

Lindenfarb Textilveredelung
Julius Probst GmbH & Co. KG

Entwicklung eines Schnellfärbeverfahrens auf Basis eines neuen
Textilhilfsmittels.

Schnellfärben



Abschlussbericht über das von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderte
Entwicklungsprojekt

AZ 29947

von

Fa. Lindenfarb und Fa. Textilcolor

Verfasser: Andreas Niess

Unterkochen, 31.10.2013

Der Bericht ist über die Lindenfarb Textilveredelung Julius Probst GmbH & Co. KG erhältlich.

• **Projektkennblatt**
der
Deutschen Bundesstiftung Umwelt



Az	29947	Referat	21/2	Fördersumme	110.000€
----	--------------	---------	-------------	-------------	-----------------

Antragstitel "Entwicklung eines Schnellfärbeverfahrens auf Basis eines neuen Textilhilfsmittels"

Stichworte Schnellfärben

Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)
10 Monate	29.08.2012	28.06.2013	I.

Zwischenberichte

Bewilligungsempfänger	Lindenfarb Textilveredlung Julius Probst GmbH & Co. KG Färberstraße 10 73432 Aalen	Tel	07361 578-20 0
		Fax	07361 578-14 6
		Projektleitung	Andreas Niess
		Bearbeiter	Andreas Nieves

Kooperationspartner Textilvolor AG
Schildstraße 2
CH-9475 Sevelen

1. Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Kurzfassung

Färbeprozesse sind in der Textilveredlung mit sehr hohen Energie- und Wasserverbräuchen verbunden. Gleichzeitig führen die eingesetzten Chemikalien zu erheblichen Aufwendungen bei der Abwasserbehandlung.

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines Schnellfärbeverfahrens für textile Flächen auf Polyesterbasis, das neben der Verkürzung der Prozesszeiten im Vergleich zum Stand der Technik zu einer deutlichen Verringerung des Energie- und Wasserverbrauches beim Dispersionsfärben synthetischer textiler Flächengebilde führt.

Der gewählte Lösungsansatz beruht auf einem neuartigen Dispergier Mittel des Kooperationspartners Textilcolor, dessen Erprobung im Labor und anschließender kleintechnischer Versuche zur Technologieentwicklung auf Färbeanlagen bei Lindenfarb.

Risiken ergeben sich hinsichtlich der Übertragbarkeit der neuen Rezeptur vom Labor auf unterschiedliche technische Färbeanlagen und der Erreichung der textilphysikalischen Qualitätsparameter.

Bei positiven Entwicklungsergebnissen wird Lindenfarb in einem Anschlussprojekt seine Anlagentechnik investieren um die wirtschaftlichen und umweltrelevanten Vorteile des Schnellfärbeverfahrens auf möglichst viele Artikel zu übertragen. Textilcolor wird das neue Dispergier Mittel in der Branche bekannt machen und für unterschiedliche Anwender am Markt modifizieren. Die wirtschaftlichen Vorteile aus der möglichen Verkürzung von Prozessabläufen lassen eine zeitnahe Verbreitung erwarten.

2. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

2.1 Textilcolor

Laborseitige Entwicklung in 2 Entwicklungsphasen.

2.2 Lindenfarb

Arbeitsschritt 1:

Laborausfärbungen mit unterschiedlichen Einsatzmengen (g/l) sowie unterschiedlichen Aufheizgradienten (°C/Minuten) auf vollautomatischer Dosier- und Färbemaschine Typ SUPERLAB

Arbeitsschritt 2:

Praxisfärbungen auf HT-Lotus, der Fa. THEN: Kurzflottenfärbemaschine mit 1 Speicher bis maximal 180 kg.

Prozesssteuerung über Anlagensteuerung der Fa. SETEX

Arbeitsschritt 3:

Praxisfärbungen auf HT-Roto's der Fa. Thies. Langflottenfärbemaschinen mit je 6 Speichern bis maximal 180 kg/Speicher. Prozesssteuerung über Anlagensteuerung der Fa. SETEX.

Arbeitsschritt 4:

Messung und Überprüfung der Färbeergebnisse mit

- Lichtechtheitsprüfungen: Xenotest Alpha M der Fa. Atlas MTT GmbH
Lichtechtheitsprüfung nach DIN EN ISO B02
Heißlichtalterung nach DIN EN ISO 105B06
- Farbmessungen: Spektralphotometer Spectralflash SF 600 der Fa. Datacolor
- Dehnungsprüfungen: Zwickline – Zugprüfmaschine der Fa. Zwick

3. Ergebnisse und Diskussion

Die in der Zielsetzung formulierten Ziele

- Verkürzung Prozesszeit (-30%)
- Reduzierung Chemikalieneinsatz (-50%)
- Reduzierung Wasserverbrauch (-50%)
- Reduzierung Wärmeenergie (-5%)

in Bezug auf PES-Färbungen auf Strangfärbemaschinen konnte erreicht werden, ohne den Farbausfall und die technischen Werte zu beeinflussen.

Zur Diskussion steht an, die bisherige Maschinentechologie der Langflottenfärbemaschinen so umzugestalten, dass die Aufheizgradienten von 4°C/Minute erreicht werden. Weiter kann geprüft werden, das Verfahren auf andere Materialien (PA oder Mischungen PA/PES) zu übertragen oder auf andere Färbverfahren wie das Baumfärben anzudenken.

4. Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Es ist geplant, hier im Fachmagazin Melliand einen gemeinsamen Beitrag zu platzieren. Lindenfarb hat hier regional bereits in der Wirtschaftszeitung berichtet. Textilcolor wird entsprechende Verkaufsunterlagen erstellen und ihre Vertriebsmitarbeiter schulen, so dass das Produkt verkaufstechnisch eingesteuert werden kann.

5. Fazit

Es wurde ein Produkt entwickelt, in Labor- und Praxisversuchen nachgewiesen, welches der Aufgabenstellung und den Zielen des Projektes entspricht. Die als Ziele definierten Prozesszeitreduzierung, sowie Einsparungen an Energie konnten nachgewiesen werden.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Symbolverzeichnis	7
1. Zusammenfassung	8
2. Einleitung	9
3. Hauptteil	12
3.1 Beschreibung des Entwicklungsfortschritts beim Kooperationspartner Fa. Textilcolor:	12
– Dynamische Differenzkalorimetrie (engl. Differential Scanning Calorimetry, DSC): <i>DSC TA 8000 von Mettler</i>	13
– Gaschromatographie (GC) – Massenspektrometrie (MS): <i>GC 2000 / DSQ II von Thermo Finnigan</i>	13
– Gaschromatographie (GC) – Flammenionisationsdetektion (FID): <i>GC 2000 von Thermo Finnigan</i>	13
– Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (engl. <i>high performance liquid chromatography</i> , HPLC): <i>HPLC / LCQ von Thermo Finnigan</i>	13
– Gel-Permeations-Chromatographie (GPC): <i>GPC SECurity mit Brechungsindex-Detektor von Polymer PSS</i>	13
4. Energetische Betrachtung	27
4.1 Vergleich Lotus Alt/Neu	28
4.2 Weitere Einsparpotentiale	29
5. Fazit	30
6. Literaturverzeichnis	32

