

# Projekt-Schlussbericht

## Wachstums Kern Centifluidic Technologies

Projekt 5.3:	<b>Auswahl der Materialien, Beschichtung, Modifikation von Oberflächen</b>
Zuwendungsgeber:	Bundesministerium für Bildung und Forschung
Förderkennzeichen:	<b>03WKCC5C</b>
Projektlaufzeit:	01.10.2012 bis 31.01.2014
Berichtslaufzeit:	01.10.2012 bis 31.01.2014
Berichtspflichtiger:	Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. (INP) Greifswald Felix Hausdorff Straße 2 17489 Greifswald
Projektleitung:	Dr. Martin Polak



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Kurze Darstellung.....</b>	<b>3</b>
1.1	Aufgabenstellung .....	3
1.2	Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens .....	3
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens .....	4
1.3.1	Planung .....	4
1.3.2	Ablauf .....	5
1.4	Stand der Wissenschaft und Technik .....	5
1.5	Zusammenarbeit mit Dritten.....	7
<b>2</b>	<b>Ausführliche Darstellung.....</b>	<b>7</b>
2.1	Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse .....	7
2.2	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	16
2.3	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	16
2.4	Voraussichtlicher Nutzen .....	16
2.5	Neue relevante F&E-Ergebnisse von dritter Seite für das Vorhaben .....	17
2.6	Veröffentlichung der Ergebnisse .....	17
	<b>Anlage 1: Erfolgskontrollbericht .....</b>	<b>19</b>
<b>1.</b>	<b>Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen.....</b>	<b>19</b>
<b>2.</b>	<b>wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und wesentliche Erfahrungen .....</b>	<b>19</b>
<b>3.</b>	<b>Verwertungsplan .....</b>	<b>19</b>
<b>4.</b>	<b>Arbeiten ohne Lösung/Ergebnis .....</b>	<b>19</b>
<b>5.</b>	<b>Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer.....</b>	<b>19</b>
<b>6.</b>	<b>Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung .....</b>	<b>20</b>

# 1 Kurze Darstellung

## 1.1 Aufgabenstellung

Das Ziel des Teilprojektes war die Erarbeitung neuartiger Plasmaprozesse zur Einstellung antiadhäsiver Oberflächeneigenschaften für Biomoleküle, die anstelle bisher üblicher Sauerstoff-funktioneller Oberflächen auch stickstoffhaltige Funktionen umfassen. Mit Hilfe plasmagestützter chemischer Funktionalisierungen und Beschichtungen oder/und deren Anordnung in lateralen Strukturen sollte eine gezielte Einstellung der Adhäsionseigenschaften der Biomoleküle erreicht werden. Als Zielparameter sollte der Wasserkontaktwinkel der plasmabehandelten Oberflächen  $<10^\circ$  eingestellt werden. Hinsichtlich einer Langzeitstabilität des Wasserkontaktwinkels sollte dieser nach 4 Wochen nicht höher als  $30^\circ$  sein. Darüber hinaus sollte die Oberflächenmodifikation den Randbedingungen für den Einsatz dieser speziellen centifluidischen Bauteile genügen. Die Plasmamodifikation der Oberfläche sollte daher in einem Temperaturbereich von  $< -20^\circ\text{C}$  bis Raumtemperatur nahezu konstante Oberflächeneigenschaften aufweisen.

