

TEXTIL

Name der AiF-Mitgliedsvereinigung (MV)

Aktenzeichen der MV

AiF-Antrags-Nr:

(wird von der AiF eingesetzt)

Kurzbeschreibung zum Forschungsantrag

1. Forschungsthema

Permanente FlammSchutzausrüstung textiler Materialien mit wasserlöslichen Polyphosphazenen

2. Wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche Problemstellung

Viele Gegenstände und Materialien unserer alltäglichen Umgebung - darunter auch die allermeisten Textilien - sind brennbar und stellen somit eine potentielle Gefahrenquelle dar. Laut einer Studie der Weltgesundheitsorganisation WHO aus dem Jahre 2011 fordern Brandereignisse weltweit jährlich mehr als 300.000 Todesopfer. Zusätzlich überleben unzählige Menschen Feuerunfälle nur mit schwersten Verbrennungen und sind oftmals dauerhaft entstellt. Für Europa werden jährlich 2 bis 2,5 Millionen Brände mit 20.000 - 25.000 Todesfällen und mit einem volkswirtschaftlichen Schaden von jeweils 1 % des Bruttoinlandsprodukts gezählt. Dabei kommen über 80 % der Opfer bei Wohnungsbränden ums Leben, wobei die Brandursache oftmals die Entzündung von textilen Materialien bzw. von textilüberzogenen Möbeln/Polstermöbeln ist.

Heutzutage werden für Heimtextilien, Polstermöbel, Teppiche, Bettwäsche und Bekleidung unterschiedlichste natürliche und synthetische Faserarten und deren Mischungen verwendet, deren Brennbarkeit stark variieren kann. Betrachtet man die Faserweltjahresproduktion der vergangenen Jahre, so besitzen nur 5 % der produzierten Fasern inhärent flammhemmende Eigenschaften. Die übrigen 95 % (hauptsächlich Baumwolle und Polyester) sind mehr oder weniger stark brennbar. Ihre Flammfestigkeit kann einzig durch die Verwendung von FlammSchutzmitteln erhöht werden, die ein Feuerereignis in unterschiedlichen Phasen eines Brandes verhindern, verlangsamen oder stoppen können. Material- und anwendungsbezogen werden weltweit unterschiedlichste FlammSchutzmittel verwendet, die nach unterschiedlichen chemischen und physikalischen Wirkmechanismen in eine oder mehrere Stufen eines Brandes aktiv eingreifen können. Zusammengenommen existieren über 200 kommerziell verwendete anorganische und organische Verbindungen mit flammhemmenden Eigenschaften, die oftmals auch kombiniert eingesetzt werden. FlammSchutzmittel finden sich vor allem in Elektro- und Elektronikgeräten, Fahrzeugen (Bahnen, Flugzeuge, Schiffe), in Bauprodukten sowie in Möbeln und Textilien. Die Ausrüstung des zu schützenden Gutes erfolgt entweder reaktiv, d.h. mit fester chemischer Bindung, oder additiv, d.h. als Zusatz ohne feste chemische Bindung. Der weltweite Verbrauch der unterschiedlichen FlammSchutzmittel lag im Jahr 2008 bei insgesamt 1.821.000 Tonnen. Etwa 1/3 davon (529.000 t) wurden in Europa verkauft.

Zu den anorganischen FlammSchutzmitteln zählen unterschiedliche Metallhydroxide (Aluminium und Magnesium), Antimonoxide, Zinkborate, Stannate, anorganische Phosphorverbindungen sowie Graphit. Da sie vergleichsweise preiswert und zudem relativ umweltfreundlich sind, werden insbesondere Metallhydroxide wie Aluminiumtrihydrat europa- und auch weltweit mengenmäßig am häufigsten verwendet. Deren Wirkungsweise beruht auf der stark endothermen Abspaltung und Verdunstung von Wasser während des Brandvorgangs, wobei zum einen das Brennstoff/Sauerstoff-Gemisch durch den Wasserdampf verdünnt und zum anderen das brennende System abgekühlt wird. Gleichzeitig bildet sich um das Brenngut eine Aluminiumoxidschicht, die das Material vor weiterer Pyrolyse schützt. Allerdings entfalten sie ihre flammhemmende Wirkung in den zu schützenden Materialien erst durch die Gabe sehr hoher absoluter Anteile, so dass die gewünschten Eigenschaften

von Polymeren (auch faserbildenden Materialien) oftmals stark beeinträchtigt werden. Bei Textilien werden sie daher lediglich im begrenzten Maße bei Baumwolle und Polyester eingesetzt und spielen hier keine große wirtschaftliche Rolle. Ein weiteres, kommerziell bedeutendes anorganisches Material ist Antimontrioxid. Es hat selbst keine flammhemmenden Eigenschaften, aber es entwickelt äußerst wirkungsvolle synergistische Effekte in Kombination mit halogenierten Flammschutzmitteln. Bei textilen Materialien wird es vorzugsweise als Synergist beim Einsatz von bromierten Flammschutzmitteln wie Decabromdiphenylether (Deca-BDE) verwendet.

