InnoPlas

Innovative Atmosphärendruck-Plasmaprozesse
für industrielle Anwendungen

Konzept eines Innovationslabors

INNOPLAS

Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V.
Felix-Hausdorff-Str. 2 // 17489 Greifswald
Tel.: 03834 / 554 300 // Fax: 03834 / 554 301

Inhalt

I. Thema und Zielsetzung des Vorhabens sowie der Pilotprojekte 1

II. Stand der Wissenschaft und Technik 10

Pilotprojekt 1 13

Pilotprojekt 2 14

Pilotprojekt 3 15

III. Wirtschaftliche Bedeutung und Marktpotenziale 18

IV. Entwicklung von Verwertungskonzepten und Aufbau des Innovationslabors 21

V. Zusammensetzung und Aufgabenverteilung der Projektgruppen 32

VI. Arbeitsplan sowie Ausgaben-, Zeit- und Meilensteinplan 34

I Thema und Zielsetzung des Vorhabens sowie der Pilotprojekte

Entscheidungsprozesse über die technologische Ausrichtung der Forschung werden in erster Linie durch die Wissenschaft dominiert. Die Wirtschaft nutzt entweder nicht umfassend die Gelegenheit, ihren Bedarf gegenüber Forschungseinrichtungen zu formulieren oder sie wird nicht systematisch eingebunden. Ein großer Teil der Entwicklungen an Forschungseinrichtungen sucht daher erst anschließend nach Anwendungen und Verwertung. Diese Innovationsstrategie ist aufgrund des hohen Neuheitsgrads – der natürlich im akademischen Sinne dringend gewünscht ist – und der geringen Marktorientierung jedoch im Gegensatz zur kundennutzendominierten Strategie häufiger durch Fehlschläge gekennzeichnet.

Um den Verwertungsgrad seiner Forschungsergebnisse zu erhöhen, ist das Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP Greifswald) daher an der Verstärkung von wirtschaftsgetriebener, kundenorientierter Forschung interessiert. Dafür werden vorhandene nationale und internationale Netzwerke, Verbünde und Forschungskooperationen mit Industrie, insbesondere KMU, sowie Hochschulen systematisch genutzt und langfristige Partnerschaften ausgebaut. Gute strategisch nutzbare Chancen zeigten sich in Phase I des Vorhabens bei den Atmosphärendruckplasmaquellen und deren Anwendung zur Oberflächenbehandlung.

InnoPlas ist ein übergeordnetes, langfristig angelegtes Vorhaben, das zunächst drei Projekte in sich vereint. In den drei Pilotprojekten geht es um innovative Anwendungen von Atmosphärendruckplasmaquellen für die Industrie. Konkret werden Verfahren entwickelt zur plasmagestützten Pulverlackierung für Materialien aller Art, zur Beschichtung mit Silizium- und Metallschichten sowie Entwicklungswerkzeuge zur Optimierung von technisch genutzten Plasmen. Die im internen Screening ermittelten Projektideen stammen aus der Grundlagenforschung und werden mit dem ForMaT-Projekt zur Verwertung gebracht.

Das Wort ‚Vorhaben' meint hier das ForMaT-Projekt – die Etablierung eines virtuellen Innovationslabors – in Gänze, während mit ‚Projekten' stets die Pilotprojekte gemeint sind, die nach Ablauf der ForMaT-Phase II durch Folgeprojekte mit **neuen** Themen abgelöst werden sollen. Auf diese Weise wird der Transfer- und Verwertungsgedanke dauerhaft im INP institutionalisiert. Jedes Projekt ist durch konkrete Mittel-Zweck-Beziehungen definiert. Es baut auf eine bestimmte Technologie auf und zielt auf eine konkrete Anwendung in der Industrie ab.

Wissenschaftliche Ziele in den Projekten zur Applikation von Atmosphärendruckplasmen sind der kontrollierte Betrieb von Plasmen mit sicherem Startverhalten sowie reproduzierbare, homogene und lokal steuerbare Plasmawirkung bei der Lackierung und Beschichtung bis hinein in enge

Volumina. Beim Entwicklungstool geht es darum, Simulationsverfahren für den plasmachemischen Stoffumsatz in dielektrisch behinderten Entladungen auszuwählen und zu optimieren.

Die technischen Arbeitsziele der ersten beiden Pilotprojekte betreffen die Konstruktion geeigneter elektrischer Versorgungs- und Steuereinrichtungen für die Plasmaquellen. Auf Basis des angestrebten modularen Aufbaus der Quellen und ihrer unabhängigen Steuerbarkeit, ist die Skalierbarkeit in der jeweiligen Applikation sicherzustellen. Das dritte Pilotprojekt zielt auf die Erstellung eines Entwicklungstools zur effizienten Entwicklung und Optimierung von Plasmaprozessen ab, bestehend aus Modulen zur numerischen Modellierung und Simulation sowie entsprechenden Versuchsständen und Messverfahren.

Gesamtziel dieses Vorhabens ist, der Verwertung von Forschung und Entwicklung im INP neue Impulse zu geben sowie verschiedene Sichtweisen zu vereinen. Es dient der Etablierung einer Infrastruktur und Innovationskultur, in der systematisch Verwertungen gefördert und auch gefordert sind. Die Projekte im Sinne dieses Konzepts sind mit dem Anschub der ökonomischen Verwertung beendet, das Vorhaben jedoch geht weiter und sucht neue Projekte in Form von innovativen verwertbaren Forschungsansätzen.

Neue Wege zur Verwertung wissenschaftlicher Ergebnisse zu gehen, bedeutet in erster Linie, Abkürzungen zu finden und Hürden abzubauen. Dies gelingt am besten in einem Verbund aus komplementär Beteiligten der Wertschöpfungskette. Die intrinsischen Entwicklungsrisiken werden besser kalkulierbar und teilbar. Dies erleichtert vor allem kleinen und mittleren Unternehmen neue Technologien aufzunehmen und zum eigenen Wettbewerbsvorteil zu nutzen. Im Idealfall profitiert das INP dabei in mehrfacher Hinsicht: einerseits, weil die finanziellen Rückflüsse aus der Verwertung für die Finanzierung weiterer Forschung eingesetzt werden können, andererseits sind aus der Anwenderpraxis der jeweiligen Technologie neue wissenschaftliche Fragestellungen für die Grundlagenforschung zu erwarten.

Das INP Greifswald bietet alle fachlichen und organisatorischen Voraussetzungen, um diesen Transferprozess in der Plasmatechnologie zum Erfolg zu führen und einen solchen Verbund zu organisieren. Dies beweisen nicht zuletzt die bisherigen Verwertungserfolge des INP in Form von Ausgründungen und Lizenzierungen. Im Dezember 2005 wurde mit der neoplas GmbH das Transferzentrum des INP gegründet. Im Januar des folgenden Jahres erweiterte die neoplas control GmbH – ein Unternehmen zur Vermarktung von Hightechmessgeräten – den Verwertungsverbund des INP.

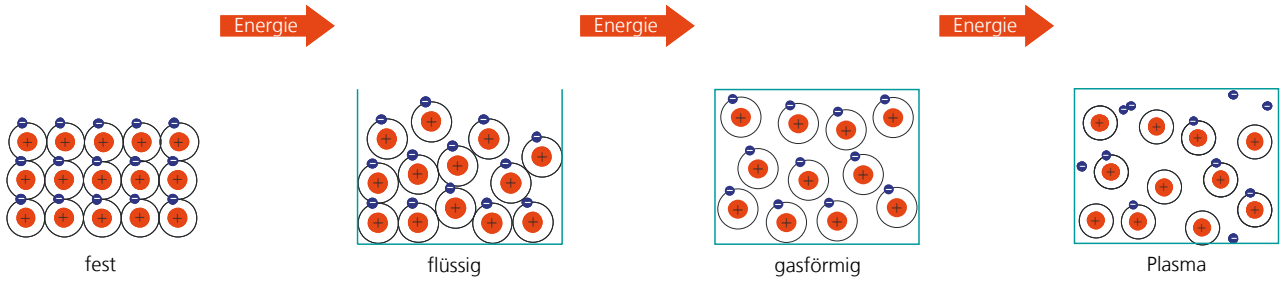

Abb.1: Schematische Darstellung der Entstehung von Plasma

Plasma (griechisch: das Formbare, das Gebilde) ist ein ionisiertes, elektrisch leitfähiges Gas und wird auch als der vierte Aggregatzustand der Materie bezeichnet. Aufgrund der besonderen Eigenschaften der Bestandteile werden Plasmen schon in vielen Bereichen der Technik eingesetzt; mehr dazu in Kapitel II – Stand der Wissenschaft und Technik. Rund 99 % der sichtbaren Materie im Weltraum, z.B. die Sonne und andere Sterne, befinden sich im Plasmazustand. Auch Blitze und Polarlichter sind natürlich auftretende Plasmen.

Wie entstehen Plasmen? Einfach vorstellbar ist das am Beispiel von Wasser. In Form von Eis ist es ein fester Körper. Wird ihm Energie, etwa durch Wärme zugeführt, wird es flüssig. Bei weiterer Energiezufuhr wird es gasförmig. Wird die eingebrachte Energie nochmals erhöht, entsteht schließlich ein Plasma – ein Zustand, in dem sich von den Gasatomen oder -molekülen äußere Elektronen lösen – siehe Abbildung 1.

Zur Einkopplung der Energie, die zur Zündung eines Plasmas notwendig ist, werden häufig elektrische Felder verwendet. In ihnen werden die Elektronen auf hohe Geschwindigkeiten beschleunigt. Falls nun die Energie der Elektronen ausreicht, um über unelastische Kollisionen weitere Atome zu ionisieren, entstehen Ionen, freie Elektronen sowie weitere Bestandteile. Einen Überblick über die wichtigsten Plasmakomponenten gibt die Abbildung 2.

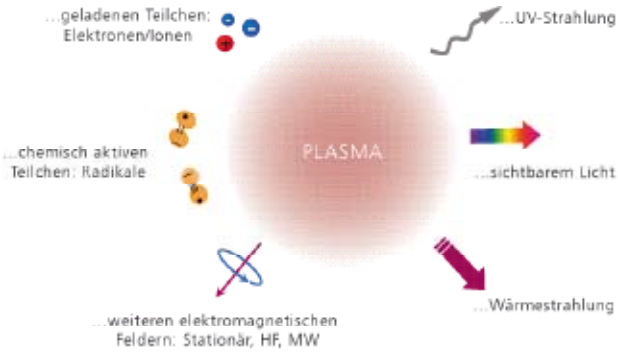

Abb.2: Plasma als Quelle von ...

Diese Komponenten treten untereinander sowie mit der Umgebung des Plasmas in Wechselwirkung. Die genaue Zusammensetzung kann über bestimmte Parameter variiert werden: die Art des Gases oder Gasgemisches, Methode und Menge der Energiezufuhr oder der Druck. So können Plasmen für eine bestimmte Anwendung optimal angepasst werden – ein wichtiger Grund für die Vielzahl technischer Anwendungen.

Als Institut der Leibniz-Gemeinschaft liegt der INP-Schwerpunkt in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung. Beschichtungen und Oberflächenmodifikationen können vom Ultrahochvakuumbereich bis zu Normaldruckbedingungen sowohl an planaren und strukturierten Oberflächen als auch an Pulvern vorgenommen werden. Neben der umfangreichen Erfahrung in der Erstellung und Anwendung von plasmatechnischen Anlagen besitzt das INP erhebliche Kompetenz auf dem Gebiet der Charakterisierung, Simulation und Diagnostik der Plasmen. Dies schließt eine ganze Reihe von oberflächenanalytischen Verfahren ein. Die entsprechende Ausrüstung ist im INP vorhanden bzw. wurde sogar dort entwickelt. Die externe und unabhängige Evaluierung des INP demonstrierte deutlich das „weltweit anerkannt hohe Niveau" der Arbeit in den Bereichen „Infrarot-Plasmadiagnostik, den biomedizinischen Anwendungen von Plasmen sowie der Modellierung von Gasentladungsplasmen. […] Insbesondere in der Biomedizintechnik ist die Kombination mit der Plasmaprozesstechnik national außer am INP nur an wenigen Orten vorhanden. Auch auf internationaler Ebene ist die Stellung des INP auf diesem Gebiet ausgezeichnet."

Das INP und andere haben gezeigt, dass nichtthermische Atmosphärendruckplasmen für eine Reihe von Oberflächenmodifikationen eingesetzt werden können, die bisher den Niederdruck-Plasmaverfahren vorbehalten waren.[1] Unter Atmosphärendruck sind die Plasmaverfahrensschritte natürlich wesentlich einfacher und damit kostengünstiger in bestehende technische Umgebungen und Fertigungsabläufe zu integrieren. Erst ohne teure Vakuumtechnik ist die Plasmatechnologie für viele Unternehmen, gerade KMU, überhaupt interessant.

