

**Abschlussbericht zum Verbundvorhaben**

**Verbundprojekt:**

**„Textilien mit elektrolumineszierenden Eigenschaften für Sicherheitsbekleidung und technische Anwendungen“**

**Teilprojekt:**

**„Anlagen- und Werkzeugauslegung sowie Prozessanpassung für den Scale-up zur Herstellung mehrschichtiger lumineszierender Garne“**

**Förderkennzeichen: 13N9509**

**Laufzeit: 01.01.2008 – 30.09.2011**

**gefördert durch:**



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

**vorgelegt von:**

**Firma**

**REIMOTEC Maschinen- und Anlagenbau GmbH**

**Edisonstraße 15**

**68623 Lampertheim**



**Projektleiter:**

**Herr Christian Fleschhut**

# Inhaltsverzeichnis

---

	<u>Seite</u>
1 Aufgabenstellung	3
2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben geführt wurde	3
3 Planung und Ablauf des Vorhabens	5
4 Wissenschaftlicher und technischer Stand	6
5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
6 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse	8
7 Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	42
8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	42
9 Voraussichtlicher Nutzen/Verwertbarkeit der Ergebnisse	43
9.1 <i>Wirtschaftliche Erfolgsaussichten</i>	43
9.2 <i>Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten</i>	44
9.3 <i>Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit</i>	45
10 Ergebnisse Dritter	45
11 Veröffentlichung der Ergebnisse	45

## Anlagen

- Anhang mit Literaturverzeichnis, Produktdatenblatt, Poster-Präsentation
- Erfolgskontrollbericht
- Berichtsblatt / Document Control Sheet

## **1 Aufgabenstellung**

Die Herstellung von lumineszierenden Filamenten bestehend aus den Segmenten Elektrode – Lumineszenz-Schicht - Gegenelektrode – Isolationsschicht ist gegenüber dem alternativen Weg des Bedruckens eine vielversprechende Methode, um eine höhere Verschleißfestigkeit und Beibehaltung des textilen Griiffs zu erzielen. Andererseits werden an die Kontaktierung höhere Anforderungen gestellt, und die räumliche Anordnung ist an die textile Verarbeitung gebunden.

Der textile Griff wird von der Fasergeometrie, insbesondere vom Durchmesser (textil über Faserfeinheit wiedergegeben) bestimmt. Hierfür sind Einzelfaserdurchmesser unter 20 µm erforderlich. Anwendungen für grobe Durchmesser sind im Teppichbodenbereich, ggf. auch Dachhimmel möglich.

Durch die technischen Rahmenbedingungen von der Compound-Verfügbarkeit bis zur Kontaktierbarkeit vorgegeben, stellte sich dieses Projekt nur die Erzeugung von Monofilen bis minimal 100 µm zur Aufgabe. Der Durchbruch zu Multifilen mit Faserdurchmessern um 20 µm bleibt zukünftigen Entwicklungen auf Basis der Erkenntnisse dieses Projektes vorbehalten.

Aufgrund der Anforderungen an die Leitfähigkeit polymerer Fasern und der zu erwartenden Schichtdicke der Lumineszenzschicht bei den angestrebten hohen Füllgraden wurde im ersten Ansatz ein Faserdurchmesser im Monofil-Bereich, d.h. > 100 µm angestrebt. Ein weiterer Aspekt hierfür war, dass die Entwicklung einer Faser aus mehreren Schichten durch den erforderlichen Verstreckprozess (online oder offline) sehr aufwendig ist und erhöhte Anforderungen an die Auswahl der Polymere stellt. Eine weitere Vereinfachung stellte deshalb die Verwendung eines metallischen Drahtes für die Elektroden dar.

Aus diesen Gründen wurde zunächst die Entwicklung eines ummantelten Drahts vorgesehen. Die Lumineszenz erfordert Transparenz einer die Lumineszenzschicht umgebenden Hülle. Da leitfähige Fasern – polymerer oder metallischer Natur – nicht transparent sind, müssen die Elektrodenmaterialien, d.h. zwei parallele Leiter, in die Lumineszenzschicht eingebettet sein. Eine Schutzhülle kann dann aus hochtransparenten Polymeren wie Polycarbonat gebildet werden.

Im zweiten Projektteil sollte dann versucht werden, über leitfähige Polymere eine Direktextrusion von Monofilen zu erreichen. Mit dieser Technologie könnten feinere Fäden hergestellt und damit der Grundstock für die Entwicklung von Multifilen gelegt werden.

Das Teilvorhaben von REIMOTEC zielte darauf, die Anlagen- und Werkzeugtechnologie für die Garnproduktion zu entwickeln, sowie Prozessuntersuchungen zur Garnherstellung durchzuführen.

## **2 Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben geführt wurde**

REIMOTEC ist Systemanbieter für Verpackungsband- und Monofilamentanlagen. Dies bedeutet, dass REIMOTEC nicht einfach nur Anlagen, sondern komplettes Engineering und umfangreiches Know-how in der Verfahrenstechnologie liefert. Das Gesamtpaket ist eine der wesentlichen Ursachen dafür, dass REIMOTEC sich die Marktführerschaft im Bereich Verpackungsbänder und Monofilamente sichern konnte, z.B. auch im Bereich der Anlagen für Kunstrasen-Multilayermonofilamente. Die Fähigkeit zur

Anwendungserweiterung über die Funktionalisierung einzelner Schichten ist hierbei der maßgebliche Faktor, um einen „Premiummarkt“ mit innovativen Anforderungen zu erschließen.

Auf Monofilamentanlagen von REIMOTEC wird Kunstgras, Borsten, Tennissaiten, Angelschnüre, Longlines, Siebgewebe, technische Textilien und vieles mehr produziert. Ebenso bietet REIMOTEC Verpackungsbandanlagen an, die PET-Bänder aus Flaschenmahlgut produzieren. Herzstück dieser Anlagen ist ein gleichlaufender Doppelschneckenextruder. In Verbindung mit reaktiver Extrusion sorgt die Doppelschnecke für eine hervorragende Homogenität der Schmelze bei PET. So kann aus Flaschenmahlgut hochwertiges PET-Verpackungsband produziert werden.

Die Erfahrungen mit der Doppelschneckenextrudertechnologie waren auch für LUMITEX-Projekt von Interesse (Compoundierung von Lumineszenz-Masterbatch und leitfähigem Polymer). Bei der Verarbeitung von PET/PA-Flaschenmahlgut gelang eine ultrafeine Verteilung von üblicherweise „nicht verträglichen Kunststoffen“ wie PET/PA bei der Herstellung von hochfestem, verstrecktem Verpackungsband, ohne die Ausbildung von „PA“-Inseln im PET.

Weiterhin hat REIMOTEC gemeinsam mit dem Schwesterunternehmen motech eine sogenannte Trikomponenten-Technologie (Abb. 5) für Monofilamente entwickelt und zum Patent angemeldet, um die Nachteile herkömmlicher Bikomponenten-Filamente zu überwinden. So weisen viele Bikomponenten-Filamente den Nachteil auf, dass die beiden Schichten (Kern und Mantel) nicht ausreichend aneinander haften und somit leicht delaminieren können. Vor allem beim sog. Verstreckvorgang dieser Monofilamente kommt es häufig vor, dass sich die Mantelschicht wie eine Zwiebel-schale vom Kern löst. Damit lassen sich unterschiedliche thermoplastische Kunststoffe nur schwer miteinander kombinieren.

Durch den Einsatz einer Haftvermittlungsschicht sollten deshalb neue Materialkombinationen mit neuen Eigenschaftsprofilen zum Einsatz kommen, und somit die Voraussetzung zur Erschließung neuer und wachstumsstarker Märkte geschaffen werden. Diese Basistechnologie sollte auch im Rahmen von LUMITEX genutzt werden.

Um zusammen mit Rohstoffherstellern und Kunden Rohstoffe zu prüfen, neue Produkte zu entwickeln oder Muster produzieren zu können, verfügte REIMOTEC über eine modulare Laboranlage, die je nach Bedarf umgebaut und um neue Module ergänzt werden konnte. Dies bot die Chance, eine Anlage mit speziellen Konstruktionsmerkmalen genau auf ein gewünschtes Produkt abzustimmen und individuell zusammenzustellen. Diese Anlage wurde auch im Rahmen von LUMITEX genutzt und entsprechend der projektspezifischen Anforderungen erweitert.

Weiterhin arbeiteten REIMOTEC und das ITV Denkendorf gemeinsam an der Entwicklung und anlagentechnischen Umsetzung eines inline-fähigen Prozesses zur kostengünstigen Herstellung von Mono- und Bikomponenten-Multifilamenten aus Fluorkunststoffen. Damit erweiterte REIMOTEC sein Know-how im Bereich dicker Monofilamente auf Anwendungen mit sehr viel dünneren Multifilamenten.

Mit dem dargestellten Erfahrungshintergrund waren somit grundsätzlich gute Voraussetzungen gegeben um erfolgreich am LUMITEX-Vorhaben mitzuwirken.

### **3 Planung und Ablauf des Vorhabens**

Soweit möglich hat REIMOTEC versucht, das Projekt entsprechend der ursprünglichen Planungen durchzuführen.

Allerdings kam es bedingt durch technische Randbedingungen zu Verzögerungen und dem Bedarf, sowohl die Projektlaufzeit zu verlängern, als auch alternative Lösungskonzepte in die Untersuchungen mit einzubeziehen. An der grundsätzlichen Zielstellung der Herstellung von Lumineszenzgarnen wurde festgehalten. Allerdings wurde aufgrund der unten beschriebenen Probleme der Schwerpunkt auf die Drahtummantelung sowie Herstellung, Beschichtung und Kontaktierung von textilen Produkten (Gewebe, Gewirke und Gestricke) gelegt.

Prinzipiell geeignete Polymere für die Ummantelungsextrusion wurden bereits frühzeitig vom ITV ausgewählt, jedoch kam es zu Lieferschwierigkeiten und mehrmonatigen Verzögerungen bei der Lieferung, und damit zu einem verspäteten Beginn der diesbezüglichen Forschungsarbeiten am ITV und bei REIMOTEC. Die Fa. REIMOTEC konnte erst nach den Versuchen des ITV mit der Konzeption und Entwicklung eines Ummantelungswerkzeugs beginnen.

Bei der Entwicklung und Herstellung von Elektrolumineszenz- beschichteten Drahtmaterialien, die mit zwei unterschiedlichen Kerndrahttypen und zwei verschiedenen Elektrolumineszenzmaterialien beschichtet wurden, kam es zu nicht vorhersehbaren Verzögerungen. In der ersten Entwicklungsstufe kam es aufgrund von Haftungsproblemen der Elektrolumineszenzbeschichtung auf dem zu starrem und unflexiblen Kerndraht, der bei der Verarbeitung im Strickprozess zu Abschürfungen der Beschichtung und zu teilweise starker Verschmutzung der Nadeln führte. Der eingesetzte Kunststofftyp zeigte zudem an der Oberfläche eine leicht klebrige Oberfläche, die ebenfalls ein Abschaben der Beschichtung an Fadenumlenkorganen begünstigte. Des Weiteren war die Gesamtkonstruktion zu starr, so dass keine Maschenbildung möglich war. Trotz umfangreicher Variation der Einstellung an der Strickmaschine war ein Verstricken nicht möglich.

In der zweiten Entwicklungsstufe wurden ein wesentlich flexiblerer Kerndraht mit deutlichem kleinerem Gesamtdurchmesser, der aus 25-Einzellitzen besteht, und ein anderer Matrixkunststoff, der nach der Beschichtung schneller aushärtet und keine klebrige Oberfläche ausbildet, eingesetzt. Als weitere Maßnahme wurde die Elektrolumineszenzbeschichtung verändert, so dass ein höherer Anteil von Leuchtpartikeln eingesetzt und auf den Einsatz von Bariumtitanat verzichtet wurde. Der in dieser Weise elektrolumineszent- beschichtete Draht wies nach der Extrusionsbeschichtung eine glatte Oberfläche auf und war wesentlich flexibler, sodass ein Verstricken möglich schien.

Tatsächlich konnte auch diese zweite, hinsichtlich der Flexibilität, Klebrigkeit und Leuchtfähigkeit deutlich verbesserte Variante leider trotz umfangreicher Maßnahmen nicht verstrickt werden. Bei Aufbringen einer Fadenspannung und gleichzeitiger Umlenkung des EL-Drahtes zum Zwecke der Maschenbildung kam es zu vermehrten und schlagartigen Abrissen des EL-Drahtes. Ein vermehrter Abrieb an der Zunge der Stricknadel verhinderte das Schließen der Nadel und somit letztendlich die Maschenbildung und den Strickprozess. Auch eine Reduzierung der Fadenspannung auf ein Mindestmaß und andere Umlenkwinkel führten zu keiner Verbesserung, so dass kein Gestrick hergestellt werden konnte. Erst die aufwändige Einarbeitung als

Lauffaden in ein 3-D-Gewirke führte erstmals zu Flächengebilden mit Lumineszenzeffekten.

Durch eine Projektverlängerung konnten zusätzlich notwendige Arbeitsschritte wie beispielsweise die Analyse und Charakterisierung von Matrixpolymeren (ITV, REIMOTEC) für die Ummantelungsextrusion inklusive Haftungsuntersuchung zwischen Kern und Matrixpolymeren durchgeführt werden. Gleichzeitig wurden die ursprünglich vorgesehenen Spinnversuche mit Kern-Mantelstruktur vervollständigt. Außerdem sollten neu entwickelte innovative Düsen (Trico- Düse) in Modulbauweise für die Erzeugung mehrfacher Schichten (u.a. Trennung Dielektrikum und Lumineszenzpigment) in die Untersuchungen mit einbezogen werden.

Schwerpunkte der weiteren Arbeiten waren die Charakterisierung und die Prüfung verschiedener Compounds hinsichtlich von Lumineszenzeffekten und deren Verarbeitbarkeit, sowie Untersuchungen zur Herstellung elektrisch leitfähiger Filamente. So wurde über leitfähige Beschichtungen von polymeren Fasern bzw. Extrusion von leitfähigen Metallen eine Herstellung von Monofilamenten und Multifilamenten realisiert. Mit der entwickelten Beschichtungs-Technologie konnten auch feinere Fäden hergestellt und damit der Grundstock für die weitere Entwicklung von lumineszierenden Produkten aus feineren Fasern gelegt werden.

#### **4 Wissenschaftlicher und technischer Stand**

##### Stand der Wissenschaft und Technik (bezogen auf das Teilvorhaben)

Zum Zeitpunkt der Antragstellung waren keine elektrolumineszierenden Fasern unter 1 mm Durchmesser verfügbar. Die geringsten verfügbaren Durchmesser wurden von der Fa. LED-Tech mit 1,2 mm oder von Fa. Lightec mit 3 mm und größer angeboten. Diese Materialien waren sehr biegesteif und nur sehr eingeschränkt textil verarbeitbar.

Organische elektrolumineszierende Polymere wie Poly-para-phenylen (PPP) (auch: LPPP: Leiter-PPP) oder Poly-para-phenylen-vinyl (PPV) sind wegen ihrer Eigenschaft als Intermediat oder wegen thermischer Instabilität nicht thermoplastisch verarbeitbar.

Die Alternative ist die Einarbeitung lumineszierender anorganischer Partikel in Polymere. Diese Partikel sind in beschränktem Umfang kommerziell verfügbar. Sie müssen speziell für die Einarbeitung in die ausgewählten Polymere modifiziert werden.

Die Coextrusion bzw. die Ummantelungsextrusion mehrerer Schichten (bis 3) waren für Monofile wie für Multifilamente grundsätzlich wie auch bei den Projektpartnern REIMOTEC und ITV Stand der Technik, der jedoch auf neue Rahmenbedingungen wie spezielle Polymerschmelzen mit spezifischer Rheologie angepasst werden mussten. Monofile im angestrebten Bereich unter 100 µm waren weder generell, noch bei den Projektpartnern etabliert. Die Multifilament-Herstellung über Ummantelungsextrusion war ebenfalls unüblich.

##### Bestehende Schutzrechte (eigene und Dritter)

###### ***Eigene Schutzrechte***

Das Schwesterunternehmens der Fa. REIMOTEC GmbH, die Fa. Motech GmbH hatte unter der Nr. DE 10307174A1 ein Patent mit der Bezeichnung „Mehrschicht-

Monofilament und Verfahren zur Herstellung eines Mehrschicht-Monofilaments“ angemeldet (Offenlegung 02.09.2004), welches im Rahmen des Vorhabens genutzt wurde und für REIMOTEC ein Kernpatent darstellt. Anmeldungen erfolgten auch für USA, Kanada, China und Indien.

### **Schutzrechte Dritter**

Patentrecherchen brachten zum Thema „Elektrolumineszenz“ und Faden bzw. Filament sehr viele Einträge. Die wenigstens waren Projekt-relevant, jedoch ist es schwierig diese herauszufiltern.

Als relevant konnten die folgenden Patente eingestuft werden:

**US 5663573 (1997):** Der erste Anspruch ist so allgemein gefasst, dass kaum ein Elektrolumineszenz-Produkt daran vorbei kann, d.h. dass ggf. Lizenzerwerb geprüft werden muss. Beschränkung auf „Organic light emitting means“: Damit ist je nach Auslegung ein anorganisch gefülltes Polymer außerhalb des Anspruchs. Die Untermerkmale treffen hingegen nur sehr eingeschränkt das Projekt. Textile Aspekte sind nicht berücksichtigt.

**DE 10 2004 007 365 A1:** Es wird ein textiles Flächengebilde mit lumineszierenden Fäden beansprucht. Durch die Trennung zwischen leitfähigen Fäden, Isolation und Elektrolumineszenzschicht bleibt die Patentanmeldung hinter dem integrativen Ansatz des Projektantrages zurück.

**WO 2005(053363):** Das Patent beschreibt Elektrolumineszenz-Fasern, in der die Funktionselemente konzentrisch angeordnet sind. Das Konzept des Projektantrages unterscheidet sich hiervon.

**US 6753096:** Auch hier handelt es sich um eine konzentrische Anordnung. Das EL-Material ist organischen Ursprungs im Gegensatz zum Ansatz des Projektantrags.

**US 6228228:** Das Patent verlässt die strenge konzentrische Anordnung der überlagerten Strukturen. Jedoch verbleibt eine konzentrische Anordnung von innerer Elektrode und umgebender Elektrolumineszenz-Schicht. Dies trifft den anfänglichen Projektschritt, in dem jedoch die zukünftige Anordnung festgelegt werden soll, die auch dieses Patent umgehen wird.

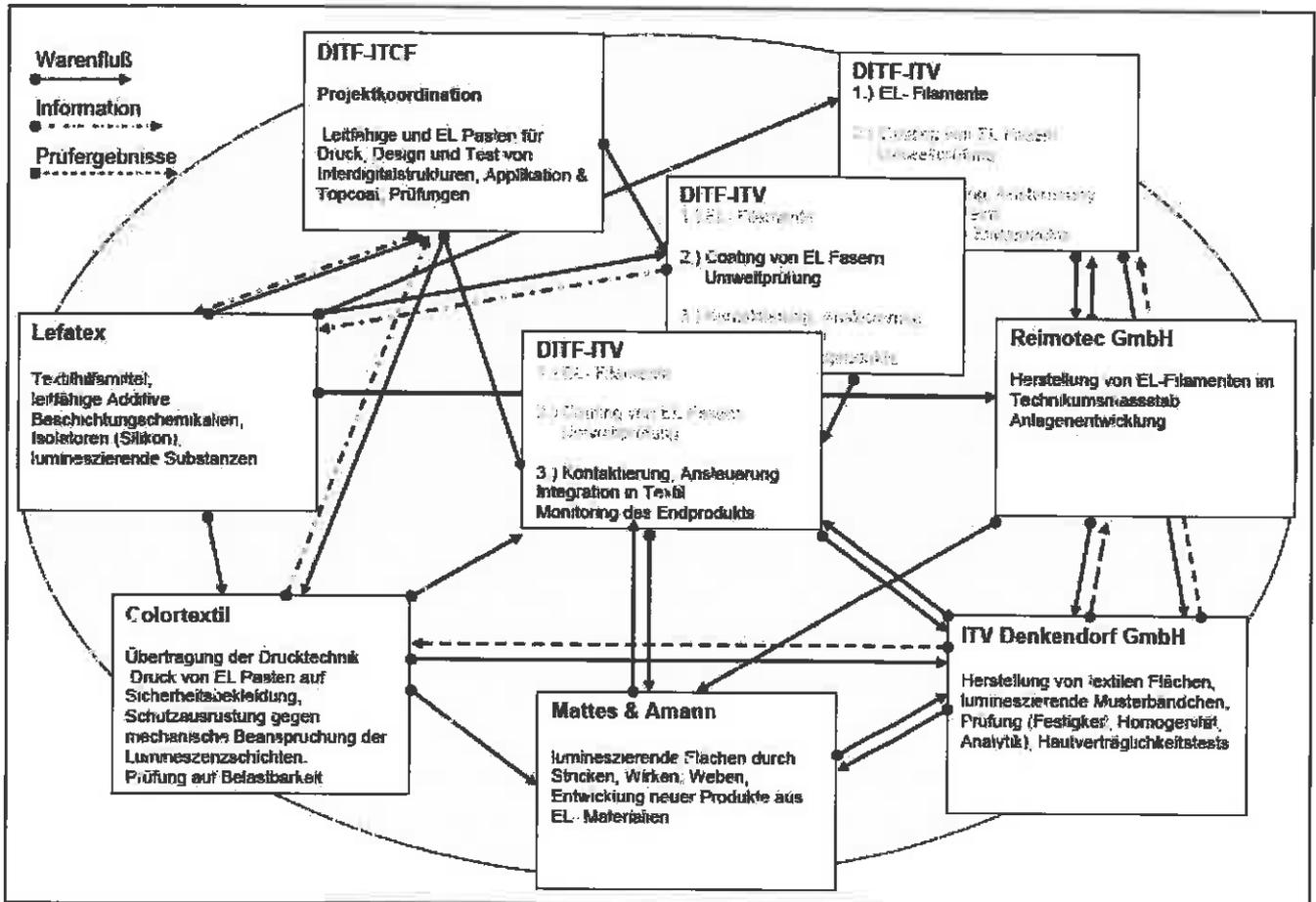
**US 5753381:** Auch hier wird die konzentrische Anordnung der Schichten und eine aufwendige geflochtene Elektrodenlage beschrieben.

