Konzept für das Innovationslabor

’MoRe PTFE’

(Modifiziertes und Recyceltes Polytetrafluorethylen)

für Phase II des Förderprogramms ‚ForMaT’

(Forschung für den Markt im Team) als Bestandteil der BMBF-Innovationsinitiative Neue Länder ‚Unternehmen Region’

Antragsteller: Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.

Ausführende Stelle: Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V.
Dr. Dieter Lehmann
Hohe Straße 6
01069 Dresden
Tel.: 0351/4658–392
E-Mail: lehmann@ipfdd.de

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis ... III
1 Thema und Gesamtziel des Vorhabens sowie der Einzelprojekte in den Forschungsgruppen ... 1
1.1 Zusammenfassung ... 1
1.2 Thema und Gesamtziel des Vorhabens ... 1
1.3 Einführung ... 2
1.4 Das Innovationslabor – die 2. Phase des ‚MoRe-PTFE'-Projektes ... 2
2 Die Forschungsansätze und Stand der Technik ... 4
2.1 FuE-Ansatz 1: Bestrahlungstechnik ... 4
2.2 FuE-Ansatz 2: Hochleistungsschmierstoffe ... 6
2.3 FuE-Ansatz 3: Hochleistungskunststoffe ... 10
3 Einordnung der wirtschaftlichen Bedeutung, Marktpotentiale und potentielle Kunden ... 12
3.1 FuE-Ansatz 1: Grundstoff (PTFE-Mikropulver) ... 12
3.1.1 Der Markt ... 12
3.1.1.1 Marktabgrenzung und -segmentierung ... 12
3.1.1.2 Marktvolumen und –potential ... 13
3.1.1.3 Wettbewerb ... 14
3.1.2 Einzelbewertung ... 15
3.2 FuE-Ansatz 2: Hochleistungsschmierstoffe ... 16
3.2.1 Der Markt ... 16
3.2.1.1 Marktabgrenzung und –segmentierung ... 16
3.2.1.2 Marktvolumen und –potential ... 16
3.2.1.3 Wettbewerb ... 18
3.2.2 Einzelbewertung ... 19
3.3 FuE-Ansatz 3: Hochleistungskunststoffe ... 19
3.3.1 Der Markt ... 19
3.3.1.1 Marktabgrenzung und –segmentierung ... 19
3.3.1.2 Marktvolumen und –potential ... 20
3.3.1.3 Wettbewerb ... 22
3.3.2 Einzelbewertung ... 23
3.4 Gesamtwirtschaftliche Betrachtung und Bewertung des Innovationsportfolios ... 23
4 Vorgehen zur Entwicklung von Verwertungskonzepten sowie zum Aufbau des Innovationslabors ... 25
4.1 Darstellung der derzeitigen Transferstrukturen am IPF ... 25
4.2 Transferprozesse und Verwertung im Rahmen von ForMaT ... 26
4.2.1 Das Innovationslabor ‚MoRe-PTFE' ... 26
4.2.1.1 Aufbau des Innovationslabors ... 26
4.2.1.2 Umsetzung des Innovationslabors ... 27
4.2.2 Verwertung der FuE-Ergebnisse aus dem Innovationslabor ‚MoRe-PTFE' ... 29
4.3 Abgeleitete Empfehlungen zur Entwicklung eines Transfersystems ... 32
5 Zusammensetzung und Aufgabenverteilung für die Projektunterstützung sowie die Forschungsgruppen ... 32
5.1 MoRe-PTFE-Team 1: Bestrahlungstechnik ... 33
5.2 MoRe-PTFE-Team 2: Hochleistungsschmierstoffe ... 34
5.3 MoRe-PTFE-Team 3: Hochleistungskunststoffe ... 34
5.4 Projektunterstützung ... 35
6 Beschreibung der Arbeits-, Zeit- und Meilensteinplanung ... 36
7 Kosten- bzw. Ausgabenplanung ... 40

Abkürzungsverzeichnis

AB	Aufgabenbereich
ABS	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymere
AG	Aktiengesellschaft
AP	Arbeitspaket
bes.	besondere
BP	Businessplan
bzw.	beziehungsweise
Co.	Corporated
e. D.	eigene Darstellung
e. V.	eingetragener Verein
Dipl.-Chem.	Diplom-Chemiker
Dipl.-Ing.	Diplom-Ingenieur
DM	Dispergiermittel
€	Euro
FEP	Perfluorethylenpropylen
FFD	Freudenberg Forschungsdienste KG
FhG	Fraunhofer Gesellschaft
FuE	Forschung und Entwicklung
FPK	Forschungsplanung und Koordinierung
ggf.	gegebenenfalls
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GWT	Gesellschaft für Technologie- und Wissenstransfer
GRW	Gebrüder Reinfurt Würzburg GmbH & Co. KG
HPP	High Performance Polymers (Hochleistungspolymere)
i. d. R.	in der Regel
i. H. v.	in Höhe von
Inc.	Incorporated
IG KURIS	Interessengemeinschaft Kunststoffrecycling Sachsen e. V.
ILK	Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik
IMA	Institut für Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH
IPB	IP Bewertungs AG
IPF	Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V.
kg	Kilogramm
KG	Kommanditgesellschaft
KKZ	Kunststoff-Kompetenzzentrum Halle-Merseburg
Ltd.	Limited
LoI	Letter of Intent
LVR	Landesverband der Recyclingwirtschaft Sachsen e. V.
MA	Mitarbeiter
Ma.-%	Masseprozent
Mio.	Millionen
MP	Mikropulver
MP-K	Funktionalisiertes Mikropulver-Kommerziell
MP-R	Funktionalisiertes Mikropulver-Recyclat
MP-S/E	Funktionalisiertes Mikropulver-Suspensionspolymerisat/Emulsionspolymerisat
MPa	Megapascal
MoRe-PTFE	Modifiziertes und Recyceltes Polytetrafluorethylen
MoS_2	Molybdändisulfid
Mrd.	Milliarden
MS	Meilenstein

n	Stichprobenumfang
p. a.	per annum
PA	Polyamid
PAEK	Polyaryletherketon
PAI	Polyamidimid
PC	Polycarbonat
PCTFE	Polychlortrifluorethylen
PE-HD	Polyethylen mit hoher Dichte
PE-LD	Polyethylen mit niedriger Dichte
PETFE	Polyethertrifluorethylen
PEEK	Polyetheretherketon
PEKK	Polyetherketonketon
PEI	Polyetherimid
PFA	Perfluoralkoxy-Polymere
PI	Polyimid
PIZ	Patentinformationszentrum
PKW	Personenkraftwagen
PLC	Private Limited Company
PMI	Polymethacrylimid
PMMA	Polymethylmethacrylat
POM	Polyoxymethylen
PP	Polypropylen
PPA	Polyphthalamid
PPE	Polyphenylenether
PPP	Public-Private-Partnership
PPS	Polyphenylensulfid
PS	Polystyrol
PTFE	Polytetrafluorethylen
PVC	Polyvinylchlorid
PVDF	Polyvinylidenfluorid
REACh	Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals
S.	Seite
SKZ	Süddeutsches Kunststoffzentrum
t	Tonnen
Techn. MA	Technischer Mitarbeiter
Tsd.	Tausend
TUD	Technische Universität Dresden
u. a.	unter anderem
UMSICHT	Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik
v. a.	vor allem
WGL	Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz
Wiss. MA	Wissenschaftlicher Mitarbeiter
WHZ	Westsächsische Hochschule Zwickau
z. B.	zum Beispiel

1 Thema und Gesamtziel des Vorhabens sowie der Einzelprojekte in den Forschungsgruppen

1.1 Zusammenfassung

Das Innovationslabor ‚Modifiziertes und Recyceltes Polytetrafluorethylen (PTFE)' erschließt auf dem Gebiet ‚Neue Materialien' die Möglichkeiten zur Entwicklung und Verwertung einer völlig neuartigen Generation von PTFE-basierten Hochleistungsschmierstoffen und Hochleistungskunststoffen, in der die herausragenden tribologischen Eigenschaften von PTFE optimal zur Wirkung gelangen.

Die Aufgabe des Innovationslabors besteht darin, PTFE mittels eines speziellen Verfahrens aus Recyclaten und partiell Neuware aufzubereiten und durch das vom Antragsteller patentierte Prinzip der chemischen PTFE-Kopplung in einer bisher nicht erreichten Qualität in Hochleistungsschmierstoffe (Öle, Fette, Wachse, Gleitlacke) und Hochleistungskunststoffe (v. a. für Lager, Dichtungen) einzubinden. Durch die chemische Kopplung werden Probleme überwunden, die in allen bisherigen PTFE-basierten Tribomaterialien aufgrund der rein physikalischen Wechselwirkung zwischen den Komponenten auftreten und sich begrenzend auf die tribologische Leistungsfähigkeit auswirken. Mit dem Einsatz von PTFE-Recyclaten wird das Schließen von Stoffkreisläufen mit der Entwicklung neuer innovativer Produkte auf dem Gebiet der fluorhaltigen Hochleistungs- und Spezialwerkstoffe verbunden. Das führt zur Kostensenkung und liegt im Interesse einer ressourcen- sowie energieeffizienten und damit nachhaltigen Entwicklung. Der Kapitalbedarf für die Entwicklungsarbeiten mit hohem Verwertungspotential beträgt 1,731 Mio. €.

In drei Forschungsbereichen erstrecken sich die Entwicklungsarbeiten von der strahlenchemischen Aufbereitung von PTFE-Materialien zu funktionalisierten Mikropulvern mit maßgeschneiderten Eigenschaften (Team 1), über deren chemische Kopplung und Einbindung in Hochleistungsschmierstoffe (Team 2) und Hochleistungskunststoffe (Team 3) im Rahmen partiell zu entwickelnder effektiver Herstellungsverfahren bis hin zur Anpassung der Produkte an die Marktbedürfnisse. Dabei werden die Entwicklungsarbeiten in den 3 Teams integrativ durch die betriebswirtschaftliche Projektunterstützung begleitet.

Die sich an die Projektarbeiten anschließende Verwertung soll aus heutigem Blickwinkel auf zwei Wegen erfolgen: a) die Ausgründung und b) eine auf Zeit und Gegenstand begrenzte Lizenzvergabe, wobei der Schwerpunkt in der Unternehmensgründung gesehen wird.

1.2 Thema und Gesamtziel des Vorhabens

Ziel des Vorhabens ist die Entwicklung marktrelevanter Hochleistungsschmierstoffe und Hochleistungskunststoffe auf der Basis von chemisch modifizierten PTFE-Mikropulvern, die aus funktionalisierten PTFE-Recyclaten sowie Suspensions- bzw. Emulsionspolymerisaten (Neuware) gewonnen werden.

Als **Schwerpunkt des Innovationslabors** werden Entwicklungsarbeiten zur:

1. Aufbereitung und definierten strahlenchemischen Funktionalisierung von PTFE-Recyclaten sowie PTFE-Suspensions- und Emulsionspolymerisaten,
2. chemischen Modifizierung von funktionalisierten PTFE-Mikropulvern unter Bildung neuartiger Öle, Fette und Gleitlacksysteme mit sehr guten tribologischen Eigenschaften,
3. chemischen Modifizierung von funktionalisierten PTFE-Mikropulvern unter Bildung neuer Hochleistungskunststoff-PTFE-Compounds mit sehr guten tribologischen Eigenschaften

durchgeführt. Die Prozesse werden verfahrenstechnisch abgesichert und damit die Voraussetzungen geschaffen, um erste Produkte an den Markt heranzuführen.

Die dem Ziel des Gesamtvorhabens zugrunde liegenden FuE-Ansätze sind das Ergebnis des Potentialscreenings im Rahmen der ForMaT-Phase 1. Bewertungsgrundlage waren dabei ne-

ben der technisch/technologischen Machbarkeit die mittels empirischer Methoden erhaltenen Ergebnisse zum späteren Vermarktungspotential. Die Erhebung der Informationen erfolgte durch einen Mix verschiedener Methoden (18 Fragebögen, 18 Expertengespräche mit 33 Experten, 4 Telefoninterviews, 12 Marktstudien, 6 interne und ein externer Workshop, 4 Beratungsleistungen, Primär- und Sekundärliteratur, Teilnahmen an Fachveranstaltungen, Foren, Seminaren).

1.3 Einführung

Polytetrafluorethylen, bekannt unter der Marke Teflon®, übertrifft in seinen exzellenten Antihafteigenschaften alle anderen Werkstoffe. Neben sehr guter chemischer und thermischer Beständigkeit sowie toxikologischer Unbedenklichkeit nutzt man das Eigenschaftsprofil von PTFE in speziellen Anwendungen, in denen das Material in vielfältigster Weise zum Einsatz kommt. Das Eigenschaftsbild des PTFE leitet sich unmittelbar aus der hohen Bindungsenergie zwischen Kohlenstoff und Fluor ab. Hierauf basieren einerseits die extrem minimierte Affinität gegenüber fast allen anderen Medien, andererseits auch schwache Bindungskräfte der Polymerketten untereinander. Aufgrund der geringen ‚Affinität zu sich selbst' sind die Molekülschichten leicht gegeneinander zu verschieben (Kaltfluss). Die Folge dieser bindungsenergetischen Eigenschaft ist, dass PTFE kaum an anderen Materialien haftet, sich als Pulver schlecht in Flüssigkeiten oder Schmelzen dispergieren lässt und als homogener Körper bspw. bei längerer, gleichartiger Belastung sichtbar verschleißt. Hierin liegen die Grenzen dieses Werkstoffes.

Um das Verhältnis der stoffspezifischen Vor- und Nachteile im Hinblick auf konkrete Anwendungsfälle positiv zu beeinflussen, gehen aktuelle Trends in Richtung Mehrkomponentensysteme, in denen einerseits dem PTFE Füllstoffe zugesetzt werden (PTFE als Matrix) und andererseits PTFE in andere Materialien eingebracht wird (Zweitkomponente als Matrix). Im Rahmen des ForMaT-Projektes wird nur der letzte Ansatz verfolgt.

Da PTFE auf Grund seiner hohen Molmasse bzw. Schmelzeviskosität nicht als Schmelze verarbeitet werden kann, wird versucht, dieses als Mikropulver in andere Materialien einzuarbeiten. Doch diese bislang in der Industrie eingesetzten physikalischen Mischungen sind nicht ausreichend stabil:

- in Dispersionen kommt es zu Entmischungserscheinungen und Agglomeration des Pulvers,
- in Kunststoffcompounds werden die PTFE-Partikel von der Oberfläche her durch Verschleißmechanismen allmählich entfernt.

Folglich gehen die vorteilhaften Eigenschaften des PTFE dem Gesamtsystem nach einer gewissen Nutzungsphase verloren.

Die vom Antragsteller patentierten Methoden zur chemischen Modifizierung von PTFE eröffnen grundlegend neue Möglichkeiten, das Material in andere Matrizes einzubinden. Durch das Prinzip der Funktionalisierung durch Bestrahlung und einer nachfolgenden chemischen Kopplung mit dem umgebenden Medium können stabile Dispersionen und Kunststoffcompounds erhalten werden.

Unterschiedliche tribologische Belastungstests mit Materialien auf Basis von chemisch modifiziertem PTFE lieferten sehr gute Ergebnisse und übertrafen die Werte kommerzieller Vergleichssysteme in einigen Fällen um ein Mehrfaches.

1.4 Das Innovationslabor – die 2. Phase des ‚MoRe-PTFE'-Projektes

Die chemische Modifizierung von PTFE birgt Möglichkeiten für vielfältigste Anwendungen. Im Rahmen des Potentialscreenings in der zurückliegenden Phase 1 des Projektes wurden 3 verwertungsrelevante Forschungsansätze mit besonders hohem Technologie- und Wirtschaftsprofil identifiziert. Im Innovationslabor werden diese FuE-Ansätze von jeweils einer Forschungsgruppe (Team) weiterverfolgt und unter Mitwirkung der Projektunterstützung zur Vermarktung vorbereitet. Darüber hinaus wird der Stab Forschungsplanung und Koordinie-

rung des IPF in transferrelevanten Fragestellungen das Projekt unterstützen. Die Einbeziehung der drei in das Innovationslabor eingebundenen externen Beratungscluster ‚Transferberatung', ‚Externe FuE' und ‚Industrie' gewährt eine kontinuierliche und unverbindliche Einbindung externer Forschungs- und Marktexpertisen in die Projektarbeiten (Kapitel 4.2.1.1).
In allen 3 Forschungsansätzen werden Technologien weiterentwickelt, deren prinzipielles Funktionieren umfassend belegt ist und welche die Grundlage von derzeit 11 aktiven Patenten[1] und zahlreichen Veröffentlichungen darstellen. Inhaltlich bildet der FuE-Ansatz 1 eine wesentliche Grundlage für die voneinander partiell unabhängigen Ansätze 2 und 3.
Der Schwerpunkt der Entwicklungen geht in Richtung völlig neuartiger, leistungsfähiger, tribologischer Materialien[2] hoher Originalität, also in Richtung Schmiermittel, Gleitlacke und verschleißfeste Kunststoffe. Hier werden die technischen und kommerziellen Perspektiven von chemisch modifiziertem PTFE gesehen.
Folgende Themen und Zielstellungen werden in den einzelnen Forschungsansätzen verfolgt:
<u>Team 1 - Bestrahlungstechnik:</u> Aufbereitung und definierte strahlentechnische Funktionalisierung von PTFE-Recyclaten sowie PTFE-Suspensions- und Emulsionspolymerisaten.
Die Aufgabenstellung umfasst die

- Aufbereitung von PTFE-Abfällen aus der spanenden Verarbeitung zu Mikropulvern mit eingestellter Funktionalität (funktionalisiertes Mikropulver-Recyclat: MP-R),
- Herstellung von funktionalisierten Mikropulvern aus kommerziell bezogenen PTFE-Polymerisaten (Neuware) durch Bestrahlung und, wenn erforderlich, durch anschließende Vermahlung und Klassierung (funktionalisiertes Mikropulver Suspensions-/Emulsionspolymerisat: MP-S/E).

Ziel ist die kostengünstige Bereitstellung verschiedener rieselfähiger PTFE-Mikropulver bestimmter Funktionalität, Korngröße und Korngrößenverteilung für die FuE-Ansätze 2 und 3 und gegebenenfalls der Transfer in eine direkte kommerzielle Verwertung zu wettbewerbsfähigen Preisen.
<u>Team 2 - Hochleistungsschmierstoffe:</u> Chemische Modifizierung von funktionalisierten PTFE-Mikropulvern zur Bildung leistungsfähiger Öle, Fette, Wachse und Gleitlackzubereitungen.
Die Aufgabe besteht in der chemischen Modifizierung von ausgewählten funktionalisierten PTFE-Mikropulvern v. a. durch flüssigkeits- bzw. schmelzearme reaktive Extrusion mit Ölen, Fetten, Wachsen oder Gleitlackbindemitteln unter Herstellung von chemisch gekoppelten (cg), öl-, fett-, wachs- und gleitlackbindemittelverträglichen PTFE-Pasten und deren Konfektionierung zu Ölen, Fetten und Wachsen bzw. Öl-, Fett- und Wachskonzentraten sowie Gleitlackformulierungen.
Ziel ist die Entwicklung von effektiven Modifizierungsverfahren und die Herstellung verwertbarer PTFE-basierter Öl-, Fett-, Wachs- und Gleitlackzubereitungen mit herausragenden tribologischen Eigenschaften.
<u>Team 3 - Hochleistungskunststoffe:</u> Chemische Modifizierung von funktionalisierten PTFE-Mikropulvern unter Bildung neuer Hochleistungskunststoff-PTFE-Compounds mit herausragenden Gleitreibungs- und Verschleißeigenschaften.
Die Aufgabe besteht in der chemischen Modifizierung von ausgewählten funktionalisierten PTFE-Mikropulvern durch Schmelzeextrusion mit Hochleistungskunststoffen unter Herstellung von chemisch gekoppelten Hochleistungskunststoff-PTFE-Compounds. Ziel ist die Entwicklung von effektiven Modifizierungsverfahren und die Herstellung verwertbarer Hochleistungskunststoff-PTFE-Compounds mit herausragenden tribologischen Eigenschaften.

---

[1] DE 198 2 609 / PCT/EP 99 03303, DE 101 48 909 / PCT/EP 02/027172, DE 103 26 058, DE 103 51 814 / PCT/EP 2004/052619, DE 103 51 813 / PCT/EP 2004/052620, DE 103 51 812 / PCT/EP 2004/052621, DE 10 2004 016 873 / PCT/EP 2005/051376, DE 10 2004 016 876 / PCT/EP 2005/051377, DE 10 2004 051 289, DE 10 2005 054 612, DE 10 2006 041 511, DE 10 2006 041 512.

[2] Tribomaterialien sind Materialien, die Anwendung in tribologischen Systemen (Tribosysteme) finden. Tribosysteme sind Systeme mit bewegten Oberflächen. Hierzu gehören Aufgaben wie Bewegungsübertragung, Kraft- und Energieübertragung, Abdichtung etc. Beispiele für Tribosysteme sind Kunststoffzahnräder, Dichtungen, Gleitlager, Beschichtungen etc. Siehe hierzu Möller, J. U.; Nassar, J. (2002): Schmierstoffe im Betrieb, Berlin u. a., S. 3.

Der Weg zur Verwertung von FuE-Ergebnissen ist insbesondere im Bereich der Materialentwicklung mit langfristigen Überführungsarbeiten verbunden. Im Anschluss an die Umsetzung des Innovationslabors sind auf Gegenstand und Zeit begrenzte Lizenzvergaben an Unternehmen nicht auszuschließen. Eine Ausgründung aus dem IPF heraus wird allerdings favorisiert.

2 Die Forschungsansätze und Stand der Technik

2.1 FuE-Ansatz 1: Bestrahlungstechnik

Methode und Ausstattung

Mittels Beta- und Gammastrahlung und begleitender Aufbereitungsverfahren werden in diesem FuE-Ansatz aus kostengünstig bezogenen PTFE-Recyclaten (sortenreine Dreh- und Frässpäne aus der Verarbeitung von PTFE-Halbzeugen) und PTFE-Polymerisaten (Neuware) funktionalisierte PTFE-Mikropulver (MP-R und MP-S/E) hergestellt, charakterisiert und konfektioniert. Die verschiedenen Chargen bilden mittelfristig die stoffliche Grundlage der FuE-Ansätze 2 und 3. Die Erweiterung der Untersuchungen auf PTFE-Neuware ist erforderlich, um in einzelnen Anwendungen höchste Qualitätsanforderungen erfüllen zu können.

Die in Bestrahlungsgefäßen deponierten Recyclate (vorgemahlen) bzw. PTFE-Polymerisate durchlaufen eine spezielle Bestrahlungsanlage, in der sie, abhängig vom Bestrahlungsgut, unterschiedlich bestrahlt werden. Hierdurch verbessert sich die Vermahlbarkeit (Realisierung eines geringeren mittleren Partikeldurchmessers) und es entstehen reaktionsfähige funktionelle Gruppen am PTFE (Funktionalisierung). Beides stellt die entscheidende Voraussetzung für die in den FuE-Ansätzen 2 und 3 durchzuführende chemische Modifizierung dar. Nach der Bestrahlung und Vermahlung werden die Pulver hinsichtlich der Zielparameter (Tabelle 1) charakterisiert und konfektioniert. In Abbildung 1 ist das Verfahrensschema dargestellt.

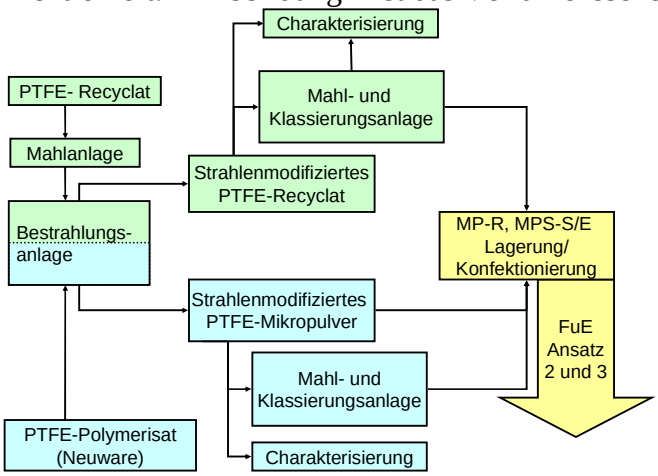

Abbildung 1: Verfahrensschema Bestrahlungstechnik

Die Arbeitsgruppe hat die Prozessabläufe und Verfahrenssteuerung dahingehend zu entwickeln, dass Funktionalisierung und Korngrößen/Korngrößenverteilung von MP-R und MP-S/E definiert und reproduzierbar eingestellt werden können. Damit beschränken sich die Entwicklungsarbeiten nicht nur auf den unmittelbaren Bestrahlungsprozess sondern auch auf vor- und nachbereitende Behandlungsstufen einschließlich Bedingungen und Dauer der Lagerung. Aus jetziger Sicht werden folgende Parameter anvisiert (Tabelle 1):

Zielparameter FuE-Ansatz 1	Größenordnung
Spinzahl/g	0,01 – 2 E + 18
Molekulargewicht	50.000 – 500.000 g/mol
Mittlere Partikelgröße; x_{50}	3 – 10 µm
Spezifische Oberfläche	1 – 30 m^2/g
Säuregehalt	2 – 50 µmol [COOH]/g

Tabelle 1: Zielparameter für MP-R und MP-S/E

Die Bestrahlung der Materialien wird auf der institutseigenen Bestrahlungsanlage durchgeführt, die von Beta- auf Gammastrahlung umgerüstet werden kann. Die Bestrahlungsanlage besitzt eine Kapazität von 5 bis 25 kg PTFE pro Tag. Hiermit kann der Bedarf während der überwiegenden Bearbeitungszeit der FuE-Ansätze 2 und 3 abgedeckt werden. Punktuell sind größere PTFE-Mengen notwendig (Großserien, Scaling up). In diesem Fall wird auf Dienstleister zurückgegriffen. Der Neukauf einer Mahl- und Siebanlage ist erforderlich.