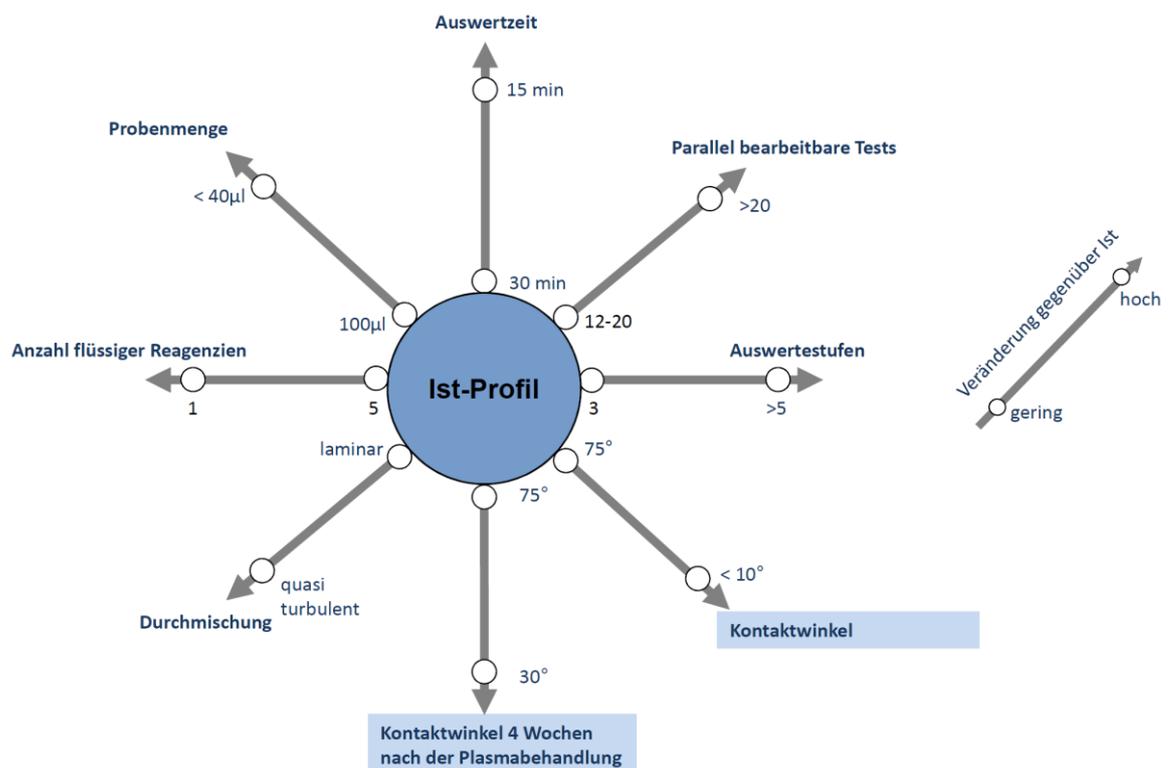


Bild 1: Zielparameter im Teilprojekt

## 1.2 Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens

Für die erfolgreiche Durchführung des Projektes waren folgende Voraussetzungen notwendig:

- Entsprechende Vorkenntnisse, Machbarkeitsstudien und proof of principle
- In der Plasmaoberflächentechnologie qualifiziertes und erfahrenes Personal
- Möglichkeiten, die Oberflächeneigenschaften sowohl physiko-chemisch und mechanisch als auch mikrobiologisch zu diagnostizieren

## 1.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

### 1.3.1 Planung

Das Teilprojekt war in unterschiedliche Arbeitspakete geteilt. Folgend eine tabellarische Darstellung der einzelnen Pakete, des Inhaltes und der zu erwartenden Ziele.

