



FKM-Walzentechnik
Dr. Freudenberg GmbH

Entwicklung
Konstruktion
Fertigung
Beschichtung



**BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL**

Abschlussbericht zum Projekt

**„Verfahrensentwicklung und -erprobung eines auf Ronden-
technik basierenden, intensiv saugenden Vliesstoffmantel-
systems für hohe Wasch- und Entwässerungsleistung mit
dem Ziel der Einsparung von Energie und Waschwasser
und der Vermeidung von Emissionen“**

RondoExtraktSystem

DBU 33610

Antragsteller: Fa. FKM Walzentechnik Dr. Freudenberg GmbH¹⁾

Stempelstraße 2-4, 47167 Duisburg

Kooperationspartner: Bergische Universität Wuppertal (BUW)²⁾

Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik

Fachgebiet Sicherheitstechnik/Umweltschutz

Rainer-Gruenter-Str. 21, 42119 Wuppertal

Durchführungszeitraum: 01. Januar 2017 bis 31. Dezember 2019

Ulrich Freudenberg¹⁾, Jan Malluche¹⁾, Stefan Krebs¹⁾, Joachim M. Marzinkowski
Ganna Reznik²⁾, Matthias Kaul²⁾, Eberhard Schmidt²⁾

30. Januar 2020

Kurzfassung

Das Projektziel, das in einer Reduzierung des Wassergehalts von textilen Warenbahnen und damit auch in einer Einsparung von Wärmeenergie zur Trocknung der Materialbahnen, dabei auch von Treibhausgasemissionen, angestrebt wurde, wird mit einer Konstruktion der Vliesstoffwalze auf Basis von Polyvinylalkoholfaserstoffen (PVA) erreicht. Im Rahmen dieses seit 2017 von FKM in Kooperation mit dem Institut für Partikeltechnologie durchgeführten DBU-Projekts wurden verschiedene Walzenvliesstoffe anhand unterschiedlicher zu entwässernder Textilien und in verschiedenen Anordnungen von Vliesstoffwalzen zu Gummiwalzen untersucht. Die PVA-Vliesstoffwalze bietet hinsichtlich Entwässerungsleistung und auch zur chemischen Beständigkeit optimale Eigenschaften. Gegenüber herkömmlich angeordneten Vliesstoffronden konnte durch die gezielte Kombination von Material und Anordnung eine Reduzierung des Feuchtegehalts cellulosischer Warenbahnen (saugfähige Papiere) um beispielsweise 70 % im nicht optimierten kleintechnischen Maßstab erreicht werden. Die gewonnenen Ergebnisse wurden dem neu entwickelten Vliesstoffwalzensystem ROLLENBOX zugrunde gelegt, das als Pilotanlage unter Praxisbedingungen eingesetzt wird. Erste Resultate zum Einsatz bei der Herstellung von nassvernadeltem Vliesstoff entsprechen den Erwartungen. Eine abschließende Bewertung konnte im Durchführungszeitraum nicht mehr erfolgen.

Der Einsatz der Vliesstoffwalze in kontinuierlich ablaufenden Waschprozessen von Warenbahnen aus cellulosischen und synthetischen Faserstoffen war wegen des alkalischen pH-Werts und der gleichzeitig hohen Temperatur des Waschwassers und dem damit verbundenen schnelleren Verschleiß der Vliesstoffwalze nicht wirtschaftlich darstellbar und musste daher als Projektziel aufgegeben werden. Anders verhält es sich mit der Entwässerung von Textilbahnen, die nach einem Abpressen des Wassers aus der Ware noch einen Feuchtegehalt von 55 % (PES) bis 70 % (CO, CV) enthalten und für einen Additivauftrag von Veredlungskemikalien eine weitergehende Entwässerung benötigen. Wenn diese durch Vakuumtechnik, z. B. bei offenen und sehr leichten Waren, nur wenig effektiv durchzuführen ist, kann eine Vliesstoffwalze vorteilhaft eingesetzt werden.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1. Problemstellung und Zielsetzung	7
2. Voruntersuchungen zur Eignung ausgewählter Vliesstoffe	9
3. Untersuchungen zur Saugfähigkeit von Walzenvliesstoffen	14
4. Untersuchungen zum Aufnahme- und Abgabeverhalten von Wasser durch die Walzenvliesstoffe	16
5. Untersuchungen zur Beständigkeit der Walzenvliesstoffe gegenüber unterschiedlichen wässrigen Medien und Bedingungen	22
6. Ergebnisse von Dauerbelastungstests der PVA-Vliesstoffwalze und zum Einfluss von im Wasser enthaltenen organischen Stoffen aus Vorbehandlungen der zu entwässernden Textilbahnen	26
7. Untersuchungen zum Einsatz der Vliesstoffwalze bei der Nachreinigung von Textilbahnen im Anschluss an deren Kontinuewäsche	38
8. Simulation der Entwässerung von Hygienevliesstoffen mittels Papiertuch ...	40
9. Reinigung der Vliesstoffwalze von Ablagerungen	41
10. Vergleichsversuche zum Einfluss der Hoch/Tief-Topographie auf die Entwässerungsleistung der Vliesstoffwalze	45
11. Konzeptionierung und Modellbetrachtung zum Einsatz von Vliesstoffwalzen zur Entwässerung von nassverdichteten Vliesstoffwaren – Praxiseinsatz der Rollenbox	49
12. Ökologisch-ökonomische Betrachtung zum Einsatz der Vliesstoffwalze bei der Entwässerung von nassverdichteten Vliesstoffen	52
12.1 Umweltaspekte und Sachbilanz zur Herstellung von PVA-Vliesstoffwalzen ...	52
12.2 Ökologisch-ökonomische Betrachtung des Einsatzes der Vliesstoffwalze zur Entwässerung von nassverdichteten, sehr leichten Vliesstoffen und Nachreinigung von Textilbahnenstoffen nach einer kontinuierlichen Wäsche	57
13. Zusammenfassende Diskussion und Schlussfolgerungen	60

Abbildungsverzeichnis	Seite
Abbildung 1: Schematische Darstellung zum Einsatz einer mit Vliesstoff ummantelten Walze zur Steigerung der Entwässerungsleistung flächiger Textilbahnen (z. B. Vliesstoff); omegaartige Umschlingung der Warenbahn, Stahlwalze zur Entwässerung des Vliesstoffmantels in „6-Uhr-Position“	9
Abbildung 2: Schematische Darstellung zum Einsatz Vliesstoffwalze zur Untersuchung der Entwässerungsleistung flächiger Textilbahnen (z. B. Vliesstoff) in vertikaler Anordnung zu einer Gegenwalze mit Hartgummibezug	10
Abbildung 3: Graphische Darstellung des Restfeuchtegehalts [%] für drei ausgewählte Vliesstoffe als Testmaterialien (Bezeichnung: „1“, „4“, „120“) in Abhängigkeit von der Linienkraft mit der PVA-Vliesstoffwalze (II)	12
Abbildung 4: ESEM-Aufnahme von der Walzenvliesstoffprobe PVA (II); Flächenquerschnitt in Längsrichtung der Vliesstoffwarenbahn	13
Abbildung 5: Anordnung zur Untersuchung der Netzfähigkeit der Walzenvliesstoffe über die Steighöhe von wässrigen Lösungen	15
Abbildung 6: Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Vliesstoffprobe („PVA“ II) unter Einwirkung von Feuchtigkeit; links: vor der Feuchteinwirkung, rechts: nach 6 Sekunden Einwirkung der Feuchte des bei 5 °C gebildeten Nebels	15
Abbildung 7: Foto einer Vliesstoffwalze mit alternierenden, im Durchmesser unterschiedlichen Ronden desselben Vliesstoffmaterials	16
Abbildung 8: Entwässerungsleistung als Restfeuchtegehalt [%] der drei Testmaterialien „1“: Baumwolle/Polyester 40/60, „4“: Baumwolle/Polypropylen 50/50 und „120“ Viskose/Polyester 20/80 bei den Linienkräften 1 N/mm, 3 N/mm und 5 N/mm, mit denen die Vliesstoffwalze gegen die Gummiwalze gedrückt wird und für die drei Vliesstoffwalzen I) CV/PES/NBR, II) PVA und IV) PES/NBR	17
Abbildung 9: Restfeuchtegehalt [%] der drei Testmaterialien „1“: Baumwolle/Polyester 40/60, „4“: Baumwolle/Polypropylen 50/50 und „120“ Viskose/Polyester 20/80 bei der Linienkraft 3 N/mm, mit denen die Vliesstoffwalze IV) PES/NBR gegen die Gummiwalze gedrückt wird, und der Warengeschwindigkeit 3 m/min	19
Abbildung 10: Restfeuchtegehalt [%] des Testmaterials „120“ Viskose/Polyester 20/80 bei der Linienkraft 3 N/mm, mit denen die drei Vliesstoffwalzen I) CV/PES/NBR, II) PVA und IV) PES/NBR gegen die Gummiwalze gedrückt wird; Warengeschwindigkeit 3 m/min	20
Abbildung 11: Relative Änderung der Dichte des Walzenvliesstoffs II) PVA durch eine sieben-tägige Behandlung in unterschiedlichen wässrigen Medien in Abhängigkeit von der Temperatur der Behandlung	23
Abbildung 12: Versuchsstand für Dauerversuche zur Entwässerung bzw. zur Untersuchung von Stofftransporten aus dem Endlostextil in die Vliesstoffwalze und umgekehrt ..	27
Abbildung 13: Schematische Darstellung zum Einsatz der Vliesstoffwalze für eine Nachreinigung von Textilbahnen am Ende eines kontinuierlich geführten Waschprozesses vor dem zur Entwässerung der Warenbahn eingesetzten Gummiwalzenpaar; Frischwasserauftrag auf die Vliesstoffwalze; Warenbahnführung mit halber Umschlingung der Vliesstoffwalze an der unteren Hälfte; Zirkulation des Waschwassers mit Überlauf zur Waschmaschine als Waschwasser im Gegenstrom zur Ware	39
Abbildung 14: Einrichtung zur Benetzung und Entwässerung von Papierbahnen mit Omega-Umwicklung der Vliesstoffwalze (obere Walze)	40
Abbildung 15: Versuchsstand zur Durchführung von Dauerversuchen zur Entwässerung von Textilbahnen, Einstellung zum Spülen/Reinigen der Vliesstoffwalze	42
Abbildung 16: Verlauf der CSB-Konzentration des Kreislaufwassers zur Reinigung der Vliesstoffwalze bei 25 °C und mit 10 L Wasser je Zyklus von jeweils 3 Stunden Dauer	43
Abbildung 17: Hartnäckige Verschmutzung der Mantelfläche der Vliesstoffwalze durch die Entwässerung eines schwarzen Vliesstoffs	44

Abbildung 18: Arithmetische Mittelwerte für die Restfeuchte von Testmaterial 120 in Abhängigkeit vom Liniendruck bei der Entwässerung der Testmaterialproben zwischen PVA-Vliesstoffwalze und Gummiwalze; „v“ = ursprünglicher Zustand der Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie, „n“ = neuer Zustand nach mechanischem Abtragen der Hoch/Tief-Mantelschicht	46
Abbildung 19: Modellartige Vorstellung zur Entwässerung eines sehr leichten, offenporigen Textilmaterials an der Oberfläche einer Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie	48
Abbildung 20: 3D-Zeichnung des Vliesstoffwalzensystems für den Einsatz am Band vor dem Trockner einer Muster- und Kleinproduktionsanlage zur Nassverfestigung von Vliesstoffen	49
Abbildung 21: Varianten zur Fahrweise der Vliesstoffwalze in der Rollenbox links: Nip-Fahrweise, Mitte: Ω -Fahrweise, rechts: ohne Vliesstoffwalze	50

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eigenschaften der ausgewählten Walzenvliesstoffe (Reißfestigkeit/Dehnung mit Probenbreite 50 mm, LR: Längsrichtung, QR: Querrichtung)	11
Tabelle 2: Mittelwerte der Restfeuchte der Testvliesstoffe „1“, „4“ und „120“ in Abhängigkeit von der Linienkraft beim Anpressen der Gummiwalze an die beiden Vliesstoffwalzen „CV/PES/NR“ (I) und „PVA“ (II)	17
Tabelle 3: Feuchtegehalt und Wasserrückhaltevermögen einiger Faserstoffe	18
Tabelle 4: Ergebnisse zu Wasseraufnahme und Wasserabgabe der vier Walzenvliesstoffe ...	21
Tabelle 5: Restfeuchte [%] eines Vliesstoffs („schwarz“) nach dem Abquetschen durch das Walzenpaar Gummiwalze/PVA-Vliesstoffwalze (II) zu verschiedenen Linienkräften	21
Tabelle 6: Zusammensetzung und Eigenschaften der wässrigen Lösungen zu Beginn der Untersuchungen	22
Tabelle 7: Änderung der Parameter CSB, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit der wässrigen Lösungen, in die jeweils 0,6 g-PVA-Vliesstoffproben bei unterschiedlicher Temperatur und einer Verweildauer von 7 Tagen eingelegt waren; LW = Leitungswasser, dW = destilliertes Wasser, OH = wässrige Natronlauge-lösung pH 10, H = wässrige Salzsäurelösung pH 3, T = wässrige Waschmittel-lösung, H ₂ O ₂ = wässrige Peroxidlösung	24
Tabelle 8: Relative Änderung der Dichte von Vliesstoffeinzelproben und CSB-Dynamik in Abhängigkeit der Temperatur. Zu untersuchender Walzenvliesstoff: II) PVA; Prüfflüssigkeit: Leitungswasser	25
Tabelle 9: Änderung der CSB-Konzentration von 10 L Leitungswasser bei der Behandlung einer Vliesstoffwalze aus PVA (II) über 5 Tage bei einer Temperatur von 50 °C	26
Tabelle 10: Chemische Charakterisierung der für den Dauerversuch eingesetzten Tenside und des Waschwassers aus der industriellen Rohwarenwäsche von Polyester-maschenware; Tenside: Handelsübliche Hilfsmittel für die industrielle Wäsche von Polyestertextilien	28
Tabelle 11: Ergebnisse der Dauerversuche mit 100 % Polyester-maschenware 200 cm Länge und Gewicht: 170 g; Anwendung unterschiedlicher Testlösungen mit nichtionogenem (Tensid N) bzw. anionischen Tensid (Tensid A) und „Schmutzwasser“; Referenz: nur entionisiertes Wasser (alle Ergebnisse sind Mittelwerte aus Dreifachuntersuchungen)	29
Tabelle 12: Berechnung des verfügbaren freien Volumens der Vliesstoffwalze II) PVA und des spez. CSB der Präparation von der Faserherstellung (allgemein)	31
Tabelle 13: Ergebnisse und Auswertung zum Referenz-Dauerversuch (nur Stadtwater).....	32
Tabelle 14: Ergebnisse und Auswertung zur Reinigung der Vliesstoffwalze mit Wasser nach dem Referenz-Dauerversuch	32
Tabelle 15: Ergebnisse und Auswertung zum Dauerversuch mit nichtionogenem Tensid	33

Tabelle 16:	Ergebnisse und Auswertung zur Reinigung der Vliesstoffwalze mit Wasser nach dem Dauerversuch mit nichtionogenem Tensid	33
Tabelle 17:	Ergebnisse und Auswertung zum Dauerversuch mit Schmutzwasser	34
Tabelle 18:	Ergebnisse und Auswertung zur Reinigung der Vliesstoffwalze mit Wasser nach dem Dauerversuch mit Schmutzwasser	34
Tabelle 19:	Ergebnisse und Auswertung zum Dauerversuch mit anionischem Tensid	35
Tabelle 20:	Ergebnisse und Auswertung zur Reinigung der Vliesstoffwalze mit Wasser nach dem Dauerversuch mit anionischem Tensid	35
Tabelle 21:	Ergebnisse von je zwei Reihen zur Untersuchung der Affinität des nichtionogenen und des anionischen Tensids gegenüber dem Walzenvliesstoff PVA (II) bei Raumtemperatur und bei 35 °C	37
Tabelle 22:	Ergebnisse von drei hintereinander folgenden Versuchen zur Nachreinigung von Polyesteramaschenware durch Benetzung von Polyesteramaschenware mit Wasser und Entwässerung über die Vliesstoffwalze	38
Tabelle 23:	Ergebnisse zum Restfeuchtegehalt von in Wasser getauchten und über die Vliesstoffwalze mit Omega-Umwicklung entwässerten, handelsüblichen Papierbahnen	41
Tabelle 24:	Maßänderung des Testmaterials 120 beim Entwässern nach ISO 3759 als Funktion der Linienkraft beim Pressen der Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie im Vergleich zur Vliesstoffwalze nach dem Abtragen der Hoch/Tief-Oberfläche	47
Tabelle 25:	Restfeuchte von Walzenvliesstoff II) PVA in Abhängigkeit von der Linienkraft beim Pressen als Vergleich der PVA-Vliesstoffwalze mit und ohne Hoch/Tief-Topographie	47
Tabelle 26:	Entwässerungsleistung als Feuchtegehalt % der Vliesstoffwalze im Vergleich zur Vakuum-Saugtechnik für einen schwarzen Vliesstoff mit dem Flächengewicht 150 g m ⁻² , Warengeschwindigkeit: 8 m/min	50
Tabelle 27:	Entwässerungsleistung als Feuchtegehalt % der Vliesstoffwalze im Vergleich von Labor- und Technikumsversuch für einen schwarzen Vliesstoff mit dem Flächengewicht 95 bzw. 150 g m ⁻² bei vergleichbarer Geschwindigkeit (3 bzw. 5 m min ⁻¹); jeweils Nip-Fahrweise; Vliesstoffwalze: PVA (II), Hoch/Tief-Topographie	51

1. Problemstellung und Zielsetzung

Bei der Herstellung von Vliesstoffen wird Wasser in großer Menge zur Verdichtung bzw. Erzeugung einer Wirrlage der Vliesstoffe in einer Größenordnung von bis zu 10 Liter Wasser pro kg Textil eingesetzt. Vor der Trocknung muss das Wasser weitgehend von den Warenbahnen entfernt werden. Sowohl Gummiwalzenpaare, die unter hohem Druck zur mechanischen Entwässerung üblicherweise eingesetzt werden, als auch Vakuumtechnik, wie sie in den letzten Jahren vermehrt und insbesondere bei Textilbahnen aus synthetischen Faserstoffen zur Verwendung kommt, lassen bei Vliesstoffbahnen aus cellulosischen Faserstoffen nur eine Entwässerung bis 200 % Restwassergehalt und bei Maschenwaren nur bis ca. 100 % zu.

Das Ziel des Vorhabens bestand darin, über eine zusätzliche Entwässerung der Vliesstoffe über eine Vliesstoffwalze einen um mindestens 70 % niedrigeren Restwassergehalt zu erreichen. Damit wurde die Erwartung verbunden, dass eine Einsparung von mindestens 1.500 MWh/a Wärmeenergie und mehr als 360 t/a CO₂ möglich ist, wie sie beispielsweise zur Entwässerung einer Jahresmenge von 6.000 t/a Hygienevliesstoffen als Feuchtedifferenz beim Einsatz der Vliesstoffwalzentechnik einhergeht.

Bei der Rohwarenwäsche von Maschenwaren sollte im Vergleich zur Entwässerung durch die Gummiwalzen eines Foulards durch Einsatz der Vliesstoffwalze neben einer damit verbundenen Reduzierung des Restfeuchtegehalts um zusätzliche 20 % auch eine Verbesserung des Waschwirkungsgrads um mindestens 30 % erreicht werden, indem die Vliesstoffwalze an geeigneter Stelle im kontinuierlich geführten Waschprozess zum intensiven Austausch von Schmutzwasser durch weniger belastetes Waschwasser zum Einsatz kommt. Angenommen werden kann für einen durchschnittlichen Kontinue-Waschprozess, dass dieser Einsatz der Vliesstoffwalze im Waschprozess mit einer Einsparung von Wasch- und Abwasser von 2.765 m³/a, von Wärmeenergie zum Erreichen der Waschprozesstemperatur von 90 °C mit 230 MWh/a und mit einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 55.430 kg/a verbunden ist. Eine qualitativ verbesserte Wäsche der Textilwarenbahn weist außerdem einen verminderten Rest-Präparationsmittelgehalt auf der gewaschenen Ware auf. Im nachfolgenden Trocknungsprozess geht dies mit einer Verminderung des Gehalts an organischen Stoffen in der gereinigten Abluft der Trockenmaschine einher. Der Feuchtegehalt des Textilguts ist von ausschlaggebender Bedeutung für den Wärmeenergieumsatz bei der Trocknung. Um den Verbrauch an Energieträgern zu senken, müssen bei der Textilveredlung Zwischentrocknungsschritte möglichst entfallen und der Feuchteeintrag in den Trocknungsprozess auf ein Niveau verringert werden, der verfahrenstechnisch möglich ist. Die Vliesstoffwalze bietet hier Vorteile bei sehr leichten, offenen Flächen mit geringer Dimensionsstabilität gegenüber mechanischen Einflüssen, die eine Entwässerung durch Vakuumtechnik oder hohen Druck beim Abpressen durch Gummiwalzen behindern.

Ergebnisse aus den Untersuchungen einer vorhergehenden Entwicklung, in denen die Grundlagen zum Einsatz von Vliesstoffwalzen zur optimalen Entwässerung erarbeitet wurden, zeigen, dass nebeneinander liegende Ronden unterschiedlicher Materialart und unterschiedlichen Durchmessers hohen mechanischen Belastungen gewachsen sein können. Die Vliesstoffwalze muss für die kontinuierliche Aufnahme hoher Wassermengen durch eine Kon-

terwalze an bestimmter Stelle selbst wieder entwässert werden. Diese Effekte sind insbesondere bei hohen Produktionsgeschwindigkeiten, wie sie beispielsweise bei der Entwässerung von Vliesstoffen für die Herstellung von Hygienevliesen aus Zellulosefaserstoffen bei Warengeschwindigkeiten bis 200 m/min auftreten, von ausschlaggebender Bedeutung. Die angestrebte energieeffiziente Entwässerung besonders empfindlicher Materialien, wie z. B. Hygienevliesstoffe, soll über eine wenige Millimeter tiefe, hochporöse Saugzone realisiert werden. Diese wird durch eine tiefer liegende Stützsicht mit geringerer Porosität gehalten. Diese besondere Kapillarwirkung der Saugzone stellt den Unterschied zu herkömmlichen Vliesstoffwalzen identischen Materials dar.

Hygienevliesstoffe sind feuchte Wischtücher, die vielfältige Einsatzmöglichkeiten zur Kosmetik und Hygiene, als Einmal-Reinigungstücher im Haushalt, für die medizinische Pflege und andere Einsatzbereiche auch in der Industrie bieten. Es handelt sich um nassgelegte und wasserstrahlverfestigte Vliese mit hoher Nassfestigkeit und einem Flächengewicht von 40 bis 80 g/m². Als Rohmaterial wird gebleichter Langfaserzellstoff eingesetzt, dem ein geringer Massenanteil an Cellulose-Regeneratfasern zur Festigkeitssicherung beigemischt wird. Neuere Anlagen arbeiten mit einer Arbeitsbreite von 2.400 mm und einer Produktionsgeschwindigkeit bis 400 m/min.

Der Aufbau der Vliesstoffwalze soll nachhaltigen Aspekten entsprechen. Das bedingt, dass die Oberfläche der Vliesstoffwalze über eine längere Lebensdauer beständig ist und bei einem aus Qualitätsgründen nicht mehr tolerierbaren Verschleiß wieder instand gesetzt werden kann. Bei der Herstellung der Vliesstoffwalze werden Ronden aus Vliesstoffen ausgestanzt. Aus Gründen der Ressourceneffizienz sollen die dabei entstehenden Abfälle auf nicht vermeidbare Mengen beschränkt werden und das Fasermaterial soll einem rohstofflichen Recycling zugeführt werden. Gleiches gilt für den Rückbau nicht mehr brauchbarer Walzen.

2. Voruntersuchungen zur Eignung ausgewählter Vliesstoffe

In vorbereitenden Untersuchungen wurden verschiedene, unterschiedlich verdichtete Vliesstoffe aus verschiedenen cellulosischen und synthetischen Faserstoffen hinsichtlich der Dichte, zur Entwässerung bei einer bestimmten Linienkraft zwischen zwei Gummiwalzen, zur Maßänderung durch Zugkräfte in Längs- und Querrichtung, zur Porosität und zur Verformbarkeit untersucht. Über diese Eigenschaften der Vliesstoffe war ein tieferes Verständnis zum Wasseraufnahme- und Entwässerungsverhalten bei der Anwendung als Walzenbezug einer Vliesstoffwalze zu erwarten. Durch die Saugfähigkeit des Vliesstoffmantels, der auf dem Stahlkern der Walze aufliegt und nur eine Dicke von einigen Millimetern aufweist, soll durch den druckarmen Kontakt eines mit Wasser beladenen Textils (Vliesstoffs) in kurzer Zeit viel Wasser entzogen werden, das nach einer halben Umdrehung der Vliesstoffwalze über eine angepresste Gummi- oder Stahlwalze aus dem Vliesstoff wieder verdrängt wird. In idealisierter Form ist dieser Prozess in Form einer Omega-Anordnung zu verstehen, die in der Abbildung 1 schematisch dargestellt ist.

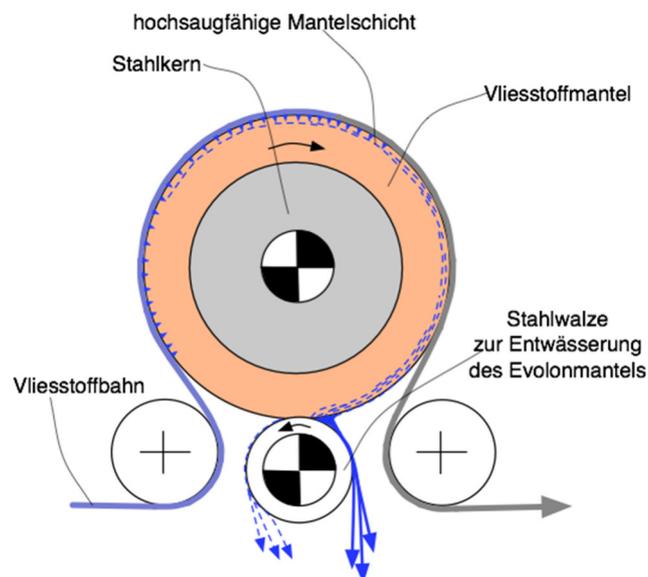


Abbildung 1: Schematische Darstellung zum Einsatz einer mit Vliesstoff ummantelten Walze zur Steigerung der Entwässerungsleistung flächiger Textilbahnen (z. B. Vliesstoff); omegaartige Umschlingung der Warenbahn, Stahlwalze zur Entwässerung des Vliesstoffmantels in „6-Uhr-Position“

In Voruntersuchungen hatte sich erwiesen, dass die für die Vliesstoffwalze geeigneten Vliesstoffe ein ausgewogenes hydrophob-hydrophiles Verhältnis (ähnlich der in der Kolloidchemie beschriebenen „Hydrophilic-Lipophilic Balance“) aufweisen sollen. Es wurden vier Vliesstoffe festgelegt, von denen Vliesstoffwalzen für den Einsatz in einem Laborfoulard hergestellt wurden (siehe Tabelle 1). Der Vliesstoffmantel jeder dieser Walzen, der aus aneinandergesprenten Ronden gefertigt wird, weist als Besonderheit als Manteloberfläche eine durch alternierend angeordnete Vliesstoffronden unterschiedlichen Durchmessers gebildete poröse Saugschicht von wenigen Millimetern auf. Der Kern der Vliesstoffwalze hat eine sehr viel höhere Dichte und entspricht einer Stützschiicht. Bei gezielter Belastung der Vliesstoffwalze wurde in schrittweiser Annäherung die Manteldicke von ursprünglich 40 % Anteil des gesamten Walzendurchmessers auf 25 % reduziert. Die PVA-Walze wies dann einen Außendurch-

messer von 355 mm (trocken) auf. Der Metallkern hatte einen Durchmesser von 258 mm, bei maximaler Stabilität (Verformung/Nipfuge) beim Anpressdruck an die Gummi-Gegenwalze entsprechend der Anordnung in Abbildung 2).