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Färbeeinheit Superlab von ColorService	17
Abbildung 2: Färbering „roh“	18
Abbildung 3: Ring gefärbt	18

Symbolverzeichnis

1. Zusammenfassung

Ziel des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Projektes (AZ 29947) war die Entwicklung eines Schnellfärbeverfahrens für textile Flächen auf Polyesterbasis, das neben der Verkürzung der Prozesszeiten im Vergleich zum Stand der Technik zu einer deutlichen Verringerung des Energie- und Wasserverbrauches beim Dispersionsfärben synthetischer textiler Flächengebilde führt.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde zunächst das notwendige Egalisierhilfsmittel beim Kooperationspartner Textilcolor entwickelt und hergestellt. Im Weiteren dann bei Lindenfarb zunächst im Labor auf bestehende Rezepturen / PES-Färbungen angewendet und im Anschluss dann im Produktionsmaßstab auf zwei unterschiedliche Färbemaschinen (Kurz- und Langflottenfärbemaschinen) umgesetzt.

Die Versuchsfärbungen basierten auf Erhöhung des Aufheizgradienten, Reduzierung der Färbezeit / Haltezeit, Erhöhung des Abkühlgradienten, Reduzierung der maximalen Färbetemperatur und Reduzierung der Gesamtprozesszeit.

Die Versuchsfärbungen wurden in Bezug auf Farbgenauigkeit / Farbausfall, Lichtechtheiten und technische Werte geprüft.

Alle farbtechnischen Vorgaben sowie Einhaltung der geforderten technischen Werte am Textil wurden erfüllt.

Zum Schluss wurde eine Wärmeenergieberechnung erstellt sowie die Effizienzen aus den Ergebnissen auch in Bezug auf Reduzierung der Gesamtprozesszeit berechnet.

Hier wird der maßgebliche Effekt der Reduzierung der Prozesszeit und auch Wärmeenergieeinsparung deutlich.

Mit den erreichten Ergebnissen lassen sich die Auf- und Abheizschritte sowie die Färbezeit / Haltezeit deutlich reduzieren. Auch können die Färbungen bei 5°C reduzierter Temperatur erfolgen. Gesamthaft lässt sich die Prozesszeit um ca. 30% reduzieren.

Im Weiteren wird Lindenfarb nun prüfen, inwieweit die Wärmetauscher an den vorhandenen HT-Roto's (FV 1:10) getauscht werden können, um den Aufheizgradient von 4°C/Minute zu realisieren und parallel sich eine Investition in eine große Kurzflottenfärbemaschine (1800 kg/Färbung, FV 1:4) rechnet. Beide Prozesse werden unmittelbar starten.

Der Kooperationspartner Textilcolor wird nun marketingseitig das Produkt im Markt platzieren.

Weiterhin sind Veröffentlichungen in Fachmagazinen geplant.

2. Einleitung

Das Färben von textilen Flächen ist eines der Haupttätigkeitsfelder der Lindenfarb. Die Fa. Lindenfarb verfügt über 23 Hochtemperatur- Strangfärbemaschinen. Davon können 11 Maschinen ein Warengewicht von mehr als 600 kg Färbung aufnehmen. Der bestehende Maschinenpark in der Ausziehfärberei besteht aus Hochtemperatur Färbemaschinen mit einem maximalen Befüllungsvolumen von ca. 160 kg Ware pro Speicher. Die größten Maschinen haben dabei 6 dieser Warenspeicher (HT-Roto). Insgesamt verfügt die Lindenfarb über 10 dieser Großmaschinen für das Färben im Strang, während sich die anderen im Ausmaß und der Konstruktion jeweils leicht voneinander unterscheiden. Diese Maschinen verfügen bisher über ein Leistungsvermögen um die Kammer mit Flotte und Wareninhalt pro Minute um 2°C zu erhöhen. Hierbei bildet die Airflow-Lotus die Ausnahme, da diese einen Temperaturgradienten von 4°C/min erreichen kann.

Die Dispersionsfärbung von textilen Flächen mit synthetischen Polymeren (hier Polyester) erfolgt weitestgehend standardisiert und mit einem branchenüblichen Aufheizgradient von 2°C/min. Maschinentechnische Grenzen sowie der benötigte egale und lauffaltenfreie Warenausfall mit handelsüblichen Hilfsmitteln behindern derzeit die Produktionseffizienz durch die Begrenzung der Verlaufsgeschwindigkeit bei diesen Maschinen sowie die Gesamtprozesszeit. Die Färbung von Polyester benötigt immer eine gewisse „Haltezeit“ bei maximaler Temperatur, damit sich der Farbstoff mit der Faser „verbinden“ kann. Ein Dispergiermittel, mit dem man eine deutliche Gradienterhöhung erreichen kann, ist derzeit auf dem Markt nicht erhältlich.

Zur Verbesserung der Material- und Energieeffizienz des Färbeverfahrens war die Entwicklung eines neuen Produkts/Hilfsmittels (Dispergiermittel) für Färbungen und die praktische Erprobung einschließlich technologischer Optimierung in Produktionsanlagen geplant. Im Ergebnis soll der Temperaturgradient beim Färbeprozess in der Aufheizphase und in der Abkühlphase erhöht und die gesamte Produktionszeit sowie das Flottenverhältnis auch in den großen Produktionsmaschinen verkürzt werden. Die Egalität sowie das Warenbild des Färbeguts darf dabei nicht negativ beeinflusst werden.

AP: Laborversuche bei Textilcolor

Mit neuartigen Dispergiermitteln wurden Rezepturen für das Schnellfärbeverfahren erstellt. Die verwendeten Farbstoffe und Hilfsmittel, für die Färbung des Artikels aus 100 % PES Strickware für den Automobilbereich zur Verwendung für Hutablagen, Autohimmel und A-B-C-Säulenverkleidung sind

Hilfsmittel: Waschmittel

Dispergiermittel (E11/04/36)

Lauffaltenverhinderer

Säurespender

UV-Absorber

Farbstoff: Dispersionsfarbstoffe

AP1: Qualitätsprüfungen im Färbereilabor Lindenfarb

Der Abschluss der Laborversuche in der Färberei erfolgte nach erfolgreich absolvierten physikalischen Testergebnissen sowie echtheitstechnischen Anforderungen.

AP2: Kleintechnische Versuche

Die Testergebnisse und ermittelten Rezepte aus den Laborfärbemaschinen wurden auf die Lotus-Färbemaschine übertragen. Hier wurden alle Farben in mehrfacher Ausfertigung gefärbt und ausgewertet.

Nach dieser Testphase auf der kleinen Produktionsmaschine, welche von der Bauart und Leistungsfähigkeit nicht mit den HT-Roto-Maschinen zu vergleichen ist, wurde eine Qualitätsanalyse und wirtschaftliche Betrachtung der Ergebnisse vorgenommen.