Neben diesen und anderen grundlegenden Patenten respektive Patentanmeldungen wurden produktorientierte Anmeldungen gefunden, die jedoch so spezifisch sind, dass sie nicht den Kern der Entwicklung betreffen (z, B. DE 10217425 A1: Sonnenschirm) oder gar als Gebrauchsmuster eingeschränkt wurden (DE 9421941: Leuchttartikel).

Die Vielzahl der Anmeldungen unterstreicht die Bedeutung, die elektrolumineszierenden Textilien zugemessen werden. Gleichzeitig ergibt sich hieraus die Notwendigkeit einer engmaschigen Patentüberwachung, wie auch die Erfordernis von relativ frühzeitigen Patentanmeldungen.

## 5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

### Graphische Darstellung der Zusammenarbeit:



### Zusammenarbeit mit Dritten außerhalb des Verbundes

REIMOTEC hat innerhalb des Konsortiums insbesondere mit dem ITV und Lefatex kooperiert. Darüber hinaus wurden Abstimmungen mit weiteren Rohstoff- und Komponentenlieferanten vorgenommen, sowie Unteraufträge zur Spezialanfertigung von Bauteilen vergeben. Untersuchungen zur Herstellung elektrisch leitfähiger Garne wurden vom IKV in Aachen, sowie vom Fraunhofer ICT unterstützt.

## 6 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Im Folgenden wird anhand der Arbeitspakete (AP) über die durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse berichtet:

### AP 1.3.1: Auswahl der Lumineszenz-Partikel und Auswahl des Matrixpolymers

Die elektrolumineszierenden Substanzen müssen substanziell und in ihrer Funktion stabil bei der Compoundierung wie auch bei der weiteren Extrusionsummantelung sein.

Für die Durchführung der Rezepturenentwicklung standen verschiedene Leuchtpartikel zur Verfügung (Osram Glacier GLO GG 44 und Leuchtstoffwerk Breitungen LP-EL 01).

Das Matrix-Polymer soll duktil und bevorzugt ein Elastomer sein. Die Verarbeitungstemperatur muss an die Anforderungen sowohl der Lumineszenz-Partikel, als auch an den späteren Ummantelungsprozess angepasst sein.

Die Compound- Entwicklung mit unterschiedlichen Lumineszenz- Partikeln und Matrix-Polymeren erfolgte während des Berichtszeitraums in 4 Entwicklungsstufen, die in Tabelle 1 zusammengefasst sind /1/.

Alle in 2010 und 2011 durchgeführten Versuche und Bemusterungen für die Projektpartner wurden mit Compound Nr. 4 mit dem Leuchtpigment LP-EL 01 des Leuchtstoffwerks Breitungen durchgeführt. Als Basispolymer wurde Griltex 1655 GF der Fa. EMS verwendet.

<b>Compound Nr.1:</b>	
•Bariumtitanat Nanopowder	
•Osram Glacier Glo 44	
•Evonic Vestoplast 408	>>>>(Reimotec) Compoundierung gescheitert
<b>•Compound Nr.2:</b>	
•Bariumtitanat Nanopowder	
•Breitungen Leuchtpigment EL1	
•Exxon Vistamaxx 2550	>>>>(Reimotec) Polymer zu duktil
<b>Compound Nr.3:</b>	
•Bariumtitanat Nanopowder	
•Breitungen Leuchtpigment EL1	
•EMS Co-Polyester als Matrixpolymer	>>>>verworfen
<b>Compound Nr.4:</b>	
•Breitungen Leuchtpigment EL1	
•EMS Co-Polyester als Matrixpolymer	>>>>funktionsfähiges Compound

Tabelle 1: Übersicht über die Compound- Entwicklung (REIMOTEC / ITV) in 4 Stufen /1/

### 1.3.2: Auswahl der Leitermaterialien (monofiler Draht oder Litze)

Die Auswahl der elektrolumineszierenden Substanzen, des Matrixpolymers und der Leitermaterialien erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem ITV. Die während des Berichtszeitraums eingesetzten und getesteten Leitermaterialien sind in Tabelle 2 zusammengefasst /1/. Dabei wurden am ITV grundlegende Basis-Ummantelungsversuche mit verschiedenen metallischen, biegeschlaffen Litzen durchgeführt, um die Randbedingungen für die Konzeption, die Konstruktion sowie für den Bau des Ummantelungswerkzeugs zu erarbeiten.

Aus Kostengründen wurde für die Versuche und Bemusterungen in 2011 an Stelle der Edelstahl Litze 25 x 0,02 die Edelstahl Litze 7 x 0,4 eingesetzt.

Die in 2010 durchgeführte Parametervariation mit den monofilen Drähten (Muster A bis E) und daraus hergestellten Gewebestreifen, die anschließend beschichtet und kontaktiert wurden, waren die Basis für alle weiterführenden Arbeiten in 2011 /2/. Bild 1 zeigt ein vom ITV beschichtetes Gewebe A bis E. Muster E weist eine guter

Leuchtwirkung und keine sichtbaren Schädigungen der mit Leuchtpigment ummantelten Drähte auf /3/.

Auf Basis dieser Versuche konnte die Entwicklung des Prototypen- Ummantelungsverfahrens am ITV in 2010 abgeschlossen werden und alle Erkenntnisse auf den Produktionsmaßstab übertragen werden.

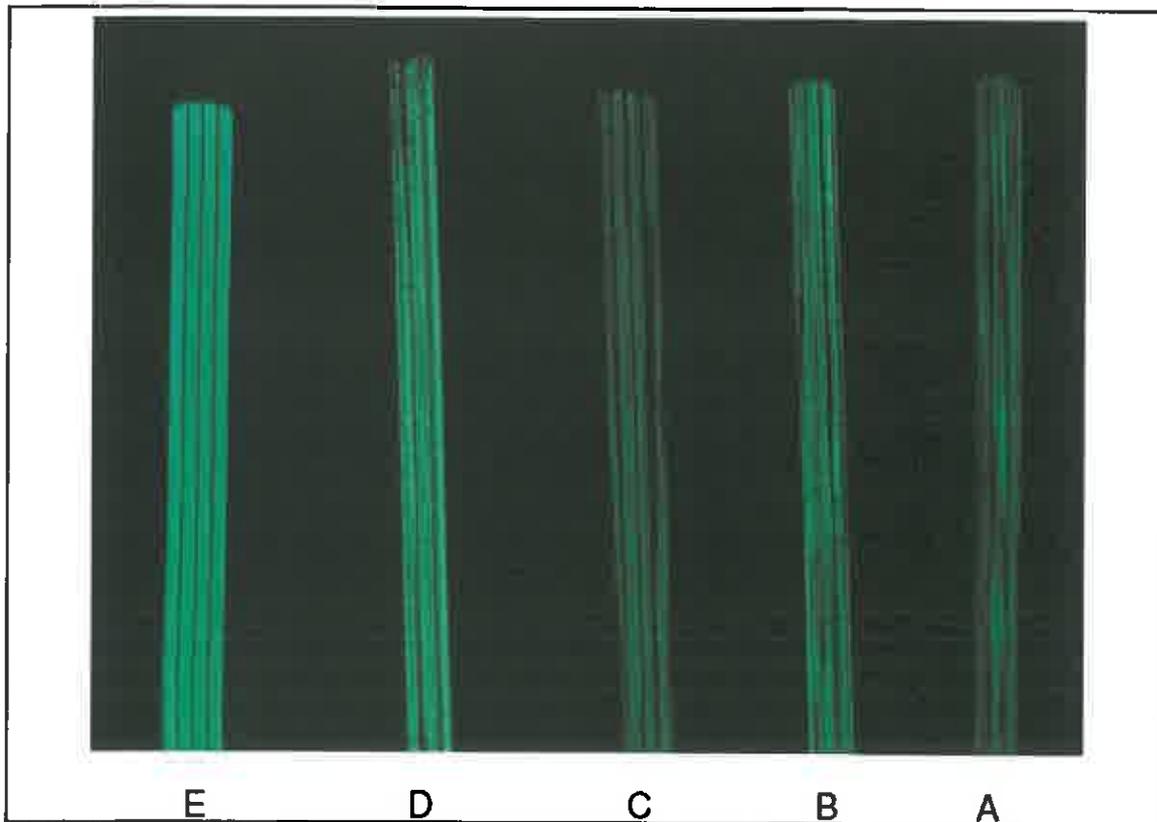
<ul style="list-style-type: none"> <li>•<b>Edelstrahldraht unisoliert 0,05mm:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Handlingsprobleme, Lötprobleme</li> </ul> </li> <li>•<b>Edelstahldraht unisoliert 0,1mm:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>•biegesteif, Haftungsprobleme, Lötprobleme</li> </ul> </li> <li>•<b>Kupferlitze blank 25x0,02:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Gute Verarbeitungseigenschaften, dielektrische Probleme, akzeptabler Preis (859€/kg)</li> </ul> </li> <li>•<b>Kupferlacklitze 25x0,02:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Gute Verarbeitungseigenschaften, hoher Preis (3853€/kg)</li> </ul> </li> <li>•<b>Kupferlacklitze 7x 0,04:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>•Gute Verarbeitungseigenschaften, akzeptabler Preis (460€/kg)</li> </ul> </li> </ul>
---

**Tabelle 2: Übersicht über die erprobten Leitermaterialien /1/**

<b>Gewebevariante</b>	<b>Innendraht</b>	<b>Beschichtungsdicke</b>	<b>Herstellungsverfahren</b>
<b>A</b>	<b>Isoliert</b>	<b>65 µm</b>	<b>Druckummantelung</b>
<b>B</b>	<b>Nicht isoliert</b>	<b>90 µm</b>	<b>Druckummantelung</b>
<b>C</b>	<b>Isoliert</b>	<b>90 µm</b>	<b>Druckummantelung</b>
<b>D</b>	<b>Isoliert</b>	<b>40 µm</b>	<b>Druckummantelung</b>
<b>E</b>	<b>isoliert</b>	<b>25 µm</b>	<b>Schlauchummantelung</b>

**Tabelle 3: Ummantlungsmuster zur Festlegung des Ummantlungskonzeptes /3/**

Im Rahmen dieses Teilprojekts wurde über leitfähige Beschichtungen von polymeren Fasern bzw. Extrusion von leitfähigen Metallen eine Herstellung von Monofilamenten und Multifilamenten realisiert. Mit der entwickelten Beschichtungs- Technologie konnten auch feinere Fäden hergestellt und damit der Grundstock für die weitere Entwicklung von lumineszierenden Produkten aus feineren Fasern gelegt werden. Eine ausführliche Beschreibung dieser Projektergebnisse ist im AP 1.3.8 und 1.3.9 zu finden.



**Bild 1: Gewebe A bis E /3/ Muster E mit guter Leuchtwirkung und keiner sichtbaren Schädigung der ummantelten Drähte**

### **AP 1.3.3: Compoundieren von Lumineszenz-Masterbatch**

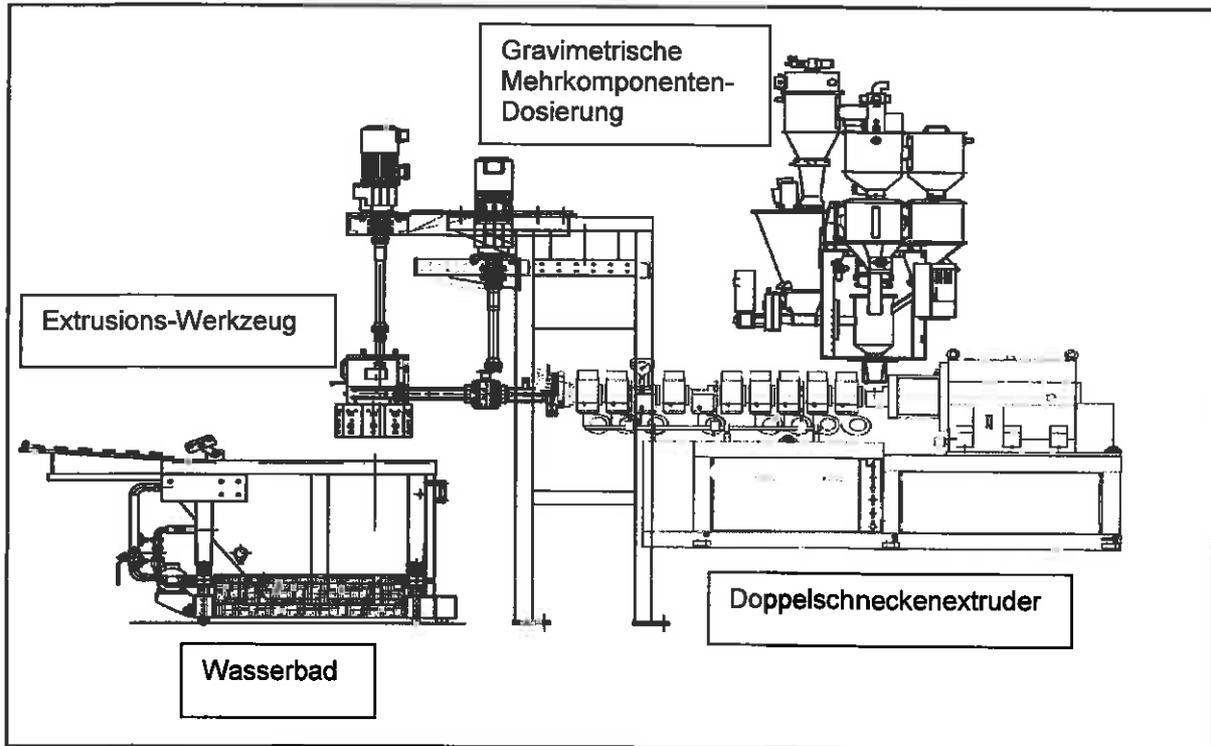
Die Lumineszenz-Partikel werden im Masterbatch-Verfahren mit möglichst hohem Füllgrad (ca. 55 Vol.-%) in das Polymer eingearbeitet. Dazu wurden zu den einzelnen Compounds 1 bis 4 (Tabelle 1) geeignete Anlagenkonfigurationen und Compoundierungs-Parameter erarbeitet.

REIMOTEC hat in der eigenen Laboranlage mit Doppelschneckenextruder und Dosierstationen die von Lefatex bereitgestellten Lumineszenz-Partikel verarbeitet, ohne sie thermisch zu schädigen.

Die Herstellung von Masterbatches bietet die Möglichkeit von Parameterstudien zur Ermittlung der optimalen Konzentration und zur Abmischung von Komponenten mit wünschenswerter Rezepturfreiheit.

Dabei musste auch untersucht werden, ob die Partikel sinnvoller Weise in Verbindung mit spezifischen Additiven zugeführt werden, um eine gleichmäßige Verteilung zu erzielen und unerwünschte Clusterbildungen zu unterdrücken. Dabei wurden auch Überlegungen zur Anbindung der Partikel an die Polymermoleküle einbezogen.

Im Rahmen dieses Arbeitspakets hat REIMOTEC eine Laboranlage mit 43 mm Doppelschneckenextruder für Durchsätze von 8 bis 80 kg/h zur Herstellung der Lumineszenz-Masterbatches (Bild 2) aufgebaut und für die Compoundier- Untersuchungen vorbereitet. Die pulverförmigen Lumineszenzpartikel können dem Extruder direkt am Einzug mit dem Basispolymer oder über eine Seitenzuführung zudosiert werden, nachdem das Basispolymer bereits aufgeschmolzen ist. Eine nachgeschaltete Entgasungszone wurde vorgesehen. Zur Konstanthaltung des Durchsatzes ist am Extruderende eine Schmelzepumpe installiert.



**Bild 2: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus zur Compoundierung mit Doppelschnecken- Extruder 43 mm**

Da zum Teil nur geringe Mengen an Lumineszenz- Compounds für Parameterstudien benötigt wurde, haben REIMOTEC und das ITV Basisversuche auf Klein-Compoundieranlage durchgeführt (Tabelle 4).

#### **AP 1.3.3: Compoundieren von Lumineszenz- Masterbatch**

- **Basisversuche bei der BASF auf Klein- Compoundieranlage mit 16 mm Doppelschneckenextruder (Durchsatz 0,4 bis 4 kg/h)**
- **Aufbau einer Laborcompoundierung am ITV mit Doppelschneckenextruder für Durchsätze von 0,2 bis 2 kg/h**
- **Aufbau einer Kleinproduktions- Compoundierung bei REIMOTEC mit 43 mm Doppelschneckenextruder für Durchsätze von 8 bis 80 kg/h**

#### **AP 1.3.8: Compoundieren von leitfähigem Polymer**

- **Modifikationen am Doppelschnecken- Extruder zur Optimierung des Extruders und Scale- Up vom Labor- auf Prototypenmaßstab**

**Tabelle 4: Übersicht über die in AP 1.3.3 und 1.3.8 entwickelten und verwendeten Compoundier- Systeme**

Die Lumineszenz-Rezeptur Compound 1 (10% Bariumtitanat und 10% Lumineszenz-Additiv Osram Glacier GLO GG 44) wurde in ein Basispolymer (80% Polybuten Vestoplast 408) eingearbeitet. Hierzu musste eine geeignete Basisschneckenkonfiguration ermittelt werden.

Bei der Weiterverarbeitung zeigte sich, dass die Granulierung mit ungekühlten und gekühlten Schneidmessern nicht möglich war, da das Basispolymer direkt verklebt und verklumpt (reaktiver Schmelzkleber).

Aus diesem Grund wurden die Versuche mit einem neuen Basispolymer (80% Vistamaxx) und einer neuen Rezeptur wiederholt (10% Bariumtitanat und 10% Lumineszenz-Additiv Leuchtstoffwerk Breitenungen LP-EL 01 grün), ebenfalls mit Ermittlung einer geeigneten Basisschneckenkonfiguration. In diesem Fall war die Granulierung von Compound 2 ohne Probleme möglich.

Compound 3 wurde aufgrund der schlechten Weiterverarbeitbarkeit im Ummantelungsprozess verworfen.

Für alle in 2010 und 2011 durchgeführten Versuche und Bemusterungen für die Projektpartner wurde Compound 4 verwendet, da die Compoundierung ohne kostenintensive Additive funktionierte und die Weiterverarbeitung im Ummantelungsprozess ohne Probleme möglich war.

Eine Zusammenfassung der Compound-Entwicklung zeigt Tabelle 1 /1/. Die Modifikationen am Doppelschneckenextruder zur Optimierung des Extruders und zur Übertragung vom Labor- auf den Prototypenmaßstab sind im AP 1.3.8 ausführlich beschrieben.

