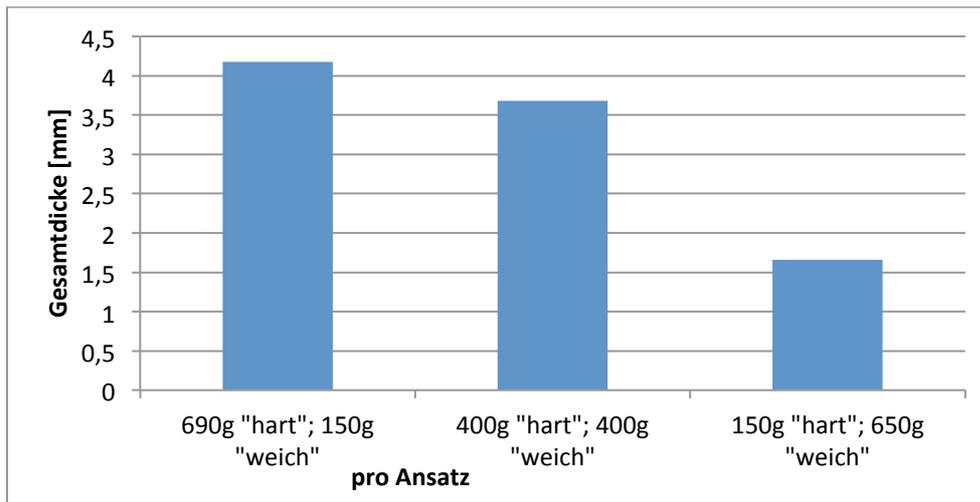
Diese sind aber gewichtsmäßig immer noch doppelt so hoch wie die der kaschierten Schaumstoffe. Aus preislichen Gründen muss daher eine weitergehende Optimierung des Rezeptes vorgenommen werden.

Nachfolgende Abbildung 6 zeigt den Einfluss der Menge des expandierenden Füllstoffes in Bezug auf die Schaumhöhe nach der Trocknung. Eine Menge von 8 bis 15 g/kg Paste erweist sich als ausreichend zur Erzielung einer Schaumhöhe größer 5 mm.



**Abbildung 6:** Zusammenhang zwischen der Schaumhöhe (trocken) und der dem Gehalt an unter Wärmeeinwirkung expandierendem Füllstoff „Expancell“ (jeweils g eingewogene Menge bezogen auf 1 kg Schaumbeschichtungspaste)

Die Schaumbeschichtung war jeweils „weich“, nach einer Druckbelastung dauerte es eine Zeit, bis eine Rückerholung auf max. 95% der Ausgangsschichtdicke („Schaumhöhe“) erreicht wurde. Es wurde daher unterschiedliche Verhältnisse von „weichen“ zu „harten“ Polyurethanen gewählt. Alle Rezepturen enthielten ca. 30 g/kg Paste expandierenden Füllstoff; auch die anderen Komponenten (Stabilisator, Verschäumer, Vernetzer) wurden nicht wesentlich in ihren Anteilen in der Rezeptur geändert. Die Verhältnisse der Polyurethandispersionen sind unter den Balken der nachfolgenden Abbildung 7 festgehalten. Mit zunehmendem Anteil an „hartem“ Polyurethan nimmt die Schaumhöhe des getrockneten Polyurethanschaumes überraschend ab. Es wurde nicht untersucht, ob geänderte Verhältnisse der Zusatzkomponenten oder ein höherer Gehalt an expandierendem Füllstoff zu einer Verbesserung der Ergebnisse führen.



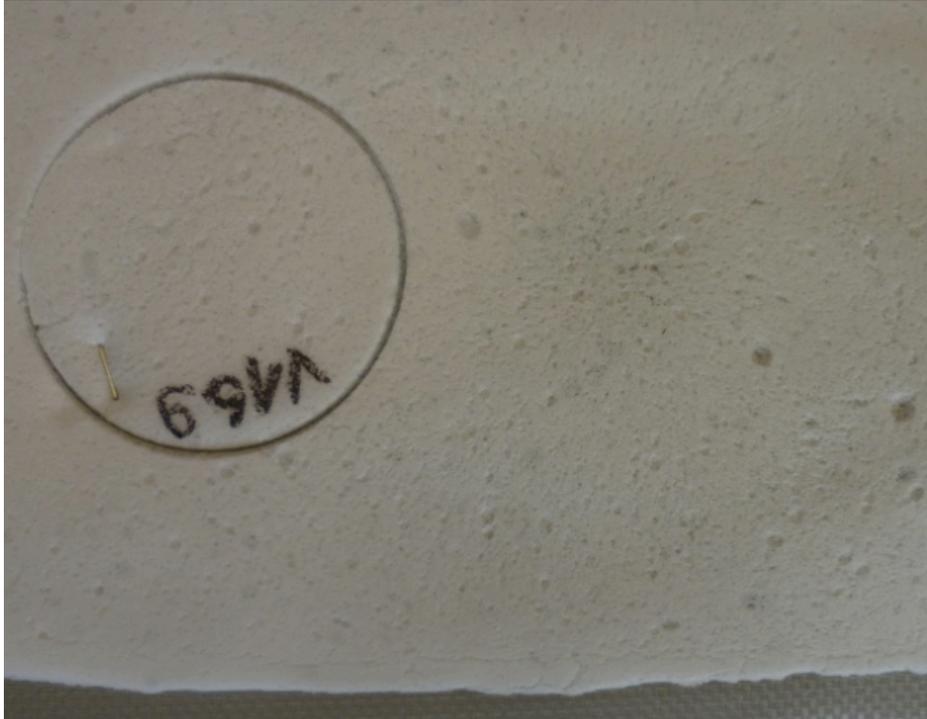
**Abbildung 7:** *Abhängigkeit der Schaumhöhe (trocken) von dem Mischungsverhältnis „weicher“ zu „harter“ Polyurethane als wässrige Dispersion in der Paste. Der Gehalt an unter Wärme- einwirkung expandierendem Füllstoff, Stabilisator, Vernetzer und Verschäumer ist bei allen drei Rezepturen gleichbleibend.*

Weitere Laborversuche betrafen die hintereinander vorgenommene Imprägnierung und Beschichtung der Ware. Polyesterwirkware, die einen Feuchtegehalt von 20% hatte, wurde in einem ersten Schritt mit einem Fluorcarbonharz (Fleckschutz und Hydrophobierung) oder mit einem Flammenschutzmittel mittels Rasterwalzenauftrag einseitig imprägniert und dann sofort anschließend auf der anderen Seite mit dem Stabilschaum beschichtet. Auf die Trocknungsdauer hatte dies keinen Einfluss. Jedoch war bei der mit Fluorcarbon ausgerüsteten und schaumbeschichteten Ware im trockenen Zustand kein Effekt auf der mit Fleckschutz (Hydrophobierung) ausgerüsteten Wareenseite festzustellen. Erst eine Zwischentrocknung konnte den erwünschten Effekt erbringen. Das lässt darauf schließen, dass die Fluorcarbonausrüstung erst „ausgerichtet“ und auf der gewünschten Seite fixiert sein muss, ehe der Schaum aufgetragen werden kann. Bei einer Antistatic- und FlammSchutzausrüstung ist dies offensichtlich nicht erforderlich.

In einer Versuchsreihe im Labor wurde das Gebläse des Labortrockners in zwei Stufen von der niedrigen Stufe 1 zu Beginn des Trocknens (3 Minuten) auf die höhere Umluftleistung „Stufe 2“ (1,5 Minuten) bei einer Trocknungstemperatur von 145°C verändert. Zum Beispiel enthielt die Schaumbeschichtungspaste 8 g/kg chemisch-expandierenden Füllstoff. Das Schaumlitergewicht lag wie üblich bei den Laborversuchen bei 115 g/L. Als Flächengewicht des trockenen Schaumes wurde 270 g/m<sup>2</sup> bei einer Schaumdicke von 5,0 mm erreicht. Die geringere Luftbewegung zu Beginn des Trocknungsprozesses erwies sich als günstig im Hinblick auf die Erzielung einer höheren Schaumdicke. Wie alle vorhergehenden Laborversuche war jedoch die Oberfläche der Schaumschicht als geschlossene Decke ausgebildet.

Wendet man dieselbe Schaumrezeptur an und trocknet die Schaumschicht im Mikrowellenofen 3 Minuten bei 600 Watt, so kann eine offenporige Oberfläche erzeugt werden. Das Flächengewicht des Schaumes liegt bei 260 g/m<sup>2</sup> und die Dicke des trockenen Schaumes bei 3,8 mm. Wird anstelle des chemisch-expandierenden Füllstoffes Baumwollfasermaterial (30 g/kg) zur Schaumbeschichtungspaste gegeben, so wird ein Schaumflächengewicht von 350 g/m<sup>2</sup> und

eine Schaumdicke von 6 mm erreicht. Die Spaltbreite (Abstand des Rakels von der Warenoberfläche) war bei allen Versuchen auf 5 mm eingestellt. Ohne Füllstoff werden ein Schaumflächengewicht von  $225 \text{ g/m}^2$  und eine Schaumdicke von 3,4 mm erzielt. Nachfolgendes Foto zeigt die Schaumoberfläche eines im Mikrowellenofen getrockneten Schaumes, dessen Paste mit chemisch-expandierendem Füllstoff angereichert war.