Neben den anorganischen Verbindungen werden halogenhaltige Substanzen insgesamt mengenmäßig am zweithäufigsten als Flammschutzmittel eingesetzt. Sie wirken vorwiegend durch einen chemischen Prozess flammhemmend, indem sie bei erhöhter Temperatur energiearme Halogenatome freisetzen, welche wiederum über mehrere endotherme Zwischenstufen hochreaktive H- und OH-Radikale abfangen, wodurch die Verbrennung unterhaltene Kettenreaktion zum Erliegen kommt. Die Bildung von Halogenwasserstoff bewirkt dabei gleichzeitig eine Verdünnung des brennbaren Gasgemisches. Der größte Abnehmer für halogenierte Flammschutzmittel ist die Elektronikindustrie (Computer, Fernseher etc.). Weitere bedeutende Anwendungen finden sich bei Baustoffen, Möbeln, Teppichen und Textilien. Wie bereits oben erwähnt kann ihre Wirksamkeit durch den Zusatz von Antimontrioxid noch gesteigert werden. Die wichtigsten Vertreter neben Chlorparaffinen sind die bromhaltigen Substanzen. Derzeit existieren etwa 75 kommerzielle bromierte Flammschutzmittel, die sich vor allem durch ihren relativ geringen Preis und ihre gute Kombinierbarkeit mit anderen Kunststoffen auszeichnen. Allerdings gelten alle bromierten Flammschutzmittel als ökologisch äußerst bedenklich. Basierend auf einer aktuellen Studie wurde z.B. Deca-BDE als schwer abbaubares Umweltgift eingestuft. Darüber hinaus entstehen bei ihrer Verbrennung hochtoxische Verbindungen, wie etwa Dioxine, so dass sie für viele Anwendungen bereits verboten worden sind oder aber unter besonderer Beobachtung stehen. Weltweit wird daher ein Ersatz von halogenierten Flammschutzmitteln durch alternative Verbindungen angestrebt.

Die dritte bedeutende Gruppe von Flammschutzmitteln ist die der phosphorhaltigen Verbindungen, wobei man wiederum zwischen halogenierten und nichthalogenierten oder auch zwischen organischen und anorganischen Spezies unterscheiden kann. Sie entfalten ihre flammhemmenden Eigenschaften in der kondensierten Phase des brennenden Materials durch die Freisetzung von Polyphosphorsäuren in der Hitze. Die Phosphorsäure wirkt auf das zu schützende organische Material dehydratisierend, was die Ausbildung einer wärmedämmenden glasartigen Schicht zur Folge hat, die als Barriere gleich mehrere flammhemmende Effekte besitzt: Zum einen führt die Umwandlung des brennbaren Materials in eine verkohlte Schicht anstelle von brennbaren Pyrolysegasen zu einer in Summe stark reduzierten Brennstoffproduktion. Zum anderen hindert die glasartige Schicht Pyrolysegase an der Penetration in den Gasraum. Und drittens schützt die Barrierschicht das darunterliegende Material durch seine exzellente Wärmedämmung vor der Hitze der Flammen und somit vor weiterer Pyrolyse. Derartige Flammschutzmittel findet man in einer Vielzahl von Plastikprodukten, PU-Schäumen, in Polstermöbeln, Fahrzeugsitzen oder Baumaterialien. Im textilen Bereich ist die nur begrenzt gegebene Permanenz gegenüber textilen Wäschen problematisch.

Ergänzend zu anderen Flammschutzmitteln werden oftmals auch stickstoffhaltige Flammschutzmittel - zumeist auf der Basis von Melamin - eingesetzt, wobei der Wirkmechanismus bis heute nicht vollständig verstanden wird. Man nimmt an, dass deren flammhemmender Effekt auf mehreren Mechanismen beruht. So sind derartige Verbindungen zumeist thermisch relativ stabil, so dass sie den Abbau des Materials hin zu brennbaren Gasen unterbinden. Darüber hinaus verdünnen thermisch stabile stickstoffhaltige Moleküle in der Gasphase die brennbaren Pyrolysegase. In der kondensierten Phase wiederum vernetzt Melamin, was die Bildung einer Barrierschicht (z.B. durch phosphorhaltige Flammschutzmittel) begünstigt. Melamin-basierte Produkte findet man

beispielsweise in PU-Schäumen, Möbeln, Baustoffschäumen und Nylon-Produkten, aber auch bei semi-permanenten Ausrüstungen von Baumwoll- und Polyesterfasern.