Zudem sind die Vakuum Niederdruckverfahren eher für strukturell einfache Werkstücke (Bleche etc.) geeignet. Sobald die zu behandelnden Bauteile komplexe irreguläre Strukturen, endständige Innenvolumina oder Vertiefungen, im Millimeterbereich, aufweisen, können Vakuumprozesse kaum angewendet werden, da die Plasmen nicht ausreichend konturgängig sind. Auch deswegen bieten nichtthermische Atmosphärendruckplasmaquellen ein enormes Potenzial für neue Anwendungen. Sie können einerseits punktuell in irreguläre kleine Strukturen unter einem Millimeter fokussiert werden. Andererseits kann man sie leicht zu ausgedehnten Arrays zusammenschalten und so größere Flächen problemlos bearbeiten. Die beantragten Pilotprojekte kombinieren diese Eigenschaften in neuartigen variablen Plasmawerkzeugen für Anwendungen, wie bspw. Lackieren, Beschichten, Ozonherstellung oder Abgasbehandlung – alles bei Atmosphärendruck. Die Plasmawerkzeuge sollen als technisches Ziel bis zur Marktreife gebracht werden.

Im Folgenden werden die Projekte zur plasmagestützten Pulverlackierung, zur Beschichtung mit

[1] J. Schäfer, R. Foest, A. Quade, A. Ohl, K.-D. Weltmann, Local deposition of SiOx plasma polymer films by a miniaturized atmospheric pressure plasma jet (APPJ), J. Phys. D: Appl. Phys. 41 (2008) 194010.

Abb. 3: Mobile PLexc-Plasmaquelle (in den oberen Bildern sind mögliche Ausführungen plasmagestützter Farbspritzvorrichtungen als Farbspritzpistole bzw. als Kaskadierte Farbspritzanlage schematisch dargestellt.)

Silizium- und metallischen Schichten sowie zur Erstellung eines Plasmaoptimierungstools genauer vorgestellt.

Im **ersten Pilotprojekt** zur **plasmagestützten Pulverlackierung** sollen mit Plasmen Pulverschichten auf metallischen und hitzeempfindlichen Oberflächen erzeugt werden. Üblicherweise werden mit Plasmen im Vakuum dünne Schichten abgeschieden. Dicke Schichten können in der Anwendungspraxis bisher nur durch das Plasmaspritzen für hochschmelzende Stoffe wie Metalle erzeugt werden. Insofern besteht bezüglich der Plasmabeschichtungsverfahren eine Lücke zwischen den Dünnschicht-Niedertemperaturverfahren und den Hochtemperatur-Dickschichtverfahren. Diese Lücke soll die im INP Greifswald entwickelte, neuartige Mikrowellen-Plasmaquelle **PLexc** schließen. Abbildung 3 zeigt ein Labormuster dieser Technologie, dessen Name sich aus **PL**ASMA **exc**ited, also angeregtes Plasma, ableitet.

Durch Mikrowellenanregung entsteht im Plasmakopf ein frei ausströmendes, großes, homogenes Plasma, welches durch einen zusätzlichen Luftstrom reguliert werden kann. Das austretende Plasma erwärmt und reinigt die zu beschichtende Oberfläche. Bedingt durch die kurze Wirkzeit erfolgt nur ein geringer Wärmeeintrag in das Werkstück, so dass auch hitzeempfindliche Materialien behandelt werden können. Das für die Beschichtung vorgesehene Pulver wird in die Plasmazone eingebracht und während der Verweilzeit im Plasma sehr schnell auf die Schmelztemperatur erwärmt, so dass die Pulverpartikel flüssig werden. Während der Flugphase der Partikel bzw. Tröpfchen im Plasma wirken UV-Strahlung und Radikale (z.B. OH-Radikale) auf die Polymerteilchen und setzen insbesondere bei UV-härtenden Pulvern den Polymerisations- und Härteprozess in Gang. Beim Auftreffen der flüssigen Polymertröpfchen auf die schon teilweise vorgewärmte Oberfläche zerfließen die Tröpfchen und bilden einen geschlossenen Film. Der durch Temperatur, UV-Strahlung und Radikale eingesetzte Aushärtungsprozess ist in der Regel in wenigen Sekunden soweit vorangeschritten, dass das Werkstück für den weiteren Verarbeitungsprozess genutzt werden kann.

Separate Verfahrensschritte für Aushärtung und Abkühlung der Werkstücke entfallen somit.

Durch Zuführung weiterer Stoffe in das Plasma kann gegebenenfalls eine Modifikation und Beschichtung der Partikel und damit eine Funktionalisierung der erzeugten Oberflächenschicht erzielt werden. Denkbar wäre der Aufbau von elektrisch leitfähigen Schichten zur elektromagnetischen Abschirmung von Kunststoffen oder die Erzielung hydrophober oder hydrophiler Eigenschaften. Aufgrund des modularen und kompakten Aufbaus der Plasmaquelle, ist sie für den industriellen und mobilen Einsatz gut geeignet.

Die Plasmaquelle ist prinzipiell ähnlich einer Farbspritzpistole aufgebaut – siehe Abbildung 3. Sie besteht aus einem Plasmakopf, einer Mikrowellenversorgungseinheit, einem 2,45 GHz Mikrowellengenerator und einer Koaxialleitung zur Mikrowelleneinspeisung im Plasmakopf. Am Ausgang des Plasmakopfes befindet sich eine Düse, die für eine gleichmäßige Verteilung der Partikel sorgt. Pulverpartikel und Luft werden über geeignete Zuführvorrichtungen in das Plasma eingeleitet.

Unter Berücksichtigung einer möglichst breiten industriellen Anwendung wird durch einen modularen Aufbau der plasmagestützten Pulverbeschichtungsanlage eine weitestgehende Integrationsfähigkeit in bestehende industrielle Anlagen sichergestellt werden. Konkrete Anwendungen sind sowohl als mobiles Handgerät für den Einsatz in Handwerksbetrieben als auch für die Beschichtung von großen Stahlkonstruktionen, wie z.B. Brückenteilen, im Rahmen von Baustellenfertigung vorgesehen.

Im **zweiten Pilotprojekt** sollen **Schichten** auf thermolabile und komplex geformte Werkstücke mit dem neuartigen mobilen Kontaktplasma ‚**ConPlas**' (**Con**tact **Plas**ma) aufgetragen werden. Während PLexc zur Erzeugung dickerer Schichten verwendet wird, können mit ConPlas dünne Schichten abgeschieden werden. Zur Beschichtung von Oberflächen werden bislang nasschemische Verfahren und die Niederdruckplasmatechnologie eingesetzt. Plasmen stellen heute bereits eine umweltgerechte und ressourcensparende Alternative dar. Aufgrund der moderaten Temperaturen in nicht-thermischen Plasmen, können auch thermolabile Materialien behandelt werden.

Im geplanten Forschungs- und Entwicklungsprojekt soll die Technologie um ConPlas um die Möglichkeiten des Schichtauftrages erweitert werden. Einen Schwerpunkt bilden Siliziumoxidschichten (SiOx), die als Haftvermittler in der verarbeitenden Industrie, als Barriereschichten zum Schutz von optischen, mechanischen und mikroelektronischen Bauteilen und in der Verpackungsindustrie zum Einsatz kommen. Diese Schichten werden in der Regel mittels plasmaunterstützter chemischer Dampfabscheidung im Niederdruck auf Kunststoffen und temperaturempfindlichen Materialien

Abb. 4: ConPlas: Ausführung als Handgerät (Links) und Tischgerät (Mitte); Vielfalt möglicher Handstückkonfigurationen (Rechts)

abgeschieden. Am INP gibt es dazu einschlägige Vorarbeiten.[2]

In Ergänzung zur Deposition von SiOx-Schichten werden Siliziumnitridschichten (SiN), stickstofforganische Schichten (NC) und Metalloxidschichten (MO, metall-organische Precursoren) betrachtet. SiN- und NC-Schichten verändern die Adhäsionseigenschaften von Oberflächen. Sie werden sowohl als Haftvermittler als auch für die Erzeugung biokompatibler Oberflächen benötigt und bereits heute in zellkontaktierenden Geräten eingesetzt. Auch diese Schichten können industriell derzeit nur mit Nasschemie oder Niederdruck-Plasmaverfahren erzeugt werden. Mitarbeiter des INP haben bereits Erfahrungen bezüglich der Deposition von SiN und NC-Schichten mittels Niederdruckplasmen sammeln können. Das Institut verfügt über die Methoden und das Know-How zur Erzeugung, Charakterisierung und Analytik solcher Schichten. Ein zuverlässiges Atmosphärendruck-Plasmaverfahren würde diesen Schichten völlig neue Einsatzmöglichkeiten in ungeahnter Breite eröffnen.

Zur Deposition sind geeignete Precursoren zu ermitteln. Das sind Stoffe, die sich mit Hilfe des Plasmas zu Schichten abscheiden lassen. Die Precusoren werden dem Trägergas (Luft, Stickstoff, Argon) beigemischt und dem Plasma ex-situ oder in-situ zugeführt. Eine optimierte Prozessführung schließt die Gestaltung der Plasmaquelle inklusive einer kompakten Hochspannungsversorgung ein. Die ausgewählten Precursoren sollen in systematischen Untersuchungen getestet und der jeweilige Beschichtungsprozess optimiert werden. Parallel zu den wissenschaftlich-technischen Untersuchungen werden die konkreten Möglichkeiten der Verwertung erarbeitet und umgesetzt.

Ziel des **dritten Pilotprojekts** ist es, die wissenschaftlich-technischen Vorraussetzungen für eine effektive und effiziente Entwicklung von Anwendungen nicht-thermischer atmosphärischer Entladungen, insbesondere der **dielektrisch behinderten Entladung (DBE)**, zu schaffen. Die DBE ist gekennzeichnet durch einen Isolator im Entladungsgebiet, der die Funkenbildung verhindert. Diese Form der

[2] W. Besch, R. Foest, K. Schröder, A. Ohl, Allylamine Plasma Polymer Coatings of Interior Surfaces in small Trench Structures, Plasma Process. Polym. 2008, 5, 105-112.

optimierten Energieeinkopplung machen DBE zu technisch bedeutsamen Plasmaquellen. Als Resultat des Projekts wird ein modulares Entwicklungwerkzeug mit dem Namen **ProTool** einschließlich zugeordneter Strategien zur Verfügung stehen, das als Basis für die Optimierung der Plasmaverfahren und Ableitung neuartiger Einsatzkonzepte der DBE eingesetzt wird.

Problemstellungen bei der Entwicklung innovativer **Anlagen zur Ozonerzeugung und Abgasreinigung** sollen als Pilotanwendungen dienen. Mit Hilfe des Entwicklungstools wird das grundlegende Verständnis für die physikalischen Abläufe in den jeweiligen Plasmen erhöht. Technisches Ziel ist die Konstruktion optimierter DBE für die genannten Anwendungen mit weniger Zeit- und Ressourcenverbrauch. Mit Hilfe von ProTool werden teure und zeitraubende trial-and-error-Prozesse zur Simulationen der Plasmen und konkreten Anwendungen überflüssig oder zumindest verkürzt.

ProTool zielt auf die Bearbeitung von F&E-Aufträgen aus der Industrie, gegebenenfalls später als Spin-Offs des INP, in den genannten Anwendungsbereichen ab. Tool und Strategien werden die Effizienz entsprechender Entwicklungsaufgaben deutlich erhöhen sowie eine bessere Vorhersagbarkeit des Projektaufwandes ermöglichen. Beides soll die Wettbewerbsfähigkeit nachhaltig fördern.

Das Entwicklungstool baut auf Modulen zur numerischen Simulation des Plasmas und der Diagnostik von zugeordneten Laborexperimenten auf. Unter Atmosphärendruckbedingungen bestimmen Mikroentladungen wesentlich die Wirkungsweise und Effizienz der plasmachemischen Stoffwandlung in den Verfahren. Folglich sollen Modelle der Mikroentladungen (Einzelfilamente) in enger Kopplung mit einer experimentellen Verifizierung erarbeitet werden. Ein wesentliches Modul des Entwicklungstools wird ein Simulationsverfahren zur globalen Volumenchemie bilden, das universell an die jeweilige Spezifik der Anwendung und die individuelle Fragestellung angepasst sowie mittels Messungen an zugeordneten Laborversuchen validiert wird. Versuchsstand, Messverfahren, Modelle und Simulationsmethoden werden zu einem Tool zusammengefasst. Für den effektiven Einsatz der Module werden Szenarien bzw. Strategien für ausgewählte Problemstellungen in den Pilotanwendungen (Ozonerzeugung und Abgasbehandlung) erarbeitet und zusammen mit einer detaillierten Dokumentation bereitgestellt.