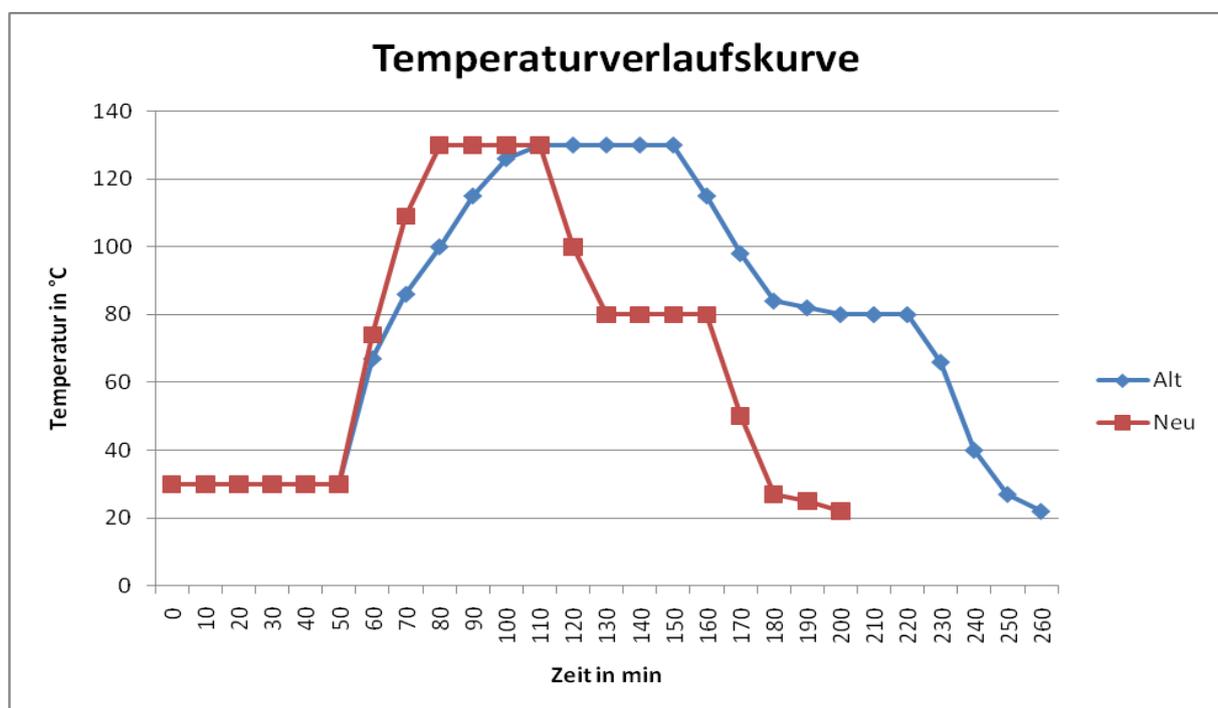
AP3: Produktionsversuche mit abschließender Leistungsfahrt

Maßstabsvergrößerung der verfahrenstechnischen Parameter und Beginn der Färbeversuche auf den großen Produktionsmaschinen mit Anpassung der Prozesssteuerung im Folgeprojekt.

Qualitätsanalyse und Erfassung aller Verbrauchskennziffern im Rahmen der Versuche auf Produktionsanlagen.

Validierung der wirtschaftlichen und umweltrelevanten Zielstellungen.

Technische Risiken waren trotz der Versuche auf der kleintechnischen Anlage hoch anzusiedeln, da die Hauptentwicklungsarbeit im maschinentechnischen Bereich bei der Umsetzung und Erweiterung dann auf die Großmaschinen liegen wird. Hierfür wird bei erfolgreicher Erprobung des Hilfsmittels ein Folgeprojekt für die Investition in die Optimierung durch andere Wärmetauscher oder in neue Maschinen folgen müssen. Zudem soll das Hilfsprodukt auf mehrere Artikel umgelegt werden. Das Erreichen der gleichwertigen Egalität bei verkürztem Flottenverhältnis ist eine technologisch anspruchsvolle Zielstellung, da die eingesetzten HT-Roto-Maschinen mit den bisherigen Hilfsmitteln dafür nicht ausgelegt sind.



Aufheizgradient: 2°C/min

4°C/min

3. Hauptteil

3.1 Beschreibung des Entwicklungsfortschritts beim Kooperationspartner Fa. Textilcolor:

In der Entwicklungsphase I wurden zunächst - dem Vorhaben aus Punkt 3.1 des Projektantrages folgend - verschiedene Leitstrukturen synthetisiert. Variiert wurde dabei sowohl die chemische Natur der Polykondensate durch Verwendung chemisch unterschiedlicher Monomereinheiten und/oder struktur- bzw. stellungsisomeren Bausteinen sowie auch die Reaktionsbedingungen, die vor allem hinsichtlich der Kettenlänge (Molekulargewicht) zu Polykondensaten mit unterschiedlichen Eigenschaften führen. Die Bedingungen wurden dabei so optimiert und die fertigen wässrigen Polykondensatlösungen im Bedarfsfall derart mit Stellmitteln versetzt, dass lagerstabile Produkte resultierten.

Die so erhaltenen Produkte wurden analytisch untersucht (z.B. durch IR, DSC, GC-MS, GC-FID, HPLC-MS und GPC) und im anwendungstechnischen Labor einem Screening der Produkteigenschaften unterzogen. Massgebliche und relevante Tests waren vor allem die Prüfung der Dispergierwirkung, des Egalisier- bzw. Retardiervermögens (Zeitstufenaufbautest), einer eventuell vorhandenen Migrierwirkung sowie weiterer prozesskritischer Faktoren wie zum Beispiel der Schaumneigung in Abhängigkeit des Temperaturverlaufs während des Färbeprozesses.

In der Entwicklungsphase II wurden die Produkte ausgehend von den aussichtsreichsten Leitstrukturen aus Phase I durch gezielte Änderungen des chemischen Aufbaus und der physikalisch-chemischen Prozessparameter weiter variiert, die Eigenschaften geprüft und die Leitstrukturen optimiert.