### **Meilenstein 1 erreicht:**

***Auf Basis der Projektfeinplanung wurden die Systemanforderungen als Voraussetzung für alle weiteren Arbeitspakete und –inhalte detailliert und die Zielspezifikationen für die Kernkomponenten und –Systeme qualitativ sowie quantitativ beschrieben. Für REIMOTEC bedeutete dies die Festlegung von Füllgraden für die Lumineszenz-Partikel und für die Compound- Rezeptur zur Steuerung der Leuchtfähigkeit, sowie z.B. die Festlegung von Filamentdicken bzw. Schichtdicken für Lumineszenz- Filamente für die Weiterverarbeitung durch die Projektpartner.***

### **AP 1.3.4 Vorversuche zur Ummantelung eines Drahtes**

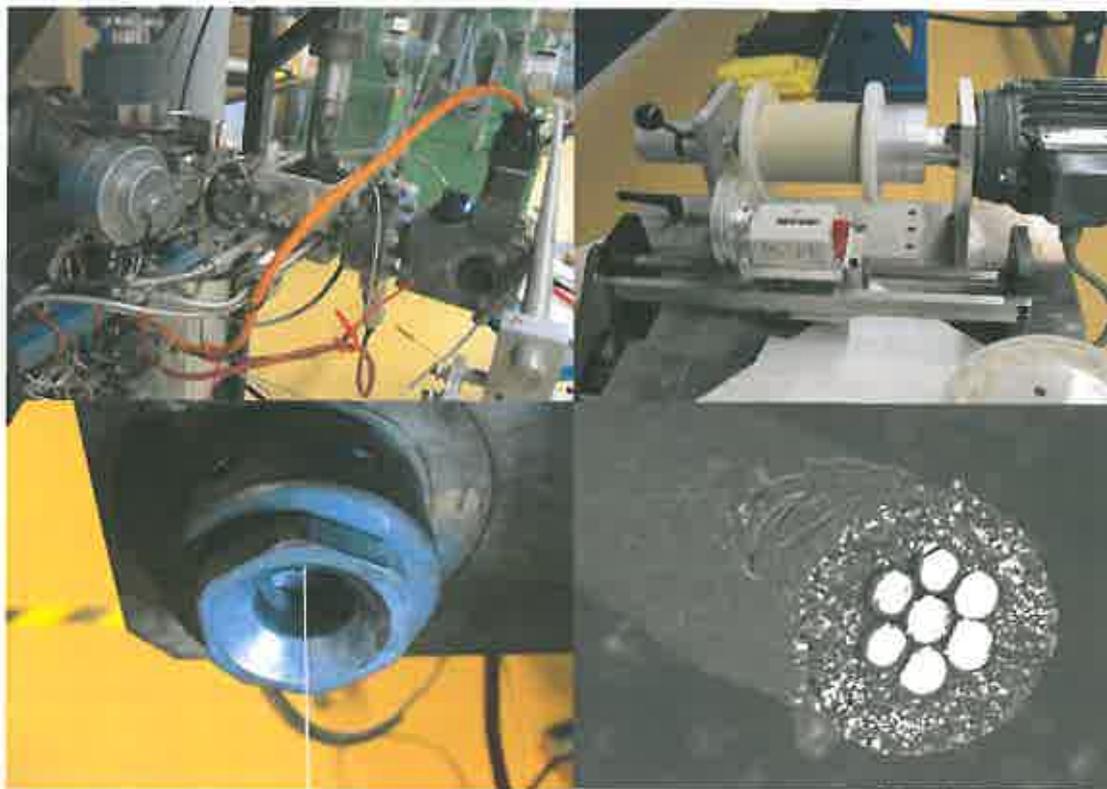
Im Rahmen von Grundlagenversuchen wurde zunächst ein metallischer Leiter mit einem Lumineszenz-Compound ummantelt. Mit diesem Halbzeug wurden dann Versuche zur sinnvollen räumlichen Anordnung von Elektroden und Gegenelektroden durchgeführt. Diese textilen Produkte wurden anschließend im Beschichtungsverfahren mit leitenden und isolierenden Schichten gemeinsam umhüllt. Im letzten Schritt erfolgte die Kontaktierung. Reihenuntersuchungen am ITV und ITVP haben gezeigt, welche Strukturen zu stabil lumineszierenden textilen Produkten führen.

Die Ergebnisse aus dem Labormaßstab wurden übertragen auf den Prototypenmaßstab zur Festlegung eines Ummantelungswerkzeuges (AP 1.3.5) und des Beschichtungsprozesses für die Produktion von Mustermaterial für die Verbundpartner (AP 1.3.7).

Die am ITV in Zusammenarbeit mit REIMOTEC durchgeführten Entwicklungen und Grundlagenuntersuchungen sind in Tabelle 5 zusammengefasst /1/. Die Laboranlage, an der die Schlauchummantelung, Druckummantelung und ein Kombinationsverfahren erprobt wurden, zeigt Bild 3.

<b>Druckummantelung</b>	
•Drahtführungsdüse 0,06mm	mit D-Mundstück 0,1mm mit 0,03mm Edelstahlraht ->>>>nicht handhabbar
•Drahtführungsdüse 0,2	mit D-Mundstück 0,3mm mit 0,1mm Draht ->>>>handhabbar, Kontaktierungs und Haftungsprobleme
•Drahtführungsdüse 0,15	mit D-Mundstück 0,2mm mit 0,14mm Litze ->>>>handhabbar, löfbar, Zentrierungsprobleme
<b>Schlauchummantelung</b>	
•Drahtführungsdüse 0,20/0,44	mit S-Mundstück 0,76mm mit 0,14mm Litze ->>>>Schichtdicke nicht kontrollierbar, Düse zerbrechlich
•Drahtführungsdüse 0,15/0,60	mit S-Mundstück 0,76mm mit 0,14mm Litze ->>>>Schichtdicke gut kontrollierbar, Düsenspalt zu gering, Entmischungsprobleme
<b>Kombination</b>	
•Drahtführungsdüse 0,15/0,60	mit D-Mundstück 0,30mm mit 0,14mm Litze ->>>>Schichtdicke gut kontrollierbar, Prozess stabil, Zentrierung gut

**Tabelle 5: Grundlagenuntersuchungen am ITV zur Herstellung von Lumineszenz- Filamenten /1/**



**Bild 3: Grundlagenuntersuchungen am ITV zur Herstellung von Lumineszenz- Filamenten**

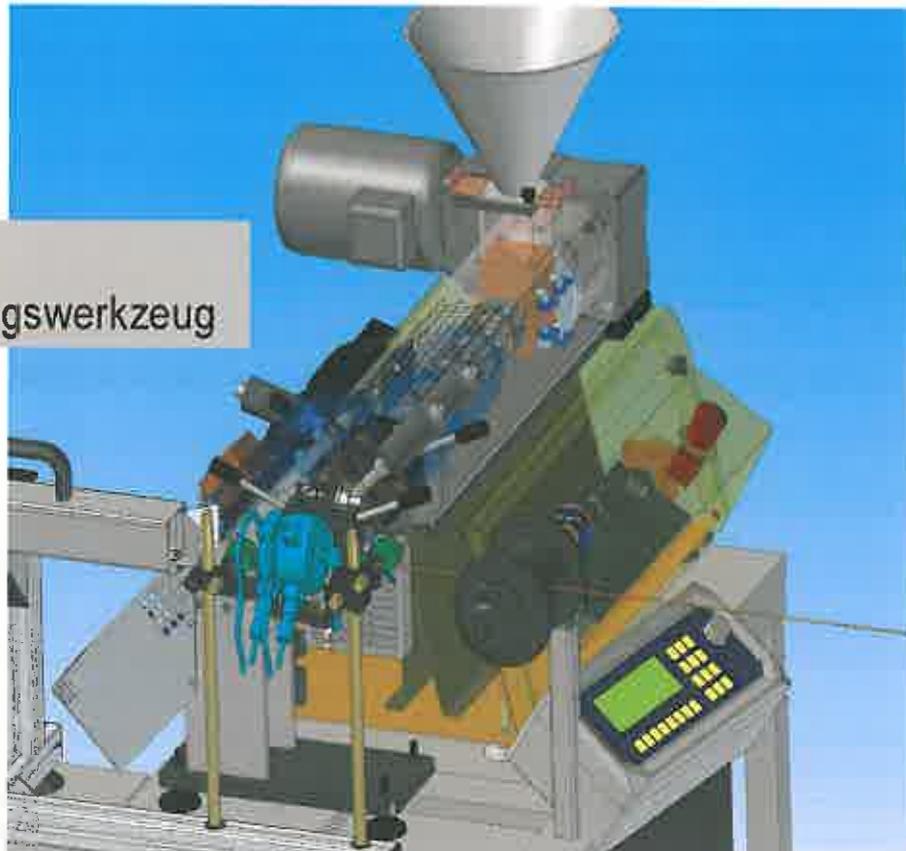
### **AP 1.3.5 Konzeption und Bau eines Ummantelungswerkzeugs**

Am ITV stand ein Ummantelungswerkzeug für die Laborversuche zur Verfügung (Bild 3). Für weiterführende Versuche zur Direktummantelung eines fertigen Lumineszenz-Filaments, sowie für die Fertigung von Mustermengen für die Projektpartner war ein neues Werkzeug erforderlich, das zusammen mit dem ITV konzipiert und von REIMOTEC konstruiert und gebaut wurde.

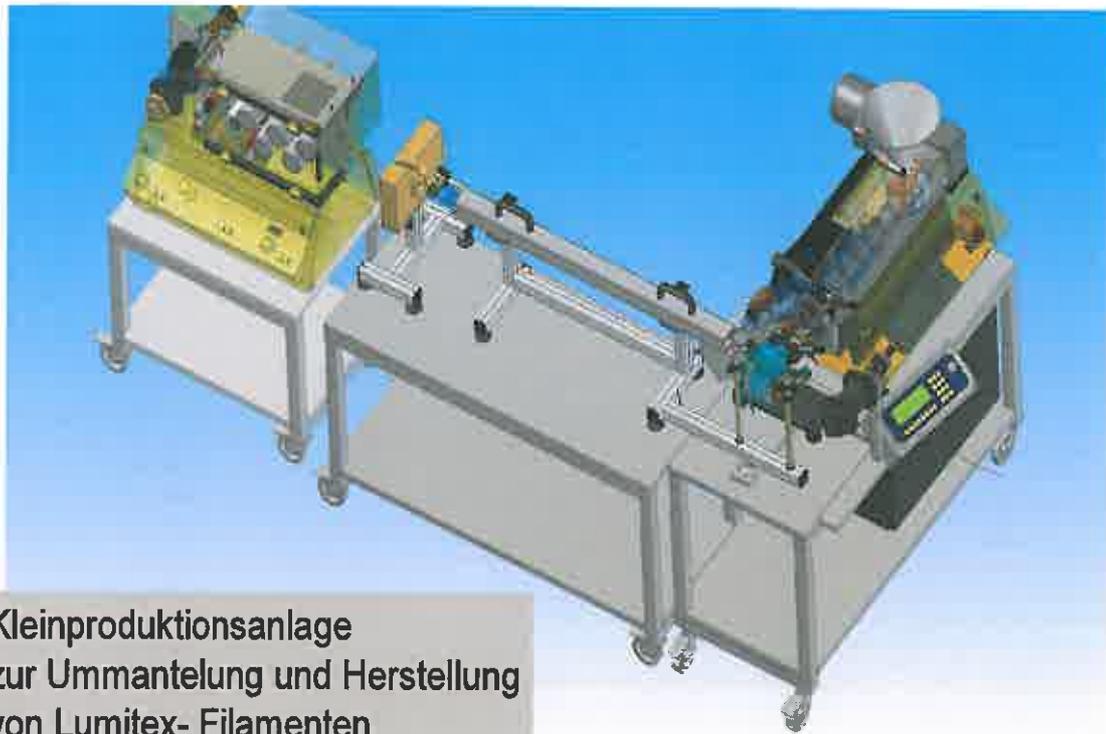
Die Werkzeugkonstruktion berücksichtigte die Zufuhr des hochviskosen Lumineszenz-Compounds bis zur Drahtelektrode, sowie die gleichmäßige und fehlerfreie Ummantelung. Um die hohen geforderten Eigenschaften zu erfüllen und den zu ummantelnden Lumineszenzfaden nicht thermisch zu schädigen, müssen über die gesamte Strecke definierte Prozessbedingungen exakt eingehalten werden (insbesondere minimale Temperaturschwankungen).

REIMOTEC hat auf Basis der in den Vorarbeiten erarbeiteten Randbedingungen ein Konzept für das Ummantelungswerkzeug erstellt, rheologische Berechnungen vorgenommen sowie eine Detailkonstruktion erstellt. Der Bau des Werkzeugs (Bild 4) und der Aufbau einer Extrusionsummantelungslinie zur Herstellung von größeren Mustermengen (Bild 5) wurden in 2011 realisiert.

Extruder mit  
Ummantelungswerkzeug



**Bild 4:** Extruder mit Ummantelungswerkzeug



Kleinproduktionsanlage zur Ummantelung und Herstellung von Lumitex- Filamenten

Bild 5: Konzept Ummantelung im Prototypenmaßstab

### **AP 1.3.6 Einbetten zweier Elektrodenmaterialien in das Lumineszenz-Polymer und Coextrusion mit Schutzhülle**

Die Ergebnisse aus dem AP 1.3.4 wurden mit dem Werkzeug aus AP 1.3.5 umgesetzt. Die Machbarkeit einer Herstellung von Lumineszenz- Filamenten wurde demonstriert. Allerdings wurde abweichend vom ursprünglichen Arbeitsplan eine Drahtelektrode mit Lumineszenz- Compound ummantelt und anschließend zusammen mit PET- Multifilamenten zu einem textilen Flächengebilde verwoben. Dieses Gewebe wurde im nächsten Schritt mit einer leitenden Schicht (Frontelektrode) und einer isolierenden Schicht (Top- Coat) versehen und im letzten Schritt kontaktiert. Das erfolgreiche Entwicklungsergebnis zeigt beispielhaft Bild 1 /3/.

#### **Meilenstein 2 erreicht:**

***Es gelang abweichend vom ursprünglichen Arbeitsplan, eine Drahtelektrode mit Lumineszenz- Compound zu ummanteln und anschließend zusammen mit PET- Multifilamenten zu einem textilen Flächengebilde zu verweben. Diese Gewebe wurde im nächsten Schritt mit einer leitenden Schicht (Frontelektrode) und einer isolierenden Schicht (Top- Coat) versehen und im letzten Schritt kontaktiert. Ergebnis war ein beschichtetes Gewebe mit guter Leuchtwirkung und keiner sichtbaren Schädigung der mit Leuchtpigment ummantelten Drähte. Hierzu stellte REIMOTEC ein Ummantelungswerkzeug sowie ein Lumineszenz-Materbatch zur Verfügung.***

### **AP 1.3.7 Übertragen der Ergebnisse auf den Prototypenmaßstab**

Die Ergebnisse der Grundlagenstudien am ITV wurden von REIMOTEC zunächst mit etablierter Drahtummantelung auf einen Prototypenmaßstab hochskaliert, um größere Mengen Lumineszenz- Filamente für die textile Weiterverarbeitung zur Verfügung zu stellen.

Für das spezifische Versuchsprogramm musste die Laboranlage bei REIMOTEC (Bild 6) zunächst vorbereitet und angepasst erweitert werden (Komponentenanbau und -umbau; messtechnische und regelungstechnische Modifikationen).

Ziel bei REIMOTEC war es zu untersuchen, in wie weit sich die in den Grundlagenversuchen am ITV ermittelten Prozessparameter einfach auf einen industriellen Maßstab übertragen lassen, und welche anlagenspezifischen Effekte beim Scale-up auftreten. Durch gezielte Untersuchung und Optimierung der Prozessparameter wurde die Qualität der Versuchsmuster sukzessive verbessert und die Produktionsleistung erhöht. Dabei konnte die Liniengeschwindigkeit von ca. 8 bis 10 m/min auf 55 m/min gesteigert werden.



**Bild 6: Ummantelung im Prototypenmaßstab**

Ebenso wurden mit den Projektpartnern relevante Testverfahren und Bewertungskriterien abgestimmt.

### **AP 1.3.8 Compoundieren von Lumineszenz- Masterbatch und leitfähigem Polymer**

Im Berichtszeitraum wurden die wesentliche Randbedingungen, wie z.B. die Basisschneckenkonfigurationen und Prozessparameter, für die Klein-Compoundieranlagen (0,4 bis 4 kg/h) entwickelt. Neben der bei der BASF zur Verfügung stehenden Klein- Compoundieranlage stehen seit 2010 auch zwei Laborcompoundierungen für Durchsätze von 0,2 bis 2 kg/h am ITV für Versuche bereit (Bild 7 und 8). Tabelle 4 zeigt in der Übersicht die in AP 1.3.3 und 1.3.8 entwickelten und verwendeten Compoundier- Systeme.



**Bild 7: Laborcompoundierung mit konischer Doppelchnecke am ITV mit geöffnetem Gehäuse /4/**



**Bild 8: Laborcompoundierung mit paralleler Doppelchnecke am ITV /1/**

Im Rahmen des AP 1.3.8 wurden die Erkenntnisse aus den Laborprozessen erfolgreich auf den Prototypenmaßstab für eine Kleinproduktion (=> Muster für die Projektpartner) mit 43 mm Doppelschneckenextruder für Durchsätze von 8 bis 80 kg/h zur Herstellung der Lumineszenz-Masterbatches (Bild 9) übertragen.



**Bild 9: Kleinproduktions- Compoundierung bei REIMOTEC**



**Zudosierung Basispolymer (2) im Haupteinzug**



**Zudosierung der Lumineszenz-Additive (4) im Haupteinzug**

**Bild 10: Kleinproduktions- Compoundierung bei REIMOTEC (Variante 1)**



**Seitenzudosierung  
(Doppelschnecken-Dosierstation  
mit Rührwerk**

**Bild 11: Kleinproduktions- Compounding bei REIMOTEC (Variante 2)**



**Seitenzuführung der Lumineszenz-  
Additive am Extruder mit Ent-  
gasungseinheit.**



**Hintere Extruderzone mit Schmelzepumpe  
und Extrudataustritt.**

**Bild 12: Kleinproduktions- Compounding bei REIMOTEC**

Für die Extrusion von Lumineszenz- Filamenten wurde ein Compound von REIMOTEC bereitgestellt. Die geeigneten Compounding-Parameter und die Füllgrade wurden erarbeitet.

REIMOTEC hat in der eigenen Laboranlage inklusive Doppelschneckenextruder und Dosierstationen die gemeinsam mit den Projektpartnern abgestimmten Leucht-compound- Systeme mit möglichst hohem Füllgrad gleichmäßig eingearbeitet, ohne das Polymer oder die Partikel thermisch zu schädigen. Dabei musste auch untersucht werden, ob die Partikel sinnvoller weise in Verbindung mit spezifischen Additiven

zugeführt werden, um eine gleichmäßige Verteilung zu erzielen und unerwünschte Clusterbildungen zu unterdrücken. Dabei wurden auch Überlegungen zur Anbindung der Partikel an die Polymermoleküle angestellt.

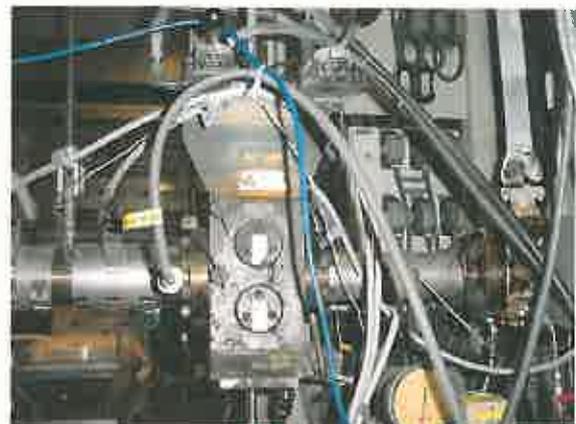
Die Schmelze- und Masterbatch- Charakterisierung, sowie die Findung geeigneter leuchtfähiger Partikel und Additive zur Partikeleinbringung haben die Kooperationspartner ITV und Lefatex erfolgreich unterstützt. Weiterhin wurden Abstimmungen mit Rohstoff- Lieferanten gemeinsam durchgeführt.

Im Rahmen des grundlegenden Compoundierungs- Untersuchungen hat REIMOTEC die Doppelschnecken- Extrudertechnologie vom Typ „REITRUDER“ der Fa. REIFENHÄUSER verwendet und modifiziert. Die Veränderungen beziehen sich insbesondere auf die Modifizierung der Zylinder- und Schneckengeometrien inklusive Reihenfolge von Knet- und Mischelementen an die unterschiedlichen Materialkombinationen und das thermische Management (Einstellung eines definierten Temperaturprofils, separat für alle Segmente).

Die pulverförmigen Lumineszenzpartikel können dem Extruder direkt am Einzug mit dem Basispolymer (Bild 10) oder über eine Seitenzuführung (Bild 11 und 12) zudosiert werden, nachdem das Basispolymer bereits aufgeschmolzen ist. Eine nachgeschaltete Entgasungszone, Booster- Pumpe und Siebwechsler ergänzen die Anlage für eine optimale Compoundierung (Bild 13). Zur Konstanthaltung des Durchsatzes ist am Extruderende eine Schmelzepumpe (Bild 12) installiert.



**Boosterpumpe zwischen Extruder (rechts) und Filter (links)**



**Optionaler Siebwechsler zur Filtrierung thermischer Zersetzungsprodukte**

**Bild 13: Kleinproduktions- Compoundierung bei REIMOTEC**

Die in 2010 und 2011 hergestellten Compounds wurden im Ummantelungsversuch am ITV und bei REIMOTEC weiterverarbeitet (Tabelle 1). Bild 1 zeigt ein vom ITV beschichtetes Gewebe mit guter Leuchtwirkung und keiner sichtbaren Schädigung der mit Leuchtpigment ummantelten Drähte.

Im Berichtszeitraum wurden weiterhin am ITV / ITCF in einem AiF-Forschungsvorhaben /4/ eine Reihe von grundlegenden Untersuchungen zur Compoundierung elektrisch leitfähiger Masterbatches durchgeführt.