Abschließend sei an dieser Stelle auf sogenannte intumeszente (quellbare) Beschichtungen hingewiesen, die zum einen brennbare Materialien vor einer Entzündung schützen, auf der anderen Seite aber auch nichtbrennbare Stoffe wie etwa Stahl vor deren Erweichung durch Hitze bewahren sollen. Kommerzielle Produkte können wie ein Anstrich verwendet werden und bestehen zumeist aus einer Kombination von Einzelkomponenten. Dazu zählen schaubildende Verbindungen, die unter Hitzeeinwirkung große Mengen von nichtbrennbaren Gasen wie Stickstoff, Ammoniak oder Kohlendioxid freisetzen. Durch einen in der Hitze sich verflüssigenden Binder werden die Gasblasen unter Ausbildung einer dicken Schaumschicht eingeschlossen. Schließlich benötigt man eine Säure- und eine Kohlenstoffquelle, wobei der Binder oft gleichzeitig als Kohlenstoffquelle dient. Phosphorhaltige Flammenschutzmittel bilden beispielsweise im Falle eines Brandes - wie schon oben beschrieben - Polyphosphorsäuren, die im Weiteren eine verkohlende Wirkung zeigen. Das verkohlte Material härtet den Schaum und bildet in Summe eine hervorragende feuer- und hitzebeständige Schutzschicht. Prinzipiell können derartige intumeszente Systeme auch bei einer nachträglichen Textilausrüstung verwendet werden, wobei allerdings insbesondere die oft geforderte Waschbeständigkeit nicht erfüllt werden kann.

Grundsätzlich existieren nur wenige faserbildende Materialien, die intrinsisch flammfeste oder schwer entflammbar Eigenschaften aufweisen. Dazu zählen natürliche mineralische Fasern wie etwa Asbest und Erionit oder auch synthetische Polymere wie Aramide, Carbonfasern oder PVC. Dem mengenmäßig bedeutendsten synthetischen Fasermaterial Polyester (PET) oder auch anderen Fasertypen wie Polyamid, Polyacrylnitril, Elastan oder Polypropylen können derartige Eigenschaften hingegen erst durch den Zusatz von flammhemmend wirkenden Substanzen verliehen werden, wobei dies grundsätzlich vor der Polymerisation, in der Polymerschmelze oder auch nachträglich am textilen Flächengebilde geschehen kann.

Die weltweit meistproduzierte Fasersorte Baumwolle lässt sich lediglich nachträglich flammhemmend ausrüsten. Gleiches gilt für Mischungen unterschiedlicher faserbildender Polymere, wobei sich insbesondere Polyester/Baumwoll- oder auch Polyamid/Baumwoll-Blends einer stetig wachsenden Nachfrage erfreuen. Demnach eignen sich für Baumwolle, aber auch für alle synthetische Fasermaterialien und deren Mischungen insbesondere nachträgliche Oberflächenmodifizierungen mit flammhemmend wirkenden Substanzen, wobei prinzipiell alle zuvor genannten Flammenschutzmittel angewendet werden können. Der wesentliche Vorteil einer nachträglichen Ausrüstung liegt - neben der Möglichkeit auch Mischungen zu behandeln - vor allem darin, dass die Bulkeigenschaften des Fasermaterials nicht verändert werden. Darüber hinaus sind derartige Produkte vergleichsweise kostengünstig und können über einfache, in der textilen Industrie etablierte Verfahren appliziert werden. Der große Nachteil ist bisher allerdings, dass derartige Ausrüstungen zumeist nur wenig permanent sind, so dass die flammhemmenden Eigenschaften der Materialien im Gebrauch - insbesondere durch Wäsche - verloren gehen können.