Bemusterung an Fa. Lindenfarb: 20 kg **E11/04/36** (26.11.2012)

Bestellung Fa. Lindenfarb für Praxisversuche: 360 kg **E11/04/36** (11.03.2013)

Bestellung Fa. Lindenfarb für Praxisversuche: 360 kg **E11/04/36** (10.06.2013)

Festlegung der Verkaufsbezeichnung: **Alviron HSD** (27.06.2013)

3.1.1 Verwendete analytische Geräte (Auswahl)

- **Infrarotspektrometer (IR):** *Spectrum 100 von Perkin Elmer*
- **Dynamische Differenzkalorimetrie** (engl. Differential Scanning Calorimetry, **DSC**): *DSC TA 8000 von Mettler*
- **Gaschromatographie (GC) – Massenspektrometrie (MS):** *GC 2000 / DSQ II von Thermo Finnigan*
- **Gaschromatographie (GC) – Flammenionisationsdetektion (FID):** *GC 2000 von Thermo Finnigan*
- **Hochleistungsflüssigkeitschromatographie** (engl. *high performance liquid chromatography*, **HPLC**): *HPLC / LCQ von Thermo Finnigan*
- **Gel-Permeations-Chromatographie (GPC):** GPC SECurity mit Brechungsindex-Detektor von Polymer PSS

3.1.2. Anwendungstechnische Überprüfungen

3.1.2.1 Dispergiervermögen

Laborversuch (Filtertest)

Rezeptur:

- | | | |
|-----------------------|---------|-------------------|
| Mono-Natriumphosphat: | 0,5 g/l | |
| Di-Natriumphosphat: | 1,5 g/l | (pH 7 einstellen) |
| Dispers Rot 54: | 0,15 % | |
| E11/04/36: | 1,0 g/l | |
- Aufheizen mit 4 °C/min auf 130 °C
 - 20 min bei 130 °C behandeln
 - Abkühlen auf 80 °C
 - Filtrieren

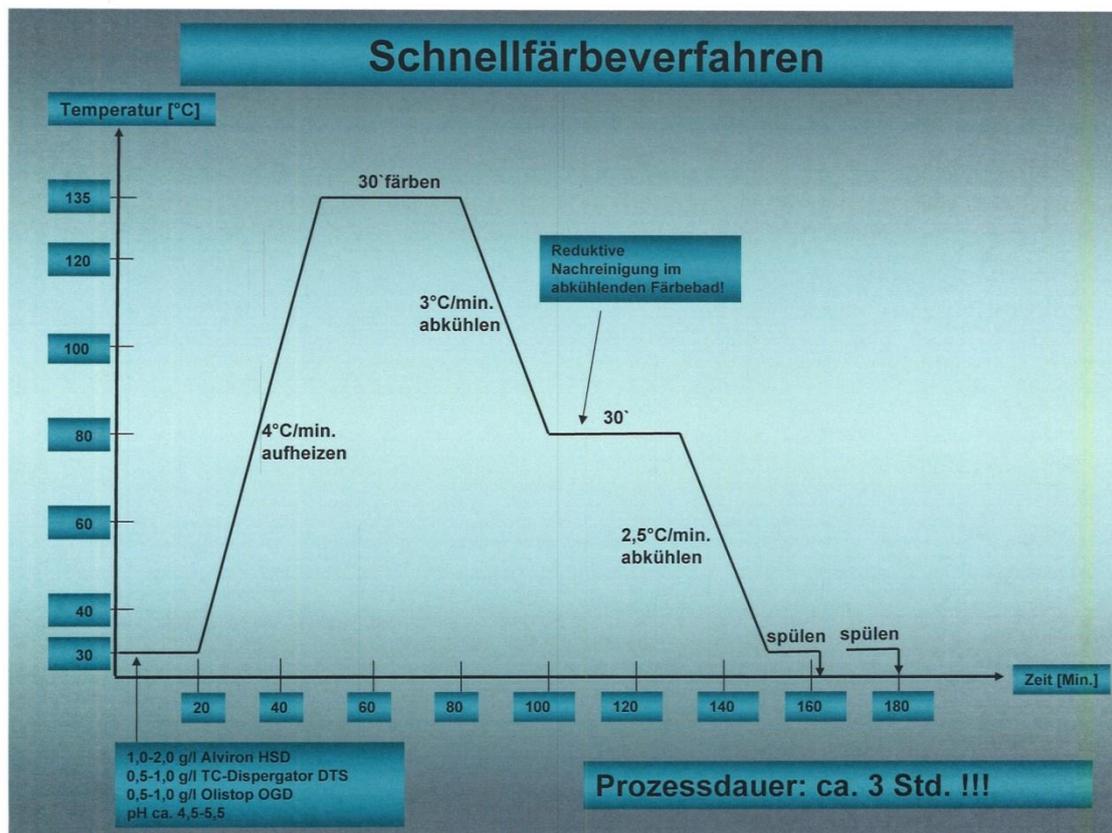
3.1.2.2 Zeitstufenaufbautest

Laborversuch auf 100 % PES-Gewebe; Flottenverhältnis 1:20

Rezeptur:

Dispers Gelb HL-G:	0,1 %
Dispers Rot H-LR:	0,1 %
Dispers Blau H-LB:	0,1 %
TC-Dispergator BL:	0,5 g/l
TC-Puffer PFS:	0,5 g/l
E11/04/36:	4,0 g/l

- Aufheizen mit 4 °C/min auf 130 °C
- Musterentnahme jeweils nach dem Aufheizen auf 100 °C, 110 °C, 120 °C und 130 °C, sowie nach 30 min Färben bei 130 °C
- Muster nach dem Entnehmen warm und kalt spülen und reduktiv reinigen



3.2 Beschreibung der Labor- und Praxisversuche bei Lindenfarb

3.2.1 Laborversuche

Versuchsprodukt E11/04/36:

Hierbei handelt es sich um ein neu entwickeltes Egalisiermittel für PES - Färbungen. Dieses Produkt soll das bisherige Standard-Produkt ersetzen und eine deutliche Beschleunigung der Aufheizphase, Beschleunigung der Abheizphase ermöglichen und auch eine Verkürzung der Färbezeit erzielen.

Egalisierhilfsmittel werden im Färbeprozessen im Speziellen bei PES - Färbungen verwendet, um

- bei der Aufziehgeschwindigkeit aller in der Rezeptur vorhandenen Dispersionsfarbstoffe (3-6 in der Anzahl) in einer Trichromie auszugleichen, bzw. ein unterschiedliches Aufziehen auszugleichen.
- generell ein schnelles Aufziehen zu ermöglichen.
- einen migrationsfördernden Effekt auf die Dispersionsfarbstoffe auszulösen und im HT-Färbereich (130-135°C) im Färbeprozess den Diffusionsprozess ins Faserinnere zu optimieren.

Der Warenausfall und die Qualität (gleichmäßige Anfärbung / Egalität) darf mit diesem Schnellfärbeverfahren (Aufheizgradient von bis zu 4°C/min sollen damit möglich sein) nicht beeinflusst werden.

Besonderes Augenmerk ist bei Färbungen für den Automobilbereich auf die Lichtechtheit und die Heißlichtalterung zu legen. Diese darf auf keinen Fall negativ beeinflusst werden.

Neben den Lichtechtheiten und Heißlichtalterungen sind technische Werte wie Dehnwerte in Länge und Breite, Reißkraft und Weiterreißkraft, bleibende Dehnung einzuhalten und nicht zu beeinflussen.

Auch nachfolgende Prozesse in der Weiterverarbeitung der PES-Textilien dürfen nicht negativ beeinflusst werden. Hier ist unter anderem das Kaschieren oder

Beschichten anzuführen und damit verbundenen Haftungsunterschiede als Ursache in der Änderung des Färbeprozesses (Rezeptur + Färbeprozess).

Es wurde damit begonnen Versuche im Labormaßstab durchzuführen.

Lindenfarb verfügt über eine vollautomatische Dosier- und Färbemaschine der Firma Color Service, die in der Lage ist, Aufheizgeschwindigkeiten von

4 - 5°C / min zu erreichen.