Stand der Technik

Da PTFE nicht mit klassischen, für Thermoplaste üblichen Verfahren verarbeitet werden kann, wird es Sinter- bzw. Presssinterprozessen unterzogen, bei denen vor allem aus Suspensionspolymerisaten Halbzeuge hergestellt werden. Die abschließende Formgebung erfolgt bei diesen häufig mittels spanabhebender Verfahren[3]. Die Späne können je nach Komplexität des Bauteils bis zu 30 Ma.-% betragen und stellen einen erheblichen Teil der anfallenden PTFE-Abfallmenge dar.

Außerdem fällt PTFE u. a. als Abfall aus der Bandherstellung oder in compoundierter Form, z. B. mit Glasfaser gefüllt, an.

Die Beseitigung von PTFE-Abfällen ist problematisch. Die Deponien sind in Deutschland bereits heute und mittelfristig in der gesamten EU für solche Sonderabfälle geschlossen[4]. Auf Grund des Fluorgehaltes und der hohen chemischen Stabilität erweisen sich viele Recyclingverfahren als unrentabel oder nicht praktikabel. Biologische Methoden scheiden aus, da PTFE nicht durch Mikroorganismen abgebaut wird. Bei der Verbrennung entstehen toxische Verbindungen, die aufwendig abgetrennt und entsorgt werden müssen. Es gibt thermische Recyclingverfahren, bei denen das Material mit hohen Kosten bis in molekulare Dimensionen abgebaut wird. Die kommerzielle Zurückgewinnung des Kunststoffes aus sortenreinem PTFE wird in Deutschland zwar durch ein säurebasiertes Waschverfahren und anschließende Vermahlung betrieben (Mikro-Technik GmbH)[5]. Da die Pulver jedoch mit klassischen Technologien nicht zufriedenstellend weiterverarbeitet werden können, ist der Recycler gezwungen, daraus Halbzeuge zu fertigen und das Recyclat in dieser Form zu verkaufen.

Nach den Recherchen des Antragstellers wird kommerzielles PTFE-Recycling mittels Bestrahlung bisher weltweit noch nicht vorgenommen. Dem im Projekt verfolgten Ansatz einer Wiederverwendung virginaler PTFE-Abfälle kommt deshalb eine besondere Bedeutung zu. Hervorzuheben ist, dass hier sowohl Recycling von Abfall als auch die Funktionalisierung für die spezifische Weiterverarbeitung in den FuE-Ansätzen 2 und 3 in einem einzigen Verfahrensschritt durchgeführt werden und Grundlage für eine hohe Wertschöpfung darstellen.

Die Empfindlichkeit von PTFE gegenüber ionisierender Strahlung wurde bereits in den fünfziger Jahren festgestellt, als es darum ging, geeignete Materialien für den Kernreaktorbau zu finden. Durch die Bestrahlung von PTFE mit energiereichen Elektronen oder Gammastrahlen werden vorwiegend in den amorphen Bereichen des Kunststoffes radikalische Bindungsbrüche verursacht, aus denen bei Luftzutritt erheblicher Molmassenabbau, verschiedene Funktionalisierungen und erhöhte Kristallinität resultieren. Während molekularer Abbau und Kristallinität für eine bessere Vermahlbarkeit der bestrahlten PTFE-Späne beitragen, stellt die exakt eingestellte Funktionalisierung eine grundlegende Voraussetzung für die chemische Kopplung von PTFE mit anderen Molekülen dar. Die prozesstechnisch steuerbare Funktionalisierung wird benötigt, um die in den FuE-Ansätzen 2 und 3 zu entwickelnden Verfahren einer gezielten chemischen Modifizierung der Partikeloberfläche zu realisieren.

Einige PTFE-Produzenten nutzen die strahleninduzierten Abbauprozesse, um besonders feine PTFE-Mikropulver herzustellen. Hierbei geht es jedoch nicht darum, Restradikalgehalte bzw. Funktionalisierungen gezielt einzustellen.

---

[3] Schlipf, M.; Schuster, M. (2007): Konstruieren mit PTFE, S. 7

[4] Stellungnahme und Beratungsleistung des Geschäftsführers der Interessengemeinschaft Kunststoffrecyclinginitiative Sachsen e. V. (IG-KURIS) und zugleich stellvertretenden Geschäftsführers des Landesverbandes der Recyclingwirtschaft Sachsen e. V. (LVR) zum For-MaT-Projekt ‚MoRe-PTFE' vom 14.04.2008.

[5] Ergebnis eines Telefoninterviews mit einem Vertreter der Firma Mikro-Technik GmbH am 11.03.2009

Die mechanistischen und strukturellen Aspekte des strahleninduzierten Polymerabbaus mittels energiereicher Elektronen und Gammastrahlen wurden seit den siebziger Jahren auch unter dem Aspekt des Recyclings von PTFE-Abfallspänen am IPF (vormals Institut für Technologie der Fasern der AdW der DDR) intensiv untersucht und dokumentiert[6].
Diese Methode wurde hinsichtlich verfahrenstechnischer und wirtschaftlicher Gesichtspunkte von der Studer Draht- und Kabelwerke AG, Däniken/Schweiz untersucht und 1994 publiziert[7]. Sortenreine Pulver, Späne oder Stäbe wurden dabei mittels Gammaquelle mit 200 bis 400 kGy behandelt. Die in Polyethylentüten verpackten Abfälle wurden in Polyester- oder Aluminiumgefäßen deponiert und der entstehende Fluorwasserstoff abgesaugt oder mittels Soda neutralisiert.
Bei einer Dosis von bspw. 300 kGy entstand aus hochmolekularem PTFE ein Material mit einer mittleren Molmasse von 50.000 bis 400.000 g/mol. Nach anschließender Vermahlung konnte ein freifließendes sowie rieselfähiges Produkt erhalten werden, welches PTFE-Neuware ähnlich war. Gefüllte Materialien, darunter auch glasfaserverstärkte Typen, waren für den Aufbereitungsprozess jedoch nicht geeignet.
Das PTFE-Polymerisat, welches als zweite Grundstoffkomponente des FuE-Ansatzes in die Untersuchungen einbezogen wird, weist gegenüber den Recyclaten eine höhere Kristallinität auf, da es keine Sinter- bzw. Presssinterverfahren durchlaufen hat.
Das Motiv, durch Bestrahlung eine bestimmte chemische Funktionalität von PTFE-Mikropulvern gezielt einzustellen und diese als Grundlage für nachfolgende Modifizierungsreaktionen zu nutzen, wurde bisher ausschließlich am IPF verfolgt und führte zu zahlreichen Publikationen und Patenten. Für die Modifizierungsprozesse der FuE-Ansätze 2 und 3 ist es wichtig, die Bestrahlungsverfahren so zu steuern, dass die PTFE-Moleküle freie Radikale und/oder Carbonsäuregruppen aufweisen.
Die durch die Bestrahlung hervorgerufenen Bindungsbrüche finden sowohl in den C-C-Bindungen der Kohlenstoffhauptkette als auch den C-F-Bindungen statt. Hierbei entstehen primäre und sekundäre Perfluoralkyl- und Fluorradikale, wovon der größte Teil einer schnellen Rekombinationsreaktion unterliegt. Bei Anwesenheit von Luftsauerstoff können sich diese Radikale jedoch unter Bildung von Peroxyradikalen stabilisieren, welche über eine wesentlich längere Lebensdauer verfügen. Weiterhin kommt es zur Entstehung von Carbonylfluoridgruppen, die bei Feuchtigkeitseinfluss schnell zur Carbonsäure umgesetzt werden. Wenn atmosphärische Bedingungen vorliegen, läuft der Prozess unter Freisetzung von Fluorwasserstoff ab.
Menge, Art und Ort der gebildeten funktionellen Gruppen sowie deren Lebensdauer hängen von Dosis, Dosisleistung, Gasumgebung sowie der Verfahrenstechnologie und der anschließenden Lagerung ab. Deren gezielte Parametrisierung und Prozesssteuerung sind wesentlicher Untersuchungsgegenstand des FuE-Ansatzes 1.

2.2 FuE-Ansatz 2: Hochleistungsschmierstoffe

Methode und Ausstattung

Die aus dem Arbeitsbereich der Bestrahlungstechnik bezogenen funktionalisierten PTFE-Mikropulver (in der ersten Projektphase wird zunächst auf kommerziell bezogene bestrahlte Mikropulver zurückgegriffen) werden in diesem Arbeitsbereich mit ungesättigten Ölen, Fetten, Wachsen und Gleitlackbindemitteln (im Folgenden zusammen als Dispersionsmittel = DM bezeichnet) zu chemisch modifizierten PTFE-Mikropulvern und feststoffreichen PTFE-Pasten umgesetzt.
Während der Umsetzung kommt es zu chemischen Reaktionen zwischen den zugänglichen funktionellen Gruppen der PTFE-Partikel und DM-Molekülen, in deren Folge kovalente Bindungen zwischen ihnen ausgebildet werden (Abbildung 2).

[6] Lunkwitz, K. et.al. (1979): Zum Abbau von Polytetrafluorethylen durch energiereiche Strahlung in inerter Atmosphäre. In Plaste und Kautschuk 26 (1979) S. 318. Lunkwitz, K. et al. (1983): Vergleichende Untersuchungen zur Einwirkung energiereicher Strahlung auf Perfluoralkane und Polytetrafluorethylen. In Acta Polymerica 34 (1983) S.76. Institut für Technologie der Fasern (1979): Zum Recycling von PTFE in der DDR, Studie.
[7] Lee, D.W. (1994): Ionisierende Strahlen machen PTFE-Abfälle wieder verwertbar. In Kunststoffe 84 (1994) S. 3

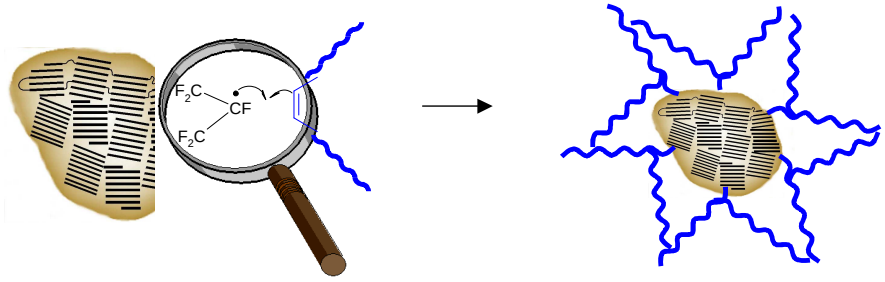

Abbildung 2: Die chemische Reaktion zwischen oberflächlichen PTFE-Radikalen und der Doppelbindung eines ungesättigten Öles

Während die PTFE-Partikel zuvor gegenüber dem DM nur wenig verträglich waren, besitzen sie nun eine dem DM ähnliche chemische Oberfläche. Die Grenzflächenspannung zwischen beiden Komponenten sinkt, Agglomerationen werden vermieden und aus feinstverteilten PTFE-Mikropulvern können schließlich stabile Dispersionen gebildet werden.
Durch die Verwendung von chemisch modifiziertem PTFE-Mikropulver in verschiedenen DM kommt es zu einer nachweisbaren Leistungssteigerung in Bezug auf das Verschleißverhalten der tribologischen Systempartner, was sich in einer Verlängerung der jeweiligen Standzeiten und Gesamtlebensdauer, eines effektiveren Materialeinsatzes und somit einer höheren ökonomischen Effizienz widerspiegelt.
Der Schwerpunkt der Entwicklungsarbeiten basiert auf einem kontinuierlichen flüssigkeits- und schmelzearmen Extrusionsprozess. Vergleichbare Verfahren mit analoger Zielsetzung sind bisher nicht bekannt. PTFE-Mikropulver und DM werden bei definierter Temperatur in einer Mischanlage (z. B. Kneter) zu einer Paste vorgemischt, wobei minimaler Einsatz des DM angestrebt wird. Anschließend wird die Paste bei Reaktionstemperatur extrudiert und das PTFE dabei mit dem DM chemisch gekoppelt. Je nach Markterfordernissen wird das Material in dieser Form abgegeben oder anschließend mit weiterem DM dispergiert, ggf. additiviert und konfektioniert.
Parallel zur kontinuierlichen Verfahrensentwicklung sind Umsetzungen in einem thermostatisierbaren Ultraturrax-Rührreaktor vorgesehen. In diesem diskontinuierlichen Prozess finden die Reaktionen in einem deutlichen DM-Überschuss statt, ggf. gleich in den Konzentrationen, die den potentiellen Kundenwünschen entsprechen. Die Projektarbeiten zum Rührreaktor-Verfahren ermöglichen eine flexible Maßstabsvergrößerung der Laborversuche (siehe Arbeitsplan). Darüber hinaus sollen sie perspektivisch absichern, schnell mit Kleinmengen auf spezifische Marktanforderungen reagieren zu können.
Die neuen Hochleistungsschmierstoffe sollen sich durch definierte Reibwerte auszeichnen, d. h. Reibwerte, die quasi unabhängig von Belastung und/oder Temperatur bis zur unteren Temperatureinsatzgrenze von –40 °C nahezu konstant sind. Um Korrosionsprozesse zu unterdrücken, sollen die neuen Gleitlacksysteme eine möglichst undurchlässige Beschichtung von Werkstoffoberflächen ermöglichen, was durch den Einsatz von optimierten PTFE-Mikropulvern (maßgeschneidert hinsichtlich Partikelgröße und Funktionalisierung) und deren chemische Kopplung an das DM erreicht werden kann. Probleme im Zusammenhang mit Durchlässigkeit gegenüber Atmosphärilien und nachfolgender Korrosion sind bei der Mehrzahl der marktüblichen Gleitlacke bisher nicht hinreichend gelöst[8].
Die Entwicklungen der FuE-Ansätze 2 und 3 basieren ab dem 8. Bearbeitungsmonat auf der ständigen Verfügbarkeit eines Doppelschneckenextruders. Durch Neuanschaffung des IPF-Technikums steht ab 3/2010 ein abgeschriebener, aber funktionstüchtiger Extruder (ZSK 30) aus Altbeständen ausschließlich für die Projektarbeiten zur Verfügung. Dosier- und Nachfolgeeinrichtungen müssen zugekauft werden. Für die erste Projektphase kann ein geliehener Rührreaktor zeitlich begrenzt genutzt werden, die Rückgabe erfolgt 4/2010. Aus diesem Grund ist der Erwerb eines Rührkessels, ausgeführt als 250 l-Doppelmantelgefäß einschließ-

[8] Ergebnis einer Beratungsleistung eines Experten der Westsächsischen Fachhochschule Zwickau (WHZ), Fachbereich Tribotechnik am 16.04.2009 in Dresden

lich Ultraturrax, unumgänglich. Ein Thermostat zur Temperierung dieses Kessels ist bereits vorhanden. Für die Projektbearbeitung ist die Neueinrichtung eines Kleintechnikums vorgesehen. Für die Umrüstung und Installationskosten werden Haushaltsmittel des IPF herangezogen.

Stand der Technik

Hochleistungsschmierstoffe in Form von Ölen, Fetten, Wachsen und Gleitlacken werden dann eingesetzt, wenn an die Schmierung von Maschinen oder Maschinenelementen wie bspw. Lagern, Zahnrädern, Schienen, Ketten, Scharnieren besonders hohe Anforderungen gestellt werden (kritische Anwendungen).

Diese können sich aufgrund von sehr hohen Belastungen (z. B. auf Lager von Windrädern), extremen Korrosionsbedingungen (z. B bei chemischen Anlagen, maritimen Anwendungen), durch hohe Temperaturen bzw. breite Temperatureinsatzgrenzen, die Ausdehnung von Wartungsintervallen (dadurch Minimierung von Stillstandszeiten) bzw. Lebensdauerschmierung (fill-for-life), usw. ergeben.

Die Aufgaben der Schmierstoffe und somit auch der Hochleistungsschmierstoffe besteht primär in der gezielten Beeinflussung des Reibkoeffizienten und einer Verringerung von Reibung und Verschleiß. Darüber hinaus erweitert sich das Aufgabengebiet je nach Anwendungsfall um Funktionen wie Kraftübertragung, Kühlung, Schwingungsdämpfung, Dichtwirkung und Korrosionsschutz. Das Ergebnis ist ein geringerer Energieverbrauch, eine Erhöhung der Betriebssicherheit und der Systemverfügbarkeit sowie eine längere Lebensdauer der tribologisch beanspruchten Bauteile.

Durch diese positiven Effekte beim Einsatz von Hochleistungsschmierstoffen eröffnen sich neue technische Anwendungen, lassen sich Prozesse und Verfahren ökonomischer gestalten und sind bedeutende ökologische Vorteile generierbar.

Die primäre Aufgabe der Verschleißminimierung wird von den Hochleistungsschmierstoffen durch die beiden Basisstoffe Grundflüssigkeit und Additive erfüllt. Die Verschleißschutzwirkung von Schmierölen, -fetten, -wachsen kann dabei in Abhängigkeit vom chemischen Aufbau und den sich daraus ergebenden Eigenschaften (Gebrauchstemperaturbereich, Dichte, Walkpenetration, Grundölviskosität, scheinbare dynamische Viskosität etc.) stark variieren. In hohem Maße ist die Leistungsfähigkeit von der Polarität der Schmierstoffe und damit von deren Fähigkeit abhängig, die zu schmierenden Oberflächen mit einem stabilen, hoch belastbaren Schmierfilm zu benetzen (Haftfähigkeit).

Insbesondere bei Hochleistungsschmierstoffen (Definition siehe Kapitel 3.2.1.1) ist der Zusatz geeigneter Additive essentiell, um das Verschleißschutzvermögen weiter zu verbessern. Die Verschleißschutzadditive bilden bei Belastung (Druck, Temperatur, Gleitgeschwindigkeit) entweder reaktive oder adsorptive gleitfähige, feste Schutzschichten auf den zu schmierenden Oberflächen.

Als Verschleißschutzadditive fungieren in Hochleistungsschmierstoffen neben den klassischen AW- und EP-Additiven (anti wear / extreme pressure additives) auf Schwefel-, Phosphor- oder Chlorbasis auch Korrosionsinhibitoren und insbesondere folgende Festschmierstoffe: Graphit, Molybdändisulfid (MoS_2), ‚Weiße' Festschmierstoffe (CaO, $CaCO_3$, CaS, $Ca(OH)_2$ u. a.) und PTFE.

Die Schmierwirkung der kristallinen Festschmierstoffe Graphit und MoS_2 beruht auf deren Schichtgitterstruktur. Übereinander liegende Schichten im Gitter können aufgrund der nur schwachen Wechselwirkung zwischen den Ebenen gegeneinander bis zur Trennung verschoben werden[9]. Die Schmierwirkung von PTFE funktioniert im Prinzip analog. Infolge der schwachen Bindung zwischen den Polymerketten, können die Molekülschichten leicht gegeneinander verschoben werden. Infolgedessen bildet sich bei tribologischer Belastung nach kurzer Einlaufphase ein Schmierfilm. PTFE kommt als Additiv z. B. in hochwertigen Mineralölen in Form von runden mikronisierten PTFE-Teilchen zum Einsatz, die im Schmierfilm als gut haftende, füllende Kugellager arbeiten (z. B. NOVA PTFE OIL). Generell ist in allen bis-

[9] Wunsch, F.; Festschmierstoffe – Theorie und Praxis; ingenieur digest, Jahrgang 13, Heft 12, S. 10 ff.

herigen Systemen die Wechselwirkung zwischen PTFE und dem jeweiligen DM rein physikalisch.
Folgende Vorteile von PTFE als Festsschmierstoff in Hochleistungsschmierstoffen können genannt werden:

- Festschmierstoff mit dem niedrigsten Reibkoeffizient,
- in einem breiten Temperaturbereich (-200 bis 260 °C) einsetzbar,
- sehr gute Schmierfähigkeit,
- sehr gute Notlaufeigenschaften,
- keine Dunkelfärbung der Matrix (Vorteil gegenüber Graphit, MoS_2),
- gute Affinität zu fluorierten Ölen wie Perfluorierte Polyether (PFPE).

Die Nachteile von PTFE bei Einsatz als Feststoffadditiv in Schmierstoffen sind nahezu ausnahmslos auf die fehlende bzw. nur sehr schwache Affinität des PTFE zu anderen Stoffen zurückzuführen. Es verhält sich chemisch inert.
Das hat zur Folge, dass PTFE bei der bisher praktizierten physikalischen Beimischung zum DM vor allem in nichtfluorierten Ölen stark zur Sedimentation neigt (geringe Suspensionsstabilität in der Matrix). Bei Einsatz in Öl sind sehr hohe Verdickeranteile erforderlich. Darüber hinaus sind mit PTFE additivierte Schmieröle ungeeignet für mittlere bis hohe Drehzahlen, da es zur Abreicherung des Festschmierstoffes PTFE aus der Matrix kommt.
Umfassende Arbeiten des Antragstellers haben gezeigt, dass derartige Probleme durch Kompatibilisierung bzw. chemische Kopplung des PTFE an das Dispergiermittel vermindert bzw. überwunden werden können. Durch chemische Kopplung können langzeitstabile PTFE-Öl-Suspensionen mit gegenüber physikalischen Systemen deutlich verbesserten Eigenschaften (verringerte Sedimentation, leichteres Aufwirbeln, geringerer Verschleiß) erhalten werden. Der Antragsteller ist gegenwärtig auf dem Gebiet dieser PTFE-Spezialprodukte weltweit der einzige Bearbeiter und somit führend. Detaillierte Ergebnisse können der aktuellen Patent- und Fachliteratur entnommen werden[10].
Zu den Hochleistungsschmierstoffen gehören neben Ölen, Wachsen und Fetten auch Gleitlacke. Gleitlacke sind Suspensionen von Feststoffschmierstoffen in Lösungen von anorganischen oder organischen Bindern, die nach dem Aushärten auf den Werkstoffoberflächen einen festen, haftenden, trockenen Schmierfilm bilden.
Zum Aufbau von Gleitlacken werden eingesetzt:

- Festschmierstoffe, z. B. PTFE, Molybdändisulfid, Graphit oder eine Festschmierstoffkombination (MoS_2 und Graphit bei Metallen bei hohen Belastungen und niedrigen Gleitgeschwindigkeiten; PTFE bei Elastomeren, Gummi, Kunststoff, Holz oder wenn die schwarze Farbe von MoS_2 und Graphit unerwünscht ist)
- Bindemittel auf organischer Basis (PAI[11], Acryl-, Phenol-, Epoxydharze) oder anorganischer Basis (Silikate, Phosphate) als Einkomponenten- oder Mehrkomponentensysteme
- Lösemittel, organisch-hydrophob oder wassermischbar.

Gleitlacke werden genutzt**,** wenn Schmieröle oder Schmierfette wegen extremer Einsatztemperaturen, hohem Vakuum oder zu verhindernder Produktverschmutzung (Auslaufen aus der Schmierstelle) nicht oder nicht allein eingesetzt werden können. Die Hauptvorteile des Gleitlacks sind Sicherheit und Sauberkeit[12]. Im Getriebebau ist es üblich, dünne Gleitlackfilme auf die vorher entfetteten Zahnflanken aufzutragen. Nach Durchhärtung an der Luft erfolgt die eigentliche Öl- oder Fettschmierung. Das Beschichten von Zahnrädern mit Gleitlacken verbessert die Einlaufeigenschaften und vermindert Reibung und Verschleiß deutlich. An lang-

[10] Patentschrift DE 10 2007 055927.7. Lehmann, D. (2009): PTFE-Modifizierung über Pfropfreaktionen, Vortrag, Fachtagung Fluorpolymere des SKZ am 22./23.4.2009 in Würzburg.
[11] Patentschrift DE 69614160T2.
[12] Tribologie und Schmiertechnik, 47. Jg., 4/2000, S.25.

sam laufenden und wenig belasteten Zahnrädern mit kurzem Verschleißweg kommen Gleitlacke sogar als reine Trockenschmierfilme zur Anwendung.
Die Vorteile von Gleitlacken ergeben sich insbesondere daraus, die Oberflächen der Reibpartner vollständig zu trennen. Einsatzgrenzen für Gleitlacke sind i. d. R. zu lange Gleitwege, oft auch in Kombination mit zu rauen Gegenkörpern. Des Weiteren sind Probleme im Zusammenhang mit Durchlässigkeit bzw. Korrosion bei der Mehrzahl der marktüblichen Gleitlacke bisher nicht hinreichend gelöst.
Bei tribologischer Beanspruchung kreidet jeweils ein geringer Anteil vom Gleitlack ab und wird auf den Gegenkörper übertragen. Dadurch verschleißt die Lackschicht (Abkreidung), wodurch laufend neue Festschmierstoffpartikel an die Oberfläche treten und so in die tribologische Kontaktzone kommen.
Der Verschleiß ist im Wesentlichen abhängig:

- von der Oberflächenrauhigkeit und Härte des Gegenkörpers,
- von den adhäsiven und kohäsiven Bindungskräften und
- der Anwesenheit des Feststoffschmierstoffes im Reibspalt.