Aus den bisher aufgeführten Teilaspekten ergeben sich daher für die Textilforschung im Bereich des Flammschutzes folgende elementaren Herausforderungen:

- Ersatz von halogenierten Flammenschutzmitteln durch toxikologisch und ökologisch verträglichere Alternativen
- Entwicklung von einfachen Methoden zur permanenten (d.h. insbesondere wasch- und abrasionsbeständigen), nachträglichen, möglichst universellen Flammschutz-ausrüstung der wichtigsten Fasersorten Baumwolle, Polyester, Polyamid und deren Mischungen

Lineare Polyphosphazene (PPZ) der allgemeinen Formel $-[N=PR_2]_n-$ zählen zur Klasse der anorganischen Polymere, deren Eigenschaften sich über entsprechend funktionalisierte Seitengruppen nach Bedarf einstellen lassen (von hydrophil bis hydrophob, von bioinert bis

biokompatibel, von elektrisch leitend bis isolierend). Eine weitere herausragende Eigenschaft von linearen Polyphosphazenen ist deren flammhemmende Wirkung, die sich aus dem hohen Phosphor- und Stickstoffanteil im Polymerrückgrat ergibt. Allerdings werden diese Eigenschaften derzeit im textilen Bereich nicht technisch bzw. kommerziell ausgenutzt, da eine permanente Anbindung dieser halogenfreien Moleküle an die relevanten Faserarten bis zu der vom DTNW im vorangegangenen, jüngst abgeschlossenen IGF-Forschungsvorhaben 16780 N beschriebenen Methodik nicht gelang.

Durch die neueren Arbeiten des DTNW sind nun vollständig charakterisierte, stabile Polyphosphazenderivate mit unterschiedlichen funktionellen Seitengruppen verfügbar. Insbesondere allyl-funktionalisierte Spezies ließen sich über ein am DTNW bereits seit vielen Jahren etabliertes photochemisches Verfahren unter Ausnutzung von UV-Lampen dauerhaft an unterschiedlichen Fasertypen fixieren.

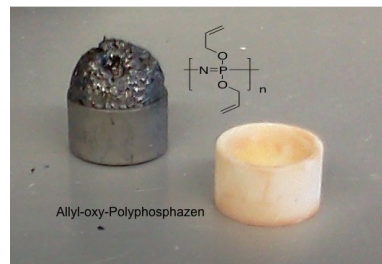


Abbildung 1: Struktur von am DTNW synthetisiertem Allyl-oxy-Polyphosphazen und Schaumbildung des Derivats bei einer thermogravimetrischen Analyse.

Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Struktur des vollständig charakterisierten Allyl-oxy-Polyphosphazens und dessen intumeszentes Verhalten unter Hitzeeinwirkung. Die entsprechend mit allyl-modifizierten Polyphosphazenen photochemisch ausgerüsteten Materialien weisen signifikante flammhemmende Eigenschaften auf und bestehen unterschiedliche genormte Brandtests. Insbesondere bei Polyester/Baumwoll-Mischgeweben und textilen Materialien aus reiner Baumwolle gelangen **Ausrüstungen, die den hohen Anforderungen der Normen für Arbeitsschutz und Automobile genügen**, wobei gleichzeitig eine deutliche Erhöhung des LOI-Wertes gemessen werden konnte. Bei reinen Polyesterweben wiederum wurde ein verändertes Schmelzverhalten beobachtet, dass das Abbrennen der Proben bei den genannten Flammtests eher begünstigte, da sich das Material nicht durch Wegschmelzen dem Zugriff der Flamme entziehen konnte. Derartige Effekte können gegebenenfalls bei einer entsprechenden Kombination mit anderen Flammenschutzmitteln vorteilhaft genutzt werden, wenn beispielsweise ein darunterliegendes hochentzündliches Material vor einer direkten Beflammung geschützt werden muss (beispielhaft sei hier eine flamm- und schmelzvermindernde Ausrüstung eines Polyester-Bezugstoffs für Polstermöbel mit brennbarem Füllstoff genannt). Der permanente Charakter der textilen Polyphosphazene-Ausrüstung wiederum wurde durch entsprechende Wasch- und Abrasionstests bestätigt. So verhielten sich die allyl-oxy-PPZ-ausrüsteten Polyester/Baumwoll-Mischgewebe auch nach sechs Wäschen bzw. 50.000 Scheuertouren selbsterlöschend. Gleichzeitig zeigte sich bei den zugehörigen gravimetrischen Messungen kein signifikanter Massenverlust, was ein weiteres Indiz für die gewünschte kovalente Anbindung des Polyphosphazenderivats an die textile Oberfläche ist.