Automatische Laborfärbearanlage der Fa. Color Service. Das System zur Färbung von Mustern besteht aus 3 Einheiten:

SUPERLAB

LAB

MP

Mit der Anlage MP werden die Stammlösungen aus Pulverfarbstoffen hergestellt.

Mit der Dosieranlage LAB werden die berechneten Rezepte, entweder in Färbekampagnen für die Färbereinheit LABOMAT oder für die 10 Färbereinheiten SUPERLAB dosiert.

Die Färbearanlage SUPERLAB kann die vorbereiteten Färberinge mit Chipkontrolle vollautomatisch nach Programm anfärben.

Das ganze System wird von einer speziellen Software von Color Service mit 2 Computern kontrolliert.

Ein Computer, der Supervisor, verwaltet die Programmierung der 10 Färbereinheiten. Der andere Computer Superlab ermöglicht den Zugriff des Benutzers auf die 3 Anlagen.

Somit sind gute Voraussetzungen gegeben, um auch im Labormaßstab aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen.



Abbildung 1: Färbereinheit Superlab von ColorService

Wir haben einen Artikel für diese Versuch genommen, der auch in der Produktion auf einer Färbemaschine gefärbt wird, die in der Lage ist, eine Aufheizrate von $4^{\circ}\text{C}/\text{min}$ zu erreichen. Hier handelt es sich um die Maschine "Lotus" (LongTubeSensitive) der Firma Then-Fong's.

Diese Maschine ist eine Weiterentwicklung des extremen Kurzflotten-Prinzips der Airflow-Typen.

Es wurde damit begonnen aus dem Material sog. "Färberinge" zu fertigen:



Abbildung 2: Färbering „roh“



Abbildung 3: Ring gefärbt

Die Farbstoffeinsatzmenge wurde vom bisherigen Produktionsrezept 1:1 übernommen.

Das Versuchsprodukt wurde mit verschiedenen Mengen eingesetzt:

1 g/l, 2 g/l, 3 g/l und 4 g/l

In der Regel wird verwendet:

0,7 g/l bei dunklen Färbungen

1,2 g/l bei mittleren Färbungen

1,5 g/l bei hellen Färbungen.

Als Aufheizgradient wurde 1°/min, 2°/min, 3°/min und 4°/min genommen und mit allen 4 verschiedenen Einsatzmengen kombiniert.

Die Laufzeit kann auf dieser Laboranlage nicht beliebig verkürzt werden, da aufgrund der Konstruktion der Durchströmungsverhältnisse eine gewisse Zeit benötigt wird, um den Farbstoff gleichmäßig auf dem Färbegut zu verteilen und eine „egale Färbung“ zu erhalten

Die Proben wurden somit 45 Min. bei 130°C wie in der Serie gefärbt.

Die Färberinge werden anschließend gespült und getrocknet.

Anschließend wurde das Ergebnis farbmetrisch vermessen.

Unter Laborbedingungen kam es zu einer leichten Farbtonverschiebung zwischen Labormuster und bisherigem Produktionsmuster, welche aber aus Erfahrung heraus

normal ist und den Serienfärbungen entspricht, wenn man dieselbe Rezeptur im Labor bzw. auf der Produktionsmaschine färbt.

Mit den beiden anderen Farben dieses Artikels wurde ebenso verfahren.

Laborseitig wurden insgesamt 48 Ausfärbungen erstellt.

Ergebnisse Labor:

Im Labor konnte das Versuchsprodukt in den Konzentrationen 1 g/l, 2 g/l, 3 g/l und 4 g/l und mit unterschiedlichen Aufheizgradienten von 1°C/min, 2°C/min, 3°C/min und 4°C/min gefärbt werden.

Die farbmetrische Mengen sowie die optische Beurteilungen in Bezug auf Egalität entsprechen der Serienware und dem bisher eingesetzten Standardprodukt.

3.2.2. Versuche auf Färbemaschine „LOTUS“

Da die jeweiligen Serien (1°- 4°C mit 1-4 g/l) nur geringe Abweichungen untereinander hatten, wurde nun in der Produktion damit begonnen Serienware zu färben.

Es wurde das bisherige Egalisierungsmittel Alviron EFP gegen das Versuchsprodukt ausgetauscht, und zwar in der von Textilcolor empfohlenen Menge von 4 g/l, die anderen Chemikalien und auch die Farbstoffe wurden nicht ausgetauscht.

Sicherheitshalber wurde die Einsatzmenge der Farbstoffrezeptur um 5% reduziert, da in den Laborversuchen zu erkennen war, dass das Versuchsprodukt ein höheres Ziehvermögen mitbringt, was zu höherer Farbtiefe in der Färbung führen kann.

Auf der Färbemaschine „Lotus“ wird in der Regel mit Flottenverhältnissen von 1:2,5 bis 1:5 gefärbt, je nach Menge Färbegut, Farbtiefe, Materialzusammensetzung Färbegut und Lauflängenfaktor des Färbegutes.

Dies war eine vorbeugende Maßnahme. Wenn das erste Muster zu dunkel gekommen wäre, ist extrem schwierig, die Partie wieder heller zu machen, da aufgrund des sehr kurzen Flottenverhältnisses eine Art „Verdünnung“, wie standardmäßig verfahren wird in dem man bei erhöhter Temperatur nochmals nur mit Wasser durchkocht um Farbstoff abzulösen, nicht mehr erfolgen kann.

Die Chemikalien und der Farbstoff wurden in einer vorgegebenen Zeit von 10 Minuten dosiert, um vor dem Aufheizvorgang eine optimale Vorverteilung zu gewährleisten.

Diese Vorgehensweise wird auch vom Maschinenhersteller auf Grund der extrem geringen Flotte empfohlen. Die Ware macht während der Dosierung 3-4 Umläufe.

Anschließend wurde mit 4°C/min durchgehend bis 130°C geheizt.

Üblicherweise liegt die Empfehlung der Farbstoffhersteller bei diesem Einsatzzweck (Automobil) bei 135°C.

Nach einer Laufzeit von 30 Minuten wurde abgekühlt und eine Musterprobe entnommen. Diese war zu hell. Nach 2 Nachsätzen war dann die Farbe i.O.

Die Färbezeit wurde hier von 60 Min. auf 30 Min. reduziert, da hier im Gegensatz zur Laboranlage keine Uegalität zu erwarten war.

Auch bei den Zusätzen wurde die Zeit von normal 30 Minuten auf 25 Minuten reduziert, die Temperatur betrug hier 125°C. Die Aufheizphase wurde auch hier mit 4°C/min durchgeführt.

Es waren keine Unterschiede in Ausfall oder Farbe zur normal gefertigten Ware festzustellen.

Die Lichtechtheit wurde ebenfalls nicht negativ beeinflusst.

Eine Schaumbildung konnte nicht festgestellt werden.