Die Anwesenheit des Feststoffschmierstoffes im Reibspalt wird entscheidend bestimmt

- von der Menge und der Güte der Verteilung der Festschmierstoffpartikel im Lack,
- von der Wechselwirkung zwischen Bindersystem und Feststoffschmierstoff, die in marktüblichen Gleitlacken in einer rein physikalischen Bindung besteht.

Durch die chemische Kopplung von PTFE an Bindemittel wie PAI oder Epoxidharze kann einerseits die Güte der Verteilung der Festschmierstoffpartikel im Lack und andererseits die Anwesenheit von PTFE im Reibspalt deutlich verbessert werden, was sich positiv auf die tribologischen Eigenschaften auswirkt wie z. B. Verringerung der Verschleißrate und Unterdrückung von unerwünschten stick-slip-Erscheinungen (periodische Schwankung zwischen Haft- und Bewegungsreibung). Ferner werden durch den Einsatz von optimierten PTFE-Mikropulvern (maßgeschneidert hinsichtlich Partikelgröße und Funktionalisierung) und deren chemische Kopplung an das DM undurchlässige Beschichtungen von Werkstoffoberflächen möglich, was wesentlich ist, um Korrosionsprozesse an oxidierbaren Oberflächen zu unterdrücken.

2.3 FuE-Ansatz 3: Hochleistungskunststoffe

Methode und Ausstattung

Im dritten Arbeitsbereich werden die in FuE-Ansatz 1 gewonnenen funktionalisierten PTFE-Mikropulver reaktiv mit Hochleistungskunststoffen umgesetzt. Bis die PTFE-Mikropulver aus FuE-Ansatz 1 zur Verfügung stehen, werden ersatzweise zugekaufte bestrahlte Mikropulver eingesetzt, die allerdings teuer, in nur wenigen Chargen verfügbar und nicht maßgeschneidert funktionalisiert sind. Über Reaktionen zwischen den funktionellen Gruppen der PTFE-Partikeloberfläche und Makromolekülen des geschmolzenen Hochleistungspolymers (HPP) kommt es zur chemischen Kopplung zwischen beiden Komponenten. Je nach Art des Polymers, kann es bevorzugt zu Einspaltungsreaktionen in die Polymerkette oder zu Reaktionen mit den Kettenenden kommen. Beides bewirkt, dass die PTFE-Teilchen eine dem Kunststoff ähnliche Oberfläche erhalten und dadurch einer sehr guten Ver- und Zerteilung in der Polymerschmelze unterliegen. Die Pulver-Agglomeration wird vermieden.
Die hochdisperse Verteilung und feste Verankerung der PTFE-Partikel in der Matrix verleihen dem resultierenden Werkstoff besondere tribologische Eigenschaften.
Das Verfahren basiert auf einer reaktiven Schmelzeextrusion. Bestimmte Typen von Hochleistungspolymeren werden aufgeschmolzen, mit ausgesuchten PTFE-Mikropulvern versetzt und bei den hohen Schmelzetemperaturen unter Nutzung der Scherkräfte des Extrusionsprozesses verarbeitet. Die Reaktionstemperaturen werden in der Regel von der Schmelztemperatur des HPP vorgegeben. Damit wird die Zersetzungstemperatur von PTFE deutlich unterschritten. Die Arbeitsgruppe hat die Materialzusammensetzung und die Verarbeitungsparameter entsprechend den zu erzielenden Eigenschaften für den jeweiligen Anwendungsfall zu

optimieren. Damit ist u. a. eine umfassende Charakterisierung der neuen Materialien hinsichtlich ihrer chemischen, mechanischen, thermischen und tribologischen Eigenschaften verbunden, einschließlich tribologischer Modellversuche (Bauteiluntersuchungen) und Kontaktflächenanalysen zur Ermittlung der Verschleißmechanismen. Die Entwicklungen werden vorerst auf die reaktive Kopplung von Polyetheretherketon (PEEK) und Polyamidimid (PAI) mit PTFE beschränkt.
Die reaktive Schmelzeextrusion wird in den ersten Monaten der Projektlaufzeit in kleinen Testansätzen auf einem Haake-Extruder durchgeführt. In einzelnen Fällen kann auf Extruder des IPF-Technikums zurückgegriffen werden. Nach Installation des ZSK 30 (siehe Abschnitt 2.2) im neu einzurichtenden Kleintechnikum des IPF werden die Untersuchungen zur Maßstabsvergrößerung und Verfahrensoptimierung im Wesentlichen auf dieser Verarbeitungsmaschine durchgeführt.

Stand der Technik

Hochleistungspolymere ermöglichen vor allem durch ihr geringes spezifisches Gewicht, die chemische Beständigkeit und ein gutes Kosten-Leistungs-Verhältnis neue Konzepte und Lösungsansätze für den Einsatz unter extremen Betriebsbedingungen. Sie konnten sich neben metallischen Werkstoffen auf diesem Gebiet etablieren. Anforderungen an diese Materialien bei tribologischen Anwendungen bspw. beim Einsatz als Gleitlagerwerkstoff, sind insbesondere hohe Abriebfestigkeit, hohe Dauerfestigkeit, hohe thermische Stabilität, geringe Kriechneigung, Beständigkeit gegenüber den eingesetzten Schmierstoffen und hohe spezifische Belastbarkeit.
Es gibt nur eine kleine Gruppe von Polymeren, die diesen Anforderungen weitgehend gerecht wird und sich mit hoher Gestaltungsfreiheit spritztechnisch verarbeiten lässt. Dazu gehören die hochtemperaturbeständigen Thermoplaste (bis 300°C) PEEK, PAI und Polyimide (PI), wobei PEEK und PAI den Kern der Produktentwicklungen des FuE-Ansatzes darstellen.
Von den am Markt existierenden Herstellern und Verarbeitern solcher Hochleistungspolymere werden seit geraumer Zeit große Anstrengungen unternommen, die o.g. Thermoplaste hinsichtlich ihrer tribologischen Eigenschaften zu modifizieren und dadurch deren Leistungsfähigkeit gezielt zu optimieren. Die thermoplastischen Kunststoffe müssen auf die jeweiligen Anwendungen bzgl. ihrer mechanischen, thermischen, chemischen und tribologischen Eigenschaften zugeschnitten werden, wobei die Anforderungen zu immer höheren Geschwindigkeiten und höheren Lasten verschoben werden. Als Additive für Thermoplaste kommen bspw. PTFE, Siliconöl, Graphit, MoS_2, Aramid-, Glas-, Kohle- und Mineralfasern zum Einsatz. Üblicherweise erfolgt die Additivierung von Gleitzusätzen und ggf. Verstärkungsmaterialien zu den Matrixpolymeren im Zuge von Extrusion und Spritzguss.
Bei Materialien mit PTFE als Gleitmitteladditiv kommt es unter Reibungsbelastung zu einem Abgleiten der PTFE-Polymerketten. Während dieser Einlaufphase entsteht im Reibspalt ein PTFE-Film, der Ermüdungserscheinungen des Polymers bei Beanspruchung und damit den Verschleiß deutlich reduziert. Haft- und Gleitreibung werden durch den PTFE-Film angeglichen und damit stick-slip-Erscheinungen stark abgemildert. Die guten Gleitreibeigenschaften sind allerdings nur solange gegeben, wie das PTFE im Reibspalt verbleibt. Wird das physikalisch eingelagerte PTFE bei Reibbeanspruchung vom Reibpartner herausgerieben und wegtransportiert, verschlechtern sich die tribologischen Eigenschaften wieder, verbunden mit erneut auftretenden stick-slip-Erscheinungen. Bei resonanzfähigen Bauteilen äußert sich dieser Vorgang in Pfeif-, Quietsch- oder Knarrgeräuschen.
Bisherige Arbeiten des Antragstellers haben gezeigt, dass derartige Schwankungen im Tribosystem durch die chemische Bindung von PTFE an die Matrixpolymere deutlich reduziert bzw. annähernd überwunden werden können[13]. Durch die Kopplung werden die PTFE-Partikel bei Reibbeanspruchung weniger von der Kunststoffoberfläche her aus dem Material

[13] Lehmann, D.; Hupfer, B.; Staudinger, U.; Häußler, L.; Jehnichen, D.; Janke, A., Kunze, K.; Franke, R.; Haase, I.: Reibungs- und Verschleißverhalten von chemisch gekoppelten PTFE-PA-6.6-Materialien; Materialwissenschaft und Werkstofftechnik 2004, 35, No. 10/11, S. 696-706. Dallner, C.; Künkel, R.; Ehrenstein,G.W.; Lehmann,D.; Klüpfel,B.: Verbesserte tribologische Eigenschaften von PA46 durch chemische Kopplung mit PTFE Tribologie-Tagung 2004, Göttingen (2004).

entfernt, als dies bei einer rein physikalischen Einmischung ohne chemische Kopplung der Fall ist. Es zeigte sich, dass chemisch gekoppelte HPP-PTFE-Materialien nach einer Einlaufphase deutlich bessere tribologische Eigenschaften besaßen, als Vergleichssysteme, in denen PTFE lediglich physikalisch zugemischt war.
Es ist bekannt, dass die Leistungsfähigkeit tribologischer Systeme entscheidend von der Qualität und Verarbeitung der eingesetzten Werkstoffe bestimmt wird, d.h. der Einfluss der Morphologie auf tribologische und mechanische Eigenschaften von Kunststoffen ist nachweislich.
Auch hier konnte der Antragsteller zeigen, dass sowohl die Verarbeitungs- als auch die Morphologiestabilität (Ver- und Zerteilung des PTFE) durch chemische Kopplung des PTFE an die Matrix gegenüber der physikalischen Einbringung verbessert sind.
Die Ergebnisse haben ein hohes innovatives Potential für die Entwicklung neuer Hochleistungsthermoplaste mit herausragenden Gleitreibungs- und Verschleißeigenschaften. Detaillierte Resultate können zahlreichen Publikationen und Patentschriften entnommen werden[14].
Der Antragsteller ist gegenwärtig auf dem Gebiet dieser PTFE-basierten Hochleistungskunststoffe weltweit der einzige Bearbeiter und somit führend.
Im FuE-Ansatz 3 wird es darum gehen, das damit verbundene Potential zu nutzen, weiterzuentwickeln und an konkrete Marktbedürfnisse anzupassen.

3 Einordnung der wirtschaftlichen Bedeutung, Marktpotentiale und potentielle Kunden

3.1 FuE-Ansatz 1: Grundstoff (PTFE-Mikropulver)

3.1.1 Der Markt

3.1.1.1 Marktabgrenzung und -segmentierung

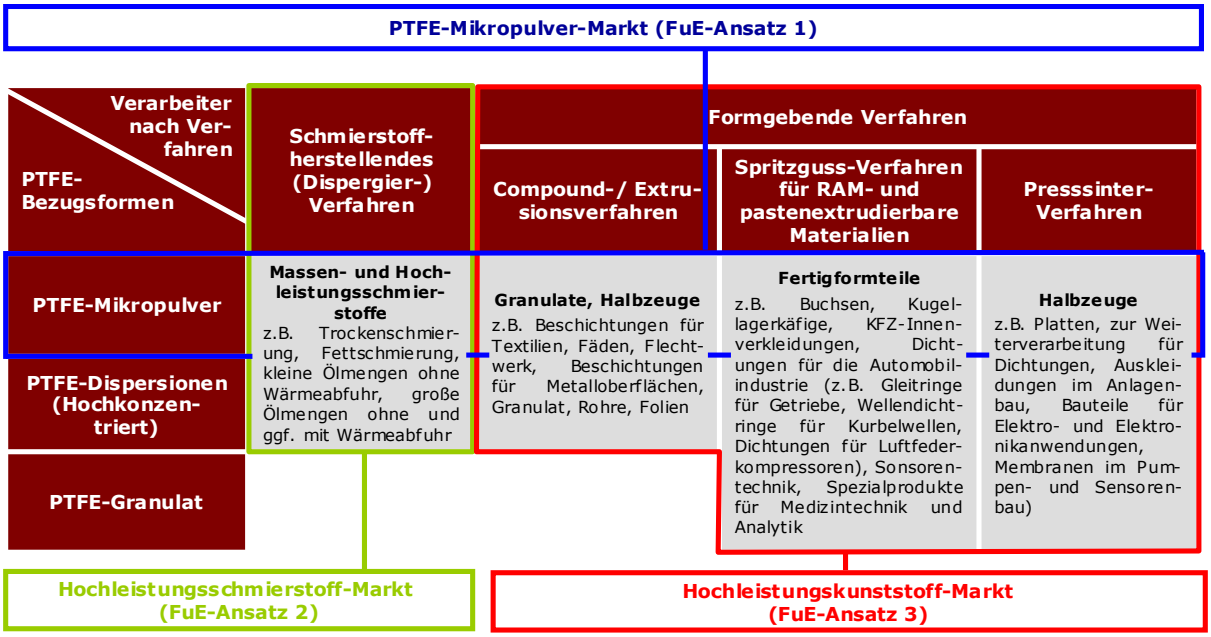

Abbildung 2: Marktabgrenzung und -segmentierung der drei FuE-Ansätze (e. D.)

Initiative und Fokus des FuE-Ansatzes 1 liegt auf dem **PTFE-Mikropulver-Markt**. Der Bezug von PTFE ist an dieser Stelle aus zweierlei Blickwinkeln zu betrachten. Einerseits wird sortenreiner Abfall aus der industriellen Verarbeitung von Halbzeugen bezogen und durch Bestrahlung wiederverwertet bzw. funktionalisiert. Andererseits wird Suspensions- und

[14] Patentschrift DE 10 2004 051 289. Lehmann, D; Lehmann, S.; Kunze, K.; Langkamp, A.; Hufenbach, W.; Chemisch gekoppelte PTFE-Hochleistungspolymere; Tagungsband zur Tribologie- Fachtagung 2005, GfT, Göttingen (2005), Band I, S. 17/1 – 17/12. Patentschrift DE 10 2006 030836A1. Lehmann, D. u. a.; 13. Int. Coll. Tribology, Esslingen (2002), S. 2309 – 2314. Häußler, L.; Pompe, G.; Lehmann, D.; Macromol. Symp. (2001), S. 411 – 419.

Emulsionspolymerisat als Neuware gekauft und ebenfalls durch Bestrahlung funktionalisiert. Die FuE-Ansätze 2 und 3 bauen auf der Funktionalisierung von aufbereiteten Abfällen und kommerziellem Mikropulver auf. Grundlage für die Hochleistungsschmierstoffe und -kunststoffe, die aus den FuE-Ansätze 2 und 3 resultieren, sind also die funktionalisierten Mikropulver aus FuE-Ansatz 1.
Anhand der Bezugsformen und Verarbeitungsmöglichkeiten ist der PTFE-Markt in Abbildung 2 vereinfacht dargestellt, in der nur eine Auswahl der Zwischen- und Endprodukte aufgeführt sind[15]. Das Projekt ‚MoRe-PTFE' zielt auf die Weiterentwicklung und Erprobung von **Tribomaterialien** (siehe Kapitel 1.4) ab, also auf Hochleistungsschmierstoffe und -kunststoffe für tribologische Anwendungen.

3.1.1.2 Marktvolumen und –potential

Zukünftige Anwendungen von Tribomaterialien werden durch die **Trends** ‚Leistungssteigerung', ‚Miniaturisierung von Produkten' und nicht zuletzt ‚Umweltverträglichkeit' bestimmt[16]. Bei den FuE-Ansätzen 2 und 3 werden diese Trends mit Blick auf die jeweilige Anwendung konkretisiert.
Mit einem Verbrauch von 78.000 t p. a. hat PTFE gemessen am Gesamtverbrauch aller Fluorpolymere[17] (132.700 t p. a.) derzeit und zukünftig das größte Volumen auf dem Weltmarkt. In Westeuropa wurden im Jahr 2008 ca. 30,3 Tsd. t verbraucht. Das jährliche Wachstum des PTFE-Verbrauches beträgt weltweit 6 % und in Westeuropa 4,2 % (2004 bis 2009)[18]. Im Betrachtungszeitraum von 1978 bis 2004 ist eine durchschnittliche Verbrauchszunahme von 5,6 % p. a. in Westeuropa feststellbar. Zukünftig werden auf den Märkten der Industrieländer wie Deutschland zunehmend spezialisierte Produkte angeboten, um die wettbewerbsfähigen, niedrigpreisigen Importe aus Russland und anderen Ländern umgehen zu können. In Deutschland ist der PTFE-Verbrauch von 3.100 t (1991) auf 6.400 t (2004) ebenfalls gestiegen (Abbildung 3). Eine bekannte Anwendung ist die Pfannenbeschichtung, bei der jedoch nur geringe PTFE-Mengen verwendet werden[19].

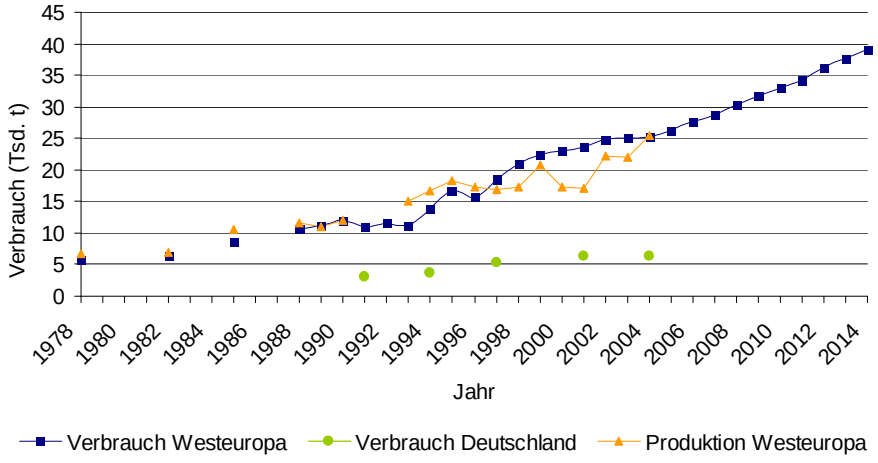

Abbildung 3: Produktion und Verbrauch von PTFE in Westeuropa und Deutschland

Ein ebenso deutliches Bild des hohen Marktvolumens und -potentials besteht für das PTFE-Recycling. Die PTFE-Verarbeitung in Europa hat derzeit einen Umfang von ca. 30.000 t p. a.

[15] Schlipf, M.; Schuster, M. (2007): Konstruieren mit PTFE, S. 40ff.
[16] Ergebnis der Expertengespräche u. a. mit den Vertretern der Firmen TerHell Plastics 05.03.2009 in Herne, LS Kunststofftechnologie GmbH am 12.01.2009 in Wertheim-Bettingen und Solvay Advanced Polymers 12.02.2009 in Düsseldorf; Frost & Sullivan (2007): European Markets for High Performance Polymers, S. 1-3, 3-5.
[17] Als Fluorpolymere werden allgemein sowohl fluorhaltige Polymere mit ausschließlich Kohlenstoff-Atomen als auch solche mit Heteroatomen in der Hauptkette bezeichnet. Neben PTFE sind weitere Vertreter der Fluorpolymere u. a. Polychlortrifluorethylen, Polyvinylidenfluoride und Polyvinylfluorid. Für weitere Informationen sei verwiesen auf Römpp, H. (1990): Chemie-Lexikon, S. 1412, Bd. 2, 9. Aufl., Stuttgart.
[18] Will, R.; Kälin, Th.; Kishi, A. (2007): CEH-Marketing Research Report – Fluoropolymers, S. 4f, S. 72. In: Chemical Economics Handbook – SRI Consulting.
[19] Frost & Sullivan (2007): European Markets for High Performing Polymers, S. 4-12ff.

(Abbildung 3). Der im Rahmen der verschiedenen Verarbeitungsstufen anfallende Zerspanungsabfall wird derzeit in Europa auf 5.000 bis 6.000 t p. a. mit einem PTFE-Neuwert von ca. 40 Mio. € geschätzt[20]. Mittelfristig werden die Deponien in Europa für PTFE-Abfälle geschlossen sein. In Deutschland dürfen bereits heute schon Sonderabfälle dieser Art nicht mehr deponiert werden[21]. Die Verarbeitung von PTFE in Deutschland hat derzeit einen Umfang von ca. 6.500 t p. a. (Abbildung 3). Davon werden 5.000 t p. a. sortenreines PTFE (ohne Füll- und Verstärkungsstoffe) verarbeitet, bei denen 1.000 t sortenreine Abfälle anfallen. Die übrigen 1.500 t PTFE p. a. werden zu Compounds weiterverarbeitet, bei denen wiederum ca. 1.000 t Abfall anfallen[22]. Gegenstand des Recyclings sind die sortenreinen Abfälle, insbesondere aus der spanenden Verarbeitung. Die schriftliche Unternehmensbefragung hat ergeben, dass bei der durchschnittlichen Betrachtung aller im Fragebogen gemachten Angaben kurzfristig ein Umsatzpotential von 993 Tsd. € p. a. je Unternehmen mit funktionalisiertem Mikropulver aus FuE-Ansatz 1 erzielbar ist. 29 % der Befragten gaben an, ein kurzfristiges Umsatzpotential von mehr als 1 Mio. € p. a. je Unternehmen erzielen zu können[23]. Allerdings müssen erfolgreiche FuE-Aktivitäten vorangegangen sein.

3.1.1.3 Wettbewerb

Alleinstellungsmerkmal

Aus der Bereitstellung von funktionalisiertem Mikropulver für den PTFE-Markt resultieren folgende Alleinstellungsmerkmale:

- sehr gute Verarbeitungseigenschaften mit entsprechender Reaktivität;
- Etablierung einer neuen Wertschöpfungskette für den Grundstoff PTFE (virginal und als Recyclat);
- Kostenreduzierung für Entsorgung und Entlastung der Umwelt durch Vermeidung langer Transportwege und Deponiekosten der Abfälle;
- Kostenreduzierung für Post-User bei dem Bezug von PTFE-Mikropulver;
- PTFE-Verarbeitungsreste sind keine Abfälle mehr, sondern Wertstoff.

Konkurrenzanalyse

An erster Stelle sind die **kommerziellen, bestrahlten PTFE-Mikropulver** zu nennen, die eine Alternative zu recyceltem Mikropulver darstellen. Mit einem Anteil von 25 % war die DuPont GmbH im Jahr 2007 Marktführer in Europa. Danach folgen Solvay Advanced Polymers (18 %), Daikin (17 %), Dyneon GmbH & Co. KG (zu 3M gehörend; 15 %), Asahi (13 %) und andere Hersteller (12 %)[24]. Allerdings sind diese kommerziell beziehbaren Mikropulver preisintensiv und nicht ausreichend funktionalisiert, sodass sie nur in begrenztem Umfang zu Beginn der Arbeiten innerhalb der FuE-Ansätze 2 und 3 verwendet werden.

Der uns einzig bekannte **Recycler** in Deutschland (Mikro-Technik GmbH & Co. KG) führt PTFE nach dem Verfahren ‚chemische Reinigung' dem Stoffkreislauf zurück. Darüber hinaus gibt es in Europa wenige andere Recycler wie Heroflon S.r.l. (Italien), die ebenfalls ‚nur' durch das Verfahren der Säuberung PTFE wiederverwerten und somit nicht funktionalisieren[25].

Die übrigen **Fluorpolymere** sind nicht als Substitute zu sehen, weil diese schmelzbar verarbeitbar sind und somit nicht als pulverförmiges Additiv zur Verbesserung der Triboeigenschaften im Sinne der hier aufgezeigten Innovation eingesetzt werden.

Bei weniger hohen tribologischen Anforderungen werden verschiedene **andere Additive** zur Beeinflussung von Reibungskoeffizienten und Verstärkung verwendet, um die benötigten Eigenschaften erzielen zu können. Zwar stellen z. B. Siliconöle, Graphit, MoS_2, Aramidfaser,

[20] Stellungnahme und Beratungsleistung eines Vertreters der Firma ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH zum ForMaT-Projekt ‚MoRe-PTFE' vom 12.04.2008.
[21] Stellungnahme und Beratungsleistung des Geschäftsführers der IG KURIS und zugleich stellvertretender Geschäftsführer des LVR zum ForMaT-Projekt ‚MoRe-PTFE' vom 14.04.2008.
[22] Ergebnis des Expertengespräches mit einem Vertreter der Firma ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH am 12.01.09 in Heidenheim.
[23] Ergebnis der schriftlichen Unternehmensbefragung. Es konnte ein Rücklauf von n = 19 erzielt werden.
[24] Frost & Sullivan (2007): European Markets for High Performance Polymers, S. 4-16.
[25] Heroflon S.r.l. (2009): Reprocessed PTFE. Unter URL http://heroflon.com/english/frameset1000.html am 18.03.09.