**Abbildung 8:** Foto eines Schaumes (Draufsicht), der im Mikrowellenofen getrocknet wurde. Kein Füllstoff, Trocknungsleistung 600 Watt, 3 min. Schaumlitergewicht  $95 \text{ g/L}$ , Schaumflächengewicht  $225 \text{ g/m}^2$ , Schaumdicke 3,4 mm

Auf einer Technikumsanlage des Maschinenherstellers wurden Versuche zur Frage durchgeführt, ob eine gezielte Durchströmung des auf der Ware liegenden Schaumes mit Heißluft von der Unterseite des Textils her zu einer Steigerung der Schaumdicke und Herabsetzung des Schaumflächengewichtes führt. Diese spezielle Labor-Trocknungseinheit ermöglicht eine gezielte Durchströmung der beschichteten Ware mit einer auf eine bestimmte Temperatur eingestellten Luft, lässt aber auch eine seitliche, begrenzbare Vorbeiführung der Luft zu, so dass oberhalb der mit Schaum beschichteten Fläche ein Gegendruck mit Luft derselben Temperatur eingestellt werden kann. Bei einer Beschichtung von trockener Ware mit einem Schaum, der  $8 \text{ g/kg}$  chemisch-expandierenden Füllstoff enthält und ein Schaumlitergewicht von  $105 \text{ g/L}$  hatte, konnte ein Schaumflächengewicht von  $250 \text{ g/m}^2$  und eine Schaumdicke von 5,2 mm erreicht werden. Die Trocknungsdauer betrug 4 Minuten bei  $147^\circ\text{C}$  und bei einer Anströmgeschwindigkeit von  $1 \text{ m/s}$ . Die Oberfläche ist gleichmäßig geschlossen und zeigt einige wenige Bläschenkrater.

Wird die Ware vor der Beschichtung mit der *INNO*imprägn-Labortechnik auf 30% Feuchtegehalt angefeuchtet und dann mit gleicher Rezeptur und Verfahrensweise beschichtet und getrocknet, geht die Schaumdicke auf 4,7 mm zurück und das Schaumflächengewicht steigt auf ca.

300 g/m<sup>2</sup>. Wenn zusätzlich zur Einstellung eines Feuchtegehaltes der Ware auf 30% ein Additivauftrag mit 20% Feuchte als Flammenschutzrüstung erfolgt, ist die Schaumdicke 4,6 mm. Das Schaumflächengewicht beträgt jedoch nur 240 g/m<sup>2</sup>.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass eine einseitige Beschickung der beschichteten Ware mit heißer Luft von der Unterseite her (Gegenseite der Schaumschicht) keine Verbesserung zu Schaumhöhe und -stabilität sowie zur Porigkeit erbringt. Vielmehr ist ein ausgewogenes Verhältnis von Unter- und Oberluft anzustreben, wobei die Unterluft mit ca. 1 m/s gezielt auf die Warenfläche gerichtet sein sollte und die Oberluft eher tangential an der Oberfläche des Schaumes vorbeigeführt wird.

Die in der Labortechnik verwendeten Schaumaufbereitungswerkzeuge (Mixer) ergeben nur eine bedingte Aufschäumung. Es soll daher untersucht werden, inwieweit sich das Schaumlitergewicht von viel mehr als 100 g/L nassem Schaum (Labor) auf weniger als 50 g/L durch einen technischen Mixer senken lässt und welche Auswirkungen dies auf den Schaumauftrag auf die Ware und das Trocknungsverhalten hat. Ziel ist hierbei ein Schaumflächengewicht um die 100-120 g/m<sup>2</sup> bei 3 mm Schaumendstärke zu erreichen. Die Versuche wurden im Praxismaßstab auf einem Beschichtungsrahmen eines Unternehmens durchgeführt, das Polyestergerewebe ausrüstet und beschichtet.

Bei dem Großversuch wird ein 6-Felder-Spannrahmen verwendet. Die Temperatur sowie die Umluft sind in jedem Halbfeld einzeln regelbar. Vor dem Spannrahmen wird auf die Warenbahn der stabile Schaum mittels eines Walzenrakels aufgetragen. Der Rakelspalt (Abstand zwischen Rakel und Warenbahn) ist variabel einstellbar (Höhe in mm). Die Schaumerzeugung erfolgt mittels eines Rotormixers. Dieser kann 8 bis 80 kg Schaum pro Stunde mit Schaumlitergewichten ab 50 g/L erzeugen.

Aus den unten aufgelisteten Komponenten wird die Schaumbeschichtungspaste hergestellt. Zunächst werden die Polyurethan-Dispersionen vorgelegt; in der Reihenfolge der Zusätze folgt dann der chemische Füllstoff, der portionsweise zugegeben wird. Gleichzeitig wird diese Mischung mit einem Ultra-Turrax homogenisiert. Danach werden die restlichen Hilfsmittel unter Rühren zugegeben. Der Schaumansatz wird in den Vorratsbehälter des Mixers gegeben. Durch die Drehzahl des Mixerkopfes wird die gewünschte Fördermenge eingestellt. Die Umrechnung der Fördermenge in die Drehzahl erfolgt durch eine bereits vorhandene Leistungskurve. Der durch den Mixer erzeugte stabile Schaum wird durch einen Schlauch zur Auftragseinheit gefördert, dort vor das Rakelmesser so gelegt, dass eine geschlossene, etwa 10 cm dicke Wulst gebildet wird, die den nötigen Druck für eine der Spaltbreite entsprechenden Schaumdicke auf der Warenbahn erzeugt.

Parallel zu den Beschichtungsversuchen unter Praxisbedingungen auf der Spannmaschine wurde dieselbe Paste im Labormaßstab auf identische Ware (ca. 4 dm<sup>2</sup> Musterfläche) von Hand mit derselben Schichtdicke aufgestrichen und anschließend im Labortrockner bei der üblicherweise eingestellten Temperatur von 145°C während 4,5 Minuten getrocknet. Hierbei fiel auf, dass – möglicherweise bedingt durch die unterschiedliche Beschichtungsgeschwindigkeit (bei der

Handbeschichtung war keine Geschwindigkeit mess- und einstellbar) – in den ersten Praxisbeschichtungsversuchen die Beschichtungshöhe unter der eingestellten Spalthöhe blieb. Durch eine verstärkte Vorlage von Schaumpaste konnte dieser Nachteil behoben werden.

**Tabelle 4:** Zusammenfassende Darstellung der Prozessbedingungen und Ergebnisse des Praxis-Beschichtungsversuches mit einer Stabilschaumpaste auf Maschenware mit folgenden Inhaltsstoffen:

Polyurethandispersion „hart“:	687 g
Polyurethandispersion „weich“:	153 g
Verschäumer	76 g
Vernetzer	30 g
Stabilisator:	46 g
Chemischer Expansionsfüllstoff:	8 g

Eigenschaften	Versuch unter Laborbedingungen	Versuch 1 Spanmaschine	Versuch 2 Spanmaschine	Versuch 3 Spanmaschine
Wareneigenschaften	Maschenware 111440: 152 g/m <sup>2</sup> , 1,53 m Breite, 0,58 mm Dicke			
<b>Mixereinstellungen:</b>				
Schaumlitergewicht	70 g/L	50 g/L	75 g/L	75 g/L
Fördermenge	80 kg/h	80 kg/h	80 kg/h	80 kg/h
Drehzahl Mixer	140 min <sup>-1</sup>	140 min <sup>-1</sup>	140 min <sup>-1</sup>	140 min <sup>-1</sup>
<b>Einstellung Rakel:</b>				
Spalthöhe:	5 mm	5 mm	5 mm	7 mm
Warengeschwindigkeit:	-/-	4 m/min	4 m/min	4 m/min
Auftragsbreite SOLL:	30 cm	82 cm	82 cm	82 cm
Auftragsbreite IST:	30 cm	75 cm	75 cm	75 cm
berechneter Verbrauch:	-/-	1,6 L/min	1,6 L/min	2,3 L/min
<b>Einstellung Spannrahmen:</b>				
Feld 1 Temperatur Umluft	145 °C 50% 4,5 min	100°C 30/30	100°C 30/30	100°C 30/30
Feld 2 Temperatur Umluft		110°C 30/30	110°C 30/30	110°C 30/30
Feld 3 Temperatur Umluft		130°C 40/50	130°C 40/50	130°C 40/50
Feld 4 Temperatur Umluft		150°C 60/70	150°C 60/70	150°C 60/70
Feld 5 Temperatur Umluft		150°C 70/80	150°C 70/80	150°C 70/80
Feld 6 Temperatur Umluft		150°C 70/80	150°C 70/80	150°C 70/80
Dicke der trockenen Schaumschicht	4,8 mm	1,1 mm	2,3 mm	3,9 mm
Schaumflächengewicht (ohne Textil)	205 g/m <sup>2</sup>	78 g/m <sup>2</sup>	106 g/m <sup>2</sup>	166 g/m <sup>2</sup>

Die Praxisversuche zeigten folgenden Zusammenhang:

Mit einem 6-Felder-Spannrahmen und mit einer üblichen Beschichtungseinrichtung eines Streichsystems sind Stabilschäume aus Polyurethandispersionen in ausreichender Gleichmäßigkeit zu realisieren. 4 m/min war die Mindestgeschwindigkeit. Die Aufenthaltsdauer der Ware im beheizten Teil der Spannmaschine betrug dann 4,5 min (100-150°C).