Die Untersuchungen zur Ermittlung der Saugleistung wurden an einer Anordnung der Vliesstoffwalze vorgenommen, bei der die Vliesstoffwalze die Position einer von zwei vertikal angeordneten Gummiwalzen eines Zwei-Walzen-Foulards einnimmt. In Abhängigkeit vom Anpressdruck der Gegenwalze (Hartgummiwalze) wird eine mehr oder weniger breite Nipfuge („Standstelle“ über die gesamte Breite der Vliesstoffwalze) festgestellt, die über eine Abdrückfolie aus Aluminium sichtbar gemacht wird. Unmittelbar nach der Druckentlastung verschwindet die Nipfuge, die Vliesstoffwalze erholt sich und nimmt die ursprüngliche zylindrische Form wieder an. Für die Entwässerung bedeutet dies, dass der vorhergesagte Saugeffekt („Schwammefekt“) tatsächlich eintritt.

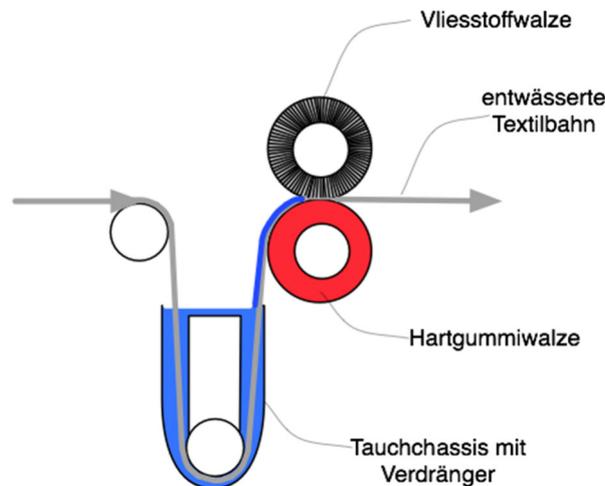


Abbildung 2: Schematische Darstellung zum Einsatz Vliesstoffwalze zur Untersuchung der Entwässerungsleistung flächiger Textilbahnen (z. B. Vliesstoff) in vertikaler Anordnung zu einer Gegenwalze mit Hartgummibezug

Als Walzenvliesstoffe wurden handelsübliche Materialien eingesetzt: I) mit Kautschuk beschichteter Vliesstoff aus Viskose- und Polyesterfasern (CV/PES//NBR), II) chemisch vernetztes Polyvinylalkoholfaservlies (PVA), III) mit PU-Schaum beschichteter PVA-Mikrofaservliesstoff (PVAmikro) und IV) einem mit NBR-Kautschuk verdichteter PES-Vliesstoff (PES/NBR). Die Eigenschaften sind in der nachfolgenden Tabelle 1 zusammengefasst. Bei der Auswahl der Vliesstoffe wurde auch darauf geachtet, dass sie chemisch stabil sind, eine ausreichende Festigkeit aufweisen, eine hohe Wasseraufnahme haben. Aufgrund der Verfestigung weisen die vier Vliesstoffe sehr unterschiedliche Oberflächenstrukturen auf: I) nahezu glatte Oberfläche, II) grob strukturierte Oberfläche mit wechselnden, nicht gleichmäßigen hoch-tief-Bereichen, III) sehr grob strukturierte Oberfläche mit Reliefstruktur, IV) feinfaserig strukturierte, glatte Oberfläche.

Als Testmaterialien wurden ebenfalls Vliesstoffe verwendet, die sich jedoch aus unterschiedlichen Mischungen von Cellulosefasern mit Synthefasern zusammensetzten: „1“: Baumwolle/Polyester, „4“: Baumwolle/Polypropylen und „120“ Viskose/Polyester. Dass deren Ent-

wässerung nicht nur von dem Verhältnis der hygroskopischen (cellulosische) Faserstoffe zu den hydrophoben Faserstoffen (Polyester, Polypropylen) abhängt, sondern auch mit den Eigenschaften des Walzenvliesstoffs und dem Anpressdruck der Gummiwalze an die Vliesstoffwalze im Zusammenhang steht, soll an nachfolgender Abbildung 3 näher erläutert werden.

Tabelle 1: Eigenschaften der ausgewählten Walzenvliesstoffe (Reißfestigkeit/Dehnung mit Probenbreite 50 mm, LR: Längsrichtung, QR: Querrichtung)

Bezeichnung	Faserstoffe	Eigenschaften	Foto Oberfläche
I) CV/PES/NBR	Viskose-Polyester-Vliesstoff, mit Kautschuk beschichtet glatte Oberfläche Anteil Porenvolumen: 58,0 % Porenfläche: 37,0 % Sackporen: 14,5 %	Flächengewicht: 235 g/m ² Dicke: 1,1 mm Reißfestigkeit LR: 120 N Reißdehnung LR: 90 % Reißfestigkeit QR: 249 N Reißdehnung QR: 35 % Dichte: 0,234 g/cm ³	
II) PVA	Polyvinylalkohol-Fasern, chemisch vernetzt grob strukturierte Oberfläche Anteil Porenvolumen: 95,6 % Porenfläche: 57,3 % Sackporen: 19,1 %	Flächengewicht: 200 g/m ² Dicke: 1,5 mm Reißfestigkeit LR: 180 N Reißdehnung LR: 28 % Reißfestigkeit QR: 650 N Reißdehnung QR: 11 % Dichte: 0,172 g/cm ³	
III) PVA mikro	Polyvinylalkohol-Mikrofasern, mit PU-Schaum beschichtet grob strukturierte Oberfläche, „Reliefstruktur“ Anteil Porenvolumen: 73,0 % Porenfläche: 47,7 % Sackporen: 20,1 %	Flächengewicht: 230 g/m ² Dicke: 1,2 mm Reißfestigkeit LR: 310 N Reißdehnung LR: 55 % Reißfestigkeit QR: 330 N Reißdehnung QR: 21 % Dichte: 0,206 g/cm ³	
IV) PES/NBR	Polyester-Vliesstoff, mit NBR Kautschuk vernetzt glatte, feinfaserig strukturierte Oberfläche Anteil	Flächengewicht: 220 g/m ² Dicke: 1,3 mm Reißfestigkeit LR: 400 N Reißdehnung LR: 30 % Reißfestigkeit QR: 360 N Reißdehnung QR: 60 % Dichte: 0,169 g/cm ³	

Für die Vliesstoffwalze aus chemisch vernetzten Polyvinylalkoholfasern ist ein unterschiedlicher Restfeuchtegehalt in Abhängigkeit von der Linienkraft und dem Anteil an cellulosischen Fasern im Testvliesstoff zu erkennen (Abbildung 3).

Der Mantel der PVA-Vliesstoffwalze (II) hat bei vollständiger Benetzung mit Wasser eine Wassermenge aufgenommen, die 375 % des Eigengewichts des Vliesstoffmantels entspricht. Nur das im äußeren Mantelbereich aufgenommene Wasser kann durch Druckbelastung in kurzer Zeit zu einem großen Teil entfernt werden und nimmt im entwässerten Zustand beim Kontakt mit einem Textil höheren Feuchtegehalts eine adäquate Menge Wasser wieder auf. Das im Mantelkern befindliche Wasser nimmt an diesem Austausch nur in geringem Umfang teil.

Alle Datensätze wurden nach einer graphischen Methode zur Normalverteilung geprüft. Für alle Untersuchungen erfolgt die Signifikanzprüfung nach dem statistischen F-Test mit der ANOVA-Funktion des wissenschaftlichen Auswerteprogramms KaleidaGraph und nach der Holm-Methode. Die Abbildung 3 veranschaulicht dies anhand der Ergebnisse eines Beispiels zur Abhängigkeit des Restfeuchtegehalts von drei Testmaterialien zu drei unterschiedlichen Anpressdrücken der Vliesstoffwalze gegen eine Gummiwalze.

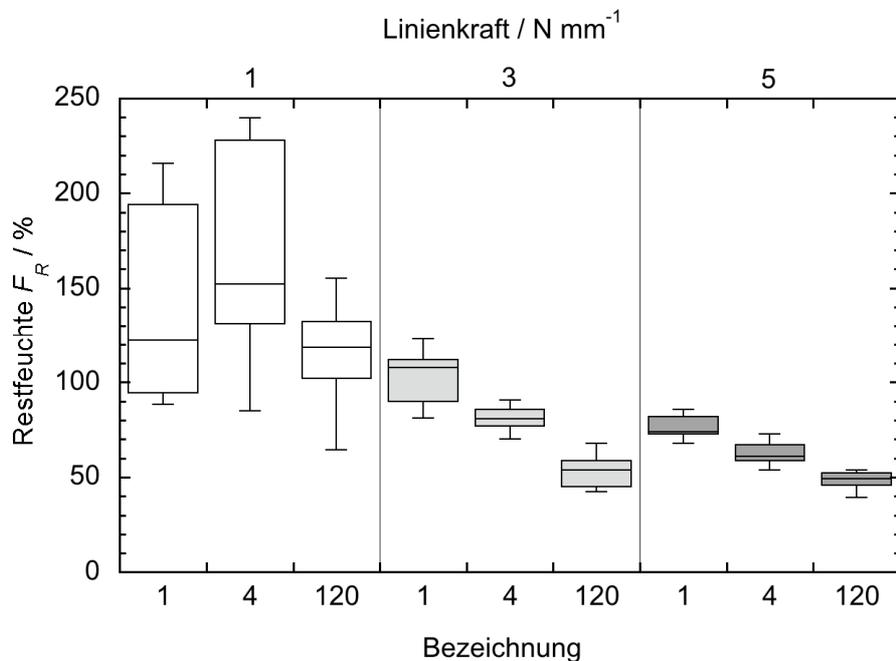


Abbildung 3: Graphische Darstellung des Restfeuchtegehalts [%] für drei ausgewählte Vliesstoffe als Testmaterialien (Bezeichnung: „1“, „4“, „120“) in Abhängigkeit von der Linienkraft mit der PVA-Vliesstoffwalze (II)

Bei der Linienkraft 1 N/mm kommt es zu einer Reduzierung des Feuchtegehalts der vorher mit Wasser gesättigten drei Testvliesstoffe. Auch wenn der Vliesstoff mit der Bezeichnung „120“ die stärkste Entwässerung aufwies, so ist doch kein signifikanter Unterschied im Restfeuchtegehalt der drei Vliesstoffe festzustellen. Bei einer Steigerung der Linienkraft auf 3 und 5 N·mm⁻¹ werden die Testvliesstoffe unterschiedlich stark entwässert. Der Vliesstoff mit der Bezeichnung „120“ zeigt jeweils den niedrigsten Restfeuchtegehalt. Der Unterschied im Restfeuchtegehalt zwischen der Linienkraft 3 und 5 N·mm⁻¹ ist beim Vliesstoff mit der Bezeichnung „120“ jedoch gering, so dass es ausreichend erschien, für den Vliesstoffwalzentyp „PVA“ (II) bei allen weiteren Untersuchungen den Liniendruck auf 3 N·mm⁻¹ zu begrenzen. Der Unterschied im erreichten Entwässerungsgrad der Testmaterialien kann im Einklang mit der Faserstoffzusammensetzung gesehen werden: Während die Testmaterialien „1“ und „4“

jeweils aus einer etwa 1:1-Mischung aus Baumwolle mit Polyester bzw. Polypropylen bestehen, enthält das Testmaterial „120“ 20 % Viskose- und 80 % Polyesterfasern, ist also wesentlich hydrophober bzw. weniger hygroskopisch aufgebaut.

Diese Ergebnisse stimmen überein mit der unterschiedlichen Dichte und der Porosität der Walzenvliesstoffe, wie dies stellvertretend anhand der beiden Walzenvliesstoffe „CV/PES/NR“ (I) und „PVA“ (II) erläutert werden soll. Der Vliesstoff „CV/PES/NR“ (I) weist die höchste Dichte mit $0,235 \text{ g/cm}^3$ auf, der Vliesstoff „PVA“ (II) die niedrigste mit $0,172 \text{ g/cm}^3$. Umgekehrt verhält es sich mit der Porosität. Der Vliesstoff „PVA“ (II) weist mit 95,6 % den höchsten Gesamt-Porenvolumenanteil auf, der Vliesstoff „CV/PES/NR“ (I) nur 58,0 %; beim Sackporenvolumenanteil wurde für den Vliesstoff „PVA“ (II) ein Wert von 19,1 %, für den Vliesstoff „CV/PES/NR“ (I) ein Wert von 14,5 % ermittelt (jeweils arithmetisches Mittel). Das Wasserrückhaltevermögen nimmt folglich mit abnehmendem Sackporenvolumen ab. Die homogen offenporige Struktur wird für den Vliesstoff „PVA“ (II) in der nachfolgenden Abbildung 4 als elektronenmikroskopische Aufnahme eines Querschnitts (Dicke des Vliesstoffs) gezeigt.

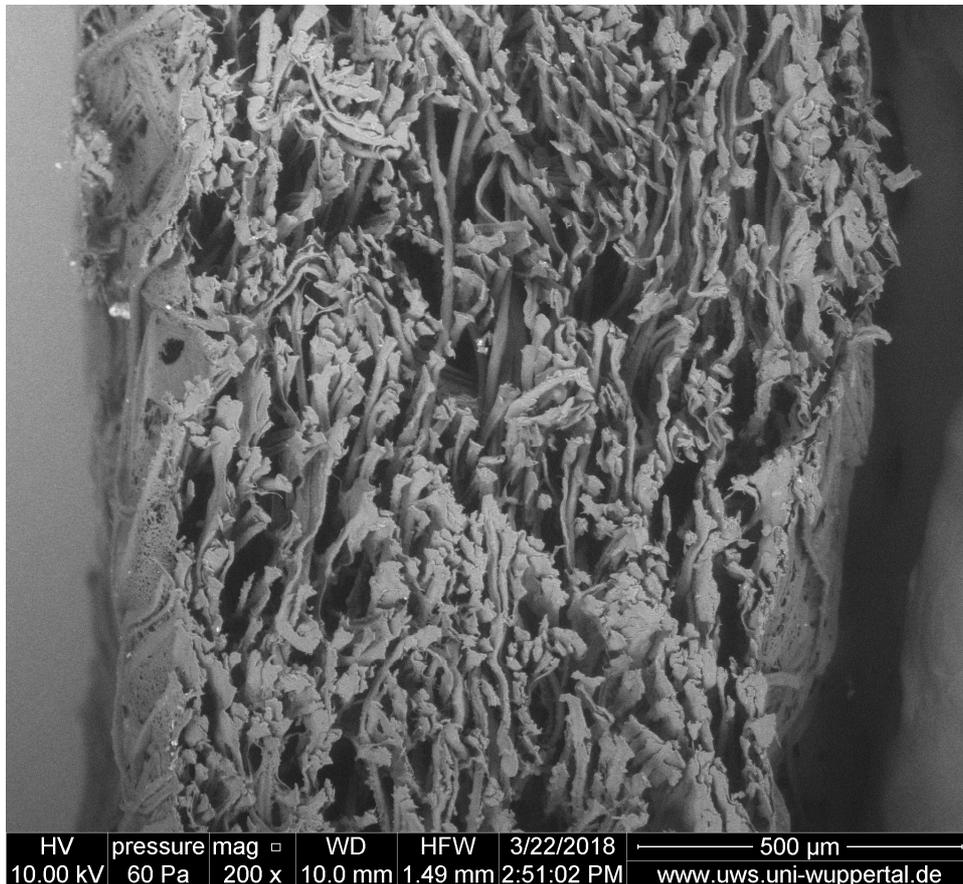


Abbildung 4: ESEM-Aufnahme von der Walzenvliesstoffprobe PVA (II); Flächenquerschnitt in Längsrichtung der Vliesstoffwarenbahn

Der Walzenvliesstoff „PVA“ (II) weist bei einer Linienkraft von 1 bis $5 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ im trockenen Zustand eine Breitenänderung von -0,7 % (Schrumpf) und eine Längenänderung von 0,2 % (Längung) auf. Die Formstabilität der anderen Walzenvliesstoffe ist wesentlich besser. Im nassen Zustand ist die Längen- und Breitenänderung beim Vliesstoff „PVA“ (II) jedoch zu vernachlässigen, während sie bei den anderen Walzenvliesstoffen Werte zwischen 3 % bis

8 % (Vliesstoff „I“) annimmt. Der Walzenvliesstoff „PVA“ (II) weist außerdem auch nur geringe Schwankungen des Flächengewichts ($< 5\%$) bei unterschiedlichen Lieferungen auf.

3. Untersuchungen zur Saugfähigkeit von Walzenvliesstoffen

Einer der wichtigsten Schwerpunkte des Projekts ist die Entwässerungsleistung der zu entwickelnden Vliesstoffwalze. Einer der relevanten Parameter, der den Entwässerungsvorgang beeinflusst, ist die Sauggeschwindigkeit des Walzenvliesstoffs gegenüber Wasser. Dafür wurde eine dem TEGEWA-Steighöhentest angelehnte Methode des „modifizierten Steighöhentests“ entwickelt. Die Vliesstoffprobe ist zwischen zwei Glasplatten gepresst angebracht und wird in die Oberfläche einer wässrigen Lösung eingetaucht. Mit diesem Test soll simuliert werden, dass die Oberfläche der Vliesstoffwalze offener strukturiert ist. In Abbildung 5 sind der TEGEWA- und der modifizierte Steighöhentest gegenübergestellt.

Eine trockene, konditionierte Probe wird mit Hilfe eines Probenhalters senkrecht über der Glasschale mit Wasser befestigt. Der untere Rand der Probe wird in Kontakt mit dem Wasser gebracht. Die Steighöhe wird nach 5 s, 15 s, 30 s und 60 s gemessen. Die Steighöhe des Wassers nach 60 s dient als Referenz. Die Walzenvliesstoffe werden im trockenen Zustand und nach einer Behandlung in Wasser mit Entwässerung durch ein Gummiwalzenpaar bei einer festgelegten Linienkraft zur Steighöhe untersucht. Der Walzenvliesstoff „PVA“ (II) weist die höchste Steighöhe mit 8 cm (Mittelwert, Abweichung $\pm 0,2$ mm) nach 60 sec auf. Die zwischen zwei Glasplatten eingeklemmte Probe des Walzenvliesstoffs weist eine etwas höhere Steighöhe auf. Bei der Benetzung der Oberfläche der Walzenvliesstoffe mit einem definierten Wassertropfen ist ein sehr schnelles Einsinken des Tropfens zu beobachten (< 1 sek.), die Ausdehnung des Tropfens ist bei den Walzenvliesstoffen „PVA“ (II) und „PES/NBR“ (IV) lokal begrenzt (keine gleichmäßige, konzentrische Ausdehnung). Hingegen ist beim Walzenvliesstoff „CV/PES/NBR“ (I) eine in alle Richtungen gleichmäßige Fleckausdehnung zu beobachten.

Die Ergebnisse des Benetzungstests stimmen überein mit denen zur Porosität bzw. Kapillarität der Vliesstoffe. Der Walzenvliesstoff „PVA“ (II), der die höchste Steighöhe und damit beste Benetzung zeigt, weist im Vergleich zu den beiden anderen untersuchten Walzenvliesstoffen auch den höchsten Porenflächenanteil von ca. 57 % auf. Zum anderen ändert sich dessen flächenbezogener Porenanteil in Abhängigkeit von der Betrachtungsrichtung kaum. Rasterelektronische Aufnahmen bestätigen, dass es sich bei der Porenstruktur um eine in etwa homogen offenporige Struktur handelt.

Über eine rasterelektronische Simulation wurde untersucht, inwieweit sich die Porenstruktur vom Walzenvliesstoff „PVA“ (II) bei der Wasseraufnahme ändert. Dazu wurde eine ca. 1 mm dicke Vliesstoffquerschnittsprobe mit einer Länge von ca. 2 cm waagrecht in der Messkammer des Rasterelektronenmikroskops positioniert und einem Wasserdampf durch Senkung der Temperatur auf $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ unterworfen. Die Einwirkung der Feuchtigkeit auf den Vliesstoff führt zu einer Ausdehnung der Probe in der Dickenrichtung; diese ist innerhalb von 6 Sekun-

den deutlich größer als die in der Breitenrichtung (siehe Abbildung 6). Auffällig ist, dass sich die Porenstruktur bei diesem Versuch kaum ändert.

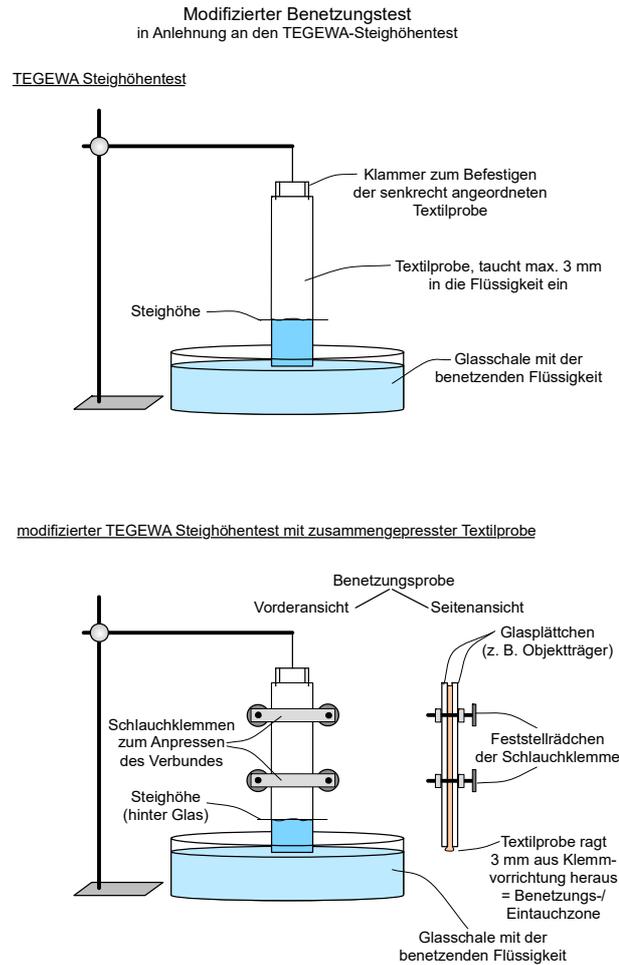


Abbildung 5: Anordnung zur Untersuchung der Netzfähigkeit der Walzvliesstoffe über die Steighöhe von wässrigen Lösungen

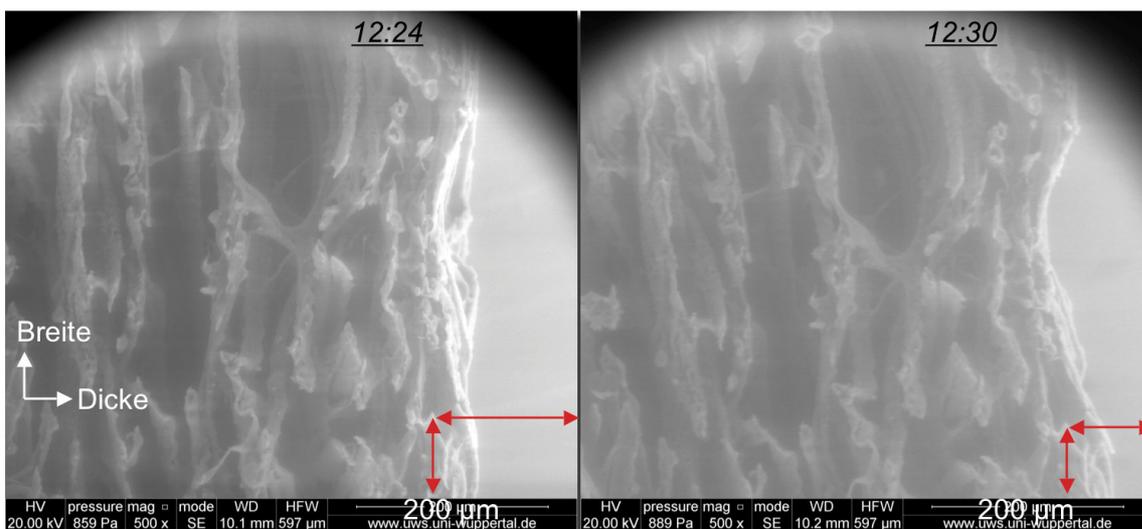


Abbildung 6: Elektronenmikroskopische Aufnahme einer Vliesstoffprobe („PVA“ II) unter Einwirkung von Feuchtigkeit; links: vor der Feuchteeinwirkung, rechts: nach 6 Sekunden Einwirkung der Feuchte des bei 5 °C gebildeten Nebels

4. Untersuchungen zum Aufnahme- und Abgabeverhalten von Wasser durch die Walzenvliesstoffe

Das Prinzip der Entwässerung von Textilien durch Vliesstoffwalzen beruht darauf, dass im porösen Vliesstoff der Walze Wassertransportvorgänge nacheinander in gegensätzlichen Richtungen verlaufen. Die Kapillarwirkung des Vliesstoffs steht hierbei im Vordergrund. Die Untersuchungen zu diesen Teilvorgängen der Wasseraufnahme durch die Vliesstoffwalze und der anschließenden Wasserabgabe stellen daher den wichtigsten Schwerpunkt dieses Vorhabens dar. Diese Untersuchungen wurden im praxisnahen Maßstab durchgeführt. Hierfür wurden von vier ausgewählten Walzenvliesstoffen je eine Vliesstoffwalze hergestellt, bei der Ronden mit zwei unterschiedlichen Durchmessern alternierend auf Stahlwalzen aufgelegt und zu einer dichten Vliesstoffwalze verpresst wurden. Abbildung 7 zeigt eine Vliesstoffwalze (aus dem Walzenvliesstoff „PVA“ II), die wie die anderen Vliesstoffwalzen in einen Laborfoulard anstelle einer Gummiwalze eingesetzt wurden. Die Ergebnisse für zwei der vier Vliesstoffwalzen sind in der Tabelle 2 zusammengefasst.



Abbildung 7: Foto einer Vliesstoffwalze mit alternierenden, im Durchmesser unterschiedlichen Ronden desselben Vliesstoffmaterials

Bei den Versuchen wurden in Anlehnung an DIN 53803 nach dem einstufigen Auswahlverfahren zu jedem Testvliesstoff jeweils neun Messproben mit den Abmessungen 10 cm x 5 cm bereit gestellt, innerhalb von 24 h in einem Exsikkator bei einer Luftfeuchtigkeit von 10 % konditioniert und anschließend gewogen (Trockengewicht). Die vollständig mit Wasser genetzten Testvliesstoffe wurden ebenfalls gewogen. Nach der Entwässerung durch die Vliesstoffwalze wurde der Restfeuchtegehalt nach gleichem gravimetrischen Verfahren festgestellt. Bei allen Versuchen blieb die Geschwindigkeit, mit der die Testvliesstoffe durch das Walzenpaar aus Gummiwalze und Vliesstoffwalze gezogen mit 3 m/min gleich. Die Linienkraft, mit der die Gummiwalze an die Vliesstoffwalze angelegt war, wurde zu drei Einstellungen variiert: $1 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$, $3 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ und $5 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-1}$ (siehe auch Abbildung 3).