Die Entwicklung der Plasmaquellen sowie des Entwicklungstools basiert auf gut untersuchten und bereits angewendeten Grundprinzipien und haben somit gute Erfolgsaussichten. Die Machbarkeit wurde für einzelne ähnliche Anwendungen in Voruntersuchungen und durch Literaturrecherche überprüft. Die Herausforderung besteht in der Vereinigung technologischer Restriktionen einerseits

und den durch potenzielle Anwender formulierte Anforderungen an die Geräte, Verfahren und Tools andererseits. Ein technisches Risiko besteht bei der selektiven Abscheidung spezialisierter Schichten mit der geforderten vollständigen Bedeckung und hinreichender Homogenität. Hier ist das Zusammenwirken der Grundmechanismen der Plasmaaktivierung, Nichtgleichgewichtschemie, Polymerisation, Schichtbildung sowie der Strömungsverhältnisse auf den Oberflächen im Einzelnen zwar verstanden, aber in der Kombination noch nicht durchdrungen und vorhersehbar. Auch deshalb soll der Einsatz von ProTool zur Simulation von Plasmaquellen dazu beitragen, den iterativen Prozess von Versuch und Irrtum stark abzukürzen.

Die Entwicklungsergebnisse müssen am Ende entweder günstiger sein als etablierte Verfahren bzw. einen so hohen Mehrwert bieten, dass er die zusätzlichen Kosten rechtfertigt. Die Erfolgsaussichten können durch die genaue Analyse praxisnaher Bedingungen und die Anpassung an die gestellten Anforderungen erhöht werden. Die Lösung dieser genannten Problemstellungen mithilfe atmosphärischer Plasmaquellen hat jeweils Modellcharakter für eine große Zahl weiterer technischer Anwendungen in unterschiedlichen Wirtschaftsbereichen.

Die Skalierung und Adaption von Labormustern und Testverfahren auf praxisgerechte Verfahren mit hoher geforderter Stabilität und Reproduzierbarkeit, welche für eine Zertifizierung notwendig sind, stellen weitere technische Herausforderungen dar. Diese sollen durch interdisziplinäres Herangehen im Rahmen eines Verbunds mit dem Innovationsgremium bewältigt werden.

II. Stand der Wissenschaft und Technik

Künstlich erzeugte, technische Plasmen unterscheiden sich grundlegend von magnetisch eingeschlossenen Plasmen hoher Temperatur (Fusionsplasmen) einerseits sowie Niedertemperturplasmen hoher und geringer Energiedichten andererseits. Die besonderen Eigenschaften von Plasmen im Niedertemperaturbereich werden seit einigen Jahrzehnten in verschiedenen Anwendungsgebieten tatsächlich genutzt. Die Nutzung solcher Plasmen ist für eine Reihe von Prozess- und Verfahrenstechniken von wesentlicher Bedeutung. Abbildung 5 zeigt die Branchen mit substanziellen plasmatechnologischen Verfahren im Niedertemperaturbereich.

Die gute Strom- und Wärmeleitfähigkeit von Plasmen mit hoher Energiedichte ermöglicht es, elektrischen Strom zu schalten, Metalle zu schneiden und zu fügen sowie hohe Reaktionsraten bei der Stoffwandlung zu erzielen. Die kapazitive und induktive Einkopplung von elektrischen Feldern in Niedertemperaturplasmen mit geringer Energiedichte hat ebenfalls eine jahrzehntelange Tradition. Diese Plasmen können unterschiedlichste Oberflächen beschichten, aktivieren, funktionalisieren, reinigen oder ätzten. Je nach herrschendem Prozessdruck werden Niedertemperaturplasmen ihrerseits in Niederdruck- und Atmosphärendruckplasmen unterteilt. Niederdruckprozesse repräsentieren heute den Stand der Technik hinsichtlich Beschichtungen. Im Vergleich zu anderen Verfahren mit hohen Beschichtungsraten wie Bedampfung oder Sol-Gel zeichnen sie sich durch hohe Schichtperfektion und große Flexibilität im Schichtmaterial (Metalle, Oxide, Halbleiter, Mischverbindungen), dem Schichtaufbau (Multischichtsysteme) und den Substraten (Schichthaftung) aus. Typische Anwendungen sind großflächige Beschichtungen auf Architekturglas (Wärmeschutz, Sonnenschutz), Blechen (Korrosionsschutz, Solarabsorber, Verspiegelung) und Polymerfolien (Barriereschichten, Sonnenschutz, dekorative Schichten). Auch für die Mikroelektronik und Mikrosystemtechnik stellen Niederdruckverfahren seit langem wichtige, grundlegende Beschichtungs- und Ätztechniken dar.

Die meisten etablierten Verfahren zur Plasma-Oberflächenbearbeitung sind Niederdruckprozesse, aber der Fokus von Forschung und Entwicklung richtet sich in den letzten Jahren verstärkt auf die Atmosphären- bzw. Normaldruckplasmen. Die Gründe hierfür sind in den Einschränkungen und Nachteilen der Niederdrucktechnologie zu finden. Um ein Niederdruckplasma zu zünden, wird ein Reaktor bzw. Druckgefäß benötigt, in dem der Unterdruck erzeugt werden kann. Die maximale Größe der Reaktorkammer ist natürlich begrenzt und die Notwendigkeit des Einsatzes wartungs- und kostenintensiver Vakuumtechnik schränkt den Umfang möglicher Anwendungen massiv ein. Insbesondere mittelständischen Unternehmen mit geringen Produktionsmengen oder mit sehr großen Werkstücken ist es dadurch nicht möglich, die Vortei-

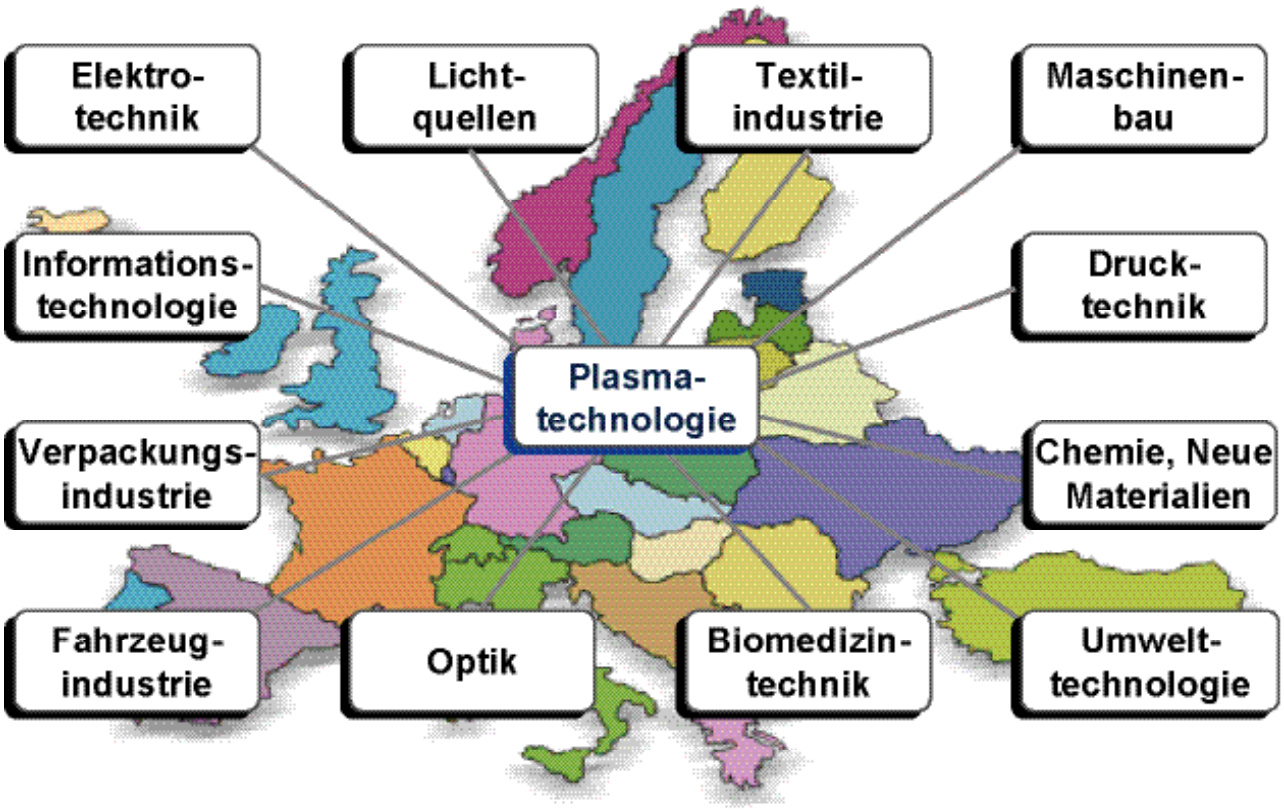

Abb. 5: Anwendungsgebiete der Plasmatechnologie

le der Plasmatechnologie ökonomisch sinnvoll zu nutzen. Ein weiterer Hinderungsgrund ist, dass die Integration von Niederdruckplasmatechnik in bestehende automatisierte technische Umgebungen und Fertigungsabläufe sehr kompliziert und teuer ist. Zudem sind entsprechende Anwendungen typischerweise diskontinuierliche Produktionsprozesse, die durch einen geringen Materialdurchsatz und lange Prozesszeiten gekennzeichnet sind.

Niederdruckquellen haben den gemeinsamen Nachteil, dass sie nur strukturell sehr einfache Werkstücke wie z.B. Bleche bearbeiten können. Bei Werkstücken, die zusätzlich komplexe, irreguläre Strukturen (Spalten, Poren, Bohrungen etc.) aufweisen, können solche Systeme aufgrund des Abschattungseffekts nicht oder nur begrenzt eingesetzt werden. Aus den genannten Einschränkungen lässt sich ein Bedarf an flexiblen und kosteneffizienten Plasmaquellen und -prozessen ableiten, die bei Atmosphärendruck funktionieren.
Jüngste Forschungsergebnisse des INP zeigen, dass Atmosphärendruckplasmen wesentliche Nachteile der herkömmlichen Plasmatechnologien umgehen können und für eine Reihe von Niederdruckprozessen eine echte Alternative darstellen.[3]

Normaldruckplasmen bieten die prinzipielle Möglichkeit, typische Eigenschaften von nichtthermischen Niederdruckplasmen wie Homogenität und schnelles Wachstum der Beschichtungen zu reali-

[3] Vgl.: R. Foest et al., Plasma Physics and Controlled Fusion 47 (2005), B525-B536; V. Hopfe et al., IEEE Transactions on Plasma Science 35 (2007), 204-214.

sieren aber dabei zusätzlich die Spaltgängigkeit zu erhöhen. Die grundsätzliche Übertragbarkeit von Wirkmechanismen nichtthermischer Plasmen vom Niederdruck auf den Normaldruckbereich wurde bei weitem noch nicht für alle Anwendungen technisch nachvollzogen. Die praktische Bedeutung der beschriebenen Applikationen ist bis auf wenige Ausnahmen nach wie vor auf den Niederdruck beschränkt. Damit ergibt sich für das INP ein großes Betätigungsfeld, dessen Rahmen zum einen der Stand der Wissenschaft und Technik sowie zum anderen das Marktpotenzial für die angestrebten Verwertungen bilden.

Das INP hat sehr früh die internationale Entwicklung beeinflusst, Niederdruckverfahren in die Atmosphäre zu überführen. Es können Beschichtungen und Oberflächenmodifikationen vom Ultrahochvakuumbereich bis zu Normaldruckbedingungen sowohl an planaren und strukturierten Oberflächen als auch Pulvern für die unterschiedlichsten Anwendungen vorgenommen werden. Neben der umfangreichen Erfahrung in der Konstruktion und dem anwendungsorientierten Einsatz der plasmatechnischen Anlagen besteht erhebliche Kompetenz auf dem Gebiet der Charakterisierung und Diagnostik der Plasmen. Dies schließt eine ganze Reihe von oberflächenanalytischen Verfahren ein.

Abb. 6: Atmosphärendruckplasmaquellen des INP,

Oben: Spaltgängigkeit;

Mitte: mobiles Kontaktplasma ConPlas;

Unten: Gepulste Mikrowellen-Plasmaflamme PLexc

Der Plasmabrenner **PLexc** erzeugt mittels Mikrowellenstrahlung ein angeregtes Plasma. Er arbeitet im Gegensatz zu Edelgasplasmen preisgünstig mit Luft und läuft auch mit anderen Prozessgasen unter Beimischung von Aerosolen und Partikeln sehr stabil. Durch Modulation und Pulsung der eingekoppelten Leistung sowie durch Variation des Gasflusses können die Gastemperatur und die Plasmabestandteile gesteuert werden und somit eine Anpassung an verschiedene Beschichtungsstoffe ermöglicht werden. Von allen bislang bekannten Plasmabrennern unterschiedet sich dieser durch seine niedrige Leistungseinkopplung. Eine weitere Besonderheit besteht darin, dass er gepulst betrieben werden kann. PLexc ist nach derzeitigem Wissenstand der einzige Plasmabrenner weltweit, bei dem dies möglich ist. Die Plasmaquelle erzeugt ein relativ heißes Plasma. Bei maximaler Leistungseinkopplung wird eine Plasmakerntemperatur von bis zu ca. 3.000 K erreicht. Durch die hohen Temperaturen können Partikel im sub-Millimeter-Bereich aufgeheizt und sogar aufgeschmolzen werden. Diese Eigenschaft soll zu einem neuartigen Pulverbeschichtungsverfahren weiterentwickelt werden.