Für den Auftrag des nassen Schaumes auf Maschenware reicht ein Walzenrakelsystem aus. Die vor dem Rakelmesser vorgelegte Schaumpaste muss vom Umfang und von der Masse her auf das Schaumlitergewicht, die Position und den Winkel des Rakels, den Abstand zwischen Rakel und Warenbahn (Höhe) und die Warengeschwindigkeit eingestellt werden. Hierbei ist zu beachten, dass sich die Viskosität und die Fließeigenschaften der verschäumten Paste mit abnehmendem Schaumlitergewicht „exponentiell“ verändern. Schaumbeschichtungspasten mit niedrigem Schaumlitergewicht ( $< 50 \text{ g/L}$ ) sind kaum noch fließfähig und weisen eine eher „steife“ Struktur auf. Inwieweit Druckeinwirkung einen verbesserten (höherer Schaumauftrag) ermöglicht, konnte nicht geklärt werden (Düsenrakel). In der zur Verfügung stehenden Zeit (eine Schicht) waren nur grundsätzliche Bedingungen zur Herstellung von Stabilschaumbeschichtungen unter Praxisbedingungen zu ermitteln. Ein Luftrakel scheidet wegen der dann notwendig höheren Warenspannung bei Maschenwaren aus.

Um ein Schaumflächengewicht „trocken“ kleiner  $100 \text{ g/m}^2$  zu erzielen, muss das Schaumlitergewicht  $< 50 \text{ g/L}$  sein. Im Praxisversuch musste wegen der technischen Gegebenheiten am Rakel das Schaumlitergewicht auf mindestens  $70 \text{ g/L}$  eingestellt werden, damit eine genügend hohe Schichtdicke der Schaumbeschichtung nach dem Rakel erreicht werden konnte.

Ohne chemische Hilfe zur Schaumbildung ist keine Schaumschichtdicke  $> 2 \text{ mm}$  zu erzielen. Die Luftführung im Spannrahmen muss insbesondere in der Eingangszone (Feld 1) eine konstruktive Änderung erfahren: stärkere Unterluft (Gegenseite der Beschichtung), tangentielle Luftführung oberhalb des Schaumes. Standardspannrahmen haben hierfür keine technischen Vorrichtungen.

Eine direkte Übertragung der Ergebnisse vom Labor- auf den Praxismaßstab ist nicht gegeben. Die Laborarbeit dient in erster Linie zur Ermittlung der Schaumrezeptur für die Erzielung bestimmter Schaumeigenschaften im getrockneten Zustand. Erst im großtechnischen Maßstab können die technischen Rahmenbedingungen und auch das Eigenschaftsprofil erarbeitet werden. Dazu wird eine Praxisanlage mit allen erforderlichen Einrichtungen zum spannungsarmen Betrieb, zum ein- oder zweiseitigen Auftrag von Appreturchemikalien und zum „nass-in-nass“-Auftrag von Stabilschäumen benötigt. Die Entwicklung neuer Polyester-Maschenwarenartikel benötigt eine entsprechend eingerichtete Praxisanlage mit folgenden Aggregaten:

Wareneinlauf:	fest eingerichtete Nähmaschine, schussgerade Naht
Siebtrommel-Waschmaschine:	spannungsarme Nachreinigung der Warenbahn
Vakuumsauge:	gleichmäßige Entwässerung der Warenbahn $< 20\%$ Restfeuchte
Rasterwalzen-Additionsauftrag:	einseitiger Auftrag von Appreturen, $< 20\%$ Zusatzfeuchte
Schaumbeschichtung:	friktionsfreier Auftrag mechanisch verschäumter Dispersionen
Transport der Ware:	Tragband für einen spannungsfreien Transport
Trocknung/Entwicklung:	spezielle Luftführung für die Stabilschaumbeschichtung
Kühlen, Laminieren:	spannungsarme Kompaktierung der Schaumbeschichtung und Möglichkeit zur zusätzlichen Folienkaschierung
Aufwickeln	spannungsfreies Aufwickeln ohne Schaumdeformation

### 3.3 ENERGIEEFFIZIENTE TROCKNERTECHNIK

Die Luftführung im Trockner ist von großem Einfluss auf die Vollendung der Stabilschaumbeschichtung. Eine gerichtete Verdampfung des Wassers ist mit der bestehenden Trocknertechnik kaum möglich. Das haben die Versuche im Technikum des Maschinenbauunternehmens, das die Entwicklungsarbeiten maßgeblich unterstützt hat, und auch die Versuche im Labor und auf einer Praxisanlage gezeigt.

Gleichzeitig muss aus Gründen der Energieeinsparung auch ein Paradigmenwechsel bei der Beschichtung erfolgen. Die bisher ausschließlich auf trockener Warenbahn erfolgende Textilbeschichtung muss zukünftig auch auf noch feuchter Ware möglich sein, um die Energie für das Zwischentrocknen einzusparen. Das setzt voraus, dass der Feuchtegehalt der Ware vor der Beschichtung auf ein Minimum begrenzt wird.

2012 wurde in einem baden-württembergischen Unternehmen der Textilveredlung eine neuartige Spannmaschine in Betrieb genommen, die sich durch eine wesentlich verbesserte Luftführung im Spannrahmen, ein integriertes Wärmerückgewinnungskonzept mit Luftdurchsaugtechnik und durch ein neuartiges Konzept zur Erzeugung und Verteilung von heißer Prozessluft auszeichnet (Power Frame Eco/Fa. Brückner Trockentechnik, Leonberg). Das Konzept wurde im Rahmen eines Forschungsvorhabens entwickelt und mit dieser Spannmaschine erstmals in den Praxismaßstab umgesetzt [Projekt *InTroFix*; Fa. Brückner/Leonberg, ITV Denkendorf, Bergische Universität Wuppertal, zwei Textilunternehmen; BMWi (2008-2010)]. Eine weitergehende Entwicklung des Konzeptes wird derzeit an dieser Praxisanlage durchgeführt [Projekt *EnergyEFFdryer*; Fa. Brückner/Leonberg, CuTec, Clausthal-Zellerfeld, Bergische Universität Wuppertal, Fa. Dolinschek/Burladingen; DBU Az 30609 (2012-2013)]. Im Unterschied zu dem in diesem Vorhaben bevorzugten Luftführungssystem, das zumindest im ersten Feld (von mindestens sechs Feldern) eines Trockners eine dominante Unterluft benötigt und eine tangentiale Oberluftführung vorsehen sollte, wodurch eine Schaumstabilisierung bewirkt werden soll, wird bei dem neuen Konzept der Fa. Brückner Trockentechnik die Trockenluft im ersten Feld heiße, mit Feuchte beladene Prozessluft durch die Ware von oben nach unten gesaugt. Dass hierdurch und durch die besondere Erzeugung und Führung der Prozessluft im System gegenüber herkömmlicher Spannmaschinenteknik erhebliche Energiemengen einzusparen sind, zeigen folgende erste Untersuchungsergebnisse.

Es handelt sich um die Ergebnisse einer Messreihe, die Ende 2012 im Rahmen des Projektes *EnergyEFFdryer* durchgeführt wurden. Alle Gasbrenner erhalten hierfür eigene Gasuhren, mit deren Hilfe der prozessbezogene Gasverbrauch gemessen wird. Außerdem werden in allen Feldern die Umlufttemperatur, der Druck, die Feuchte und vor und nach den Wärmetauschern über FiD-Messung der Kohlenstoffgehalt in der Abluft ermittelt. Die Maschinen- und Prozessdaten wurden überprüft und aufgezeichnet (Temperatur und Volumenstrom zur Umluft unten/oben, Temperatur und Volumenstrom für Frisch- und Abluft vor und nach Wärmeüberträgern, Volumenströme der heißen Prozessluft zu jedem Abteil, Temperatur der Prozessluft in den Brennerkammern, Kreislaufuft zu Temperatur und Volumenstrom u.a.). Die beschriebene Anlage ist eine Spannmaschine mit 5 Thermozone, jede Thermozone ist 3 m lang. Die Ergeb-

nisse der Messungen wurden wie folgt auf größere Anlagen mit 6 bzw. 8 Feldern hochgerechnet. Es erfolgt ein Vergleich mit einem „Standardspannrahmen“ mit direkt vergleichbaren Prozessbedingungen.