Es wurden weitere Partien, auch in anderen Farben mit der gleichen Vorgehensweise unter Aufsicht gefärbt. Insgesamt wurden während der gesamten Projekt- und Versuchsphase 21 Partien auf der „Lotus“ gefärbt.

Die Färbezeit konnte um ca. 1 Stunde verkürzt werden, außerdem lag die Färbetemperatur 5°C unter der Empfehlung der Farbstoffhersteller, was somit auch noch eine zusätzliche Energieeinsparung bedeutet.

Lediglich bei der Farbe "schwarz" wurde ein erhöhtes Farbstoffrückhaltevermögen (bei 4 g/l Einsatzmenge) des Produkts festgestellt, d.h. bis die Partie fertiggestellt werden konnte, wurde mehr Farbstoff benötigt als mit dem Standard Egalisiermittel (1,5 g/l Einsatzmenge).

Allgemein war bei "schwarz" auf Lotus eine im Schnitt (1-2 Zusätze) erhöhte Zahl von Zusätzen zu beobachten.

Die Vermutung liegt nahe, dass die in der hohen Farbstoffmenge (bei schwarz) eingesetzten Dispergatoren sich bei dem Versuchsprodukt eher nachteilig auswirken.

Es wurden nun 4 weitere Partien mit reduzierter Menge E11 (0,7 g/l; dies ist auch die normale Menge des Standard-Egalisiermittels auf HT-Roto's bei schwarz) gefärbt. Die Aufheizphase wurde bei 4°C belassen. Bei diesen Partien reagierte die Farbe wieder normal. Die Zusätze verhielten sich in der üblichen Weise und es wurden keine Auffälligkeiten festgestellt.

Aus unserer Sicht kann man sagen, dass bei Farbstoffeinsatzmengen über 3-4 % (bezogen aufs Warengewicht) nur eine geringe Menge des Produkts benötigt wird.

Ergebnisse LOTUS:

Auf Lotus wurden insgesamt 21 Färbungen in den Farben schwarz, grau und beige in unterschiedlichen Artikeln gefärbt.

Es konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

- Reduzierung Aufheizzeit um 30 Minuten
- Reduzierung Färbetemperatur von 135°C auf 130°C
- Reduzierung Färbezeit/Haltezeit um 10 Minuten
- Reduzierung Abkühlzeiten um 20 Minuten
- Reduzierung reduktive Nachreinigung bei dunklen Farben um 10 Minuten).
- > Reduzierung der Prozessdauer um 80 Minuten mit einem Nachsatz um 110 Minuten.
- Keine Beeinflussung auf Lichtechtheiten und Heißlichtalterung.
- Keine Beeinflussung auf Metamerie.
- Keine Beeinflussung auf Einsatzmengen Farbstoffe und Chemikalien.

LOTUS	Färbeprozess ALT			Färbeprozess NEU			
° Beladen / Befüllen			20 Minuten			20 Minuten	
° Aufheizen 30°C -> 135°C	2°C/Minute	135°C	60 Minuten	4°C/Minute	130°C	30 Minuten	
° Färben / Haltezeit bei 135°C		135°C	40 Minuten		130°C	30 Minuten	
° Abkühlen 135°C -> 80°C	1,5°C/Minute		40 Minuten	3°C/Minute		20 Minuten	
° Nachsatz							
Aufheizen 80°C -> 130°C	2°C/Minute		30 Minuten	4°C/Minute		15 Minuten	
Färben/Haltezeit 130 / 125°C		130°C	30 Minuten		125°C	25 Minuten	
Abkühlen 130°C -> 80°C	2°C/Minute		30 Minuten	3°C/Minute		20 Minuten	
° Reduktive Nachreinigung bei 80°C			40 Minuten			30 Minuten	
° Abkühlen 80°C -> 30°C	1,5°C/Minute		30 Minuten	2,5°C/Minute		20 Minute	
° 2 x Spülen bei 30°C			<u>30 Minuten</u>			<u>30 Minuten</u>	
Gesamt ohne Nachsatz			260 Minuten			180 Minuten	-80 Minuten
Gesamt mit Nachsatz			350 Minuten			240 Minuten	-110 Minuten

3.2.3. Versuche auf HT-Roto

Desweiteren wurden Versuche auf unseren großen HT-Roto's durchgeführt.

Da allerdings aus den vorliegenden technischen Gegebenheiten und maschinenbedingt keine Aufheizraten von 4°C/min zu erzielen waren, wurde das Versuchsprodukt in einer Menge von 1:1 ausgetauscht.

Die Aufheizgeschwindigkeit lag bei 2°C / min.

Es wurde allerdings auch hier eine Temperaturreduzierung um 5° auf 130°C und eine Verkürzung der Färbezeit von 60 auf 45 Minuten.

Das Produkt wurde mit den anderen Chemikalien, wie auch der Farbstoff, in 10 Minuten dosiert, also während 3-4 Umläufen, um auch hier eine optimale Vorverteilung zu erreichen.

Die Färbungen wurden auf 2 verschiedenen Artikeln durchgeführt, die bei uns in großen Mengen laufen. Es sind Versuche auf verschiedenen HT-Roto's und auch in verschiedenen Farben gelaufen (grau, beige und schwarz).

Es konnten gegenüber dem Standard-Egalisiermittel keine negativen Auswirkungen festgestellt werden. Färbeverhalten sowie die Anzahl der benötigten Zusätze zeigten keinen Unterschied zum Standard-Produkt.

Mit der gleichen Menge wie das Standard-Egalisiermittel wurden auch bei der Farbe "schwarz" keine Auffälligkeiten festgestellt.

Die Reduzierung der Temperatur und der Laufzeit hatte auch keine negativen Auswirkungen. Die Gleichmäßigkeit von Düse zu Düse war gegeben.

Es waren keine Unterschiede im Ausfall oder Farbe zur normal gefertigten Ware festzustellen.

Auf Grund dieser Erkenntnisse wurden weitere Versuche mit anderen Artikeln gefärbt. Hier wurde zunächst die Färbezeit ebenfalls von 60 auf 45 Minuten bei hellen Farben (grau, beige) reduziert.

Die Färbetemperatur betrug 130 °C.

Die Muster aller 6 Düsen zeigten keine Unterschiede untereinander.

Da es wegen der verkürzten Färbezeit möglich wäre, dass der Farbstoffauszug aus dem Färbebad geringer ist wie sonst üblich, wurde genau darauf geachtet, dass die Färbung nicht zu hell war. Dies war nicht der Fall.

Bei schwarz wurde ebenso die Färbezeit auf 45 Minuten reduziert.

Eine weitere Verkürzung ist noch nicht durchgeführt worden, da bei einer sehr hohen Farbstoffmenge eine gewisse Zeit benötigt wird, um den Farbstoff in die Faser zu transportieren und einen guten Farbstoffauszug zu gewährleisten, und somit auch die vorgegebene Echtheit zu erreichen.

Es gibt vereinzelte schwarz "Farbtöne" wo sich in einer Partie 80 - 100 kg Farbstoff befinden, deshalb kann hier die Zeit unseres Erachtens nicht weiter verkürzt werden.