Glas-, Kohle und Mineralfasern (siehe Kapitel 2.2 und 2.3) eine preiswerte Alternative dar, gewährleisten aber nicht in ausreichendem Umfang jene Tribo-Eigenschaften, die durch chemisch gekoppeltes PTFE erreicht werden können.

Markteintrittsbarrieren

Aufgrund der derzeitigen wirtschaftlichen Situation sind die großen Fluorpolymer- und PTFE-Hersteller gezwungen, das Produktportfolio zu höher-margigen Produkten (z. B. (Per-) Fluor-Thermoplaste, Fluorelastomere) zu verschieben und die PTFE-Herstellung von Westeuropa nach Fernost (China, Japan) zu verlagern[26]. Zukünftig werden westeuropäische PTFE-Hersteller und -Verarbeiter ihr Portfolio mit modifiziertem PTFE diversifizieren bzw. ergänzen[27]. Ein derzeit bekanntes Verfahren ist die Modifizierung durch Copolymerisation. Allerdings werden hierbei nicht die tribologischen Eigenschaften erreicht, wie sie bei dem Verfahren der ‚chemischen Kopplung' erzielt werden.

Der durchschnittliche Preis für virginales Mikropulver beträgt 14 €/kg[28]. Eigene Recherchen haben ergeben, dass die Preisspanne von PTFE-Mikropulver zwischen 7 €/kg (Recyclat aus Japan[29]) und 25 €/kg (z. B. MP 1100 der DuPont GmbH) liegen. Der uns einzig bekannte Recycler in Deutschland (Mikro-Technik GmbH & Co. KG) vertreibt recycelte PTFE-Ware für einen Preis zwischen 12 und 15 €/kg[30]. Allerdings wird PTFE durch das bei Mikro-Technik praktizierte Verfahren nur gereinigt und nicht funktionalisiert, so dass es auch nicht an anderen Materialien chemisch gekoppelt werden könnte. Billige Importe aus China und Russland sind bis 2010 mit Antidumpingzöllen (55,5 % bzw. 36,6 %) behaftet. Von einer Verlängerung der Strafzölle ist auszugehen[31].

Eigene Berechnungen zur Machbarkeit des Recyclings haben ergeben, dass bei einer Wiederverwertung und spezifischen Funktionalisierung von 400 t sortenreiner PTFE-Abfälle ein Preis von 19,46 €/kg erreicht werden kann. Der Preis des bestrahlten, jedoch nicht ausreichend funktionalisierten MP 1100 der DuPont GmbH beträgt 25 €/kg. Recyceltes PTFE kann also zu wettbewerbsfähigen Kosten wiederverwertet und funktionalisiert werden.

3.1.2 Einzelbewertung

Der PTFE-Mikropulver-Markt ist ein preisgetriebener Markt. Zunächst wird FuE-Ansatz 1 den Eigenbedarf an für den spezifischen Anwendungsfall funktionalisierten Mikropulvern innerhalb des Projekts ‚MoRe-PTFE' decken. So werden (1) kommerzielle Mikropulver funktionalisiert und (2) sortenreine PTFE-Abfälle bezogen, vorgemahlen und anschließend ebenfalls funktionalisiert. Der PTFE-Abfall-Markt zeichnet sich derzeit durch einen starken Angebotsüberhang aus. Sortenreine PTFE-Abfälle sind somit so preisgünstig wie lange nicht mehr (der Durchschnittpreis beträgt einige Cent bis max. 2 €/kg). Im Gegensatz zu den FuE-Ansätzen 2 und 3, bei denen Kundenprobleme durch verbesserte Eigenschaften beim Einsatz von Nischenprodukten gelöst werden, wird im Falle einer gewerblichen Veräußerung des funktionalisierten Mikropulvers ein Preisvorteil gegenüber kommerziellen Mikropulvern erreicht. Außerdem wird aus PTFE-Abfällen eine neue und bessere Qualität an Werkstoffen entwickelt. So verschiebt sich das Image der PTFE-Verarbeitungsreste weg vom Abfallcharakter und hin zum ‚innovativen Wertstoff' – nicht nur zugunsten der Umwelt.

[26] Ergebnis des Expertengespräches mit einem Vertreter der Firma ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH am 12.01.09 in Heidenheim.
[27] Will, R.; Kälin, Th.; Kishi, A. (2007): CEH-Marketing Research Report–Fluoropolymers, S. 71. In: Chemical Economics Handbook – SRI Consulting.
[28] Frost & Sullivan (2007): European Markets for High Performance Polymers, S. 4-4.
[29] Hirooka Seiki Co. Ltd. (2009): Recycled PTFE Powder. Unter URL http://www.alibaba.com/product-free/100465984/Recycled_PTFE_Powder.html am 30.03.2009
[30] Ergebnis des Telefoninterviews mit einem Vertreter der Firma Mikro-Technik GmbH & Co. KG am 06.03.09.
[31] Ergebnis des Expertengespräches mit einem Vertreter der Firma ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH am 12.01.09 in Heidenheim.

3.2 FuE-Ansatz 2: Hochleistungsschmierstoffe

3.2.1 Der Markt

3.2.1.1 Marktabgrenzung und –segmentierung

Der FuE-Ansatz 2 fokussiert auf den Markt der **Hochleistungs- bzw. Spezialschmierstoffe**. In der Theorie[32] gibt es keine einheitliche Definition der Hochleistungsschmierstoffe. Recherchen haben zu folgenden Kriterien von Hochleistungsschmierstoffen geführt:

- für einen bestimmten Anwendungsfall entwickelt, erfüllen sie eine oder mehrere Hochleistungsanforderungen (z. B. Drücke zwischen 20 und 60 MPa);
- nicht in industriellen Fertigungsmengen produziert;
- überdurchschnittlich hoher Preis pro Mengeneinheit;
- berücksichtigt darüber hinaus die Hochleistungs-Gleitlacke, obwohl diese nicht ausnahmslos zu den Schmierstoffen gehören[33]. Gleitlacke sind jedoch in Deutschland traditionell Kompetenz der Schmierstoff-Unternehmen.

Massenschmierstoffe sind innerhalb von ForMaT-Phase 2 nicht primäres Ziel der Entwicklungsarbeiten.

Im rechten Teil der Abbildung 4 ist der Hochleistungsschmierstoff-Markt für FuE-Ansatz 2 abgebildet. Zwar wird der Markt größerer Ölmengen (z. B. Kühlschmierstoffe) nicht fokussiert, langfristig können diese aber ein relevantes Anwendungsfeld sein. Aufgrund des Entwicklungsbedarfes komplementärer Technologien wie Schmiertechnik und Filterung sind diese aus heutiger Sicht nicht im Rahmen von FuE-Ansatz 2 realisierbar. Im rechten Teil der Abbildung 4 sind die fokussierten Einsatzgebiete benannt.

Anwendungs-menge / Schmier-stoffart	Standardisiertes Massenprodukt für großindustrielle Anwendungen	Speziell zugeschnittene Schmierstoffe für einen bestimmten Anwendungsfall (ohne und mit Beratungsleistung)
	Konventionelle Schmierstoffe	Hochleistungs-schmierstoffe
Trockenschmierung (Festschmierstoffe, Gleitfilme und -lacke)	z.B. Trockenschmierstoff z.B. für die Beschichtung von Massenteilen	z.B. Hochleistungsgleitlacke für Führungselemente bei Tagebau-Bühnen, Führungsschienen von Container-Transport-Fahrzeugen
Fettschmierung und Wachse	z.B. Lager-, Zahnradschmierung	z.B. Hochleistungs-Montagepasten, Hochleistungs-Schmierfette, Hochtemperaturpasten; Hochleistungs-Dämpfungsfette, z.B. für Fahrzeug-Inneres
Kleine Ölmengen (ohne Wärmeabfuhr)	z.B. Minimalmengenschmierung	z.B. Hochleistungsschmieröle für Seilschmierung (Lifte, Seilbahnen, Kräne, Tagebau-Abbaugeräte), Bahnweichen
Große Ölmengen (ohne und mit Wärmeabfuhr) und Wasser (mit Wärmeabfuhr)	z.B. Öl-Luftschmierung, Ölbad- bzw. Öltauchschmierung, Kühlschmierstoffe für Umlaufschmierung, Ölein-spritzschmierung, z.B. beim Bohren	*Hochleistungsschmierstoffe betreffen per definitionem nicht große Ölmengen (Ausnahme bilden die für den Einzelfall entwickelte Hochleistungs-Kühlschmierstoffe, Hochleistungs-Getriebe-Öle für Industriegetriebe)*
		Hochleistungsschmierstoff-Markt (FuE-Ansatz 2)

Abbildung 4: Marktabgrenzung und -segmentierung für Schmierstoffe (e. D.)

3.2.1.2 Marktvolumen und –potential

Der Markt der Hochleistungsschmierstoffe wird u. a. durch die Trends ‚Reduzierung von Emissionen', ‚Energie- und Ressourceneinsparung' sowie ‚Leistungserhöhung' bestimmt. Aus Letzterem resultiert eine höhere spezifischere Flächenlast und ein weiteres Temperatureinsatzfeld sowie längere Wechselintervalle bzw. Anforderungen nach Lebensdauerschmierung (Fill-for-Life). Daraus ergibt sich die Ausrichtung ‚Weg von Massenschmierstoffen' hin

[32] Für eine wissenschaftliche Definition von Schmierstoffen sei verwiesen auf Möller, U. J.; Nassar, J. (2001): Schmierstoffe im Betrieb, S. 67ff.

[33] So ist das weite Feld der Oberflächenbehandlungen zur Reduktion von Reibung und Verschleiß ein intermediäres Fachgebiet zwischen Materialien und Schmierstoffen. Während Trockenfilm-Schmierstoffe der Schmierstoff-Industrie zuzuordnen sind, nehmen Beschichtungen (aushärtende Gleitlacke) im Vergleich zu den klassischen Schmierstoffen eine kontroverse Rolle ein. Siehe hierzu: Mang, T., Dresel W. (2001): Lubricants and Lubrication, S. 6.

zu gezielten Hochleistungsschmierstoffen[34]. Die im Rahmen dieses Projekts angestrebte technische Leistungssteigerung soll zu einem geringeren Wartungs- und Instandhaltungsaufwand, reduzierten Schmierstoffverbräuchen und Einsatzvolumina sowie einer deutlichen Erhöhung der Gebrauchsdauer tribologisch beanspruchter Bauteile führen.
Basierend auf dem Definitionsproblem und aus Gründen des Wettbewerbs gibt es keine Angaben zu Herstellung, Verkauf und Anwendung von Hochleistungsschmierstoffen[35].
Der **europäische Schmierstoffmarkt** wird weiterhin gesättigt bleiben. Wachstum ist bei spezifischen Marktnischen zu erwarten. Das Umsatzvolumen lag 2006 bei 22,13 Mrd. € mit steigender Tendenz trotz der abnehmenden Verkaufsmengen. Waren es im Jahr 2003 noch 4,8 Mio. t, so werden es 2013 noch 4,0 Mio. t in Europa sein. Der Gesamtverbrauch von Schmierstoffen in **Deutschland** hat im Zeitraum zwischen 1995 und 2007 um 1,8 % abgenommen. Diese relativ leicht abnehmende Entwicklung des Gesamtverbrauches steht der Zunahme des Verbrauches sauberer Schmierstofftypen (v. a. bei weißen Prozessölen bis zu 34,9 %) gegenüber[36].
Das steigende Umsatzvolumen und die sinkende Nachfrage an Schmiermengen lässt auf zunehmenden **Bedarf an hochpreisigen Spezialitäten** schließen und entspricht dem Markttrend in Richtung ‚Verbesserung der Anwendung', ‚besserer Qualität' und ‚höherer Preis'[37]. Expertengespräche haben ergeben, dass der Markt der Hochleistungsschmierstoffe ganz in Abhängigkeit von dessen Definition durch ein **Volumen von ca. 2 bis 9 %** (zwischen 92 Tsd. t und 414 Tsd. t) am gesamten, europäischen Schmierstoff-Markt gekennzeichnet ist[38]. Das minimale Umsatzvolumen für Hochleistungsschmierstoffe (2 %-Marktanteil) würde in Europa theoretisch 443 Mio. € betragen.
Aufgrund des Defizits an Marktdaten wird eine auf den Einzelfall bezogene Schätzung des Potentials für den Hochleistungsschmierstoff-Markt vorgenommen. Einer Kalkulation eines niederländischen Schmierstoffherstellers zu Folge kann bei erfolgreicher Verwertung der FuE-Arbeiten ein Marktpotential von 5 Mio. € p. a. erreicht werden[39]. Ein sächsischer Spezialschmierstoff-Hersteller erzielt weltweit 5 bis 6 Mio. € p. a. Umsatz mit Seilschmierstoffen. Das europäische Marktvolumen bei **Seilschmierstoffen** beträgt derzeit 5000 t p. a. Bei einem durchschnittlichen Preis von 1,50 bis 8 €/kg ergibt sich ein derzeitiges Umsatzvolumen für Seilschmierstoffe von 7,5 bis 40 Mio. €[40]. Ferner werden im Rahmen eines externen Forschungsvorhabens derzeit Feldtests mit einem hochspezialisierten PTFE-Schmierstoff für die **Weichenschmierung** durchgeführt. Daraus ergibt sich ein Umsatzpotential von 1,1 Mio. € p. a. Für **Gleitlacke** besteht eine von vielen Anwendungen in der Beschichtung von Kolben für Verbrennungsmotoren (derzeit 60 t p. a. in Europa). Das Marktvolumen an Hochleistungsgleitlacken allein für das Verfahren der Innenhochdruckumformung wird auf ca. 100 t p. a. geschätzt[41].
Bei Besuchen auf Fachveranstaltungen stellte sich heraus, dass die Technologie ‚chemische Kopplung von PTFE' nicht unbekannt ist. Das Potential steht jedoch dem Entwicklungsbedarf für die fokussierten Anwendungen gegenüber. Die Befragung hat ergeben, dass bei der durchschnittlichen Betrachtung aller gemachten Angaben kurzfristig ein Umsatzpotential von 779 Tsd. € p. a. je Unternehmen erzielbar ist[42]. Allerdings müssen wie bei FuE-Ansatz 1 erfolgreiche FuE-Aktivitäten vorangegangen sein.

---

[34] Bartz, W.-J. (2006): The Importance of Synthetic Greases for Future High Performance Applications, S. 64/8. In: Gesellschaft für Tribologie e. V. (2006): Reibung, Schmierung und Verschleißt, 46. Tribologie-Fachtagung.
[35] Ergebnis eines Telefoninterviews mit dem Obmann der Bundesverband mittelständischer Mineralölunternehmen e. V. und Mitarbeiter bei Lehmann & Voss & Co. am 03.03.09 sowie mit einem Vertreter des Verbandes der Schmierstoff-Industrie e. V. am 02.02.09.
[36] Entwicklungen der Inlandsablieferungen von Schmierstoffen von 1995 bis 2007 in Deutschland (vgl. Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle – BAFA (2009): Mineralölstatistik unter URL http://www.bafa.de/bafa/de/energie/mineraloel/ mineraloelprodukte/index.html am 27.01.09).
[37] EuropaLub (2008): Lubricant Statistics Yearbook 2006, S. 35; Frost & Sullivan (2007): European Lubricants Markets, S. 4-2ff.
[38] Ergebnis eines Telefoninterviews mit dem geschäftsführenden Vorstandsmitglied des Verband der Schmierstoff-Industrie e. V am 02.02.09.
[39] Ergebnis eines Gespräches mit einem Vertreter der Firma Interflon am 13.11.2009 in Dresden.
[40] Ergebnis eines Expertengespräches mit einem Vertreter der Firma Elaskon Sachsen GmbH & Co. KG am 02.02.2008 in Dresden.
[41] Ergebnis der Diskussionen mit Vertretern der Firmen der ‚Netzwerkinitiative Gleitlacke' am 16.01.2009 in Zwickau und eines Telefoninterviews mit dem Geschäftsführer der Tribologieberatung Dessau am 20.01.2009.
[42] Ergebnis der schriftlichen Unternehmensbefragung. Es konnte ein Rücklauf von n = 19 erzielt werden.

3.2.1.3 Wettbewerb

Alleinstellungsmerkmal

Die chemische Kopplung von PTFE in Ölen, Fetten, Wachsen und Gleitlacken führt zu

- einem zeit-konstanten Eigenschaftsbild bei Ölen, Fetten, Wachsen durch
  - sehr gute Triboeigenschaften (geringe Haftreibung, hohe Verschleißfestigkeit, geringe stick-slip-Neigung),
  - hohe morphologische Stabilität in Dispersionen (kein Sedimentieren);
- hervorragenden Korrosionsschutzeigenschaften bei PTFE-Gleitlacken durch Ausschluss von Kapillarwirkungen in der Gleitlackschicht.

Beispielhaft verdeutlicht Abbildung 5 die höhere Verschleißfestigkeit (Brugger-Wert) der Reibpartner unter Verwendung von chemisch gekoppeltem (cg) PTFE im Basisöl TMP 05. Die physikalische Mischung (phys.) in TMP 05 zeigt deutlich schlechtere Werte.

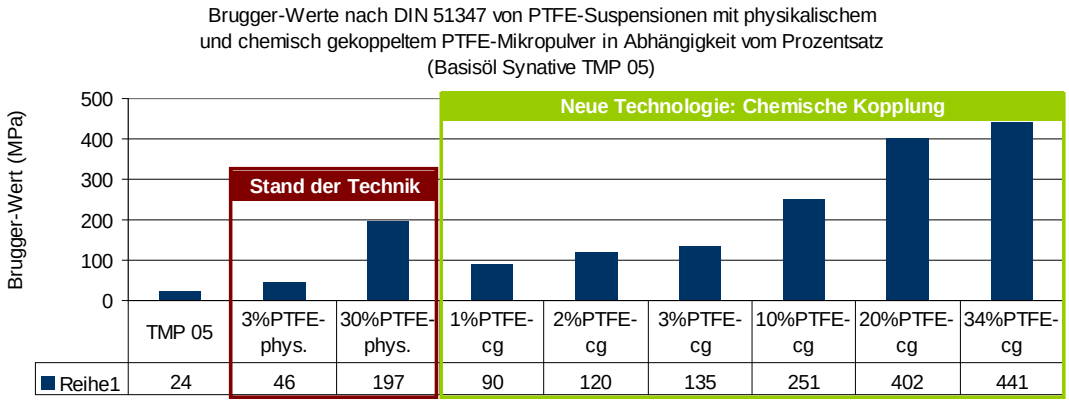

Abbildung 5: Vergleich von Brugger-Werten von Schmierstoffen mit physikalisch eingebrachtem (phys.) und chemisch gekoppeltem (cg) PTFE (e. D. nach Schneider, R. 2009)[43]

Konkurrenzanalyse

Derzeit sind Hochleistungsschmierstoffe erwerbbar, in denen PTFE physikalisch eingebracht wird. Die hohe Ausdifferenzierung des Marktes spiegelt sich in den 5.000 bis 10.000 verschiedenen Schmierstoff-Rezepturen wider, die notwendig sind, um 90 % aller Schmierstoffe herzustellen[44].

Weltweit gibt es ca. 1.700 große und kleine Schmierstoffhersteller. Während die großen Unternehmen hochvolumige Schmierstoffe wie Motor- und Getriebeöle, hydraulische Öle etc. fokussieren, konzentrieren sich viele unabhängige, kleine Schmierstoffhersteller auf Spezialschmierstoffe und Marktnischen, bei denen neben speziell zugeschnittenen Schmierstoffen die Anwendungsberatung wesentlicher Bestandteil der Leistung ist. Weniger als 2 % der Schmierstoffhersteller produzieren mehr als 60 % des globalen Schmierstoffaufkommens[45]. In **Europa** gibt es 325 Schmieröl- und 82 Schmierfett-Hersteller. Davon sind in **Deutschland** 70 bzw. 26 ansässig. 38 % der europäischen Hersteller produzieren weniger als 3.000 t p. a.[46].

Bekannte **Hochleistungsschmierstoff-Hersteller** sind u. a. Fuchs Petrolub AG, OKS Spezialschmierstoffe GmbH, Castrol Industrial der Castrol Ltd. (Optimol), Klüber Lubrication München KG, Carl Bechem GmbH, Dow Corning GmbH, Liqui Moly GmbH und Wacker Chemie AG. Im Bereich der **Seilschmierung** sind Nyrosten Korrosionsschutzmittel GmbH und Co. (Geldern/Deutschland) und ELASKON Sachsen GmbH und Co. KG (Dresden/Deutschland) marktführend. Geringere Markterfolge im Bereich der Seilschmierung konnte Interflon erzielen. Die Wacker Chemie und Dow Corning sind Marktführer im Bereich

[43] Ergebnisse der Tribologieberatung Dessau aus dem Zeitraum 2005 bis 2008. Das Schmierstoffprüfgerät nach Brugger ist ein Reibungssystem, welches aus einem Prüfzylinder und einem Prüfring besteht. Für weitere Informationen sei u. a. auf Möller, U. J.; Nassar, J. (2001): Schmierstoffe im Betrieb, S. 225f verwiesen.

[44] Mang, T., Dresel W. (2001): Lubricants and Lubrication, S. 1.

[45] Mang, T., Dresel W. (2001): Lubricants and Lubrication, S. 3.

[46] EuropaLub (2008): Lubricants Statistic Yearbook, S. 23.

der Silikonschmierstoffe[47]. Große **Gleitlackhersteller** sind Dow Corning, Fuchs Lubritech GmbH und Klüber Lubrication München KG, kleinere sind u. a. OKS Spezialschmierstoffe GmbH und Carl Bechem GmbH. Hochleistungsgleitlacke sind gemessen an den FuE-Aktivitäten der Hersteller derzeit kein Geschäftsschwerpunkt der Unternehmen[48].

Markteintrittsbarrieren

Hochleistungsschmierstoffe zeichnen sich durch geringe Mengen und einen hohen Preis aus. Der Preis relativiert sich aber sehr schnell vor dem Hintergrund des zu lösenden Kundenproblems. Im Vordergrund und damit als große Herausforderung für den Schmierstoffhersteller ist der zeitliche Druck zu sehen, der durch die oft **langwierigen Entwicklungs- und Erprobungszeiträume** entsteht. Mehrere Kundenprobleme bei der Anwendung von Gleitlacken wurden uns offenbart, die aus Geheimhaltungsgründen nicht genannt werden können. Bisher konnte keine befriedigende Lösung der Hersteller gefunden werden. Aufgrund des derzeitigen FuE-Stands wünschen sich die Industrievertreter weitere Fortschritte in der FuE von Hochleistungsschmierstoffen mit cg-PTFE-Additivierung. Hier herrscht ein spürbarer Leidensdruck auf Seiten der Anwender im Bereich des Maschinenbaus, der einen Handlungsbedarf seitens der Hersteller auslöst und die Bereitschaft signalisiert, neue innovative Lösungen zu erproben.

Anwendungen im Bereich der Kraftfahrzeugindustrie werden im Rahmen des FuE-Ansatzes 2 kurz- bis mittelfristig nicht verfolgt. Die Markteintrittsbarrieren sind signifikant hoch (z. B. bestehende, langfristige Vertragslaufzeiten mit Schmierstoff-Lieferanten).

Die Einhaltung gesetzlicher Regelwerke (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals [REACh], VOC-Richtlinie [’Lösemittelrichtlinie’]) stellen kein Hindernis dar, werden jedoch bei der Entwicklung weiterhin beachtet. Von Kennzeichnungsfreiheit kann ausgegangen werden. Toxikologische Risiken für Mensch und Umwelt sind nicht bekannt.

3.2.2 Einzelbewertung

Entgegen dem FuE-Ansatz 1 besteht beim FuE-Ansatz 2 die Marktdurchdringungsstrategie in der deutlichen Eigenschaftsverbesserung der Hochleistungsschmierstoffe durch die chemische Kopplung von PTFE gegenüber Schmierstoffen, in denen PTFE bisher physikalisch eingebracht wurde. Ein Preisvorteil gegenüber Hochleistungsschmierstoffen konkurrierender Unternehmen ist kurz- bis mittelfristig nicht zu erreichen. Expertengespräche haben ergeben, dass im Falle der Eigenschaftsverbesserung im Anwendungsfall (Problemlösung des Kunden) der Preis kein übergeordnetes Kaufkriterium ist[49]. Insbesondere vor dem Trend ‚Weg von Massenschmierstoffen’ ergibt sich für FuE-Ansatz 2 ein signifikant hohes Marktpotential. Insgesamt liegen dem Projektteam 5 Letter of Intent (LoI) vor, in denen die Unternehmen Elaskon, Microgleit Spezialschmierstoffe GmbH, PMM Oil GmbH, Wessely GmbH und Winix GmbH Interesse äußern, ihre Marktexpertise für die Weiterentwicklung von Hochleistungsschmierstoffen einzubringen, insbesondere im Bereich der Gleitlacke und Seilschmierstoffe.