Die Ergebnisse sind als Balkendiagramm in der Abbildung 8 für drei der Vliesstoffwalzen, die drei Testvliesstoffe und die drei Anpressdruckeinstellungen zusammengefasst. In der nachfolgenden Tabelle sind die Ergebnisse als Gegenüberstellung für die beiden favorisierten Vliesstoffwalzen I) CV/PES/NBR und II) PVA aufgeführt.

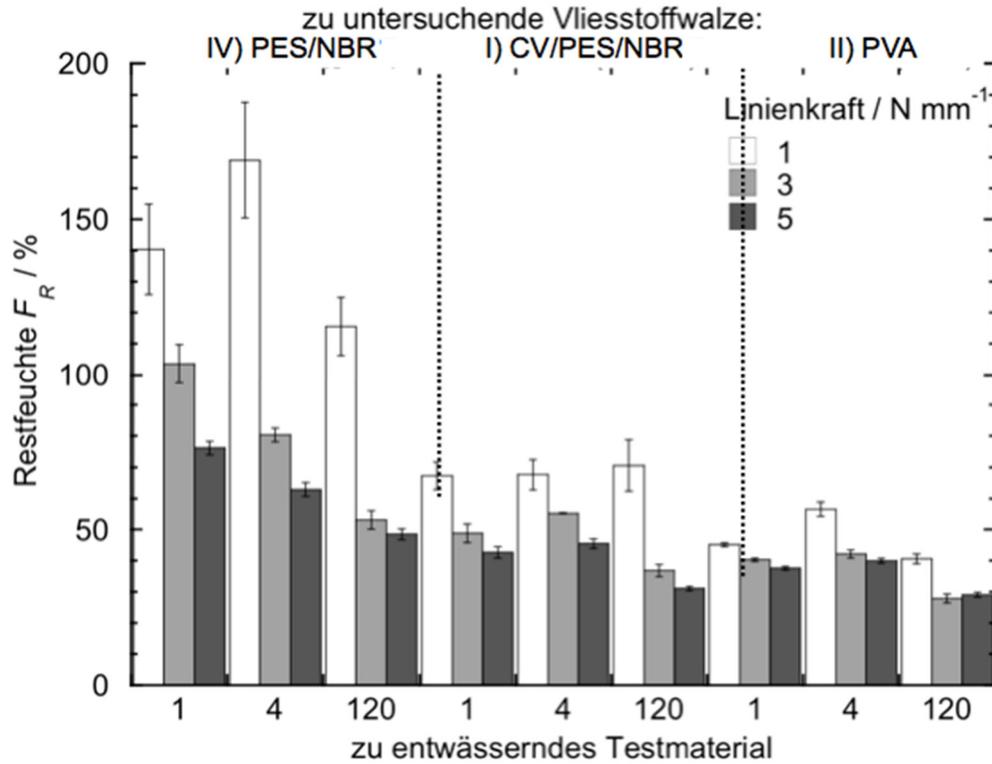


Abbildung 8: Entwässerungsleistung als Restfeuchtegehalt [%] der drei Testmaterialien „1“: Baumwolle/Polyester 40/60, „4“: Baumwolle/Polypropylen 50/50 und „120“ Viskose/Polyester 20/80 bei den Linienkräften 1 N/mm, 3 N/mm und 5 N/mm, mit denen die Vliesstoffwalze gegen die Gummiwalze gedrückt wird und für die drei Vliesstoffwalzen I) CV/PES/NBR, II) PVA und IV) PES/NBR

Tabelle 2: Mittelwerte der Restfeuchte der Testvliesstoffe „1“, „4“ und „120“ in Abhängigkeit von der Linienkraft beim Anpressen der Gummiwalze an die beiden Vliesstoffwalzen „CV/PES/NR“ (I) und „PVA“ (II)

Linienkraft beim Anpressen der Gummiwalze an die Vliesstoffwalze	Restfeuchte in % / % baumwollähnlichen Fasern im Testvliesstoff; Reihenfolge der Spalten mit abnehmendem Anteil an cellulosischen Fasern			Im Foulard eingesetzte Vliesstoffwalze (siehe auch Tabelle 1)
	Nr. „4“ / 50 %	Nr. „1“ / 40 %	Nr. „120“ / 20 %	
1 N·mm ⁻¹	67,7	67,4	70,6	CV/PES/NBR
	56,6	45,1	40,7	PVA
3 N·mm ⁻¹	55,4	48,8	36,9	CV/PES/NR
	42,2	40,3	27,9	PVA
5 N·mm ⁻¹	45,5	42,7	31,1	CV/PES/NR
	40,0	37,6	29,0	PVA

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse zur Entwässerung von drei Testvliesstoffen mit unterschiedlichem Gehalt an cellulosischen Faserstoffen zeigt für die beiden in der Tabelle 2 gegenübergestellten Vliesstoffwalzen einen direkten Zusammenhang mit dem Gewichtsanteil an cellulosischen Faserstoffen im Testvliesstoff. Mit abnehmendem Anteil an cellulosischen Faserstoffen werden niedrigere Restfeuchtegehalte bei gleichem Liniendruck erzielt. Mit zunehmendem Liniendruck wird ebenfalls eine verbesserte Entwässerung erzielt, die Unter-

schiede werden jedoch mit steigendem Liniendruck geringer. Anscheinend weist die Vliesstoffwalze „PVA“ (II) das am meisten ausgewogene hydrophob-hydrophile Verhältnis der drei Vliesstoffwalzen auf. Die Vliesstoffwalze IV) PES/NBR ist demnach zu wenig hygroskopisch und weist gegenüber den anderen Vliesstoffwalzen eine geringere Kapillarität auf. Die Vliesstoffwalze III) PVAmikro zeigt in vergleichbaren Versuchen eine der Vliesstoffwalze „CV/PES/NBR“ (I) ähnliche Entwässerungsleistung.

Die im Balkendiagramm der Abbildung 8 aufgezeigten Ergebnisse, die sich bei der Entwässerung der Testvliesstoffe zu jedem der drei Anpressdrücke zwischen den drei Vliesstoffwalzen ergeben, führen wie die Untersuchungen zur Benetzbarkeit und zur Porosität zu der Annahme, dass die aus chemisch vernetzten Polyvinylalkoholfasern aufgebaute Vliesstoffwalze die beste Eignung für das mit dem Projektziel verfolgte Einsatzgebiet hat. Die Entwässerungsleistung ist außerdem abhängig von der Hygroskopizität der Faserstoffe des zu entwässernden Textils. Gemeint ist die Fähigkeit der Faserstoffe, Wasser an sich zu binden bzw. Luftfeuchtigkeit aufzunehmen. Das Sorptionsverhalten, das in der Aufnahme oder Abgabe von Wasserdampf aus der Luft durch den Faserstoff bis zu einer Gleichgewichtseinstellung zum Ausdruck kommt, ist bei Faserstoffen abhängig von deren chemischen und räumlichen Struktur. Neben der Feuchteaufnahme, die unter standardisierten Klimabedingungen ermittelt wird (nach DIN EN ISO 291 bei einer Lufttemperatur von 23 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 %; Kennzeichnung Klima: 23/50), ist auch das Wasserrückhaltevermögen (% bezogen auf das absolute Trockengewicht) von Bedeutung, das angibt, wie viel Wasser in einem Faserstoff nach völligem Durchfeuchten und anschließendem Zentrifugieren unter genau bestimmten Bedingungen (z. B. DIN 53 814) zurückgehalten wird.

Tabelle 3: Feuchtegehalt und Wasserrückhaltevermögen einiger Faserstoffe
 [Literaturquellen: Béla von Falkai: Synthesefasern. Verlag Chemie (1981) ISBN 3-527-25824-8
 Containerhandbuch/GDV:
http://www.containerhandbuch.de/chb/scha/index.html?chb/scha/scha_19_02.html
 Wohn-Lexikon: <https://www.raumausstattung.de/wohnen/querverweis-seriennummer-6379.htm>]

Faserstoff	Feuchtegehalt ¹⁾ (60 % r. L.) / %	Wasserrückhalte- vermögen / % ²⁾	Quellfähigkeit ³⁾ %	Literatur
Wolle	13-16	40-45	bis 30	1, 3) Containerhandbuch/GDV 2) Wohn-Lexikon/Veredlung
Baumwolle	7,5-8,5	45-50	40-45	1, 3) Containerhandbuch/GDV 2) Wohn-Lexikon/Veredlung
Leinen	10-12	50	bis 20	1, 3) Containerhandbuch/GDV 2) Wohn-Lexikon/Veredlung
Viskose	12-14	80-120	85-120	1, 3) Containerhandbuch/GDV 2) Wohn-Lexikon/Veredlung
Polyacryl	1-2	4-8	4,0	1, 3) Containerhandbuch/GDV 2) Wohn-Lexikon/Veredlung
Polyamid	3,5-4,5	9-11	13,0	1, 3) Containerhandbuch/GDV 2) Wohn-Lexikon/Veredlung
Polyester	0,2-0,5	3-5	3,0-4,0	1, 3) Containerhandbuch/GDV 2) Wohn-Lexikon/Veredlung
Polypropylen	0	0		1, 2) Béla von Falkai
Polyvinylalko- hol (nicht ver- netzt)	3,5-5	25-35		1, 2) Béla von Falkai

Diesem Wasserrückhaltevermögen entspricht der Quellwert eines textilen Faserstoffs. In der Tabelle 3 sind Feuchtegehalt und Wasserrückhaltevermögen für einige Faserstoffe zusammengestellt. Hygroskopische Faserstoffe, wie beispielsweise Baumwolle, können ihren Feuchtegehalt mit zunehmender relativer Luftfeuchte erheblich steigern, ohne dass sie sich „nass anfühlen“ (Baumwolle: bis 27 % bei 95 % relativer Luftfeuchte).

Das unterschiedliche Wasserrückhaltevermögen der drei Testmaterialien (1, 4 und 120) wird in der nachfolgenden Abbildung 9 für die hydrophobe Vliesstoffwalze IV (PES/NBR) bei gleichbleibender Linienkraft beim Pressen (3 N/mm) und Warengeschwindigkeit (3 m/min) veranschaulicht.

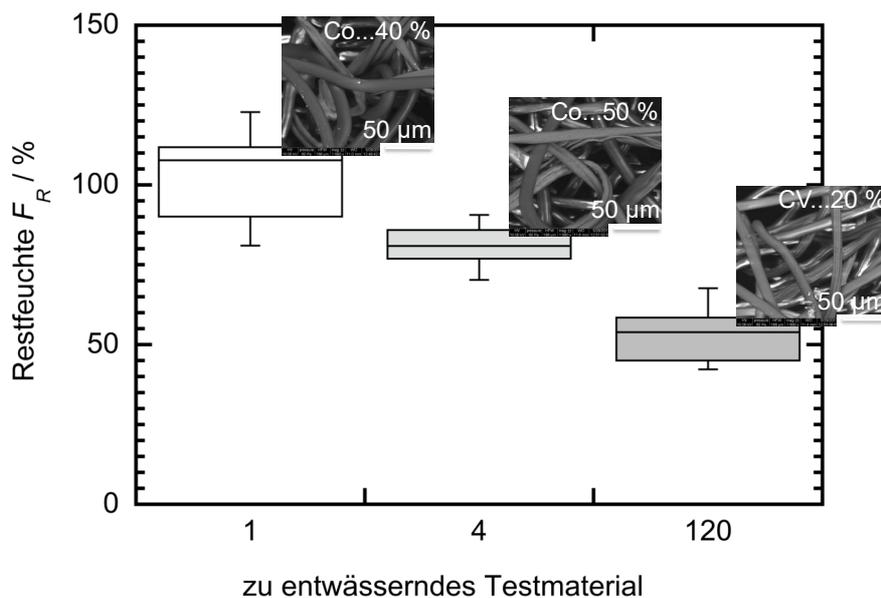


Abbildung 9: Restfeuchtegehalt [%] der drei Testmaterialien „1“: Baumwolle/Polyester 40/60, „4“: Baumwolle/Polypropylen 50/50 und „120“ Viskose/Polyester 20/80 bei der Linienkraft 3 N/mm, mit denen die Vliesstoffwalze IV) PES/NBR gegen die Gummiwalze gedrückt wird, und der Warengeschwindigkeit 3 m/min

Die Datensätze der Messergebnisse zu allen drei zu entwässernden Testmaterialien sind annähernd normal verteilt. Der statistische F-Test mit der ANOVA-Funktion des wissenschaftlichen Auswertungsprogramms KaleidaGraph bestätigt die Hypothese, dass die stoffbedingten Wasserabgabeunterschiede im betrachteten Beispiel signifikant sind. Die Holm-Methode zeigt, dass sich alle Mittelwerte der Restfeuchte signifikant voneinander unterscheiden. Trotz des höheren Anteils an Baumwollfasern, den Testmaterial 4 gegenüber Testmaterial 1 aufweist, stellt sich beim Abpressen des Wassergehalts durch die Vliesstoffwalze ein niedrigerer Restfeuchtegehalt ein, was darauf zurückgeführt werden kann, dass Polyesterfaserstoffe gegenüber Faserstoffen aus Polypropylen ein Wasserrückhaltevermögen haben, das nicht zu vernachlässigen ist (siehe auch Tabelle 3). In der Reihenfolge des abnehmenden Gehalts an cellulosischen (hygroskopischen) Faserstoffen reihen sich die Ergebnisse der Restfeuchte für das Testmaterial 120 folgerichtig ein. Der deutlich niedrigere Gehalt an Viskosefaserstoffe, die ihrerseits ein wesentlich höheres Wasserrückhaltevermögen haben als Baumwolle, führt zu einer niedrigeren Restfeuchte unter den gegebenen Versuchsbedingungen.

Das unterschiedliche Wasserrückhaltevermögen von drei Walzenvliesstoffen wird anhand der Restfeuchte des Testmaterials 120 dargestellt (Abbildung 10). Unter identischen Bedingungen wurden vollständig benetzte Vliesstoffproben des Testmaterials 120 durch die Walzenkombination Vliesstoffwalze/Gummiwalze entwässert. Die niedrigste Restfeuchte des Testmaterials entspricht dabei der höchsten Entwässerungsleistung der Vliesstoffwalze.

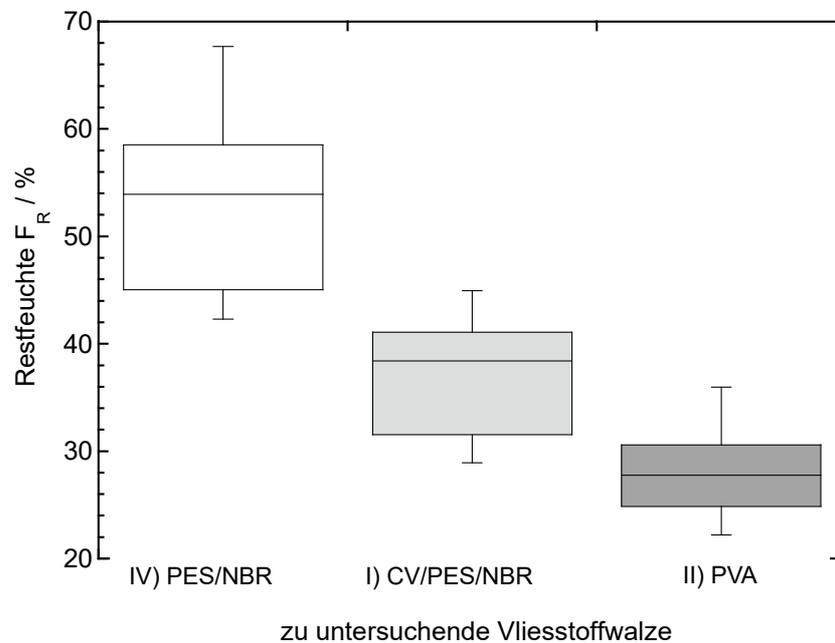


Abbildung 10: Restfeuchtegehalt [%] des Testmaterials „120“ Viskose/Polyester 20/80 bei der Linienkraft 3 N/mm, mit denen die drei Vliesstoffwalzen I) CV/PES/NBR, II) PVA und IV) PES/NBR gegen die Gummiwalze gedrückt wird; Warengeschwindigkeit 3 m/min

Die Datensätze der in der Abbildung 10 dargestellten Ergebnisse sind für alle zu untersuchenden Vliesstoffwalzen annähernd normal verteilt, die Mittelwerte der Restfeuchte des Testmaterials 120 unterscheiden sich voneinander bei allen Walzenkombinationen signifikant. Die PVA-Vliesstoffwalze zeigt demnach das beste Resultat der Entwässerungsleistung.

Dieses aus Sicht der Anwendung hochinteressante Wasseraufnahme- und -abgabevermögen der Vliesstoffwalzen führte zur Untersuchung der „Wassertransportvorgänge“ zwischen Vliesstoff der Vliesstoffwalze und dem zu entwässernden Prüfling, der bei diesen Versuchen jeweils aus demselben Vliesstoff bestand, der als Walzenvliesstoff eingesetzt wurde. Es wurde weiterhin die Kombination aus Gummi- und Vliesstoffwalze verwendet. Der Prüfling wurde im nassen wie trockenen Zustand bearbeitet. Über die Differenz des Gewichts der tropfnassen Proben (m_F) zum Gewicht der trockenen Proben (m_{Tr}) wird das Gewicht des vom Vliesstoff aufgenommenen Wassers bestimmt. Für die jeweilige Messreihe wird der Feuchtegehalt F_F [%] als Maß für die Wasseraufnahme der Vliesstoffe wie folgt berechnet:

$$F_F = \frac{m_F - m_{Tr}}{m_{Tr}} \times 100 \%$$

In gleicher Weise erfolgt die Bestimmung der Restfeuchte [%]. Die tropfnassen Proben werden mit einem Laborfoulard mit einer eingebauten Vliesstoffwalze desselben Vliesstoffmate-

rials mit dem Liniendruck 5 N/mm mit einer Warengeschwindigkeit von 3 m/min abgequetscht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 4 für die vier Walzenvliesstoffe zusammengestellt.

Tabelle 4: Ergebnisse zu Wasseraufnahme und Wasserabgabe der vier Walzenvliesstoffe

Zu untersuchender Vliesstoff	Wasseraufnahme		Wasserabgabe		Relative Abnahme des Wassergehalts /%
	Feuchtegehalt /%		Restfeuchte /%		
	arithmetischer Mittelwert	Unsicherheit	arithmetischer Mittelwert	Unsicherheit	
I) CV/PES/NBR	329,3	4,3	42,1	0,8	87
II) PVA	680,9	3,8	107,8	0,9	84
III) PVAmikro	480,1	2,2	102,9	0,8	79
IV) PES/NBR	445,8	0,8	57,2	0,9	87

Den höchsten Feuchtegehalt und die höchste Restfeuchte weist der Walzenvliesstoff II) PVA auf. Setzt man die Wasserabgabe ins Verhältnis zur Wasseraufnahme, so hat der Wassergehalt im Walzenvliesstoff um 84 % abgenommen. Bei den beiden Walzenvliesstoffen I) und IV) ist die relative Abnahme größer, was mit dem stärker hydrophoben Charakter des Vliesstoffs in Verbindung steht. Dieser Vorteil gegenüber dem Vliesstoff II) ist jedoch gering. Das sehr viel höhere Wasseraufnahmevermögen dieses Vliesstoffs wird als höherwertiger Vorteil gesehen.

Tabelle 5: Restfeuchte [%] eines Vliesstoffs („schwarz“) nach dem Abquetschen durch das Walzenpaar Gummiwalze/PVA-Vliesstoffwalze (II) zu verschiedenen Linienkräften

Feuchtegehalt /%	Restfeuchte /% bei der Linienkraft			relative Abnahme /%
	1 N mm ⁻¹	3 N mm ⁻¹	5 N mm ⁻¹	
898 +/- 3,4	99 +/- 2,8			89
906 +/- 3,7		72 +/- 0,8		92
906 +/- 4,7			63 +/- 0,5	93

Von einem hinsichtlich der momentanen Produktbedeutung ausgewählten Vliesstoff aus synthetischen Fasermaterialien, der nachfolgend als „schwarz“ gekennzeichnet wird, wurde der Feuchte- und Restfeuchtegehalt vor und nach dem Abquetschen mit der Walzenkombination Gummiwalze/PVA-Vliesstoffwalze (II) bei unterschiedlichem Liniendruck bestimmt (Tabelle 5).

Wie erwartet nimmt die relative Abnahme der Restfeuchte des schwarzen Vliesstoffs mit steigender Linienkraft, mit der Gummi- und PVA-Vliesstoffwalze gegeneinander drücken, ab. Die Vliesstoffwalze führt zu einer Entwässerung des schwarzen Vliesstoffs von ca. 90 %, was als ein mit einer Vakuumsaugereinrichtung vergleichbar gutes Ergebnis gewertet wird.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass der Walzenvliesstoff „PVA“ (II) im Vergleich zu den anderen Walzenvliesstoffen die höchste Entwässerungsleistung aufweist, so dass dieser Walzenvliesstoff für die weiteren Untersuchungen bevorzugt betrachtet wurde.

5. Untersuchungen zur Beständigkeit der Walzenvliesstoffe gegenüber unterschiedlichen wässrigen Medien und Bedingungen

Für den Einsatz der Vliesstoffwalze zur Entwässerung von Textilbahnen, insbesondere beim Einsatz in kontinuierlich geführten Waschprozessen, ist die Beständigkeit des Walzenvliesstoffs gegenüber unterschiedlich aggressiven wässrigen Medien und Bedingungen von Bedeutung. Die Vliesstoffwalzen müssen gegenüber hoher mechanischer Belastung, bei sehr unterschiedlichen Bedingungen wie pH-Wert, Temperatur und möglicherweise auch gegenüber bestimmten, in Wasser gelösten Wasch- und Netzmitteln beständig sein. Die damit einhergehende Alterung der Vliesstoffwalzen soll möglichst gering ausfallen, damit die Vliesstoffwalze über eine längere Einsatzzeit ein qualitativ gleichbleibendes Arbeitsergebnis liefert. Es wird angenommen, dass die Belastung sich in Änderungen morphologischer Faserbereiche äußert, beispielsweise in der physikalischen oder chemischen Struktur, und als Änderung der äußeren Form des Vliesstoffs und der mechanischen Eigenschaften zu erkennen ist.

Die Untersuchungen wurden an zwei Walzenvliesstoffen (I) CV/PES/NBR und II) PVA durchgeführt. Zunächst wird die Einwirkung der relevanten Einflussparameter wie Flüssigkeitsart und Temperatur auf Einzelproben untersucht. Zugrunde liegt ein gravimetrisches Analyseverfahren. Die Proben werden über eine Woche in unterschiedliche Flüssigkeiten bei unterschiedlichen Temperaturen (18 °C, 50 °C, 90 °C) eingelegt, anschließend mit Wasser gespült, getrocknet und konditioniert. Es werden die Maß- und Gewichtsänderungen ermittelt und die Dichte berechnet. Als Maß für die Beständigkeit der Vliesstoffwalze wird die relative Änderung der Dichte gegenüber dem Ausgangszustand herangezogen. Ergänzend werden auch die Parameter *Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)*, *pH-Wert* und *elektrische Leitfähigkeit* der jeweiligen wässrigen Lösungen vor und nach der Behandlung des Vliesstoffs untersucht, die auf Veränderungen der Vliesstoffe durch chemische Einflüsse bzw. eine Zu- oder Abnahme von Inhaltsstoffen der Vliesstoffe schließen lassen. Der Parameter *CSB* steht hierbei als Summenparameter für alle (oxidierbaren) organischen Stoffe, z. B. die im Vliesstoff enthaltenen, mit Wasser extrahierbaren organischen Stoffe aus vorhergehenden Behandlungen des Vliesstoffs oder die in der Untersuchung eingesetzten Tenside bzw. Wasserstoffperoxid. Der Salzgehalt sowie der Säuregehalt werden über die Parameter *elektrische Leitfähigkeit* und *pH-Wert* dargestellt (Art und Eigenschaften der wässrigen Lösungen: Tabelle 6).

Tabelle 6: Zusammensetzung und Eigenschaften der wässrigen Lösungen zu Beginn der Untersuchungen

Prüflösung	Konzentration	Parameter		
		pH-Wert	CSB-Konz. mg·L ⁻¹	Elektr. Leitfähigkeit /μS·cm ⁻¹
Leitungswasser		7,8	< 15	240
Destilliertes Wasser		6,4	< 15	1,8
Natronlauge	0,0001 N	10,0	< 15	31
Salzsäure	0,001 N	3,0	< 15	561
Waschmittellösung (handelsübliches Tensid, anionisch/nichtionogen)	1 g·L ⁻¹	7,3	985	10
Wasserstoffperoxidlösung	0,02 N	5,9	342	2,8

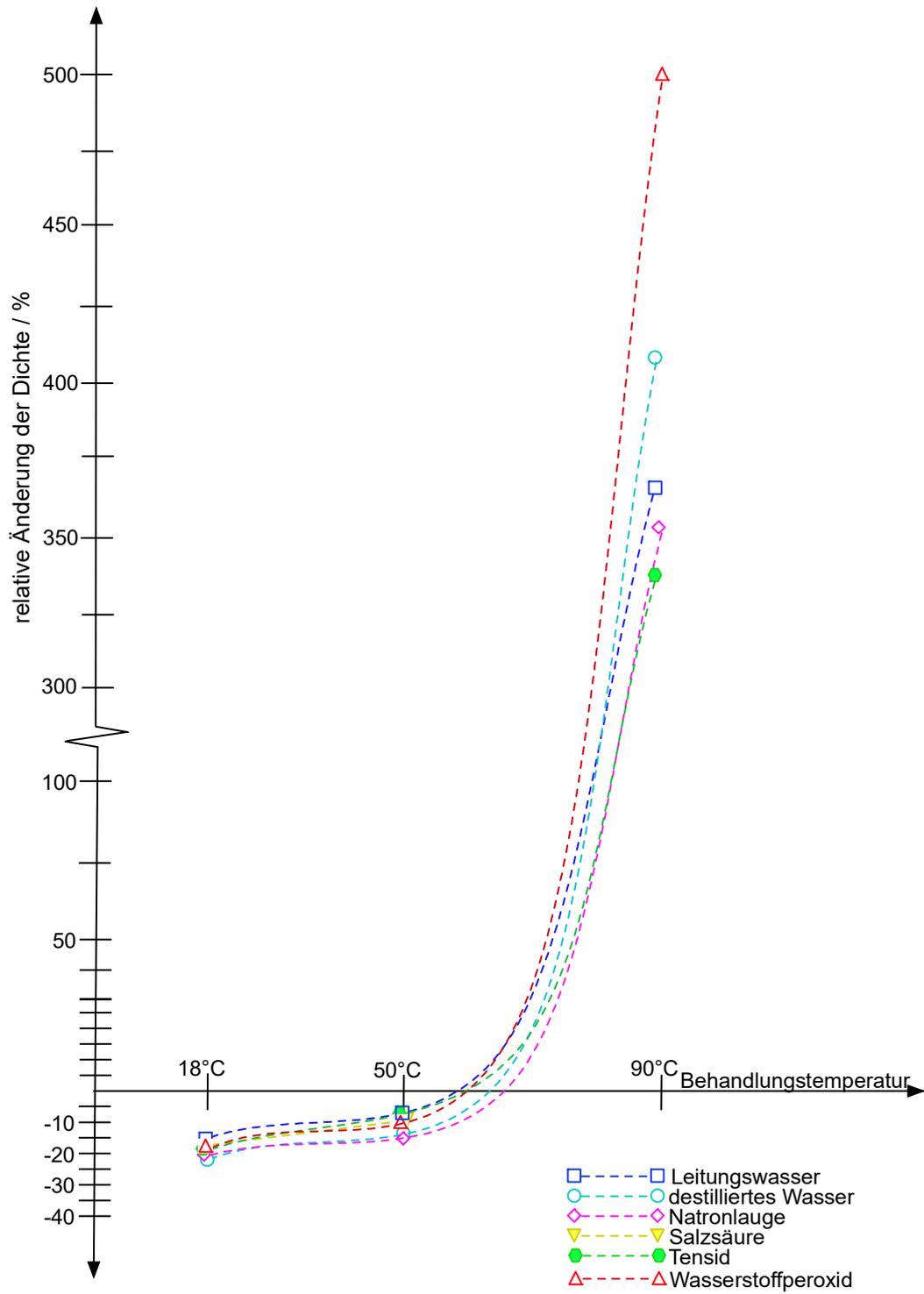


Abbildung 11: Relative Änderung der Dichte des Walzenvliesstoffs II) PVA durch eine siebentägige Behandlung in unterschiedlichen wässrigen Medien in Abhängigkeit von der Temperatur der Behandlung

In der Abbildung 11 wird der Zusammenhang des Einflusses auf die Dichte des Walzenvliesstoffs II) PVA durch die unterschiedlichen wässrigen Medien im Vergleich zu Leitungswasser dargestellt. Die gestrichelten Linien sollen als Verbindung der Mittelwerte die Abhängigkeit von der Behandlungstemperatur aufzeigen. Demnach besteht im Temperaturbereich bis 50 °C kein signifikanter Unterschied aller unterschiedlichen wässrigen Medien im Einfluss auf die Dichte. Bei der Quellung, die nach dem Trocknen bestimmt wird, ist für alle Proben kein signifikanter Unterschied festzustellen. Erst oberhalb von 60 °C ist eine wesentliche Änderung der Dichte zu beobachten, die auch Unterschiede in Abhängigkeit von der Art des wässrigen Mediums aufweist. Die Vliesstoffe schrumpfen mit zunehmender Temperatur. Die höchste Änderung der Dichte des Walzenvliesstoffs ist durch das Einwirken von Wasserstoffperoxidlösung festzustellen, die möglicherweise auf eine Schädigung des Vliesstoffs schließen lässt. Stärker als Leitungswasser wirkt destilliertes Wasser als Extraktionsmittel auf den Vliesstoff, was sich auch in einer entsprechenden Änderung der Parameter CSB, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit der wässrigen Lösungen zeigt (Tabelle 7).