Für die Versuchsdurchführung wurden leicht fließende PBT- Polymere gewählt. Diese werden derzeit hauptsächlich im Meltblown- Prozess eingesetzt. Hier werden aus prozessbedingten Gründen Polymere mit einer weit niedrigeren Viskosität als beim Filamentspinnen verwendet. Der Einsatz von elektrisch leitfähigen Additiven lässt, wie vielfach in der Literatur beschrieben, eine erhebliche Steigerung der Viskosität bei steigendem Füllgrad erwarten. Die verwendeten kommerziell verfügbaren PBT's sind im Folgenden aufgeführt:

**PBT Vestodur X7065**; Hersteller: Evonik/Degussa /5/:

- Lieferform: Granulat
- Spezifischer Durchgangswiderstand:  $1 \times 10 \times E15 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$
- Oberflächenwiderstand:  $1 \times 10 \times E13 \text{ Ohm}$
- Volumenfließrate (MVR) bei  $250^\circ\text{C}/2,16\text{kg}$   $180\text{cm}^3/10 \text{ min}$
- Schmelzbereich  $221^\circ\text{C}-226^\circ\text{C}$

**PBT Celanex 2008**; Hersteller: Ticona /6/:

- Lieferform: Granulat
- Spezifischer Durchgangswiderstand:  $>1 \times 10 \times E13 \text{ Ohm} \cdot \text{m}$
- Oberflächenwiderstand:  $>1 \times 10 \times E15 \text{ Ohm}$
- Volumenfließrate (MVR) bei  $260^\circ\text{C}$   $350\text{cm}^3/10\text{min}$
- Schmelzbereich  $225^\circ\text{C}$

**Polyethylenterephthalat (PET)** wurde in der direkten PET-Synthese mit leitfähigem Additiv untersucht. Hierfür wurde am Institut für Textilchemie und Chemiefasern (ITCF) eine In- Situ Polykondensation von PET in Anwesenheit von Multi-Wall Carbon-Nanotubes (MWCNT) in verschiedenen Füllgraden durchgeführt. Das Additiv wurde dabei im Monomer dispergiert und somit direkt in der Synthese integriert. Analog wurden Referenzproben ohne Füllpartikel angefertigt. Die hergestellten PET's mit jeweiligen Füllanteilen sind nachfolgend aufgelistet.

- PET 0,0 Gew% Füllanteil; Referenzmaterial
- PET 0,1 Gew% MW-CNT Baytubes C150HP
- PET 0,5 Gew% MW-CNT Baytubes C150HP
- PET 5,0 Gew% MW-CNT Baytubes C150HP

## **Verwendete Leitfähige Additive:**

### **Graphit**

Graphit ist eine Modifikation des Kohlenstoffs. Er besitzt eine wabenförmige, ebene Schichtstruktur, bestehend aus sechseckig angeordneten C-Atomen. Jedes Kohlenstoffatom ist über kovalente Bindungen mit drei anderen Kohlenstoffatomen verbunden.

Graphit besitzt als Additiv für elektrische Leitfähigkeit bzw. antistatische Wirkung nur eine untergeordnete Rolle. Er wird meist für die Verbesserung der Schmiereigenschaften und Wärmeleitfähigkeit eingesetzt. Der chemische Aufbau und die daraus resultierenden elektrischen Eigenschaften bilden jedoch die Grundlage für einige weiterentwickelte Leitfähigkeits- Additive, die im Folgenden noch aufgeführt werden.

## **Graphit**

Hersteller: Timcal ([www.timcal.com](http://www.timcal.com))

Produktname Timrex KS44 /7/

Zusammensetzung: > 95% Graphit

Spezifische Oberfläche: 9 m<sup>2</sup>/g

Partikelgröße: > 4µm

## **Hochleitfähigkeitsruß**

Ruß (engl. Carbon Black; CB) ist wie Graphit eine Modifikation des Kohlenstoffs. Er erhält seine Leitfähigkeit durch seine kleinsten Einheiten, die gestörten Mikrokristalle. Sie ähneln der Graphitstruktur, die sechseckigen Schichten sind jedoch konzentrisch um die Mitte eines ungefähr kugelförmigen Primärteilchens angeordnet. Der Abstand zwischen den Atomen ist geringer als bei Graphit und die Anordnung der Sechsecke ist weniger regelmäßig.

Die Leitfähigkeit von Ruß wird nicht mehr nur durch den chemischen Aufbau bestimmt, sondern auch durch die Größe und Struktur der Partikel. Die Größe der Partikel und die Eigenleitfähigkeit lassen sich durch das Herstellungsverfahren bestimmen. Den mengenmäßig größten Anteil bilden die „Furnace-Ruße“ die durch Pyrolyse oder thermische Spaltung von Kohlenwasserstoffatomen erzeugt werden. Hierbei entstehen relativ große Partikel.

Hochleitfähigkeitsruße bilden einen kleinen Teil der Gesamtproduktion und werden in technischen Bereichen eingesetzt. Sie werden im Synthesegasprozess oder durch thermische Spaltung von Acetylen hergestellt. Dadurch lassen sich wesentlich kleinere Partikel erzeugen, die sich durch eine hohe spezifische Oberfläche von 800m<sup>2</sup>/g bis zu 1400m<sup>2</sup>/g /9/ mit vielen Poren auszeichnen /8/. Je höher die spezifische Oberfläche ist, umso geringer ist die Konzentration, die zur Ausbildung eines elektrischen Netzwerks benötigt wird /8/.

## **Hochleitfähigkeitsruß**

Hersteller: Evonik Degussa GmbH ([www.degussa.com](http://www.degussa.com))

Produktname Printex XE2 /10/

Zusammensetzung: Kohlenstoff

Herstellung: industriell hergestellter Kohlenstoff

Spezifische Oberfläche: 1000 m<sup>2</sup>/g

## **Carbon-Nanotubes (CNT)**

Carbon-Nanotubes (CNT) – zu Deutsch: Kohlenstoff- Nanoröhrchen – haben in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit erregt. Sie existieren bereits seit Hunderten von Jahren, wurden jedoch erst 1991 durch Zufall vom japanischen Physiker Sumio Iijima /8/ entdeckt. Sie bestehen aus zylindrisch aufgerollten Graphitebenen, die an ihren Enden halbkreisförmig geschlossen sind. Da die Kohlenstoffatome wie bei Graphit kovalente Verbindungen besitzen, besitzen CNT eine ausgezeichnete chemische Stabilität /11/. Sie sind thermisch sehr stabil und zeichnen sich durch eine gewichtsbezogene Zugfestigkeit 100-mal höher als die eines herkömmlichen Stahls bei 1/6 des Gewichts aus. Sie besitzen eine vergleichbare Wärmeleitfähigkeit wie Diamant und eine hohe elektrische Leitfähigkeit, vergleichbar mit Kupfer /12/. Durch ihr enormes Aspektverhältnis (Verhältnis von Länge zu Durchmesser) bis 10.000 -fach /13/ sind wesentlich geringere Füllanteile notwendig um die gleiche Leitfähigkeit wie zum Beispiel von

Hochleitfähigkeitsruß zu erhalten. All diese Eigenschaften machen CNT zu einem vielversprechenden Füllstoff zur Erzielung elektrischer Leitfähigkeit.

Es gibt Carbon-Nanotubes in zwei verschiedenen Grundformen. Man unterscheidet zwischen Single-Wall Carbon-Nanotubes (SW-CNT), die aus einer einzelnen Graphitschicht bestehen, und Multi-Wall Carbon-Nanotubes (MW-CNT), die aus 2 bis zu 40 /12/, meistens jedoch ungefähr 10 Schichten bestehen. Der Durchmesser von SW-CNT liegt zwischen 0,4nm und 3nm, bei MW-CNT kann er Werte zwischen 25nm und 60nm einnehmen. Die Länge kann bis zu einige Mikrometer betragen /11/.

#### **Multi-Wall Carbon-Nanotubes**

Hersteller: Bayer AG ([www.baytubes.com](http://www.baytubes.com))

Produktname **Baytubes C150HP /14/**

Herstellung: CVD-Prozess

Reinheit : > 99%

Spezifische Oberfläche: 1000 m<sup>2</sup>/g

Durchmesser: 13-16nm

Länge: 1-10µm

Aspektverhältnis: 63-770

Hersteller: Shenzhen Nanotech Port Co. Ltd. (Ntp)

([www.nanotubes.com.cn](http://www.nanotubes.com.cn))

Reinheit : > 98%

Spezifische Oberfläche: 40-300 m<sup>2</sup>/g

Produktname **NTP1 FR 195 (S-type) /15/**

Durchmesser: 60-100nm

Länge: 1-2µm

Aspektverhältnis: 10-33

Produktname **NTP7 FR 200 (S-type)**

Durchmesser: 10-30nm

Länge: 1-2µm

Aspektverhältnis: 33-200

Produktname **NTP7 FR 202 (L-type)**

Durchmesser: 10-30nm

Länge: 5-15µm

Aspektverhältnis: 167-1500

#### **Single-Wall Carbon-Nanotubes**

Hersteller: Max-Planck-Institut für Festkörperforschung

Produktname: **BZ3NM**

Durchmesser: 1,4 - 2nm

Aspektverhältnis: > 2000

Spez. Oberfläche: 288m<sup>2</sup>/g

#### **Nano-Silberpulver**

Silber ist ein Edelmetall und besitzt die höchste elektrische Leitfähigkeit aller Elemente /16- 18/. Bei Nano- Silberpulver handelt es sich um ein anorganisches, auf elementarem Silber basierendes antimikrobielles Agens (wirksame Substanz), welches ursprünglich aufgrund seiner antibakteriellen Wirkung seine Anwendung in der Medizintechnik findet. Die Partikel besitzen eine hoch poröse Oberfläche und sammeln sich in Agglomeraten an.

**Nano-Silberpulver:**

Hersteller: Biogate (www.bio-gate.com)

Produktname Hy Medic 4000 /17/

Zusammensetzung: 99,9% elementares Silber

Spezifische Oberfläche: 3 m<sup>2</sup>/g – 5 m<sup>2</sup>/g

Medianwert der Partikelagglomerate: 3,5 µm – 18 µm

elektrische Leitfähigkeit 62,89\*10<sup>6</sup> S/m

**Roses Metall, MCP**

Roses Metall und MCP sind niedrig schmelzende Legierungen von Wismut, Blei und Zinn. Sie sind mit dem Wood Metall verwandt, enthalten aber im Gegensatz zu diesem kein giftiges Cadmium. Bei Raumtemperatur ist Roses Metall silberweiß und fest. Es schmilzt bereits bei einer Temperatur von ca. 95° zu einer quecksilberartigen Flüssigkeit. MCP- Legierungen sind mit sehr unterschiedlichen Schmelzpunkten verfügbar (vergl. Tabelle 8).

**Roses Metall:**

Produktname Roses Metall

Zusammensetzung: Legierung (Wismut, Blei, Zinn)

Dichte : 9,23 g/cm<sup>3</sup>

Schmelztemperatur: 95°C

elektrische Leitfähigkeit 0,867\*10<sup>6</sup> S/m

**MCP:**

Die unterschiedlichen MCP- Typen sind in Tabelle 8 mit ihren sehr unterschiedlichen Eigenschaften charakterisiert. Verwendet wurde im Rahmen der REIMOTEC- Projektbearbeitung das MCP 200 (siehe Anhang A2) /19/.

**AP 1.3.9 Extrusion von leitfähigem Polymer zum Monofil**

Im Projekt Lumitex wurde angestrebt, Leuchtschriften auf Funktionskleidung durch elektrische Anregung von Elektrolumineszenz- Pigmenten zu aktivieren. Die Lumineszenz-Pigmente können dabei im Prinzip als dielektrisches Material eines Plattenkondensators betrachtet werden. Relevant ist deshalb die Abfolge von Leitfähigkeits- und Isolations- Schichten, die sowohl auf der Ebene der Fasern, als auch auf der Ebene von Geweben prinzipiell darstellbar sind. Ziel ist, Filamente und Gewebe mit geringem Oberflächen-Widerstand herzustellen, um die elektrische Energie zu minimieren, die Strom-/ Spannungswerte zu senken und dadurch simultan die Sicherheit zu verbessern /18/.

Die Einteilung der Leitfähigkeit von isolierend bis leitend ist in Tabelle 6 zusammenfassend dargestellt. Bild 14 verdeutlicht die Mindestanforderung im Teilprojekt REIMOTEC.

Eine nahe liegende Lösung ist das Einweben von Metallfasern. In Fällen, in denen besondere Eigenschaften, wie z.B. geringe volumenspezifische Masse und hohe Flexibilität gefordert werden, werden direkt elektrisch leitfähige Polymer- Filamente oder Gewebe verwendet, deren Leitfähigkeitsgrad aber noch nicht den Anforderungen genügt. Dabei wird die Leitfähigkeit durch Einarbeitung entsprechender Komponenten in das Vollmaterial oder durch Beschichtung realisiert. Als Vollmaterialien werden

sowohl Thermoplaste als auch Duroplaste verwendet. Die Leitfähigkeits-Komponenten selbst bestehen aus Metall- Pulvern, Rußen und neuerdings auch Kurzfasern und Carbon Nanotubes (CNT). Bei den beiden erstgenannten Materialien sind zur Erzeugung einer Perkulationsstruktur (Bild 15) hohe Füllgrade nötig, so dass die mögliche Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften simultan beobachtet werden muss.

Wichtig ist dabei, dass die Perkolation (Bild 15) auch unter Verstreckung erhalten bleibt /18/.

<u>Einteilung des spezifischen Oberflächenwiderstandes in Ohm</u>	
$> 1 \times 10^9$	isolierend
$1 \times 10^4$ bis $1 \times 10^9$	antistatisch
$< 1 \times 10^4$	leitend
<u>Einteilung des spezifischen Durchgangswiderstandes in Ohm m</u>	
$> 1 \times 10^{15}$	isolierend
$1 \times 10^6$ bis $1 \times 10^{15}$	antistatisch
$= 1 \times 10^6$	leitend

Tabelle 6: Einteilung der Leitfähigkeit /18, 19/

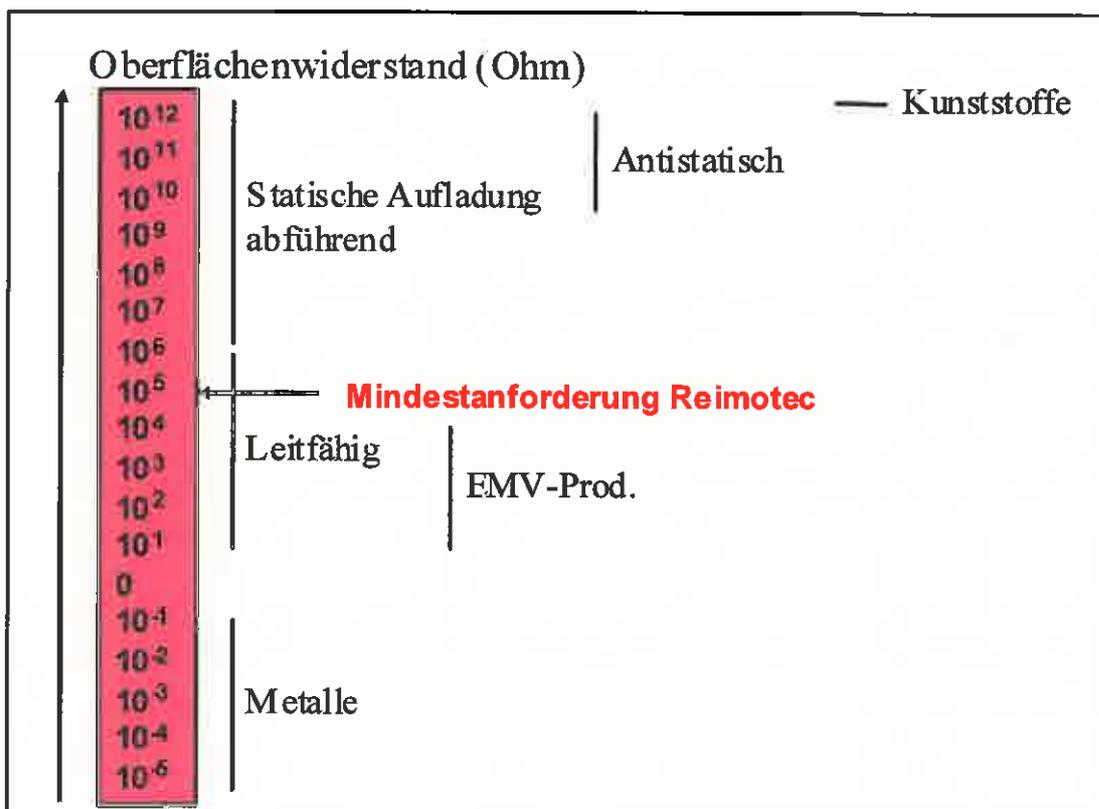
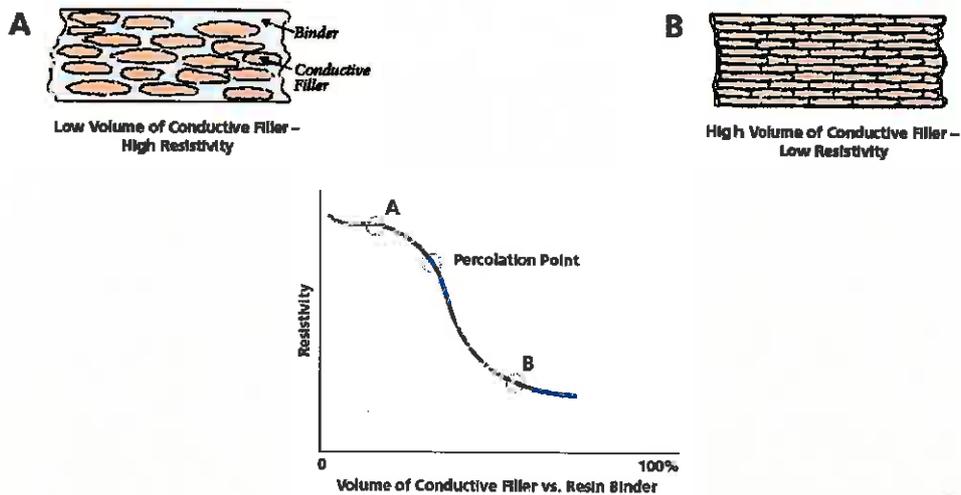


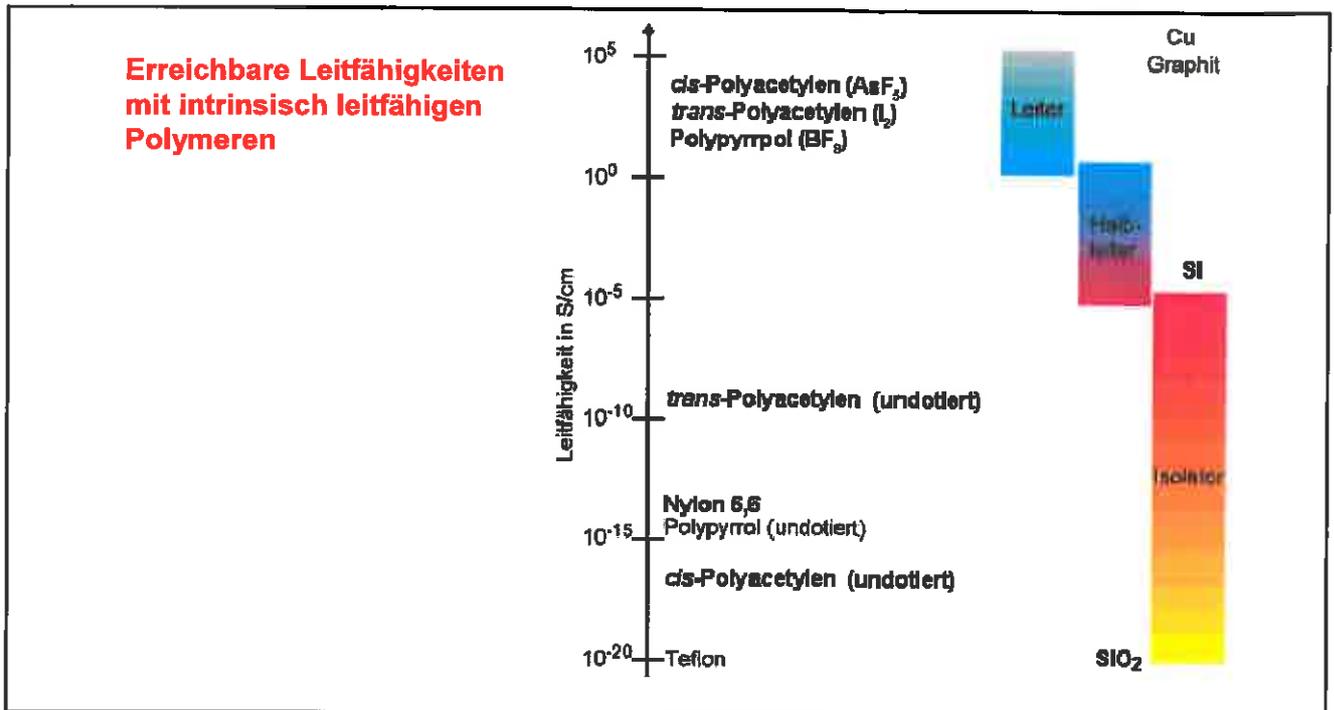
Bild 14: Projektanforderungen im Überblick /18/