Bei der Reduzierung der Färbezeit von 60 auf 45 Minuten konnten keine negativen Auswirkungen festgestellt werden. Lichtechtheit und technische Werte waren in Ordnung.

Bei einer Zeitreduzierung ist besonderes Augenmerk darauf zu legen, dass die Umlaufzeiten des Strangs nicht zu lang sind. Da bei unseren Hauptartikeln diese Zeiten bei ca. 2 Minuten liegen, war kein negativer Effekt zu erwarten.

Wenn die Umlaufzeit zu lang ist, kann dies die Egalität (Gleichmäßigkeit) beeinflussen. Damit würden sich dann Unterschiede von Düse zu Düse ergeben.

Es konnten hier ebenfalls keine Auffälligkeiten festgestellt werden.

Bei Artikeln, wo diese Umlaufzeiten deutlich höher liegen (ca. 3,5 bis 4 min) ist es zu empfehlen, die Färbezeit bei 45 Minuten zu belassen.

Im Zuge dieser Optimierung wurde auch die Zusatzzeit von 30 auf 20 Minuten verkürzt.

Insgesamt gesehen, kommen wir hier dann auf eine Reduzierung der Prozesszeit von 370 Minuten auf 345 Minuten, also um 25 Minuten.

Ebenso wird durch die Temperaturreduzierung eine unserer Meinung nach deutliche Energieeinsparung erreicht, da die Aufheizphase von 130° auf die vom Farbstoffhersteller empfohlenen 135°C große Mengen Energie benötigt.

Weiterhin haben wir Versuche mit einem Artikel durchgeführt, der ein vorgefärbtes Garn (spinngefärbt) enthält.

Hier haben wir mit einer Temperaturreduzierung ebenfalls auf 130°C begonnen und mit einer Färbezeit von 45 Minuten. Es waren keine negativen Auswirkungen festzustellen.

Da in Abhängigkeit von der Färbetemperatur auch der Oligomeraustritt beeinflusst wird (je höher die Temperatur, desto höher die Oligomerbildung) wurde die Temperatur bei diesem Artikel, welcher hier anfällig ist, auf 125°C gesenkt.

Diese Senkung hatte mehrere positive Auswirkungen. Es konnten bessere Dehnwerte erreicht werden und der Oligomeraustritt wurde eliminiert. Es konnte sogar auf den Zusatz von einem Oligomerdispersator verzichtet werden. Es kam somit auch zu einer umweltfreundlicheren Färbung, da auf ein Produkt verzichtet werden konnte.

Oligomerablagerungen auf der Ware zeigen sich als weiße "Schleier" oder "Flecken".

In weiteren Schritten wurde dann die Färbezeit bei diesem Artikel auf 35 Minuten reduziert.

Die Reduzierung hier im Speziellen auf 125°C und Reduzierung Färbezeit auf 35 Minuten und der damit mögliche Entfall sogenannter Oligomerdispersator/Oligomerverbinder kann in einem Nachfolgeprojekt weiter untersucht werden.

Bei diesem Artikel kam es zu einer deutlichen Reduzierung des Energieverbrauchs, Einsparung eines Produkts und Zeit von ca. 35 Minuten.

Ergebnisse HT-Roto

Auf HT-Roto wurden insgesamt über 40 Färbungen schwarz, grau und beige in unterschiedlichen Artikeln gefärbt. Zusätzlich auch Artikel mit bereits im Garn eingefärbter Komponente.

Es konnten folgende Ergebnisse im aktuellen (maschinentechnisch bedingt) Prozess erzielt werden:

- Reduzierung Färbetemperatur von 135°C auf 130°C
- Reduzierung Haltezeit / Färbezeit um 15 Minuten
- > Reduzierung der Prozessdauer um 15 Minuten mit 1 Nachsatz um 25 Minuten.
- Keine Beeinflussung der Lichtechtheit und der Heißlichtalterung.
- Keine Beeinflussung auf Metamerie.
- Keine Beeinflussung auf Einsatzmengen Farbstoffe und Chemikalien.

HT-ROTO	Färbeprozess ALT			Färbeprozess NEU		
° Beladen / Befüllen			20 Minuten			20 Minuten
° Aufheizen 30°C -> 135°C	2°C/Minute	135°C	60 Minuten	2°C/Minute	130°C	60 Minuten
° Färben / Haltezeit bei 135°C		135°C	60 Minuten		130°C	45 Minuten
° Abkühlen 135°C -> 80°C	1,5°C/Minute		40 Minuten	1,5°C/Minute		40 Minuten
° Nachsatz						
Aufheizen 80°C -> 130°C	2°C/Minute		30 Minuten	2°C/Minute		30 Minuten
Färben/Haltezeit 130 / 125°C		130°C	30 Minuten		125°C	20 Minuten
Abkühlen 130°C -> 80°C	2°C/Minute		30 Minuten	2°C/Minute		30 Minuten
° Reduktive Nachreinigung bei 80°C			40 Minuten			40 Minuten
° Abkühlen 80°C -> 30°C	1,5°C/Minute		30 Minuten	1,5°C/Minute		30 Minute
° 2 x Spülen bei 30°C			<u>30 Minuten</u>			<u>30 Minuten</u>
Gesamt ohne Nachsatz			280 Minuten			265 Minuten
Gesamt mit Nachsatz			370 Minuten			345 Minuten
						-15 Minuten
						-25 Minuten

3.2.4 Spezielle Versuchserweiterung

In einer Spezialanwendung haben wir von einem Kunden einen speziellen schwer entflammaren PES-Typ im Hause, ein sogenanntes CS-Garn. Hier kann mit den bisherigen Verfahren nur mit einem Aufheizgradienten von 1°C/min gearbeitet werden.

Die Überlegung war, die auf der Lotus und der HT-Roto gewonnenen Erkenntnisse auch auf dieses spezielle Färbeverfahren/spezielle PES-Fasern anzuwenden.

Der Aufheizgradient wurde von 1 auf bis zu 2°C/min erhöht bei einer Färbetemperatur von 120°C und einer verkürzten Färbezeit/Haltezeit von 15 Minuten. Im Rezept wurde lediglich unser bisher verwendetes Egalisierungsmittel durch das Versuchsprodukt ersetzt. Alle anderen Produkte und auch die Farbstoffe blieben unverändert zum Standardrezept, um einen geeigneten Vergleich erstellen zu können.

Es wurden hier mehrere Färbungen ohne Probleme durchgeführt. Die gesamte Färbezeit konnte dadurch bis zu 2 Stunden reduziert werden. Ein Vergleich mit alten Färbungen hinsichtlich Echtheit, Farbegalität, Entflammbarkeit und Farbabweichung brachte keine nennenswerten Unterschiede.

Des Weiteren konnte bei Standard PES-Färbungen mit 130°C bei gewissen Farbtönen die Färbetemperatur auf 120°C reduziert werden. Eine weitere Herabsetzung der Färbetemperatur auf 115°C war z.T. auch noch i.O., ist jedoch nach unserer Meinung mit Vorsicht zu genießen.