Tabelle 7: Änderung der Parameter CSB, pH-Wert und elektrische Leitfähigkeit der wässrigen Lösungen, in die jeweils 0,6 g-PVA-Vliesstoffproben bei unterschiedlicher Temperatur und einer Verweildauer von 7 Tagen eingelegt waren; LW = Leitungswasser, dW = destilliertes Wasser, OH = wässrige Natronlauge pH 10, H = wässrige Salzsäurelösung pH 3, T = wässrige Waschmittellösung, H₂O₂ = wässrige Peroxidlösung

Flüssigkeitsart	Temperatur / °C	Parameter					
		CSB / mg L ⁻¹		pH-Wert / dimensionslos		Elektrische Leitfähigkeit / µS cm ⁻¹	
		arithmetischer Mittelwert	Unsicherheit	arithmetischer Mittelwert	Unsicherheit	arithmetischer Mittelwert	Unsicherheit
Leitungswasser	18	326	47	7,79	0,32	230,1	2,0
	50	263	25	8,35	0,16	254,2	8,9
	90	483	24	9,45	0,03	310,1	6,1
destilliertes Wasser	18	314	45	6,62	0,43	4,852	0,148
	50	274	12	6,81	0,21	5,147	0,377
	90	529	20	8,29	0,04	33,41	2,05
Natronlauge (pH 10)	18	269	16	7,74	0,28	17,25	2,27
	50	261	19	7,89	0,49	18,76	1,23
	90	484	5	9,13	0,02	84,49	1,27
Salzsäure-Lösung (pH 3)	18	292	41	2,89	0,06	434,7	10,7
	50	314	32	3,03	0,02	429,8	9,7
	90	2273	6	2,97	0,01	509,4	10,9
Waschmittellösung (1 g/L)	18	1188	41	6,31	0,35	12,85	0,15
	50	1156	26	6,87	0,22	12,9	1,1
	90	1561	33	6,98	0,09	25,08	1,49
Wasserstoffperoxidlösung	18	568	44	6,03	0,13	5,629	0,686
	50	512	10	4,08	0,15	41,05	9,50
	90	1754	36	3,37	0,04	193,3	13,5

Alle wässrigen Lösungen lösen bis zu einer Temperatur von 50 °C nur geringe Stoffmengen aus dem Vliesstoff heraus. (Die Waschmittellösung weist bedingt durch den spezifischen CSB der Waschmittelkomponenten eine CSB-Konzentration von ca. 1.000 mg/L vor Beginn der Untersuchung auf. Auch Wasserstoffperoxid ist mit dem stärkeren Oxidationsmittel des CSB-Tests oxidierbar und weist daher auch einen spezifischen CSB-Wert auf. Bei 90 °C ist die Änderung der CSB-Konzentration aufgrund der aus dem Vliesstoff gelösten Stoffe erheblich. Da bei Oxidationsprozessen die aus dem Vliesstoff mit H₂O₂ herausgelösten organischen Stoffe zu Carbonsäuren oxidiert werden, muss zwangsläufig der pH-Wert niedrigere Werte (saurer Milieu) annehmen. Dies kommt auch durch die Änderung der Leitfähigkeit zum Ausdruck. Hier fallen insbesondere auch destilliertes Wasser und auch die Natronlauge auf. Destilliertes Wasser ist als „extremes“ Lösemittel bekannt. Die Natronlauge führt bei höherer Temperatur zu einer verstärkten Hydrolyse des im PVA noch vorhandenen Vinylacetats mit Bildung von Natriumacetat als Salz.

Für den Walzenvliesstoff II) PVA wurde die Temperaturabhängigkeit für den Bereich 50 °C bis 80 °C mit Leitungswasser wiederholt (Tabelle 8).

Tabelle 8: Relative Änderung der Dichte von Vliesstoffeinzelproben und CSB-Dynamik in Abhängigkeit der Temperatur. Zu untersuchender Walzenvliesstoff: II) PVA; Prüfflüssigkeit: Leitungswasser

Temperatur / °C		18	50	60	70	80
Rel. Änderung der Dichte /%	arithmetischer Mittelwert	-4	-6	-3	26	345
	Unsicherheit	2	1	2	2	26
CSB-Wert / mg L ⁻¹	arithmetischer Mittelwert	210	217	232	267	379
	Unsicherheit	11	22	21	9	6
	Δ CSB zum 0-Wert des Leitungswassers	195	202	217	252	364

Die relative Änderung der Dichte von Vliesstoffeinzelproben im praxisrelevanten Temperaturbereich 18...60 °C liegt in vertretbaren Grenzen. Erst ab einer Temperatur oberhalb von 60 °C ist die Dichteänderung erheblich. Auch bei den CSB-Konzentrationswerten des Wassers, die auf die aus dem Vliesstoff extrahierbaren organischen Stoffe hinweisen, ist eine ähnliche Tendenz in der Temperaturabhängigkeit festzustellen.

Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass der Einsatz der Vliesstoffwalze im kontinuierlichen Waschprozess der Textilveredlung nicht möglich ist. Die offensichtliche Abhängigkeit der Beständigkeit von der Temperatur und Empfindlichkeit gegenüber Laugen, Säuren und Oxidationsmitteln lässt einen Einsatz insbesondere im höheren Temperaturbereich bei Waschprozessen von Bahnenwaren nicht zu, wie er beispielsweise zur Verbesserung der Waschleistung angedacht war. Die stärkere Entwässerung der Warenbahn nach dem letzten Foulard der Waschmaschine, der offenporige Textilien (z. B. Maschenwaren) nur auf einen Restfeuchtegehalt von 70 bis 90 % entwässern kann, bleibt als Lösung. Eine Nachreinigung der Warenbahnen mit kaltem Wasser (Temperatur < 30 °C) mit Hilfe der Vliesstoffwalze, die unmittelbar vor dem letzten Foulard der Waschmaschine vorgenommen werden kann, wird abhängig sein von den technischen Gegebenheiten der Waschmaschine. Aus räumlichen Gründen ist diesbezüglich mit erheblichen Einschränkungen zu rechnen.

Bei der Entwässerung von nassverfestigten Vliesstoffen oder von Textilwarenbahnen, insbesondere von offenporigen Flächen (z. B. Maschenwaren) für eine nachfolgende Trocknung spielt eine Temperatur oberhalb von 30 °C keine Rolle. Es ist daher bei einem Einsatz der PVA-Vliesstoffwalze in diesem Bereich von keiner nennenswerten Veränderung des Vliesstoffs während des Einsatzes auszugehen. Auch der Stofftransport vom zu entwässernden Textil in die Vliesstoffwalze und umgekehrt ist im Bereich der Raumtemperatur von untergeordneter Bedeutung. Hierfür wurde ein weiterer Dauerversuch über fünf Tage durchgeführt, bei dem die Vliesstoffwalze in einem Wasserbad, das auf 50 °C temperiert war, dauerhaft benetzt und anschließend durch die angepresste Gummiwalze wieder entwässert wurde. Die CSB-Konzentration, die aus dem Wasser während des Dauerversuchs als tägliche Probenahme ermittelt wurde, weist sehr niedrige Werte auf; die CSB-Konzentrationswerte lagen in der Nähe der Bestimmungsgrenze des Kuvettentests. Die aus der Vliesstoffwalze ausgetretene Menge an organischer Substanz (bestimmt als Steigerung der CSB-Konzentration des Leitungswassers) war während des Dauerversuchs über fünf Tage sehr gering (Tabelle 9). Es kann daher als Grenztemperatur für die Vliesstoffwalze bei Verwendung von Leitungswasser (4 °dH und geringer Salzgehalt) eine Temperatur von 50 °C festgelegt werden.

Tabelle 9: Änderung der CSB-Konzentration von 10 L Leitungswasser bei der Behandlung einer Vliesstoffwalze aus PVA (II) über 5 Tage bei einer Temperatur von 50 °C

Versuchsnummer/-tag	Referenz Leitungswasser	1	2	3	4	5
CSB-Konzentration/ mg L ⁻¹	< 15	20,7	19,9	16,7	17,7	21,8

6. Ergebnisse von Dauerbelastungstests der PVA-Vliesstoffwalze und zum Einfluss von im Wasser enthaltenen organischen Stoffen aus Vorbehandlungen der zu entwässernden Textilbahnen

Beim Einsatz von Vliesstoffwalzen zur Entwässerung und zur Nachreinigung von Textilbahnenstoffen muss berücksichtigt werden, dass die Textilbahnenstoffe herstellbedingt Präparationsmittel und Avivagen enthalten, die bei einer Entwässerung mit dem Wasser in den Vliesstoff der Walze übergehen. Insbesondere am Ende eines Waschprozesses von Rohwaren (Gewebe und Maschenwaren) enthalten die gewaschenen Textilbahnenstoffe noch Reste an Präparationsmitteln und Faserbegleitstoffen, Schlichtemitteln (nur Gewebe) und auch die zum Waschen benötigten chemischen Hilfsmittel (nichtionogene und anionische Tenside, Salze) in geringer Konzentration, die beim Kontakt des Textils mit der Vliesstoffwalze und der dabei stattfindenden Entwässerung des Textils mit dem Wasser der nassen Textilbahn auf die Vliesstoffwalze übertragen werden. Ob es bei diesem Stofftransfer zu einer Anreicherung im Vliesstoff der Walze kommt, war durch Versuche im kleintechnischen Maßstab anhand einer endlosen Schlaufe einer Polyestermaschenware (stabilisierte Maschenware, 100 % Polyester) zu untersuchen. Diese Untersuchungen dienten gleichzeitig als Dauerbelastungstest.

Für diesen Dauerbelastungstest mit endlosen Warenbahnen wurde ein weiterer, gebrauchter Laborfoulard angeschafft, vollständig überarbeitet und für die Untersuchungen zum Verschleißverhalten in unterschiedlichen Medien eingerichtet. Die endlose Textilbahn, bei der Anfang und Ende zusammengenäht sind, wird im gespannten Zustand kontinuierlich in ein

Wasserbad getaucht, zwischen der Vliesstoffwalze und einer Konterwalze entwässert und sofort wieder im Wasserbad eingetaucht (siehe auch nachfolgende Abbildung 11). Dabei nimmt die Textilbahn mit dem Wasser auch die im Wasser enthaltenen Tenside auf. Die Textilbahn wies eine Länge von ca. 200 cm und eine Breite von ca. 30 cm auf. Die Führung der Warenbahn über die Vliesstoffwalze erfolgte in Omega-Form. Die unter der Vliesstoffwalze angebrachte Gummiwalze quetschte das in der Vliesstoffwalze enthaltene Wasser bis zu einem bestimmten, immer gleichbleibenden Restfeuchtegehalt der Vliesstoffwalze aus (Schema siehe ebenfalls Abbildung 12).

Untersucht wurde einerseits der Gehalt an in Methanol extrahierbaren Stoffen der Textilbahn, der sich durch die Tensidaufnahme und -abgabe einstellt bzw. die sich wegen der stofflichen Anreicherung bzw. Abnahme im Wasser ändernde CSB-Konzentration. Es wurde erwartet, dass sich über die Versuchsdauer bei Raumtemperatur eine Gleichgewichtskonzentration im Wasser einstellt, da das Wasser nicht ausgetauscht wurde, und dass darüber eine Massenbilanz hinsichtlich der Tensidaufnahme und -speicherung durch den PVA-Vliesstoff der Vliesstoffwalze zu bestimmen war. Als Tensidlösungen wurden ein nichtionogenes Tensid, ein anionisches Tensid und ein bei der Rohwarenwäsche von Polyesterwaschmaschine anfallendes Waschwasser benutzt. Letzteres enthielt neben den Tensiden auch die mit der Rohware in den Prozess eingeschleppten Präparationsmittel (Tabelle 10).

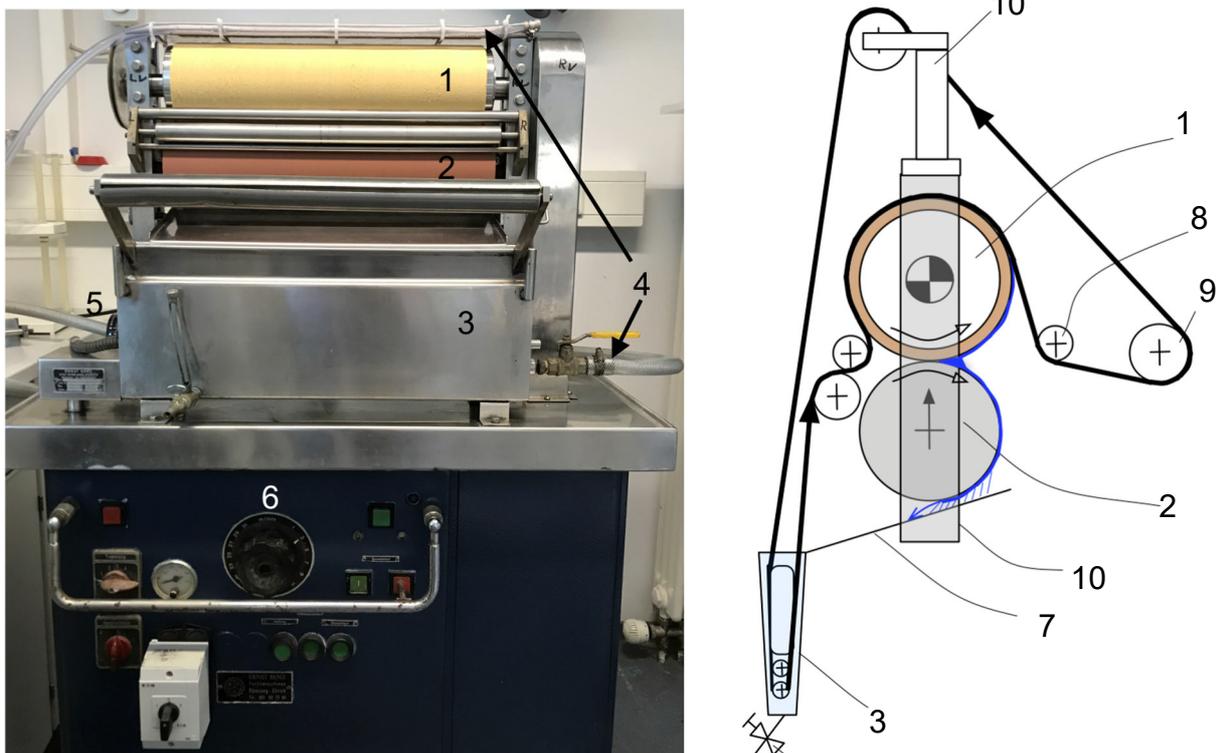


Abbildung 12: Versuchsstand für Dauerversuche zur Entwässerung bzw. zur Untersuchung von Stofftransporten aus dem Endlostextil in die Vliesstoffwalze und umgekehrt

Links: Foto der Vorderseite des Foulards mit obenliegender, angetriebener Vliesstoffwalze PVA (1), darunter angeordneter Gummiwalze (2), die mit definiertem Druck an die Vliesstoffwalze angedrückt wird, davor das Chassis mit dem Wasservorrat (3), seitlich rechts Ablassventil mit Ablassschlauch (4), seitlich links Hebel zur Regelung des Anpressdrucks der Gummiwalze an die Vliesstoffwalze (5) und unterhalb der Nassebene das Drehrad zur Geschwindigkeitseinstellung (6)

Rechts: Schema der Warenbahnführung in Omega-Form über die Vliesstoffwalze mit endloser Warenbahn: Blechrinne (7), Spannwalze (8), Umlenkwalze (9) und Ständer (10)

Tabelle 10: Chemische Charakterisierung der für den Dauerversuch eingesetzten Tenside und des Waschwassers aus der industriellen Rohwarenwäsche von Polyesterwaschmaschine; Tenside: handelsübliche Hilfsmittel für die industrielle Wäsche von Polyester Textilien

Tensidart	Bezeichnung	Zubereitung	Massenanteil %
nichtionogen	Tensid N (OCB)	nichtionische Tenside	50...80
		aliphatische Kohlenwasserstoffe	1...5
		Propan-2-ol	1...5
		Dipropylenglykoldimethyl-ether	1...5
Waschwasser aus der industriellen Wäsche von Rohstoffen aus Polyester, entnommen am Abwassersammelkanal der Waschmaschine eines Herstellers von Technischen Textilien	Schmutzwasser	nichtionische Tenside, Phosphorsäureester, Alkohole, Präparationsmittelkomponenten: aliphatische Kohlenwasserstoffe, Phosphorsäureester, Fettsäure-EO-ester, Salze	keine Angaben
anionisch	Tensid A (TA)	Phosphorsäureester	50...80
		anionische Tenside	$\geq 3... < 5$
		Dipropylenglykoldimethyl-ether, Isomergemisch	$5... \leq 10$
		Hydroformylierungsprodukt von C8-Alkenen	1...5
		Alkohole, C11-14-Iso-, C13-reich	$\geq 1... < 2,5$
		Propan-2-ol	1...5
		2-Butoxy-ethanol	0,2...0,5

Als Referenz werden die Untersuchungen ohne Tensid- bzw. Schmutzwasserzugabe herangezogen. Das Testtextil wurde vor dem Einsatz gründlich gespült, um Restanhaftungen aus der industriellen Wäsche zu entfernen. Die Testlösungen werden aus Stadtwasser und einer Beimengung von 1 g/L Tensid bzw. einer Mischung aus Schmutzwasser und Stadtwasser in einem Verhältnis hergestellt, das hinsichtlich der CSB-Konzentration etwa der der Tenside entspricht. Die Geschwindigkeit, mit der die Textilbahn im Kreis geführt wird, beträgt 2 m min^{-1} . Die Umlaufzeit ist bei 2 m Länge des Textils 1 Minute. Um eine möglichst gleichmäßige Verteilung von Wasser und chemischen Stoffen (Präparationsmittel, Waschmittel) auf der Textilbahn und auf der Vliesstoffwalze zu erreichen, erfolgt die Benetzung der Textilbahn zunächst während zehn Umläufen über die mit einer PE-Folie abgedichtete Vliesstoffwalze und dann weitere zehn Umläufe mit der Vliesstoffwalze ohne Folie. Textilbahn und Vliesstoffwalze nehmen eine bestimmte Wassermenge auf (Annahme: 190 %). Im Trog fehlt am Ende des Versuchs dieses Wasservolumen. Da die Versuche bei Raumtemperatur durchgeführt werden, wird die Verdunstungsrate vernachlässigt. Am Ende eines jeden Versuchs wird die Warenbahn entfernt und die Vliesstoffwalze mehrfach mit Wasser gereinigt (Abbildung 13).

Durch die Gegenwalze (gummierte Walze, Anpressdruck: $2,1 \text{ N mm}^{-1}$) wird die Vliesstoffwalze bis auf einen Restfeuchtegehalt kontinuierlich entwässert. Das im „freien Volumen“ des

Vliesstoffmantels enthaltene Wasser („Restfeuchtegehalt“) wird durch die Gegenwalze nicht „ausgedrückt“, da es sich um die an den Fasern fest anhaftende Feuchte handelt. Die Versuchsbedingungen und Ergebnisse sind in der Tabelle 11 zusammengestellt.

Tabelle 11: Ergebnisse der Dauerversuche mit 100 % Polyestermaschenware 200 cm Länge und Gewicht: 170 g; Anwendung unterschiedlicher Testlösungen mit nichtionogenem (Tensid N) bzw. anionischem Tensid (Tensid A) und „Schmutzwasser“; Referenz: nur Stadtwasser (alle Ergebnisse sind Mittelwerte aus Dreifachuntersuchungen)

Parameter	Einheit	Referenz	Tensid N	Schmutzwasser	Tensid A
Badbedingungen im Chassis vor und nach dem Dauerversuch					
Vorlage Wasser im Chassis	L	1	1	1	1
Eingesetzte Menge Wasser	g	1.000	1.000	1.000	1.000
Eingesetzte Menge an Tensid bzw. Schmutzwasser	g/L	./.	1	1,7	1
Spezifischer CSB-Wert des Tensides	mg/g	./.	1.900	3.210	1.600
CSB-Konzentration im Wasser zu Versuchsbeginn	mg L ⁻¹	< 15	1.900	1.807	1.528
CSB-Fracht im Wasser zu Versuchsbeginn	g CSB	./.	1,9	1,8	1,5
Wassermenge im Chassis am Ende des Dauerversuchs	g	872	650	873	770
CSB-Konzentration im Wasser Ende Versuch	mg L ⁻¹	1.767	1.640	1.588	1.208
CSB-Fracht im Wasser des Trogs Ende Versuch	g CSB	1,61	1,22	1,53	1,04
Transfer von Wasser und Frachten über Textil und Vliesstoffwalze					
Mit dem Textil vor dem Versuchsbeginn eingebrachte Wassermenge (Feuchtegehalt)	%	0	0	0	0
Mit der Vliesstoffwalze vor dem Versuchsbeginn eingebrachte Wassermenge als Feuchtegehalt	%	40	40	40	40
Mit dem Textil ausgetragene Wassermenge als Feuchtegehalt	%	65	200	32	93
Mit der Vliesstoffwalze ausgetragene Wassermenge als Feuchtegehalt	%	80	200	200	200
Methanolextrakt Textil vor Versuch	%	0,6	0,18	0,11	0,09
Entsprechende stoffliche Fracht an Präparation auf Textil (Start)	g	1,02	0,24	0,19	0,15
Entsprechende CSB-Fracht von Präparation auf Textil (Start)	g CSB	2,59	0,61	0,48	0,38
Methanolextrakt Textil nach Versuch	%	0,17	0,23	0,14	0,10
Entsprechende stoffliche Fracht an Präparation auf Textil (Ende)	g	0,29	0,31	0,24	0,17
Entsprechende CSB-Fracht von Präparation auf Textil (Ende)	g CSB	0,74	0,79	0,61	0,43
CSB-Fracht im Vliesstoffmantel am Ende des Dauerversuchs	g CSB	0,26	0,52	0,16	0,45
CSB-Fracht des Wasseranteils im Vliesstoffmantel (berechnet)	g CSB	0,06	0,15	0,14	0,11

Der Methanolextrakt des Polyestertextils, der vor Beginn der Versuche ermittelt wurde, weist bei den vier Versuchen unterschiedliche Werte auf. Das ist auf eine Ungleichmäßigkeit der industriellen Rohwarenwäsche und darauf zurückzuführen, dass die für den Dauerversuch entnommenen Textilproben an unterschiedlicher Stelle des angelieferten Textmaterials entnommen wurden.

Bei der Referenzuntersuchung wird die Stofffracht als CSB-Fracht, die von den auf dem Textil zu Beginn des Versuchs vorhandenen Präparationsmitteln herrührt, beim Benetzen des Textils im Wasser nur zu einem geringen Teil abgelöst. Das Wasser, das im Vliesstoffmantel sowie auf dem Textil am Ende des Versuchs vorhanden ist, enthält den Anteil der Gesamt-CSB-Fracht, der der im Vliesstoffmantel enthaltenen Wassermenge entspricht. Am Ende des Versuchs hat der Gehalt an Präparation auf dem Textil um ca. 70 % abgenommen. Dieser Versuch kann als „Nachreinigung“ der Polyesteramaschenware nach einer industriellen Wäsche verstanden werden.

Bei der Reinigung der Vliesstoffwalze mit kaltem Wasser im Anschluss an den Referenz-Dauerversuch wird die an die Vliesstofffasern herangetragene CSB-Fracht (Restpräparationsmittel des Textils) vollständig abgespült. Die CSB-Konzentration im Spülwasser der Reinigung lässt auch den Schluss zu, dass zusätzlich zu den abgespülten Präparationsmittelkomponenten auch geringe Mengen wasserlöslicher Stoffe abgelöst werden, die vor dem Dauerversuch auf der Vliesstoffwalze vorgelegen haben müssen (siehe Tabelle 14).

Bei der Verwendung eines nichtionogenen Tensids geht aus den Ergebnissen hervor, dass nicht nur das Textil, sondern auch der Vliesstoffmantel einen Teil der CSB-Fracht, die mit dem nichtionischen Tensid über das Wasser in den Prozess eingebracht wurde, aufgenommen hat („zurückhält“). Die CSB-Fracht im Vliesstoffmantel ist sogar größer als die, die allein im Wassergehalt des Vliesstoffmantels enthalten ist. Da auch bei der Reinigung der Vliesstoffwalze mit kaltem Wasser nur etwa die Hälfte der im Vliesstoffmantel anhaftenden nichtionogenen Tenside ausgespült wird (Tabelle 16), war die Untersuchung einer möglichen Affinität nichtionogener Tenside zu PVA-Fasern Gegenstand zusätzlicher Untersuchungen.

Von den Komponenten des Schmutzwassers (Waschhilfsmittel und Präparationsmittel aus einem industriellen Waschprozess von Polyesteramaschenware) hat der Vliesstoffmantel offensichtlich nur einen geringen Teil als CSB-Fracht aufgenommen. Diese CSB-Fracht entspricht der, die allein über den Wassergehalt und der darin gelösten CSB-Fracht im Vliesstoffmantel „verbleibt“. Bei der Reinigung der Vliesstoffwalze mit kaltem Wasser wird diese CSB-Fracht vollständig abgespült. Die CSB-Konzentration im Spülwasser der Reinigung (Tabelle 18) weist auch darauf hin, dass zusätzlich zu den abgespülten Präparationsmittelkomponenten weitere Mengen wasserlöslicher Stoffe aus dem Vliesstoff der Walze abgelöst werden, die vor dem Dauerversuch mit Schmutzwasser dort vorgelegen haben müssen (Versuch mit nichtionogenem Tensid).