**Der Gehalt der Leitfähigkeits-Additive ist so zu wählen, dass der Perkolations-Punkt überschritten und eine Berührung ermöglicht wird.**



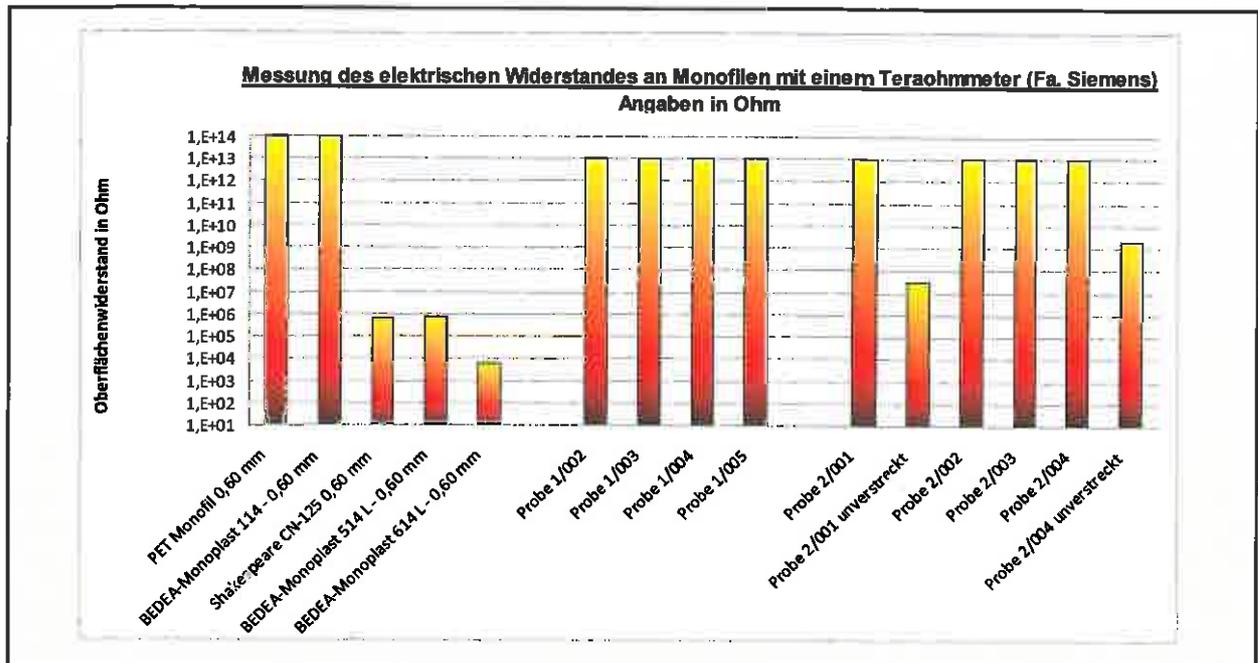
**Bild 15: Wirkungsmechanismen der Leitfähigkeit /18/**

Weitere Verbesserungen sind unter Umständen durch Anreicherung von Leitfähigkeits-Additiven an den Grenzflächen (z.B. bei Immiscible Blends) möglich; auf Grund mangelnder Chemisorption besteht jedoch die Gefahr, dass die geforderten mechanischen Eigenschaften für viele Anwendungen nicht erreicht werden. Carbon Nanotubes (CNT) liefern zwar den gewünschten Effekt bei gleichzeitiger Verbesserung der mechanischen Eigenschaften. Nachteilig sind jedoch die Produktverfärbung und nicht gelöste Aspekte der Humantoxizität. Intrinsisch leitfähige (dotierte) Polymere erfüllen die Bedingungen nur unzureichend /18/, wie nachfolgendes Bild 16 zeigt.



**Bild 16: Elektrische Leitfähigkeit von intrinsisch leitfähigen Polymeren /18/**

Bereits 2009 wurden Masterbatches zu Monofilamenten weiterverarbeitet und unter Berücksichtigung des spezifischen Oberflächenwiderstands hinsichtlich ihrer Leitfähigkeit charakterisiert (Bild 17).



**Bild 17: Messung des elektrischen Widerstands an Monofilamenten**

Mit einer PET-Matrix und einem Füllanteil von 8% Carbon- Nanotubes (CNT) konnten antistatische Eigenschaften, aber keine leitfähigen Eigenschaften erzielt werden.

Durch Beschichtung eines PET Monofilaments mit leitfähigem PA konnten leitfähige Eigenschaften erzielt werden, da die Beschichtung nicht mehr verstreckt wurde. Weiterhin wurde versucht, auf PA-, HDPE- und PBT- Basis leitfähige Monofilamente zu spinnen. Auch hier konnten nach der Verstreckung der Monofilamente keine Leitfähigkeit gemessen werden. Im Folgenden sind die Entwicklungsaktivitäten im Teilprojekt von REIMOTEC nochmals zusammengefasst:

- PET Matrix und 8% Carbon Nanofasern (electovac nanofibers / C- Polymers)
- Grilamid L 16 (PA 12), Borealis MG 9641 (HDPE), Ultradur B 4500 (PBT) gefüllt mit Carbon Nanotubes, CNT (Nanocyl)

Fazit (vergl. Bild 17):

- Elektrischer Widerstand PET + 8% Carbon Nanofasern unverstreckt:  $3 \cdot 10^7$  Ohm verstreckt:  $1 \cdot 10^{13}$  Ohm
- Beschichtetes PET Monofilament mit leitfähigem PA:  $6 \cdot 10^3$  Ohm bis  $7 \cdot 10^5$  Ohm (Bedeia, Shakespeare)

Die Herstellung von Masterbatches im Berichtszeitraum (AP 1.3.8) wurde durch Arbeiten des ITV und des ITCF im Rahmen des parallel laufenden AiF-Forschungsvorhabens /4/ ergänzt. Am ITV wurden mit einer Laborcompoundierung (Bild 8) Compounds hergestellt. Am ITCF wurden Polymere durch InSitu- Polymerisation hergestellt. Aus den Masterbatches wurden am ITV Folien gepresst und Monofilamente gesponnen. Aus einem Compound des ITCF mit dem Polymer PBT und Carbon

Nanotubes sowie Leitfähigkeitsruß konnten in beschränktem Umfang Multifilamente erzeugt werden /4/. Eine Zusammenfassung der Versuchsergebnisse zeigt Tabelle 7 /4/.

Versuch Nummer	Füll-Additiv	Füll-anteil	Dicke	Standard-abweichung Dicke	spezifischer Widerstand		
					[gew%]	[mm]	[mm]
1	FR 202	4	0,25	0,02		$>1 \cdot 10^{15}$	Isolierend
2	FR 202	8	0,33	0,02		$>1 \cdot 10^{15}$	Isolierend
3	FR 202	12	0,36	0,11	5 698.925	$5,7 \cdot 10^6$	Antistatisch
4	C150HP	4	0,29	0,06	6.019.725	$6,0 \cdot 10^6$	Antistatisch
5	C150HP	8	0,29	0,13	2.152.507	$2,2 \cdot 10^6$	Antistatisch
6	BZ3NM	4	0,29	0,02		$>1 \cdot 10^{15}$	Isolierend
7	BZ3NM	8	0,17	0,02		$>1 \cdot 10^{15}$	Isolierend
8	PET in-Situ	5	0,25	0,07		$>1 \cdot 10^{15}$	Isolierend
9	PET Ref	5	0,26	0,08		$>1 \cdot 10^{15}$	Isolierend

Tabelle 7 : Messung des elektrischen Widerstands an Monofilamenten /4/

Die ursprüngliche Zielsetzung, eine Leitfähigkeit in textilen Fasern zu erzeugen, konnte nicht erreicht werden. Stattdessen wurden wie in /4/ Leitfähigkeiten im antistatischen Bereich erreicht. Dies ist auf den ersten Blick enttäuschend, da die Erwartungen vor allem auf die vielversprechenden Veröffentlichungen zu den Eigenschaften von Carbon Nanotubes basierten. Projektbegleitend zu den Ergebnissen der gemachten Arbeiten und den gefundenen Literaturstellen ergab sich am Ende aber mehr und mehr die Klarheit, dass es weder industrielle Entwickler von leitfähigen Compounds noch irgendwelche Veröffentlichungen gibt, welche die bisher erarbeiteten Ergebnisse in irgendeiner Weise übertreffen würden. Selbst hoch aktuelle Veröffentlichungen ergeben kein besseres Bild.

A. Ribeiro et al. /20/ haben auf der Chemiefasertagung 2010 in Dornbirn in ihrem Abstract angekündigt, leitfähige Fasern mit Bi- und Trikomponententechnologie darzustellen. Auch sie konnten am Ende nur Leitfähigkeiten im antistatischen Bereich darstellen; an verreckten Garnen ergab sich bei ihnen gar keine Leitfähigkeit. Im Inteltext- Projekt /21/ werden die universellen positiven Eigenschaften der Carbon Nanotubes hervorgehoben, es fehlen aber Hinweise auf erzielte nennenswerte elektrische Leitfähigkeiten mit Filamenten. Bei einer Konzentration von 4% Carbon Nanotubes in PLA gelang dieser Forschergruppe kein Filamentspinnprozess wegen zu hoher Viskositäten und fehlender Dehnviskosität. Die Arbeiten von Strååt und Toll /22/ ergaben ebenso, dass der Spinnverzug im Spinnprozess die Leitfähigkeit stark reduziert. Der Füllgehalt an Additiven reduziert die Spinnfähigkeit mit steigendem Anteil, sie konnten Fasern nur bis maximal 2% Gehalt an Carbon Nanotubes ausspinnen. Dieser Gehalt verursachte ebenso wie bei den Arbeiten am ITV /4/ die Erscheinung, dass sich Agglomerate beziehungsweise Unstetigkeiten durch Verdickungen auf den Filamentoberflächen zeigen. Sie beschreiben sogar völlig entgegengesetzte Leitfähigkeitseigenschaften bei Multiwall Carbon Nanotubes unterschiedlicher Hersteller sowie den völligen Verlust der Leitfähigkeit bei Orientierung und Verzug der Fasern.

Diese Reihe von europaweit berichteten Ergebnissen decken sich mehr oder weniger mit den im Berichtszeitraum erarbeiteten Ergebnissen.

In 2011 wurde aufbauend auf den Versuchen mit dem Roses Metall (vergl. AP 1.3.8) versucht, ein Bikomponenten- Monofilament mit einem Kern aus einer niedrig schmelzenden Metalllegierung und einem polymeren Mantel herzustellen /19/. Dabei wird auf Erfahrungen zurückgegriffen, die am Institut für Kunststoffverarbeitung (IKV) in Aachen im Spritzgussverfahren gesammelt wurden. Anlässlich der K 2010 in Düsseldorf wurde eine elektrisch leitfähige 2- Komponenten- Sportbrille aus einem Kunststoff- / Metallverbund im Produktionsmaßstab hergestellt.

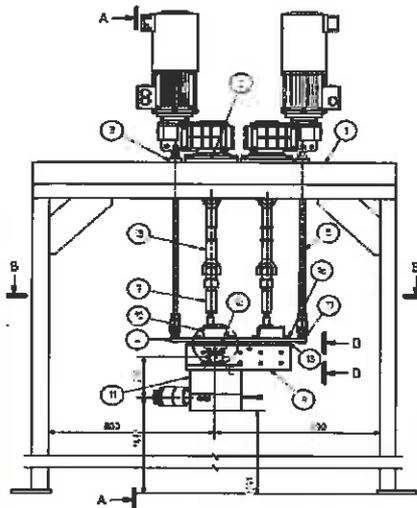
Aus einer Reihe von niedrig schmelzenden Metalllegierungen (Tabelle 8 und Anhang A2) wurde für die Versuche das Material MCP 200 ausgewählt /19/, weil die Verarbeitungstemperatur von ca. 200°C der Verarbeitungstemperatur des polymeren Mantelmaterials entspricht. Im Berichtszeitraum wurden mit dem in Bild 18 und 19 dargestellten Versuchsaufbau Grundsatzversuche durchgeführt. Dabei konnten erste Bico- Muster in Kern- / Mantelstruktur (Bild 18 und 19) hergestellt werden. Die Versuche werden in einem bilateralen Entwicklungsprojekt zwischen dem IKV, Aachen und REIMOTEC weitergeführt, da die Grundlagenversuche recht vielversprechende Ergebnisse geliefert haben.

**MCP 200**

MCP - Designation	47	58	59	61	62	70	63	96	102	134	132	150	207	228
<b>MELTING BEHAVIOUR</b> The behaviour of alloy samples on melting has to be observed by differential thermal analysis. Certain liquidus temperatures are poorly defined (shown as %)	47	58	59-60	53-64	54-62	35	23-23.1	96	97-102	134	132	130-130	85	57-501*
Latest loss of fusion (g/g)	35 800	28 900	23 400	34 000	37 700	39 800	39 300	34 700	37 700	28 900	40 800	44 400	21 200	18 800
<b>SPECIFIC HEATS</b> Differences among calorimetry endotherms have been noted to measure the specific heat of solid samples (in 25°C) and liquid samples (in a temperature of approximately 25°C above the liquidus temperature)	Specific heat, solid (J/kg K)	163	167	167	159	139	146	84	151	104	136	147	180	209
	Specific heat, liquid (J/kg K)	197	201	201	197	209	184	88	167	104	156	171	219	272
<b>THERMAL AND ELECTRICAL PROPERTIES</b> The thermal conductivity of samples has been measured one day after casting by a steady state absolute method. A two-probe method was used to obtain values of the electrical resistivity of bars 6 hours after casting	Thermal conductivity (W/m K)	14.1	10.8	10.0	14.8	16.1	18.0	17.0	12.5	16.3	9.0	10.8	30.0	14.8
	Electrical resistivity (µOhm cm)	58.0	70.8	51.0	47.6	48.9	48.0	46.0	71.4	89.3	98.7	97.2	34.0	1.1
<b>MECHANICAL PROPERTIES</b> Measurements were made on test pieces (see approximately 2 days after casting) after casting. In each case stress data is reported in units of MPa	Tensile Properties Proof stress, 0.2% ext. Tensile strength (MPa)	163/723.5 57.6/20.8	25.1/25.4 38.8/29.4	22.7/18.4 33.9/26.3	13.8/10.8 22.6/25.7	2.3/10.5 12.3/28.6	4.8/11.1 16.4/26.0	1.1/1.6 17.4/32.9	8.4/19.0 30.4/22.8	14.1/21.1 31.1/42.1	18.3/26.4 48.1/62.0	11.5/17.4 42.0/58.4	42.1/42.2 64.3/54.7	24.0/36.8 52.9/43.1
	% Elongation on 5.65 x A gauge length	23.5/17.3	13/21	140/100	105/77.5	42/70	305/120	148/110	145/100	25/26	101/32.3	10/20	105/26	20/24.5
	% Reduction of area	66/41	23/25	40/36	90/60	26/40	99.5/80	95/77	99.5/77	95/12.2	99/80	95/70	95/60	87/73.5
	Compressive Properties Proof stress, 0.2% ext. Proof stress, 1.2% ext. Proof stress, 0.65% ext.	24.3/22.6 30.0/28.4 12.1/9.9	21.2/22.2 34.5/33.5 19.8/24.7	17.0/20.2 30.0/29.6 11.3/21.5	16.4/16.4 30.0/21.5 11.8/12.4	17.0/16.2 14.3/22.9 11.3/21.5	16.4/17.8 14.3/22.9 14.3/22.9	15.9/25.1 30.0/22.9 17.6/24.4	18.4/24.1 24.3/22.2 28.9/26.2	20.0/24.4 22.5/22.1 28.4/26.4	11.6/14.7 40.0/30.0 41.9/13.1	11.8/11.2 33.3/21.1 47.6/16.8	14.8/10.8 43.0/30.0 48.0/13.8	49.6/49.3 38.4/40.0 42.0/41.8
	Brinell Hardness 2mm ind, 490 kgf	14.8/16.8	14/16.5	13.6/18	13/14	12.3/17	13/14.3	13/11	13.5/18.5	15.5/18.5	14/15	13/11	14/23.5	18.5/11.5
<b>GROWTH AND SHRINKAGE</b> After casting into a mould, reheating and casting at room temperature, alloy bars discontinuously show progressive dimensional changes. In the growth case, alloy wires cast with minimum separation are permitted until reheat, and quenched to 20°C. Ten alloy samples, in a furnace, of three alloy compositions show the growth in one bar length L relative to the mould length L <sub>0</sub> (fully removed to a 20°C furnace). This is expressed in dimensionless parts. Also in 1/100 x $\frac{L-L_0}{L_0}$	3 minutes	-0.30	-0.10	-1.40	-1.50	-1.05	-1.45	-1.60	+0.80	-1.25	-0.20	-0.20	-2.20	-1.15
	6 minutes	-0.30	-0.05	-1.40	-1.45	-1.40	+0.90	-0.45	+1.00	-1.15	-0.10	-0.20	-2.20	-0.50
	20 minutes	-0.30	-0.05	-1.20	-1.60	-1.40	+0.45	+1.30	+0.90	-1.00	-0.05	+0.25	-2.20	+0.10
	1 hour	-0.25	-0.05	1.00	-1.55	1.25	+0.70	+2.00	+2.05	-0.45	-0.15	-2.60	-2.20	+0.25
	2 hours	-0.30	-0.05	1.70	-1.50	0.45	+0.90	+2.25	+2.25	+0.45	+0.20	+0.80	-2.20	+0.40
	8 hours	-0.30	-0.05	1.65	1.20	+1.25	+0.60	+2.00	+2.45	+1.05	+0.40	+0.95	-2.20	+0.55
	1 day	0.15	+0.05	1.80	-0.25	+1.70	+0.25	+3.10	+2.60	+0.65	+0.60	+1.05	-2.20	+0.75
	10 days	-0.05	+0.05	1.25	+2.25	+0.30	+0.20	+2.75	+2.75	+0.05	+0.20	+1.10	-2.20	+0.90
	10 days	+0.15	+0.15	-0.05	+3.10	+0.90	+0.35	+2.50	+2.50	+0.25	+0.20	+1.15	-2.20	+1.10
	1 month	+0.25	+0.00	+0.25	+2.20	+0.70	+0.25	+3.45	+2.25	+0.40	+0.40	+1.20	-2.20	+0.70
	3 months	+0.05	+0.00	+1.00	+4.20	+0.50	+0.40	+3.00	+0.50	+0.70	+0.20	+1.20	-2.20	+0.30
	12 months	-0.10	+0.10	-1.20	+3.20	+0.40	+0.40	+3.00	+0.75	+0.00	+1.00	+1.20	-2.20	+0.30
<b>SPECIFIC GRAVITY</b> Samples were measured one day after casting.	(g/cm <sup>3</sup> )	9.36	9.23	9.44	9.47	9.44	9.47	9.11	9.15	9.46	10.72	9.88	9.21	7.37

Tabelle 8: Eigenschaften von Metall- Legierungen im Überblick /19/

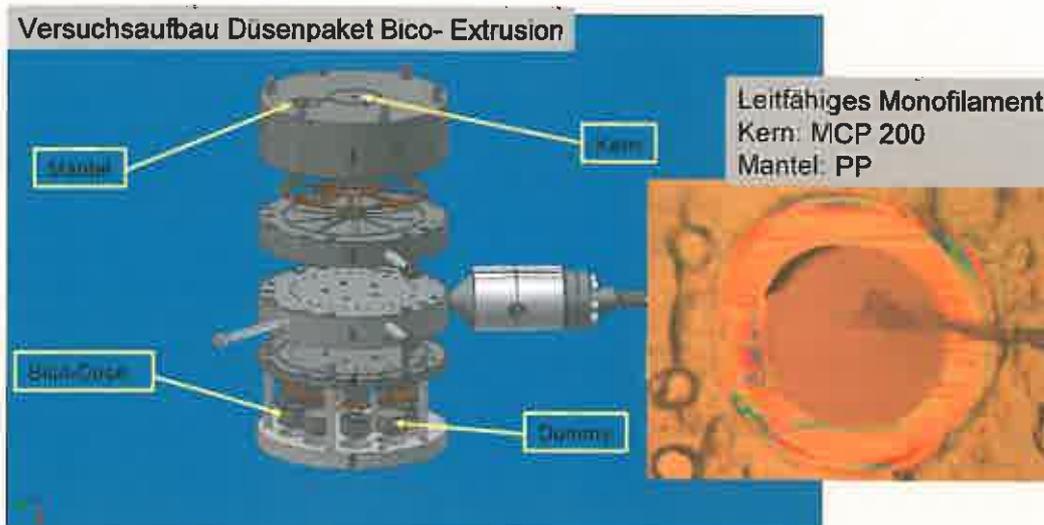
### Versuchsaufbau Bico- Extrusion



Leitfähiges Monofilament  
Kern: MCP 200  
Mantel: PP

**Bild 18: Herstellung von leitfähigen Bico- Monofilamenten /19/**

### Versuchsaufbau Düsenpaket Bico- Extrusion



Leitfähiges Monofilament  
Kern: MCP 200  
Mantel: PP

**Bild 19: Bico- Versuchswerkzeug zur Herstellung von leitfähigen Bico- Monofilamenten /19/**

Die Betrachtung der erweiterten elektrischen Leitfähigkeit führt in der Summe zu folgenden Anforderungen und Voraussetzungen für die Systeme /18/:

1. Permanente Existenz oder Induzierbarkeit von Ladungstrennungen. Ladungsträger können Elektronen, Protonen und Ionen sein.
2. Zeitliche Schwingungsfähigkeit des Systems.
3. Räumlich-zeitliche Koppelbarkeit der Vorgänge. Der physikalische Strom ist lediglich ein Impuls-Strom. Bei elektrochemischen Vorgängen hingegen kann dies in Form eines realen Stoff- Stroms erfolgen.
4. In Abhängigkeit von der Größe der Effekte kann eine Oberflächen-Leitfähigkeit bereits ausreichend sein.
5. Besondere Bedeutung haben Anregungs- und Verstärkungs- Effekte.