Trotz der überaus vielversprechenden Ergebnisse des abgeschlossenen Forschungsvorhabens steht einer kommerziellen Nutzung derartiger Polyphosphazene deren Unlöslichkeit in wässrigen Medien entgegen. So äußerten sich Vertreter der Industrie bzw. des Projektbegleitenden Ausschusses dahingehend, dass die Wasserlöslichkeit der zu verwendenden PPZ-Derivate für eine praktikable und kostengünstige Handhabung erstrebenswert, wenn nicht sogar unerlässlich ist. **Daher wurden in später Phase des abgeschlossenen Projektes wegweisende Ansätze für die Synthese von wasserlöslichen Polyphosphazene-Copolymeren erarbeitet, die die Grundlage für das hier vorliegende Forschungsvorhaben bilden.**

Insgesamt betrachtet hat das abgeschlossene Forschungsvorhaben den Weg zur Etablierung einer gänzlich neuen Klasse von Flammenschutzmitteln für die Textilindustrie geebnet. So wurden die Ergebnisse des Projektes auf wissenschaftlicher Ebene bereits durch das außerordentlich hohe Interesse Seitens der Industrie- und Forschungsvertreter im Rahmen der EU-finanzierten COST Action MP1105 FLARETEX gewürdigt. Bei entsprechender Weiterentwicklung der Synthesen hin zu wasserbasierten Formulierungen und einer weiteren Optimierung der Anbindungsmethoden (gegebenenfalls in Kombination mit anderen Flammenschutzmitteln) könnten die halogenfreien Produkte wettbewerbsfähig hergestellt und vermarktet werden.

Das vorliegende Forschungsvorhaben zielt daher auf die kovalente Anbindung von funktionalisierten, **wasserlöslichen Polyphosphazenen** ab, die aufgrund ihres hohen Phosphor- und Stickstoffanteils hervorragende flammhemmende Eigenschaften aufweisen. Dabei spielt - neben den beschriebenen Eigenschaften - auch die Abwesenheit von Halogenen in den stabilisierten Derivaten eine bedeutende Rolle, da halogenbasierte Flammenschutzmittel wegen der fortwährend erhöhten ökologischen Anforderungen an moderne Flammenschutzmittel in der Zukunft nach und nach substituiert werden sollen. Ferner eignen sich die anvisierten Polyphosphazenderivate zur permanenten Immobilisierung mit bereits in der Textilveredlungsindustrie etablierten Ausrüstungsverfahren, was eine schnelle Umsetzung der Forschungsergebnisse in die industrielle Praxis gewährleisten sollte.

3. Forschungsziel / Ergebnisse / Lösungsweg

3.1 Forschungsziel

Das Ziel des geplanten Projektes ist die gezielte **Synthese von wasserlöslichen Polyphosphazenderivaten und deren kovalente, also permanente Anbindung an unterschiedliche textile Materialien** aus Baumwolle, Polyethylenterephthalat (PET), Polyamid (PA) und deren Mischungen über zusätzliche funktionelle Gruppen am Polyphosphazengerüst, wodurch den so modifizierten textilen Substraten dauerhaft, d.h. insbesondere wasch- und abrasionsbeständig, flammhemmende Eigenschaften verliehen werden sollen.

Die zu erzeugenden Polyphosphazenderivate sollen demnach folgende wesentlichen Eigenschaften bzw. Merkmale aufweisen:

- hoher Gesamtphosphoranteil
- hoher Anteil des synergistisch wirkenden Stickstoffs
- Kohlenstoffquelle in den Seitenketten
- frei von Halogenen, insbesondere Brom
- wasserlöslich
- Ankergruppen für die permanente Fixierung an textilen Substraten

Die kovalente Anbindung soll dabei unter Ausnutzung der am textilen Substrat vorhandenen funktionellen Gruppen über nasschemisch/thermische oder photochemische, UV-initiierte Prozesse erfolgen. Dies kann über direkte Pfropfungsreaktionen oder gegebenenfalls durch den zusätzlichen Einsatz von organischen Vernetzern wie Glutardialdehyd, Polycarbodiimid oder photovernetzenden Triazinen (z.B. über das technisch verfügbare TAICROS®, 1,3,5-Triazin-2,4,6(1H,3H,5H)-trion, 1,3,5-tri-2-propenyl, das selbst gewisse flammhemmende Eigenschaften aufweist) erfolgen. Darüber hinaus sollen die PPZ-Derivate neben den Ankergruppen hydrophile Seitenketten enthalten, die deren Wasserlöslichkeit gewährleisten. Potentielle Gruppen sind Phosphonsäure-dimethylester-ethyl-oxy-, Phosphonsäure-ethyl-oxy-, Oligo-ethylen-oxy-, Carboxy-phenyl- oder Sulfonsäure-phenyl-oxy-Gruppen. Die erfolgreiche Anbindung der Polyphosphazene soll qualitativ und quantitativ über verschiedene Analyseverfahren bestimmt werden, wobei ein besonderes Augenmerk auf die Permanenz der Flammschutzausrüstung gelegt werden soll. So soll die Beständigkeit gegenüber den Anforderungen im Gebrauch (z.B. Abrieb oder Wäsche) in entsprechenden Untersuchungen bestätigt werden. Der Flammschutz selbst soll über normierte Abbrennversuche und die Bestimmung des LOI-Wertes charakterisiert werden.