Auch beim Einsatz des anionischen Tensids ist zu beobachten, dass nicht nur das Textil, sondern auch der Vliesstoffmantel einen Teil der CSB-Fracht, die mit dem anionischen Tensid über das Wasser in den Prozess eingebracht wurde, aufgenommen hat. Die CSB-Fracht im Vliesstoffmantel ist größer als die, die allein über den Wassergehalt und die darin gelöste CSB-Fracht im Vliesstoffmantel zu kalkulieren ist. Auffällig ist auch, dass bei der Reinigung der Vliesstoffwalze mit kaltem Wasser nur etwa die Hälfte der im Vliesstoffmantel anhaftenden Tensidmengen ausgespült wird (Tabelle 20). Es konnte nicht ermittelt werden, welche der in Tabelle 10 genannten Komponenten des anionischen Tensids dafür verantwortlich sind.

Für die Versuchsergebnisse ist insgesamt zu beachten: Der Fehler, der mit den Ergebnissen einhergeht, ist groß. Beispielsweise bei der Messung der Wassermengen im Trog liegt er bei etwa ± 10 %. Der Restfeuchtegehalt sowohl im Textil als auch im Vliesstoffmantel kann nur

geschätzt werden, der Fehler hier beträgt bis zu $\pm 50\%$. Der Fehler der Analytik (Methanolextrakt, CSB-Konzentrationsbestimmung) ist allerdings $< 5\%$.

Bei der Erstellung der Massenbilanzen zu allen Dauerversuchen war davon auszugehen, dass der Vliesstoff der Vliesstoffwalze von vorhergehenden Versuchen einen Rest an organischen Stoffen enthält. Diese wird als CSB-Fracht über die CSB-Konzentration des letzten Spülwassers der vorhergehenden Nachreinigung der Vliesstoffwalze mit Wasser hergeleitet. Hierbei wird angenommen, dass das „frei verfügbare Volumen“ der Vliesstoffwalze für die Wasser- und damit auch Stoffaufnahme sich auf den äußeren Mantel (3 mm) beschränkt. Wenn die Vliesstoffwalze vollständig mit Wasser benetzt ist, wird der innere Mantel (Radius 58,5 mm) aufgrund seiner wesentlich höheren Dichte kaum am Austausch von Wasser und Stoffen beteiligt sein. Es wird also angenommen, dass sich die vom Vliesstoff der Vliesstoffwalze aufgenommenen Tenside und anderen organischen Stoffe sowie Salze überwiegend im äußeren Mantel wegen der „halben Dichte“ befinden.

Die Auswertung der Versuche erfolgt als Massenbilanz über eine Excel-Kalkulation, um mögliche Stofftransfers zu bilanzieren. Folgende Parameter werden berücksichtigt:

Masse Testtextil (Länge x Breite x Flächengewicht) [g]

Methanol-Extrakt vom Testtextil (Gehalt an Tensiden und Präparation) [%]

CSB-Fracht der Testlösung [g]

Umrechnungsfaktor spezifischer CSB-Wert: 2.538 mg CSB g⁻¹ organischer Stoff

In den nachfolgenden Tabellen 12 bis 20 (Screenshots der Excel-Kalkulationen) sind ausschnittsweise die Prozesskalkulationen und Massenbilanzierungen dargestellt. Die gelben Zellen sind die variablen Daten, grüne Zellen sind berechnete Werte. Bei der Berechnung des freien Volumens wird davon ausgegangen, dass bei der Anwendungstemperatur 20 °C der Dauerversuche eine Quellung der PVA-Fasern zu vernachlässigen ist.

Tabelle 12: Berechnung des verfügbaren freien Volumens der Vliesstoffwalze II) PVA und des spez. CSB der Präparation von der Faserherstellung (allgemein)

Vliesstoffwalze													
verfügbares freies Volumen Vliesstoff im Walzenmantel für Wasser:													
innerer Radius	58,5	mm											
äußerer Radius	61,5	mm											
Differenz Radius	3	mm											
Länge Vliesstoffwalze	460	mm											
Mantelvolumen	519984	mm ³ entspr.	520	cm ³									
Dichte Vliesstoff	0,175	g/cm ³											
da Mantel nur 1/2 Dichte:	0,088	g/cm ³	(nur jede zweite Scheibe hat den größeren Durchmesser)										
tatsächliches Vliesstoff-V:	260	cm ³											
freies Volumen für Wasser:	260	cm ³	(idealisiertes Volumen; tatsächlich ist das freie Volumen kleiner z. B. wegen des Zusammenpressens)										
Vliesstoffgewicht Mantel:	45	g	(halbe Dichte in Verbindung mit Mantelvolumen)										
im Vliesstoff enthaltene Substanzmenge als CSB-Fracht:													
CSB-Konz. letztes Spülwass	40	mg/L											
CSB-Fracht in Vliesstoffma	0,01	g CSB											
Berechnung spez. CSB Präparation (Bezug Trockensubstanzgehalt)													
chemische Zusammensetzung:	C16H33(C2H4O)8	40	32	12,8	32	12,8	4	1,6	576	230	39	K	
	C18H35COOK	30	19	5,7	12	3,6	1	0,3	323	97			
	C12H26	20	12	2,4	13	2,6	0	0	170	34			
	PO4(C12H25)1,5	10	18	1,8	24	2,4	0	0	359	36	95	PO4	
	Summe	100		22,7		21,4		1,9		397			
	Umrechnung in Mol-Mengen CO2			22,7		10,7		1,9					
	Umrechnung in O2 Gramm-Mengen		g O2	726		342		61					
	Verbrauch O2 für Oxidation aller CH-Verbindungen zu CO2:					1008	g O2						
	gewichtete Molmasse der Präparation:					397	g						
	spezifischer Sauerstoffverbrauch als CSB der Präparation:					2538	mg/g						

Zusammenfassend ist festzustellen, dass beim Einsatz von reinem Wasser (Referenz-Dauerversuch) 70 % der Präparations- und Waschmittel, die auf dem Textil aus dem vorhergehenden industriellen Waschprozess noch vorhanden waren, abgelöst und gleichmäßig mit dem Wasser über die Warenbahn und die Vliesstoffwalze verteilt werden. Eine Anreicherung auf der Vliesstoffwalze konnte nicht ermittelt werden. Vergleichbar war das Ergebnis beim Dauerversuch mit Waschwasser aus einem industriellen Waschprozess von Polyesterma-schenware.

Anders verhält es sich bei Verwendung von nichtionogenen Tensiden. Sowohl das Textil als auch der Vliesstoffmantel haben einen Teil der CSB-Fracht, die mit dem nichtionischen Tensid über das Wasser in den Prozess eingebracht wurde, aufgenommen. Die CSB-Fracht im Vliesstoffmantel ist größer als die, die allein über den Wassergehalt und die darin gelöste CSB-Fracht im Vliesstoffmantel „verbleibt“. Man kann daher davon ausgehen, dass es zu einer Anreicherung von nichtionogenem Tensid im Vliesstoffmantel kommt (nichtionogene Tenside haben einen schwach kationischen Charakter und sind daher gegenüber nichtionischen Synthesefaserstoffen wie Polyester und Polyvinylalkohol affin). Beim nachfolgenden Reinigen der Vliesstoffwalze mit Wasser wird nur die Hälfte der dort anhaftenden nichtionogenen Tenside ausgewaschen.

Eine Anreicherung von nichtionogenen Tensidkomponenten des Schmutzwassers im Vliesstoffmantel und auch auf dem Textil ist von untergeordneter Bedeutung.

Überraschenderweise kommt es auch zu einer Anreicherung des anionischen Tensids im Vliesstoffmantel und auch auf dem Textil. Ob dies auf den hohen Anteil an einem Phosphorsäureester zurückzuführen ist, der offensichtlich eine gewisse Affinität zum Polyestertextil und auch zu den Vliesstofffasern hat, konnte nicht ermittelt werden. Beim Reinigen der Vliesstoffwalze werden wie im Versuch mit nichtionogenem Tensid ebenfalls nur 45 % des im Vliesstoff anhaftenden Aniontensids ausgewaschen.

Bei der Reinigung der Vliesstoffwalze mit kaltem Wasser waren das Volumenverhältnis des Spülwassers zum Vliesstoffmantel allerdings nur 8-fach (ohne Tensid – 10-fach) und der Spülprozess von kurzer Dauer. Eine Optimierung durch Verlängerung der Spüldauer mit Wasserkreislaufführung wird möglicherweise auch mit einer Steigerung der Reinigungsleistung verbunden sein. Das ist für eine spätere Anwendung der Vliesstoffwalze in der industriellen Praxis, beispielsweise beim Nachreinigen von gewaschenen Textilbahnen, ggf. zu beachten.

Anhand von Prüflingen des Walzenvliesstoffs II) PVA, die ein Flächenmaß von 10 cm · 5 cm und ein Gewicht von 1,15 g bis 1,23 g aufwiesen und die in 500 mL Prüflösung bei Raumtemperatur bzw. 35 °C während 2 Stunden aufbewahrt wurden, wurde mittels Methanolextrakt die Aufnahme von Tensiden untersucht. Zur Gegenprüfung wurde die CSB-Konzentration in der Prüflösung vor und nach dem Versuch bestimmt. Die Prüflinge wurden entwässert und konditioniert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 21 für jeweils eine Versuchsreihe zusammengefasst.

Bei der Behandlung der Walzenvliesstoffproben mit nichtionogenem Tensid kommt es wie erwartet zu einer Abnahme der CSB-Konzentration der wässrigen Lösung. Diese Stoffmenge an nichtionogenem Tensid ist mit den Vliesstoffproben am Ende des Versuchs aus der Prüflösung entfernt worden. Um die an den PVA-Fasern adsorbierten Tensidkomponenten zu kalkulieren, muss von der insgesamt aufgenommenen CSB-Fracht der Anteil abgezogen werden, der in der mitgenommenen Feuchte enthalten ist. Daraus resultiert durch Umrechnung von CSB in Trockensubstanz (TS) die anzunehmende adsorbierte Tensidmenge in %

bezogen auf die Menge des eingesetzten Vliesstoffs mit 3,5 g. Vergleicht man diesen über den wässrigen Auszug erhaltenen Wert mit dem durch Extraktion des Vliesstoffs mit Methanol erhaltenen Wert, ist keine Übereinstimmung festzustellen. Ob es zu einem Austausch von den im Vliesstoff enthaltenen organischen Stoffen (hygroskopische Mittel) gegen Tensidkomponenten während der Behandlung gekommen ist und warum ein solcher Austausch bei höherer Temperatur (= abnehmender Löslichkeit der nichtionogenen Tenside) niedriger ausfällt, kann nicht geklärt werden. Nur tendenziell kann festgehalten werden, dass es eine (geringe) Affinität des nichtionogenen Tensids zum PVA-Vliesstoff gibt.

Tabelle 21: Ergebnisse von je zwei Reihen zur Untersuchung der Affinität des nichtionogenen und des anionischen Tensids gegenüber dem Walzenvliesstoff PVA (II) bei Raumtemperatur und bei 35 °C

Versuchsbezeichnung (ausgewählter Versuch)		nichtionogenes Tensid (III)		anionisches Tensid (I)	
Behandlungstemperatur / °C		21	35	19,5	35
CSB-Konzentration wässriger Lösung /mg L ⁻¹	vorher	1.738	1.678	1.507	1.533
	nachher	1.559	1.589	1.696	1.741
Δ [CSBvorher] - [CSBnachher]		179	80	-189	-208
als Trockensubstanzmenge TS auf 500 mL bezogen /mg TS		38	17	-	-
Durchschnittswerte von 3 Vliesstoffproben je Versuch	Feuchtegehalt nach Entwässerung /%	135	127	138	134
	über die Feuchte auf- genommene CSB- Fracht /mg CSB	8	7	7	7
Fracht als Trockensubstanzmenge /mg TS		3	3	4	4
insgesamt von 3,5 g Vliesstoff aufgenomme- nen Tensidmenge (TS + Feuchte-TS)		41	20	4	4
aufgenommene Tensidmenge relativ zur Vliesstoffmenge 3,5 g /%		1,18	0,57	0,12	0,11
Methanolextrakt /%		0,16	0,18	0,20	0,23
Δ Methanolextrakt (Berücksichtigung Extrakt des unbehandelten Vliesstoffes 0,15 %) /%		0,01	0,03	0,05	0,08

Beim anionischen Tensid reichert sich die wässrige Lösung an, ersichtlich an einer Zunahme der CSB-Konzentration. Die insgesamt von 3,5 g Vliesstoff aufgenommene Tensidmenge fällt daher sehr viel geringer aus als beim nichtionogenen Tensid. Hier besteht eine gewisse Übereinstimmung mit dem Methanolextrakt. Daraus kann jedoch keine Affinität des Aniontensids zur PVA-Faser abgeleitet werden.

7. Untersuchungen zum Einsatz der Vliesstoffwalze bei der Nachreinigung von Textilbahnen im Anschluss an deren Kontinuwäsche

Die Vliesstoffwalze ist aus vorgenannten Gründen nicht für einen Einsatz als Waschaggregat in einem kontinuierlich geführten Waschprozess geeignet. Insbesondere die dort vorherrschende hohe Waschtemperatur und ein möglicherweise stark alkalischer pH-Wert sind Ausschlusskriterien. Hingegen kann der Einsatz der Vliesstoffwalze zur Nachreinigung der gewaschenen Warenbahn vor der Entwässerung effektiv nutzbar sein, wo die Warenbahn meist durch einen zeitlich kurzen Tauchgang in meist kaltem bis max. 50 °C warmem Wasser „gespült“ wird. Über eine Simulation der Nachreinigung von Textilbahnen im kleintechnischen Maßstab wurde dieser Zusammenhang untersucht. Ca. 20 bis 30 m Polyesteramaschenware (industriell vorgewaschen und getrocknet) wurden hierzu vor dem Foulard mit der Vliesstoffwalze aufgedockt, durch das mit Wasser gefüllte Chassis des Foulards und dann in Omega-Form über die Vliesstoffwalze geführt, dabei zusätzlich im ersten Drittel des Vliesstoffwalzenumfangs mit Frischwasser (ca. 20 °C) besprüht und nach dem Verlassen der Vliesstoffwalzenoberfläche und einer entsprechenden Entwässerung aufgewickelt. Das Wasser von der Entwässerung der Textilbahn gelangt wieder zurück in das Foulardchassis und wurde mittels einer Zirkulationspumpe im Kreis über das Sprühregister geführt. Der Versuch wurde insgesamt dreimal hintereinander durchgeführt. Das Wasser des Chassis wurde nach jedem Versuch ausgetauscht. Die Vliesstoffwalze wurde vor Versuchsbeginn gereinigt. Der Stoffstrom des Textils betrug 0,14 kg/min. Das Verhältnis von Wassermenge zu Warenmenge betrug 3,7 L/kg. Der Umrechnungsfaktor von CSB in Trockensubstanz wurde als 2.540 mg CSB/g TS angenommen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 22 zusammengestellt. Der durchschnittliche Methanolextrakt der Polyesteramaschenware vor dem Nachreinigungsversuch betrug 0,37 %.

Tabelle 22: Ergebnisse von drei hintereinander folgenden Versuchen zur Nachreinigung von Polyesteramaschenware durch Benetzung von Polyesteramaschenware mit Wasser und Entwässerung über die Vliesstoffwalze

Versuchs-Nr. Reihenfolge	Eigenschaften Textil		Frischwassermenge /L	CSB Wasser		Trockensubstanz		Methanolextrakt des Textils nachher /%
	Länge /m	Masse /kg		Konzentration /mg L ⁻¹	Fracht im Waschwasser durch von der Ware abgelöste Stoffe /g	Fracht /g	rel. Bezug zur Textilprobe /%	
1	8,84	0,762	2,7	156	0,43	0,17	0,02	0,12
2	7,28	0,627	2,3	444	1,00	0,39	0,06	0,24
3	7,60	0,654	2,4	843	1,98	0,78	0,12	0,42

Obwohl zu jedem der drei Versuche das Chassis mit Frischwasser gefüllt wurde, reicherte sich das Wasser der Nachreinigung mit fortlaufender Zeit und Versuch an, erkennbar an der zunehmenden CSB-Konzentration von Versuch 1 bis 3. Daraus ergibt sich auch eine Zunahme der Stoffmenge, die umgerechnet als Trockensubstanz aus dem Wasser auf das Textil über die Restfeuchte aufgetragen wird. Der Nachreinigungseffekt ist anhand der Methanolextrakte der nachgereinigten Ware gegenüber der Ware vor der Nachreinigung ersichtlich. Die Polyesteramaschenware der Versuche 1 und 2 weist geringere Methanolextrakte auf, die des dritten Versuchs einen geringfügig höheren Wert. Auch hier ist von Versuch 1 bis Versuch 3 eine Zunahme festzustellen. Vermutlich erfolgt eine Ablösung von Resten an Präpara-

tionsmittel und Waschmittel, die von der vorhergehenden industriellen Reinigung auf der Ware verblieben sind, und Übertragung auf die Vliesstoffwalze, von der wiederum ein (zunehmender) Anteil beim nächsten Versuch wieder abgewaschen wird. Das Verhältnis von Wasser- zu Warenmenge ist wahrscheinlich zu niedrig gewählt gewesen. Außerdem sollte die Anordnung der Vliesstoffwalze so geändert werden, dass die Aufnahme von im Wasser gelösten/dispergierten Substanzen auf ein niedrigeres Niveau zurückgedrängt wird. Beispielsweise ist in der Abbildung 13 eine Aufstellung der Vliesstoffwalze vor dem abschließend zur Entwässerung der Textilbahnware angeordneten Gummiwalzenpaars des Foulards einer Waschmaschine dargestellt.

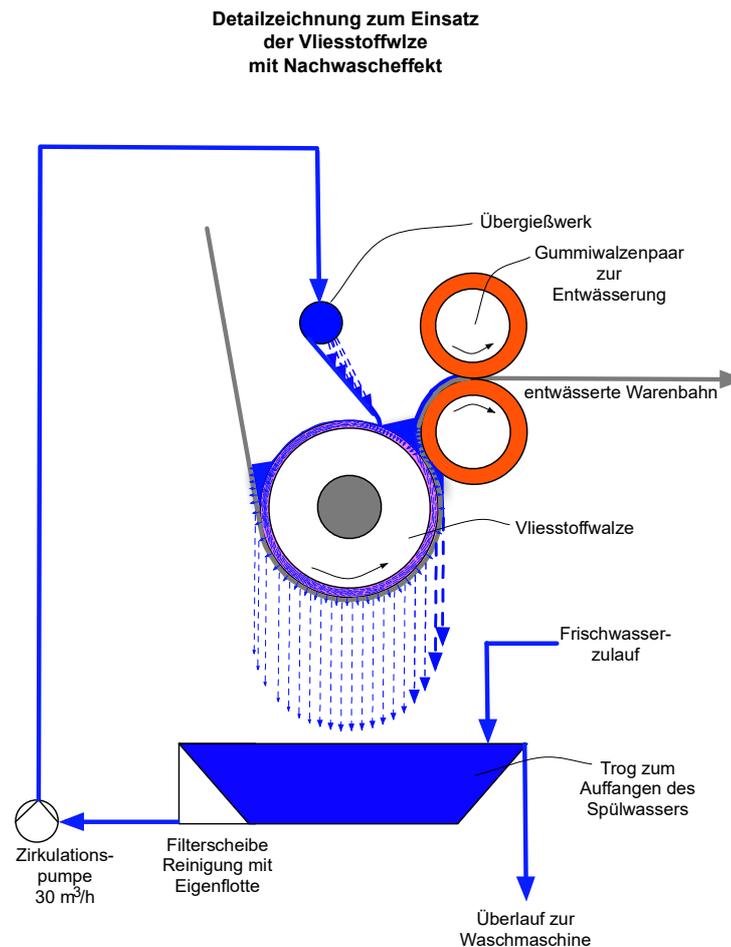


Abbildung 13: Schematische Darstellung zum Einsatz der Vliesstoffwalze für eine Nachreinigung von Textilbahnen am Ende eines kontinuierlich geführten Waschprozesses vor dem zur Entwässerung der Warenbahn eingesetzten Gummiwalzenpaar; Frischwasserauftrag auf die Vliesstoffwalze; Warenbahnführung mit halber Umschlingung der Vliesstoffwalze an der unteren Hälfte; Zirkulation des Waschwassers mit Überlauf zur Waschmaschine als Waschwasser im Gegenstrom zur Ware

8. Simulation der Entwässerung von Hygienevliesstoffen mittels Papiertuch

Zur Simulation der Entwässerung von Hygienevliesstoffen nach einer Nassverdichtung und vor der Trocknung wurden Handpapierrollen unterschiedlicher Herkunft (Einzelhandel) in ein Wasserbad getaucht und anschließend über die Vliesstoffwalze in Omega-Stellung geführt und dabei entwässert. Abbildung 14 zeigt eine der Papierrollen nach dem Benetzen im Einlauf des Foulards mit der Vliesstoffwalze (obere Walze, gelbe Farbe).



Abbildung 14: Einrichtung zur Benetzung und Entwässerung von Papierbahnen mit Omega-Umwicklung der Vliesstoffwalze (obere Walze)

Zunächst wurde der Feuchtegehalt der Vliesstoffe im trockenen Handelszustand durch eine Wärmebehandlung bei 105 °C im Trockenschrank gravimetrisch ermittelt. Von den im Trog mit Wasser benetzten Papierrollen wurden jeweils 5 Proben gezogen und der Feuchtegehalt (max) bestimmt. Ebenfalls wurden 5 Proben jeder Papierart nach der Entwässerung genommen und wiederum der Feuchtegehalt ermittelt. Bei den Entwässerungsversuchen konnte eine Papierrolle wegen einer zu geringen Nassreißfestigkeit nicht getestet werden. Zur Entwässerung der Vliesstoffwalze wurde die Gummiwalze (untere Walze, rote Farbe) mit einem Liniendruck von 1 N mm⁻¹ an die Vliesstoffwalze gedrückt.

Die Ergebnisse für die beiden Papierrollen, die sich über die Vliesstoffwalze entwässern ließen, sind in Tabelle 23 zusammengefasst. Durch die Benetzung mit Wasser bei Raumtemperatur erhalten beide Papiere einen hohen Feuchtegehalt von 550 bis 700 %, bezogen auf das trockene Papiergewicht. Durch die Vliesstoffwalze konnte der Feuchtegehalt der Papiere erwartungsgemäß um 70 % reduziert werden.

Tabelle 23: Ergebnisse zum Restfeuchtegehalt von in Wasser getauchten und über die Vliesstoffwalze mit Omega-Umwicklung entwässerten, handelsüblichen Papierbahnen

Zielgröße	Handpapierrolle mit Kleinblattabriss	Handpapierrolle mit Großblattabriss
Feuchtegehalt der Handelsware im trockenen Zustand /%	7,4 ± 0,2	5,4 ± 0,1
Feuchtegehalt des benetzten Papiers /%	710 ± 10	550 ± 20
Feuchtegehalt nach der Entwässerung durch die Vliesstoffwalze /%	205 ± 5	155 ± 5
Entwässerungsleistung /%	71	72

Bei der Laborsimulation konnte aus Gründen der Nassfestigkeit der Papiere und wegen der Durchmesser der Leitwalzen für die Anlegung der Papierbahn an die Vliesstoffwalze in Omega-Stellung nur eine geringe Geschwindigkeit von 3 m/min eingestellt werden. Für die Umsetzung im großtechnischen Maßstab und die wesentlich höheren Umfangsgeschwindigkeiten ist eine entsprechend angepasste Dimensionierung aller Walzen erforderlich.

Prinzipiell kann jedoch über diesen Versuch gezeigt werden, dass eine weitgehende Entwässerung von hygroskopischen Bahnenmaterialien über die Vliesstoffwalze in Omega-Umwicklung möglich ist.

9. Reinigung der Vliesstoffwalze von Ablagerungen

Dauerbelastungstests zeigen, dass der Vliesstoffmantel einen mehr oder weniger großen Teil der stofflichen Fracht aufnimmt, die das Textil als in Wasser lösliche oder dispergierbare Stoffe mitbringt. Diese stoffliche Fracht beruht darauf, dass der industrielle Waschprozess keine „reine“ Ware erzeugt. Auf der Ware bleiben Reste der Spinnpräparation und auch der zum Waschen benutzten Tenside (nichtionogenen Tenside) zurück, die sich in nachfolgenden Prozessen störend auswirken können. Es muss davon ausgegangen werden, dass auch der Vliesstoffmantel der Vliesstoffwalze die in der wässrigen Phase am Textil anhaftenden Stoffe mit dem Wasser übernimmt und dass beim Entwässern des Vliesstoffmantels diese Stoffe an den Vliesstofffasern anhaften und damit am Ende des Prozesses der Entwässerung von Textilbahnen im Vliesstoffmantel verbleiben. Nichtionogene Tenside können diesen Effekt verstärken. Um eine Übertragung dieser Stoffe auf die Textilbahn eines nachfolgenden Prozesses zu vermeiden und weil das Reinigen der Vliesstoffwalze mit Frischwasser während des Entwässerungsprozesses in der gebotenen Intensität nicht möglich ist, war ein Reinigungsverfahren der Vliesstoffwalze zu entwickeln. In Frage kommen eine Absaugung als mechanische Reinigung der Vliesstoffwalze, die zu unterstützen ist durch eine zusätzliche nasschemische Reinigung, um einen ausreichenden Grundzustand der Vliesstoffwalze erreichen zu können.

Zunächst wurde die Nachreinigung einer Polyestermaschenware durchgeführt, um eine bestimmte Vorbelastung der Vliesstoffwalze mit Präparations- und Waschmittel zu erreichen. Um Verdünnungseffekte auszuschließen, wurde keine Frischwasserzufuhr gewählt. Die Textilbahn wurde in dem mit Leitungswasser gefüllten Trog getaucht, dabei mit Wasser benetzt und anschließend über die Vliesstoffwalze geführt und entwässert. Der Versuchsaufbau ent-

spricht dem, der in Kapitel 7 näher beschrieben ist. Das Wasser im Trog reichert sich dadurch stetig an mit den von der Warenbahn abgelösten organischen Stoffen und Salzen.

Die Bestimmung erfolgt unter der Annahme, dass sich beim Dauerversuch ein Gleichgewicht zwischen dem von der Vliesstoffwalze aus dem Textil aufgenommenen Stoff und dem, der mit dem aus der Vliesstoffwalze mit Hilfe der Konterwalze ausgepressten Wasser weggetragen wird, bildet. Der kurze Tauchweg bzw. die kurze Tauchzeit im Wasser des Trogs reicht aus, um eine Konzentration von 185 mg CSB/L zu erreichen, entsprechend einer Trockensubstanz-Konzentration von 73 mg TS/L (Umrechnungsfaktor: 1 g TS = 2.540 mg CSB). Bei 2 L Trogfüllung mit Frischwasser ist eine Gesamtfracht von 146 mg TS angefallen. Ausgehend von einer Warenbahnlänge von 8 m und einem Trockengewicht von 86 g/m Warenbahn entspricht die durchschnittlich von der Polyesterwarenbahn abgelöste Stoffmenge relativ bezogen auf die Polyestertextilmasse 0,02 % (Anmerkung: Der Restpräparationsmittelgehalt des Polyestertextils betrug 0,37 % Methanolextrakt; es wurde also nur ein sehr kleiner Anteil der nach der industriellen Wäsche noch auf dem Textil vorhandenen Reste an Präparationsmittel und Waschmittel durch diese Anordnung abgelöst! Dennoch war diese Menge durch die Schaumbildung im Wasser und auf der Walze als solche gut erkennbar).