<b>5.3 Auswahl der Materialien, Beschichtung, Modifikationen von Oberflächen</b>	
	Erarbeitung eines Plasmaprozesses zur Funktionalisierung (antiadhäsiv) von inneren Oberflächen von typischen in der Fluidik verwendeten Bauteilen
5.3.1	Erarbeitung einfacher Prüfkörper, an denen die grundsätzlichen Problemstellungen und -stellen wissenschaftlich untersucht, gleichzeitig aber auch die typischen Oberflächendiagnostiken angewendet werden können
5.3.2	Absprache mit den Verbundpartnern bezüglich verwendeter Kunststoffe bzw. Materialien und Erprobung verschiedener Plasmaprozesse zur Funktionalisierung der Oberfläche der Kunststoffe
5.3.3	Variation der Prozessparameter, wie Gasmischung, elektrische Ansteuerung der Entladung, Prozessdruck, Behandlungsdauer, Energieeintrag, Abstand zur Probe mit dem Ziel, einen erfolversprechenden Plasmaprozess zu erarbeiten (antiadhäsiv)
5.3.4	Überführung und Anpassung des in AP 3.2.1.3 erarbeiteten Plasmaprozesses für komplexe centifluidische Bauteile
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• antiadhäsive Oberflächenfunktionalisierung an einfachen Prüfkörper gezeigt</li> <li>• antiadhäsive Oberflächeneigenschaften für komplexe centifluidische Bauteile erarbeitet</li> </ul>
	Erarbeitung eines Plasmaprozesses zur Funktionalisierung (antiadhäsiv, frostresistent) von inneren Oberflächen von typischen in der Fluidik verwendeten Bauteilen
5.3.5	Erarbeitung einfacher Prüfkörper, an denen die grundsätzlichen Problemstellungen und -stellen wissenschaftlich untersucht, gleichzeitig aber auch die typischen Oberflächendiagnostiken angewendet werden können
5.3.6	Absprache mit den Verbundpartnern bezüglich verwendeter Kunststoffe bzw. Materialien und Erprobung verschiedener Plasmaprozesse zur Funktionalisierung der Oberfläche der Kunststoffe
5.3.7	Variation der Prozessparameter, wie Gasmischung, elektrische Ansteuerung der Entladung, Prozessdruck, Behandlungsdauer, Energieeintrag, Abstand zur Probe mit dem Ziel, einen erfolversprechenden Plasmaprozess zu erarbeiten (antiadhäsiv, frostresistent)
5.3.8	Überführung und Anpassung des in AP 2.2.3 erarbeiteten Plasmaprozesses für komplexe centifluidische Bauteile
5.3.9	Optimierung des Prozesses hinsichtlich folgender Oberflächenfunktionen des Demonstrators: antiadhäsiv, frostresistent
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• antiadhäsive Funktionalisierung von einfachen Prüfkörpern gezeigt, frostresistente Funktionalisierung für verbesserte Proteinankopplung erarbeitet</li> <li>• antiadhäsive Funktionalisierung der Innenoberfläche von Mikropumpen gezeigt, frostresistente Funktionalisierung für verbesserte Proteinankopplung erarbeitet</li> </ul>
	Kontrolle der modifizierten Oberflächen und der Wirkung des Plasmas auf die Oberfläche mit dem Ziel eines reproduzierbaren Oberflächenprozesses
5.3.10	Wissenschaftliche Untersuchung der Stabilität der Oberflächenfunktionalisierung für einen großen Temperaturbereich von -20°C bis hin zur typischen Gebrauchstemperatur
5.3.11	Wissenschaftliche Untersuchung bezüglich der Anhaftung spezieller Stoffe, Materialien, Proteine, Zellen oder Bakterien an die Oberfläche
5.3.12	Wissenschaftliche Untersuchung der Haltbarkeit der Oberflächenfunktionalisierung im Kontakt mit verschiedenen typischerweise im Gebrauch vorkommenden Flüssigkeiten und Lösungsmitteln
5.3.13	Wissenschaftliche Untersuchung der Spaltgängigkeit der Plasmen hinsichtlich einer

5.3.14	<p>homogenen Funktionalisierung auch bei komplexen Demonstratoren</p> <p>Charakterisierung der Oberflächenfunktionalisierung hinsichtlich chemischer Bindungen, Elementanteile und Morphologie als Prozesskontrolle und Garantie für Reproduzierbarkeit</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einflussparameter auf die gewünschte Oberflächenfunktionalisierung sind bekannt</li> <li>• Reproduzierbarkeit der Oberflächenfunktionalisierung ist gegeben</li> </ul>

### 1.3.2 Ablauf

Das Projekt wurde in der geplanten Laufzeit erfolgreich abgeschlossen. Allerdings gab es seitens des Industriepartners während des Projektes eine Strategieänderung. Diese beinhaltete ein komplett anderes Design des Demonstrators, wodurch die neuen Inhalte von die ursprünglich im Projekt geplanten teilweise stark abwichen. Dieser Änderung war mit dem Projektträger abgesprochen und spiegelt sich auch in der Ergebnislage nach Projektende wider.