3.1.1 Angestrebte Forschungsergebnisse

Mit dem vorliegenden Forschungsvorhaben soll der wissenschaftlich-technische Kenntnisstand über die Klasse der Polyphosphazene erweitert werden. Dies betrifft neben der gezielten chemischen Synthese von funktionellen Mischpolymeren und deren weitreichende Charakterisierung hinsichtlich chemischer und physikalischer Eigenschaften vor allem deren bisher nicht bekannte Anwendung als permanentes Flammenschutzmittel für Polymere im Allgemeinen und für faserbildende synthetische und natürliche Polymere wie Polyester, Polyamide und Baumwolle sowie deren Mischungen im Speziellen. Darüber hinaus versprechen die wissenschaftlichen Ergebnisse durch die Entwicklung von neuen permanenten Flammenschutzmitteln bzw. entsprechenden kommerziellen Textilhilfsmitteln mittelfristig auch einen wirtschaftlichen Erfolg.

3.1.2 Innovativer Beitrag der angestrebten Forschungsergebnisse

In dem vorangegangenen abgeschlossenen Forschungsvorhaben IGF 16780 N wurde am DTNW bereits die prinzipielle Nutzbarkeit von Polyphosphazenen als permanente Flammenschutzmittel für textile Materialien aufgezeigt. Damit wurde am DTNW der Weg zur Etablierung einer gänzlich neuen Klasse von Flammenschutzmitteln für die Textilindustrie geebnet. Einer kommerziellen Nutzung der erarbeiteten Forschungsergebnisse steht allerdings bisher deren nicht gegebene Wasserlöslichkeit entgegen. Bei entsprechender Weiterentwicklung der Synthesen hin zu wasserlöslichen Derivaten können die halogenfreien Produkte wettbewerbsfähig hergestellt und über etablierte Ausrüstungsverfahren auf bestehenden Maschinen der Textilveredler permanent fixiert werden. Die Umsetzung der Forschungsergebnisse zur Synthese und Ausrüstung von wasserlöslichen Polyphosphazenen kann der deutschen Textilindustrie somit ein neues Marktsegment erschließen, das die Wettbewerbsfähigkeit von einheimischen klein- und mittelständischen Textilveredlungsbetrieben gegenüber ausländischen Mitbewerbern nachhaltig erhöhen kann. Dies gilt im erhöhten Maße dadurch, dass aufgrund der gesetzlichen Voraussetzungen - z.B. in der Eurozone und in den Vereinigten Staaten - halogenhaltige Flammenschutzmittel kurz- bis mittelfristig vollständig durch alternative Produkte - vorzugsweise auf der Basis von Phosphor - ersetzt werden sollen. Das vorliegende Forschungsvorhaben kann hier auf nationaler Ebene einen entscheidenden und wegweisenden Forschungs- und daraus resultierenden Wettbewerbsvorteil gegenüber dem Ausland generieren, was wiederum zur nachhaltigen Sicherung alter und zur Schaffung neuer Arbeitsplätze im Bereich der nationalen Textilverarbeitenden Industrie beitragen kann.

3.2 Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Der Lösungsweg zur Erreichung der Forschungsziele beinhaltet die folgenden konkreten Arbeitspakete:

1. Synthese von wasserlöslichen Polyphosphazenen, die gleichzeitig funktionelle Gruppen für eine kovalente, also permanente Anbindung an unterschiedliche textile Substrate wie Baumwolle, Polyester, Polyamid und deren Mischungen aufweisen und Charakterisierung der Derivate über verschiedene Analysenverfahren (UV-Vis- und IR-Spektroskopie, Elementaranalysen, NMR-Spektroskopie, Thermogravimetrische Analysen, Dynamische Differenzkalorimetrie, Bestimmung der Wasserlöslichkeit etc.)
2. Kovalente Fixierung der Polyphosphazenderivate an den textilen Substraten über nasschemisch/thermische und photochemische Methoden und Charakterisierung der modifizierten textilen Materialien über etablierte Analyseverfahren (Gravimetrie, UV-Vis- und FT-IR(ATR)-Spektroskopie, REM/EDX, Bestimmung des Gesamtphosphorgehalts mittels ICP-OES etc.)
3. Charakterisierung der flammhemmenden Eigenschaften über normierte Verfahren (DIN EN ISO 15025 Arbeitsschutzbekleidung, DIN 75200 Automobilnorm, DIN 4102 - 1 Baustoffklasse B2, DIN EN ISO 4589-2 Bestimmung des LOI-Wertes)
4. Untersuchungen zur Permanenz der flammhemmenden Eigenschaften gegenüber Waschen und Abrasion (Waschzyklen im Linitest, Martindale-Scheuertest etc.),