**Tabelle 5:** Gegenüberstellung von Prozess- und Energiedaten zu vergleichbaren Trocknungs- und Fixierprozessen eines Standardspannrahmens (Nr.1) zum energieeffizienten System PowerFrameEco der Fa. Brückner Trockentechnik, Leonberg. Ergebnisse aus Untersuchungen im Rahmen des Projektes EnergyEFFdryer bei der Fa. Dolinschek, Burladingen (10/2012).

Abkürzungen zu den Prozessarten: TR = Trocknen, TR+F = Trocknen und Fixieren in einem Arbeitsschritt; Kostenbezug (Ø Deutschland): Gas: 0,046 €/kWh, elektr. Strom: 0,12 €/kWh; Quelle CO<sub>2</sub>-Äquivalente: [Berechnungen\_CO2\_Emissionen\_Stamd\_100715.xls; entnommen dem „Leitfaden für effiziente Energienutzung in Industrie und Gewerbe“ des IfU]; Prognose zu den Jahreseinsparungen bezieht sich auf den jeweiligen Prozess mit Nutzeffekt  $\eta = 80\%$

Eigenschaften	Einheit	Standardspannrahmen (1)			PowerFrameEco		
		1	2	3	1	2	3
Prozess-Nr.							
Prozessart		TR	TR	TR+F	TR	TR	TR+F
Anzahl der Thermozone		8	8	8	8	8	8
Produktion	kg <sub>Ware</sub> /h	2066	1533	694	2073	1501	690
Produktionsgeschwindigkeit	m/min	88	65	29	88	64	29
Verdampfungsleistung	kg <sub>Wasser</sub> /h	1694	1257	618	1700	1231	614
Energie thermisch	kW	1935	1442	1182	1566	1104	727
Energie elektrisch	kW	184	142	161	184	134	153
Spez. Energie $\mathcal{E}$ <sub>Ware-thermisch</sub>	kWh <sub>therm</sub> /kg <sub>Ware</sub>	0,937	0,941	1,703	0,755	0,736	1,054
Spez. Energie $\mathcal{E}$ <sub>Wasser-thermisch</sub>	kWh <sub>therm</sub> /kg <sub>Wasser</sub>	1,142	1,147	1,913	0,921	0,897	1,184
Spez. Energie $\mathcal{E}$ <sub>Ware-elektrisch</sub>	kWh <sub>elektr.</sub> /kg <sub>Ware</sub>	0,089	0,093	0,232	0,089	0,089	0,222
Spez. Energie $\mathcal{E}$ <sub>Ware-thermisch</sub>	Relativ (Bezug 1)	100%	100%	100%	81%	78%	62%
Spez. Energie $\mathcal{E}$ <sub>Wasser-thermisch</sub>	Relativ (Bezug 1)	100%	100%	100%	81%	78%	62%
Spez. Energie $\mathcal{E}$ <sub>Ware-elektrisch</sub>	Relativ (Bezug 1)	100%	100%	100%	100%	96%	96%
Einsparung Gas	MWh/a				1.634	1.500	2.018
Einsparung Gaskosten	€/a				75.276	68.952	92.820
Einsparung el. Strom	kWh/a				-/-	42.240	42.240
Einsparung Kosten el. Strom	€/a				-/-	5.280	5.280
Einsparung CO <sub>2</sub>	kg CO <sub>2</sub> /a				382.800	375.560	513.790

Je nach Prozessart und auch in Abhängigkeit vom Substrat betragen die Einsparungen an thermischer Energie zwischen 20% und 40%. Die Einsparungen an elektrischer Energie fallen geringer aus, da sich die Antriebe für die Ketten, Ventilatoren und andere Motoren in Anzahl und Leistung nur unwesentlich unterscheiden. Ein wesentlicher Beitrag in der Ersparnis der thermischen Energie wird durch die Luftdurchsaugung der neuen Spannmaschinenteknik geleistet, da hier die Abluft direkt und konzentriert genutzt wird. Bei der in diesem Vorhaben geplanten Umkehrung würde die Abluft in der Spannmaschine so angesaugt, dass (mindestens) im ersten Feld ein großer (noch zu ermittelnder) Teil der Abluft über ein Düsenfeld von unten auf die Warenbahn gelenkt wird und gleichzeitig ein kleinerer Teil der Abluft tangential über die Ware („von oben“) in diesem strömen soll und dann nach oben abgesaugt wird. Die technische Ausführung dieses Systems ist noch nicht in Angriff genommen.

#### **4 RESSOURCENEFFIZIENZ UND UMWELTENTLASTUNGSPOTENZIAL**

In der Antragsbeschreibung waren die Ressourceneffizienz und das Umweltentlastungspotenzial des neuen Schaumbeschichtungsverfahrens verglichen worden mit der herkömmlichen zwei-stufigen Verfahrensweise der Tauchimprägnierung der Maschenware mit Trocknung und anschließender Flammkaschierung mit einer Schaumstoffbahn, die an anderer Stelle hergestellt wurde. Dieser Vergleich soll nun ergänzt werden mit den Werten, die sich aus den Ergebnissen des Vorhabens nach bisherigem Stand ableiten lassen („neues Verfahren – Stand Entwicklung“).

Als textile Ware wird jeweils eine identische Maschenware mit einem Quadratmetergewicht von 140 g/m<sup>2</sup> eingesetzt. Der durch die Beschichtung hergestellte Schaum entspricht nun nicht mehr von Gewicht und Dichte her dem herkömmlichen aufkaschierten Schaum, sondern ist um ca. 30% schwerer (bei 3 mm Höhe ca. 130 g/m<sup>2</sup> als Durchschnittswert des Praxisversuches). Hierbei bleibt zunächst noch unberücksichtigt, dass es durch die Entwicklung des Verfahrens auf der geplanten Anlage erst möglich sein wird, wesentliche Fortschritte zu machen.

Bei der Berechnung der Einsparungen wird jetzt davon ausgegangen, dass eine Jahresproduktionsmenge von 1.000.000 m beschichtete Ware mit der neuen Anlagenkonzeption zu realisieren ist. Zum besseren Vergleich wird davon ausgegangen, dass gleiche Mengen pro Zeiteinheit nach dem alten und neuen Verfahren zu produzieren sind. Um eine Verweildauer der beschichteten Ware im Spannrahmen (6 Felder x 3 m = 18 m Länge) von ca. 4-5 Minuten einhalten zu können, muss dieser 4 m/min Warengeschwindigkeit einhalten. Bei einem Nutzeffekt von 0,8 können während 5.760 Jahresstunden (3-schichtig, 48 Wochen/Jahr und 5 Tage/Woche) nur 1.100.000 m Ware produziert werden.

Die Einführung des *INNOimprägn*-Minimalauftragsverfahrens als einseitige Appretur führt zu einer Einsparung von 5 t/a Fluorcarbonharzdispersion. Nicht mitgerechnet sind die Verluste an Fluorcarbonharzdispersion, die am Ende der chemischen Appretur beim bisher üblichen Verfahren im Foulardchassis als Flottenreste zurückbleiben. Bei einem Anteil von 50 g/L Fluorcarbonharzdispersion als dem wertvollsten Bestandteil der Appreturflotte gehen bei 2 Wechseln am Tag, 240 Arbeitstagen im Jahr und 50 L Chassisvolumen 1.200 kg Fluorcarbonharzdispersi-

on verloren – ohne Berücksichtigung der Kosten für die Entsorgung entspricht dies einem Wertverlust von ca. 20.000 €/a.

Es wird von einer nass-in-nass-Beschichtung ausgegangen. Dadurch beträgt der Feuchtegehalt („Restfeuchte“) relativ bezogen auf das Gewicht der textilen Ware (Metergewicht 196 g/m) statt der im Antrag angenommenen 130% eher 150%.

Nach den bisherigen Erfahrungen setzt sich der Feuchtegehalt aus 20% Feuchte nach Vakuum-Entwässerung zuzüglich 20% Feuchte durch einseitigen Appreturauftrag und bis 110% Feuchte als Anteil der Schaumbeschichtung zusammen. Bei 1,40 m Breite der Ware und einer Schaumschichtdicke von 4 mm beim Auftrag werden 5,6 L Schaum pro Meter Ware benötigt. Bei einem Schaumlitergewicht von 75 g/L entspricht dies dem Schaumgewicht „nass“ von 420 g/m Ware. 50% davon sind der Wasseranteil der Dispersionen = 210 g/m Ware = 110%.