Pilotprojekt 1

Für **Pulver-/UV-Lack-Beschichtungen** kommen je nach gewünschtem Effekt unterschiedliche Verfahren, wie elektrostatische Pulverbeschichtung, Plasmaspritzen, Laserspritzen und Thermisches Spritzen zum Einsatz. Heutige Verfahren zur Oberflächenveredelung mit steigender Bedeutung sind UV-aushärtende Pulverlacksysteme und plasmagestützte Verfahren, da diese Verfahren praktisch ohne den Einsatz umweltschädigender Lösungsmittel auskommen.

Die elektrostatische Pulverbeschichtung hat den Nachteil, dass sie praktisch nur auf leitenden Materialien und Oberflächen anwendbar ist. Thermolabile Kunststoffe oder etwa Holz sind daher kaum für dieses Verfahren geeignet. Angesichts des stark wachsenden Einsatzes von modernen Polymeren sind entsprechende Veredelungsverfahren in der Industrie sehr gefragt.

Die Pulverbeschichtung kommt bevorzugt für technische und gestalterische Zwecke, z.B. in der Automobilzuliefer- und Stahlrohrmöbelindustrie zum Einsatz. Es entsteht eine äußerst strapazierfähige, schlagzähe Oberfläche. Ein sehr großes, bisher noch weitgehend unerschlossenes Anwendungspotenzial der lösungsmittelfreien Pulverlacke liegt im Kunststoff- sowie im Holz- und Holzwerkstoffbereich, wo nach wie vor große Mengen lösungsmittelhaltiger Flüssiglacke verarbeitet werden.

Thermische Spritzverfahren, wie das Plasmaspritzverfahren, werden hauptsächlich für das Auftragen von hochschmelzenden Werkstoffen, wie Metalle und Keramik, auf hochtemperaturfeste Werkstoffe eingesetzt. Eine Anwendung plasmagestützter Technologien für niedrigschmelzende Pulverlacke in der Massenanwendung ist zurzeit nicht kommerziell erhältlich.

Als Mentor und potenzieller Verwertungspartner für dieses Projekt konnte die

gewonnen werden.

können Werkstücke aus Kunststoff, Metall, Holz und Gewebe für eine bessere Haftung von Farben und Klebern vorbehandelt werden. Das Unternehmen hat sich bereit erklärt, bei der Spezifizierung der Anforderungen an ein plasmagestütztes Pulverlackiergerät mitzuwirken. kann darüber hinaus wertvolle praktische Hinweise zur Konstruktion und Fertigung von Kleinserien liefern und besitzt umfangreiche Kontakte zu potenziellen mittelständischen Kunden. Dadurch wird das Ziel erreicht, eine Branchenlösung mit breitem Absatzpotential zu entwickeln. Das entsprechende Unterstützungsschreiben ist im Anhang dieses Konzept zu finden.

Pilotprojekt 2

Das mobile Kontaktplasma **ConPlas** ist eine der jüngsten Entwicklungen aus der Grundlagenforschung des INP. Bei dieser Plasmaquelle wird die Gasentladung mittels einer beweglichen Elektrode direkt auf dem Substrat erzeugt und durch eine leichte Gasströmung verteilt. Daher passt sich das Plasma beim Überstreichen komplexer Werkstücke mit einem Modul variabel an die jeweilige Geometrie an. Daher wird das Einsatzpotenzial dieses Systems in erster Linie bei der Behandlung von komplex geformten Bauteilen gesehen. Das Konzept ist in ersten experimentellen Laboraufbauten getestet, so dass es sich hervorragend für den ForMaT-Förderansatz eignet. Im Vergleich zu Plasmajets ist der Energie- und Gasverbrauch vergleichsweise gering, aber der gesamte Aufbau dennoch kompakter als bei der herkömmlichen Atmosphärendruckplasmatechnologie. Durch diese herausragenden Eigenschaften erscheint das Gerätekonzept sowohl für die Großindustrie als auch im Handwerksbetrieb geeignet. Die Aktivierung von Oberflächen konnte mit ConPlas auf einer Vielzahl von unterschiedlichen Kunststoffsubstraten mittels vorhandener Labormuster erreicht werden.

Die Nutzung von Siliziumoxid zum Aufbau von transparenten **Barriereschichten** ist bereits ein etabliertes Verfahren, um Verpackungsmaterialien zu verbessern und an die wachsenden Anforderungen der Nahrungsmittelindustrie anzupassen.

Besonders bei PET-Folien werden sehr gute Eigenschaften zur Sauerstofftransmission erzielt. Plasmaverfahren werden auch als Diffusionsschutz in PET-Flaschen angewendet, allerdings bisher nur im Niederdruckbereich. Die Etablierung vergleichbarer Atmosphärendruckverfahren ist noch nicht erfolgt und hat aufgrund der bereits erwähnten Nachteile der Niederdrucktechnologien ein enormes ökonomisches Potential.

Für die Einbringung der anwenderorientierten Sichtweise in dieses Projekt, konnte die gewonnen werden (siehe Letter of Intent im Anhang).

Unabhängig vom Vorhaben InnoPlas beschäftigt sich auch mit der Entwicklung von Plasmaquellen zur Erzeugung von Schichten bei Atmosphärendruck. Das Projekt ist geeignet, sowohl den wissenschaftlichen als auch den technischen Fortschritt für beide Seiten entscheidend voranzutreiben. Mit hat dieses Pilotprojekt einen erfahrenen Berater zum Thema Technologieverwertung gefunden, der stellvertretend für die Branche der Oberflächenbearbeitung an der Erarbeitung von verwertbaren Lösungen mitarbeiten wird.

Pilotprojekt 3

Zur Erarbeitung der Modelle und Simulationsverfahren für das Entwicklungswerkzeug **ProTool** wird unter anderem auf jüngste eigene Arbeiten zur Lösung von hydrodynamischen Gleichungen und Fluid-Poisson-Systemen und Sauerstoffentladungen zurückgegriffen. Umfangreiche Erfahrungen bestehen in der experimentellen Untersuchungen von Barriereentladungen, insbesondere der Analyse der Mikroentladungen in Luft.

Ein entscheidender, limitierender Faktor für die schnelle und erfolgreiche Entwicklung neuer Anwendungen der dielektrisch behinderten Entladung (DBE) ist das unzulängliche Verständnis der Prozesse in den Entladungsanordnungen. Dies liegt vor allem im filamentierten Charakter der Plasmen begründet. Da sich das Plasma nicht uniform ausbildet, sondern in Form vieler kleiner und kurzlebiger Mikroentladungen, sind die diagnostischen Möglichkeiten sehr begrenzt und die Simulation nichtthermischer plasmachemischer Prozesse bei Atmosphärendruck sehr erschwert. Die experimentelle Entladungsdiagnostik hat erst in den letzten zehn Jahren größere Forschritte machen können. Dies liegt vor allem an der Verfügbarkeit schneller bildgebender Verfahren bzw. empfindlicher spektroskopischer Methoden auf Basis der zeitkorrelierten Einzelphotonenzählung oder der Laserabsorption. So sind die wesentlichen Erkenntnisse zur Physik und Chemie der Einzelfilamente vor allem aus Mo-

dellierungen und Simulationen gewonnen worden, die allerdings durch das Fehlen experimenteller Daten (Aufnahmen der Entladungsentwicklung, Plasmaparameter) nur unzureichend verifizierbar sind. Außerdem kommt hinzu, dass diese Simulationen häufig nicht unmittelbar und direkt vom Anwender als Tool zur Prozessoptimierung genutzt werden können. Die genannten Ergebnisse der Grundlagenforschung werden im Rahmen dieses Projekts in ein Entwicklungswerkzeug überführt.

Ein klassisches Einsatzgebiet der Atmosphärendruckplasmen (speziell der DBE) ist die chemische Stoffwandlung. In **Ozonisatoren** wird mittels einer Gasentladung aus Sauerstoff Ozon erzeugt, welches großtechnisch z.B. zur Trinkwasseraufbereitung oder Papierbleichung eingesetzt wird. Das Verfahren kann zum Stand der Technik gezählt werden, hat jedoch aufgrund unzureichender Kenntnis über die Wirkmechanismen sein volles Potential noch nicht entfaltet. Weitere zu erschließende Anwendungspotenziale der DBE bestehen vor allem auch in der **Abgas- und Abluftbehandlung**, insbesondere vor dem Hintergrund der globalen Klimaproblematik sowie des Umwelt- und Gesundheitsschutzes[4]. Auch wenn technische Plasmen in diesem Bereich bereits eingesetzt werden, gibt es derzeit kaum Lösungen für zahlreiche, spezifische Prozesse, bei denen gasförmige, gesundheitsschädigende oder umweltgefährdende Gase entstehen. Ebenfalls ein großer Bedarf besteht in der Abtötung luftgetragener Krankheitserreger in der Zuluft im Krankenhaus- oder Laborbereich sowie im Zivilschutz.

Für das Projekt **ProTools** und das Anwendungsgebiet

dafür gewonnen, bei Design und Ausführung der experimentellen Anlagen beratend mitzuwirken und mit einem gegebenenfalls zu gründenden Spin-off-Unternehmen des INP zu kooperieren. Das entsprechende Unterstützungsschreiben befindet sich im Anhang.

Dabei kommen auch Ozonisatoren mit dielektrisch behinderten Entladungen zum Einsatz. Mit konnte ein international agierender, potenzieller Erstnutzer des kommerziellen Entwicklungstools gewonnen werden. Auch hier ist das Unternehmen in der Rolle eines beratenden Mentors, der nicht finanziell am Projekt oder dem Entwicklungsergebnis beteiligt ist. Gespräche mit anderen Unternehmen, wie , werden ebenfalls geführt.

Der Stand der Technik wird neben Gesetzen und Verordnungen im Wesentlichen durch bestehende Schutzrechte definiert. Für anisotherme Normaldruckplasmen besteht bereits eine Reihe von Schutzrechten. Um diese zu berücksichtigen, greift das INP auf hauseigene Konstruktionen der elektrischen Einkopplung von Energie zur Plasmaerzeu-

[4] H.H. Kim, Plasma Processes and Polymers 1 (2004), 91-110

gung zurück.[5] Dadurch ist eine Abgrenzung von in diesem Bereich bestehenden Patenten möglich. Die Schutzrechte im Bereich Oberflächenmodifikation durch Beschichtung beziehen sich vorrangig auf die etablierten Niederdruckverfahren. Das Bestehen von Patenten und Gebrauchsmustern für die im Projekt angestrebten neuartigen Lackier- und Beschichtungsverfahren auf der Basis von Normaldruckplasmen ist nicht bekannt. Das INP hält für die dargestellten Atmosphärendrucktechnologien mehrere bestätigte bzw. angemeldete Schutzrechte. Daher gilt, dass systematische Untersuchungen zum Prozess- und Quellendesign für einen gezielten Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie für die geplanten Anwendungen bisher nur sehr vereinzelt erfolgt sind.

[5] Beispielhaft sind folgende Patentanmeldungen des INP zu nennen: Vorrichtung zur Erzeugung nichtthermischer reaktiver Normaldruck-Strahlplasmen und plasmatechnische Anwendungen (DE 10314656.3), Anordnung zur Oberflächenbehandlung von Schüttgut in einer Plasmazone bei Atmosphärendruck (DE 0484104), Verfahren und Vorrichtung zum Erzeugen eines sich ausdehnenden, diffusen Mikrowellenplasmas (DE 043278.6), Kaltplasma-Handgerät zur Plasma-Behandlung von Oberflächen (019664.3), Verfahren und Vorrichtung zur plasmagestützten Oberflächenbehandlung (angemeldet).

III. Wirtschaftliche Bedeutung und Marktpotenziale

Die **Plasmatechnologie** ist eine typische Schlüssel- und Querschnittstechnologie. Wissenschaftliche Studien haben ihr enormes Innovationspotenzial und die führende Stellung Deutschlands in einigen Teilbereichen gezeigt.[6] Produkte wie Computer, Sensoren, moderne Kommunikationsgeräte oder Solarzellen wären ohne plasmagestützte Verfahren nicht herstellbar und im verarbeitenden Gewerbe gibt es keine Branche, in der Plasmatechnik keine Rolle spielt. Bereits heute arbeiten über sieben Millionen Beschäftigte in Branchen, die Plasmatechnik einsetzen. Die Zahl der Beschäftigten hat damit zwischen 1997 und 2005 einen Zuwachs um 400 % erfahren. Allein im Bereich Anlagenbau liegt der Bruttoproduktionswert bei jährlich 650 Mio. Euro. Das Marktwachstum im Plasmaanlagenbau beträgt rund 20 % pro Jahr.[7] Noch wird dieses Wachstum stark durch Anwendungen im Niederdruckbereich bestimmt, aber die Atmosphärendruckverfahren holen in dieser Entwicklung stetig auf.