3.3 FuE-Ansatz 3: Hochleistungskunststoffe

3.3.1 Der Markt

3.3.1.1 Marktabgrenzung und –segmentierung

Es gibt keine einheitliche Definition von Hochleistungskunststoffen. FuE-Ansatz 3 fokussiert auf thermoplastische Kunststoffe, in denen PTFE chemisch gekoppelt wird. Nicht Gegenstand von FuE-Ansatz 3 sind Anwendungen in Standard- (Commodities) und technischen Kunststoffen (Engineering Plastics), sowie nicht in Duro- und Elastomeren. Grundsätzlich werden

[47] Ergebnis eines Expertengespräches mit einem Vertreter der Firma mit Elaskon Sachsen GmbH & Co. KG am 02.02.2009 in Dresden.
[48] Ergebnis der Diskussionen mit Vertretern der Firmen der ‚Netzwerkinitiative Gleitlacke’ am 16.01.2009 in Zwickau.
[49] Ergebnis eines Expertengespräches mit einem Vertreter der Firma Elaskon Sachsen GmbH & Co. KG am 02.02.2009 in Dresden und der Diskussionen mit Vertretern der Firmen der ‚Netzwerkinitiative Gleitlacke’ am 16.01.2009 in Zwickau.

jedoch Forschungsbedarfe mit Blick auf höhere Leistungsniveaus bei den Duroplasten und Elastomeren gesehen.
Der Markt der thermoplastischen Kunststoffe (Commodities, Engineering Plastics und High Performance Plastics) ist anhand des Merkmals ‚Dauergebrauchstemperatur' in Abbildung 6 (linker Teil) dargestellt. FuE-Ansatz 3 fokussiert **thermoplastische Hochleistungskunststoffe** (High Performance Plastics), die sich neben der relativ hohen Dauergebrauchstemperatur durch hohe Wärmeformbeständigkeit auszeichnen (Abbildung 6, rechter Teil). Diese sind im Rahmen der Entwicklungsarbeiten von ForMaT insbesondere PAI-PTFE und PEEK-PTFE. Aus FuE-Ansatz 3 sollen Nischenprodukte für **Tribomaterial-Anwendungen** entwickelt und erprobt werden.

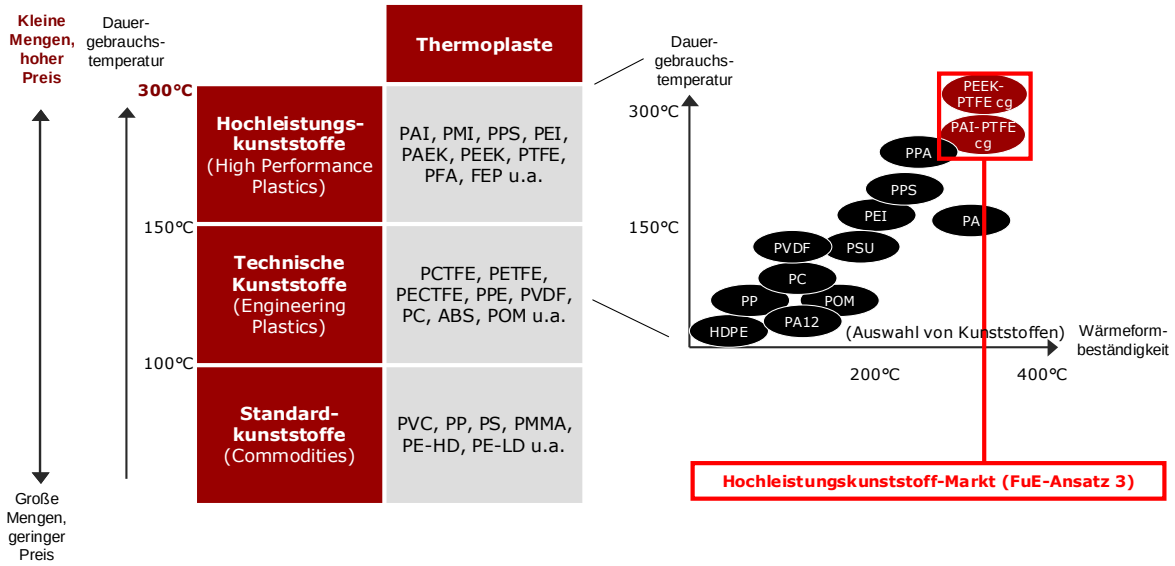

Abbildung 6: Marktabgrenzung und -segmentierung für Hochleistungskunststoffe[50]

Allgemeine Anwendungsgebiete für thermoplastische Hochleistungskunststoffe sind u. a. Gleitbuchsen, Kulissenführungen, KFZ-Glasdach-Führungen, Kugelschalen für Pkw-Achsen, Kugellagerkäfige, Gleitfolien, Distanzscheiben, Getriebeteile, Waschmaschinenlager und -füße sowie Fadenführer von Textilmaschinen. FuE-Ansatz 3 fokussiert zunächst auf die konkreten Anwendungsgebiete ‚**Dichtungen**' (z. B. für Doppelkupplungssysteme) und ‚**Lager**' (z. B. Kugellagerkäfige, Gleitlager).

3.3.1.2 Marktvolumen und –potential

Analog zu den Hochleistungsschmierstoffen wird der zukünftige Markt der Hochleistungskunststoffe durch die **Trends** ‚Miniaturisierung von Produkten', ‚Leistungszunahme', ‚Effizienzsteigerung' und ‚Gewichtsreduzierung' bestimmt. Darüber hinaus wachsen die Erwartungen an die zunehmende Lebensdauer und bessere Verarbeitbarkeit. Aus Umwelt- und Kostengründen wird die Erhöhung der Werkstoffausbeute nach der Erstverarbeitung angestrebt[51]. Zunehmend finden anstelle von Metall immer mehr Kunststoffmaterialien Einzug in die Konstruktion von Trag- und Führungsgelenken für Automobile[52]. In PKW-Antriebssystemen werden Doppelkupplungssysteme mit zunehmend größeren Durchmessern der Dichtungen an die Stelle der Drehmomentwandler rücken. Daraus resultieren höhere Ansprüche an die Herstellung, Verarbeitung und Eigenschaften der Dichtungen[53]. Nicht nur in Automobilanwendungen, sondern auch in der Medizintechnik gibt es ein hohes Marktpotential. Der im opera-

[50] Generalisierte, eigene Darstellung nach Schneider, R.; Gänsheimer, J. (o. J.): Die Schmierung von Kunststoffen, in: gleitmo Schriftenreihe Tribotechnik und Schlipf, M. (o. J.): Fluorpolymere–Produktgruppen, Märkte und Anwendungen, unveröffentlichte Präsentation.
[51] Schlipf, M.; Schuster, M. (2007): Konstruieren mit PTFE, S. 79.
[52] Stoegbauer, H.; Jungk, M. (2006): Spezialfette mit niedrigen Reibwerten für Trag- und Führungsgelenke von Personenkraftwagen. In: Tribologie-Fachtagung.
[53] Ergebnis von Expertengesprächen mit Vertretern der Firmen LS Kunststofftechnologie GmbH am 12.01.2009 in Wertheim-Bettingen und Solvay Advanced Polymers am 12.02.2009 in Düsseldorf.

tiven Bereich zunehmend praktizierte Methodenwechsel von der klassischen zur minimalinvasiven Chirurgie wird zu einem Einsatz von PTFE in thermoplastischen Hochleistungskunststoffen (v. a. für Schläuche) führen[54].
Daten zu Produktion, Verkauf und Anwendung von Hochleistungskunststoffen sind schwer zu identifizieren. Aufgrund einiger ähnlicher Eigenschaftsdimensionen anderer tribologisch verwendeter Kunststoffe (neben Polyamidimid [PAI] und Polyetheretherketon [PEEK] sind es u. a. Polyamid [PA] und Polyphthalamid [PPA]) werden Marktvolumen und -potential dieser Materialien repräsentativ v. a. für PAI aufgezeigt.

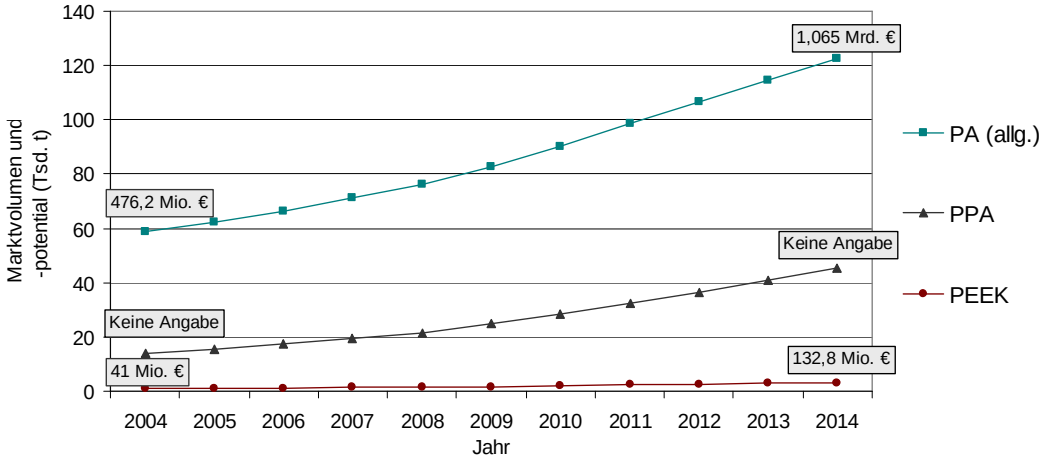

Abbildung 7: Marktvolumen und -potential von Hochleistungspolymeren in Europa zwischen 2004 und 2014[55]

PA kann aufgrund von Lizenzvergaben des IPF an Starlite Co. Ltd., Evonik Industries AG (ehemals Degussa AG) und TerHell Plastics nicht Gegenstand von FuE-Ansatz 3 sein. Allerdings bestätigt die Lizenzvergabe repräsentativ, dass eine Verwertung im Anschluss an die langjährigen FuE-Arbeiten machbar ist. Das zunehmende Marktvolumen und hohe Marktpotential von PPA sind Abbildung 7 zu entnehmen. Z. B. sieht TerHell Plastics bei PA, in denen PTFE chemisch gekoppelt vorliegt, ein Marktpotential i. H. v. 150 t p. a.[56].
Ebenso wird der Bedarf an **PPA** insbesondere in der Automobilindustrie signifikant steigen und neue Anwendungsfelder erschließen (Abbildung 7).
PEEK zeichnet sich zunächst durch reduzierte Triboeigenschaften aus[57]. Erst durch die Modifizierung mit Füllstoffen und Additiven können hervorragende Triboeigenschaften erzielt werden. In Europa wird mehr als 50 % der weltweiten PEEK-Produktion verbraucht[58]. Das steigende Markt- und Umsatzvolumen von Polyketonen allgemein ist Abbildung 7 zu entnehmen. Zwischen 2004 und 2014 wird der PEEK-Verbrauch für Automotive und Luftfahrt von 29 % auf 36 % sowie industrielle Anwendungen von 27 % auf 32 % zunehmen. Der niederländische Compoundeur EPIC Polymers setzt derzeit 5 bis 50 t p. a. Tribomaterialien (v. a. PEEK und PA) allgemein ab, mit steigender Tendenz[59].
PAI eignet sich sehr gut für Beschichtungen, insbesondere zusammen mit PTFE. Solvay Advanced Polymers ist der uns einzig bekannte Hersteller von PAI, welches unter dem Handelsnamen Torlon verkauft wird. Solvay Advanced Polymers könnte bei erfolgreichem Abschluss der zukünftigen, langjährigen FuE-Arbeiten einen relativen Bedarf an chemisch modifiziertem PTFE i. H. v. 0,5 % bis 3 % im Matrixwerkstoff PAI sehen, maximal jedoch 20 t PTFE p. a.[60]. Expertengespräche haben ergeben, dass ein zunehmend größeres Umsatzpotential für PAI zu erwarten ist, insbesondere im Rahmen der Ablösung von metallischen Bauteilen, z. B.

[54] Ergebnis des Expertengespräches mit einem Vertreter der Firma ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH am 12.01.09 in Heidenheim.
[55] Frost & Sullivan (2007): European Markets for High Performance Polymers, S. 5-1ff, 8-1ff.
[56] Ergebnis des Expertengespräches mit einem Vertreter der Firma TerHell Plastics am 05.03.2009 in Herne.
[57] Ergebnis des Expertengespräches mit Vertretern der Firmen Solvay Advanced Polymers und EPIC Polymers am 12.02.2009 in Düsseldorf.
[58] Frost & Sullivan (2007): European High Performance Polymers Markets, S. 8-3ff.
[59] Ergebnis des Expertengespräches mit Vertretern der Firmen Solvay Advanced Polymers und EPIC Polymers am 12.02.2009 in Düsseldorf.
[60] Ergebnis des Expertengespräches mit Vertretern der Firmen Solvay Advanced Polymers und EPIC Polymers am 12.02.2009 in Düsseldorf.

Lager[61]. Das zukünftige Marktpotential i. H. v. 10 t p. a. für PAI-PTFE schätzt der Compoundeur LS Kunststofftechnologie GmbH bei erfolgreichen FuE-Arbeiten als realisierbar und übersteigbar ein[62]. Konkrete Anwendungen sind PTFE-modifizierte Dichtungen z. B. für Doppelkupplungssysteme und Kugellagerkäfige ab 40 mm Durchmesser[63]. Der Hersteller von Hochpräzisionskugellagern Gebrüder Reinfurt Würzburg GmbH & Co. KG (GRW) schätzt allein das Marktpotential von PAI-PTFE für Kugellagerkäfige mit einem Durchmesser von bis zu 40 mm auf 5 t p. a.
Die Befragung hat ergeben, dass bei der durchschnittlichen Betrachtung aller im Fragebogen gemachten Angaben kurzfristig ein Umsatzpotential von 1,013 Mio. € p. a. je Unternehmen erzielbar ist[64]. Allerdings müssen wie bei dem FuE-Ansatz 2 erfolgreiche FuE-Aktivitäten vorangegangen sein.

3.3.1.3 Wettbewerb

Alleinstellungsmerkmal

PTFE-modifizierte, thermoplastische Hochleistungskunststoffe zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

- hohe Verarbeitungs- und Morphologiestabilität;
- spritzbar-verarbeitbar unter Beibehaltung einer gleichmäßigen Ver- und Zerteilung von PTFE;
- sehr gute tribologische Eigenschaften;
- Vermeidung unerwünschter stick-slip-Neigung.

Konkurrenzanalyse

In tribologischen Systemen werden **metallische Lagerwerkstoffe** (siehe Kapitel 2.3) zunehmend von Kunststoffen ersetzt. Darüber hinaus werden auch Schichtstoffe bzw. **Laminate** für temperaturresistente Dichtungen z. B. in LKW-Getrieben eingesetzt. Der Nachteil besteht allerdings in der Delaminierungsgefahr.
Innerhalb der Gruppe der Hochleistungskunststoffe stehen verschiedene Kunststoff-Matrixwerkstoffe im Wettbewerb zu PTFE-modifizierten thermoplastischen Hochleistungswerkstoffen. Es können auch kostengünstige, technische Kunststoffe durch PTFE-Modifizierung für tribologische Anwendungen eingesetzt werden. Allerdings zeichnen sich diese Stoffe durch geringere Dauergebrauchstemperaturen und Wärmeformbeständigkeiten aus.
Im Rahmen der Zielstellung von FuE-Ansatz 3 sind die **Kunststoffhersteller** weniger in der Rolle des Konkurrenten als vielmehr in der des Abnehmers zu sehen. In Expertengesprächen mit Herstellern wurde großes Interesse an Hochleistungskunststoffen, in denen PTFE chemisch gekoppelt vorliegt, geäußert. Mit einem Marktanteil von 96 % und einem Output von 4,2 Tsd. t p. a. ist das Unternehmen Victrex Private Limited Company (PLC) der bekannteste Akteur im PEEK-Markt[65]. Kleinere Anbieter sind Evonik Industries AG und ggf. Oxford Performance Materials Incorporated (Inc.). Letztere grenzen sich mit ihrem Nischenprodukt Polyetherketonketon (PEKK) nicht eindeutig vom PEEK ab. Weitere bedeutende Kunststoffhersteller sind u. a. TerHell Plastics, Arkema, DuPont GmbH, EmsChemie Holding AG, GE Plastics und Samsung Plastics Co. Ltd. Der Fokus der Firma Solvay Advanced Polymers liegt nach nunmehr 20 Jahren wieder auf der Herstellung von PEEK- und PAI-basierten Tribomaterialien[66].
Die **Verarbeiter** (z. B. Compoundeure) sind in der Rolle des potentiellen Abnehmers von PTFE modifiziertem Kunststoff und nicht als Wettbewerber zu sehen. So sind IGUS GmbH,

[61] Frost & Sullivan (2004): European Market for High Performance Polyamides, S. 3-9.
[62] Platt D. K. (2003): Engineering and High Performance Plastics – Market Report, S. 32.
[63] Das Know-how zur Herstellung von PTFE-modifizierten PAI zur Nutzung von Kugellagerkäfigen mit einem Durchmesser $d \leq 40$ mm wurde am 12.06.2006 in Form einer Lizenz an Gebrüder Reinfurt Würzburg GmbH & Co. KG (GRW) vergeben.
[64] Ergebnis der schriftlichen Unternehmensbefragung. Es konnte ein Rücklauf von n = 19 erzielt werden.
[65] Frost & Sullivan (2007): European Markets for High Performance Polymers, S. 8-13ff.
[66] Ergebnis des Expertengespräches mit Vertretern der Firma Solvay Advanced Polymers am 12.02.2009 in Düsseldorf.

LS-Kunststofftechnologie GmbH und Ensinger GmbH die großen Verarbeiter neben wenigen kleinen Compoundeuren in Deutschland[67]. Entsprechend einer groben Schätzung eines Experten gibt es in Deutschland insgesamt ca. 30 PTFE-Verarbeiter[68].
Nicht nur zwischen den Herstellern von Hochleistungskunststoffen, sondern auch innerhalb deren Produktportfolios konkurrieren verschiedene Kunststoffe (z. B. PAI, PEEK, PPA und PA) miteinander (Kannibalisierungseffekte)[69]. So stehen auch die im Rahmen von FuE-Ansatz 3 fokussierten thermoplastischen Hochleistungskunststoffe (PAI, PEEK) im Wettbewerb zueinander. Sich auf einen dieser beiden Werkstoffe zu beschränken, würde jedoch einen Nachteil darstellen, da man nur von einer anwendungsbezogenen partiellen Wettbewerbssituation zwischen PAI und PEEK ausgehen kann. Die Einbeziehung beider Werkstoffe verspricht dagegen eine höhere Flexibilität, wodurch konkrete Kundenanforderungen gezielt bearbeitet werden können.

Markteintrittsbarrieren

Bei Erprobung und Einführung neuer Materialen ist die Dauer von 2 bis 3 Jahren keine Seltenheit[70]. Durch Gewichtsersparnis und Leistungssteigerung treten Lagerwerkstoffe aus Kunststoffen zunehmend an die Stelle der Metalle. Allerdings bilden diese gerade in Zeiten sinkender Metallpreise eine kostengünstige Alternative zu Hochleistungskunststoffen. Der Markt der Hochleistungskunststoffe ist im Vergleich zu den technischen Kunststoffen einem geringeren Preisdruck ausgesetzt. So lassen sich die Margen für Hochleistungskunststoffe weiterhin beibehalten oder erhöhen, wobei die Preise anderer Kunststoffe fallen[71]. Viele Unternehmen investieren derzeit intensiv in die FuE von Polymeren, um bestehende metallische Lager zu ersetzen[72]. Der Preis ist nicht das alleinige Entscheidungskriterium, welches den Erfolg eines Hochleistungspolymers bestimmt. Endabnehmer sind bereit, für technologische Innovationen, die einen Wettbewerbsvorteil versprechen, einen angemessenen, d. h. vergleichsweise höheren Preis zu bezahlen[73].

3.3.2 Einzelbewertung

Die Hochleistungskunststoffe (PAI-PTFE, PEEK-PTFE), in denen PTFE chemisch gekoppelt vorliegt, sind Nischenprodukte für die ein überdurchschnittlich hoher Preis erzielt werden kann. In Expertengesprächen konnten konkrete Probleme in der Verarbeitung und Anwendung diskutiert werden. In der Herstellung und Anwendung von Dichtungen und Lagern werden erwartete Eigenschaften von den zur Zeit auf dem Markt befindlichen Kunststoffen nicht befriedigend erfüllt. Der Leidensdruck ist spürbar. Daraus resultiert ein hohes Marktpotential für neue, technisch verbesserte Kunststoffe. Der Lösung des Kundenproblems werden Fragen nach dem Material untergeordnet. Auch die Beschaffungskosten stehen beim Kunden meist nicht im Vordergrund, sondern rücken erst nach der Sicherstellung einer nachhaltigen technischen Lösung in den Betrachtungsfokus. Neben einer Vielzahl von besuchten Unternehmen haben vier Hersteller und Verarbeiter (Freudenberg Forschungsdienste KG, Kunststoffe Bernau GmbH, Rehau AG & Co., Solvay Advanced Polymers) mit einem LoI das Interesse geäußert, deren Marktexpertise in weitere FuE-Arbeiten des Projektes ‚MoRe PTFE' einzubringen.

3.4 Gesamtwirtschaftliche Betrachtung und Bewertung des Innovationsportfolios

Die zukünftigen Markttrends, der steigende Bedarf an tribologisch anspruchsvollen Materialien und das Interesse der Industrie an perspektivischen Einsatzfeldern bestätigen das **hohe**

[67] Ergebnis der Expertengespräche mit Vertretern der Firmen EPIC Polymers am 12.02.2008 in Düsseldorf, Solvay Advanced Polymers am 12.02.2009 in Düsseldorf und LS Kunststofftechnologie GmbH am 12.01.2009 in Wertheim-Bettingen.
[68] Aussage eines Industrievertreters der Firma ElringKlinger Kunststofftechnik GmbH im Rahmen des Externen Workshops am 25.03.09 in Dresden.
[69] Frost & Sullivan (2007): European Markets for High Performance Polymers, S. 3-16.
[70] Ergebnis eines Expertengespräches mit einem Vertreter der Firma TerHell Plastics am 05.03.2009 in Herne.
[71] Frost & Sullivan (2007): European High Performance Polymers Markets, S. 3-2.
[72] Frost & Sullivan (2009): Plastics Advisor Alert vom 09.01.09.
[73] Frost & Sullivan (2007): European Markets for High Performance Polymers, S. 3-17.

Marktpotential für chemisch gekoppeltes PTFE in Hochleistungsschmierstoffen und -kunststoffen.
Das primäre **Alleinstellungsmerkmal** der besseren tribologischen Eigenschaften beim Einsatz von chemisch modifiziertem PTFE hebt sich deutlich von den Eigenschaften unter Gebrauch von virginalem PTFE ab (Abbildung 8). Die Probleme in der Praxis sind derzeit unbefriedigend gelöst. Dem steht allerdings der höhere Preis an Tribomaterialien, in denen PTFE chemisch gekoppelt ist, gegenüber.