Beim Schaumkaschieren wird Erdgas als offene Flamme angewendet. Der Verbrauch liegt bei 6,7 m<sup>3</sup>/h, bezogen auf eine Verarbeitung von 1.200 m/h. Bei einer Warengeschwindigkeit von 20 m/min ist der spezifische Gasverbrauch 0,05 kWh/m Ware bzw. 0,17 kWh/kg Ware. Durch das Anschmelzen des Polyurethanschaumes mit der offenen Gasflamme entstehen gasförmige Verbrennungsprodukte. Zu Art und Konzentration im Abgas gibt es keine Informationen. Bei der Herstellung der Schaumstoffbahnen wird das Treibgas freigesetzt. Es wird angenommen, dass überwiegend CO<sub>2</sub> verwendet bzw. freigesetzt wird und dass der Anteil organischer Lösemittel (als Pentan) nur max. 5 Gew.% ist, diese Menge jedoch vollständig an die Atmosphäre abgegeben wird. Für das neue Verfahren der Schaumbeschichtung wird erwartet, dass neben der mechanischen Verschäumung ausschließlich noch der beim Trocknen frei werdende Wasserdampf als Treibgas ausreichend ist für die Bildung feinporiger Schaumbeschichtungen.

Nicht dargestellt ist der Energieverbrauch, der mit dem Transport des Schaumstoffes vom Hersteller und von den Textilbahnen zum Kaschierbetrieb verbunden ist. Wegen des geringen Raumgewichtes entsprechen die ca. 150 t/a Schaumstoff, die für die Herstellung von 1.000.000 m Verbundstoff benötigt werden, einem Transportvolumen von ca. 4.200 m<sup>3</sup>/Jahr, entsprechend 45 Lkw-Ladungen. Beim Umstieg vom Kaschierverfahren auf die Direktbeschichtung, die beim Textilhersteller durchgeführt wird, werden ca. 7.500 L/a Dieselkraftstoff eingespart, verbunden mit einer Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in Höhe von 23,4 t/a (3,12 kg CO<sub>2</sub>/L).

Wenn in einem Verfahrensschritt der gesamte Verbund für die Inneneinrichtung an einem Ort hergestellt wird, werden insgesamt 14.500 L/a Dieselkraftstoff eingespart, verbunden mit einer Abnahme der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Transportvorgänge in Höhe von 45 t/a. Wenn nur die Schaumstoffkaschierung an anderer Stelle durch die direkte Schaumrückenbeschichtung ersetzt wird, werden Transporte zwischen dem Schaumstoffhersteller und dem Kaschierer sowie vom Textilhersteller zum Kaschierer und damit mindestens 4.300 L Diesel bzw. 13,4 t CO<sub>2</sub>/a eingespart. Bezogen auf 1.000.000 m Textilware beträgt die Einsparung an Dieselkraftstoff 0,04 L/m. Eine Einsparung an Gasverbrauch zur Trocknung und Stabilisierung des Schaumes ist nach der-

zeitigem Stand der Entwicklung nicht möglich. Wegen des hohen Wasseranteils ist eher von einem Mehrverbrauch auszugehen.

**Tabelle 6:** Vergleichende Darstellung der Ressourcen- und Energieeinsparpotenziale am Beispiel der Ausrüstung von 1.000 m fertiger Autohimmelverkleidung

<b>Verfahrensbedingungen</b>	<b>2-stufig mit Flammkaschieren</b>	<b>neues Verfahren – Plan Antrag –</b>	<b>neues Verfahren Stand Entwicklung</b>	<b>Änderung für 1 Mio. m Jahresproduktion</b>
textile Ware (Maschenware, unbeschichtet) (140 g/m <sup>2</sup> , 1,40 m Breite, 17 m/min, 3,3 kg/min) 196 g/m	200 kg/h (1.020 m/h)	200 kg/h (1.020 m/h)  Prozesszeit: 1.960 h/a	ca. 40 kg/h 1.000.000 m/a  Prozesszeit: ca. 5.700 h/a	Bezug: 195 t/a 1.000.000 m/a gegenüber Antrag
chemische Appretur 50 g/L Fluorcarbonharz (FA = Flottenaufnahme)	zweiseitig, 60% FA 120 L Flotte/h 7,2 kg FC-Harz/h	einseitig, 20% FA 40 L Flotte/h 2 kg FC-Harz/h	einseitig, 20% FA 8 L Flotte/h 0,2 kg FC-Harz/h	-10,6 t/a Fluorcarbonharzdispersion
Zwischentrocknen 160°C, Luft-Ware-Verhältnis: 20 kg/1 kg (ohne Wärmerückgewinnung)	1.900.000 kJ/h 530 kWh/h	entfällt	entfällt	520 MWh/a Gasverbrauch (bei 1.000.000 m)
Schaumbeschichtung, 1,40 m Breite 105 g/m <sup>2</sup> Schaumgewicht 147 g/m <sup>2</sup> Schaumgewicht trocken 250 g/m <sup>2</sup> Schaumgewicht nass 2 mm Schaumhöhe 2,8 L Schaum/m <sup>2</sup> Ware (intumeszierend: +50% Schaumhöhe durch Wärmebehandlung)	entfällt	Rückenbeschichtung 250 g Schaum/m <sup>2</sup> 17 m/min 4,25 kg Schaum/min 255 kg Schaum/h Feststoffgehalt: 147 g/m <sup>2</sup> entspr. 590 k/kg Feststoffgehalt und 410 g/kg Wasseranteil	Rückenbeschichtung 420 g Schaum/m <sup>2</sup> (75 g/L Litergewicht) 4 m/min 1,68 kg Schaum/min 100 kg Schaum/h Feststoffgehalt: 210 g/m <sup>2</sup> Wassergehalt: 210 g/m <sup>2</sup>	570 t/a PU-Dispersion und Additive  (PU-Dispersion mit 50% Feststoffanteil)
Trocknung und Fixierung der Schaumbeschichtung und Appretur 150°C, Luft-Ware-Verhältnis 20 kg/1 kg, neu: mit Wärmerückgewinnung (80%) energieeffiziente Technik	entfällt	Wasser aus chemischer Appretur: 57 kg/h Wasser aus Schaumbeschichtung: 103 kg/h Summe Wasser: 160 kg/h 1.500.000 kJ/h 420 kWh/h thermische Energie	Wasser aus Restfeuchte, chemischer Appretur und Schaum: 150% 60 kg/h 565.000 kJ/h 160 kWh/h thermische Energie 912 MWh/a	800 MWh/a Gasverbrauch  20 g VOC/kg Paste entspricht 11,4 t/a VOC
Schaumkaschieren 3 mm Endhöhe 140 cm Breite Raumgewicht: 35 kg/m <sup>3</sup> bei 3.000 cm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> = 105 g/m <sup>3</sup> bzw. 147 g/m <sup>3</sup> Gasverbrauch	20 m/min 252 kg/h        6,7 m/h	entfällt	entfällt	150 t/a Schaumstoff 15 t/a VOC (als Pentan) aus der Schaumherstellung  50 MWh/a Gasverbrauch
Summe:				-10,2 t/a FC-Harz +342 MWh/a Gas -150 t/a Schaumstoff -3,6 t/a VOC +570 t/a PU-Dispersion

Bei den Berechnungen wurde nicht berücksichtigt, dass ein großer Anteil der Autohimmelware nicht mit Fluorcarbonharzen, sondern mit Flammenschutzmitteln ausgerüstet wird. Die Einsatzkonzentration der Flammenschutzmittel liegt deutlich über der der Fluorcarbonharze. Auch blieb unberücksichtigt, dass möglicherweise eine einseitige Fluorcarbonharzapplikation zur Erzielung der Wirkung eine Zwischentrocknung (IR-Feld) erfordert. Das wird sich aber erst bei den technischen Versuchen herausstellen.

## 5 WIRTSCHAFTLICHKEITSBETRACHTUNG

Auf der Basis der Ergebnisse des Beschichtungsversuches im Praxismaßstab erfolgt eine Wirtschaftlichkeitsberechnung als Gegenüberstellung der Stabilschaumbeschichtung zu einer Flammkaschierung mit einem Schaumstoff mit einem Schaumgewicht von  $28 \text{ kg/m}^3$  bzw. einem Schaumflächengewicht bei 1 mm Schaumhöhe von  $28 \text{ g/m}^2$  entsprechend  $84 \text{ g/m}^2$  bei einer Schaumstoffdicke von 3 mm. Die Daten des Versuches 4.1 wurden zugrunde gelegt, die Einsatzmengen im Pastenrezept gehen aus der nachfolgenden Tabelle hervor.

Schaumlitergewicht, nass:	75	g/L
Schaumhöhe, trocken:	2,3	mm
Schaumgewicht, trocken:	106	$\text{g/m}^2$ bzw.
Schaumlitergewicht, trocken:	46,08	g/L , entsprechend einem
Feststoffgehalt des Schaumes:	61	%

Aus diesen Daten leitet sich die nachfolgende Berechnung ab (Tabelle 7).

Diese Kostensituation bedeutet, dass sich dieser Prozess im jetzigen Stadium und für einen direkten Vergleich zu flammkaschierter Ware nicht wirtschaftlich darstellen lässt. Zum einen beträgt der Preis für einen Flammkaschierschaum in der Raumgewichtsklasse RG 28 inkl. Schneidlohn und Transport ca. 0,60 bis 0,70 €/lfm (je nach Type, Farbe und Eigenschaft), zum anderen betragen die Fertigungskosten der zu fixierenden Oberware lediglich 1/10 bis 1/15 der Verbundherstellung in diesem Projekt.