5. Optimierungen und
6. Berichterstattung.

4. Plan zum Ergebnistransfer in die Wirtschaft

während der Projektlaufzeit		
Zeit	Maßnahme	Ziel
Projektbeginn	Kick-Off-Meeting PA	Erläuterung der Projektziele sowie Vorstellung und Diskussion des Versuchsplans, Bemusterung von Seiten des PA
Monat 0-24	Teilnahme an der COST-Action MP1105 „FLARETEX“, Vorträge und Posterpräsentationen auf Meetings/Workshops	Vorstellung der Ergebnisse beim Fachpublikum, Networking, Schaffung neuer Kooperationen, Multiplikator für den Transfer in die akademische Lehre
nach ca. 9 Monaten	2. PA-Sitzung	Vorstellung der bisherigen Ergebnisse und Diskussion über die weitere Vorgehensweise
Monat 12-24	Vorträge auf Konferenzen im Bereich des Flammsschutzes polymerer Materialien und sachbezogenen Konferenzen der Textilindustrie	Vorstellung der Ergebnisse beim Fachpublikum
Monat 12-24	Veröffentlichung in einschlägigen Journalen und Fachblättern der Materialforschung sowie der Textilindustrie (z.B. Melliand Textilberichte)	Vorstellung der Ergebnisse beim Fachpublikum
Monat 15- 18	3. PA-Sitzung	Vorstellung der aktuellen Ergebnisse und Diskussion über die weitere Vorgehensweise
Monat 20 - 24	Herstellung von optimierten Funktionsmustern und Videos von erfolgreichen Flammtests	anschauliche Demonstration der Versuchsergebnisse (für zukünftige Gespräche, Vorträge, Messen etc.)
Projektende	abschließende PA-Sitzung	Vorstellung der erzielten Projektergebnisse, Diskussion bzgl. der weiteren Verwertung
nach der Projektlaufzeit		
Zeit	Maßnahme	Ziel
Projektende	Erstellung des Abschlussberichtes und Verteilung an die Mitglieder des PA sowie an weitere interessierte Unternehmen	Verbreitung der Ergebnisse
Monat 0-6	Veröffentlichung des Abschlussberichtes in den DTNW-Mitteilungen	deutschsprachige Publikation der Ergebnisse
Monat 0-12	Teilnahme an der COST-Action MP1105 „FLARETEX“, Vorträge und Posterpräsentationen auf Meetings/Workshops	Vorstellung der Ergebnisse beim Fachpublikum, Networking, Schaffung neuer Kooperationen, Multiplikator für den Transfer in die akademische Lehre
Monat 0-12	Vorstellung der Ergebnisse beim Innovationstag des Mittelstands und/oder in Gremien des FKT	Vorstellung der Ergebnisse beim Fachpublikum
Monat 0-18	Vorträge auf sachbezogenen Konferenzen (s.o.) und Veröffentlichung in einschlägigen Journalen (s.o.)	Vorstellung der Ergebnisse beim Fachpublikum
Monat 0-24	Vorstellung der Ergebnisse auf Fachmessen (z.B. Avantex/Techtextil, Hannover-Messe)	Vorstellung der Ergebnisse beim Fachpublikum
Monat 0-24	Unternehmensspezifische Beratung	Ergebnistransfer in die industrielle Praxis, Bildung von strategischen Allianzen, Kosten/Nutzen-Kalkulation

5. Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung der angestrebten Forschungs-ergebnisse für KMU

5.1 Voraussichtliche Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse in KMU

Die Nutzung der angestrebten Forschungsergebnisse erfolgt hauptsächlich in den Fachgebieten **Werkstoffe, Materialien, Chemie** und **Verfahrenstechnik**, ist aber auch in den Gebieten **Rohstoffe, Umwelttechnik, Konstruktion** sowie **Elektrotechnik, Mikrosystemtechnik und Medizintechnik** denkbar. Neben den hauptsächlichsten Anwendungen im **Textil- und Bekleidungsgewerbe, Chemische Industrie** und **Fahrzeugbau** ist darüber hinaus auch die Nutzung in den Wirtschaftsbereichen **Holzgewerbe, Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren, Büromaschinen, Datenverarbeitungsgeräte, Elektrotechnik, Feinmechanik und Optik, Möbel, Schmuck, Musikinstrumente, Sportgeräte und sonstige Erzeugnisse, Baugewerbe** sowie **Landverkehr, Transport** möglich.