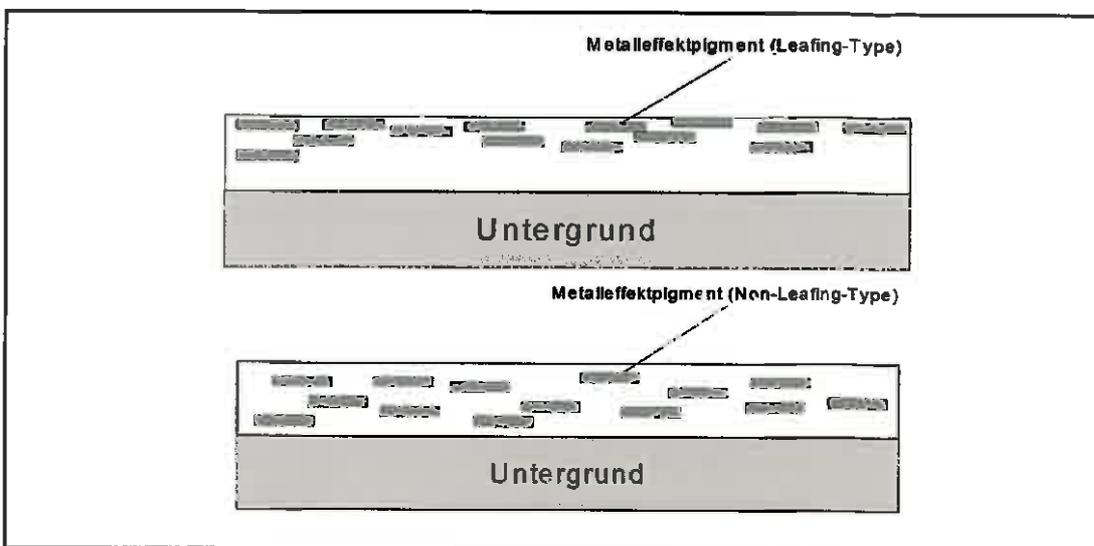
In 2011 wurden darüber hinaus in einer Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer- Institut ICT weitere Systeme auf Nanobasis erprobt. Die Anwendung von Nano- Silber zur Verbesserung der Leitfähigkeit wurde in Kombination mit Metall- Kurzfasern, Metall- Pulver, Salzhydraten und ferromagnetischen Systemen analysiert /18/.

Die analysierten Systeme eignen sich prinzipiell sowohl für die Einarbeitung in das Polymer-Vollmaterial, als auch für Faser- und Gewebe- Beschichtungen.

Der Gehalt der Leitfähigkeits-Additive ist so zu wählen, dass eine Perkulations-Struktur erzeugt wird, bei der Berührung erfolgt. Die Perkulations- Schwelle (Bild 15) ist an einer sprunghaften Leitfähigkeitsverbesserung erkennbar. Die Perkulations-Wahrscheinlichkeit steigt exponentiell mit der geometrischen Anisotropie, d.h. Fasern oder Kurzfasern sind besonders geeignet /18/.

Bei Beschichtungen gewinnt ein zusätzlicher Polymerbinder zur Verankerung eine wichtige Bedeutung. Da das Polymer andererseits als Isolator wirkt, kommen nur Systeme mit guten filmbildenden Eigenschaften (z.B. Chitosan) in Frage (gute Binderfunktion bei geringem Materialeinsatz) /18/.

Bei bifunktionalen Leitfähigkeits-Additiven mit flächiger Geometrie können zusätzliche Leafing-Effekte zur Erhöhung der oberflächennahen Konzentration und Verdichtung genutzt werden (Bild 20).



**Bild 20: Verdichtungsmöglichkeit durch Leafing- Effekt /18/**

Nachfolgend sind in Bild 21 die möglichen neuartigen Leitfähigkeits-Systeme im Überblick tabellarisch zusammengefasst. Hierauf aufbauend erfolgte ein systematisches Ranking der dargestellten Möglichkeiten mit folgendem Ergebnis /18/:

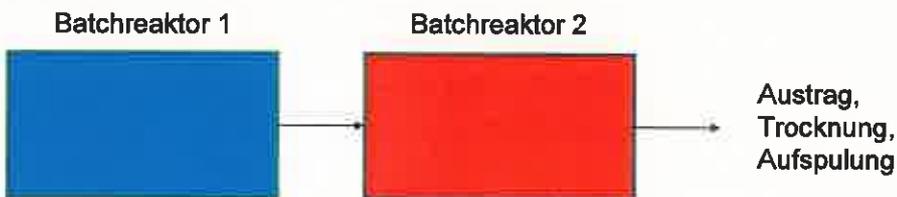
Ausgewählt wurde eine Beschichtungs- Lösung mit Ag durch Reaktiv- Abscheidung (Bild 22). Ag besitzt stoffspezifisch die höchste elektrische Leitfähigkeit. Als Polymer wird vorzugsweise Polyamid (Bild 23) vorgeschlagen, da hier eine optimale Chemisorption erfolgen kann. Versuche mit Polyester-Fasern (Bild 24) waren hinsichtlich Haftung / Abriebfestigkeit ebenfalls erfolgreich. Die Beschichtung von Polypropylen- Fasern war aufgrund der nicht ausreichenden Haftung nicht erfolgreich.

Das Verfahren ist sowohl zur Gewebe-, als auch zur Faser-Beschichtung geeignet. Der Prozess wurde im Rahmen des Teilprojekts REIMOTEC diskontinuierlich durchgeführt (Bild 22), kann aber auch kontinuierlich durchgeführt werden (Bild 25).

Neuartige Leitfähigkeits-Systeme						
	Polymer-Systeme		Metall-Pulver	Metall-Fasern	Salze / Ionenleiter	Ferromagnet Systeme
Vollmaterial	Thermoplaste		Ag / Nano-Ag	Al-Kurzfaser		Spinelle
Beschichtungssysteme	Polymer/LM-Systeme	LM: H <sub>2</sub> O				
		LM: Organisch				
Hilfsstoffe		Hydrate			Salzhydrate	

**Bild 21: Leitfähigkeits- Systeme zum Beschichten im Überblick /18/**

**Ag-Reaktivabscheidung im Batch-Prozess für Gewebe und Fasern im Einzelnen**



Die PA-Fasern oder das Gewebe wird im Batch-Reaktor 1 mit einem Haftvermittler/Reduktionsmittel auf Kohlehydrat-Basis beschichtet und dann in den Batchreaktor 2 überführt.

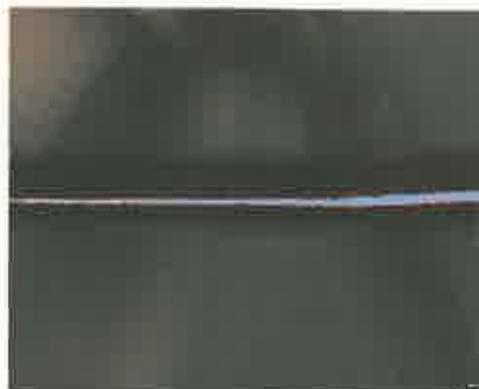
Batch-Reaktor 2 enthält eine Ag-Salzlösung, wobei der pH-Wert zur Steuerung der Partikelgröße des abzuschcheidenden Silbers exakt auf einen definierten alkalischen pH-Wert einzustellen ist.

Die Temperatur wird auf 75 °C angehoben, wobei die Abscheidung/Reduktion startet.

**Bild 22: Beschichtungsprozeß (off-line) im Batchreaktor /18/**



Mikroskopische Aufnahme (Auflicht-Mikroskopie) von PA, Ag-beschichtet.



Mikroskopische Aufnahme (Auflicht-Mikroskopie) von PA, mit 0.01 %-iger Nano-Ag Suspension beschichtet.

**Bild 23: Ergebnisse des durchgeführten Batch- Prozesses für PA- Fasern /18/**



Durchlicht-Mikroskopie an einer Polyester-Probe. Links unbeschichtet, rechts Nano-Ag beschichtet. Die Fasern besitzen eine Oberflächen-Leitfähigkeit in der Größenordnung der metallischen Volumen-Leitfähigkeit (Widerstand nahe 0 Ohm)

**Bild 24: Ergebnisse des durchgeführten Batch- Prozesses für PET- Fasern /18/**



Die Verweilzeiten sind durch Umlenkung der Fasern innerhalb der Bäder einzustellen.

**Bild 25: Vorschlag für die Ag- Reaktivabscheidung auf Mono- und Multifilamenten im kontinuierlichen in-line Verfahren in Spinnanlagen /18/**

Aus den Entwicklungsergebnissen aus AP 1.3.9 lassen sich folgende Vorschläge zur technischen Umsetzung des Lumitex- Konzepts ableiten:

Unter der Voraussetzung, dass die elektrische Aktivierung der Elektrolumineszenz-Leuchtpigmente analog der Wechselspannungs-Anregung des Dielektrikums eines Kondensators erfolgen kann, werden aus den prinzipiellen Möglichkeiten folgende zwei Varianten vorgeschlagen /18/:

1. Das Leuchtpigment wird als Füllstoff in ein elektrisch nicht leitfähiges Polymer eingearbeitet.
2. Die beiden äußeren Leitfähigkeitsschichten, die den Kondensator darstellen, werden durch Ag-Reaktivabscheidung mit nachfolgender Isolation durch eine Siloxan-Schicht dargestellt.

Das System ist prinzipiell auf der Ebene der Fasern und deren Verwebung, wie auch auf der Ebene fertiger Gewebe und deren Beschichtung und Anordnung darstellbar.

Die Ergebnisse aus der Entwicklung des Beschichtungskonzeptes lassen sich wie folgt zusammenfassen /18/:

- Leitfähigkeitsbeschichtungen von PA-Fasern mit Silber sind eine ausgezeichnete Möglichkeit, Fasern mit sehr guter Oberflächenleitfähigkeit herzustellen.
- Die Beschichtung wurde in einem Batch- Prozess erfolgreich erprobt.
- Die Oberflächen-Leitfähigkeit liegt in der Größenordnung der metallischen Volumen-Leitfähigkeit (Widerstand nahe 0 Ohm) und kann mit einfachsten Messgeräten erfasst werden.
- Für die technische Umsetzung des Lumitex- Konzepts wird vorgeschlagen, das Leuchtpigment als Füllstoff in einen Isolator einzuarbeiten.
- Die Leitschichten, werden durch Ag- Reaktivabscheidung mit nachfolgender Siloxan- Isolation dargestellt.
- Die makroskopische Umsetzung ist prinzipiell sowohl auf der Ebenen der Fasern und deren Verwebung, als auch auf der Ebene der Flächengewebe und deren Anordnung möglich, wobei die Komplexität der Mikro-Kontaktierung im Auge behalten werden muss.
- Das Reaktionsprinzip wurde im Rahmen des REIMOTEC- Projekts als Batch-Prozess für kürzere Fasern sehr erfolgreich angewandt (Bild 22). Für Fasern beliebiger Länge ist das Verfahren als Fließverfahren weiter zu entwickeln. Dazu wird in Bild 25 ein Verfahren vorgeschlagen.
- Für die künftige Beschichtung von Polymeren mit niedriger Oberflächenenergie wird die Möglichkeit gesehen, reaktive Gruppen durch schnelle Oxidation zu erzeugen.

#### **AP 1.3.10 Konzeption und Bau eines Mehrfachextrusions-Werkzeugs**

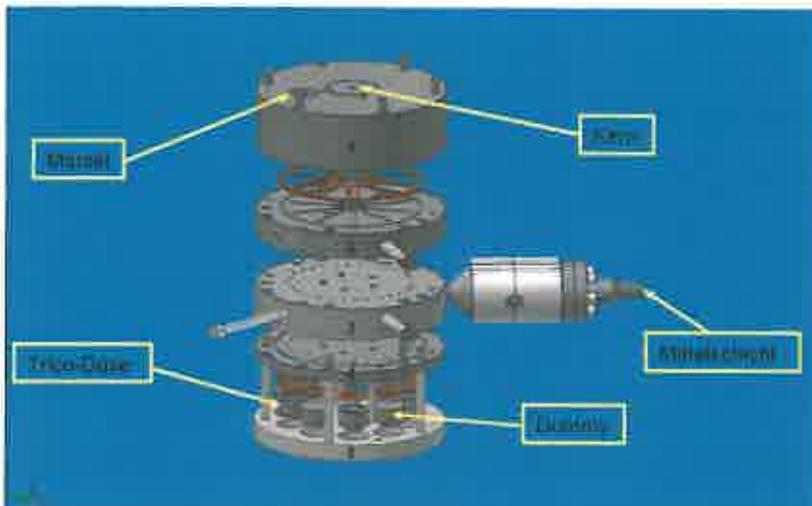
Zur Direktextrusion eines fertigen Lumineszenzfadens bestehend aus 2 oder 3 Polymersystemen war ein neues Werkzeug erforderlich, das konzipiert, konstruiert und gebaut wurde. Aufgrund der sehr geringen Schichtstärken war ein Mehrfachwerkzeug vorgesehen.

Bei der Konstruktion des Coextrusionswerkzeugs für einen mehrschichtigen Fadenaufbau hat REIMOTEC zahlreichen Aspekten Rechnung getragen. Für jeden Faden des Mehrfachwerkzeugs müssen zwei oder drei Schmelzeströme von zwei oder drei Extrudern über einen Verteilerbalken dem Düsenpaket zugeführt werden, mit exakt definierten Temperaturen bei minimalen Temperaturschwankungen über die gesamte Länge.

Im Falle eines 5-fach Werkzeugs (d.h. 5 Fäden / 5 Spinnöffnungen) bedeutet dies die Verteilung von 3 Kunststoffschmelzen auf 15 Zuführungskanäle und 5 Düsen in enger Anordnung.

Die für die Werkzeugauslegung zunächst erforderliche rheologische Auslegung umfasste u.a. die Berechnung der Strömungsvorgänge für die unterschiedlichen Kunststoffsysteme, die Berechnung des Betriebsverhaltens entlang der Kanäle, d.h. die Druckverlustberechnung für die Fließkanäle, die Berücksichtigung der Fließwiderstände, die Ermittlung des Verlaufs der Schergeschwindigkeiten, die Berechnung der Volumenstromverteilungen entlang des Werkzeugaustritts sowie die Erarbeitung von Auslegungsregeln für die konstruktive Umsetzung. Dabei mussten Aspekte wie z.B. die Schmelzeigenschaften, die Temperatureinflüsse auf die Viskosität und die Temperatureinflüsse auf die Dichte berücksichtigt werden.

Als Ergebnis der rheologischen Auslegung liegen definierte Querschnitte der Fließkanäle vor, die im Rahmen einer Werkzeugkonstruktion berücksichtigt wurden. Die Schwierigkeit der Werkzeugkonstruktion liegt nun darin, eine hohe Anzahl an Kanälen auf engstem Raume ohne Kanalüberschneidungen, und ggf. als „balancierten Verteiler“(- der Weg der zurückgelegten Schmelze ist für jeden Strang exakt gleich lang -) zu integrieren und dabei gleichzeitig jeden Kanal einzeln und ohne gegenseitige Beeinflussung zu temperieren (d.h. thermische "Trennung" der Fließkanäle z.B. durch Luftschlitze, Einsatz von Heizpatronen oder Heizbänder für die gleichmäßige Wärmezufuhr; Berücksichtigung der Wärmeleitfähigkeit des Werkzeugmaterials, Berücksichtigung der Wärmedehnung, Berücksichtigung der temperaturabhängigen Beeinflussung der engen Toleranzfenster für Durchmesser- und Lagetoleranzen, etc.). Die exakte Temperierung ist auch deshalb erforderlich, da die für die Extrusionseigenschaften maßgebliche Druckdifferenz vom Kanaldurchmesser sowie der Temperatur über der Kanallänge abhängt, jedoch nicht alle Kanäle mit Null-Toleranz gefertigt werden können und nur geringste Abweichungen direkt vor der Düse bereits die Produkteigenschaften erheblich beeinflussen können.

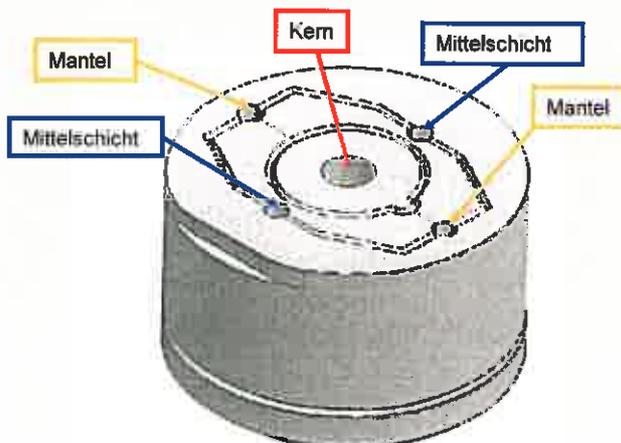


### Düsenpaket

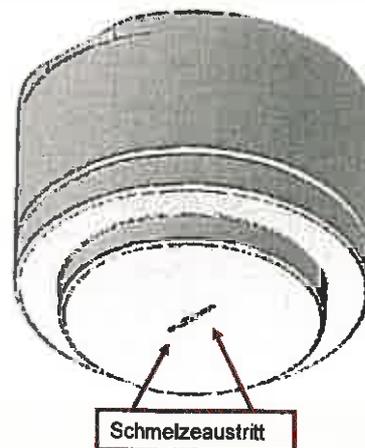
- 1 Einlaufplatte
- 2 Verteilung Mantel
- 3 Verteilung Kern und Mittelschicht
- 4 Aufnahme Düsen und Dummies
- 5 Spannring für Düsen & Dummies

**Bild 26: Prototypen- Werkzeug für 5 und 10 Bico- / Trico- Monofilamente**

### Polymereinlauf



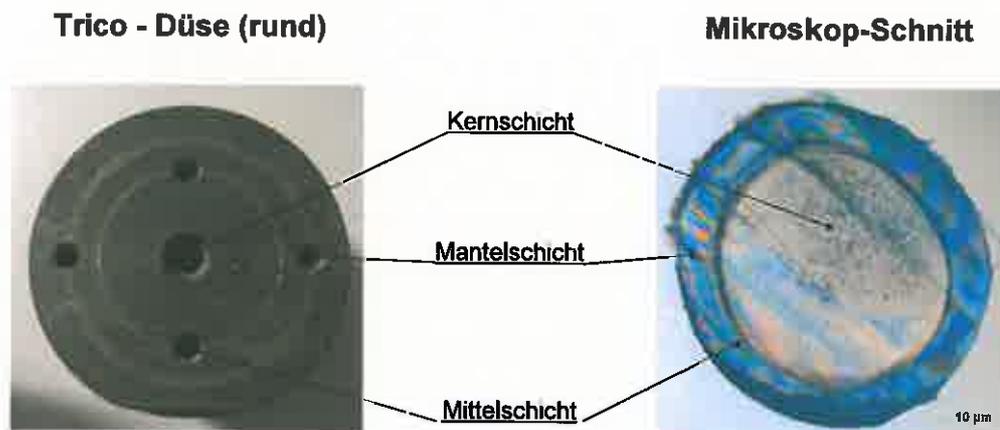
### Polymeraustritt



**Bild 27: Trico- Düse für Prototypenwerkzeug**

Nach der konstruktiven Umsetzung erfolgte die Anfertigung des neuen Werkzeugs. Die Werkzeugauslegung wurde auf der Basis der Prozessuntersuchungen, soweit erforderlich, angepasst. Die Erprobung des Prototypenwerkzeugs (Bild 26 bis 28) erfolgte in der REIMOTEC- Laboranlage (Bild 29). In Bild 28 und 29 ist die einwandfreie Funktion der Bico- und Trico- Düsen des Prototypenwerkzeugs anhand von Mikrotom-Schnitten an Bico- und Trico- Monofilamenten nachgewiesen worden.