Neben der Problematik der Nachbildung der geforderten Eigenschaften, wie Stauchhärte bzw. Wiedererholung, Verformungsvermögen, Dehnbarkeit und Rückerholung nach den entsprechenden Temperaturprozessen der Verformung, liegt die größte Herausforderung in der Darstellung der Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

**Tabelle 7:** Wirtschaftlichkeitsberechnung anhand des Praxisversuches Nr. 4.1 bei der Firma Schmitz-Werke, Emsdetten

Großversuch 4.1. Schmitzwerke - Wirtschaftlichkeitsbetrachtung									
Rezeptur	PU 1330	PU 8511	461 DU 40	FO 4000	FX 8011	FO 2000	Gesamt	Einheit	Bemerkung
SOLL [g]	6870	1520	80	760	310	460	10000		
IST [g]	6870	1520	80	760	310	460	10000		
Produkt-Kosten Eur/kg	10,5	5,3	18	4,2	7,41	2,08			
Ansatz-Kosten	72,135	8,056	1,44	3,192	2,2971	0,9568	88,08		10 kg Ansatz
							8,81	Eur/kg	Nass
Feststoffgeh.(%)	61	61	100	61	61	61			
Anteiliger Feststgeh.	4190,7	927,2	80	463,6	189,1	280,6	6131,2	g	Trockenmasse
							14,37	Eur/kg	Trockenmasse
Erreichtes Trockengew.							106	g/m <sup>2</sup>	trockene Schaummasse auf 2,9 mm
<b>Materialkosten</b>							1,52	Eur	bezogen auf 106 g/m <sup>2</sup> - Schaumgewicht
<b>Veredlungskosten</b>									
Spannrahmenstd.Euro/h (2,6 Mio. Anschaff.wert)	184,11 Euro/h								
Rüstzeit	0,5 h								
Laufzeit:									
Partiegröße: (mtr)	2000								
Geschw.: (m/min)	4								
reine Laufzeit (h)	8,33								
Gesamtbelegungszeit	8,83								
Ges.Spannr. Kosten	1626,31								
Kosten/Meter	0,81								
Kosten / m <sup>2</sup> (1,50 mtr. Breit)	0,54								
<b>Summe Fertigungskosten</b>							2,06		

Die Tabelle 8 gibt eine idealisierte Berechnung des Verfahrens wieder unter der Voraussetzung des gleichen Raumgewichtes bzw. Quadratmetergewichtes des im Großversuche hergestellten Schaumes und der Annahme der identischen oder annähernd gleichen Eigenschaften im Vergleich zum flammkaschierten Schaum.

**Tabelle 8:** Idealisierte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung anhand des Praxisversuches Nr. 4.1 bei der Firma Schmitz-Werke, Emsdetten

Großversuch 4.1. Schmitzwerke - Wirtschaftlichkeitsbetrachtung										
Rezeptur	PU 1330	PU 8511	461 DU 40	FO 4000	FX 8011	FO 2000	Gesamt	Einheit	Bemerkung	
SOLL [g]	6870	1520	80	760	310	460	10000			
IST [g]	6870	1520	80	760	310	460	10000			
Produkt-Kosten Eur/kg	10,5	5,3	18	4,2	7,41	2,08				
Ansatz-Kosten	72,135	8,056	1,44	3,192	2,2971	0,9568	88,08		10 kg Ansatz	
							8,81	Eur/kg	Nass	
Feststoffgeh.(%)	61	61	100	61	61	61				
Anteiliger Feststgeh.	4190,7	927,2	80	463,6	189,1	280,6	6131,2	g	Trockenmasse	
							14,37	Eur/kg	Trockenmasse	
Erreichtes Trockengew.							84	g/m2	trockene Schaummasse auf 2,9 mm	
<b>Materialkosten</b>							1,21	Eur	bezogen auf 84 g/m2- Schaumgewicht	
<b>Veredlungskosten</b>										
Spannrahmenstd.Euro/h (2,6 Mio. Anschaff.wert)	184,11 Euro/h									
Rüstzeit	0,5 h									
Laufzeit :										
Partiegröße : (mtr)	2000									
Geschw.: (m/min)	4									
reine Laufzeit (h)	8,33									
Gesamtbelegungszeit	8,83									
Ges.Spannrr. Kosten	1626,31									
Kosten/Meter	0,81									
Kosten / m2 (1,50 mtr. Breit)							0,54			
<b>Summe Fertigungskosten</b>							1,75			

Durch die idealisierte Annahme ergibt sich ein zu erwartender reduzierter Kostenaufwand der kombinierten Verbundfertigung, der Vergleich der gesamten Bezugskosten kann jedoch erst Aufschluss über die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung geben:

**Tabelle 9:** Vergleich der Gesamtbezugskosten einer Flammkaschierung zur Stabilschaumbeschichtung

	€/lfm min.	€/lfm max.
Flammkaschierung	1,35	1,5
Stabilschaumbeschichtung, Bezug m <sup>2</sup> -Gewicht	1,75	2,06
Stabilschaumbeschichtung, Bezug lfd-Metergewicht (Warenbreite: 150 cm)	2,62	3,09
entfallende Endfixierung	0,08	0,16
<b>Differenz</b> Flammkaschierung zu Stabilschaumbeschichtung, bezogen auf lfd-Meter-Gewicht	+ 1,19	+ 1,43

Es zeigt sich, dass das Stabilschaum-Beschichtungsverfahren zum jetzigen Zeitpunkt mit erheblichen Mehrkosten (ca. 90%) gegenüber der Flammkaschierung mit fertigen Schaumstoffbahnen belegt ist. Begründet ist dies zum einen durch die Produktkosten der Ausgangsstoffe der PU-Dispersionen, deren Wasseranteil zu verdampfen ist, und auch durch die geringe Geschwin-

digkeit zur Ausbildung des Schaumes beim Beschichtungsprozess. Die Kostenberechnung fällt damit zu Gunsten des flammkaschierten Schaumes aus. Es müssen daher zusätzliche Produktvorteile eines Beschichtungsverfahrens gegenüber der Flammkaschierung bestehen, wenn ein Umstieg interessant sein soll. So könnte die Integration von Adsorbermaterialien z.B. zur Geruchsstoffeliminierung beim Gebrauch der schaumbeschichteten Waren ein Vorteil sein. Versuche zur Einarbeitung von Blähgraphit in die Schaummatrix verliefen im Laborversuch vielversprechend. Aktivkohle, die eine höhere Adsorptionskapazität aufweist, ließ sich jedoch nicht im nassen Schaum gleichmäßig verteilen und verzögerte die Trocknung. Eine Aktivkohleschicht ließ sich jedoch am Ende des Trocknungsprozesses auf der Schaumoberfläche fest auftragen. Diese Versuche sind nicht über das Laborstadium hinausgelangt.

Als weitere Einschränkung ist zu bemerken, dass auch die Auswahl der Polyurethandispersio- nen als Hauptstoff des Schaumschicht begrenzt war auf wenige Produkte eines Lieferanten, da während der ersten Laborversuchsphase das Hauptaugenmerk auf das Erreichen hoher und stabiler Schaumschichten durch die Beschichtung gelegt wurde. Der Spielraum bei der Rezept- entwicklung müsste hinsichtlich der Schaumeigenschaften aber sehr viel höher sein. So muss die weitergehende Rezeptentwicklung vernetzende und/oder härtere Polyurethane berücksich- tigen, da insbesondere die Schaumelastizität und Rückerholung nach einer Druckbelastung verbessert werden müssen. Eine Stunde „Wartezeit“ zur Beurteilung der Rückerholung der Schaumhöhe, wie sie nach einer Druckbelastung in den Laborversuchen festgelegt war, ent- spricht nicht dem Praxistest bei der Herstellung der Autohimmelteile, wo eine sofortige Rücker- holung als Bedingung üblich ist.

Beim Praxisversuch zeigte sich, dass ein Schaumlitergewicht des nassen Schaumes durchaus auf 50 g/L eingestellt werden kann. Die verfahrenstechnischen Gegebenheiten des Praxisbe- schichtungsversuches (ein Schaumauftrag mit Überdruck war nicht möglich) erforderten jedoch ein höheres Schaumlitergewicht von mindestens 75 g/L. Hier ist eine Steigerung um bis zu 50% vorstellbar, was nicht nur einer entsprechenden Reduktion an Feststoff und damit Polyurethan- dispersion, sondern auch an zu verdampfendem Wasser zur Folge hat. Unter Umständen kann sich dies auch auf eine Erhöhung der Warengeschwindigkeit bei der Beschichtung und damit Steigerung der Produktionsmenge auswirken.

Um ein ökonomisches Niveau zu erreichen, das auch im Bereich der Automobilzulieferer Be- stand haben kann, ist es schlussendlich erforderlich, den Bereich der flammkaschierten Kosten zu erreichen bzw. zu unterschreiten. In der obigen Betrachtung sind noch keine Verlustrech- nungen durch Anfahr- und Auslaufmengen enthalten, die zum derzeitigen Stand des Projektes noch nicht beurteilt werden können.