Die Evaluierung des Standes und der Perspektiven der Plasmatechnik prognostiziert für Plasmatechnologien ein weltweit wachsendes Marktpotenzial.[8] Von den befragten Industrieunternehmen wurden die Plasmaanwendungen und Plasmaverfahren nach ihrer Bedeutung aus Unternehmersicht gewichtet. Unter den Gesichtspunkten Wirtschaftswachstum, Erhaltung und Schaffung von Arbeitsplätzen in Europa wurden folgende Themenkomplexe als besonders wichtig identifiziert:

1. Oberflächenbehandlung,
2. Plasmaquellen- und Prozessentwicklung,
3. Diagnostik, Modellierung, Simulation.

Die Ergebnisse der „Evaluierung Plasmatechnik" spiegeln sich auch in der Schwerpunktsetzung des INP und des Vorhabens InnoPlas wider.

Die wirtschaftliche Bedeutung von **Pulverlacken** ist seit den 80er Jahren kontinuierlich gewachsen. Lag die weltweit produzierte Menge vor 20 Jahren noch unter 200.000 Tonnen, hat sie inzwischen 1.300.000 Tonnen erreicht. Dieser Erfolg der Pulverlacke ist dadurch begründet, dass sie umweltfreundlich und kostengünstig sind sowie gute mechanische Eigenschaften aufweisen und sich relativ einfach verarbeiten lassen. Insbesondere UV-härtende Lacke und Beschichtungen gewinnen in verschiedenen Einsatzgebieten an Bedeutung, da sie einen eleganten Weg bieten, die steigenden gesetzlichen Anforderungen, wie etwa die VOC-Richtlinien (VOC = volatile organic compound, flüchtige organische Verbindungen) zu erfüllen und damit die Umwelt schonen. UV-Pulverlacke vereinen die Vorteile zweier Systeme – die hervorragenden mechanischen Eigenschaften von Pulverlacken mit einer sekundenschnellen Aushärtung der UV-Bindemittel.

[6] Plasma Science: Advancing Knowledge in the National Interest, National Research Council (2007).

[7] Technologieführer: Grundlagen, Anwendungen, Trends, H.-J. Bullinger (Ed.) (2007); Aktuelle Technologieprognosen im int. Vergleich, VDI Technologiezentrum (2006); Potenzial der Plasmatechnologie in Mecklenburg-Vorpommern, TZV mbh Vorpommern (2005).

[8] Evaluierung Plasmatechnik, VDI Technologiezentrum (2004).

Das ökonomische Potenzial der **Oberflächenbeschichtung** mittels technischer Plasmen verdeutlichen etablierte Anwendungen im Niederdruckbereich. Die Aufbringung von dünnen Funktionsschichten mittels vakuumbasierter Beschichtungstechniken ist ein dynamisch wachsendes Feld der Oberflächentechnik, in dem Plasmaverfahren eine entscheidende Rolle spielen. Das enorme wirtschaftliche Gewicht zeigt sich sehr deutlich in der Großflächenbeschichtung, wo gegenwärtig weltweit pro Jahr ca. 50 Mio. Quadratmeter Bleche, 200 Mio. Quadratmeter Architekturglas und 1.100 Quadratmeter Polymerfolien veredelt werden. Der Umsatz der deutschen Industrie für Oberflächentechnik beläuft sich auf rund 2 Mrd. Euro mit jährlichen Wachstumsraten von über 20 % seit 1990. Neue Anwendungen in der Solartechnik, Polymerelektronik, Displaytechnologie und Nanotechnologie versprechen weiteres Wachstum. Die stetige Nachfrage an leichten, kunststoffbasierten Bauteilen und funktionellen Verpackungsmaterialien erfordert weiterhin zuverlässige und kostengünstige Verfahren zum Schichtauftrag auf verschiedenen Polymersubstraten, die bei höheren Drücken ohne Vakuumtechnik arbeiten. ConPlas hat das Potenzial diese Aufgabe zu lösen.

Nicht-thermische Atmosphärendruckplasmen werden bereits seit vielen Jahren für chemische Stoffwandlungsprozesse eingesetzt. In der **Abgas- und Abluftbehandlung** gewinnen sie, insbesondere vor dem Hintergrund der globalen Klimaproblematik sowie des Umwelt- und Gesundheitsschutzes aber erst jetzt an Bedeutung.[9] Stand der Technik sind Plasma-Abluftbehandlungsanlagen, die Gerüche und VOCs (volatile organic compounds, flüchtige organische Verbindungen) in Abluftströmen von bis zu wenigen tausend Kubikmetern pro Stunde effektiv abbauen können. Für die nächsten Jahre ist mit einem erhöhten Bedarf an solchen Abluftbehandlungsanlagen zu rechnen, da der Gesetzgeber die Emissionsgrenzwerte kontinuierlich verringert. Dies betrifft Betriebe des verarbeitenden Gewerbes (z.B. Lackierereien, Öhlmühlen), Energieerzeugung (z.B. Biogasanlagen) Gastronomie oder auch Tiermastanlagen und Schlachthöfe. Für die wirtschaftliche Verwertung müssen die plasmagestützten Abbaumechanismen noch effektiver und selektiver gestaltet werden. Ein großes Potenzial bietet die synergetische Erweiterung mit Katalysatoren.

Ein wichtiges Anwendungsfeld der nicht-thermischen Atmosphärendruckplasmen sind **Ozonisatoren**. In diesen Anlagen wird mittels einer Gasentladung aus Sauerstoff Ozon erzeugt, welches großtechnisch zur Trinkwasseraufbereitung oder Papierbleichung zum Einsatz kommt. Gerade die Wasseraufbereitung gewinnt auch wirtschaftlich immer stärker an Bedeutung. Der Weltmarkt für Wasser und Abwasser betrug in 2002 etwa 260 Milliarden US-Dollar mit anhaltend hohen Wachstumsraten (15 Milliarden USD bis 2005 jährlich). Für 2010 wird ein Volumen von über 412 Milli-

[9] H.H. Kim, Plasma Processes and Polymers 1 (2004), 91-110

arden USD erwartet, mit Investitionen von mehr als 450 Milliarden USD. Trotz einiger Alternativen (Elektrolyse, UV-Verfahren) ist für große Ozonmengen immer noch das Plasmaverfahren erste Wahl, obwohl das physikalisch-technische Verständnis bei weitem noch nicht vollständig ist. Dies verzögert bislang neben Materialproblemen eine Weiterentwicklung der Technologie erheblich. So produzieren moderne Ozonisatoren heute höchstens 70 % der theoretisch möglichen Menge an Ozon. Die Erhöhung der Effizienz von Ozonisatoren erscheint als eine Aufgabe mit besonders hoher wirtschaftlicher Relevanz angesichts des weltweit steigenden Bedarfs an Trinkwasser und der im Zuge der Industrialisierung erhöhten Abwassermengen. Darüber hinaus ist der zunehmende Einsatz von Ozon als umweltfreundliches Oxidationsmittel sowie in neuartigen Anwendungen, z.B. in der Abgashandlung in Kraftwerken (Injektionsverfahren, LOTOX- Prozess) zu berücksichtigen.

Die angestrebten Verfahren werden sich im Erfolgsfall durch Zeit-, Material- und somit Kostenersparnis auszeichnen. Das erhöhte Risiko bei der Verfahrensentwicklung, insbesondere bis zur Reife, die hohe Reproduzierbarkeit, Validierung und gegebenenfalls Zertifizierung einschließt, wird durch das erhebliche ökonomische Potenzial und die Pilotfunktion des Vorhabens im Erfolgsfall gerechtfertigt.

IV. Entwicklung von Verwertungskonzepten und Aufbau des Innovationslabors

Das Innovationslabor InnoPlas hat wissenschaftliche und technische Ziele der jeweiligen Pilotprojekte sowie übergeordneten Ziele zur gesamten, langfristig angelegten Innovationsstrategie des INP.

Die übergeordneten Ziele des Vorhabens behalten ihre Gültigkeit über die ForMaT-Förderphase II hinaus. Die Verankerung einer neuen Innovationskultur und -infrastruktur am INP soll dauerhaft zur Erhöhung des Verwertungsgrads der Forschungsergebnisse führen. Mit Hilfe des virtuellen Innovationslabors werden die Voraussetzungen für die systematische und schnelle Entwicklung von Forschungsansätzen zu vermarktbaren Plasmatechnologien geschaffen.

Die Entwicklungsergebnisse werden langfristig über Lizenzierungen oder Ausgründungen zur Einnahmenerzielung und somit zur Refinanzierung der Forschung genutzt. Neben dem rein ökonomischen Effekt gibt es auch einen technologisch-wissenschaftlichen. Aus der Anwendungspraxis sind die Identifikation neuen Forschungsbedarfs und entsprechende Aufträge zur Weiterentwicklung der Produkte und Verfahren zu erwarten.

In den zwei Jahren der ForMaT-Phase II finden die Entwicklungsarbeiten sowie eine erste grobe Geschäftsplanung statt. Die eigentliche Verwertung der Entwicklungsergebnisse in Form von Labormustern bzw. Prototypen ist unter Berücksichtigung der Förderbedingungen nicht Gegenstand des Innovationslabors und findet erst nach Abschluss des jeweiligen Pilotprojekts statt. Nach der ersten erfolgreichen Verwertung findet eine Prüfung der Erweiterung des Anwendungsspektrums zur Erschließung weiterer Märkte statt. Die daraus resultierenden neuen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten sollen nach Möglichkeit durch die Gewinne aus den anfänglichen Vermarktungen getragen werden. Auf diese Weise wird ein nachhaltiger Prozess in Gang gebracht.

Die Vorgehensweise zur Ermittlung und Verwertung von ökonomisch relevanten Forschungsansätzen verläuft in mehreren Schritten. Die Explorationsphase beinhaltet die systematische, strukturierte Suche, Darstellung und erste Analyse der vorhandenen Forschungsansätze. In der anschließenden Bewertungsphase erfolgt die Zusammenführung von konkretem Bedarf potentieller Kunden mit den zu bewertenden Technologien. Durch einen Kriterienkatalog und das vorhandene Experten-Knowhow wird schrittweise ein ganzheitliches Bild der Technologie erzeugt, welches Stärken und Schwächen in mehreren Kategorien im Vergleich mit konkurrierenden Technologien aufzeigt. Die Planungsphase dient zur Aufstellung der Arbeits-, Zeit- und Finanzpläne für die Entwicklung der Forschungsansätze bis zur Verwertungsreife. In der Beschaf-

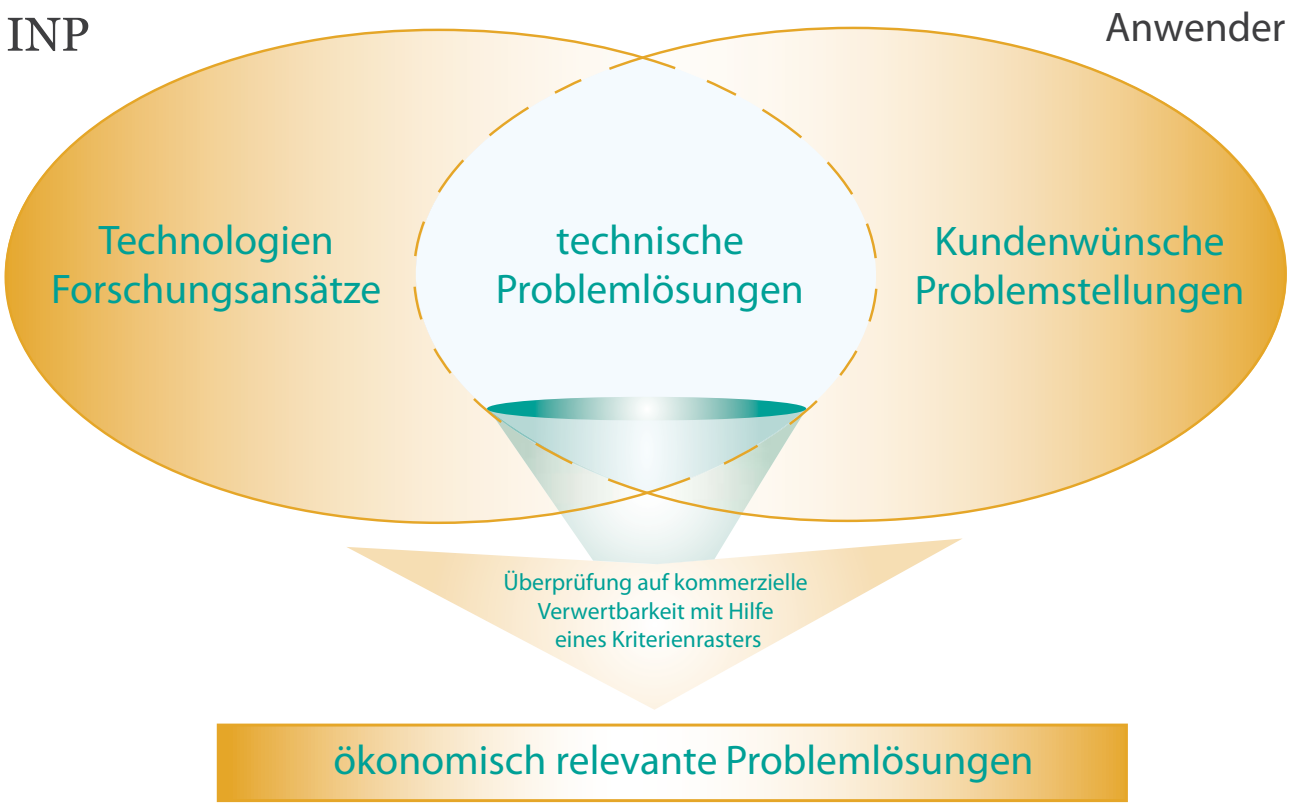

Abb. 7: Herleitung ökonomisch relevanter Problemlösungen

fungsphase werden die benötigten Ressourcen wie Know-how, Personal, Kapital, Laborkapazität und Geräte bereitgestellt. Die eigentliche Umsetzung der Pläne aus der Planungsphase geschieht in der Entwicklungsphase, der letzten Phase des virtuellen Innovationslabors. Schließlich setzt die eigentliche Verwertungs- oder Marktphase ein, die jedoch nicht mehr Gegenstand dieses Vorhabens selbst ist.