5.2 Voraussichtlicher Beitrag zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der KMU

Mit dem stetig wachsenden Bedarf an sicheren, flammgeschützten Materialien gewinnt auch der Markt für Textilien mit flammhemmenden Eigenschaften zunehmend an Bedeutung. Dementsprechend groß ist der weltweite Markt für eine effektive und gleichzeitig permanente FlammSchutzausrüstung - idealerweise auf der Basis von phosphorhaltigen Produkten, da Halogenderivate wegen ihrer hohen Toxizität und Umweltbelastung in den Industrienationen zunehmend geächtet werden. Zwar existieren organische FlammSchutzmittel auf der Basis von Phosphor, deren Beständigkeit gegenüber der textilen Wäsche ist allerdings bisher sehr beschränkt. Mit der erfolgreichen Synthese von wasserlöslichen Polyphosphazenen und den entsprechend zu erarbeitenden Verankerungsstrategien eröffnet sich mit dem hier vorliegenden Forschungsvorhaben den deutschen klein- und mittelständischen Unternehmen somit die Chance, die vom Markt/Verbraucher und Politik geforderten Permanenz- und Umweltkriterien einer nachträglichen Ausrüstung textiler Materialien mit flammhemmenden Substanzen gleichermaßen zu erfüllen. Dies kann somit die Wettbewerbsfähigkeit der KMU gegenüber ausländischen Mitbewerbern deutlich erhöhen, da derartige innovative Polyphosphazenderivate aufgrund ihrer zu erwartenden Leistungsfähigkeit bei gleichzeitiger Abwesenheit von Halogenen einen hohen wirtschaftlichen Erfolg versprechen.

5.3 Aussagen zur voraussichtlichen industriellen Umsetzung der FuE-Ergebnisse nach Projektende

Sollten die im hier vorliegenden Forschungsantrag formulierten Forschungsziele erreicht werden, sollte eine Umsetzung der FuE-Ergebnisse in die industrielle Praxis im unmittelbaren Anschluss an das Projektende möglich sein. Dies umfasst anfangs die Synthese der wasserlöslichen Polyphosphazenderivate im technischen/industriellen Maßstab, gefolgt von der Herstellung technischer Produkte/Formulierungen von Seiten interessierter Textilhilfsmittelherstellern. Nach Erreichen der Marktreife derartiger Produkte sollten diese direkt von Unternehmen der Textilverarbeitenden Industrie verwendet werden können, zumal insbesondere auch solche nasschemisch/thermischen Prozesse angestrebt werden, bei denen die wasserlöslichen Polyphosphazene über bestehende Ausrüstungsmaschinen direkt appliziert und fixiert werden können (z.B. Foulardieren mit nachgeschalteter Fixierung im Spannrahmen). Im Falle einer photochemischen Fixierung müssten zusätzlich einmalig industrietaugliche UV-Strahler angeschafft und in den Produktionsstand integriert werden. Im Zusammenhang mit einer zügigen Umsetzung der FuE-Ergebnisse in die industrielle Praxis sei an dieser Stelle explizit auf etwaige Auflagen gemäß der europäischen REACH-Verordnung hingewiesen, die eine wirtschaftliche Nutzung extrem verlangsamen oder sogar gänzlich verhindern können. Nach heutigem Kenntnisstand fallen die angestrebten flammhemmend wirkenden Polyphosphazene als Polymere allerdings nicht in den Geltungsbereich von REACH. Dennoch wird sich das DTNW bereits während der Projektlaufzeit regelmäßig über aktuelle, das Projekt betreffende Änderungen der REACH-Verordnung informieren.

6. Durchführende Forschungsstelle

Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West gGmbH, Adlerstraße 1, D-47798 Krefeld
Leiter der Forschungsstelle: Professor Dr. Jochen S. Gutmann
Projektleiter: Dr. Klaus Opwis, Tel.: 0203-379-8219, e-Mail: opwis@dtnw.de