## 6 ZUSAMMENFASSENDE DISKUSSION

Zum Minimalauftragsverfahren:

Die Idealvorstellung des Minimalauftrages konnte nur bedingt erreicht werden. Erste Versuche mit Rasterwalzentechnik in einem großtechnischen Maßstab (Fa. Kroenert, Hamburg) haben gezeigt, dass das Konzept des Minimalauftrages nicht ohne Weiteres auf elastische Maschenwaren übertragbar ist, wenn eine hohe Spannung an der Warenbahn nicht vermieden werden kann (Die Praxisanlagen im Versuchstechnikum der Fa. Kroenert sind auf die Beschichtung von Papierbahnen ausgelegt). Die Konstruktion des Artikels, die Textur des Garnes, die Kapillarität und die Geschlossenheit eines Maschenwarenartikels machen einen Auftrag von wässrigen Imprägnierlösungen in sehr geringer Auftragsmenge (< 30% bezogen auf das trockene Warengewicht) schwierig hinsichtlich der Erzielung eines einheitlichen Auftragbildes. Zusätzlich zu den Warenparametern beeinflusste auch eine Geschwindigkeitsänderung eine Änderung des Auftragbildes. Insbesondere die Idee des einseitigen Auftrages auf Maschenwaren mit geringem Flächengewicht stellte hierbei eine enorme Herausforderung dar.

Die Möglichkeit, die Auftragswalze sowohl im Warenlauf als auch gegen den Warenlauf drehen zu lassen, gibt zwar eine gewisse Flexibilität, jedoch ist die Anwendung dieser Option je nach Artikel nur begrenzt einsetzbar. Außerdem sind die am Markt befindlichen Systeme der Rasterwalzentechnik noch mit einem relativ großen Restflottenvolumen verbunden, das nach der Behandlung als Abfallmenge zu beachten ist.

Daher wurden intensive Versuchsreihen an der Universität Wuppertal notwendig, um ein System zu konstruieren, das es erlaubt, einen friktionsfreien Auftrag zu realisieren. Damit können die Voraussetzungen erfüllt werden, um elastische Maschenwaren verzugsfrei zu behandeln. Dies konnte letztlich durch eine Rasterwalze mit einer Liniengravur erfolgen (siehe Ausführungen Seite 15). Leider kam es während der Projektlaufzeit nicht zu einer Umsetzung dieser Laboranlage in eine industrielle Lösung, anhand der dann Durchbiegung der Walzen, Dichtigkeit und Gleichmäßigkeit des Flottenauftrages sowie die Spannungsverhältnisse über die Warenbahn und auch über die Partielänge erprobt werden konnten. Dies blieb, neben dem technisch abschätzbaren Risiko, das durch die entsprechenden Laborversuche soweit als möglich eingegrenzt wurde, ein offener Punkt, der insbesondere in Bezug auf die Dauerzuverlässigkeit in diesem Projekt nicht geklärt werden konnte.

Es zeigte sich in den Labor-Versuchen, dass keine Beziehung der Aufnahme im Verhältnis zum Warengewicht ermittelt werden konnte. Ferner konnte durch die nicht zur Verfügung stehende Praxisanlage auch nicht geklärt werden, welche Veränderungen hinsichtlich der Ausführung der Rasterwalze notwendig sein werden, um Unterschiede in der Flottenaufnahme auszugleichen, die beispielsweise durch die Viskosität, die Oberflächenspannung bzw. Netzfähigkeit der wässrigen Lösungen beeinflusst werden können, hervorgerufen durch unterschiedliche Gehalte verschiedenartiger Appreturchemikalien.

Versuche bei einem Maschinenhersteller eines der Laboreinrichtung ähnlichen Systems (Fa. Zimmer, Klagenfurt/A) konnten die Laborversuche mit der Rasterwalzentechnik vom Prinzip her bestätigen, zeigten aber auch, dass unterschiedliche Rasterwalzeneinstellungen in Bezug zur vorgewählten Ware und zum Flottenaufnahmeverhältnis für Standardapplikationen erforderlich waren. Allerdings blieb die Frage offen, inwiefern ein Zusetzen der Rasterwalzen bei Serienpartien und unter Dauerbelastung, insbesondere bei ausreagierenden Appreturen erfolgt. Auch Variationen der Geschwindigkeit und die möglichen Auswirkungen auf das Auftragsbild konnten bei diesen praxiskonformen Versuchen nicht untersucht werden.

Dennoch zeigen alle Versuche mit Rasterwalzensysteme eine positive Tendenz zur Entwicklung eines äußerst Ressourcen schonenden Verfahrens.

Die Idee eines zweiseitigen Auftrages konnte als Realisierungsoption durch entsprechend angelegte Laborversuche ebenfalls realisiert werden. Es gelten jedoch die Einschränkung der zuvor genannten Parameter der Wareneigenschaften, wie Textur, Oberflächenspannung, Konstruktion und Gewicht sowie der Rasterwalzen, wie Durchmesser, Oberfläche, Umfangsgeschwindigkeit, Drehrichtung und Warengeschwindigkeit. Dies macht weitere Arbeiten und Untersuchungen notwendig, um die Beziehungsrelationen zu untersuchen und damit ein geeignetes Auftragsystem mit entsprechender Praxistauglichkeit zu entwickeln.

Bei einer Betrachtung anderer Minimalauftragsverfahren sind in der Praxis durchaus Alternativen zu finden. Sprühanwendungen sind hinsichtlich ihres Gefahrenpotenzials einer Aerosolbildung bei den vorgesehenen Applikationssubstanzen als kritisch einzustufen. Auch bezüglich der sich durch die Sprühdüsen oder Schleuderteller ergebenden Überlappungen der aufgesprühten Flüssigkeiten haben derartige Systeme Nachteile in der Auftragsgleichmäßigkeit. Ebenso müssen die Substanzen sprühfähig sein und dürfen keine Schaumneigung zeigen. Derartige Applikationstechniken wurden aus diesen Gründen auch nicht betrachtet.

Die untersuchte Auftragstechnik der Rasterwalzentechnik zum Minimalauftrag zeigte insgesamt gesehen einige interessante Ansatzpunkte für die Praxis, die jedoch weiterer Absicherungen und Vorkehrungen bedürfen. Einerseits ist das Geschwindigkeitsspektrum der Produktion so abzudecken, dass ein gleichmäßiger Auftrag der Appreturflotte in minimaler Menge über einen weiten Variationsbereich ermöglicht wird und auch Anfahr- und Auslaufsituationen zu gewährleisten sind. Andererseits ist die Variabilitätsbreite der Rasterwalzen zu ermitteln, die eine Beschränkung auf möglichst wenige Typen ermöglicht, jedoch die Produktionspalette mit unterschiedlichsten Maschenwaren und Appreturen abdecken muss.

Nicht zuletzt aus diesen Gründen und weil noch kein geeignetes Rasterwalzensystem verfügbar ist, hat sich der Projektantragsteller dazu entschlossen, ein modernes, optimiertes Zwickel-Foulardauftragsverfahren mit reduziertem Inhalt zu installieren, um die Vorteile einer sicheren Auftragstechnik mit der Variabilität der in der Praxis verwendeten Artikel zu verbinden.

### Zur Schaumbeschichtung:

Eine vorhandene Technologie nachzuahmen, ist immer eine entsprechend hohe Herausforderung. Im Falle der Flammkaschierschäume muss konstatiert werden, dass die Nachbildung der Eigenschaften dieser Schäume über eine Beschichtung der Textilien mit verschäumten Polyurethandispersionen nicht gelungen ist. Dehnung und Wiedererholung sind bei einem Flammkaschierverfahren unerreicht, wenngleich die Wiedererholung nach der hier gewählten Test-Methode je nach Schaumlitergewicht nahe an die des Flammkaschierschaumes herangeführt werden konnte. Hohe Schaumlitergewichte bringen aber hohe Substanzeinsatzmengen mit sich und belasten damit die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Die Elastizität des fertigen Schaumes, der über eine Flammkaschierung an die Textilbahn angefügt und fest verbunden wird, ist durch das Herstellverfahren festgelegt und damit in der Textilbeschichtung (Kaschierung) nicht mehr flexibel. Der durch ein Beschichtungsverfahren applizierte Schaum kann in seiner Elastizität jedoch an das Textilmaterial angepasst werden.

Über die Projektergebnisse hinausgehende Erfolge sind nur über eine chemische „Umformulierung“ der Einsatzstoffe möglich, die zum einen die kurzfristige Widerstandsfähigkeit (Sofort-erholung nach Belastung) und zum anderen auch eine preisliche Optimierung ermöglichen.