Die Herleitung von ökonomisch relevanten Problemlösungen wird in Abbildung 7 verdeutlicht. Auf der rechten Seite stehen mögliche Kundenwünsche und Problemstellungen der potenziellen Anwender. Die andere Seite besteht aus der Gesamtheit der im INP vorhandenen Technologien und Forschungsansätze. Die Schnittmenge der beiden Seiten bildet die technischen Problemlösungen, also alle technisch sinnvollen Kombinationen aus Problemstellungen und Technologien. Jedoch sind nicht alle technischen Problemlösungen auch vermarktbar, da sie entweder eine zu geringe Wertschöpfung haben können oder zu wenig potenzielle Anwender existieren. In vielen Fällen lohnt sich die Vermarktung der Technologien für die konkrete Anwendung schlicht nicht. Daher müssen die technischen Lösungen auf ihre kommerzielle Verwertbarkeit mittels eines Kriterienrasters überprüft werden. Prozessinnovationen, wie sie in InnoPlas angestrebt werden, sind dann ökonomisch erfolgreich, wenn sie zu Verfahren führen, die entweder eine

Senkung der Kosten bei der Herstellung etablierter Erzeugnisse bewirken oder es ermöglichen, neue gewinnbringende Erzeugnisse herzustellen. Um die originären Kriterien ‚Bedürfnisbefriedigung' und ‚Profitabilität' zur Bewertung verwertungsrelevanter Ansätze heranziehen zu können, müssen diese weiter aufgegliedert und operationalisiert werden. Als Obergruppen für die abgeleiteten Kriterien bieten sich technische, ökonomische, Zeit- und Qualitätskriterien an. Unter verwertungsrelevanten Ansätzen sind hier demnach Forschungsergebnisse oder Inventionen zu verstehen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit zu einer Innovation führen. Innovationen werden als vermarktbare, angewandte Technologien verstanden, die zur Lösung eines Kundenproblems beitragen.

Auf die beschriebene Weise wurden auch die Pilotprojekte dieses Vorhabens ermittelt. Insgesamt konnten 30 Ideen mit Hilfe der hausinternen Ideendatenbank sowie Interviews mit den Abteilungs- und Forschungsschwerpunktleitern des INP gesammelt werden. Die Ideen wurden anhand eines groben Kriterienrasters vorgefiltert. Aus der ersten Sichtung gelangten acht Projektideen in die zweite Runde zum Feinscreening anhand eines erweiterten Kriterienrasters. Die drei Projekte mit dem besten Verhältnis aus Entwicklungsaufwand und Verwertungsaussichten wurden dann für dieses Vorhaben ausgewählt. Nach dem gleichen Schema wird die Suche nach den Folgeprojekten für das fortgesetzte Vorhaben in zwei Jahren ablaufen.

Die ausgewählten Pilotprojekte zeichnen sich durch mehrere Punkte aus: die Anwendung ist spezifizierbar, ein hinreichend großes Marktpotential ist vorhanden, die generelle technische Machbarkeit (proof of concept) ist erfolgt, es existieren noch keine kommerziellen Anbieter für die angepeilte Verwertung, die Idee stammt nicht aus einem Industrieprojekt und das Projekt passt in die Thematik von InnoPlas. Schließlich musste die Vorbereitung der Verwertung innerhalb von zwei Jahren mit den Fördermitteln realisierbar sein, um das ForMaT-Programm optimal nutzen zu können.

InnoPlas ist folgendermaßen aufgebaut: das **Innovationsgremium** unterteilt sich in zwei Gruppen, das interne **Forschergremium**, bestehend aus den Mitarbeitern der Pilotprojekte sowie dem Koordinator aus dem INP, und das externe **Markt- und Transfergremium**. In ihm sind Vertreter aus Einrichtungen des Technologietransfers und aus der Industrie versammelt. Die Verbundstruktur im Vorhaben richtet sich damit am Bedarf der notwendigen Kompetenzen zur Verwertung von Forschungsansätzen aus, es wird die zur Verwertung von Technologieansätzen erforderliche Wertschöpfungskette abgebildet: von der Forschung über den Transfer bis zum Markt. Durch die intensive Zusammenarbeit zwischen dem INP und den externen Mitgliedern des Innovationsgremiums kann eine optimale Vorbereitung der Verwertung erzielt werden.

Die Plasmatechnologie ist gekennzeichnet durch eine steigende Komplexität der Innovationsprozesse und eine zunehmende Tendenz zur Kooperation über Wissensgrenzen und Fachgebiete hinweg. Dieses Konzept betont die Arbeitsteilung und Spezialisierung im Innovationsprozess und vereint daher bewusst Wissenschaftler verschiedener Fachgebiete miteinander. Das Gesamtvorhaben und die drei Pilotprojekte werden in einem interdisziplinären Team aus Betriebswirt, Physikern, Chemikern, Technikern, Anwendern und Beratern verwirklicht.

Die konkreten Aufgaben und Kompetenzen der Mitglieder des internen **Forschergremiums** beschreiben Kapitel V & VI. Zusätzliche Expertise kann das Forschergremium fallweise durch ausgewählte Mitglieder der INP-Führungsebene hinzuziehen. Um darüber hinaus das technologische Know-how aller wissenschaftlichen Mitarbeiter des INP zu nutzen, wird das hausinterne Ideenmanagement eingebunden, eine softwarebasierten Lösung für das Erheben, Bewerten und Verfolgen von Ideen für Innovationen und Verbesserungen.

Die **Transferberater** vermitteln und intensivieren die Kontakte mit relevanten Industriebranchen, Fremdkapitalgebern, Behörden sowie beraten das Forschergremium in übergreifenden Fragen des Technologietransfers. Für diesen Teil der Arbeit konnten Vertreter der RWI – Regionale Wirtschaftsinitiative Ost Mecklenburg-Vorpommern e.V. und der regionalen Industrie- und Handelskammer gewonnen werden – siehe Unterstützungsschreiben im Anhang.

Die **Marktsicht** mit den spezifischen Anforderungen an Produkte und Verfahren bringen Unternehmensvertreter stellvertretend und ohne finanzielle Beteiligung für ihre Branche aus den oben beschriebenen Anwendungsbereichen ein. Mit den Vertretern der Industrie werden die konkreten Anwendungen erörtert und die bestmöglichen Lösungsansätze festgelegt. Bei InnoPlas werden die Unternehmen

die Beratung zu Themen der Technologieverwertung sicherstellen sowie bei der Spezifizierung der Anforderungen an die jeweiligen Produkte und Verfahren unterstützen. Für den Bereich Abluftbehandlung wird die :

das Marktgremium ergänzen.

Das INP engagiert sich in zahlreichen Allianzen und Netzwerken mit KMU, Industrie, Hochschulen und anderen Forschungseinrichtungen, die in großen Teilen direkt auf Verwertung ausgerichtet sind, wie zum Beispiel in strategischen Partnerschaften mit Unternehmen oder in NEMO-Netzwerken. Diese Aktivitäten innerhalb etablierter Netzwerke bilden einen organisatorischen Unterbau und Anknüpfungspunkt dieses Vorhabens. Für die regionale Ebene sei beispielhaft die „RWI Regionale Wirtschaftsinitiative Ost Mecklenburg-Vorpommern e.V.“ genannt. Die RWI ist eine Initiative aus der

Wirtschaft für die Entwicklung der Region Ost-Mecklenburg-Vorpommern zu einem leistungsfähigen Standort für Industrie, Gewerbe und Bürger. Unter dem Leitgedanken „Wirtschaft vernetzen – Kooperationen fördern – Unternehmen stärken" haben sich über 80 Mitglieder, Förderer und Kooperationspartner zu einem anerkannten, zuverlässigen und belastbaren Netzwerk der Wirt-schaft in MV entwickelt. Das INP ist ad personam über seinen Direktor, Prof. Dr. K. D. Weltmann, im Vorstand der RWI führend tätig.

Auf nationaler Ebene ist das Kompetenznetz Industrielle Plasmaoberflächentechnik (**INPLAS**) mit Sitz in Braunschweig zu nennen, auch hier ist der INP-Direktor im Vorstand. Zweck des Vereins ist die systematische Bündelung der Kompetenzen führender Marktpartner, um Innovationen in der Plasmatechnik zu generieren und somit Wettbewerbsvorteile auf nationalen und internationalen Märkten zu schaffen. Wesentliches Ziel des Vereins ist die Sicherung und der Ausbau der weltweiten Spitzenposition deutscher Unternehmen und Forschungseinrichtungen in der Plasmaoberflächentechnik.

Dazu kommt der **Arbeitskreis Plasmaoberflächentechnologie**. Dessen Aufgabe ist die Förderung der wissenschaftlichen und technischen Zusammenarbeit zwischen Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern aus Forschung und Industrie auf dem Gebiet der plasmagestützten Verfahren zur Oberflächenbehandlung. Im internationalen Umfeld liegt aktuell der Fokus auf den Mitgliedern des **BalticNet-PlasmaTec** (wissenschaftlicher Vorstand ist das INP), wobei aber zahlreiche weitere Kooperationen im akademischen sowie industriellen Sektor bestehen. Strategische Partnerschaften existieren zur Schweiz, Korea und Polen.

Darüber hinaus ist die Europäische Forschungsgemeinschaft Dünne Schichten (**EFDS**) als Branchenverein der plasmagestützten Oberflächentechnik geeignet, ihren Mitgliederpool für verwertungsorientierte Partnerschaften zu aktivieren. Die Mitglieder der EFDS – Unternehmen Forschungsinstitute und Privatpersonen – sind in der Verfahrensentwicklung, im Anlagenbau, der Materialtechnik, der Lohnbeschichtung oder in Anwendungsbereichen der Oberflächentechnik tätig. Sie kommen gegenwärtig aus Deutschland, Österreich, Liechtenstein, den Niederlanden und der Schweiz.

Die regionale Bedeutung des INP wird durch das Projekt „**Plasmatransfer MV**" unterstrichen. In diesem Projekt wollen die Projektpartner unter der Federführung des INP ein Besuchsprogramm geeigneter KMU aus der Lebensmittel- und Kunststoffindustrie in Mecklenburg-Vorpommern durchführen, um konkrete Anwendungsmöglichkeiten in diesen Branchen zu identifizieren. Im Idealfall ergeben sich aus Plasmatransfer MV konkrete Anwendungen für die hier zu entwickelnden Plasmaquellen. Darüber hinaus sollen die dort gewonnenen allgemeinen Erkenntnisse gewinnbringend

in dieses Vorhaben einfließen. Dazu gehört unter anderem die strukturierte Kooperationsanbahnung inklusive eines standardisierten, auch in der IT-Struktur abgebildeten work flows zum Technologietransfer.

Die Leibniz-Gemeinschaft fördert den Wissens- und Technologietransfer ihrer Einrichtungen unter anderem durch **LeibnizX**, einer zentralen Beratungsstelle in der Geschäftsstelle der Gemeinschaft in Berlin. LeibnizX bietet insbesondere im Bereich Verwertung durch Ausgründung Unterstützung an.

Das Institut nimmt mit einem Teil seiner Forschungskapazität an der Entwicklung etablierter Anwendungsfelder teil. In der Lichterzeugung, der Elektro- und der Oberflächentechnik bestehen strategische Forschungskooperationen mit internationalen Konzernen wie Osram oder ABB. Die Verwertung der Forschungsergebnisse des INP ist hier Bestandteil der Verwertungsstrategie der Unternehmen. Beispiele sind bei den bereits längerfristig betriebenen Forschungen zu Oberflächenmodifizierungen in der Mikrostruktur- und Biomedizintechnik zu finden.