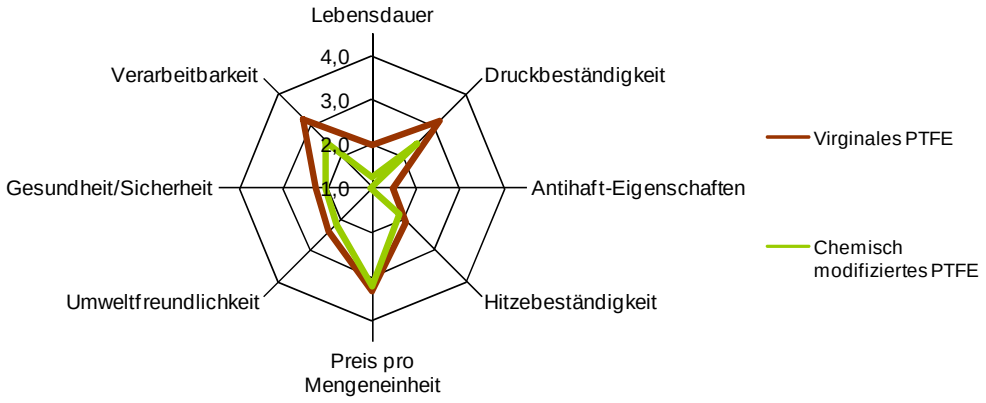

Abbildung 8: Bewertung der Eigenschaften nach Schulnoten (von 1 für ‚sehr gut' bis 6 für ‚ungenügend') von Produkten, in denen virginales und chemisch modifiziertes PTFE eingesetzt wird[74]

Die **Wettbewerber** verlagern derzeit die Massen-Herstellung von Standard-PTFE-Sorten aus Kostengründen in den fernen Osten. Im Zuge der Produktdiversifizierung v. a. in den westeuropäischen Ländern wird der Markt für kleine Mengen der modifizierten PTFE-Typen in ausgewählten Marktsegmenten wachsen. Im Bereich der Hochleistungsschmierstoffe sind Markteintrittsbarrieren auf dem deutschen Markt relativ gering ausgeprägt. Mit der zunehmenden Größe der großen Unternehmen der Schmierstoffindustrie (v. a. Fuchs Petrolub AG, Klüber Lubrication München KG) nimmt für sie die Relevanz kleinerer Marktsegmente (z. B. Gleitlacke) ab und es eröffnen sich Chancen für kleine und mittlere Unternehmen, mit neuen technischen Lösungen, die eigene Innovationskompetenz aufzuzeigen und im Wettbewerb zu bestehen.
Eine große Herausforderung besteht in der Umsetzung des Transfervorhabens. Das bisher bekundete Interesse der Industrie bezieht sich ‚nur' auf zukünftige Anwendungsfelder. Der Weg zur Reproduzierbarkeit für diese konkreten Anwendungen und weitere tribologische Einsatzgebiete ist mit einem **hohen FuE-Aufwand** verbunden. Bei der Entwicklung der neuen Materialien im Bereich der Hochleistungsschmierstoffe und -kunststoffe sind selbst nach der Markteinführung Erprobungen in der Praxis von bis zu 3 Jahren z. B. im Automobilbereich keine Seltenheit. Die Technologie soll breit abgesichert und allgemein zugänglich gemacht werden, ohne Materialien für spezielle Unternehmen exklusiv zu entwickeln.
Hervorgehoben sei die Flexibilität der Struktur des Innovationsportfolios. FuE-Ansatz 1 ist ein Forschungsgegenstand, der den FuE-Ansätzen 2 und 3 in der Wertschöpfung vorgelagert ist. Trotz des FuE-Aufwands innerhalb des FuE-Ansatzes 1 können modellhaft, unter Nutzung von bestrahltem Mikropulver (z. B. der DuPont GmbH), FuE-Ansatz 2 und 3 zeitgleich mit FuE-Ansatz 1 beginnen. Hervorgehoben sei noch mal, dass dieses Pulver nicht für jede Anwendung ausreichend spezifisch funktionalisiert ist, sodass nur eine bestimmte Schnittmenge von Anwendungsfeldern realisiert werden kann.
Die Ergebnisse verdeutlichen, dass von einem **wachsenden Marktpotential bei Hochleistungsschmierstoffen und -kunststoffen für tribologische Anwendungen** ausgegangen werden kann.

[74] Ergebnis der schriftlichen Unternehmensbefragung. Es konnte ein Rücklauf von n = 19 erzielt werden.

4 Vorgehen zur Entwicklung von Verwertungskonzepten sowie zum Aufbau des Innovationslabors

Ziel von Kapitel 4 ist die Abbildung eines Modells zur Übertragung auf andere Problemstellungen, die aus der anwendungsorientierten FuE resultieren und marktwirtschaftlich verwertet werden sollen. Hierfür ist es zunächst notwendig, die bestehenden Transferstrukturen am IPF abzubilden.

4.1 Darstellung der derzeitigen Transferstrukturen am IPF

Das Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e. V. gehört der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz (WGL) an. Aufgabe des IPF ist die Durchführung von Grundlagenforschung bis hin zur anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung und teilweisen Erprobung von Materialien. Die Abteilung Schmelzemodifizierung bzw. das Teilinstitut III zeichnen sich durch industrienahe FuE-Aktivitäten und eine entsprechende Ausstattung aus.

Gemäß der **Satzung** hat der e. V. die Aufgabe, vorwiegend auf dem Gebiet der Polymere gewonnene Kenntnisse und Erfahrungen, den interessierten Einrichtungen der öffentlichen Hand sowie Wirtschaftsunternehmen nutzbar zu machen (§1 Abs. 2 Satzung des IPF). So werden IPF-Ausgründungen über 2 Jahre in Form von speziellen Förderverträgen durch das Institut unterstützt. Insbesondere die Infrastruktur kann von den Existenzgründern vergünstigt genutzt werden. So positioniert sich der **Vorstand** des IPF ausdrücklich positiv gegenüber Ausgründungen.

Bisher werden erfolgreich Fragen zu Vertrags-, Patentmanagement, Forschungskoordination und Gremienarbeit von der Stelle **Forschungsplanung und Koordinierung** (FPK) übernommen. So sieht sich der Stab derzeit Aufgaben wie der Etablierung einer Patentstrategie sowohl für das IPF insgesamt als auch für jeweilige konkrete FuE-Arbeiten in den Abteilungen gegenüber.

Derzeit existieren am IPF 195 lebendige Einzelschutzrechte. Das älteste Patent wird seit 1992 gehalten. Insgesamt sind 6 Lizenzen vergeben wurden, wovon 4 das Projekt ‚MoRe-PTFE' berühren. Die zunehmende Anwendungsorientierung spiegelt sich ferner im Volumen der Industrieprojekte und Lizenzvergaben wider. Hatten die Industrieprojekte im Jahr 2001 noch ein Volumen i. H. v. 1,3 Mio. €, so waren es im Jahr 2008 1,9 Mio. €. Die Lizenzeinnahmen stiegen von 20.450 € (2001) auf 150.000 € (2007), im Jahr 2008 betrugen sie nur 60.000 €. Ebenso hat das Drittmitteleinkommen von 4,75 Mio. € (2001) auf 6,4 Mio. € (2008) zugenommen. Bisher erfolgten drei Ausgründungen, die erfolgreich am Markt bestehen: Qpoints Composites (2009), ZetaScience (2006) und HighTex (1998). Darüber hinaus ist die Ausgründung CellDesign in Vorbereitung.

Obwohl diese Zahlen einen bisher erfolgreichen Technologietransfer belegen, gibt es keine in der Satzung verankerte Transferstrategie. Die erfolgten Ausgründungen sind Einzelfälle. Ferner gibt es derzeit keine umfassende Patentstrategie, die vom IPF über das gesamte Institut verfolgt wird. Allerdings werden für konkrete FuE-Gegenstände in den jeweiligen Arbeitsgruppen Patente durchaus strategisch platziert. Es wurde bisher kein strategisches Technologiemarketing unternommen. Ergebnisse aus FuE-Projekten wurden einzelfallbezogen in Journals, Fachveranstaltungen, Messen etc. kommuniziert. Es gibt keine allgemeinen Handlungsempfehlungen ein solches Marketing zu betreiben sowie keine ausreichende Kenntnisse in industrienahen Forschergruppen am IPF. Außerdem wurden von wissenschaftlichen Mitarbeitern betriebswirtschaftliche und v. a. transferrelevante Qualifizierungsmaßnahmen bisher nicht ausreichend wahrgenommen. Der Stab Forschungsplanung und Koordinierung kann aufgrund mangelnder Ressourcen nur begrenzt auf einzelne FuE-Vorhaben zugehen.

Exemplarisch werden im Folgenden der Aufbau und die Umsetzung des virtuellen Innovationslabors sowie Möglichkeiten der Verwertung dargestellt. Hierbei werden die genannten Optimierungsbedarfe aufgegriffen, Lösungsansätze dargestellt, aus denen letztendlich verallgemeinerbare Aussagen zum Transfer ableitbar sind.

4.2 Transferprozesse und Verwertung im Rahmen von ForMaT

4.2.1 Das Innovationslabor ‚MoRe-PTFE'

4.2.1.1 Aufbau des Innovationslabors

Das Innovationslabor setzt sich aus 3 Ebenen zusammen: (1) MoRe-PTFE-Kernteam, (2) Institutsebene und (3) Beratungscluster (Abbildung 9). Das Kernteam wiederum resultiert aus den 3 identifizierten FuE-Ansätzen ‚Bestrahlungstechnik', ‚Hochleistungsschmierstoffe' und ‚Hochleistungskunststoffe'.

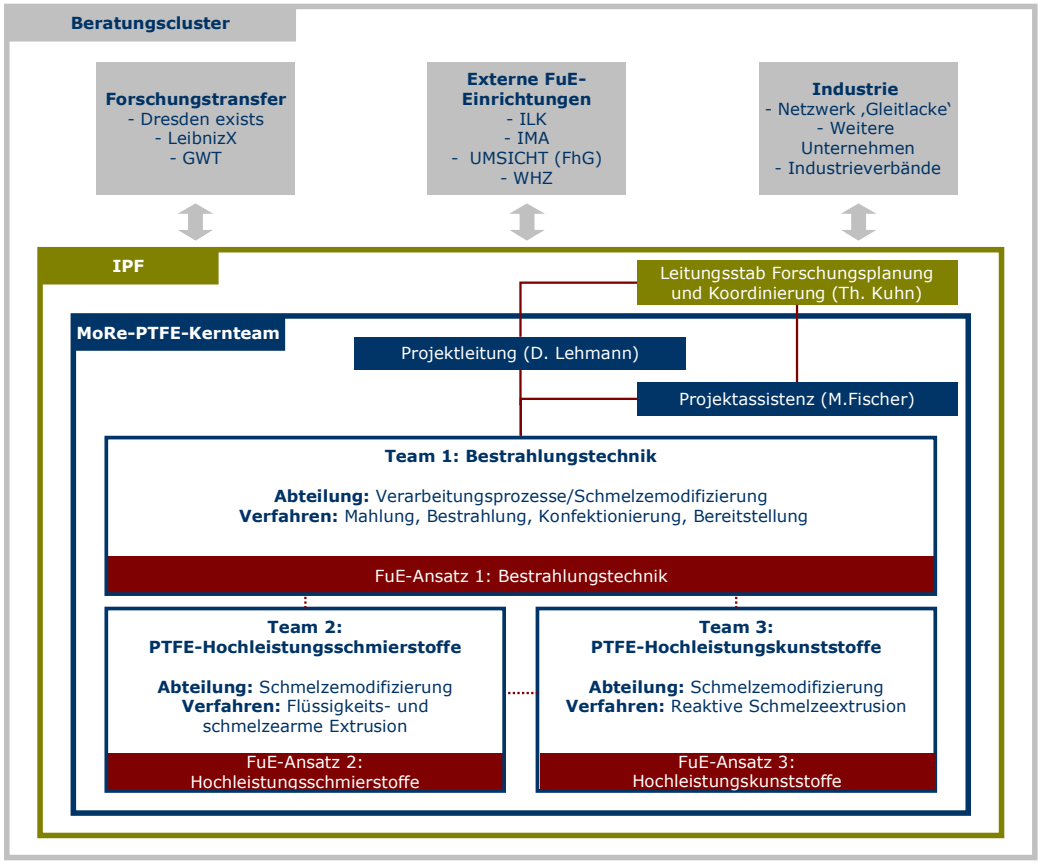

Abbildung 9: Innovationslaborkonzept (e. D.)

<u>MoRe-PTFE-Kernteam</u>

Das MoRe-PTFE-Kernteam besteht aus der Projektleitung, -assistenz und den 3 Arbeitsgruppen. Die Projektleitung wird über ForMaT-Phase 1 hinaus von Herrn Dr. Lehmann übernommen. Er ist seit 1981 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am IPF (ehemals Institut für Technologie der Fasern, ab 1984 Institut für Technologie der Polymere der Akademie der Wissenschaften der DDR). Seit 1992 arbeitet er als Leiter der Abteilung Schmelzemodifizierung. Die Entwicklungen im Bereich der chemischen Kopplung von PTFE treibt er seit 1997 wesentlich voran. Er übernimmt die Planung, Steuerung und Koordination der 3 Arbeitsgruppen. Unterstützt wird er hierbei von der Projektassistenz. Die Zusammensetzung und Aufgabenverteilung der Projektassistenz (Herr Martin Fischer) und Arbeitsgruppen werden in Kapitel 5 dargestellt.

<u>Institutsebene</u>

Auf der Ebene des IPF wird das Kernteam unterstützt von Herrn Dr. Kuhn, der die **Stabsstelle Forschungsplanung und Koordinierung** besetzt. Er wird das Kernteam u. a. bei transferrelevanten Aufgaben wie Vertragsmanagement bei FuE- und Lizenzverträgen, Patentmanagement und Forschungskoordination (Beratung und Information über Förderprogramme zur

Anschlussfinanzierung) unterstützen. Durch seine Mitwirkung in Gremien stellt Herr Dr. Kuhn die Schnittstelle zu Vorstand, Kollegium und wissenschaftlichem Beirat her.

Beratungscluster

Zur Einbindung **externer Forschungs- und Marktexpertisen** werden die drei projektbegleitenden Beratungscluster gebildet. Die Cluster gruppieren sich unter den Überschriften ‚Forschungstransfer', ‚Externe FuE-Einrichtungen' und ‚Industrie' (siehe Abbildung 9, oberer Teil).

Für transferrelevante Problemstellungen stehen Dresden exists, die Existenzgründungsinitiative Dresdner Hochschulen und Forschungseinrichtungen, LeibnizX, die Science2Market-Beratung der Leibniz-Gemeinschaft und die Gesellschaft für Wissens- und Technologietransfer der TU Dresden mbH (GWT) zur Seite. Es werden Qualifikations- und Netzwerkveranstaltungen sowie Beratungsleistungen zu Transfer und Gründung in Anspruch genommen.

Durch die Zusammenarbeit mit dem Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK) und dem Institut für Materialforschung und Anwendungstechnik (IMA) kann auf bestehendes Know-how der Institute und deren Infrastruktur zurückgegriffen werden. Die Erprobung von tribologischen Produkten (z. B. Dichtungen) soll insbesondere in praxisnahen Applikationen der Bereiche ‚Luftfahrttechnik', ‚Schienenfahrzeuge' und ‚Automobiltechnik' durchgeführt werden. Von beiden Instituten liegen uns Interessensbekundungen für Gespräche über eine Zusammenarbeit in der Entwicklung und Erprobung tribologischer Produkte vor. Ferner hat das Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-, Energietechnik (UMSICHT) Interesse an einer Zusammenarbeit insbesondere im Bereich des PTFE-Recyclings geäußert.

Industrieverbände und Unternehmen aus der Kunst- und Schmierstoffindustrie stehen uns beratend zur Seite, um die Lücke zwischen der Entwicklung und Erprobung und den Kundenproblemen am Markt zu schließen. So werden insbesondere mit Blick auf den FuE-Ansatz 1 die Interessengemeinschaft Kunststoffrecycling Sachsen (IG KURIS) und der Landesverband der Recyclingwirtschaft Sachsen e. V. (LVR) das Projekt in Phase 2 beratend unterstützen. Für den Bereich ‚Schmierstoffe' setzt sich das Beratungscluster aus den Mitgliedern der ‚Netzwerkinitiative Gleitlacke' (Fachbereich Tribotechnik der Westsächsischen Hochschule Zwickau [WHZ], der Microgleit Spezialschmierstoffe GmbH, PMM Oil GmbH, Tribologieberatung Dessau, Wessely GmbH und Winix GmbH) sowie einem Spezialschmierstoffunternehmen mit dem Schwerpunkt im Bereich der Seilschmierung (Elaskon Sachsen GmbH & Co. KG) zusammen. Aus dem Bereich der ‚Kunststoffe' kommen die Mitglieder des Clusters von Herstellern und Verarbeitern (Kunststoffe Bernau GmbH, Freudenberg Forschungsdienste KG, Rehau AG & Co. und Solvay Advanced Polymers), die mit Bezug auf die Inhalte und Zielsetzung der 3. Gruppe ‚PTFE-Hochleistungskunststoffe' zu den führenden Unternehmen auf dem Markt zählen.

Die dauerhafte aber unverbindliche Integration von Know-how der Transferberatungen, externer FuE-Einrichtungen, Industrieverbänden und Unternehmen garantiert die praxisnahe Einbeziehung der externen Forschungs- und Marktexpertisen in die Projekt-Arbeiten.

4.2.1.2 Umsetzung des Innovationslabors

Aus dem in Kapitel 4.1 aufgezeigten Verbesserungspotential resultieren folgende Handlungsbedarfe für das anwendungsnahe FuE-Vorhaben ‚MoRe-PTFE':

- Sicherung und Ausbau des Know-how-Vorsprungs,
- Kommunikation des Technologievorsprungs,
- Wahrnehmung von Qualifikationsveranstaltungen,
- Weiterentwicklung der FuE-Ansätze.

Zur Sicherung und zum Ausbau des Know-hows wird eine **Schutzrechtsstrategie** etabliert. Bestehende Patente werden bewertet und Schutzrechtsdefizite ermittelt. Ferner wird eine zunehmende Internationalisierung bestehender und zukünftiger Patente verfolgt, sofern das Prioritätsjahr bei den erfolgreichen Schutzrechtsanmeldungen noch nicht vergangen ist. Als vorteilhaft erweist sich das bestehende Schutzrechtsportfolio. Das **Basispatent** von 1998 bildet

die Grundlage für den Schutz der Technologie der ‚chemischen Kopplung', auf dem weitere **10 Patente** aufbauen. Im Rahmen von Lizenzvergaben konnte das Know-how bezogen auf verfahrenstechnische Parameter in der Herstellung ausgebaut werden. Um das neue Wissen zu schützen, sind weitere Patentanmeldungen in Erarbeitung, insbesondere für PEEK-PTFE und PAI-PTFE.

Die Auswertung der Schutzrechtsanalyse hat ergeben, dass kein Patent die Technologie ‚chemische Kopplung von PTFE' berührt. So schützen die gefundenen Patente Dritter die Herstellung von modifizierten Mikropulvern durch das Copolymerisations-Verfahren in Dispersionen sowie die Verwendung derer als Additive. Dieses Verfahren grenzt sich eindeutig von dem Verfahren der chemischen Modifikation von PTFE ab. Darüber hinaus sind Patente untersucht worden, die weitere Möglichkeiten der Oberflächenmodifizierung, z. B. durch Plasmabehandlung oder physische Aufrauung behandeln, jedoch die chemische Modifikation nicht berühren.

Es wird somit volle Handlungsfreiheit (‚freedom to operate') bei der späteren kommerziellen Verwertung bezüglich bereits existierender Patente Dritter bestehen. Die Patentanwaltskanzlei Rauschenbach (Frau Rauschenbach) hat seit 1998 Herrn Dr. Lehmann bei der Patentanmeldung und -prüfung unterstützt. Ein weiterer fachlicher Ansprechpartner wird weiterhin das Patentinformationszentrum (PIZ) der Technischen Universität Dresden (TUD) sein, welches in den Folgejahren die Patentüberwachung vornehmen wird. Bei der Identifikation einer Schutzrechtsstrategie wird das PIZ und die Patentanwaltskanzlei Rauschenbach in enger Abstimmung mit dem Stab Forschungsplanung und Koordinierung einbezogen.

Zur Kommunikation der Technologie insbesondere gegenüber Industrievertretern wird eine **Technologiemarketing-Strategie** erarbeitet. Unter einem noch zu etablierenden Akronym mit hohem Wiedererkennungswert (z. B. ‚MoRe-PTFE') werden industrienahe Fachveranstaltungen (z. B. Kolloquien der Gesellschaft für Tribologie e. V., Seminare des Süddeutschen Kunststoffzentrums, Arbeitskreise von Industrieverbänden etc.) genutzt. Im deutschen und europäischen Raum werden Fachmessen besucht, um weiterhin Ratgeber und Interessenten aus der Praxis zu finden. In industrienahen Fachzeitschriften (z. B. Kunststoff-Magazin) werden aktuelle Testergebnisse aus Prüfstands- und Feldversuchen veröffentlicht, um die verbesserten Triboeigenschaften hervorzuheben. Neben der Außendarstellung wird das Projekt ‚MoRe-PTFE' auch innerhalb des Instituts intensiv kommuniziert. Hierfür werden interne Veranstaltungen und der Newsletter entsprechend genutzt. Ziel ist die Sensibilisierung von Entscheidungsträgern und wissenschaftlichen Mitarbeitern, die das Projekt institutsintern entscheidend bzw. beratend unterstützen sollen.

Im Rahmen der **Qualifikationsstrategie** werden Veranstaltungen insbesondere von Dresden exists wahrgenommen. Diese sind u. a. Technischer Vertrieb, Marketing, Wettbewerbsanalyse, Rechtsformwahl, Finanzierung etc. Mitarbeiter des Kernteams ‚MoRe-PTFE' und hier insbesondere die Projektassistenz werden weiterhin bestehende und zukünftig angebotene, speziell auf den Technologietransfer zugeschnittenen Qualifikationsveranstaltungen von Dresden exists besuchen. Darüber hinaus werden industrienahe Fachveranstaltungen, Arbeitskreise und Kolloquien genutzt, um das fachlich-wissenschaftliche Know-how weiter auszubauen. Ferner kann durch die geplante Teilnahme am Business-Plan-Wettbewerb ‚Future-SAX' das mögliche Geschäftsmodell von externen Fachkräften geprüft werden. Innerhalb des Projektes ‚MoRe-PTFE' besteht die Möglichkeit zu wissenschaftlich-fachlichen und industrienahen Themen eine Promotion anzufertigen. Darüber hinaus ergibt sich für den Betriebswirtschaftler die Möglichkeit, im Rahmen einer Dissertation ein technologietransferrelevantes Thema auszuarbeiten.

Von dem fachlich-wissenschaftlichen Standpunkt sind die **FuE-Ansätze** als Ausgangspunkt zu sehen, die kontinuierlich weiterzuentwickeln sind, um sich eventuell ändernden Marktbedürfnissen und hinsichtlich der technischen Machbarkeit anzupassen. Mit der Weiterentwicklung der FuE-Ansätze innerhalb der ForMaT-Projektlaufzeit müssen daraus abzuleitende Änderungen und Korrekturen vorgenommen und die Struktur des Innovationslabors eventuell angepasst werden.

Um die Übertragbarkeit des Innovationslabors ‚MoRe-PTFE' auf andere anwendungsnahe FuE-Vorhaben mit großem Verwertungspotential realisieren zu können, wird in den übergeordneten Strukturen (**IPF**) eine **Rahmen-Transferstrategie** etabliert. Diese wird basierend auf Erfahrungen aus bisherigen Transferprojekten (u. a. Lizenzvergaben, Ausgründungen) entwickelt. Anhand von ‚Best Practices' (z. B. am Markt bestehende Ausgründungen) können wesentliche Barrieren und Triebfedern identifiziert und auf neue industrienahe, vor der Verwertung stehende FuE-Vorhaben übertragen werden. So fügen sich die drei strategischen Handlungsfelder des Innovationslabors ‚MoRe-PTFE' in die Rahmen-Transferstrategie des IPF. Die aus dem Einzelfall ‚MoRe-PTFE' gewonnenen Erkenntnisse können aber auch die Rahmen-Transferstrategie kontinuierlich verbessern, wodurch **andere industrienahe FuE-Vorhaben des IPF davon profitieren können** (Abbildung 10). Voraussetzungen zur Umsetzung des Innovationslabors ‚MoRe-PTFE' sind im IPF sowohl durch den Stab Forschungsplanung und Koordinierung, als auch durch das Commitment des Vorstands gegenüber Transfervorhaben (z. B. Lizenzen, Kooperationen, Ausgründungen) gegeben.

Rahmen-Transferstrategie des Leibniz-Instituts für Polymerforschung Dresden e.V. (IPF)

FuE-Vorhaben x	Transferstrategien für das Projekt ‚MoRe-PTFE'			FuE-Vorhaben y
	Ziel	• **Sicherung und Ausbau des Know-how-Vorsprungs**	• **Aufmerksamkeit**	• **Weiterbildung**
	Strategie	• Schutzrechtsstrategie	• Technologiemarketing-Strategie	• Qualifizierungsstrategie
	Aufgaben	• Prüfung der bestehenden Schutzrechte auf zureichende Sicherheit • Identifikation weiterer Schutzrechtsbedarfe • Internationalisierung • Patentpflege und -überwachung	• Etablierung einer nicht kommerziellen Dachmarke ‚MoRe-PTFE' • kommunikative Darstellung der bisherigen FuE-Arbeiten nach außen durch Teilnahme an industrienahen einschlägigen Arbeitskreisen, Kolloquien etc.	• Teilnahme an wirtschaftswissenschaftlichen Qualifikationsveranstaltungen • Teilnahme an anwendungsorientierten, industrienahen Fachveranstaltungen
	Durchführung	• Patentanwalt Fr. Rauschenbach • Patentinformationszentrum TUD • Betriebswirtschaftler	• Stabsstelle Forschungsplanung und Koordinierung • Betriebswirtschaftler	• Wissenschaftliche Mitarbeiter • Betriebswirtschaftler

Abbildung 10: Darstellung von Transferstrategien zur Durchführung von anwendungsnahen FuE-Aktivitäten mit hohem Verwertungspotential (e. D.)