Im Bereich der automobilen Zulieferkette ist die Abnahmesituation für das vom Antragsteller belieferte Segment äußerst preisgetrieben. Ein neues Verfahren kann daher nur eine Akzeptanz erreichen, wenn sowohl die technischen Spezifikationen als auch preisliche Vorteile erreicht werden. Hohe Schaumlitergewichte bringen aber hohe Substanzeinsatzmengen mit sich und schlagen sich damit auf die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens nieder. Bei geringen Schaumlitergewichten ist das Delta zwischen Soll-Erholung und Ist-Erholung zu hoch, um die preisliche Lücke zwischen Flammkaschierschaum und Beschichtungsschaum zu schließen.

Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Wiedererholung nur mit beschränkten labortechnischen Mitteln durchgeführt werden konnte, daher auch nur „Handmuster“ oder DIN A4 Muster zur Verfügung gestellt werden konnten, um diese Näherungsdaten zu ermitteln. Da aufgrund der produktionstechnischen Gegebenheiten des Maschinenherstellers keine Pilotanlage während der Projektlaufzeit zur Verfügung stand, um Muster im großtechnischen Maßstab zu erstellen, und die in Praxisversuchen hergestellten Muster entweder nur imprägniert oder nur beschichtet waren sowie nach keinem optimierten Verfahren hergestellt waren, bleibt letztlich auch die Frage offen, ob diese zuversichtlich stimmenden Daten aus getrennten Versuchen auch tatsächlich im produktionstechnischen Maßstab in direkt hintereinander folgenden Schritten als „nass-in-nass“-Verfahren erreicht werden können.

Somit bleibt es denn auch fraglich ob die erforderliche kurzzeitige Rückerholung der Schaumbeschichtung nach Belastung erreicht wird. Dies ist eine für die Akzeptanz des Verfahrens sehr wichtige Frage, da der Weiterverarbeiter in der Verarbeitungsfolge immer ein Verfahren bevorzugen wird, dass ihm eine schnelle und zuverlässige Qualitätsbeurteilung erlaubt und damit das Risiko einer möglichen Qualitätseinbuße minimiert.

Abgesehen davon sind die Aufwendungen für die Freiprüfung neuer Verfahren mit zum Teil hohen Kosten verbunden.

Die Versuche zur Ermittlung der verfahrenstechnischen Voraussetzungen haben gezeigt, dass eine gezielte Luftführung für die Entwicklung der Schaumhöhe und der Schaumkonsistenz von nicht unerheblicher Bedeutung ist. Der Praxisversuch auf einem konventionellen Spannrahmen sowie die Untersuchungen auf einem kleintechnischen Versuchstand des Maschinenherstellers konnten dies, wenn auch mit eingeschränkten Mitteln, deutlich zeigen. Des Weiteren sind für die Entwicklung der Widerstandsfähigkeit und der Schaumhöhe intumeszierende Substanzen notwendig, die im Kostengefüge einen deutlichen Kostenfaktor darstellen. Die Entwicklung von alternativen, intumeszierenden Substanzen ist notwendig, um das Kostengefüge positiv zu beeinflussen.

Selbst wenn eine optimierte Energieausbeute der neuen Spannrahmengeneration angenommen wird, bleiben die erzielbaren Geschwindigkeiten in einem geringen Geschwindigkeitsbereich (ca. 3,5 bis 4 m/min) und führen zu einer Wirtschaftlichkeitsrechnung, die die Schaumerzeugung auf dem Spannrahmen nachteilig darstellt.

Neben diesen Aspekten sind die Voraussetzungen für möglichst friktionsfreies Auftragen der Beschichtungsmasse von hoher Bedeutung für die Beschichtung von Maschenwaren. Das spannungsfreie Führen der Ware ist maschinentechnisch gelöst, wie erste Installationen der neuen Spannrahmengeneration zeigen. Welche Anwendungsbreite dagegen erforderlich wird, um das Spektrum der heute verwendeten Schaumraumgewichte abzubilden und welche Konsistenzen hieraus entstehen im Hinblick auf Viskosität, Scherempfindlichkeit, Lufteinschlussthemen etc., ist noch nicht ausreichend geklärt.

Es bedarf außerdem eines chemischen „Baukastens“, um den „individuellen Schaum“ nachzubilden, der das Eigenschaftsprofil des Flammkaschierschaumes wiedergibt. Wie sich letztlich die Kostensituationen über diese breite Varianz darstellt, ist noch nicht abzusehen.

Zur Wirtschaftlichkeit des innovativen Verfahrens:

Dadurch, dass die Trocknungs- und Stabilisierungszeit für die Stabilschaumbeschichtung mehr als doppelt so lange ist, wie im Antrag angenommen, und deshalb erheblich mehr thermische Energie erforderlich ist, ist die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens derzeit in Frage gestellt. Inwiefern eine Optimierung der Schaumrezeptur und auch des Verfahrens, die durchaus für möglich gehalten werden, zu einer wesentlichen Verbesserung führen kann, konnte im Rahmen des Vorhabens alleine anhand der Laboruntersuchungen nicht geklärt werden. Jedoch ergibt sich auch bei einem Ansatz einer idealisierten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit den heute zur Verfügung stehenden Ausgangssubstanzen ein Nachteil der wässrigen Schaumerstellung zur Flammkaschierung von 30 bis 40% zusätzlichen Kosten. Dies ist ein Nachteil, der am Markt nicht durchsetzbar ist. Um diesen Nachteil zu eliminieren, müssten Alternativsubstanzen auf einem niedrigeren Preisniveau zur Verfügung stehen und die Schaumentwicklung hinsichtlich der benötigten Zeit optimiert sein, um das Verfahren einer Kostenakzeptanz zuzuführen, wobei

der Prozesssicherheitsfaktor noch nicht beurteilt werden kann. Sicher ist aber, dass diese Technik einer weiteren Entwicklung und Betrachtung bedarf, um abschließend beurteilt werden zu können.

Die hier getroffenen Aussagen können sich daher nur auf den derzeitigen Stand der Untersuchungen beziehen. Bei dieser „einfachen Beschichtung“ sind jedoch noch einige ungelöste Aspekte unberücksichtigt geblieben. Geruchsbindung, Aufbringung weiterer Schichten und andere zusätzliche Effekte erhöhen die Komplexität der Entwicklung eines neuartigen Fahrzeughimmels und setzen großtechnische Versuchseinrichtungen voraus, wie sie im Vorhaben bisher nicht zur Verfügung standen. Auch die Ermittlung von Inhaltsstoffen in den Schäumen, die rezeptbedingt und auch in Abhängigkeit von den Verfahrensbedingungen zu Emissionen führen können, sowie gegebenenfalls deren Vermeidung bzw. Beseitigung ist im Labormaßstab nicht durchzuführen und bedarf einer Simulation auf einer Praxisanlage, um zuverlässige Ergebnisse und Rückschlüsse zu ziehen.

Es kann zusammenfassend konstatiert werden, dass die Dimension der notwendigen Untersuchungen und der Entwicklungen zu Beginn des Vorhabens unterschätzt wurden. Dies muss auch unter dem Gesichtspunkt einer sich kontinuierlich ändernden Marktentwicklung betrachtet werden; die europäische Marktschwäche bei Mittelklassefahrzeugen erlaubt keine Lösungen, die das derzeitige Preistarget der OEM's überschreiten.

Angesichts der noch zu klärenden Fragen ist aber ein noch weites Untersuchungsfeld offen, das eine weitergehende intensive Beschäftigung mit dem Thema erfordert. Eine kurzfristige Vermarktung wird daher nicht in Aussicht stehen und die Vorleistungen sind mit enormen Kraft- und Kostenanstrengungen verbunden, die der Mittelstand so nicht leisten kann, zumal sich eine Return-of-Invest-Rechnung auch auf mittelfristige Sicht nicht darstellen lässt.

Die erforderliche Entwicklung der chemischen Ausgangsstoffe scheint hier ebenso ein Problem für die – ebenfalls mittelständischen – Lieferanten zu sein. Offensichtlich wird das Potenzial für derartige Entwicklungen nur als gering eingeschätzt, weswegen Entwicklungsvorleistungen im Bereich der chemischen Produkte und Dienstleistungen nur zurückhaltend aufgebracht werden können.

Auch für den Maschinenlieferanten sind umfangreichere Entwicklungen notwendig, die das ursprünglich angenommene Maß deutlich überschreiten werden.

Aus Sicht des Antragstellers ist ein Erfolg nur dann erreichbar, wenn alle Partner eine Vision verfolgen und auch beibehalten können, wie sie dem Vorhaben ursprünglich zugrunde lag. Dies setzt aber voraus, dass diese Vision, die zugegebenermaßen weit vorausgegriffen ist, auch als längerfristige Entwicklungsaufgabe betrachtet wird. Ein kurzfristiger Erfolg ist bei diesem Anspruch nicht vorauszusetzen. Dies wurde anfänglich unterschätzt. Infolgedessen musste es zwangsläufig zur Beendigung des Vorhabens zu einem Zeitpunkt kommen, bei dem die Innovationen erkennbar waren, das Ziel jedoch bei einem Vergleich mit bestehenden Schaumverbundstoffen in jeglicher Hinsicht als nicht erreichbar erkannt wurde.