### Rundfilament- Geometrie

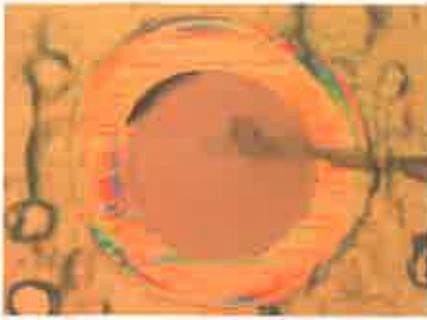


**Bild 28: Entwicklungsergebnisse mit Trico- Düse**

Aufbauend auf den Versuchen mit dem Prototypenwerkzeug (Bild 26 und 27) wurde ein Mehrfach-Extrusionswerkzeug konstruktiv umgesetzt, gebaut und verfahrenstechnisch in Betrieb genommen (Bild 31 bis 33).



**Bild 29: Labor- Monofilamentanlage für die verfahrenstechnische Entwicklung**

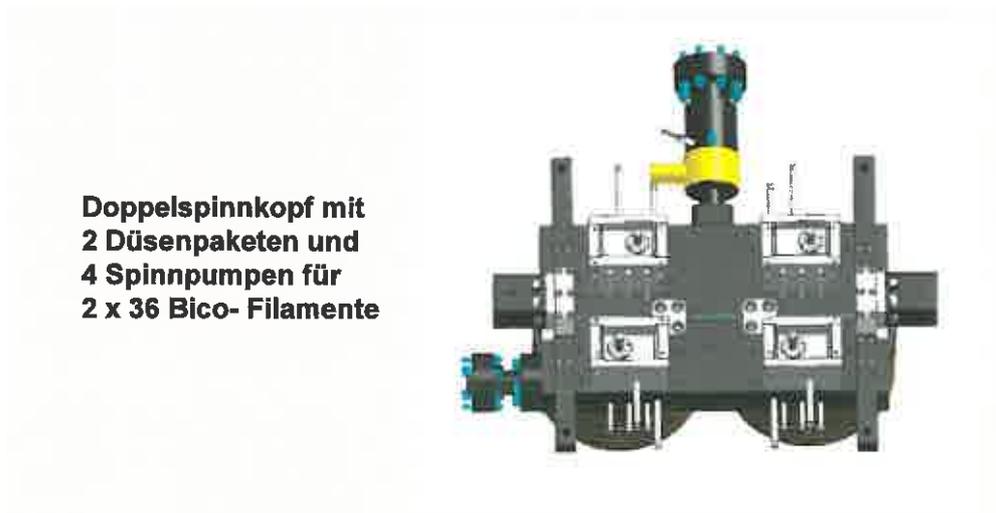


**Trico- Monofilament**  
 Polyolefin **Mantel**  
 Haftvermittler **Mitte**  
 Polyamid **Kern**



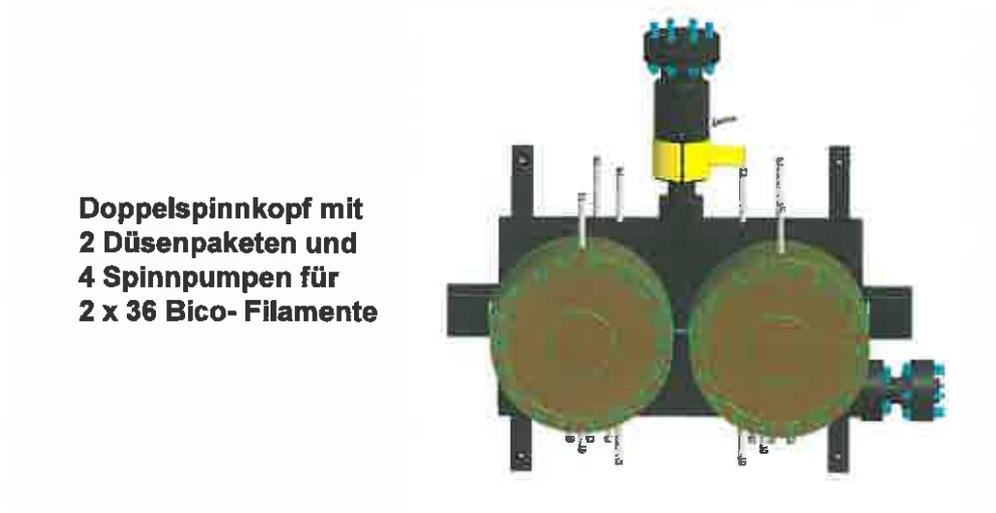
**Bico- Monofilament**  
 Polyolefin **Mantel**  
 Polyamid **Kern**

**Bild 30: Ergebnisse der verfahrenstechnischen Entwicklung des Prototypenwerkzeugs**



**Doppelspinnkopf mit  
 2 Düsenpaketen und  
 4 Spinnpumpen für  
 2 x 36 Bico- Filamente**

**Bild 31: Aufbau Mehrfach- Extrusionswerkzeug für 2 x 36 Bico- Monofilamente -  
 Ansicht von oben**



**Doppelspinnkopf mit  
 2 Düsenpaketen und  
 4 Spinnpumpen für  
 2 x 36 Bico- Filamente**

**Bild 32: Aufbau Mehrfach- Extrusionswerkzeug für 2 x 36 Bico- Monofilamente -  
 Ansicht von unten**



**Bico- Monofilamentanlage mit 2 Extrudern und Mehrfach-Extrusionswerkzeug mit 2 Düsenpaketen für 2 x 36 Bico-Filamente**



**Bild 33: Inbetriebnahme des Mehrfachextrusionswerkzeug für 2 x 36 Bico-Monofilamente**

Bild 34 zeigt schematisch den Aufbau der Monofilamentanlage zur Herstellung der Bico-Monofilamente. Die Ergebnisse der verfahrenstechnischen Inbetriebnahme zeigen, dass die Prototypenergebnisse erfolgreich auf ein Produktionswerkzeug mit 2 Spinnpaketen mit je 36 Filamenten, d.h. 72 Bico- Monofilamenten, skalierbar sind.



**Bild 34: Monofilamentanlage für die verfahrenstechnische Analyse und Erprobung des Mehrfachextrusionswerkzeugs**

### **AP 1.3.11 Coextrusion zweier paralleler leitfähiger Monofile, Einbetten in Lumineszenz-Masterbatch und Umhüllung mit Schutzschicht**

Mit dem Werkzeug aus AP 1.3.10 wurden in einem Arbeitsgang Monofilamente coextrudiert. Ihre Eigenschaften sind im Vergleich zur Ummantelungstechnik ähnlich, die Herstellkosten allerdings bedeutend geringer, da in einem Arbeitsgang 72 Einzelfilamente herstellbar sind.

Allerdings ist auf Basis aller Voruntersuchungen am ITV und bei REIMOTEC unsicher, ob sich das Konzept des mehrschichtigen, elektrolumineszierenden Garns als Bico- oder Trico- Filament in der ursprünglich vorgesehenen Form in naher Zukunft umsetzen lässt, da keine leitfähigen, extrudierbaren und verstretchbaren Polymere zur Verfügung stehen. Als alternativer Lösungsweg wurde deshalb abweichend vom Arbeitsplan die Ummantelung von lackierten Edelstahllitzen, Weiterverarbeitung zu Geweben, anschließende Beschichtung sowie Kontaktierung dieser Gewebe weiterverfolgt, da diese Struktur eine deutlich bessere Leuchtwirkung und keine sichtbare Schädigung der mit Leuchtpigment ummantelten Edelstahllitzen zeigte.

Sollte sich dennoch in Zukunft ein extrudierbares Material finden, welches im fertigen Monofilament zu einer ausreichenden Leitfähigkeit führt, so können mit dem Prototypenwerkzeug 5 bzw. 10 Bico- oder Trico- Filamente hergestellt werden oder mit

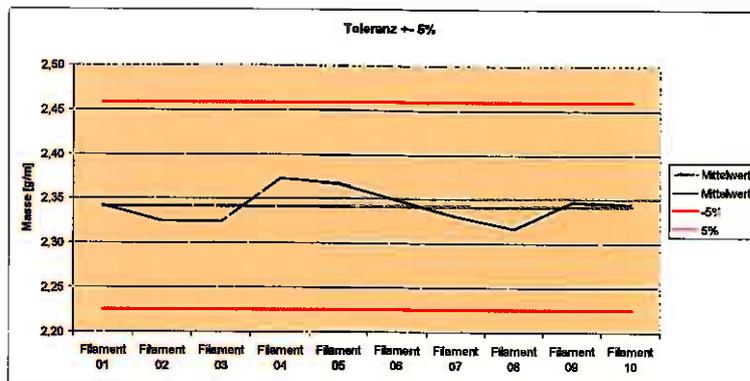
dem Mehrfachextrusionswerkzeug 36 bzw. 72 Bico- Filamente für weiterführende Entwicklungen produziert werden.

Abweichend vom Arbeitsplan wurde im Berichtszeitraum die Coextrusion von Filamenten auf Basis von ausgewählten Modellpolymeren durchgeführt. Auch für dieses Versuchsprogramm musste die Laboranlage bei REIMOTEC (Bild 33) zunächst vorbereitet und angepasst erweitert werden (Komponentenanbau /-umbau; messtechnische und regelungstechnische Modifikationen).

Dabei galt es zahlreiche Prozessparameter gezielt zu variieren und zu untersuchen, um die coextrudierten Filamente herzustellen (insbesondere Variation der Prozessbedingungen im Werkzeug z.B. Temperatur- und Druckregelung, Variation der Verstreckungsbedingungen) und die Qualität der Versuchsmuster sukzessive zu verbessern. Hierzu wurden mit den Projektpartnern relevante Testverfahren und Bewertungskriterien abgestimmt.

Die Ergebnisse der verfahrenstechnischen Inbetriebnahme zeigen, dass die Prototypenergebnisse erfolgreich auf ein Produktionswerkzeug mit 2 Spinnpaketen mit je 36 Filamenten, d.h. 72 Bico- Monofilamenten skalierbar sind. Die Analyse der erstellten Mikrotomschnitte für alle 72 Einzelfilamente zeigt die Einhaltung von engen Toleranzvorgaben von +/- 2 bis 3%. Bild 35 zeigt exemplarisch für 10 von 72 Bico- Monofilamenten Titorschwankungen von +/- 2,5 %.

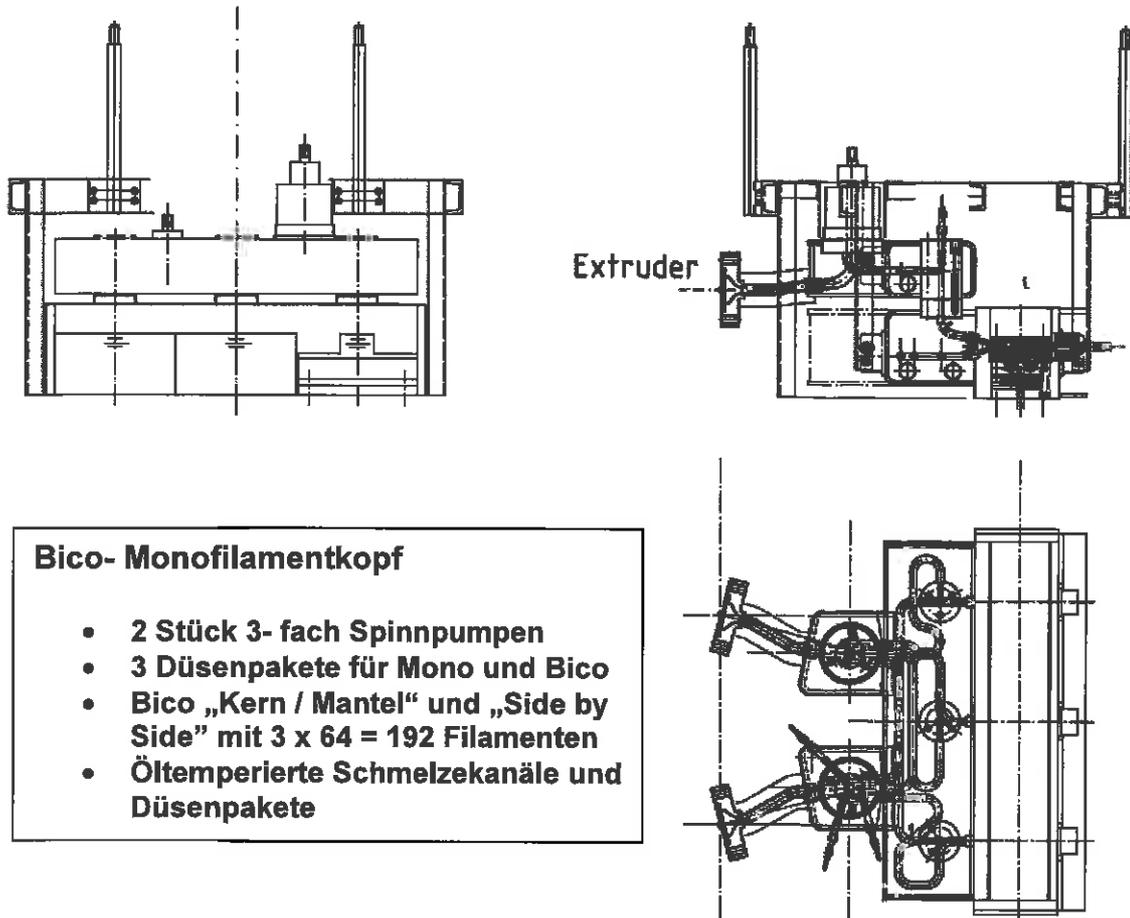
**Mikrotomschnitt  
eines  
Bico- Monofilaments**



**Titorschwankungen im Bereich +/- 2,5%**

**Bild 35: Titorschwankungen für das Mehrfachextrusionswerkzeug**

Weiterhin wurde 2010 das Werkzeugkonzept auf ein Produktionswerkzeug mit 3 Spinnpaketen mit je 64 Filamenten, d.h. 192 Bico- Monofilamenten, erfolgreich übertragen (Bild 36). Aufgrund eines zusätzlich eingebauten Öltemperiersystems zur Beheizung der Schmelzerverteiler und Düsenpakete könnten die Titorschwankungen von +/- 2,5% auf +/- 1,5% gesenkt werden.



**Bild 36: Aufbau des Mehrfachextrusionswerkzeugs für 3 x 64 Bico filamente**

Somit konnten die geplanten Ziele zum Teil durch Änderung des Arbeitsplans und der zeitlichen Verlängerung des Vorhabens größtenteils erreicht werden:

**Meilenstein 3 = Projektabschluss erreicht:**

***Es wurde ein vom ursprünglichen Plan abweichendes aber geeignetes und funktionierendes Schichtsystem für die Lumineszenz- Filamente erarbeitet und produkttechnisch umgesetzt.***

***Es gelang, fertige lumineszierende textile Demonstratoren herzustellen. Lumineszenz- Fadendurchmesser von ca. 100 µm wurden erreicht.***

***Die zum Meilenstein 1 definierten qualitativ sowie quantitativ beschriebenen Zielspezifikationen für die Kern- Komponenten und –Systeme wurden erreicht.***

## **7 Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises**

Entsprechend dem zahlenmäßigen Nachweis kann festgestellt werden, dass die Projektkosten deutlich über den geplanten Kosten lagen (geplante Ausgaben: 465.400,00 €, tatsächlich verausgabte Mittel: 588.214,80 €). Die wesentlichen Abweichungen ergeben sich aus den im Folgenden aufgelisteten Positionen:

Personalkosten: Mehrkosten ergaben sich bei den Personalkosten in Höhe von 79.658,49 € (geplant: 269.000,00 €; angefallen: 348.658,49 €).

Materialkosten: Die Materialkosten sind um 20.268,11 € höher ausgefallen als vorgesehen (50.700,00 € geplant; 70.968,11 € verausgabt).

Reisekosten: Lediglich bei den Reisekosten ergaben sich Einsparungen (geplant: 5.000,00 €; verausgabt: 126,02 €).

Sonstige unmittelbare Vorhabenskosten: Mehrkosten ergaben sich auch bei den sonstigen unmittelbaren Vorhabenskosten (140.700,00 € geplant; 168.462,18 € verausgabt).

Dabei haben folgende Punkte zu den Kostenabweichungen beigetragen:

- Die Projektlaufzeit musste aufgrund von schwierigen technologischen Randbedingungen um 9 Monate verlängert werden.
- Die Rohstoffkosten sind höher ausgefallen als geplant, da Standardrohstoffe nicht verfügbar waren und Sonderrohstoffe mit speziellem Entwicklungsaufwand beschafft wurden.
- Die sonstigen unmittelbaren Vorhabenskosten waren höher als veranschlagt, da für die Coextrusionsentwicklung höhere Kosten für das speziell angefertigte Coextrusionswerkzeug angefallen sind.
- Reisekosten sind in geringerem Maße angefallen, da die Projekttreffen überwiegend regional am ITV / ITCF stattgefunden haben und überregionale Reisen nur in beschränktem Umfang stattfanden. Geplante Reisen zu internationalen Messen und Kongressen haben seitens REIMOTEC nicht stattgefunden.

## **8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit**

Für die Durchführung des Lumitex-Projekts wurden von REIMOTEC personelle Kapazitäten des eigenen Forschungs- und Entwicklungspersonals bereitgestellt, sowie Auftragnehmer eingebunden, um die oben beschriebenen Ergebnisse zu erzielen.

Da das technische und das resultierende finanzielle Risiko von REIMOTEC nicht alleine getragen werden konnte, war der Zuwendungsempfänger auf eine öffentliche Unterstützung im Themenfeld „Schutzsysteme für Sicherheits- und Rettungskräfte“ im Rahmenprogramm "Forschung für die zivile Sicherheit" angewiesen.

Dabei konnte REIMOTEC seinem Anspruch als FuE-orientiertes Unternehmen mit konsequenter Ausrichtung auf die Umsetzung von Innovationen gerecht werden. Die in LUMITEX erzielten Entwicklungsergebnisse sind eine gute Basis zur Umsetzung innovativer Produkte mit einem großen Marktpotential.

Die erzielten Projektergebnisse werden nicht nur die weitere Entwicklung von REIMOTEC positiv beeinflussen, sondern auch in vielfältigen volkswirtschaftlich relevanten Anwendungen zum Einsatz kommen, sowie im Rahmen weiterer Forschungs- und Entwicklungsarbeiten fortgeführt werden. Auch hierin ist die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit begründet.

## **9 Voraussichtlicher Nutzen/Verwertbarkeit der Ergebnisse**

### **9.1 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten**

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten haben sich gegenüber der Antragstellung dahingehend geändert, dass eine unmittelbare Verwertung in Form von Anlagen- und Prozess- Know-how zur Herstellung von Lumineszenz-Garnen bislang nicht erkennbar ist, jedoch die von REIMOTEC erarbeiteten Kenntnisse in anderen Bereichen der Textil-Funktionalisierung und der Herstellung von mehrschichtigen, coextrudierten Filamenten zum Einsatz kommen können.

Im Rahmen des Projektes wurden Funktionalisierungskonzepte für Garne entwickelt und auf Mehrschicht- Mono- und -Multifilamente angewandt, welche die Basis für eine innovative Generation von elektrolumineszierenden Textilien bilden. Derartig Textilien sind bislang nicht verfügbar und bieten gegenüber Beschichtungsverfahren „von außen“, wie z.B. durch Bedrucken, eine höhere Verschleißfestigkeit und Beibehaltung des textilen Griffs.

Weiterhin können die im Rahmen des Vorhabens erarbeiteten Technologien auf eine Vielzahl von Anwendungen übertragen werden. Dies sind außer ganz naheliegenden Anwendungen wie z.B. dem Einsatz von leitfähigen Filamenten für antistatische Transportbänder auch Zukunftsvisionen, wie z.B. photovoltaisch aktive Bautextilien, bestehend aus leitenden, isolierenden und photovoltaisch aktiven, coextrudierten Polymeren.

Folglich ergeben sich aufgrund der erfolgreichen Projektdurchführung sehr gute Vermarktungsperspektiven. Dabei wird REIMOTEC die neue Anlagen- bzw. Verfahrenstechnik (d.h. Prozess- und Werkzeug- Know-how) weltweit vertreiben. Die Fähigkeit zur Anwendungserweiterung über die vorgestellten Funktionalisierungskonzepte ist hierbei der maßgebliche Faktor, um einen „Premiummarkt“ mit innovativen Anforderungen zu erschließen und zu bedienen.