4.2.2 Verwertung der FuE-Ergebnisse aus dem Innovationslabor ‚MoRe-PTFE'

Wie kann die Verwertung von ‚MoRe-PTFE' aus dem IPF heraus erfolgen? Nach Auffassung von Experten und des Projektteams besteht die Herausforderung bei der Materialentwicklung in den relativ langfristigen Entwicklungs- und Erprobungszeiträumen, die mit hohen Investitionen und Kapitalbindung in Anlagen verbunden ist. So kann zum heutigen Zeitpunkt eine Verwertungsstrategie nicht zeitgenau dargestellt werden. Es lassen sich vielmehr **Szenarien der Verwertung** zu verschiedenen Zeitpunkten aufzeigen.

Eine einfache Form der Verwertung ist die **Lizenzvergabe**. Vor allem unter dem Blickwinkel der Markteintrittsbarrieren für neue Unternehmen im Hochleistungskunststoff-Markt ist diese Alternative kurzfristig realisierbar. Bezogen auf chemisch gekoppelte PA-PTFE-Materialien und deren Anwendungen wurden bisher Lizenzen an Evonik Industries AG (ehemals Degussa AG), Gerbrüder Reinfurt GmbH & Co. KG (GRW), Starlite Co. Ltd. und TerHell Plastics vergeben.

Es sei noch mal hervorgehoben, dass die Lizenzvergaben repräsentativ bestätigen, dass eine im Anschluss an die langjährigen FuE-Arbeiten vorzunehmende Verwertung machbar ist. Dennoch erfordert jeder spezifische Anwendungsfall in der Materialentwicklung und -herstellung insbesondere für Tribo-Systeme langfristig vorangegangene FuE-Aktivitäten.

Die Auslizenzierung stellt eine Möglichkeit der Verwertung dar, sofern sich Anfragen für Materialien ergeben, die auf Gegenstand und Zeit beschränkt werden können. So kann im

Anschluss an ForMaT-Phase II die Lizenzvergabe weiterhin vorgenommen werden. Eine weitere Form der Verwertung ist der **Patentverkauf**. So werden in anderen Forschungsgebieten des IPF (u. a. ‚Flammschutz', ‚ultrahydrophobe Oberflächen') mit der IP Bewertungs AG (IPB) Gespräche über eine gemeinsame Veräußerung von Schutzrechten geführt.
Um die Überführung von Demonstratoren und Prototypen zu realisieren, erscheint Experten und dem Projektteam die **Forschungskooperation** (z. B. Public-Private-Partnership) ein adäquates Instrument darzustellen. Jenes schließt sich an ForMaT-Phase 2 an und basiert zunächst auf virtueller Zusammenarbeit. Diese Kooperation zwischen dem IPF und vorzugsweise mittelständischen Unternehmen sollte mindestens durch einen Rahmenvertrag die Einbringung der Mittel (Finanzen, Know-how, Infrastruktur, Personal) und die Schutzrechtssituation eindeutig benennen. Langfristig kann das IPF mit den Unternehmen zusammen an der Entwicklung, Erprobung und Herstellung **im Labormaßstab** arbeiten. Im Rahmen der fortgeführten Qualifizierungsstrategie sind Promotions- und Post-Doc-Programme umzusetzen. Die Unternehmensbefragung hat ergeben, dass 87 % der Unternehmen grundsätzlich ‚großes Interesse' an einer FuE-Kooperation auf dem Gebiet des chemisch gekoppelten PTFE haben[75]. Allerdings ist der derzeitige FuE-Stand in den fokussierten Anwendungsfeldern des Projektes ‚MoRe-PTFE' nicht soweit fortgeschritten, dass derzeit Kooperationen mit Unternehmen eingegangen werden könnten.
Ein weiteres Instrument nachhaltiger Technologietransferstrukturen ist die Etablierung von **Applikationszentren**. Diese können eigenständig oder integriert in bestehende Institutionen, also unter Nutzung bestehender Infrastruktur, erfolgen. Im letzteren Fall kann das Applikationszentrum in eine bereits etablierte Forschungskooperation (Public-Private-Partnership) oder in andere Institutionen (z. B. Süddeutsches Kunststoffzentrum, Kunststoff-Kompetenzzentrum Halle-Merseburg), die mit Anlagen **im industriellen Fertigungsmaßstab** ausgestattet sind, integriert werden. Bei einem Applikationszentrum besteht die grundsätzliche Aufgabe darin, die Reproduzierbarkeit des Herstellungsverfahrens und die Eigenschaftserbringung im industriellen Fertigungsmaßstab zu erarbeiten. Der Installation von Applikationszentren sollte die Identifikation bestimmter Leitbranchen (z. B. Luftfahrt, Automotive, Schienenverkehr) aus den vorherigen FuE-Arbeiten vorangestellt werden.
Im Anschluss an die langfristigen Überführungsarbeiten ist eine aus Sichtweise des Projektteams nachhaltige und potentialträchtige Verwertungsmöglichkeit die **Unternehmensgründung**. Resultierend aus der Bewertung der Kriterien ‚Markt', ‚Wettbewerb' und ‚technischer Machbarkeit' ergibt sich die Möglichkeit, mittelfristig (in 2-3 Jahren) die Ausgründung eines Unternehmens für Hochleistungsschmierstoffe vorzunehmen. Diese könnte direkt aus der ForMaT-Phase 2 resultieren. Dennoch ist eine Lizenzvergabe für einen begrenzten Gegenstand aus dem Bereich der Hochleistungsschmierstoffe nicht auszuschließen. Wesentlich komplexer gestaltet sich die Markteinführung von Hochleistungskunststoffen aus FuE-Ansatz 3. So steht ‚MoRe-PTFE' insbesondere durch die langen Entwicklungs- und Erprobungszeiträume sowie derzeit nicht bestehender Vertriebskanäle Herausforderungen gegenüber. Eine Ausgründung bezogen auf die Hochleistungskunststoffe könnte langfristig aus oben aufgeführten Überführungsarbeiten zunächst in Applikationszentren erfolgen. Vertriebswege werden durch die Fokussierung der Leitbranchen und der vorhergehenden, mehrjährigen Zusammenarbeit mit Unternehmen etabliert. Die Reproduzierbarkeit der Anwendungen resultiert aus den Erfahrungen der Überführungsarbeiten.

[75] Ergebnis der schriftlichen Unternehmensbefragung. Es konnte ein Rücklauf von n = 19 erzielt werden.

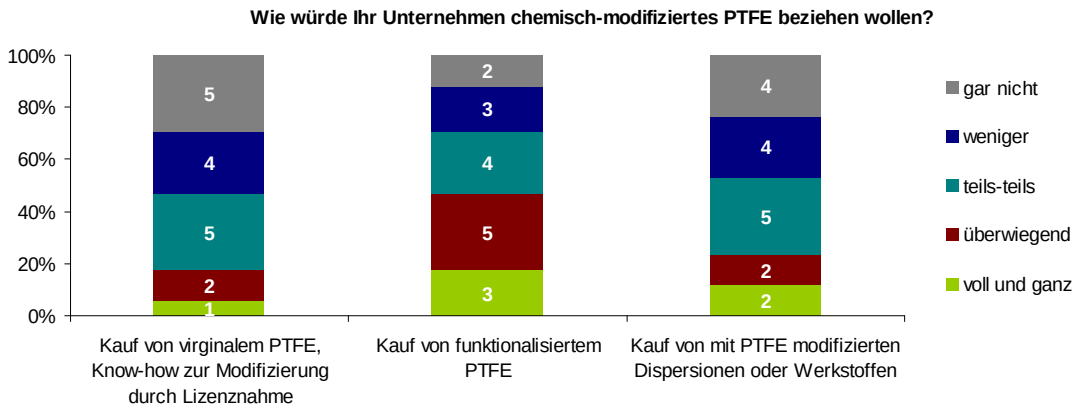

Abbildung 11: Bezugsmöglichkeiten von chemisch modifiziertem PTFE

Unsere Befragung hat ergeben, dass 42 % (n = 8) der befragten Unternehmen an einer Lizenznahme interessiert sind (Summe aus den Nennungen ‚voll und ganz', ‚überwiegend' und ‚teils teils'). Hingegen würden 70 % (n = 12) bzw. 57 % (n = 9) der Unternehmen den Bezug von funktionalisiertem PTFE bzw. von in Werkstoffen und Dispersionen gekoppeltem PTFE erwägen (Abbildung 11)[76]. Wie das Ergebnis der schriftlichen Befragung verdeutlicht, sollte sowohl die Fremd- (z. B. durch Lizenzvergabe) als auch die Eigenverwertung (z. B. Ausgründung) verfolgt werden. Zusammenfassend sind die Szenarien der Verwertung und dessen Verlauf in Abbildung 12 dargestellt.

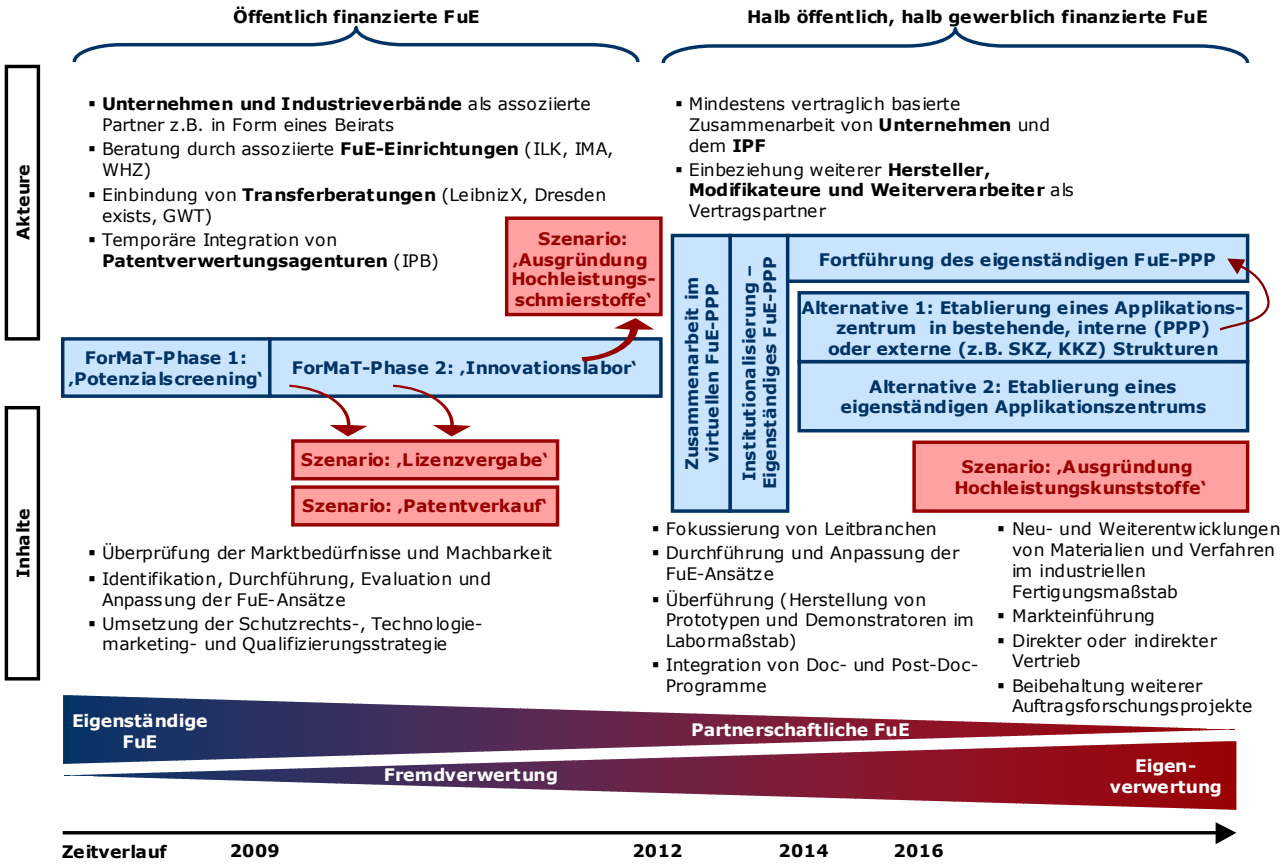

Abbildung 12: Entwicklung von Verwertungsmöglichkeiten von ‚MoRe-PTFE'

[76] Ergebnis der schriftlichen Unternehmensbefragung. Es konnte ein Rücklauf von n = 19 erzielt werden.

4.3 Abgeleitete Empfehlungen zur Entwicklung eines Transfersystems

Auf Grundlage der Kapitel 4.2.1 und 4.2.2 lassen sich allgemeine Handlungsempfehlungen zur Durchführung von FuE-Aktivitäten mit hohem Verwertungspotential benennen:

Für das FuE-Einzelvorhaben:

- Bestandsanalyse der existierenden Patente und vergebenen Lizenzen;
- Evaluierung der Ergebnisse aus bisherigen Industrieprojekten in dem jeweiligen FuE-Gebiet;
- Identifikation von FuE-Ergebnissen mit hohem Verwertungspotential unter Zuhilfenahme eines Technologie-Portfolios (z. B. Technologieportfolio nach Pfeiffer)[77];
- Identifikation zukünftiger Einsatzfelder (Erstellung einer Technologie-Roadmap)[78];
- Formulierung einer Transferstrategie für das Einzel-FuE-Vorhaben:
    - Etablierung einer Schutzrechtsstrategie,
    - Formulierung einer Technologiemarketing-Strategie,
    - Identifikation einer Qualifikationsstrategie,
- Identifikation von Verwertungsszenarien bzw. -strategien.

Für die Forschungseinrichtung:

- Identifikation bisheriger erfolgreicher und gescheiterter, transferrelevanter FuE-Projekte;
- Evaluation der Triebfedern und Barrieren bisheriger Ausgründungen, insbesondere Identifikation der Faktoren, die zur Ausgründung geführt haben (‚Best Practices');
- Formulierung einer Rahmen-Transferstrategie für die Forschungseinrichtung:
    - Etablierung einer Schutzrechtsstrategie,
    - Formulierung einer Technologiemarketing-Strategie,
    - Identifikation einer Qualifikationsstrategie;
- Sensibilisierung und Qualifizierung von internen Entscheidern und wissenschaftlichen Mitarbeitern.

5 Zusammensetzung und Aufgabenverteilung für die Projektunterstützung sowie die Forschungsgruppen

Das Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden e.V., als eines der größten Polymerforschungseinrichtungen in Deutschland, besitzt natur- und ingenieurwissenschaftliche Ausrichtung und ermöglicht eine ganzheitliche materialwissenschaftliche Forschung. Das IPF ist fest verankert in den Forschungsstandort Dresden und eng vernetzt mit Forschergruppen sowohl regional als auch weltweit. Das IPF besitzt hervorragende Möglichkeiten zur Bearbeitung des Vorhabens, einmal bezüglich seiner guten Ausstattung, zum anderen wegen seiner ausgewiesenen Kompetenz auf dem Gebiet der Polymermodifizierung im Allgemeinen und der Bestrahlungstechnik, der Polymerverarbeitung und -charakterisierung im Besonderen.

Entsprechend dieser Kapazitäten ist es möglich, dass alle 3 Teams am IPF angestellt sind und auch vorwiegend dort tätig sein werden. Gleiches gilt für die begleitende Projektunterstützung.

Tabelle 2 zeigt die potentiellen Partner auf, die schwerpunktmäßig den jeweiligen Arbeitsgruppen 1-3 bzw. der Projektassistenz zuzuordnen sind und diese beratend unterstützen.

---

[77] Siehe hierzu: Pfeiffer, W. et al. (1989): Technologie-Portfolio zum Management strategischer Zukunftsgeschäftsfelder, Göttingen. In: Innovative Unternehmensführung, Band 7.

[78] Der Begriff Technologie-Roadmap kann in zweierlei Hinsicht ausgelegt werden. Zum einen bezeichnet das Technologie-Roadmapping in enger Auslegung ausschließlich solche Roadmapping-Ansätze, in denen es primär um Produkt- und Prozesstechnologien geht. Zum anderen bezeichnet das Technologie-Roadmapping in weiterer Auslegung aber auch alle Roadmapping-Ansätze, die umfassend Technologien Produkte, Prozesse, Funktionen, Markttreiber, Kompetenzen, Projekte etc. zum Gegenstand haben. Für weiterführende Informationen sei auf Möhrle, M. G.; Isenmann, R. (2008): Technologie-Roadmapping – Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen, Berlin/Heidelberg.

	Potentielle Partner	Schwerpunkt der Zusammenarbeit
Forschungstransfer	Gründungsinitiative ‚Dresden exists'	Projektassistenz
	Gesellschaft für Technologie und Wissenstransfer (GWT)	Projektassistenz
	Patentanwaltskanzlei Rauschenbach	Projektassistenz
	Patentinformationszentrum (PIZ)	Projektassistenz
	Science2Market-Beratung ‚LeibnizX'	Projektassistenz
	TU-Dresden, SAP-Stiftungslehrstuhl für Entrepreneurship und Innovation (LEI)	Projektassistenz
FuE-Einrichtungen	Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT	Arbeitsgruppe 1
	Institut für Materialforschung und Anwendungstechnik GmbH (IMA)	Arbeitsgruppe 3
	Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik (ILK)	Arbeitsgruppe 3
	Westsächsische Hochschule Zwickau (WHZ), Fachbereich Tribotechnik	Arbeitsgruppe 2
Industrie	Elaskon Sachsen GmbH & Co. KG	Arbeitsgruppe 2 und 3
	Freudenberg Forschungsdienste KG (FFD)	Arbeitsgruppe 3
	Gamma-Service Recycling GmbH	Arbeitsgruppe 1
	Interessengemeinschaft Kunststoffrecycling Sachsen e.V. (IG KURIS)	Arbeitsgruppe 1
	Kunststoffe Bernau GmbH	Arbeitsgruppe 3
	Landesverband der Recyclingwirtschaft Sachsen e.V. (LVR)	Arbeitsgruppe 1
	Netzwerk ‚Gleitlacke' (PMM Oil GmbH, Winix GmbH, Wessely GmbH, Microgleit Spezialschmierstoffe GmbH)	Arbeitsgruppe 2 und 3
	Rehau AG & Co.	Arbeitsgruppe 3
	Solvay Advanced Polymers	Arbeitsgruppe 3
	Tribologieberatung Dessau	Arbeitsgruppe 2 und 3

Tabelle 2: Potentielle Partner im ForMaT-Projekt ‚MoRe PTFE'

Das innovative Potential der FuE-Ansätze 2 und 3 kann nur durch die chemische Kopplung zugeschnittener Mikropulver an die Matrixkomponenten (DM oder HPP) vollständig ausgeschöpft werden. Damit ist der Forschungsansatz 1 eine unverzichtbare Voraussetzung für den Erfolg der FuE-Ansätze 2 und 3. MP-S/E bzw. MP-R werden deshalb mit zunehmend verbessert eingestellten Zielparametern (Bezeichnung der 3 Qualitätsstufen: „Grundtype", „eingestellte Funktionalität" und „optimale Eigenschaften") den Teams 2 und 3 zur Verfügung gestellt. Die verbesserte Einstellung der Mikropulver erfordert, neben einer stetigen Weiterentwicklung des Bestrahlungsverfahrens, die Verarbeitung in den FuE-Ansätzen 2 und 3, die Eigenschaftsbestimmung der Produkte und daraus ableitend, die Optimierung der Ziel- und Bestrahlungsparameter. Das verlangt eine enge Zusammenarbeit aller drei Teams.

5.1 MoRe-PTFE-Team 1: Bestrahlungstechnik

Zusammensetzung

Da die Technologie einer langfristigen Einarbeitung bedarf, steht der unmittelbare Bestrahlungsprozess unter Leitung von Dr. Gohs (Haushaltsangestellter).

- MA 1: Wiss. MA (Dipl.-Chem., bes. Kompetenz: Polymerchemie, Analytische Chemie)
- MA 2: Wiss. MA (Dipl.-Ing., bes. Kompetenz: Verfahrenstechnik, Anlagenbau)
- MA 3: Physikalisch-Technischer Assistent (besondere Kompetenz: Messtechnik)

Beide Aufgabenbereiche enthalten partiell gleiche Teilaufgaben. Auf Grund der speziellen Anforderungen der Recyclingthematik betrachtet der Antragsteller eine separate Behandlung der Themen für zweckmäßig.

Aufgabenbereich 1: Recycling von PTFE-Spänen, Herstellung von funktionalisierten Mikropulver-Recyclaten (MP-R)
▪ Grundstoffbereitstellung
▪ Bestrahlung Recyclat
▪ Materialcharakterisierung und Optimierung
▪ Produktgewährleistung für FuE-Ansätze 2 und 3
Aufgabenbereich 2: Herstellung von funktionalisierten Mikropulvern aus PTFE-Suspensions- und Emulsionspolymerisat (MP-S/E)
▪ Bestrahlung
▪ Materialcharakterisierung und Optimierung
▪ Produktgewährleistung für FuE-Ansätze 2 und 3

Tabelle 3: Aufgabenbereiche Team 1

5.2 MoRe-PTFE-Team 2: Hochleistungsschmierstoffe

- MA 1: Wiss. MA (Dipl.-Chem., bes. Kompetenz Polymerchemie, Organische Chemie)
- MA 2: Wiss. MA (Dipl.-Chem. / Dipl.-Ing., bes. Kompetenz: Verfahrensentwicklung, Verarbeitungsprozesse)
- MA 3: Techn. MA (bes. Kompetenz: Verfahrensentwicklung/ Verarbeitungsprozesse)

Aufgabenbereich 1: Reaktive Umsetzung funktionalisierter PTFE-Mikropulver mit den Hochleistungspolymeren PAI, PEEK
▪ Ausgangsmaterialbereitstellung und –charakterisierung
▪ Vorversuche zur Eingrenzung der HPP-Materialtypen, Funktionalisierungsgrade der Mikropulver
▪ Schmelzeextrusion ausgewählter Systeme (Grundlage Ergebnisse Teilaufgabe B), Verfahrensentwicklung (methodischer Ablauf, Eingrenzung Verfahrensparameter) am ZSK 30 (Kleintechnikum)
▪ Verfahrensoptimierung auf Basis der Ergebnisse der Aufgabenbereiche 2 und 3
Aufgabenbereich 2: Charakterisierung der Materialien
▪ Analytik und Eigenschaftsbestimmung
▪ Untersuchungen zur Gefügeausbildung
Aufgabenbereich 3: Tribologische Untersuchungen
▪ Tribometerversuche
▪ Bauteiluntersuchungen (Definition von Einsatzgrenzen)

Tabelle 4: Aufgabenbereiche Team 2

5.3 MoRe-PTFE-Team 3: Hochleistungskunststoffe

- MA 1: Wiss. MA (Dipl.-Chem., bes. Kompetenz: Polymerchemie, Polymerverarbeitung)
- MA 2: Wiss. MA (Dipl.-Chem./Dipl.-Ing., bes. Kompetenz: Polymeranalytik, Tribologie
- MA 3: Techn. MA (Verfahrenstechniker, bes. Kompetenz: Verarbeitung und Tribologie)

Aufgabenbereich 1: Herstellung PTFE-basierter Öle, Fette, Wachse und Gleitlacke mittels diskontinuierlicher Verfahren
▪ Ausgangsmaterialbereitstellung und –charakterisierung
▪ Laborversuche (Überschuss DM, Verwendung von Lösemitteln, Kleinansätze)
▪ Rührkesselversuche
Aufgabenbereich 2: Entwicklung kontinuierlicher Extrusionsverfahren zur Herstellung PTFE-basierter, chemisch gekoppelter Öle, Fette, Wachse und Gleitlacke
▪ Vorversuche zur Reduzierung des DM-Anteils
▪ Extruderversuche und Verfahrensoptimierung
Aufgabenbereich 3: Charakterisierung der Produkte aus den Aufgabenbereichen 1 und 2
▪ Analyse und Eigenschaftsbestimmung
▪ Bestimmung der tribologischen Eigenschaften und Korrelation mit den Verarbeitungsparametern

Tabelle 5: Aufgabenbereiche Team 3

5.4 Projektunterstützung

Zusammensetzung

Die Projektunterstützung erfolgt wie in Phase I durch Herrn Martin Fischer.