Eine starke Verankerung der INP-Forschung in industriefinanzierten Projekten wird als sehr wichtig angesehen. Seit 2003 steigerte das INP sein Drittmittelaufkommen deutlich. Allein die bilateralen Industriemittel erhöhte das Institut von 57.000 Euro im Jahr 2003 auf rund 1,3 Millionen Euro im Jahr 2006 – das 20-fache des Ausgangswerts. Im Jahr 2005 gründete sich die neoplas GmbH als Transferzentrum des INP und 2006 die neoplas control GmbH als Anbieter komplexer Messgeräte u.a. für die industrielle Prozesstechnologie aus. Dadurch bietet erstmalig ein Leibniz-Institut alle Schritte der Wertschöpfungskette von der Forschung über die Entwicklung bis zur Vermarktung de facto aus einer Hand an. Beide Ausgründungen tragen zur positiven Entwicklung des Drittmittelaufkommens bei.

Das immer wieder sehr erfolgreiche Abschneiden des INP beim Landesinnovationswettbewerb „venturesail“ (1. und 3. Preis in 2007) oder auch die Verleihung des Ludwig-Bölkow-Technologiepreises an die INP-Ausgründung neoplas control GmbH belegen die INP-Verwertungskompetenz ebenfalls eindrucksvoll. Gerade mit diesem ForMaT-Vorhaben soll die Verwertung von Forschungsergebnissen noch weiter gestärkt werden und den erfolgreich eingeschlagenen Weg konsequent weitergehen.

Als erstes Leibniz-Institut überhaupt hat das INP seine Technologietransferaktivitäten in einer eigenständigen GmbH, der neoplas, gebündelt, die auch eine Inkubatorfunktion für weitere Ausgründungen wahrnimmt. Während die Schwerpunkte des INP in der Entwicklung neuer Technologien und Verfahren „von der Idee bis zum Prototyp“ bestehen, kümmert sich die neoplas GmbH um die nächsten Schritte in der Wertschöpfungskette: „vom Prototyp zum Produkt“.

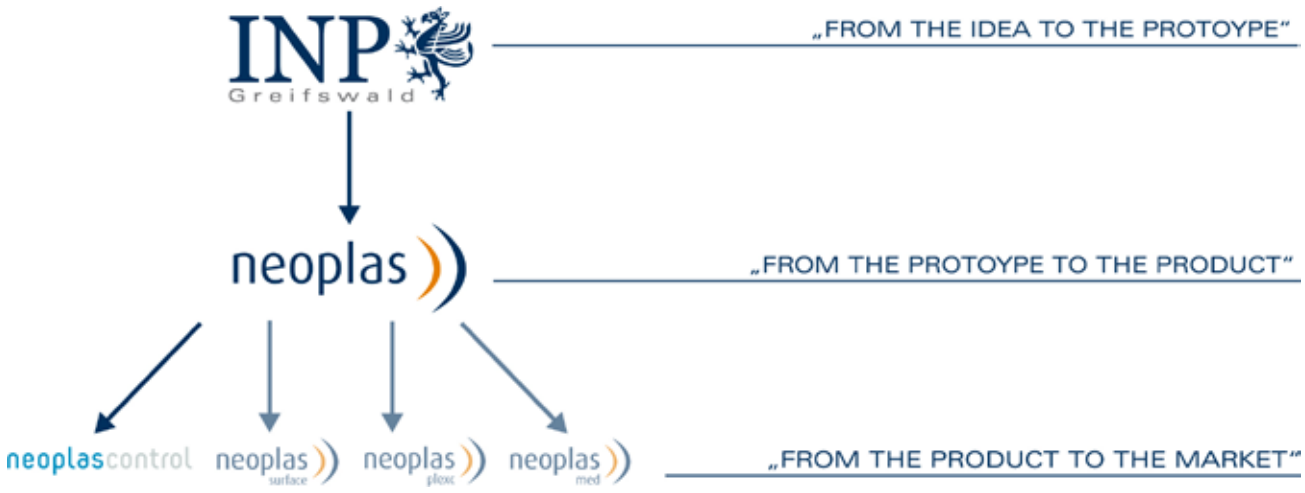

Abb. 8: Die Verwertungsstrategie des INP

Zur Geschäftstätigkeit der neoplas gehören Entwicklungsarbeiten und Serviceleistungen, um spezielle Anwendungen und Prototypen marktfähig zu gestalten und deren Vermarktung vorzubereiten. In der Technologievermittlung intensiviert die neoplas GmbH die Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Wirtschaft, indem gemeinsam z.B. das Marktpotential von Plasmaanwendungen erschlossen wird. Die Produktion und der Vertrieb spezifischer Produkte erfolgt über weitere Partner. Im Vorhaben steuert die neoplas GmbH ihr Know-how aus Verwertung und Technologietransfer bei durch Beratung und Begleitung sowie durch Übernahme der Ergebnisse in die eigene Arbeit. Darüber hinaus liefert die neoplas im Unterauftrag bedarfsgerechte Recherchen, die spezielle technische Kenntnisse aus der Plasmaforschung, deren Anwendungen und dem industriellen Umfeld erfordern.

Das erprobte Verwertungsmodell des INP sieht vor, dass weitere Ausgründungen zuerst als eigenständiges Marktsegment in der neoplas GmbH bearbeitet werden, um die dort gewonnenen betriebswirtschaftlichen Erfahrungen und Kundenkontakte in ein eigenständiges Unternehmen zu überführen, das ohne die typischen Startschwierigkeiten mit entsprechend geschultem und vorbereitetem Personal agieren kann. Es ist geplant, die ökonomisch verwertbaren Entwicklungsleistungen dieses Vorhabens nach Ablauf der ForMaT-Phase II über die neu zu gründende neoplas tools GmbH zu vermarkten. Die neoplas tools GmbH erweitert damit die Firmengruppe neoplas und verbreitert die Basis der dritten Säule.

Die Zunahme der Patentaktivitäten im INP hat zu veränderten Anforderungen an die Patentstrategie geführt. Vor allem geht es nicht mehr um die reine Patentverwaltung, sondern um das Management von Schutzrechten. So sollen bereits bei der Inanspruchnahme von Erfindungen auch verwertungsorientierte Aspekte berücksichtigt werden.

Zukünftige Lizenzierungsabsichten sollen gerade bei Erfindungen in Kooperation mit Externen vertraglich abgesichert werden.

Ziel des marktgetriebenen Verwertungsansatzes von InnoPlas ist es nicht, die bloße Anzahl der angemeldeten Schutzrechte zu erhöhen, sondern die Einnahmen aus deren Verwendung zu maximieren. Die Nutzung von Patenten als reine Reputations- oder passive Abwehrfunktion kommt somit nicht in Betracht – für eine Anmeldung ist generell die geschätzte Verwertungsquote entscheidend.

Der Nutzen von Patenten beruht neben ökonomischen auch auf anderen Faktoren. So wird erwartet, dass aus der Anwenderpraxis der geschützten Erfindungen wichtige neue Fragestellungen und Impulse für die Forschung und (Weiter-)Entwicklung geliefert werden. Ein starkes, akzentuiertes Patentportfolio soll eine positive Außenwirkung entfalten und so das Image und die Attraktivität des INP auch auf internationaler Ebene steigern. Die Zielsetzung der Patentstrategie von InnoPlas ist es, eine Umgebung zu schaffen in der Erfinder- und Unternehmergeist gefördert werden: ein Anziehungspunkt für junge, engagierte Wissenschaftler, Industriekunden, Kooperationspartner und Drittmittelgeber.

Da die Kosten für die Patentierung einer Erfindung allein für den Raum Deutschland in die Tausende, für die gesamte Welt in die Zehntausende gehen sowie angesichts der Tatsache, dass ca. 30 % der eingereichten Patente allein wegen fehlender Neuheit zurückgewiesen werden, verfolgt das INP eine selektive Patentierungsstrategie. Die Anmeldung ist grundsätzlich für zwei Fälle vorgesehen: wenn mit der Innovation hohe Verwertungschancen verbunden sind und/oder sich ein Industriepartner an den Anmelde- und Entwicklungskosten beteiligt. Zusätzlich wird eine thematische Konzentration auf Kernthemen angestrebt, um somit zur Profilbildung des INP beizutragen. Es geht um die Schaffung gebündelter, tiefgründiger Expertise. Die monetären Rückflüsse aus der Patentverwertung werden durch ein Anreizsystem zur Motivierung der Mitarbeiter sowie zur Refinanzierung der eigenen Forschung beitragen.

Die Sicherung von gewerblichen Schutzrechten spielt im Hinblick auf die zu erwartenden Ergebnisse dieses Vorhabens eine wichtige Rolle. Patente sind das technologische Kapital, insbesondere von jungen Hightech-Unternehmen. So ist es ohne einen ausreichenden Schutz des geistigen Eigentums kaum möglich, Fremd- oder Wagniskapital (venture capital) zu beschaffen.

InnoPlas bündelt in einem virtuellen Innovationslabor in interdisziplinärer Zusammenarbeit von Wissenschaftlern, Kaufleuten, Vertretern von Transfereinrichtungen und der Industrie, alle Kompetenzen für eine erfolgreiche Verwertung von Forschungsergebnissen. Das Konzept der Virtualität bedeutet schlicht, dass es keinen räumlich abgegrenzten

Bereich gibt, der ausschließlich durch InnoPlas genutzt wird. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten finden naturgemäß jeweils in den geeigneten Laboren statt. Gleichzeitig wird mit dem Begriff des virtuellen Zentrums die organisationenübergreifende und vereinende Konzeption des Vorhabens betont. Um die Virtualität in die Realität zu überführen, sind verschiedene Treffen der beteiligten Akteure im INP vorgesehen. Dazu gibt der folgende Abschnitt über die **Ablauforganisation** Auskunft.

Zu Beginn der ForMaT-Phase II wird es eine Auftaktveranstaltung mit allen Beteiligten des Forschergremiums und dem kaufmännischen Koordinator geben. Ziel dieses Treffens ist es, alle Projekte vorzustellen um weitere Schnittstellen und Synergiepotenziale zu identifizieren. Gegebenenfalls wird die Grobplanung der Arbeitspakete und Maßnahmen neuen Erkenntnissen angepasst und für das erste halbe Jahr die Feinplanung abgestimmt. Dazu werden den einzelnen Maßnahmen die verantwortlichen und ausführenden Personen zugeordnet sowie verbindliche Termine gesetzt. Die Überwachung der Einhaltung der Feinplanung wird durch den Koordinator im Vorhaben sichergestellt.

Einmal pro Woche wird es jeweils ein Treffen für jedes der drei Pilotprojekte geben, an dem der Koordinator, die Wissenschaftler und die Techniker beteiligt sind. Hier werden die kurzfristigen Wochenarbeitspläne aufgestellt sowie organisatorische und technische Probleme im Detail besprochen. Die Projektleiter berichten den Fortschritt der Arbeiten an den Koordinator. Für spezielle Fragen werden weitere Experten aus dem INP oder dem externen Markt- und Transfergremium hinzugezogen.

Auf monatlichen Treffen der Projektmitarbeiter treffen sich alle Mitglieder des internen Forschergremiums, um sich gegenseitig einen kurzen Überblick über den Stand der Planerfüllung zu geben und geeignete Maßnahmen bei eventuellen Abweichungen in Zusammenarbeit mit den anderen Projekten zu beschließen. Diese Treffen dienen zum Erfahrungsaustausch zwischen den Projekten und der Nutzung von Synergiepotenzialen.

Alle sechs Monate wird ein Treffen mit dem gesamten Innovationsgremium, also Forschergremium sowie Markt- und Transfergremium zusammen, stattfinden. Die Treffen sind nach Möglichkeit mit dem Erreichen eines Meilensteins zu synchronisieren. Die Leiter der Projekte geben dabei einen umfassenden Überblick über die abgeschlossenen Arbeiten und Resultate. Gegebenenfalls wird die strategische Ausrichtung der Projekte korrigiert. Dazu erhalten die Mitglieder des externen Gremiums Gelegenheit, ein ausführliches Feedback sowie Empfehlungen zum Fortgang des Projekts abzugeben.

Eine gut funktionierende Kommunikation zwischen allen Beteiligten des Vorhabens ist für dessen Erfolg enorm wichtig. Daher können neben den turnusmäßig stattfindenden Projekttreffen je nach Bedarf weitere Termine vereinbart werden. Die Sitzungsprotokolle aller Treffen erstellt jeweils der Koordinator.

Einmal pro Jahr soll analog der Veranstaltung in ForMaT-Phase I das Plasmatechnologie-Forum stattfinden. Das Forum dient der Knüpfung von weiteren Kontakten mit potenziellen Anwendern von Atmosphärendruckplasmaprozessen aus mehreren Branchen. Diese Veranstaltung soll den gezielt eingeladenen Industrievertretern aus verschiedenen Anwendungsfeldern die Chancen und Einsatzmöglichkeiten der Plasmatechnologie verdeutlichen. Inhaltlich werden wissenschaftliche Vorträge mit starkem Anwendungsbezug, plasmatechnische Exponate und Laborführungen angeboten. Die Resonanz auf die erste Veranstaltung am 10.07.2008 war gezielt durchweg überaus positiv. Daher soll dieses Instrument der Kontaktanbahnung zum Technologietransfer auch weiterhin eingesetzt werden.