### 1.4 Stand der Wissenschaft und Technik

Oberflächenfunktionalisierungen mittels Plasmen gehören mittlerweile zum Stand der Technik und werden für eine Vielzahl verschiedener Anwendungen und Produkte genutzt. Die Plasmatechnologie ist eine Querschnittstechnologie, vor allem für Oberflächenprobleme, sie ist aber nicht darauf beschränkt [1]. Mittels Plasmen lassen sich Oberflächen abtragen, d.h. säubern bzw. morphologisch strukturieren, funktionalisieren (d.h. chemisch funktionelle Gruppen verändern) oder beschichten [2]. Gängige Verfahren sind das Ionenätzen (RIE), Plasmaaktivierung, physikalische Gasphasenbeschichtung (PVD), plasmagestützte chemische Gasphasenbeschichtung (PECVD), Atomlagenabscheidung (ALD), Ionenimplantation und Beschichtung (PIII&D) [1]. Typische Anwendungen sind bspw. die Aufbringung metallischer Schichten auf Glas, die Einstellung des Wasserkontaktwinkels (hydrophob, hydrophil) auf Kunststoffen, die Aufbringung kratzfester Schichten auf Kunststoffen sowie spezielle Funktionalisierungen zur Hydrophilierung von Verbrauchsmaterialien für biomedizinische Anwendungen [1]. Diese Prozesse werden typischerweise auf planen Proben durchgeführt und das Know-How und die Erfahrungen hinsichtlich homogener Beschichtungen von centifluidischen Bauteilen, d.h. komplexen 3-dimensionalen Objekten sind noch gering. Plasmen weisen zwar eine gewisse Spaltgängigkeit auf, die bei Ätzprozessen in der Mikroelektronik eine große Rolle spielen, jedoch stellen besonders die in der Centifluidic üblichen, kleinen und engen Lumina eine große Herausforderung für die Plasmaquellen- und die Prozessentwickler dar [3-8]. Darüber hinaus weisen alle für diese Applikationen anwendbaren Kunststoffe (PS, PC, COC, Silikone, PE und PP) hydrophobe Oberflächen auf. Spezialanfertigungen, wie beispielsweise mit der Klasse der Polyurathane generell verfügbar, drehen hydrophile Bereiche in das Innere der Kunststoffbauteile, was jedoch erhebliche Mehrkosten bedeutet. Eine nasschemische Modifizierung lässt sich aufgrund der geringen Abmessungen der Strukturdetails nicht steuern. Die Anwendung plasmachemischer Verfahren ist hier ein vielversprechender Ansatz, da sie die Einführung unterschiedlicher funktioneller Gruppen in innere Oberflächen von 3D-Konstrukten grundsätzlich ermöglichen sollte. Heute werden dazu typischerweise Sauerstoff-, Luft- oder Argonplasmen verwendet [1], [2]. Die Oberfläche wird hydrophiliert, so dass wässrige Lösungen in den Bauteilen fließen können. Allerdings gibt es Probleme mit der Langzeitstabilität der Oberflächenmodifikation. Deshalb erfolgt heute der Übergang auf stickstoffhaltige Plasmen und spezielle Beschichtungen, die stabilere Eigenschaften aufweisen [9]-[12]. Aminofunktionalisierte Oberflächen werden heute schon zur kovalenten Kopplung mit Biomolekülen und für die Zell- und Proteinadhäsion [13-18] sowie die Immobilisierung von Enzymen [19] favorisiert. Grundsätzlich können diese Oberflächen auf verschiedene Art und Weise erzeugt werden: mit Hilfe nicht deponierender Gase wie Stickstoff/Wasserstoff oder Ammoniak, durch plasmainduziertes Pfropfen von Aminen oder mittels Plasmapolymerisation von stickstoffhaltigen Precursor-Molekülen wie Allylamin [20], Ethylendiamin [21], Cyclopropylamin [22]. Eine Aminogruppendichte-NH<sub>2</sub>/C von etwa 2-4% ist typisch für eine Plasmafunktionalisierung in Gasphasen wie Ammoniak, aber auch für Plasmabeschichtungen mit stickstoffhaltigen Precursoren [23].

Eine weitere Herausforderung für Beschichtungen mittels Plasmen stellen die in den Anwendungen auftretenden großen Temperaturunterschiede dar. Es ist bisher nicht bekannt, wie sich bei Raumtemperatur oder einigen 100 °C plasmagestützt erzeugte Schichten bei Temperaturen von -20 verhalten und inwiefern sich diese Temperaturunterschiede auf die Qualität und die Langzeitstabilität der Beschichtungen auswirken. Gerade hier sollten die Vorteile ultradünner Schichten zur Geltung kommen.