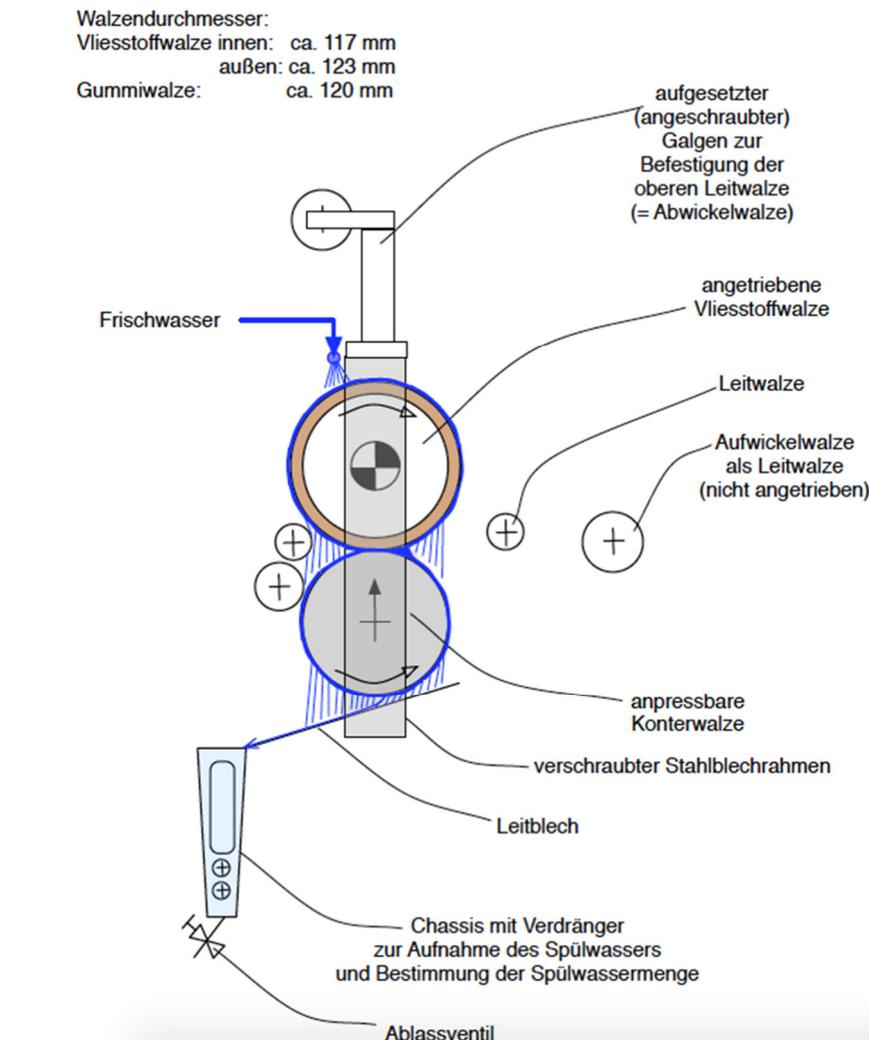


Abbildung 15: Versuchsstand zur Durchführung von Dauerversuchen zur Entwässerung von Textilbahnen, Einstellung zum Spülen/Reinigen der Vliesstoffwalze

Zur Abreinigung der Vliesstoffwalze wurde ein Wasserkreislauf eingerichtet. Das Wasser wurde über die in geringem Abstand über die ganze Breite der Vliesstoffwalze verteilten Sprühdüsen auf diese aufgetragen und durch die an die Vliesstoffwalze angepresste Gummiwalze wieder aus der Vliesstoffwalze ausgedrückt (Anpresdruck: 2,1 N/mm Laborfoulard). Die Abbildung 15 zeigt schematisch den zur Walzenreinigung im Laborversuch gewählten Aufbau (ohne Wasserkreislaufführung).

Der Reinigungsvorgang sah eine Zirkulation des auf 25 °C eingestellten Wassers vor, das jeweils nach drei Stunden ausgetauscht wurde. Insgesamt wurden sechs Wasserwechsel vorgenommen (in drei Tagen Bearbeitungszeit). Immer am Ende eines Zyklus wurde die CSB-Konzentration im Wasser ermittelt. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 16 dargestellt.

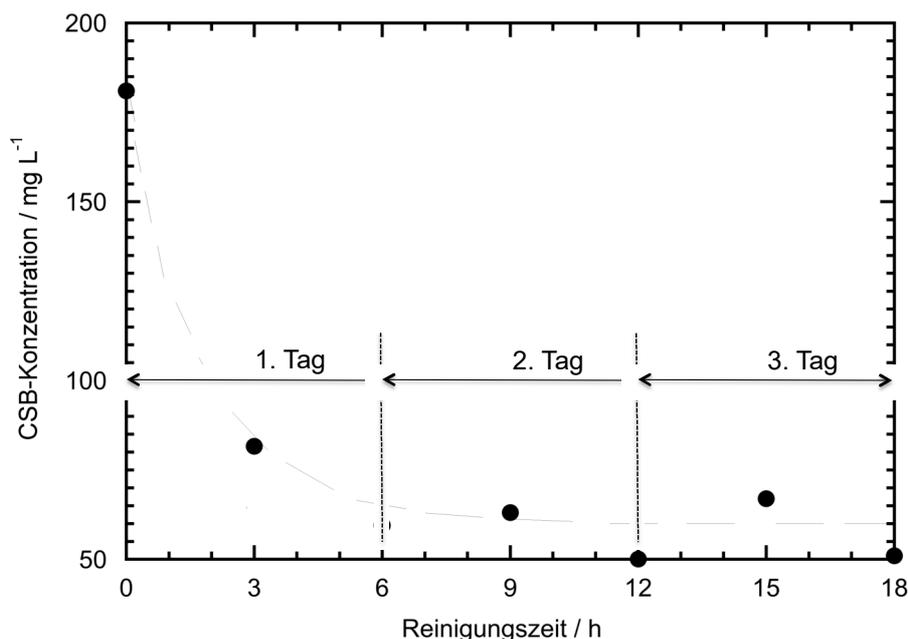


Abbildung 16: Verlauf der CSB-Konzentration des Kreislaufwassers zur Reinigung der Vliesstoffwalze bei 25 °C und mit 10 L Wasser je Zyklus von jeweils 3 Stunden Dauer

Im Laborversuch zur Reinigung der Vliesstoffwalze wurden insgesamt 6 Reinigungszyklen gewählt. Je Reinigungszyklus wurden 10 L Wasser mit einer Temperatur von 25 °C eingesetzt. Als CSB-Konzentration vor Beginn der Reinigung wurde der Wert herangezogen, der im Wasser am Ende der Beladung der Vliesstoffwalze mit Restpräparationsmitteln vorgefunden wurde (siehe oben: 185 mg CSB L⁻¹). Die CSB-Konzentration im Wasser der Vliesstoffwalzenreinigung am Ende des ersten Zyklus beträgt 81,6 mg L⁻¹. In den sich anschließenden Reinigungswässern erreicht sie den Wert von 50 bis 60 mg L⁻¹. Nach sechs Zyklen wird kein geringerer Wert festgestellt. Die im Vliesstoffmantel enthaltenen Stoffe werden durch diese Art Reinigung mit Leitungswasser nur teilweise und auch nur langsam entfernt. Eine leichte Schaumbildung bei der Entwässerung der Vliesstoffwalze ist bis zum Ende der Versuche zu sehen, die als Effekt vergleichbar ist mit der Erstreinigung der Vliesstoffwalze bei der Inbetriebnahme. Neben den in den Vliesstoffmantel eingedrungenen Stoffen, die beim Reinigungsvorgang nur zögerlich heraustreten, treten offensichtlich auch wasserlösliche Stoffe in Erscheinung, die von der Herstellung der Vliesstoffwalze herrühren, obwohl die Vliesstoffwalze schon über einen längeren Zeitraum für Entwässerungsversuche eingesetzt wurde. Diese „Speicherwirkung“ der Vliesstoffwalze ist zu bedenken, wenn sie beispielsweise bei der Nachreinigung von Textilbahnenwaren eingesetzt wird. Eine vollständige Reinigung alleine mit Wasser, auch wenn diese bis zu einer Temperatur von 50 °C im neutralen Zustand durchzuführen ist, ist wahrscheinlich nicht möglich.

Versuchsweise wurde ein Zusatz von 1 g/L Aniontensid zur Unterstützung der Reinigung der Vliesstoffwalze dem Wasser zugemischt. Damit konnte ein besseres Reinigungsergebnis erzielt werden (CSB-Konzentration im Reinigungswasser zuletzt bei $< 20 \text{ mg L}^{-1}$). Der Reinigungsaufwand war jedoch erheblich höher als ohne Tensidzusatz.

Mehr Wirkung erzeugte eine Steigerung des Anpressdrucks und eine Erhöhung der zirkulierenden Wassermenge.

Beim Kontakt der Vliesstoffwalze mit nassen Textilwarenbahnen kommt es nicht nur zu einem Übergang von den im Wasser gelösten bzw. solubilisierten Stoffen und ggf. zur Anhaftung dieser Stoffe an den Vliesstofffasern, sondern auch zur Übertragung von feinstpartikulären bzw. faserartigen Stoffen vom Textil auf die Vliesstoffwalze. Dies ist dann besonders gut zu erkennen, wenn es sich um farbige Stoffe bzw. Partikeln oder Fasern handelt. Die Partikeln bzw. faserartigen Stoffe können auch in das Innere des Vliesstoffmantels wandern und sich mit den Fasern des Vliesstoffs verhaken, von wo sie nur schwer wieder zu entfernen sind. Abbildung 17 zeigt die dunkel angefleckte Oberfläche der Vliesstoffwalze, wie sie durch einen schwarzfarbigen Vliesstoff verursacht wurde.

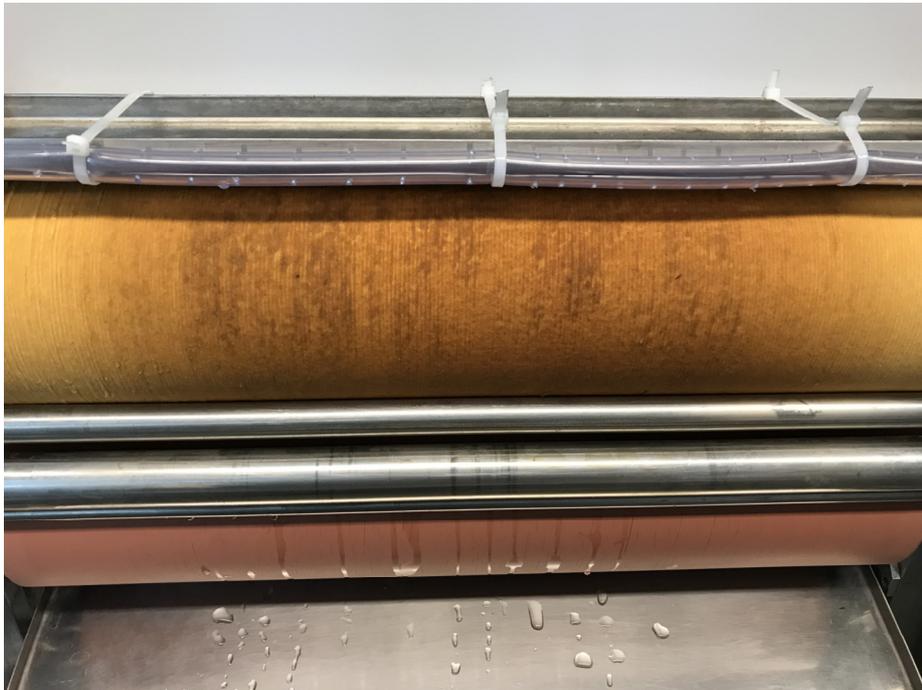


Abbildung 17: Hartnäckige Verschmutzung der Mantelfläche der Vliesstoffwalze durch die Entwässerung eines schwarzen Vliesstoffs

Die Oberfläche der Vliesstoffwalze wurde mit Hilfe einer Vakuumeinrichtung zeilenförmig abgesaugt (Volumenstrom: $8,5$ bis 25 L min^{-1}). Die dabei von der Oberfläche entfernten Partikeln und faserförmigen Stoffe wurden auf einem Glasfaserfilter (GF 92 der Firma Whatman) abgeschieden und konnten hinsichtlich ihrer Struktur und chemischen Zusammensetzung untersucht werden. Es handelte sich eindeutig um feinstpartikuläre Faserfragmente des schwarzen Vliesstoffs. Trotz der hohen Saugleistung war die Reinigungsleistung offensichtlich nicht ausreichend; ein größerer Teil der Partikeln ließ sich alleine durch Saugen nicht entfernen. Eine Kombination aus Saugtechnik und Wasserspülen mit Tensideinsatz wurde nicht untersucht, sollte jedoch zu einem wesentlich verbesserten Reinigungsergebnis führen.

Da die Vliesstoffwalze möglichst immer im feuchten Zustand gehalten werden sollte, um dauerhaft gleiche Entwässerung zu gewährleisten, ist auch zu beachten, dass die mit der Feuchte im Walzenmantel adsorbierten Stoffe biologisch abbaubar sind. Um Biofouling innerhalb der Vliesstoffwalze zu vermeiden, sollte die Reinigung von Zeit zu Zeit mit einem geringen Zusatz von Wasserstoffperoxid als Biozid durchgeführt werden (Temperatur < 30 °C!).

Zur Reinigung der Vliesstoffwalze wurde eine Verfahrensanweisung erarbeitet, die für die Praxisversuche zur Verfügung gestellt werden konnte.

10. Vergleichsversuche zum Einfluss der Hoch/Tief-Topographie auf die Entwässerungsleistung der Vliesstoffwalze

Das Ziel dieses Vorhabens bestand in einem Verfahren zur energieeffizienten Entwässerung besonders empfindlicher Materialien, wie z. B. Hygienevliesstoffe. Aufgrund von vorhergehenden Untersuchungen wurde davon ausgegangen, dass dieses Ziel über eine wenige Millimeter tiefe, hochporöse Saugzone im Mantel der Vliesstoffwalze erreicht werden kann. Diese wird durch die tiefer liegende Stützschiicht mit geringerer Porosität gehalten. Die besondere Kapillarwirkung der Saugzone stellt den Unterschied zu herkömmlichen Vliesstoffwalzen identischen Materials dar. Es zeigte sich aber durch Untersuchungen im Rahmen dieses Vorhabens, dass dieser Rückschluss nicht für jedes zu entwässernde Textilmaterial gültig ist. Schwere, etwas steifere Textilbahnen, z. B. Vliesstoffe mit höherem Flächengewicht, waren nicht gleich gut zu entwässern im Vergleich zu sehr leichten, offenporigen Maschenwaren. Um den Zusammenhang zwischen der Entwässerungsleistung der Vliesstoffwalze ohne und mit Hoch/Tief-Topographie zu untersuchen, wurden Vergleichsversuche mit einer Vliesstoffwalze durchgeführt, die zunächst die Hoch/Tief-Topographie aufwies und deren Hoch/Tief-Oberfläche für die vergleichenden Untersuchungen mechanisch abgetragen wurde. Die Mantelschicht an der Walzenoberfläche wies dann dieselbe hohe Dichte auf wie eine Vliesstoffwalze, die ohne Hoch/Tief-Struktur gebildet wurde. Der ursprüngliche Rondendurchmesser für die Labor-Vliesstoffwalze betrug alternierend 106/100 mm. Nach dem mechanischen Abtragen der Mantelschicht war der Rondendurchmesser auf 98 mm zurückgegangen. Das mechanische Abtragen von Teilen der Mantelschicht ist außerdem immer dann erforderlich, wenn durch langandauernde mechanische Belastung der Vliesstoffwalze die Manteloberfläche ungleichmäßig verdichtet ist. Eine Neubildung der Hoch/Tief-Topographie auf der bestehenden Stützschiicht mit derselben Charakteristik einer neu geschaffenen Vliesstoffwalze ist nur über einen sehr komplexen Auftrag von Fasermasse und (chemischer) Stabilisierung der Mantelschicht vorstellbar. Dazu liegt keine Erfahrung vor.

Zunächst wurden lichtmikroskopische Untersuchungen der Oberfläche einer Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie im Vergleich zur mechanisch abgetragenen Oberfläche durchgeführt, um die Unterschiede im trockenen wie im nassen Zustand zu beobachten. Während bei der Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie im trockenen Zustand eine linienartige Oberflächenstruktur zu erkennen ist, vergleichmäßigigt sich diese im nassen Zustand zu einer homogen erscheinenden Oberfläche. Diese Oberflächenstruktur ist bei der mechanisch abgetragenen Oberfläche ohne Hoch/Tief-Topographie im trockenen wie nassen Zustand ähnlich, weist jedoch eine andere Dichte und damit auch Porosität auf.

Zur Untersuchung der Entwässerungsleistung der abgetragenen Vliesstoffwalze wird das Testmaterial 120 verwendet, das aus 80 % PET und 20 % CV besteht und bei der Vliesstoffwalze aus PVA (II) bei einer Linienkraft von 3 und 5 N mm⁻¹ den niedrigsten Restfeuchtegehalt aufwies (siehe auch Abbildung 10). Außerdem erschien dieses Testmaterial hinsichtlich des Flächengewichts gleichmäßiger aufgebaut zu sein als alle anderen verwendeten Testmaterialien. Gemessen wurden das Trockengewicht der Einzelproben und das Gewicht nach dem Entwässern. Die Linienkraft beim Pressen der Vliesstoffwalze gegen die Gummiwalze wurde ebenfalls variiert von 1 bis 5 N mm⁻¹. Auch die Warengeschwindigkeit wurde bei 3 m min⁻¹ konstant gehalten, wie dies in den Versuchen mit der PVA-Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie im ursprünglichen Zustand angewandt wurde. In Abbildung 18 sind die arithmetischen Mittelwerte für die Restfeuchte als Funktion der Linienkraft in Form von Balkendiagrammen mit Angabe der Unsicherheiten dargestellt. Als Referenz sind die ursprünglichen Resultate („v“) herangezogen.

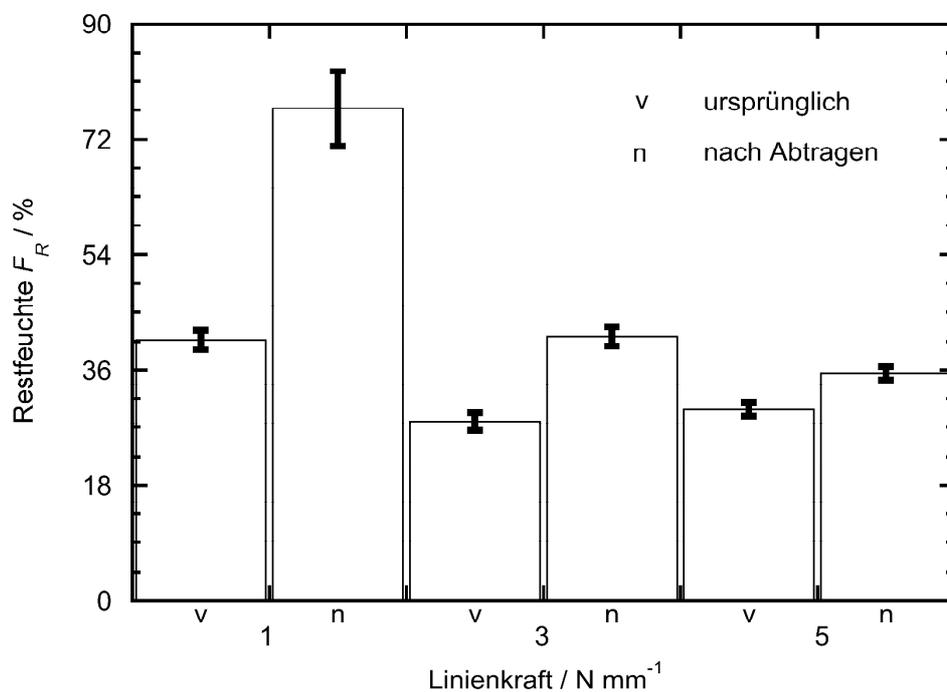


Abbildung 18: Arithmetische Mittelwerte für die Restfeuchte von Testmaterial 120 in Abhängigkeit vom Liniendruck bei der Entwässerung der Testmaterialproben zwischen PVA-Vliesstoffwalze und Gummiwalze; „v“ = ursprünglicher Zustand der Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie, „n“ = neuer Zustand nach mechanischem Abtragen der Hoch/Tief-Mantelschicht

Wie zu erwarten war, nimmt unabhängig von der Dichte der Vliesstoffwalzenoberfläche mit steigender Linienkraft beim Pressen von 1 N mm⁻¹ auf 5 N mm⁻¹ die Restfeuchte des Testmaterials ab. Die Entwässerungsleistung der Vliesstoffwalze nach dem Entfernen der Hoch/Tief-Topographie fällt jedoch bei allen Linienkraft-Stufen tendenziell schlechter aus. Die „optimale“ Linienkraft liegt jeweils bei 3 N mm⁻¹. Die Signifikanzprüfung weist auf vergleichbare Verhältnisse hin. Signifikant unterschiedlich sind die Restfeuchtegehalte nur bei der geringsten Linienkraft.

Durch die Veränderung der Oberflächendichte durch das Abschälen der Hoch/Tief-Topographie war ein Einfluss auf die Maßänderung des Testmaterials 120 beim Entwässern in Abhängigkeit der Linienkraft beim Pressen anzunehmen. Gemessen wurden daher die Flächenmaße von Einzelproben (Länge und Breite) im trockenen konditionierten Zustand vor

und nach dem Entwässern. Erfasst wird die Maßänderung in Längen- bzw. Breitenrichtung nach ISO 3759. Die Resultate sind der Tabelle 24 zu entnehmen.

Tabelle 24: Maßänderung des Testmaterials 120 beim Entwässern nach ISO 3759 als Funktion der Linienkraft beim Pressen der Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie im Vergleich zur Vliesstoffwalze nach dem Abtragen der Hoch/Tief-Oberfläche

Linienkraft / N mm ⁻¹	arithmetischer Mittelwert für die Maßänderung /%							
	in Längenrichtung				in Breitenrichtung			
	Hoch/Tief- Topo- graphie	Un- sicher- heit	nach Ab- tragen	Un- sicher- heit	Hoch/Tief- Topo- graphie	Un- sicher- heit	nach Ab- tragen	Un- sicher- heit
1	0,3	0,2	-0,5	0,1	0,0	0,0	1,0	0,2
3	-0,7	0,2	-0,6		-0,2	0,2	1,4	
5	0,3	0,4	-0,8	0,2	0,0	0,3	2,0	

Nach dem Abtragen der Vliesstoffwalzenoberfläche nimmt auf den ersten Blick die Maßänderung des Testmaterials mit der Steigerung der Linienkraft von 1 N mm⁻¹ auf 5 N mm⁻¹ in Längenrichtung von -0,5 % auf -0,8 % (Schrumpfung) und in Breitenrichtung von 1,0 % auf 2,0 % zu (Längung). Die arithmetischen Mittelwerte für die Maßänderung fallen bei der ursprünglichen Anwendung der Hoch/Tief-Topographie deutlich kleiner aus als nach dem Abtragen. Eine eindeutige Abhängigkeit von der Linienkraft im Hinblick auf eine Längenänderung ist daher nicht erkennbar. Gleiches gilt für die Beeinflussung der Vliesstoffbreite. Die vergleichsweise große Streuung der Resultate vor dem Abtragen der Hoch/Tief-Topographie ist möglicherweise auf eine zu kleine Stichprobengröße zurückzuführen.

Wenn anstelle des Testmaterials 120 der Walzenvliesstoff PVA (II) zur Untersuchung der Entwässerungsleistung eingesetzt wird, verändert sich das Bild. Nach dem Abtragen der Hoch/Tief-Topographie der Vliesstoffwalzenoberfläche werden signifikant niedrigere Restfeuchtegehalte ermittelt (Tabelle 25).

Tabelle 25: Restfeuchte von Walzenvliesstoff II) PVA in Abhängigkeit von der Linienkraft beim Pressen als Vergleich der PVA-Vliesstoffwalze mit und ohne Hoch/Tief-Topographie

Linienkraft beim Pressen /N mm ⁻¹	Restfeuchte / %			
	arithmetischer Mittelwert Walze mit Hoch/Tief- Topographie	Un- sicherheit	arithmetischer Mittelwert nach dem Abtragen Walzenoberfläche	Un- sicherheit
1	134,81	3,70	103,60	1,26
3	116,14	1,70	97,92	0,62
5	107,89	0,94	93,22	0,86

Die Entwässerungsleistung der Vliesstoffwalze ist nicht nur abhängig von der Oberflächenstruktur der Vliesstoffwalze und dem Anpressdruck an die (Gummi-)Gegenwalze, sondern auch vom zu entwässernden Material. Es hat den Anschein, dass je höher das Flächengewicht des zu entwässernden Vliesstoffs und je dichter, fester dessen Struktur ist, desto günstiger ist eine gleichmäßige Oberflächenstruktur mit größerer Dichte des Mantels der Vliesstoffwalze. Dieses Ergebnis ist überraschend und kommt der Anwendung der Vliesstoffwalze bei Standardvliesstoffen entgegen, wo mit größerem Anpressdruck eine höhere Entwässerungsleistung erreicht werden kann und wo bei einem Verschleiß der Oberflä-

che der Vliesstoffwalze durch mechanische Bearbeitung eine Wiederherstellung der Oberflächenstruktur mit verhältnismäßig geringem Aufwand erreicht werden kann.

Die Hoch/Tief-Topographie ist verbunden mit einer „flexibleren“, „anpassungsfähigeren“ Oberfläche mit insgesamt geringerer Dichte. Diese ist wahrscheinlich auch mit einer geringeren Kapillarität verbunden im Vergleich zu einer Vliesstoffwalze, die durch Ronden des selben PVA-Vliesstoffs aber gleichen Durchmessers hergestellt bzw. wie sie durch Abtragen der Hoch/Tief-Topographie nachgebildet wurde.

Die Hoch/Tief-Topographie wird daher insbesondere gegenüber sehr leichten, offenporigen textilen Flächengebilden (z. B. Hygienevliese, sehr leichte Maschenwaren, sehr leichte Vliesstoffe wie Testmaterial 120) eine hohe Entwässerungsleistung und gleichzeitig geringe Maßänderung des zu entwässernden Textils erbringen. Das von der Vliesstoffwalze dabei aufgenommene Wasser wird über eine Gegenwalze mit gummierter Oberfläche wieder ausgepresst. Hierbei ist ein niedriger Anpressdruck von Vorteil, bei dem die Hoch/Tief-Topographie der Vliesstoffwalze auch geschont wird.

Eine bildliche Vorstellung der Entwässerung von sehr leichten Flächengebilden durch die aus Ronden unterschiedlicher Durchmesser hergestellte Vliesstoffwalze besteht darin, dass sich die spannungsarm über die Vliesstoffwalze geführte Textilbahn an der hoch/tief-strukturierten hochporösen Vliesstoffwalzenoberfläche anpasst und damit vollständig die Saugzone berührt, wie es in Abbildung 19 schematisch gezeigt ist. Das zu entwässernde Testmaterial wird durch diese Positionierungsart höchst effektiv abgesaugt, dabei „schonend“ genug im Sinne der Maßänderung in Breitenrichtung behandelt. Die Abnahme der Entwässerungsleistung zeigt, dass die Abtragung der Hoch/Tief-Topographie für Testmaterialien mit geringem Flächengewicht und offenporiger Struktur offensichtlich ungünstig ist.