Durch die systematische Verknüpfung von Personal-, Organisations- und Kompetenzentwicklung werden der Koordinator, das Forschergremium und die mittelbar beteiligten INP-Mitarbeiter besser in die Lage versetzt, verwertungsrelevante Forschungsansätze herbeizuführen und die dazu erforderlichen Veränderungen erfolgreich zu gestalten. Damit wendet sich das Vorhaben den „weichen" Faktoren im Innovationsprozess zu. Ziel dabei ist es, Treiber und Hemmnisse im Innovationsprozess zu identifizieren sowie praxisgerechte Konzepte, Instrumente und Strategien zu entwickeln, die zur Stärkung der Innovationsfähigkeit beitragen und eine erfolgreiche Gestaltung von Innovationsprozessen ermöglichen.

Die Forschungsdienstleistungen und -ergebnisse des INP kommen in der Regel nur in kleinen Segmenten der Wertschöpfungskette zum Tragen. Dies ist für potenzielle Kunden nicht immer interessant, da viele an Komplettlösungen interessiert sind. Eine Kooperation in der Vermarktung der Forschung setzt bei den Forschungseinrichtungen die Bereitschaft und Fähigkeit zum Denken und Arbeiten in Wertschöpfungsketten voraus. Diese zu erhöhen wird zu den wesentlichen Ergebnissen des vorliegenden Vorhabens zählen. Dazu ist es notwendig, die Mitarbeiter des INP mit entsprechendem Wissen zu versorgen.

Durch das Einschalten von LeibnizX, der neoplas GmbH und gegebenenfalls weiterer Fachexpertisen, z.B. der TuTech Hamburg-Harburg sowie von Frau Prof. Bouncken, Inhaberin des Lehrstuhls für Organisation, Personal sowie Innovationsökonomie an der Uni Greifswald, sollen die Transferkompetenzen der INP-Mitarbeiter erweitert und eine Optimierung der Verwertungsprozesse, das

Erarbeiten von neuen Konzepten sowie deren Integration in die bestehenden Strukturen gewährleistet werden.

Um die aktuellen wissenschaftlichen und technischen Entwicklungen sowie potenzielle Märkte kennen zu lernen, werden Mitglieder der Forschergremiums projektbegleitend an entsprechenden Fachmessen und Workshops (z.B. ACHEMA, Hannovermesse, Kunststoffmessen) teilnehmen. Zur Steigerung der Kompetenzen im Technologietransfer ist außerdem der Besuch internationaler Konferenzen zur Technologieentwicklung vorgesehen (z.B. im Februar 2009: Annual Meeting of the Association of University Technology Managers, Orlando FL, USA; im April 2009: Annual Conference of the European Association for the Transfer of Technology, Innovation an Industrial Information).

Zum Erwerb allgemeiner Verwertungskompetenzen wurde für den Fall einer Bewilligung beider Projekte eine Zusammenarbeit mit dem zweiten Greifswalder Projekt ‚TransPharm' der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald vereinbart. In zwei Workshops innerhalb der ersten sechs Monate nach Projektbeginn werden gegenseitig Erfahrungen aus dem Transferprozess ausgetauscht und so genannte „Best Practices" gesammelt. Vorträge der Projektleiter und beteiligter Experten zu transferspezifischen Themen runden diese „Qualifizierung durch Austausch" ab.

Das Projektcontrolling wird neben dem Koordinator des Vorhabens durch die drei Projektleiter und den Direktor des INP erfolgen. Durch die definierten Meilensteine, Arbeitspakete und Maßnahmen sind objektiv messbare Ergebnisse festgelegt.

V. Zusammensetzung und Aufgabenverteilung der Projektgruppen

Die Leitung des Gesamtvorhabens erfolgt im Team aus einem Betriebswirtschaftler sowie drei Wissenschaftlern und Ingenieuren, die zugleich als Leiter der drei Teilprojekte fungieren. In den Pilotprojekten erfolgen die wissenschaftlich-technischen Arbeiten zur Realisierung der Verwertungsansätze entsprechend den im Kapitel VI dargelegten Arbeitsplänen.

Die Forschergruppen bestehen aus Wissenschaftlern unterschiedlicher Ausbildung (Physiker, Chemiker, Mathematiker, Ingenieure und Techniker) sowie unterschiedlicher Fachabteilungen des INP. Synergien ergeben sich trotz der unterschiedlichen Anwendungen durch die ähnlichen plasma- und oberflächenphysikalischen Fragestellungen. Grundlegende Erkenntnisse sowie die vorhandene Plasma- und Oberflächendiagnostik kommen allen Pilotprojekten zugute. Die Struktur der Arbeitsgruppen und die gesamte Aufgabenverteilung im Projekt ForMaT ist in Abbildung 9 dargestellt.

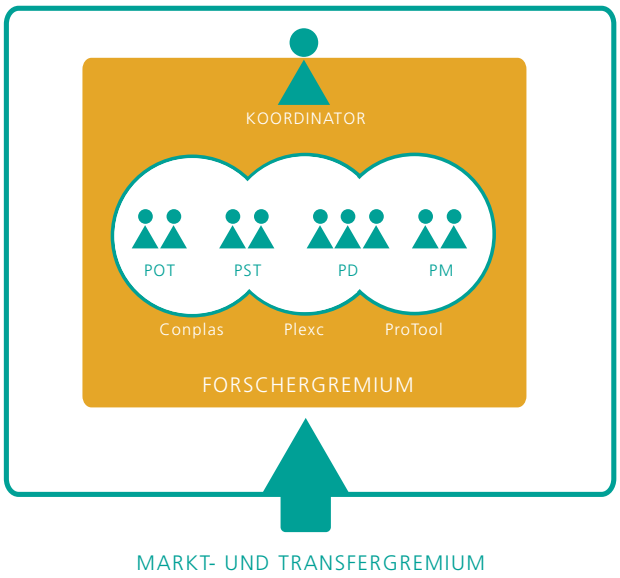

Abb. 9: Zusammensetzung Forschergremium sowie Markt- und Transfergremium

Die für das Innovationslabor angestrebte projektorientierte und abteilungsübergreifende Zusammenarbeit wird bereits seit einigen Jahren erfolgreich im INP praktiziert. Als Querschnittstechnologie erfordert die Plasmatechnologie eine stark interdisziplinäre Herangehensweise. Das INP gliedert sich in fünf Fachabteilungen:

- Plasmastrahlungstechnik PST;
- Plasmaprozesstechnik PPT;
- Plasmaoberflächentechnik POT;
- Plasmadiagnostik PD und
- Plasmamodellierung PM

– und hat inhaltlich drei Forschungsbereiche –

- FB 1: Oberflächen & Materialien;
- FB 2: Umwelt & Energie;
- FB 3: Biologie & Medizin.

Die Forschungsschwerpunkte werden abteilungsübergreifend bearbeitet. Je nach Anforderungen des jeweiligen Projektes werden verschiedene Ausbildungen und Spezialisierungen der Mitarbeiter sowie die Infrastrukturen der Fachabteilungen eingebracht und so Synergien bestmöglich genutzt. Diese industrieähnliche Matrixstruktur hat sich am INP sehr bewährt.

Das Projekt PLexc zur plasmagestützen Pulverlackierung bearbeiten die Abteilungen PST und PD. Die Kollegen der PD bringen das Know-how zur Erzeugung der gepulsten Mikrowellenplasmaquelle ein, der Projektleiter Udo Krohmann (Ingenieur) war federführend an der Entwicklung dieser Technologie im INP beteiligt. Durch Dr. Jörg Ehlbeck (Physiker, Abteilungsleiter PD) erhält er die für die Charakterisierung und technische Realisierung notwendige fachliche Unterstützung.

Im ConPlas-Projekt zur plasmagestützten Beschichtung arbeiten Kollegen der Abteilungen PST, PD und POT eng zusammen. Die Kollegen der PST und PD bringen ihre Erfahrungen in Erzeugung, Design sowie Diagnostik und Charakterisierung von Atmosphärendruckplasmaquellen ein, während Mitarbeiter der POT ihr Know-how zur Auswahl von Precursoren und zur Oberflächenanalytik zur Verfügung stellen. Die Projektleitung soll Dr. Ronny Brandenburg (Physiker) übernehmen, der bislang als Projektleiter für die Plasmaquelle „ConPlas“ verantwortlich war. Unterstützt wird er durch Dr. Rüdiger Foest (Physiker, Forschungsschwerpunktleiter im FB 1 „Oberflächen“) sowie Dr. Karsten Schröder (Chemiker, Abteilungsleiter POT).

Im dritten Pilotprojekt zu Entwicklungstools für Atmosphärendruckplasmaprozesse soll neben dem experimentellen Wissen auch die Expertise der Plasmamodellierung und -simulation zum Einsatz kommen. Das Vorhaben fungiert damit auch als Schnittstelle zwischen den anderen beiden Vorhaben. Da es sich vorrangig um Arbeiten zur Simulation von Plasmen handelt, wird das Vorhaben von Dr. Dirk Uhrlandt (Physiker, Forschungsschwerpunktleiter Energie) als Erfahrungsträger der Plasmamodellierung geleitet. Zwei Kollegen der Abteilung PM werden die simulationstechnischen Arbeitspakete umsetzen. Das Vorhaben beinhaltet Validierungsexperimente, welche Dr. Ronny Brandenburg mit zwei weiteren Mitarbeitern seines Teams aus der Abteilung PD verantwortet.

In alle drei Pilotprojekten ist übergeordnet ein Dipl.-Kfm. (Sebastian Spreeberg) eingebunden, der die interne Kommunikation und Koordinierung übernimmt sowie die Zusammenarbeit mit dem Markt- und Transfergremium organisiert. Er aktualisiert jeweils das konkrete Verwertungspotenzial und erstellt darauf basierend eine Verwertungsstrategie für das jeweilige Teilvorhaben. Außerdem führt er ein regelmäßiges Potenzialscreening für weitere Projekte nach der Förderung in ForMaT Phase II durch. Dadurch erhofft sich das INP weitere Im-

pulse in der Verwertung von Forschungsresultaten. Herr Spreeberg verfügt über die notwendigen betriebswirtschaftlichen Instrumente und Sichtweisen sowie theoretisches Wissen zum Thema Existenzgründung. Durch seine mehrjährige Tätigkeit im INP, zuletzt seine federführende Mitarbeit in der Konzeptionsphase von ForMaT, ist er bereits mit der Plasmatechnologie und den Strukturen des INP vertraut. In der Kommunikation mit der externen Beratungsgruppe wird er durch den Direktor des INP Prof. Dr. Klaus-Dieter Weltmann, mit dessen langjährigen Industrie- und Forschungserfahrungen unterstützt.

Das Vorhaben ist in der Stabsabteilung des INP angesiedelt und damit direkt der Institutsleitung zugeordnet. Zugleich wird der abteilungsübergreifende Ansatz demonstriert. In der Stabsabteilung sind u.a. die Kompetenzen des INP zum Technologietransfer, Recht & Patente, Vertragsmanagement und zur Internationalisierung angesiedelt, so dass komplementäres Wissen unmittelbar einfließen kann. Frau Miriam Halle (Betriebswirtin) ist Projektmitarbeiterin bei Plasmatransfer MV. Sie wird den Informationsfluss zwischen den Aktivitäten der Stabsabteilung gewährleisten sowie Redundanzen vermeiden.

VI. Arbeitsplan sowie Ausgaben-, Zeit- und Meilensteinplan

In der zweiten ForMaT-Phase werden die erforderlichen Forschungs- und Entwicklungsaufgaben zu den für eine Verwertung besonders aussichtsreich bewerteten Anwendungen durchgeführt. Es gilt, die Eigenschaften dieser Plasmawerkzeuge in intensiven Entwicklungsarbeiten zu erproben sowie eine Kombination ihrer umsetzungsrelevanten Merkmale zu erarbeiten. Dies schließt die Charakterisierung und Diagnostik der erzeugten Plasmen sowie ihrer Oberflächenwirkung ein.

Die Projekte beginnen im ersten Quartal 2009 und enden planmäßig im ersten Quartal 2011 mit dem Abschluss aller notwendigen Arbeiten zur Vorbereitung der Verwertung der Forschungsansätze und Entwicklungsleistungen. Für die strukturierte und kontrollierte Umsetzung des Vorhabens sind die einzelnen Projekte in mehrere Arbeitspakete, Maßnahmen und Meilensteine gegliedert. Dabei wurde darauf geachtet, gleichlautende oder ähnliche Aufgaben zeitlich parallel laufen zu lassen, um von Synergieeffekten zu profitieren.