Zusammenfassung der wichtigsten Punkte:

- Heizgradient konnte ohne Probleme von 1°C auf 2°C erhöht werden
- Färbezeit auf Färbetemperatur konnte auch noch z.T. trotz Heizgradienterhöhung bis zu 30 min. reduziert werden
- Färbetemperatur konnte unter Anwendung der vorher genannten zwei Punkte z.T. auch noch bis zu 10°C reduziert werden

Ergebnis ohne Beeinträchtigung der Qualität:

- Das Färbeverfahren konnte bis zu 2 Stunden reduziert werden
- Die Färbetemperatur konnte bis zu 10°C herabgesetzt werden

4. Energetische Betrachtung

Ausgehend vom Projektantrag und unserer Grundüberlegungen wurde zunächst der Wärmeenergiebedarf des Färbeprozesses auf der Lotus (siehe Punkt 3.2.2 Versuche auf Färbemaschine LOTUS; Vergleich ALT-NEU) in kWh/kg-Textil errechnet.

Hier wurde für das Textil (in kg) und den Flotteninhalt (in Liter) die Wärmemenge ermittelt. Weiterhin der Temperaturverlauf, die Haltezeit und die Prozesszeiten der einzelnen Prozessschritte (Füllen, Aufheizen, Färben, Abkühlen, Nachreinigen, Spülen) mit verwendet.

Ausgehend von diesen Ergebnissen eine Hochrechnung aufgestellt, wenn in einem Anschlussprojekt

- 1.) Wärmetauscher an den vorhandenen HT-Roto's getauscht werden,
- 2.) Neuinvestition in entsprechende Maschinentechologie wie die LOTUS erfolgt,

parallel dazu auch aus den Versuchen auf der HT-Roto eine Berechnung erstellen, aus der jetzt schon eine Kosteneinsparung / Energiereduzierung erfolgen kann.

Die Berechnungsgrundlage erstellte ein externer Partner, nämlich die Fa. ETA EnergieTechnik GmbH Aalen.

In einem weiteren Schritt dann die entsprechenden Kosten zur Herstellung der benötigten Wärmemengen / Wärmeenergie über das betriebseigene Kraftwerk in Form von

- Erdgaskosten Kraftwerk anteilig für den Färbeprozess,
- Betriebskosten der Wärmeerzeugung für den Färbeprozess

4.1 Vergleich Lotus Alt/Neu

LOTUS

Berechnung Wärmeenergien in kWh/kg	ALT	NEU	Differenz
Prozesszeit ohne Nachsatz	260 Minuten	180 Minuten	- 80 Minuten
Prozesszeit mit Nachsatz	350 Minuten	240 Minuten	- 110 Minuten
Kilo Textil	600 kg	600 kg	-
Flottenverhältnis	1:10	1:4	-
=> Liter Flotte	10.000 Liter	2.400 Liter	-7.600 Liter
Wärmeenergiebedarf Färbeprozess	1271 kWh	1192 kWh	
Wärmeenergiebedarf mit 1 Nachsatz	1880 kWh	1734 kWh	
<hr/>			
Berechnung Färbekosten in €	ALT	NEU	Differenz
Spezifische Wärmekosten 5,58 ct/kWh			
Spezifische Stromkosten 7,18 ct/kWh			
<u>Gesamtkosten</u>	1,36 ct/kg	0,38 ct/kg	0,98 ct/kg

=> Daraus ergibt sich eine Gesamtersparnis für eine 600-Kilo-Partie von 5,88 €.

(Siehe Anlage 1 – Färbeprozess)

(Siehe Anlage 2 – Stromkostenvergleich)

4.2 Weitere Einsparpotentiale

Hier sind die zusätzlichen Maschinenkapazitäten und Personalkosten pro Färbepartie aufzuführen.

Durch die Reduzierung der Prozesszeiten von 260 Minuten auf 180 Minuten (- 30%) bzw. bei 1 Nachsatz von 350 Minuten auf 240 Minuten (-31%) ergeben sich um 30% höhere Färbekapazitäten (=> kürzere Durchlaufzeiten => höhere Termintreue => höhere Kundenzufriedenheit) sowie um 30% niedrigere Personalkosten pro Färbepartie.

Kalkulatorisch liegen die Personalkosten im Färbeprozess (Färbemeister, Färber, Farbabwieger, Administration) bei einer 600-Kilo-Partie bei 168,50 €/Partie. Einsparpotential hier 30 % = 50,65 €/Partie.

Kürzere Durchlaufzeiten, höhere Termintreue und höhere Kundenzufriedenheit lassen sich in €/Partie nicht darstellen.

5. Fazit

Innerhalb des vorliegenden Förderprojektes wurde ein spezielles Schnellfärbeverfahren auf Basis eines neuen Textilhilfsmittels entwickelt, das speziell für den Einsatz bei Kurzflottenfärbungen geeignet ist.

Hauptbestandteil ist die Entwicklung eines neuen Egalisier-/Dispergiermittels, das in der praktischen Anwendung zu schnelleren Aufheizgradienten, kürzeren Haltezeiten bei Färbetemperatur, niedrigere Färbetemperatur und schnelleren Abkühlgradienten führt.

Zuerst wurde in Versuchsreihen im Labormaßstab beim Hilfsmittelhersteller ein entsprechendes Produkt entwickelt.

Die ersten Praxisversuche erfolgten dann im Labormaßstab im Färbereilabor unter Auswahl definierter Artikel und Farbstoffrezepturen sowie bestehenden Färberezepturen.

Die Ergebnisse aus den Laborversuchen wurden dann in die Praxis übertragen und auf Standardmaschinen bzw. Produktionsmaschinen dann entsprechend ausgefärbt.

Sowohl bei den Labor- als auch bei den Praxisversuchen konzentrierten sich die Versuche auf ein schnelleres Aufheizen, kürzere Haltezeit auf Färbetemperatur, niedrigere Färbetemperatur und schnelleres Abheizen beim Färbeprozess.

Durch Einsatz des neuen Textilhilfsmittels und Anpassung des Färbeprozesses konnte die Prozesszeit, Einsatz von Wasser und Einsatz von Hilfsmitteln deutlich reduziert werden und so Vorteile für die Umwelt und Wirtschaftlichkeit erzielt werden, insbesondere eben durch Einsparung an Wasser und Energie sowie Hilfsmitteln.

Die jährliche Energieeinsparung, je nach Maschine, liegt bei einem Flottenverhältnis von 1:4 bei 119.332 Kilowattstunden pro Jahr und bei den bisherigen Färbemaschinen, die bei einem Flottenverhältnis von 1:10 arbeiten bei 261.153 Kilowattstunden pro Jahr.

Im Weiteren muss nun geprüft werden, ob das Verfahren auf andere Materialien (Polyamid oder Mischungen Polyamid/Polyester) oder auf andere Färbeverfahren wie das Baumfärben zu übertragen ist.

Ebenso muss der Einsatz im Garnfärbereich geprüft werden.

Dies lässt Spielraum frei für ein Anschlussprojekt.

6. Literaturverzeichnis