Aufgabenbereich 1: Integrative Bearbeitung wissenschaftlicher Aufgabenstellungen
▪ Betrifft v.a. Team 1: Entwicklung von Ideen für Möglichkeiten zum Aufbau eines intelligenten Stoffstrommanagements
Aufgabenbereich 2: Projektmanagement bzw. Administration
▪ PR/Öffentlichkeitsarbeit, Organisation und Moderation von Workshops, Mitwirkung bei Vertragsangelegenheiten und Betreuung der Mitarbeiter
Aufgabenbereich 3: Kalkulation, Budgetverwaltung und Controlling
▪ Kostenplanung, interne und externe Verrechnung, Gemeinkosten, Technik- und Investitionscontrolling, Kalkulation der Teilprojekte
Aufgabenbereich 4: Technologietransfer
▪ Etablierung einer Schutzrechtsstrategie, Identifikation einer Technologiemarketingstrategie, Wahrnehmung von Qualifikationsveranstaltungen und Kompetenzentwicklung der wissenschaftlich-fachlichen Mitarbeiter
▪ Ableitung von Erfahrungen aus dem Innovationslabor ‚MoRe-PTFE' für die Rahmentransferstrategie des IPF
▪ Identifikation von Verwertungsstrategien

Tabelle 6: Aufgabenbereiche Projektunterstützung

6 Beschreibung der Arbeits-, Zeit- und Meilensteinplanung

Team 1 und Projektunterstützung

		Mitarbeiter	2009				2010												2011							
			Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
Aufgabenbereich 1: Recycling von PTFE-Spänen, Herstellung von funktionalisierten Mikropulver-Recyclaten																										
Teilaufgabe A: Grundstoffbereitstellung - Recyclat																										
AP 1	Fortführende Recherche aktueller Stand der Technik und Versuchsplanung	MA 1																								
AP 2	Beschaffung chargenstabiler Ausgangsrecyclate	MA 1																								
AP 3	Charakterisierung der Ausgangsrecyclate	MA 1																								
		MA 3																								
AP 4	Vorbehandlung der Ausgangsrecyclate (Reinigung, Vormahlung, Klassierung)	MA 2																								
		MA 3																								
AP 5	Erfassung von Abfällen und Identifikation eines intelligenten Stoffstrommanagements	BWL																								
Teilaufgabe B: Bestrahlung - Recyclat																										
AP 6	Konstruktion Bestrahlungsgefäß	MA 2																								
AP 7	Sicherstellung Bestrahlungstechnologie	MA 2																								
AP 8	Durchführung Bestrahlung (Variation von Dosis, Dosisleistung, Gasumgebung)	MA 2																								
		MA 3																								
AP 9	Untersuchungen zur Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen (Absaugung, HF-Neutralisation)	MA 1																								
AP 10	Aufbereitung des Bestrahlungsgutes zu Mikropulver (Mahlung, Klassierung)	MA 2																								
		MA 3																								
AP 11	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Recyclings	BWL																								
Teilaufgabe C: Materialcharakterisierung und Optimierung von MP-R																										
AP 12	Charakterisierung von MP-R (Radikalgehalt, COOH-Gehalt, Molekulargewicht, Korngröße, Korngrößenverteilung)	MA 1																								
		MA 3																								
AP 13	Optimierung der Bestrahlungsparameter auf Grundlage von AP 9 und von Materialeigenschaften der Produkte aus den FuE-Ansätzen 2 und 3	MA 1																								
Teilaufgabe D: Produktgewährleistung und Ergebnisdokumentation MP-R																										
AP 14	Lagerung, Konfektionierung, Qualitätsüberwachung	MA 3																								
AP 15	Sicherstellung Lohnbestrahlung bei Großmengen	MA 2																								
AP 16	Ergebnisdokumentation	MA 1,2																								
Aufgabenbereich 2: Herstellung von funktionalisierten Mikropulvern aus PTFE-Suspensions- und Emulsionspolymerisaten																										
Teilaufgabe E: Bestrahlung von kommerziellen Mikropulvern																										
AP 17	Kauf verschiedener Mikropulver und Sicherstellung Bestrahlungstechnologie	MA 2																								
AP 18	Durchführung Bestrahlung	MA 2																								
		MA 3																								
AP 19	Untersuchungen zur Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen	MA 1																								
AP 20	Aufbereitung des Bestrahlungsgutes	MA 2																								
		MA 3																								
AP 21	Fortführende Markt- und Wettbewerbsanalyse	BWL																								
Teilaufgabe F: Materialcharakterisierung und Optimierung von MP-S/E																										
AP 22	Charakterisierung von MP-S/E	MA 1																								
		MA 3																								
AP 23	Optimierung der Bestrahlungsparameter	MA 1																								
Teilaufgabe G: Produktgewährleistung und Ergebnisdokumentation MP-S/E																										
AP 24	Lagerung, Konfektionierung, Qualitätsüberwachung	MA 3																								
AP 25	Sicherstellung Lohnbestrahlung bei Großmengen	MA 2																								
AP 26	Ergebnisdokumentation	MA 1,2																								

MS 1: MP-S/E-Grundtyp

MS 2: MP-R-Grundtyp

MS 3: MP-S/E (eingest. Funktionalität)

MS 4: MP-R (eingest. Funktionalität)

MS 5: MP-S/E (opt. Eigenschaften)

MS 6: MP-R (opt. Eigenschaften)

Team 2 und Projektunterstützung

		Mitarbeiter	2009				2010												2011							
			Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
Aufgabenbereich 1: Herstellung PTFE-basierter Öle, Fette, Wachse und Gleitlacke mittels diskontinuierlicher Verfahren																										
Teilaufgabe A: Ausgangsmaterialbereitstellung und-charakterisierung																										
AP 1	Fortführende Recherche aktueller Stand der Technik und Versuchsplanung	MA 1, MA 2																								
AP 2	Bezug und Charakterisierung kommerzieller Dispergiermittel (Öle, Fette, Wachse, PAI-basierte Bindemittel) und bestrahlter kommerzieller PTFE-Mikropulver (MP-K)	MA 1																								
		MA 3																								
AP 3	Bereitstellung / Auswahl von MP-S/E und MP-R aus FuE-Ansatz 1 (Grundtypen, eingestellte Funktionalität, optimierte Eigenschaften)	MA 1																								
Teilaufgabe B: Laborversuche (Überschuss DM, Verwendung von Lösemitteln, Kleinansätze) Jeweils Variation: Charge / Anteil PTFE, Anteil / Art Dispergiermittel, Reaktionsbedingungen																										
AP 4	Reaktive Kopplung von DM mit MP-K, MP-S/E und MP-R (Grundtypen)	MA 1																								
		MA 3																								
AP 5	Auswahl relevanter Systeme für Maßstabsvergrößerung (Basis: Ergebnisse aus AB 3)	MA 1																								
Teilaufgabe C: Rührkesselversuche																										
AP 6	Aufbau und Installation eines Ultraturrax-Rührreaktors	MA 2																								
		MA 3																								
AP 7	Maßstabsvergrößerung und Herstellung PTFE-basierter Öle, Fette, Wachse und Gleitlackzubereitungen (MP-S/E-Grundtypen, MP-R-Grundtypen)	MA 2																								
		MA 3																								
AP 8	Rührkesselansätze unter Verwendung von MP-S/E und MP-R mit eingestellter Funktionalität / optimalen Eigenschaften	MA 2																								
		MA 3																								
AP 9	Zuschnitt / Konfektionierung der Produkte	MA 1																								
AP 10	Ergebnisdokumentation	MA 1																								
Aufgabenbereich 2: Entwicklung kontinuierlicher Extrusionsverfahren zur Herstellung PTFE-basierter, chemisch gekoppelter Öle, Fette, Wachse und Gleitlacke																										
Teilaufgabe D: Vorversuche zur Reduzierung des DM-Anteils																										
AP 11	Auswahl relevanter Systeme für die kontinuierliche Verfahrensentwicklung	MA 1																								
		MA 2																								
AP 12	Umsetzung von MP-K mit DM im Haake-Kneter und Haake-Extruder, Variation der Verarbeitungsbedingungen, Reduzierung DM	MA 2																								
		MA 3																								
AP 13	Umsetzung von MP-S/E, MP-R (Grundtypen) mit DM im Haake-Kneter und Haake-Extruder, Variation der Verarbeitungsbedingungen, Reduzierung DM	MA 2																								
		MA 3																								
Teilaufgabe E: Extruderversuche und Verfahrensoptimierung																										
AP 14	Aufbau und Installation Doppelschneckenextruder ZSK 30	MA 2																								
		MA 3																								
AP 15	Auswahl relevanter Systeme für Extrusionsversuche (Basis: Ergebnisse Vorversuche und Aufgabenbereich 1)	MA 1																								
		MA 2																								
AP 16	Flüssigkeits-/Schmelzearme Extrusion von MP-S/E (Grundtypen, eingest. Funkt.), MP-R (Grundtypen, eingest. Funkt.) mit Ölen, Fetten, Wachsen; Variation Verarbeitungsbedingungen, Minimierung des DM-Anteils	MA 2																								
		MA 3																								
AP 17	Flüssigkeits- / Schmelzearme Extrusion von MP-S/E (Grundtypen, eingest. Funkt.), MP-R (Grundtypen, eingest. Funkt.) mit PAI-basierten Bindemitteln, Variation Verarbeitungsbedingungen, Minimierung des DM-Anteils	MA 2																								
		MA 3																								
AP 18	Optimierung der Verfahrensparameter des kontinuierlichen Herstellungsprozesses auf Grundlage der Ergebnisse von Aufgabenbereich 3 (weitere Verifizierung wichtiger Parameter, insbesondere Art / Anteil PTFE-Mikropulver)	MA 1																								
		MA 2																								
AP 19	Extrusion von MP-S/E (optimale Eigenschaften) und MP-R (optimale Eigenschaften) und favorisierten DM nach optimiertem Verfahren	MA 3																								
AP 20	Sicherung der Verarbeitungsstabilität, Einhaltung gesetzlicher Bestimmungen	MA 2																								
AP 21	Verdichtung des Produktportfolios auf 3 bis 5 Produkte	MA 1																								
		MA 2																								
		BWL																								
AP 22	Untersuchungen zum kundengerechten Zuschnitt der Produkte, Lagerung, Konfektionierung, Qualitätsüberwachung	MA 1																								
		MA 2																								
AP 23	Ergebnisdokumentation	MA 2																								
Aufgabenbereich 3: Charakterisierung der Produkte aus den Aufgabenbereichen 1 und 2																										
Teilaufgabe F: Analyse und Eigenschaftsbestimmung																										
AP 24	Extraktionsuntersuchungen und Analytik zur Nachweisführung der chemischen Kopplung	MA 1																								
		MA 3																								
AP 25	Charakterisierung der Produkte aus den Teilaufgaben B,C,D,E mittels spektroskopischer, thermischer und rheologischer Methoden	MA 1																								
		MA 3																								
Teilaufgabe G: Bestimmung der tribologischen Eigenschaften und Korrelation mit Verarbeitungsparametern																										
AP 26	Bestimmung der tribologischen Eigenschaften von ausgewählten PTFE- Schmierstoffen mittels Schmierstoffprüfverfahren in Abhängigkeit von der Verarbeitung; Vergleich disk. / kont. Herstellung	MA 2																								
AP 27	Bestimmung der tribologischen Eigenschaften PTFE-basierter PAI-Gleitlacke in Abhängigkeit von der Verarbeitung; Vergleich disk. / kont. Prozessführung	MA 2																								
AP 28	Fortführende Markt- und Wettbewerbsanalyse	BWL																								
AP 29	Ergebnisdokumentation	MA 2																								

MS 1: Eingrenzung Funktionalität MP aus Laborversuchen

MS 2: Grundprodukte aus Rührkesselversuchen

MS 3: Abschluss Verfahrensentwicklung Extrusion

MS 4: Produkte mit optimierten Eigenschaften

Team 3 und Projektunterstützung

		Mitarbeiter	2009				2010												2011							
			Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
Aufgabenbereich 1: Reaktive Umsetzung von PTFE-Mikropulvern mit HPP																										
Teilaufgabe A: Ausgangsmaterialbereitstellung und -charakterisierung																										
AP 1	Fortführende Recherche aktueller Stand der Technik und Versuchsplanung	MA 1, MA 2																								
AP 2	Bezug und Charakterisierung PAI, PEEK und MP-K (Zusammenarbeit mit Team 2)	MA 1																								
		MA 3																								
AP 3	Bereitstellung / Auswahl von MP-S/E, MP-R aus FuE-Ansatz 1 (Grundtypen, eingestellte Funktionalität, optimierte Eigenschaften)	MA 1																								
		MA 2																								
Teilaufgabe B: Vorversuche zur Eingrenzung der HPP-Materialtypen, Funktionalisierungsgrade der Mikropulver																										
AP 4	Umsetzungen von div. PAI- und PEEK-Typen mit MP-K und MP-S/E (Grundtypen) im Haake-Kneter und Haake-Extruder	MA 1																								
		MA 3																								
AP 5	Extrusion von ausgewählten PAI- und PEEK-Typen mit MP-K und MP-S/E (Grundtypen) im Technikum	MA1																								
		MA 3																								
AP 6	Spritzguss von Probekörpern aus den Materialien von AP 5	MA 3																								
Teilaufgabe C: Schmelzeextrusion ausgewählter Systeme (Grundlage Ergebnisse Teilaufgabe B), Verfahrensentwicklung (Methodischer Ablauf, Eingrenzung Verfahrensparameter) am ZSK 30 (Kleintechnikum)																										
AP 7	Aufbau und Installation Doppelschneckenextruder ZSK 30 (Zusammenarbeit mit Team 2)	MA 1																								
		MA 3																								
AP 8	Reaktive Extrusion von PAI, PEEK mit 2-3 MP-S/E (Grundtypen und eingestellte Funktionalität)	MA 1																								
		MA 3																								
AP 9	Reaktive Extrusion von PAI, PEEK mit 2-3 MP-R (Grundtypen und eingestellte Funktionalität)	MA 1																								
		MA 3																								
AP 10	Spritzguss von Probekörpern aus den Materialien von AP 8 und 9	MA 3																								
Teilaufgabe D: Verfahrensoptimierung auf Basis der Ergebnisse der Aufgabenbereiche 2 und 3																										
AP 11	Reaktive Extrusion von PAI, PEEK und MP-S/E (eingestellte Funktionalität), Verifizierung der Verfahrensparameter mit Blick auf Gefügeausbildung und Ergebnisse der Tribometerversuche	MA 1																								
		MA 3																								
AP 12	Reaktive Extrusion von PAI, PEEK und MP-R (eingestellte Funktionalität), Verifizierung der Verfahrensparameter mit bes. Blick auf Gefügeausbildung und Ergebnisse der Tribometerversuche	MA 1																								
		MA 3																								
AP 13	Verdichtung des Produktportfolios	MA 1																								
		MA 2																								
		BWL																								
AP 14	Herstellung von favorisierten Compounds unter Verwendung von Mikropulvern (MP-S/E und MP-R) mit optimalen Eigenschaften	MA 1																								
		MA 3																								
AP 15	Herstellung von Prüfkörpern (Zugstäbe, Gleitlager etc.) für tribologische Modellversuche aus favorisierten Materialien	MA 1																								
		MA 3																								
AP 16	Sicherung der Verarbeitungsstabilität	MA 1																								
		MA 2																								
AP 17	Ergebnisdokumentation AB 1 und 2	MA 1																								
Aufgabenbereich 2: Charakterisierung der Materialien																										
Teilaufgabe E: Eigenschaftsbestimmung																										
AP 18	Extraktionsuntersuchungen und Analytik zur Nachweisführung der chemischen Kopplung	MA 2																								
AP 19	Charakterisierung der Produkte aus den Teilaufgaben B,C,D mittels spektroskopischer, thermischer und rheologischer Methoden	MA 2																								
AP 20	Bestimmung der thermischen Kenngrößen (Längenausdehnungskoeffizient, Wärmeleitverhalten, Temperatureinsatzgrenzen)	MA 2																								
AP 21	Bestimmung der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von der Konditionierung (Zugelastizitätsmodul, Zugfestigkeit, Schlagzähigkeit, Druckfestigkeit)	MA 1																								
Teilaufgabe F: Untersuchung Gefügeausbildung																										
AP 22	Thermische Methoden (DSC)	MA 2																								
		MA 3																								
AP 23	Präparation Schliffe, Untersuchung mittels mikroskopischer Methoden (Lichtmikroskopie, REM)	MA 2																								
		MA 3																								
Aufgabenbereich 3: Tribologische Untersuchungen																										
Teilaufgabe G: Tribometerversuche																										
AP 24	Tribologische Modelluntersuchungen zur Aufstellung von p·v-Diagrammen (Variation der Prüftemperatur) an Materialien entsprechend Teilaufgaben B,C,D	MA 1																								
AP 25	Kontaktflächenanalyse mittels AFM zur Ermittlung der Verschleißmechanismen	MA 2																								
AP 26	Korrelation zwischen tribologischer Leistungsfähigkeit und Gefügeausbildung (Morphologiestabilität) in Abhängigkeit von Eigenschaften / Menge des eingesetzten PTFE und PAI bzw. PEEK	MA 1																								
		MA 2																								
Teilaufgabe H: Bauteiluntersuchungen																										
AP 27	Auswahl favorisierter Materialvarianten	MA 1																								
		MA 2																								
AP 28	Bauteiluntersuchungen am Radialgleitlager; Bestimmung Grenzbelastbarkeit; Definition Einsatzgrenzen, Vergleich der Materialvarianten; Verschleißverhalten in Langzeitversuchen etc.	MA 1																								
		MA 3																								
AP 29	Berechnungsansatz zur Abschätzung des p·v-Grenzwertes	MA 1																								
AP 30	Fortführende Markt- und Wettbewerbsanalyse	BWL																								
AP 31	Ergebnisdokumentation Tribologie	MA 2																								

MS 1: Eingrenzung Funktionalität MP

MS 2: Eingrenzung Verfahrensparameter

MS 3: Abschluss Verfahrensoptimierung

MS 4: Produkte mit optimalen Eigenschaften

Projektunterstützung

		Mitarbeiter	2009				2010												2011							
			Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug
Aufgabenbereich 1: Integrative Bearbeitung wissenschaftlicher Aufgabenstellungen																										
AP 1		BWL	(siehe Arbeitspakete Team 1-3)																							
Aufgabenbereich 2: Projektmanagement bzw. Administration																										
AP 2	PR / Öffentlichkeitsarbeit, Organisation und Moderation von Workshops, Mitwirkung bei Vertragsangelegenheiten und Betreuung der Mitarbeiter	BWL																								
Aufgabenbereich 3: Kalkulation, Budgetverwaltung und Controlling																										
AP 3	Kostenplanung, interne und externe Verrechnung, Gemeinkosten-, Technik- und Investitionscontrolling, Kalkulation von Teilprojekten	BWL																								
AP 4	Ergebnisdokumentation (inkl. Budgetabrechnung)	BWL																								
Aufgabenbereich 4: Technologietransferstrategien																										
Teilaufgabe A: Etablierung einer Schutzrechtsstrategie																										
AP 5	Prüfung der bestehenden Schutzrechtssituation	BWL						Anmeldung																		
AP 6	Identifikation weiterer Schutzrechtsbedarfe	BWL																								
AP 7	Internationalisierung	BWL																								
AP 8	Patentpflege und -überwachung	BWL																								
Teilaufgabe B: Identifikation einer Technologiemarketingstrategie																										
AP 9	Etablierung einer nicht kommerziellen Dachmarke	BWL																								
AP 10	Teilnahme an einschlägigen industrienahen Arbeitskreisen, Kolloquien, Messen etc. (Auswahl an Tagungen und Messen)	BWL																								
Teilaufgabe C: Wahrnehmung von Qualifikationsveranstaltung und Kompetenzentwicklung der Mitarbeiter																										
AP 11	Durchführung von und Teilnahme an Veranstaltungen zur betriebswirtschaftlichen Weiterbildung	BWL																								
Teilaufgabe D: Ableitungen von Erfahrungen aus dem Innovationslabor ‚MoRe-PTFE' für die Rahmen-Transferstrategie des IPF														Work-shop												Work-shop
AP 12	Evaluation der Best Practices, Identifikation der Barrieren und Triebfedern, Übertragung der Erfahrungen auf FuE-Einzelprojekte und IPF	BWL																								
Teilaufgabe E: Identifikation von Verwertungsstrategien																										
Szenario Lizenzvergabe																										
AP 13	Identifikation von auf Zeit und Gegenstand begrenzter FuE-Gegenstände, Mitgestaltung von Verhandlungen und Abschluss	BWL																								
Szenario Applikationszentrum																										
AP 14	Ansprache von Unternehmen und Industrieverbänden, Identifikation eines Modells, Begleitung der vorbereitenden Etablierung	BWL																								
Szenario Ausgründung																										
AP 15	Teilnahme an Businessplanwettbewerben bzw. -seminaren (z.B. FutureSAX, TUD, Weconomy)	BWL																						Finaler BP		
AP 16	Evaluation des Geschäftsmodells	BWL																								
AP 17	Ergebnisdokumentation	BWL													PTJ-Bericht											

7 Kosten- bzw. Ausgabenplanung

AZA-Position	Bezeichnung	2009	2010	2011	Gesamtausgaben
0812	- Wissenschaftliche Mitarbeiter TV-L 13	112.290	382.318	263.312	757.920
0817	- Technische Mitarbeiter TV-L 9 und 7	26.178	104.712	61.082	191.972
0822	- Sonstige Beschäftigungsentgelte (Studentische Mitarbeiter)	12.800	38.400	25.600	76.800
0824	**Summe Personalkosten**	**151.268**	**525.430**	**349.994**	**1.026.692**
0831	**Gegenstände bis 400 Euro**	**0**	**0**	**0**	**0**
0834	**Miete und Rechnerkosten**	**0**	**0**	**0**	**0**
	- Patentrecherchen und Antragsverfahren	3.250	10.000	6.500	19.750
	- Beratungsleistungen (Forschungstransfer etc.)	3.250	10.000	6.500	19.750
	- Öffentlichkeitsarbeit	1.000	3.000	2.000	6.000
	- Externe Aufträge (Mahlung und Transport 25.000, Bestrahlung 100.000)	15.000	45.000	30.000	90.000
	- Auftrage an FuE-Einrichtungen (Materialprüfung im Labormaßstab)	1.000	3.000	2.000	6.000
0835	**Summe Aufträge an Dritte / FuE-Fremdleistungen (max. 10% der Gesamtkosten)**	**23.500**	**71.000**	**47.000**	**141.500**
0835	**Qualifikationsmaßnahmen**	**5.000**	**15.000**	**10.000**	**30.000**
	- Verbrauchsmaterial (Recyclat und virginales PTFE 87.500; wissenschaftliche Verbrauchsmittel 15.000	37.083	111.250	74.167	222.500
	- Geschäftsbedarf (Büromaterialien)	0	0	0	0
	- Literatur, Studien etc.	3.000	9.000	6.000	18.000
0843	**Summe Verbrauchsmaterial, Geschäftsbedarf, Literatur**	**40.083**	**120.250**	**80.167**	**240.500**
0846	**Dienstreisen (In- und Ausland)**	**9.167**	**27.500**	**18.333**	**55.000**
	- Rührkessel für Zubereitung von Dispersionen	0	35.000	0	35.000
	- Vor- (Condux Schneidgranulator 30.000 Euro) und Nachmahlanlage (Condux Gegenstrahlmühle 16	0	180.000	0	180.000
	- Dosier- und Nachfolgeeinrichtung für institutseigenen Extruder ZSK 30	0	18.000	0	18.000
	- Edelstahlbehälter für die Bestrahlung	0	4.000	0	4.000
0850	**Summe Gegenstände und Investitionen über 400 Euro**	**0**	**237.000**	**0**	**237.000**
0861	**Gesamtausgaben**	**229.018**	**996.180**	**505.494**	**1.730.692**
0862	**Eigenmittel**	**0**	**0**	**0**	**0**
0863	**Mittel Dritter / Einnahmen**	**0**	**0**	**0**	**0**
0864	**Gesamtsumme der Zuwendung**	**229.018**	**996.180**	**505.494**	**1.730.692**

Detailplan Personal

Position	Name	Funktion	Eingruppierung (TVöD)	AG-Brutto (€/Mon.)	AG-Brutto (Projektlaufzeit)
0812	n.n.	Wissenschaftlicher Mitarbeiter (Chemiker)	TV-L 13	4.189,50	100.548
0812	Antje Taeger	Wissenschaftlicher Mitarbeiter (Chemiker)	TV-L 13	5.840,00	140.100
0812	n.n.	Wissenschaftlicher Mitarbeiter (Chemiker), 01.09.09 - 31.10.10	TV-L 13	4.120,00	57.688
0812	Frank Taeger	Wissenschaftlicher Mitarbeiter (Chemiker), 01.11.10 - 31.08.11	TV-L 13	5.550,00	55.500
0812	n.n.	Wissenschaftlicher Mitarbeiter (Physiker)	TV-L 13	4.189,50	100.548
0812	n.n.	Wissenschaftlicher Mitarbeiter (Chemiker)	TV-L 13	4.189,50	100.548
0812	n.n.	Wissenschaftlicher Mitarbeiter (Dipl. Ing.)	TV-L 13	4.189,50	100.548
0812	Martin Fischer	Projektassistenz mit betriebswirtschaftlicher Kompetenz	TV-L 13	4.270,00	102.440
0817	n.n.	Technischer Mitarbeiter (Physikalisch-technischer Assistent)	TV-L 9	3.166,00	69.652
0817	n.n.	Technischer Mitarbeiter (Chemielaborant)	TV-L 7	2.780,00	61.160
0817	n.n.	Technischer Mitarbeiter (Chemielaborant)	TV-L 7	2.780,00	61.160
0822	Heiko Rauer	Studentischer Mitarbeiter 1	19h/Woche	800,00	19.200
0822	Jochen Fiedler	Studentischer Mitarbeiter 2	19h/Woche	800,00	19.200
0822	n.n.	Studentischer Mitarbeiter 3	19h/Woche	800,00	19.200
0822	n.n.	Studentischer Mitarbeiter 4	19h/Woche	800,00	19.200
0824				**Summe (Projektlaufzeit)**	**1.026.692**