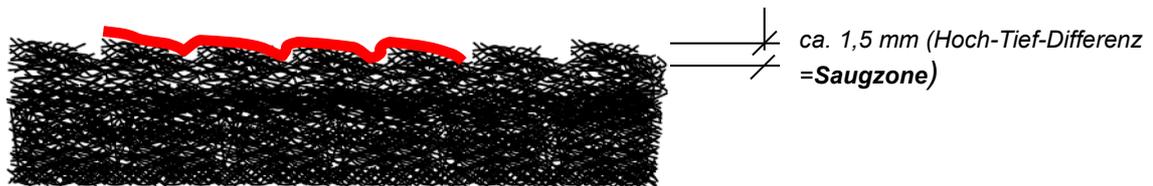


Abbildung 19: Modellartige Vorstellung zur Entwässerung eines sehr leichten, offenporigen Textilmaterials an der Oberfläche einer Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie

Im Fall von dickeren Testmaterialien mit höherem Flächengewicht, beispielsweise dem zum Vergleich herangezogenen PVA-Vliesstoff, ist der Kontakt zwischen Probe und Hoch/Tief-Saugzone beim Entwässern nur punktwise anzunehmen. In diesem Fall ist von einer geringeren Entwässerungsleistung auszugehen. Nach dem Abtragen der Hoch/Tief-Topographie der Vliesstoffwalzenoberfläche wird die Kontaktfläche erheblich vergrößert, so dass die Kapillarwirkung optimal stattfinden kann.

11. Konzeptionierung und Modellbetrachtung zum Einsatz von Vliesstoffwalzen zur Entwässerung von nassverdichteten Vliesstoffwaren – Praxiseinsatz der Rollenbox

Großtechnische Versuche wurden entgegen der ursprünglichen Planung nur auf einer Vliesstoffanlage im Technikum der Fa. Freudenberg in Weinheim geplant. Es handelt sich um eine Anlage, die für die Entwicklung von Vliesstoffen und für Muster- und Kleinproduktionen mit unterschiedlicher Arbeits- und Messtechnik ausgestattet ist. Der Einbau der Rollenbox als Kleinanlage im Pilotmaßstab wurde im Bandbereich unmittelbar vor dem Trockner festgelegt. Die Schnittstellen des Vliesstoffwalzensystems mit der großtechnischen Vliesstoffanlage wurden definiert. Nach der Inbetriebnahme musste die Synchronisation der Antriebe verbessert werden, um den Anfahrbetrieb besser steuern zu können. Es wurde eine Konstruktionszeichnung zu dem geplanten Vliesstoffwalzensystem erstellt, nach der die Pilotanlage dann gebaut wurde. Dieses System ist so konzipiert, dass in einem eigenen Gerüst alle notwendigen Umlenkrollen, die Vliesstoff- und Konterwalze, Antrieb und Auffangwanne mit Ableitsystem angeordnet sind, so dass das System mit geringem Aufwand, der durch die Werkstätten vor Ort zu leisten ist, an der vorgesehenen Stelle eingerichtet werden konnte (siehe Abbildung 20). Fertigstellung des Systems und Inbetriebnahme verzögerten sich mehrmals, so dass zum Ende des Projekts nur die Ergebnisse eines größeren Orientierungsversuchs vorlagen.

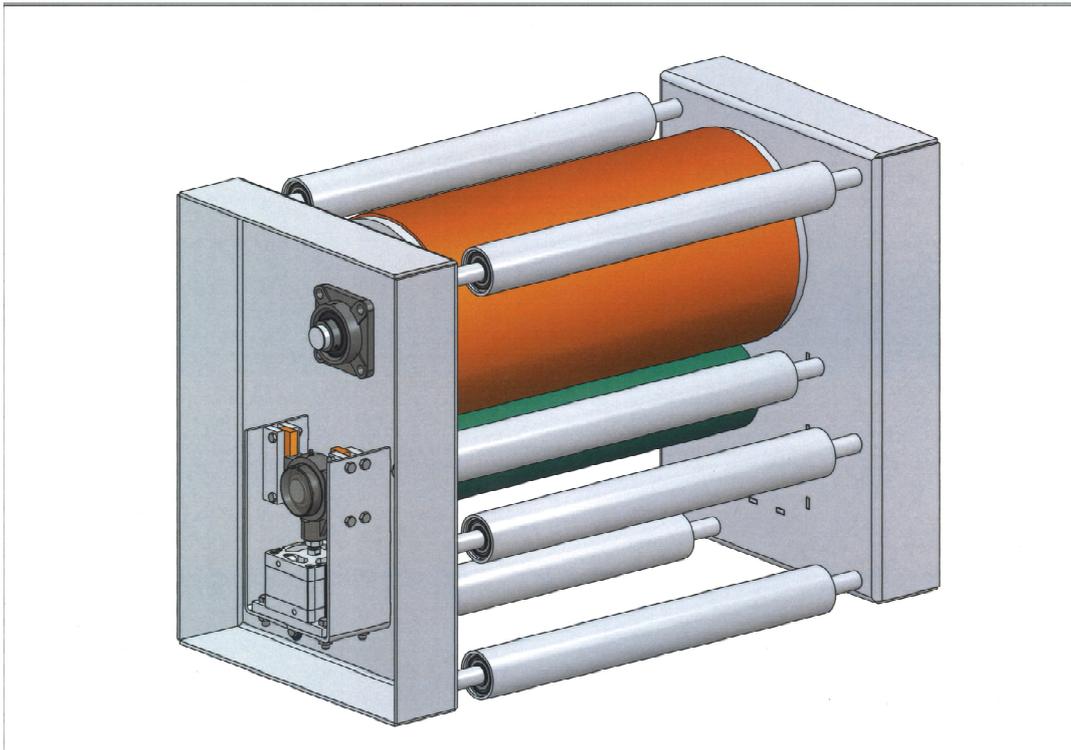


Abbildung 20: 3D-Zeichnung des Vliesstoffwalzensystems für den Einsatz am Band vor dem Trockner einer Muster- und Kleinproduktionsanlage zur Nassverfestigung von Vliesstoffen

Weitere Versuche sind unter wechselnden praktischen Bedingungen durch Mitarbeiter der Anwendungstechnik der Fa. Freudenberg geplant. Sie werden in Abstimmung mit FKM und ggf. im Beisein des Projektleiters ausgeführt und ausgewertet werden. Die dort bestehende Vergleichsmöglichkeit zur Quetsch- und Saugtechnik, die bisher bei der Nassverfestigung zur Entwässerung eingesetzt wird, ermöglicht die technische Dokumentation und erlaubt eine wirtschaftliche Betrachtung zum Vliesstoffwalzeneinsatz. Eine erfolgreiche Validierung

wird zu einem Auftrag eines Vliesstoffwalzensystems für eine große Produktionsanlage führen.

Für die verschiedenen Artikel, die auf der Technikumsanlage hergestellt werden, bietet die Rollenbox fahrweiseabhängig drei unterschiedliche Möglichkeiten zur Entwässerung von Textilwaren (Abbildung 21). Zum einen handelt es sich um eine Fahrweise, wie sie als „Nip“-Anordnung von dem üblicherweise zur Entwässerung eingesetzten Foulard her bekannt ist (Abbildung 21, links). Zum anderen kann insbesondere bei sehr leichten Vliesstoffen die Omega-Umschlingung der Vliesstoffwalze eingerichtet werden (Abbildung 21, Mitte). Schließlich ist eine Unterfahrung der Vliesstoffwalze möglich, wenn ausschließlich die Vakuum-Entwässerung angewendet werden soll (Abbildung 21, rechts). Nip- und Omega-Fahrweise sind mit und ohne vorhergehender Vakuum-Entwässerung möglich.

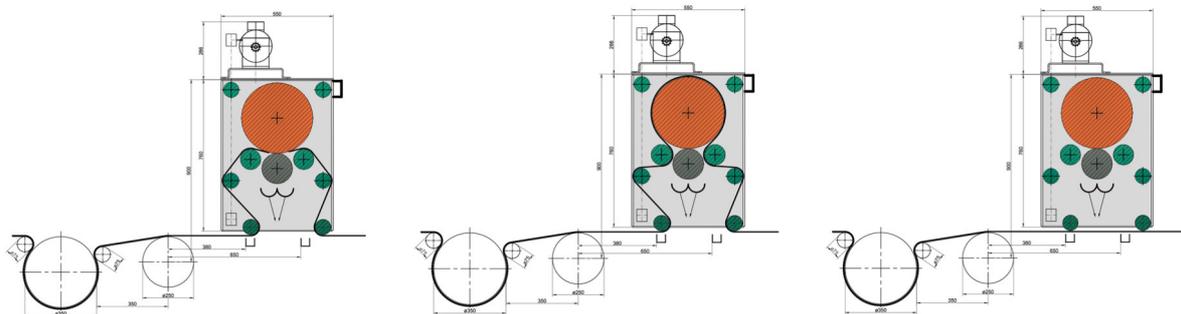


Abbildung 21: Varianten zur Fahrweise der Vliesstoffwalze in der Rollenbox
links: Nip-Fahrweise, Mitte: Ω -Fahrweise, rechts: ohne Vliesstoffwalze

Technische Rahmenbedingungen für den Betrieb der Rollenbox:

Maximale Geschwindigkeit:	45 m min ⁻¹
Maximaler Anpressdruck:	7,9 N mm ⁻¹ (entspr. 3,5 bar)
Maximale Breite:	60 cm
Art der Vliesstoffwalze:	PVA (II), Hoch/Tief-Topographie

Erste Ergebnisse eines Testlaufs der Vliesstoffwalze mit einem schwarzen, nassverdichteten Vliesstoff mit einem Flächengewicht von 150 g m⁻² ergab im Vergleich mit der Entwässerung durch die Vakuumsaugung die in Tabelle 26 dargelegten Ergebnisse. Der Vliesstoff ist als „schwere Ware“ einzuordnen.

Tabelle 26: Entwässerungsleistung als Feuchtegehalt % der Vliesstoffwalze im Vergleich zur Vakuum-Saugtechnik für einen schwarzen Vliesstoff mit dem Flächengewicht 150 g m⁻² Warengeschwindigkeit: 8 m/min

Proben-entnahmeort	Einlauf- und Restfeuchte /%		
	Rollenbox		Vakuum-Saugtechnik
	Omega-Fahrweise	Nip-Fahrweise	
Einlaufseite	267	247	293
nach Rollenbox	233	65	50
Aufwickler	227	57	48

Wie zu erwarten war, ist die Omega-Fahrweise für diesen Vliesstoff nicht geeignet. Der Feuchtegehalt, der nach der Rollenbox mit der Nip-Fahrweise erhalten wird, ist höher als der, der über die Saugtechnik erhalten wird. Das ist zunächst ein enttäuschendes Ergebnis. Jedoch fiel das Ergebnis der Entwässerung dieses Vliesstoffs im Laborversuch ähnlich aus (Tabelle 27).

Tabelle 27: Entwässerungsleistung als Feuchtegehalt % der Vliesstoffwalze im Vergleich von Labor- und Technikumsversuch für einen schwarzen Vliesstoff mit dem Flächengewicht 95 bzw. 150 g m⁻² bei vergleichbarer Geschwindigkeit (3 bzw. 5 m min⁻¹); jeweils Nip-Fahrweise; Vliesstoffwalze: PVA (II), Hoch/Tief-Topographie

Maßstab	Versuchsstand mit eingebauter PVA-Walze	Versuchsbedingungen			Feuchtegehalt / Einlauf-feuchte /%	Restfeuchte /%
		Flächengewicht Testmaterial /g m ⁻²	Waren-geschwindigkeit /m min ⁻¹	Linienkraft / N mm ⁻¹		
Labor	Laborfoulard BUW	95	3,0	3,0	898	72
klein-technisch	Foulard groß BUW			2,1	933	75
groß-technisch	Rollenbox, Technikumsanlage Freudenberg	150	5,0	7,9	563	78

Der Vergleich, der in der Tabelle 27 vorgenommen wird, ist nur bedingt möglich, da das im Labor der BUW vergleichbare Vliesstofftestmaterial sehr viel leichter war als das beim Technikumsversuch eingesetzte Material derselben stofflichen Zusammensetzung. Wie in Kapitel 10 erläutert, nimmt mit zunehmendem Flächengewicht und Dicke (Steifigkeit) des zu entwässernden Vliesstoffs die Saugleistung der Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie ab. So ist die (geringe) Abweichung bei der Restfeuchte nachzuvollziehen. Für diese Vliesstoffart ist eher eine glatte Oberfläche der Vliesstoffwalze mit höherer Dichte und entsprechend höherer Kapillarität geeignet. Aus der Sicht gesehen ist das Ergebnis des ersten Technikumsversuchs positiv zu bewerten.

12. Ökologisch-ökonomische Betrachtung zum Einsatz der Vliesstoffwalze bei der Entwässerung von nassverdichteten Vliesstoffen

Die ökologisch-ökonomische Betrachtung zum Einsatz der Vliesstoffwalze bei der Entwässerung von nassverdichteten Vliesstoffen ist in zwei Bereiche zu unterteilen. Zunächst werden die Umweltaspekte bei der Herstellung von PVA-Vliesstoffwalzen ausgehend von Erdgas als Kohlenstoffquelle in Form einer Sachbilanz untersucht. Anschließend wird die Anwendung der Vliesstoffwalze zur Entwässerung von empfindlichen Textilbahnenstoffen aus energetischer und Kostensicht betrachtet.

12.1 Umweltaspekte und Sachbilanz zur Herstellung von PVA-Vliesstoffwalzen

Es wird von folgendem Herstellweg ausgegangen:

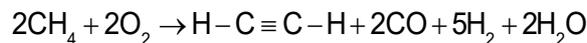
1. Synthese/Polymerisation zu Polyvinylacetat und Teilverseifung zum PVAl

1.1 Herstellung von Acetylen (Ethin)

Als Rohstoffbasis wird Erdgas angenommen, das über eine Hochtemperaturpyrolyse bei 1.400 °C (*Sachse-Bartholomé-Verfahren*, z. B. *BASF*) durch Zumischung eines Überschusses an Sauerstoff unvollständig zu Ethin verbrannt wird. Es handelt sich um ein autothermes Verfahren; durch die Verbrennung eines Teils des Einsatzprodukts wird die für den Prozess erforderliche Energie bereitgestellt. Als Ausbeute wird 21 % Ethin angenommen.

[M. Baerns et al.: Technische Chemie. Wiley-VCH Verlag (2013), ISBN 978-3-527-33072-0]

Vereinfachte Reaktionsgleichung:



Geschätzter Ressourcenverbrauch CH₄ (Synthese und Energie): 5,9 t CH₄/t C₂H₂

(Erdgas: Dichte 0,53 kg/L; 6,62 kWh/L; 12,5 kWh/kg; [0,333 CO₂-Äquiv./m³ (Kyoto-Protokoll: 21 · CO₂)])

Geschätzter Verbrauch an elektrischem Strom: 3,5 MWh/t C₂H₂

(CO₂-Äquivalente Strommix: 0,572 kg CO₂/kWh [GEMIS-Datenbank Version 4.2])

CO₂-Äquivalente zur Acetylenherstellung: 18 t CO₂ /t C₂H₂

Neben Ethin werden CO und H₂ in größeren Mengen gebildet, die nicht weiter betrachtet werden, da sie ebenfalls als Brennstoff Verwendung finden.

Methan stammt derzeit aus fossilen Quellen. Es wird davon ausgegangen, dass zukünftig Methangas aus regenerativen Quellen bezogen wird.

Die Wirkungskategorien Human- und Ökotoxizität, Versäuerung und ODP werden bei dieser Betrachtung nicht untersucht.

Ein anderes Verfahren zur Herstellung von Ethin geht von Kohle aus. In der ersten Stufe eines zweistufigen Verfahrens erfolgt die Herstellung von Calciumcarbid über eine elektrothermische Synthese aus Koks-kohle und Calciumoxid (Kalk) bei 2.200 °C. Die Kohleelektrode (hergestellt durch Pressung aus Anthrazit, Kohle, Teer und Pech) wird zur kontinuierlichen Erzeugung des Lichtbogens in den Ofen abgesenkt und von oben stetig erneuert. Das Calciumcarbid wird von Zeit zu Zeit aus dem Ofen in Tiegel abgelassen. Nach dem Erstarren wird das Calciumcarbid CaC₂ zerkleinert. Das Ofengas wird zu Heizzwecken eingesetzt. Im zweiten Schritt erfolgt die Hydrolyse mit Wasser zu Acetylen (Ethin) und Kalkhydrat, z. B. im *Trockenentwickler* (Einsatz einer stöchiometrischen Wassermenge). Neben Ethin fällt das Kalkhydrat rieselfähig an und wird anschließend wieder zu Kalk gebrannt. Ein Teil des Kalkhydrats findet in der Bauindustrie Verwen-

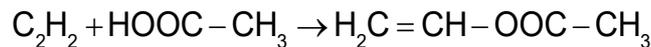
dung. Dieses Verfahren wird da angewandt, wo Kohle reichlich und günstig vorhanden ist (China) und wo elektrischer Strom mit geringen Kosten zu beschaffen ist (Wasserkraft, Braunkohlekraftwerke). Dieser Prozess soll hier nicht weiter betrachtet werden.

1.2 Herstellung von Vinylacetat

Zur Untersuchung der Umweltaspekte der Herstellung von Vinylacetat soll weiterhin die Synthese aus Ethin und Essigsäure (100 %) zugrunde gelegt werden. 2010 wurden bei Verwendung des Ethins in Westeuropa 49.000 t und in China 263.000 t Vinylacetat produziert.

[M. Baerns et al.: Technische Chemie. Wiley-VCH Verlag (2013), ISBN 978-3-527-33072-0]

Die Synthese des Vinylacetats folgt bei Verwendung des Ethins einer einfachen Addition der Essigsäure:



Es handelt sich um eine heterogen-katalytische Gasreaktion in Festbett-Rohrbündelreaktoren. Als Katalysator wird Zink/A-Kohle eingesetzt. Die Reaktionstemperatur liegt bei 170-220 °C.

Die Ausbeute beträgt in Bezug auf Essigsäure 99 % und in Bezug auf Ethin 95 %. Als hauptsächliches Nebenprodukt entsteht Acetaldehyd mit einem Anteil von 2-3 %.

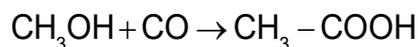
[M. Baerns et al.: Technische Chemie. Wiley-VCH Verlag (2013), ISBN 978-3-527-33072-0]

Anmerkung: In Westeuropa hat das Gasphasenverfahren, bei dem die Synthese von Vinylacetat auf Basis von Ethen erfolgt, die einfache Addition auf Basis von Ethin weitgehend abgelöst. Bei dem Gasphasenverfahren wird Ethen mit Sauerstoff in Anwesenheit von Essigsäure partiell zu Vinylacetat oxidiert (Acetoxylierung). Der Katalysator ist metallisches Palladium auf dem Träger Siliziumdioxid. Die Reaktionstemperatur ist 175-200 °C. Die Vinylacetatausbeute beträgt bezogen auf Ethen 94 %.

Ethen wird aus Ethan, das aus Erdöl gewonnen wird, durch thermische Spaltung bei einer Temperatur > 800 °C erhalten. Es handelt sich um eine kontinuierliche Verfahrensweise. Beim Einsatz von Naphtha, Flüssiggas und Gasöl werden neben Ethen (Anteil ca. 30 Gew.-%) auch Propen (Anteil ca. 14 Gew.-%) und andere aliphatische Kohlenwasserstoffe gebildet, die im Wasserquencher schnell auf eine Temperatur < 200 °C abgekühlt werden, um Nebenreaktionen zu vermeiden. Hierbei fällt Hochdruckdampf in großer Menge an. Es folgt eine vielstufige Aufarbeitung zu den reinen Endprodukten. Wegen der Rohstoffbasis Erdöl und da dieses Verfahren hinsichtlich der ökologischen Belange nur unzureichend zu bewerten ist, wird in dieser Untersuchung der Umweltaspekte der Herstellung von PVA-Vliesstoffwalzen der Syntheseweg ausgehend von Ethin bevorzugt.

[M. Baerns et al.: Technische Chemie. Wiley-VCH Verlag (2013), ISBN 978-3-527-33072-0]

Die Herstellung von Essigsäure, die schon als wässrige, gering konzentrierte Säure im Altertum durch oxidative Gärung des Ethanols im Wein gewonnen wurde, erfolgt seit den siebziger Jahren des vergangenen Jahrhunderts durch Carbonylierung des Methanols und ist damit nicht an die Rohstoffbasis Erdöl gebunden.



Die Synthese verläuft unter hohem Druck und in Anwesenheit eines Katalysators bei einer Temperatur von 190 °C. Beim BP-Cativa-Prozess werden Ru/Ir/I₂-Katalysatoren eingesetzt, die eine gute Stabilität besitzen. Der Druck beträgt 3 MPa (30 bar). Eine ho-

he Ausbeute an Essigsäure (99,5 % bezogen auf Methanol; 90 % bezogen auf CO) und ein geringerer Gehalt an Nebenprodukten ist ebenfalls kennzeichnend für dieses Verfahren (z. B. < 1 % Propionsäure).

Für die Energieumwandlung wird Erdgas als Energiequelle und Methanol sowie Kohlenmonoxid als Basis für die Essigsäureherstellung angenommen.

Der elektrische Strom wird entsprechend dem üblichen Mix/Deutschland berechnet.

Geschätzter Verbrauch Energie/CH₄: 4,5 t CH₄/t C₄H₆O₂

(Erdgas: Dichte 0,53 kg/L; 6,62 kWh/L; 12,5 kWh/kg; [0,333 CO₂-Äquiv./m³ (Kyoto-Protokoll: 21 · CO₂)])

Geschätzter Ressourcenverbrauch als CH₃OH: 0,6 t CH₃OH/t C₄H₆O₂

Geschätzter Verbrauch an elektrischem Strom: 2,5 MWh/ t C₄H₆O₂

(CO₂-Äquivalente Strommix: 0,572 kg CO₂/kWh [GEMIS-Datenbank Version 4.2])

CO₂-Äquivalente für Vinylacetatherstellung (nur Energie): 9 t CO₂/t C₄H₆O₂

1.3 Polymerisation zu Polyvinylacetat PVAC und Teilverseifung zu PVAL, Herstellung der PVAL -Spinnfasern

Die Polymerisation des Vinylacetats zum Polyvinylacetat (Homopolymer) erfolgt radikalisch als Emulsionspolymerisation. Der Prozess wird batchweise in Wasser durchgeführt. Die Konzentration ist 50 %. Als Emulgator wird eine Seife (Na-Palmitat) und als radikalischer Initiator Hydroperoxid eingesetzt. Es wird davon ausgegangen, dass das Polyvinylacetat unter Einsatz von Säure ausgefällt, getrocknet und als Granulat (oder Pulver) zur Weiterverarbeitung bereit gestellt wird. Die Ausbeute an Polyvinylacetat ist 98 %. Das Wasser muss gekühlt, neutralisiert und filtriert werden, ehe es zur biologischen Abwasserreinigung weiter geleitet wird.

[<https://www.chemie.de/lexikon/Polyvinylacetat.html>]

[Franck A.: Kunststoff-Kompendium. Vogel Buchverlag (2000) ISBN 3-8023-1855-2]

Das Polyvinylacetat wird mit Natronlauge verseift bis zu einem Acetylgruppengehalt von ca. 30 bis 35 %. Der Polyvinylalkohol ist mit 35 % Acetylgruppengehalt noch wasserlöslich und kann durch Ausspinnen in ein salzhaltiges Fällbad zu Filamenten geformt, getrocknet und verstreckt werden. Die Filamente werden zu Fasern mit einer Stapellänge von 35 mm geschnitten, Titer: 1,7 dTex.

Das Abwasser ist salzhaltig, enthält die durch die Hydrolyse freigesetzte, neutralisierte Essigsäure und wird der biologischen Abwasserbehandlung zugeführt.

Wasserverbrauch: 75 t/t PVAL-Faserstoff

Verbrauch an Lauge: 1,5 t/t PVAL-Faserstoff

Salzverbrauch (als Natriumsulfat): 1,9 t/t PVAL-Faserstoff

Zur Energieumwandlung wird Erdgas genommen.

Geschätzter Verbrauch als CH₄ (Trocknungsenergie): 1,8 t CH₄/t PVAL-Faserstoff

(Erdgas: Dichte 0,53 kg/L; 6,62 kWh/L; 12,5 kWh/kg; [0,333 CO₂-Äquiv./m³ (Kyoto-Protokoll: 21 · CO₂)])

Der elektrische Strom wird entsprechend dem üblichen Mix/Deutschland berechnet.

Geschätzter Verbrauch an elektrischem Strom: 1,5 MWh/ t PVAL-Faserstoff

(CO₂-Äquivalente Strommix: 0,572 kg CO₂/kWh [GEMIS-Datenbank Version 4.2])

CO₂-Äquivalente für PVAL-Faserherstellung: 2 t CO₂/t PVAL-Faserstoff

Polymer-/Faserabfall (ggf. Recycling): 0,01 t/t PVAL (-Faserstoff)

2. Vliesstoffherstellung aus PVAL -Faserstoffen

Die Vliesstoffherstellung erfolgt durch Kardieren, Legen und Vernadeln der PVAL-Faserstoffe. Der PVAL-Vliesstoff hat eine Breite von 215 cm. Das Flächengewicht beträgt 92 g/m².

Der elektrische Strom wird entsprechend dem üblichen Mix/Deutschland berechnet.

Geschätzter Verbrauch an elektrischem Strom: 1,2 MWh/t PVAL-Vliesstoff

CO₂-Äquivalente für PVAL -Vliesstoffherstellung: 0,7 t CO₂/t PVAL-Vliesstoff

Faserabfall (nicht recyclingfähig; Verbrennung): 0,01 t/t PVAL-Vliesstoff

3. Fertigstellung des PVAL-Vliesstoffs

Im dritten Fertigungsschritt erfolgt auf einer Anlage der Fa. Freudenberg Household Products BV, Arnheim, die für den Gebrauch als Vliesstoffwalze notwendige, chemische Verdichtung und Vernetzung des PVAL-Faservliesstoffes. Zur Verringerung der Wasserquellbarkeit bzw. Wasserlöslichkeit wird in einem nächsten Schritt eine chemische Vernetzung vorgenommen. Es folgt die Neutralisation mit Natronlauge und die Trocknung des fertigen Vliesstoffs mit heißer Luft bis zu einem bestimmten Restfeuchtegehalt. Dieser ist für die Weiterverarbeitung des PVAL-Vliesstoffs zu Ronden erforderlich, um die Sprödigkeit des PVAL-Vliesstoffs zu verringern. Die Abluft wird in einem Rieselwäscher gereinigt. Das Abwasser, das organische Stoffe von der Verdichtung und Vernetzung sowie Salze enthält, wird der biologischen Abwasserbehandlung zugeführt.

Wasserverbrauch (Stadtwasser) 125 t/t PVAL-Vliesstoff (fertig)

Natriumsulfat 2,7 t/t PVAL-Vliesstoff (fertig)

Säure und Lauge 18,6 t/t PVAL-Vliesstoff (fertig)

Vernetzerlösung (ca. 40 % Feststoffgehalt) 1,3 t/t PVAL-Vliesstoff (fertig)

Zur Energieumwandlung wird Erdgas genommen.

Geschätzter Verbrauch CH₄ (Trocknungsenergie): 1,2 t/t PVAL-Vliesstoff (fertig)

(Erdgas: Dichte 0,53 kg/L; 6,62 kWh/L; 12,5 kWh/kg; [0,198 kg CO₂-Äquiv./kWh (Kyoto-Protokoll: 21 · CO₂)])

Der elektrische Strom wird entsprechend dem üblichen Mix/Niederlande berechnet.