Weitere Wachstumspotentiale können auch durch Unternehmen erschlossen werden, die mit Anlagen von REIMOTEC produzieren. So wurden bereits aus diesem Projekt gewonnene Erkenntnisse auf folgende Anwendungen übertragen:

- Bico- Monofilamentextrusion für polymere Betonfasern zur Verstärkung
- Bico- und Trico- Monofilamentextrusion für neuartige Kunstrasenfilamente
- Trico- Monofilamentextrusion für technische Textilien
- Compoundierung und Direktextrusion von funktionalisierten Rohstoffen für Spezial- Filamente

Alle Anlagenkonzepte mit Schwerpunkt „Bico- / Trico- Filamentextrusion“ wurden in Deutschland installiert und haben dort bereits zur Schaffung und Sicherung von Arbeitsplätzen beigetragen.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Teilvorhaben REIMOTEC zielt darauf ab, mit einem neuen Material- und Aufbaukonzept elektrolumineszierende Garne und Anlagen zu deren Herstellung umzusetzen, die sich wettbewerbsfähig komplett in Deutschland herstellen lassen und zur Marktführerschaft beitragen.
- Mit dem Vorhaben werden Zukunftsmärkte adressiert, wie z.B. elektrolumineszierende Textilien für Sicherheitskleidung, den Teppichbodenbereich (z.B. Leitsystem zum Notausgang), oder auch Kfz- Dachhimmel und architektonische Anwendungen.
- Für REIMOTEC bedeutet dies, Anlagen- und Werkzeugtechnologien für die Garnproduktion zu entwickeln, herzustellen und nach Abschluss des Forschungsvorhabens zu vermarkten. Weiterhin sollen Kunden von REIMOTEC vorzugsweise in Deutschland in die Lage versetzt werden, Spezialgarne selbst zu produzieren, um sich mit neuen Produkten am Markt zu positionieren und dadurch weiter zu wachsen und den Standort Deutschland zu sichern.

## 9.2 Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Die vorliegenden und im Rahmen dieses Forschungsprojektes erworbenen Erfahrungen von REIMOTEC ergeben gute Erfolgsaussichten nach Projektende. Dies sind z.B. die Funktionalisierung von Kunststoffen und Filamente, die Multilayer- Monofilament- und Multifilament- Herstellung, sowie die ultrafeine Dispergierung von Additiven in Doppelschneckenextrudern. Aus dem erfolgreich abgeschlossenen Vorhaben ergeben sich Erkenntnisse, die einem großen Anwenderkreis zu Gute kommen:

- Mono- bzw. Multifilamenthersteller
- Endanwender / Systemhersteller (Textilien)
- Hersteller von Partikeln / Partikelsuspensionen (Elektrolumineszenz; Leitfähigkeit);
- Maschinenlieferanten (Anlagenkomponenten, z.B. Extrusion, Dosierung, ...);

Darüber hinaus ist zu erwarten, dass das erarbeitete Prinzip der Funktionalisierung „Elektro-Lumineszenz“ auf zahlreiche Anwendungen von technischen Textilien aus Monofilamenten und Multifilamenten übertragen werden kann. Damit kommt dieses Vorhaben nicht nur den Projektpartnern zu Gute, sondern ist von sehr breiter volkswirtschaftlicher Bedeutung (d.h. weitere Garnhersteller, Systemhersteller etc.).

Ebenfalls von volkswirtschaftlicher Bedeutung sind die neuen Anwendungseigenschaften, die sowohl der Sicherheit (z.B. Warnkleidung; Gebäudeleitsysteme auf Teppichen), als auch dem Wohlbefinden (z.B. Kfz- Dachhimmel; Architektur-Anwendungen) zu Gute kommen.

Das erarbeitete Know-how wird sich auf zahlreiche andere Anwendungen übertragen lassen und konnte bereits teilweise für artverwandte textile Anwendungen genutzt werden.

Die wissenschaftlich- technische Ergebnisverwertung bezieht sich einerseits auf die Übertragung der gewonnenen Erkenntnisse auf weitere Produkte und Prozesse, sowie die Ergebnisverbreitung durch Weiterführung der Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in Abstimmung mit den Projektpartnern in Folgeprojekten. Die Verbreitung der Ergebnisse erfolgt über vielfältige Wege:

- Veröffentlichungen in einschlägigen Fachpublikationen insbesondere mit Unterstützung der FuE-Partner (z.B. in Technische Textilien, Technical Textiles, Internationales Textilbulletin);

- Vorstellung auf nationalen und internationalen Messen wie z.B. K-Messe, Tech-Textil (siehe Anhang A3 /20/), ITMA);
- Broschüren, Applikationsberichte, Newsletter.

Darüber hinaus ist die Lumitex-Verbundstruktur an sich bereits Garant für den Ergebnistransfer mit breiter Anwendungsübertragung.

### 9.3 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Eine schnelle Verwertung in Form von Anlagen- und Prozess- Know-how zur Herstellung von Lumineszenz-Garnen ist bislang noch nicht erkennbar, jedoch die Technologie- Nutzung in anderen Bereichen möglich und in Teilbereichen bereits realisiert.

Nach Abschluss des Vorhabens und Weiterentwicklung der Vorhabensergebnisse bis zur Serienreife (ca. 3 bis 5 Jahre nach Abschluss des FuE-Vorhabens) wird REIMOTEC die neue Anlagen- bzw. Verfahrenstechnik (d.h. Prozess- Know-how) entsprechend ihrer Kernkompetenz weltweit vertreiben. Vermarktungsaktivitäten beziehen sich auf den Ausbau bestehender Vertriebsstrukturen, die Direktansprache von Kunden / Pilotkunden, zum Teil gemeinsam mit den Verbundpartnern, Messeauftritte (s.o.) und gemeinsam abgestimmte Publikationen (s.o.).

Außer der bereits oben genannten Nutzung können die im Vorhaben gewonnen Erkenntnisse auch auf andere Produkte übertragen werden, wie z.B elektrisch leitfähige Filamente oder mehrfach funktionalisierte Mono- und Multifilamente. Darüber hinaus sind die zu erwartenden Ergebnisse von so grundlegender Bedeutung, dass sie für Wachstumsmärkte genutzt werden können, die als solche heute noch nicht identifiziert wurden.

Die wissenschaftlichen Partner werden darüber hinaus die erarbeiteten Erkenntnisse für weitere Forschungs- und Drittmittelprojekte nutzen, sowie den Transfer in die Lehre begleiten.

## 10 Ergebnisse Dritter

Es sind während der Projektlaufzeit keine Erkenntnisse Dritter bekannt geworden, welche sich nachteilig auf das Teilvorhaben von REIMOTEC auswirkten bzw. einer zukünftigen Verwertung der Teilvorhabensergebnisse von REIMOTEC entgegenstehen könnten.

## 11 Veröffentlichung der Ergebnisse

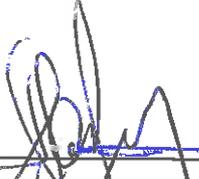
Veröffentlichungen erfolgten bislang primär über den Projektpartner ITV. Hier verweisen wir auf die entsprechende Abschlussberichte.

Eine Veröffentlichung mit Beteiligung von REIMOTEC erfolgte in Verbindung mit der Messe TechTextil 2011 (siehe Anlage A3).

Lampertheim, den

2. Mai 2012

Ort, Datum

   
Unterschrift + Firmenstempel

**heimotec**

Reifenhäuser Gruppe  
Maschinen- und Anlagenbau GmbH  
Edisonstraße 15  
68623 Lampertheim  
Tel.: +49 (0) 6206/9511-0

**Anlagen**

- Anhang mit Literaturverzeichnis, Produktdatenblatt, Poster-Präsentation
- Erfolgskontrollbericht
- Berichtsblatt / Document Control Sheet

## **Anhang**

### **A1: Literaturverzeichnis**

- [1] Hoss, M.: Abschlusspräsentation 10. Lumitex- Projekttreffen, Denkendorf, 12.9.2011
- [2] Hoss, M.: Präsentation 8. Lumitex- Projekttreffen, Denkendorf, 25.10.2010
- [3] Loy, S.: Präsentation 9. Lumitex- Projekttreffen, Denkendorf, 17.3.2011
- [4] Schlussbericht zum AiF- Forschungsvorhaben 15712 N „Herstellung von leitfähigen Fasern für Smart Textiles“, 2010
- [5] Produktdatenblatt „Vestodur X7065, Degussa“ 10/2009
- [6] Produktdatenblatt „Celanex 2008; Ticona“ 10/2009
- [7] „Nanoröhrchen-Netzwerk in Epoxidharz“, [www.tu-harburg.de](http://www.tu-harburg.de), 09/2008
- [8] Leute, U.: „Kunststoffe und EMV – Elektromagnetische Verträglichkeit mit leitfähigen Kunststoffen“ Band 678, Expert Verlag, 2005; 2. Auflage
- [9] Funder, C., Kolditz, P.: „Über die Grenzen hinaus – Elektrisch leitfähige Masterbatches“, Kunststoffe, Carl Hanser Verlag, 09/2008
- [10] Produktdatenblatt Printex XE2, Degusa 10/2009
- [11] Dettlaff, U.: „Carbon Nanotubes: Neue Leiter und Halbleiter aus Kohlenstoff“ Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Vortrag; Haus der Technik; Essen, 2009
- [12] Schwarz, M.: „Elektrisch leitfähige Füllstoffnetzwerke in Duroplasten auf der Basis von Kohlenstoff-Nanopartikeln, -Nanofasern und -Nanotubes“ Cuvillier Verlag, 2006; 1.Auflage
- [13] Wichmann, M.: „Nanopartikel-modifizierte Matrixsysteme für Faserverbundwerkstoffe“ [www.tu-harburg.de](http://www.tu-harburg.de), 01/07
- [14] Produktinformation „Baytubes C150HP“, [www.baytubes.com](http://www.baytubes.com), 10/2009
- [15] Produktdatenblatt „NTP Multi-Wall Carbon-Nanotubes“, [www.nanotubes.com.cn](http://www.nanotubes.com.cn)
- [16] „Silber“, [www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org), 10/2009
- [17] Datenblatt „Hy Medic 4000“, [www.bio-gate.de](http://www.bio-gate.de), 10/2009
- [18] Schmid, H.: Elektrisch leitfähige Polymer- Filamente, interner Sachstandsbericht, FhG ICT Pfinztal, 2011

[19] Eilbracht, S.: Elektrisch leitfähige Filamente, interner Sachstandsbericht, IKV Aachen, 2011

[20] Schmidt, S.: Abschlusspräsentation 10. Lunitex- Projekttreffen, Denkendorf, 12.9.2011

Properties of 14 MCP-Alloys:

Choose an MCP low melting point alloy from this popular range

MCP - Designation	67	58	59	60	64	73	80	96	112	134	137	150	200	220
<b>MELTING BEHAVIOUR</b> The substance of this sample on melting has been observed by differential thermal analysis. Certain liquidus temperatures are exactly defined. (See also 7)	67	58	59	60	64	73	80	96	112	134	137	150	200	220
<b>SPECIFIC HEATS</b> Differential scanning calorimetry analyses have been made to determine the specific heats of solid samples (at 25°C) and liquid samples (as a function of temperature) at 25°C above the liquidus temperature.	67	58	59	60	64	73	80	96	112	134	137	150	200	220
<b>THERMAL AND ELECTRICAL PROPERTIES</b> The thermal conductivity of samples has been measured over the whole range by a steady state technique. A two-probe method was used and an average value of the electrical resistivity of bars 6 inches after casting.	67	58	59	60	64	73	80	96	112	134	137	150	200	220
<b>MECHANICAL PROPERTIES</b> Mechanical tests made on bars of various sizes approximately 0.500 x 0.075 x 0.075 after casting, in such cases stress data is reported in units of MPa/ksi.	67	58	59	60	64	73	80	96	112	134	137	150	200	220
<b>GROWTH AND SURVIVANCE</b> After casting bars 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231, 232, 233, 234, 235, 236, 237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 261, 262, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291, 292, 293, 294, 295, 296, 297, 298, 299, 300, 301, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 325, 326, 327, 328, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343, 344, 345, 346, 347, 348, 349, 350, 351, 352, 353, 354, 355, 356, 357, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 378, 379, 380, 381, 382, 383, 384, 385, 386, 387, 388, 389, 390, 391, 392, 393, 394, 395, 396, 397, 398, 399, 400, 401, 402, 403, 404, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 411, 412, 413, 414, 415, 416, 417, 418, 419, 420, 421, 422, 423, 424, 425, 426, 427, 428, 429, 430, 431, 432, 433, 434, 435, 436, 437, 438, 439, 440, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451, 452, 453, 454, 455, 456, 457, 458, 459, 460, 461, 462, 463, 464, 465, 466, 467, 468, 469, 470, 471, 472, 473, 474, 475, 476, 477, 478, 479, 480, 481, 482, 483, 484, 485, 486, 487, 488, 489, 490, 491, 492, 493, 494, 495, 496, 497, 498, 499, 500, 501, 502, 503, 504, 505, 506, 507, 508, 509, 510, 511, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 551, 552, 553, 554, 555, 556, 557, 558, 559, 560, 561, 562, 563, 564, 565, 566, 567, 568, 569, 570, 571, 572, 573, 574, 575, 576, 577, 578, 579, 580, 581, 582, 583, 584, 585, 586, 587, 588, 589, 590, 591, 592, 593, 594, 595, 596, 597, 598, 599, 600, 601, 602, 603, 604, 605, 606, 607, 608, 609, 610, 611, 612, 613, 614, 615, 616, 617, 618, 619, 620, 621, 622, 623, 624, 625, 626, 627, 628, 629, 630, 631, 632, 633, 634, 635, 636, 637, 638, 639, 640, 641, 642, 643, 644, 645, 646, 647, 648, 649, 650, 651, 652, 653, 654, 655, 656, 657, 658, 659, 660, 661, 662, 663, 664, 665, 666, 667, 668, 669, 670, 671, 672, 673, 674, 675, 676, 677, 678, 679, 680, 681, 682, 683, 684, 685, 686, 687, 688, 689, 690, 691, 692, 693, 694, 695, 696, 697, 698, 699, 700, 701, 702, 703, 704, 705, 706, 707, 708, 709, 710, 711, 712, 713, 714, 715, 716, 717, 718, 719, 720, 721, 722, 723, 724, 725, 726, 727, 728, 729, 730, 731, 732, 733, 734, 735, 736, 737, 738, 739, 740, 741, 742, 743, 744, 745, 746, 747, 748, 749, 750, 751, 752, 753, 754, 755, 756, 757, 758, 759, 760, 761, 762, 763, 764, 765, 766, 767, 768, 769, 770, 771, 772, 773, 774, 775, 776, 777, 778, 779, 780, 781, 782, 783, 784, 785, 786, 787, 788, 789, 790, 791, 792, 793, 794, 795, 796, 797, 798, 799, 800, 801, 802, 803, 804, 805, 806, 807, 808, 809, 810, 811, 812, 813, 814, 815, 816, 817, 818, 819, 820, 821, 822, 823, 824, 825, 826, 827, 828, 829, 830, 831, 832, 833, 834, 835, 836, 837, 838, 839, 840, 841, 842, 843, 844, 845, 846, 847, 848, 849, 850, 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860, 861, 862, 863, 864, 865, 866, 867, 868, 869, 870, 871, 872, 873, 874, 875, 876, 877, 878, 879, 880, 881, 882, 883, 884, 885, 886, 887, 888, 889, 890, 891, 892, 893, 894, 895, 896, 897, 898, 899, 900, 901, 902, 903, 904, 905, 906, 907, 908, 909, 910, 911, 912, 913, 914, 915, 916, 917, 918, 919, 920, 921, 922, 923, 924, 925, 926, 927, 928, 929, 930, 931, 932, 933, 934, 935, 936, 937, 938, 939, 940, 941, 942, 943, 944, 945, 946, 947, 948, 949, 950, 951, 952, 953, 954, 955, 956, 957, 958, 959, 960, 961, 962, 963, 964, 965, 966, 967, 968, 969, 970, 971, 972, 973, 974, 975, 976, 977, 978, 979, 980, 981, 982, 983, 984, 985, 986, 987, 988, 989, 990, 991, 992, 993, 994, 995, 996, 997, 998, 999, 1000.	67	58	59	60	64	73	80	96	112	134	137	150	200	220
<b>SPECIFIC GRAVITY</b> Samples were measured one day after casting.	67	58	59	60	64	73	80	96	112	134	137	150	200	220

## BMBF Forschungsvorhaben: LUMITEX

Textilien mit elektrolumineszenten Eigenschaften für Sicherheitsbekleidung und technische Anwendungen

Lumitex als Teil der BMBF initiative „Forschung für die zivile Sicherheit“ untersucht das elektrolumineszente Leuchten textiler Flächen- und Fadensysteme zur besseren Sichtbarkeit von Personen in Extremsituationen.



Die bisher gebräuchlichen Reflektoren sollen durch selbstleuchtende in und auf Textilien integrierte Lösungen ergänzt werden. Das Konsortium aus Industrie und Forschung entwickelt hierfür Produkte und Techniken die als Faden verarbeitet bzw. als Druck auf bestehende Schutzbekleidung aufgebracht werden kann. Weitere Teilziele sind die optimierte Anregung der EL-Pigmente sowie die sichere und anwendungsorientierte Verkapselung.

Ein Teilaspekt des Forschungsvorhabens befasst sich mit der drucktechnischen Optimierung von Interdigitalstrukturen. Leiterbahnen mit Abständen  $< 500 \mu\text{m}$  wurden mit einem speziell entwickelten Dielektrikum und den EL-Pigmente gedruckt. Verschieden elektrisch leitfähige Metallpigmente und Polymere werden mit angepassten Bindemitteln kombiniert und hierdurch eine bisher unerreicht dünne, flexible und leuchtintensive Fläche erzeugt. Die Gestaltungsmöglichkeiten unterliegen aufgrund der verwendeten Drucktechnik keinen Einschränkungen.



Projektmanager: Stefan Schmidt, T: +49-3744-363 204, s.schmidt@peppermint-contex.de

Förderkennzeichen 8MBF 13N9504

Laufzeit: 01.01.2008 – 30.09.2011



### Danksagung:

Wir danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die finanzielle Förderung dieses Forschungsvorhabens und allen Projektpartnern für ihre umfassende Unterstützung.



Peppermint Holding GmbH - Peppermint ConTex  
Kurfürstendamm 21, 10719 Berlin, Germany  
www.peppermint-contex.de

Zusatzangewandter  
Color Textil - Ein Unternehmensbereich  
der Peppermint Holding GmbH

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
<p>3. Titel Textilien mit elektrolumineszierenden Eigenschaften für Sicherheitsbekleidung und technische Anwendungen</p> <p>Teilvorhaben: Anlagen- und Werkzeugauslegung sowie Prozessanpassung für den Scale-up zur Herstellung mehrschichtiger lumineszierender Garne</p>	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]  Fleschhut, Christian	<p>5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2011</p> <p>6. Veröffentlichungsdatum</p> <p>7. Form der Publikation</p>
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)  REIMOTEC Maschinen- und Anlagenbau GmbH Edisonstraße 15 68623 Lampertheim	<p>9. Ber. Nr. Durchführende Institution</p> <p>10. Förderkennzeichen 13N9509</p> <p>11. Seitenzahl 50</p>
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	<p>13. Literaturangaben 20</p> <p>14. Tabellen 8</p> <p>15. Abbildungen 36</p>
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)	
<p>18. Kurzfassung</p> <p>Ziel des Kooperationsprojekts war die Entwicklung von lumineszierenden Filamenten.</p> <p>Aufgabe von REIMOTEC war die Entwicklung der Anlagen- und Werkzeugtechnologie für die Garnproduktion.</p> <p>Dabei ist es gelungen, ein Schichtsystem für die Lumineszent-Filamente zu erarbeiten und umzusetzen.</p> <p>Die erzielten Ergebnisse in den Bereichen Mehrschichtfilamente, Funktionalisierung, elektrische Leitfähigkeit und Compoundierung können in vielfältigen Anwendungen genutzt werden.</p>	
19. Schlagwörter Lumineszierende Filamente – elektrisch leitfähige Faser – Multilayer Filamente - Faserfunktionalisierung	
20. Verlag	21. Preis

## Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Final report
3. title Textiles with luminescent properties for safety clothes and technical applications  Subproject: Machine- and die design as well as process optimisation for the scale up of the processing of luminescent multi layer filaments	
4. author(s) (family name, first name(s))  Fleschhut, Christian	5. end of project 30.09.2011
	6. publication date
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address)  REIMOTEC Maschinen- und Anlagenbau GmbH Edisonstraße 15 68623 Lampertheim	9. originator's report no.
	10. reference no. 13N9509
	11. no. of pages 50
12. sponsoring agency (name, address)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. no. of references 20
	14. no. of tables 8
	15. no. of figures 36
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date)	
18. abstract  The target of the cooperation project was the development of luminescent filaments.  Task of the company REIMOTEC was the development of process and die technology for the production of yarn.  It has been possible to develop and implement a coating system for the luminescence filaments.  The results obtained in the areas multi layer filaments, functionalization, electrical conductivity and compounding can be used in multiple applications.	
19. keywords Luminescent filaments – electrical conductive fibers — multi layer filaments – fiber functionalization	
20. publisher	21. price