Geschätzter Verbrauch an elektrischem Strom: 1,2 MWh/t PVAL-Vliesstoff (fertig)

(CO₂-Äquivalente: Strommix: 0,600 kg CO₂/kWh und Erdgas: 0,198 kg CO₂/kWh)

CO₂-Äquivalente für Herstellung Endprodukt PVAL-Vliesstoff: 3,1 t CO₂/t PVAL-Vliesstoff

4. Stanzen von Ronden und Bilden der Vliesstoffwalze

Aus dem Vliesstoff werden die Ronden gestanzt; max. Durchmesser: 360 mm. Der Stanzverlust beträgt 69 %, wenn keine Verwertung der kreisrunden mittleren Stanzabschnitte möglich ist. Es wird davon ausgegangen, dass die Vliesstoffabfälle in einem Recyclingprozess (Lösemittel: Schwefelsäure konz.) wieder im Verfahren zur Vernetzung des PVAL-Vliesstoffs verwendbar sind.

2.240 Ronden werden auf einen Stahlzylinder als Walzenkern aufgelegt und unter hohem Druck zu einer Walze mit einer Länge von 1.000 mm verpresst.

Die Walze wird im Wasserbad zur Quellung/Verdichtung des Vliesstoffmantels eingelegt. Der Wasserverbrauch beträgt pro 1.000 mm Vliesstoffwalze: 100 L (kalt). 38 kg Vliesstoffmantel nehmen hierbei 18 L Wasser auf. Die Vliesstoffwalze muss anschließend entwässert und (an der Luft, bei Raumtemperatur) getrocknet werden.

Die Vliesstoffwalze wird an der zylindrischen Oberfläche durch mechanische Bearbeitung (4 Bearbeitungen: Spanen, Schleifen) gleichmäßig. Der dabei entstehende Staub wird abgesaugt und in Filtersäcken abgeschieden. Der Staub wird der Verbrennung zugeführt.

Vliesstoffgewicht einer Vliesstoffwalze mit 100 cm Länge: 40 kg

(2.240 Ronden, 202 m² Vliesstofffläche mit 200 g/m² entspr. 40 kg Vliesstoffgewicht)

Der elektrische Strom wird entsprechend dem üblichen Mix/Deutschland berechnet.

Geschätzter Verbrauch elektrischer Strom: 20,5 kWh/1.000 mm PVAL-Vliesstoffwalze

CO₂-Äquivalente für Walzenherstellung: 11,7 kg CO₂/1.000 mm PVAL-Vliesstoffwalze

Stanzreste PVAL-Vliesstoff zum Recycling: 27,6 kg/1.000 mm PVAL-Vliesstoffwalze

Faserstaub zur Verbrennung: < 0,5 kg/1.000 mm PVAL-Vliesstoffwalze

5. Zusammenfassung der Ressourcenverbräuche und CO₂-Emissionen

Alle Ressourcenverbräuche und Emissionen werden zusammenfassend auf das Endprodukt, eine Vliesstoffwalze mit einem Durchmesser (außen) von 360 mm und einer Länge von 1.000 mm bezogen; der Vliesstoffmantel hat ein Gewicht von 40 kg.

<u>Rohstoffe:</u>	pro 1.000 mm Vliesstoffwalze/40 kg
Methan zur Herstellung von Ethin:	15 kg
Methanol zur Herstellung der Essigsäure:	24 kg
Wasser (Stadtwater):	5.100 L
Natriumsulfat (Koagulation):	185 kg
Säuren und Laugen:	805 kg
Formalinlösung 37 % (Vernetzung):	52 kg
Wärmeenergie (Erwärmung, Trocknen) als CH ₄ -Verbrauch:	4.690 kWh _{therm.}
Elektrische Energie:	330 kWh _{el}
Abfall zur Verwertung (Stanzreste/Recycling):	28 kg
CO ₂ -Äquivalente – Emission:	874 kg

12.2 Ökologisch-ökonomische Betrachtung des Einsatzes der Vliesstoffwalze zur Entwässerung von nassverdichteten, sehr leichten Vliesstoffen und Nachreinigung von Textilbahnenstoffen nach einer kontinuierlichen Wäsche

Die Textilveredlung ist durch den Einsatz von viel Wärmeenergie und damit auch von hohen CO₂-Emissionen gekennzeichnet, da viele der Veredlungsprozesse bei einer höheren Temperatur ablaufen. Da alle reinigenden, farbgebenden und auch die Appretur und Beschichtung betreffenden Prozesse aus wässriger Lösung bzw. Dispersion erfolgen, hat die Trocknung der Textilbahnen einen großen Anteil am Energieverbrauch und damit auch an den CO₂-Emissionen. Trocknungsprozesse erfolgen in der Flächenveredlung meist auf Spannrahmen, bei denen die Textilbahnen flächenfixiert sind, oder auf Siebband- bzw. Trommel-trocknern. Die Spannrahmen benötigen dafür große Mengen an heißer Luft. Heiße Luft wird meist durch Vermischen mit dem heißem Abgas von Erdgasbrennern erzeugt („Direktbeheizung“), die in die Spannrahmen integriert sind. Durchschnittlich wird bei Spannrahmenprozessen der Gasverbrauch anteilig zu ca. 4 % für die Erwärmung des Textils auf Prozess-temperatur, ca. 40 % für die Erwärmung der Prozessluft und bis zu 50 % zur Erwärmung und Verdampfung der mit dem Textil in den Trocknungsprozess eingeschleusten Feuchte sowie der mit der Frischluft eingebrachten Luftfeuchte ermittelt. 5 bis 10 % Energie gehen über Leckagen und die Spannkette verloren. Ein ausgewogenes Verhältnis von Frischluftvolumen zu Warenmenge, das maximal 20 m³_N/kg Textil betragen soll, und von Frischluftmenge zu Wassermenge (inklusive des beim Verbrennen des Erdgases entstehenden Wasserdampfes), das 10 kg Luft/kg Wasser nicht überschreiten soll, sind erste Orientierungspunkte für eine Suche nach Potenzialen zur Steigerung der Energieeffizienz und damit auch einer wirksamen Reduktion der CO₂-Emissionen. Der auf einen Meter Ware aus überwiegend cellulosischen Faserstoffen bezogene spezifische Wert liegt beim Erdgasverbrauch bei 1,16 kWh/m und bei den CO₂-Äquivalenten bei 290 g CO₂/m Ware für jeden Trocknungsprozess.

Der Einsatz der Vliesstoffwalze am Ende der Rohwarenwäsche von hochelastischen, sehr zugempfindlichen Maschenwaren, wie er in Abbildung 13 beispielhaft dargestellt ist, stellt eine Verbesserung des Wascheffekts dar, indem der Restgehalt an Präparationen von der Spinnerei noch einmal reduziert wird. In einem Praxisversuch, bei dem der Einsatz der Vliesstoffwalze zur Nachreinigung an Maschenwaren aus cellulosischen und synthetischen Faserstoffen mit zum Teil hohen Anteilen an Elastomerefäden nach deren Kontinuierwäsche simuliert wurde, konnte der Restpräparationsmittelgehalt nachweislich gesenkt werden, was bei der nachfolgenden Thermofixierung der Ware bei ca. 200 °C zu geringeren Emissionen führte. Beispielsweise entspricht eine Reduktion von 0,2 % Präparationsmittel bei einem Warendurchsatz von 300 kg/h (200 g/m Flächengewicht, 25 m/min Warengeschwindigkeit) 0,6 kg/h Präparationsmittel. Bei einem Abluftvolumen der Spannmaschine von 9.000 m³_N/h führt dieser Rest-Präparationsmittelgehalt zu einer Verminderung der Substanzkonzentration in der Abluft von ca. 66 mg/m³, die überwiegend in die Abluftreinigung geführt oder – zu einem kleineren Teil – an den Wänden des Wärmetauschers, Innenwänden und mechanischen Teilen der Spannmaschine anhaften wird. Bei einer Reinigungsleistung der Abluftreinigungsanlage von 98 % bleibt in der gereinigten Abluft eine Restkonzentration organischer Stoffe von ca. 1,2 mg/m³ bzw. eine Fracht von 11 g/h. Im Vergleich zur Vakuumtechnik, die bei Maschenwaren aus synthetischen Faserstoffen häufig zur Entwässerung eingesetzt wird, bei der jedoch wegen der nicht vermeidbaren Rollkanten und des damit verbundenen offenen Saugschlitzes sowie der offenen Warenstruktur nur eine verminderte Saugleistung besteht, können Vliesstoffwalzen durch die Kapillarwirkung in kurzer Zeit große Wassermengen auf-

nehmen und an anderer Stelle auch wieder abgeben, wozu eine Konterwalze an entsprechender Stelle an der Vliesstoffwalze angelegt wird. Gleichzeitig ist eine spannungsarme Warenführung möglich, was bei Maschenware ein weiterer Vorteil ist. Reine Polyesterwebwaren lassen sich mit Vakuumtechnik auf einen Restfeuchtegehalt von < 15 % einstellen. Der Restfeuchtegehalt von Baumwoll-, Viskose- und Lyocell-Gewebe kann mit Vakuumtechnik bis 50 % und Polyacryl- sowie Polyamid-Gewebe bis ca. 20 % reduziert werden [Firmeninformation zu OptiVac Vacuum Systems von Optitexma AB, Lerum, Schweden (2018)].

Die Verbesserung der Entwässerungsleistung ist bei einer Vliesstoffwalze begrenzt auf einen Restfeuchtegehalt von 50 % des Textils. Bei reinen Polyesterwebwaren ist die Vakuumtechnik im Vorteil, da mit ihr eine Reduktion des Feuchtegehalts der Ware bis auf 15 % möglich ist, vorausgesetzt der Saugschlitz ist an den Kanten der Ware vollständig abgedichtet und der Unterdruck beträgt mindestens 400 hPa (0,4 bar). Bezogen auf 1 kg Polyesterwebware und ausgehend von einem Feuchtegehalt von 60 %, wie er nach der Entwässerung mittels Foulardtechnik (2 gummierte Walzen) erreicht ist, beträgt die Verminderung der Wärmeleistung für die Erwärmung des Textils und des Wassers sowie für die Verdampfung des Wassers für die Vliesstoffwalze 0,11 kWh/kg Polyestertextil und für die Vakuumtechnik 0,32 kWh/kg Polyestertextil. Bei einer Verarbeitungsmenge von 500 kg Textil pro Stunde beträgt die Differenz in der Wärmeleistung zwischen Vliesstoffwalze und Vakuumsauge mindestens 110 kW. Die elektrische Leistung der Vakuumpumpe ist mit ca. 30 kWh anzusetzen. Es bleibt also noch ein erheblicher energetischer Vorteil für die Vakuumtechnik zur Entwässerung von Polyesterwebwaren gegenüber der Vliesstoffwalze festzustellen. Dennoch wurde bis vor wenigen Jahren in einem sauerländischen Textilveredlungsunternehmen eine *ROBERTO*-Vliesstoffwalze zur Vorentwässerung von Polyesteramaschenware vor der chemischen Appretur verwendet [Hänsel Textil GmbH, Iserlohn]. Bei Baumwollwebwaren gibt es keinen Unterschied in der Entwässerungsleistung zwischen Vakuumtechnik und Vliesstoffwalze, da beide Verfahren einen Restfeuchtegehalt von 50 % nicht unterschreiten.

Bei der Herstellung zugempfindlicher und offener Vliesstoffe wird Wasser in großer Menge zur Reinigung und zur Verdichtung eingesetzt. Vor der Trocknung muss das Wasser weitgehend von den Warenbahnen entfernt werden. Sowohl Gummiwalzenpaare, die unter hohem Druck zur mechanischen Entwässerung üblicherweise eingesetzt werden, als auch Vakuumtechnik, wie sie in den letzten Jahren vermehrt zur Verwendung kommt, führen bei cellulosischen Textilbahnen nur zu einem begrenzten Ergebnis. Leichte Vliesstoffe werden auf Siebbändern über die Vakuumsauge geführt. Dabei ist eine vollständige Abdichtung der nicht mit der Vliesstoffbahn abgedeckten Saugbereiche nicht möglich. Diese offenen Schlitzbereiche führen zu einem verringerten Vakuum und damit auch zu einer geringeren Entwässerungsleistung, der die Vliesstoffwalze in ihrer Entwässerungsleistung mindestens ebenbürtig ist.

Mit einer speziell auf die Bedürfnisse angepassten Vliesstoffwalze ist es daher möglich, die Entwässerung von Hygienevliesstoffbahnen mit sehr geringem Flächengewicht nach deren Nassvernadelung (anstelle von Nadeln werden die Fasern des Vlieses mittels Wasserstrahl in eine Wirrlage gebracht und verdichtet) wesentlich zu verbessern, so dass bei der Trocknung erheblich weniger Wasser zu verdampfen ist. Unter der Annahme eines Trockengewichts des cellulosischen Vliesstoffs von 20 g/m², einer Breite der Vliesstoffbahn von 4 m, einer Geschwindigkeit von 200 m/min und einer angestrebten Feuchtedifferenz von mindestens 30 % (konservative Schätzung) gegenüber der bestehenden Arbeitsweise der Entwässerung mittels Foulard und Saugung kann von folgender Wärmeenergieeinsparung ausgegangen werden, wie sie auch im Antrag angenommen wurde:

Hygienevliesstoffmenge pro Stunde:	960 kg/h
Feuchtegehalt vor der Trocknung, Entwässerung mit Foulard:	180 %
30 % Feuchtedifferenz (960 kg/h · 1,8 · 0,3):	530 kg/h
Nicht mehr zu verdampfende Menge Wasser, spezifisch pro 1 kg Textil:	0,55 kg/kg
Eingesparte Wärmemenge zur Erwärmung von 0,55 kg Wasser/kg Textil:	0,05 kWh/kg
Eingesparte Wärmemenge zur Verdampfung von 0,55 kg Wasser/kg Textil:	0,35 kWh/kg
(die zu erwärmende Textilmenge ist pro Produktionsstunde gleichbleibend, eine Differenz bei Wärmeverlusten durch Abstrahlung und andere Effekte wird vernachlässigt)	
Summe einzusparende Wärme bei Wirkungsgrad 0,8 auf 1 Stunde bezogen:	0,40 kWh/kg
einzusparende Erdgasmenge (Erdgas E, Heizwert 10,6 kWh/m ³):	4,24 m ³ /kg
einzusparende CO ₂ -Äquivalente (241 g CO ₂ /kWh [GEMIS]):	0,10 kg CO ₂ /kg

Anmerkung: Die Produktion für Hygienevliesstoffe betrug 2006 in Europa ca. 110.000 t/a.

Weltweit beträgt der Gesamtanteil an wasserstrahlverfestigten Vliesstoffen 2013 1 Mio. t. Der Wasserverbrauch für die Vliesstoffherstellung beträgt bei 50 % PES/50 % Viskose-Vliesstoffen und Wasserstrahlverfestigung entlang der gesamten Wertschöpfungskette ca. 140 L/kg.

[Quellen: World Champion Technology: Higher Energy Efficiency – Higher Profits; Blue Competence. [http://www.bluecompetence.net/documents/7634257/7725849/BC_Geschichten_Hygienevlies_LR\(Web-pdf\).pdf](http://www.bluecompetence.net/documents/7634257/7725849/BC_Geschichten_Hygienevlies_LR(Web-pdf).pdf); Hornfeck, Ulrich: Warum gibt es für viele Anwendungsbereiche einen intelligenten Vliesstoff? Vortrag zu den Hofer Vliesstofftagen 2008: <http://www.hofer-vliesstofftage.de/vortraege/2008/2008-02.pdf>]

Bei 5 Cent/kWh therm kann mit einer Einsparung an Betriebskosten in der Größenordnung von 75.000 €/a gerechnet werden (960 kg/h Produktion; 24 h/d, 5 d/w, 48 w/a). Auf der Basis dieser Einsparungen wird eine Systemlösung mit einer Vliesstoffwalze der Breite 4.000 mm (Funktionsdurchmesser 500 mm), Rahmen und Antrieb und anderen Infrastruktureinrichtungen zu Investitionskosten der Größenordnung von 100.000 € führen. Entscheidend wird die Höhe des Verschleißes der Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie sein. Diese Walzenoberfläche lässt sich nicht ohne Weiteres instand setzen. Davon abhängig ist das Erreichen des Ziels, wie es im Antrag formuliert wurde. Für eine Einsparung von mindestens 1.500 MWh/a Wärmeenergie und mehr als 360 t/a CO₂ bei der Herstellung von ca. 6.000 t/a Hygienevliesstoffen müsste die Standzeit der Vliesstoffwalze mindestens 2,5 Jahre betragen, um die bei der Herstellung entlang der gesamten Kette anfallenden CO₂-Emissionen auszugleichen. Das betrifft nicht die Vliesstoffwalze ohne Hoch/Tief-Topographie, die durch mechanische Oberflächenbearbeitung mehrmals instand gesetzt werden kann und insgesamt auch weniger verschleißanfällig ist. Diese Walze weist jedoch gegenüber sehr feinen Vliesstoffen und auch Maschenwaren eine geringere Entwässerungsleistung auf als die Vliesstoffwalze mit Hoch/Tief-Topographie.

13. Zusammenfassende Diskussion und Schlussfolgerungen

Im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Kooperationsforschungsprojekts wurden neue Walzensysteme anwendungsbezogen – insbesondere zu den praxisrelevanten Vorgängen wie Entwässerung und Nachreinigung von textilen Warenbahnen – im Labor- und im kleintechnischen Maßstab untersucht. Zur Simulation praxisrelevanter Vorgänge standen die entsprechenden Versuchseinrichtungen zur Verfügung. Zur Untersuchung von Entwässerungseffekten und der Beständigkeit von Walzenvliesstoffen in flüssigen Medien wurden sowohl die standardisierten als auch die selbst weiterentwickelten Methoden herangezogen. Um Rückschlüsse hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen der Entwässerungsleistung von Vliesstoffen und deren Porenstruktur ziehen zu können, wurden ergänzend die licht- sowie elektronenmikroskopischen Untersuchungen durchgeführt. Die Messdatenauswertung erfolgte mit dem wissenschaftlichen Auswertungsprogramm KaleidaGraph. Die in graphischer und tabellarischer Form dargestellten Ergebnisse wurden bei der Konzeptionierung zum Einsatz von Vliesstoffwalzen im Praxisversuch zugrunde gelegt. Darüber hinaus wurde eine Versuchsanleitung für die eingeplanten Praxisversuche im Technikum erstellt. Ergänzend wurde ein Verfahren zur nasschemischen Reinigung der Vliesstoffwalze entwickelt. Für den Herstellprozess der Vliesstoffwalze aus PVA-Faserstoffen wurde eine ökologische Bilanzierung durchgeführt. Für die Entwässerungsleistung der Vliesstoffwalze wurde ein energetischer Vergleich zur Entwässerung über einen Foulard und über die Vakuumtechnik vorgenommen.

Basierend auf den gewonnenen Resultaten können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

- Die nach dem gravimetrischen Verfahren erfassten Dichteunterschiede zwischen den drei ausgewählten aus Fasermischungen bestehenden Testmaterialien wurden durch die ergänzenden elektronenmikroskopischen Untersuchungen bestätigt. Der Vliesstoff mit der Bezeichnung 120 mit dem geringsten Anteil an Baumwollfaser zeigte eine nur geringe Abhängigkeit von der Linienkraft im Hinblick auf eine Maßänderung beim Entwässern, was als Vorteil für die Hoch/Tief-Oberflächentopographie der Vliesstoffwalze angesehen werden kann.
- Der Vliesstoff aus PVA-Fasern, von denen Ronden mit zwei unterschiedlichen Durchmessern zu Vliesstoffwalzen verpresst wurden, erwies sich hinsichtlich der Wasseraufnahme wie Wasserabgabe als der bestgeeignete. Eine zur Erklärung des Zusammenhangs zwischen dem Wassertransport in Vliesstoffen und deren Porenstruktur durchgeführte ergänzende elektronenmikroskopische Untersuchung zeigte, dass der genannte Vliesstoff eine etwa homogen offenporige Mikrostruktur hat und den höchsten Porenflächenanteil gegenüber den anderen von der Firma FKM zur Praxisanwendung ausgewählten Vliesstoffen aufweist. Die ergänzenden elektronenmikroskopischen Untersuchungen im Zeitraffer ließen keine Änderung der Porenstruktur vom PVA-Vliesstoff bei der Wasseraufnahme erkennen.
- Die anhand von vier zur Praxisanwendung ausgewählten Vliesstoffe untersuchte Entwässerungsleistung in Abhängigkeit vom Liniendruck und vom zu entwässernden Material zeigte, dass die Walzenkombination Gummiwalze/PVA-Vliesstoffwalze bei allen Untersuchungen die besten Resultate zum Restfeuchtegehalt der Testmaterialien hat. Für alle Testmaterialien wird die höchste Entwässerungsleistung, entsprechend dem geringsten Restfeuchtegehalt der Testmaterialien erreicht. Im Gegensatz zu den anderen Vliesstoffwalzen führt bei der

Vliesstoffwalze aus PVA-Fasermaterialien ein höherer Liniendruck als 3 N mm^{-1} zu keiner signifikanten Verbesserung der Entwässerungsleistung. Dies kann als weiterer Vorteil für die PVA-Vliesstoffwalze angesehen werden, da mit zunehmendem Liniendruck die „Walkarbeit“ an der Oberfläche der Vliesstoffwalze und damit der Verschleiß zunehmen wird. Der nach Abschluss aller Untersuchungen zur Ermittlung des Restfeuchtegehalts unterschiedlicher Testmaterialien noch einmal durchgeführte Versuch für die PVA-Vliesstoffwalze zeigte ein direkt vergleichbares Ergebnis.

- Die Ergebnisse zur Entwässerungsleistung werden durch die Untersuchungen zur Benetzbarkeit der in den Vliesstoffwalzen verwendeten Vliesstoffe über die Bestimmung der Steighöhe bestätigt. Die Versuche zur Simulation der offenen strukturierten Vliesstoffwalzenoberfläche nach dem modifizierten TEGEWA-Steighöhentest bestätigen die Erkenntnis, dass eine hohe Saugleistung im Zusammenhang mit im Durchmesser alternierenden Vliesstoffronden steht, die zur Vliesstoffwalze verpresst werden. Die nach Abschluss aller Untersuchungen durchgeführten Versuche mit der „abgeschälten“ PVA-Vliesstoffwalze bekräftigten diese Aussage, allerdings nur bei dem geringen Anpressdruck im Fall vom Testmaterial 120. Darüber hinaus wurde im Labormaßstab eine „schonende“ Wirkung der PVA-Vliesstoffwalze mit im Durchmesser alternierenden Vliesstoffronden gegenüber dem genannten Testmaterial experimentell belegt.
- Für die Beständigkeitstests des PVA-Vliesstoffs wurden beim Einlegen der Vliesstoffmuster in verschiedene wässrige Lösungen bis zu einer Temperatur von $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ keine signifikanten Dichteänderungen (relative Änderung im Bereich -10%) festgestellt. Bei den Prüflösungen handelte es sich um Leitungswasser, destilliertes Wasser, verdünnte Natronlauge pH 10, Salzsäurelösung pH 3, wässrige Waschmittellösung und Wasserstoffperoxidlösung. Erst oberhalb von $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$ und deutlich bei $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (exponentielle Steigerung) nehmen die relativen Änderungen der Dichte bis zu einem durchschnittlichen Wert von 400% zu, bei der in eine Wasserstoffperoxidlösung eingetauchten PVA-Vliesstoffprobe sogar bis 500% .
- Bis zu einer Temperatur von $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ lösen alle wässrigen Lösungen nur geringe Stoffmengen aus dem Vliesstoff heraus. Erst bei $90 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ist die Änderung der CSB-Konzentration aufgrund der aus dem Vliesstoff gelösten Stoffe erheblich.
- Beim Dauerbetrieb kann die in einen Laborfoulard als Ersatz von einer Gummivalze eingebaute PVA-Vliesstoffwalze als beständig gegenüber Leitungswasser der Temperatur $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ bewertet werden.
- Bei den Vorversuchen zu den Dauerbelastungstests werden erwartungsgemäß aus einem schwarzen Vliesstoff in Wasser lösliche organische Substanzen durch die immer wiederkehrende Benetzung herausgelöst und offensichtlich auch auf die Vliesstoffwalze übertragen.
- Die in einer Excel-Prozessbilanz eingepflegten Ergebnisse der Dauerversuche zeigten, dass beim Benetzen des Textils mit reinem Wasser 70% der Präparations- und Waschmittel, die auf dem Textil noch vorhanden waren, abgelöst und gleichmäßig mit dem Wasser über die Warenbahn und die Vliesstoffwalze verteilt werden. Eine Anreicherung auf der Vliesstoffwalze konnte nicht ermittelt werden.

Vergleichbar war das Ergebnis beim Einsatz des Abwassers vom industriellen Waschprozess („Schmutzwasser“).

Bei Verwendung von nichtionogenen Tensiden haben sowohl das Textil als auch der Vliesstoffmantel einen Teil der CSB-Fracht, die mit dem nichtionogenen Tensid über das Wasser in den Prozess eingebracht wurde, aufgenommen. Man kann daher davon ausgehen, dass es zu einer Anreicherung von nichtionogenem Tensid im Vliesstoffmantel kommt (nichtionogene Tenside haben einen schwach kationischen Charakter und sind daher gegenüber nichtionischen Synthesefasern wie Polyester und Polyvinylalkohol affin). Beim nachfolgenden Reinigen der Vliesstoffwalze mit Wasser wird nur die Hälfte der dort anhaftenden nichtionogenen Tenside ausgewaschen.

Es kommt auch zu einer Anreicherung des anionischen Tensids im Vliesstoffmantel und auf dem Textil. Vermutlich ist dies auf den hohen Anteil an einem Phosphorsäureester zurückzuführen, der offensichtlich eine gewisse Affinität zum Polyestertextil und auch zu den Vliesstofffasern hat. Beim Reinigen der Vliesstoffwalze werden wie im Versuch mit nichtionogenem Tensid ebenfalls nur 45 % des im Vliesstoff anhaftenden Anionensids ausgewaschen.

- Eine Nachreinigung des bei der industriellen Wäsche nicht optimal gereinigten Textilbahnenstoffs ist mit Hilfe der Vliesstoffwalze und durch Übergießen der Warenbahn mit kaltem Wasser möglich. Es wird ein verfahrenstechnischer Lösungsansatz zum Einsatz der Vliesstoffwalze für die Nachreinigung von Textilbahnenstoffen am Ende des Waschprozesses und unmittelbar vor der abschließenden Entwässerung beispielsweise durch ein Gummiwalzenpaar vorgeschlagen.
- Die Absaugung als mechanische Reinigung der Vliesstoffwalze wird nicht genügen, um einen ausreichenden Grundzustand der Vliesstoffwalze zu erreichen. Ergänzend durchgeführte Laborversuche führten zur Entwicklung eines Nassreinigungsverfahrens, das vorzugsweise unter Einsatz eines Anionensids angewendet wird. Der Aufwand an Wasser, Energie und Zeit ist jedoch beträchtlich.
- Die Simulation der Entwässerung von Hygienevliesstoffen bei deren Fertigung über die Vliesstoffwalze zeigte eine Reduzierung des durch die Benetzung erreichten hohen Feuchtegehalts um 70 %.
- Die bei der Inbetriebnahme des von der Firma FKM aufgebauten Vliesstoffwalzensystems *Rollenbox* im Technikum der Firma Freudenberg PM gewonnenen Ergebnisse können im Vergleich mit denen der Labor- bzw. kleintechnischen Versuche als positiv beurteilt werden. Für zukünftig angestrebte Anwendungen ist eine Vorhersage zur Eignung auf Basis der Ergebnisse der Vliesstoffwalze im Labor- bzw. kleintechnischen Maßstab mit ausreichender Sicherheit möglich.