Durch eine umfangreiche Recherche des INP Greifswald im Rahmen der Vorbereitung des Projektes Centifluidic Technologies konnten keine Patente Dritter identifiziert werden, die dem Projektziel und damit der Ergebnisverwertung entgegenstehen.

- [1] R. Hippler, H. Kersten, M. Schmidt, K. H. Schoenbach, *Low Temperature Plasmas*, Wiley VCH, Weinheim, 2008.
- [2] C. M. Chan, T. M. Ko, H. Hiraoka, *Surf. Sci. Rep.* 24 (1996), 1-54.
- [3] M. L. Steen, A. C. Jordan, E. R. Fisher, *J. Membr. Sci.* 204 (2002), 341.
- [4] D. Hegemann, H. Brunner, C. Oehr, *Surf. Coat. Technol.* 142-144 (2001), 849.
- [5] T. Ichiki, Y. Sugiyama, R. Taura, T. Koidesawa, Y. Horiike, *Thin Solid Films* 435 (2003), 62.
- [6] M. Müller, M. Storr, C. Oehr, *PSE 2004*, Garmisch-Partenkirchen, book of abstracts, p. 44.
- [7] U. Vohrer, M. Müller, C. Oehr, *Surf. Coat. Technol.* 98 (1998), 1128.
- [8] W. Besch, K. Schröder, A. Ohl, *Plasma Process. Polym.* 2 (2005), 97.
- [9] S. Roy, C.Y. Yue, *Plasma Process. Polym* 8 (2011) 432-443.
- [10] S. Sugiura, J. Edahiro, K. Sumaru, T. Kanamori, *Colloids Surf. B: Biointerfaces* 63 (2008) 301-305.
- [11] V. Barbier, M. Tatoulian, H. Li, F. Arefi-Khonsari, A. Ajdari, P. Tabeling, *Langmuir*, 22 (2006), 5230–5232.
- [12] J. Zhou, A. V. Ellis, N. H. Voelcker *Electrophoresis* 31(2010) 2-16.
- [13] Y. Nakayama, T. Takahagi, F. Soeda, K. Hatada, S. Nagaoka, J. Suzuki, J. Ishitani., *Polym. Sci. A: Polym. Chem.* 1988, 26, 559-572.
- [14] F. Simon, G. Hermel, D. Lunkwitz, C. Werner, K. Eichhron, H.J. Jacobasch, *Macromol. Symp.* 1996, 103, 243-257.
- [15] J. Yang, Y. Wan, C. Tu, Q. Cai, J.Z. Bei, S.G. Wang, *Polym. Int.* 2003, 52, 1892–1899.
- [16] R. Sipehia, AS. Chawla, *Biomater. Med. Devices Artif .Organs.* 1983, 10, 229-246.
- [17] C. Girardeaux, N. Zammateo, M. Art, B. Gillon, J.J. Pireaux, *Plasmas and Polymers* 1 1996, 4, 327-346.
- [18] E. Moyl, F. Y. H. Lin, J.W. Vogtle, Z. Policova, A.W. Neumann, *Colloid Poly. Sci* 1994, 10, 1245-1251.

- [19] R. Sipehia, A.S. Chawla, J. Daka, T.M. Chang, J Biomed. Mater. Res. 1988, 22, 417-422.
- [20] P. Hamerli, T. Weigel, T. Groth, D. Paul, Biomaterials 2003, 24, 3989–3999.
- [21] J. Kim, D. Jung, Y. Park, Y. Kim, D. W. Moon, T.G. Lee, Applied Surface Science 2007, 253, 4112–4118.
- [22] L. Denis, P. Marsal, Y. Olivier, T. Godfroid, R. Lazzaroni, M. Hecq, J. Cornil, R. Snyders, Plasma Processes and Polymers 2010, 7, 172-181.
- [23] K. Schröder, B. Finke, A. Ohl, F. Lüthen, C. Bergemann, B. Nebe, J. Rychly, U. Wal-schus, M. Schlosser, K. Liefeth, H.-G. Neumann, K.-D.. Weltmann, J. Adh. Sci. Technol. 2010, 24, 1191–1205.

### 1.5 Zusammenarbeit mit Dritten

Im Rahmen des Projektes war keine Zusammenarbeit mit Dritten vorgesehen und fand entsprechend auch nicht statt.

## 2 Ausführliche Darstellung

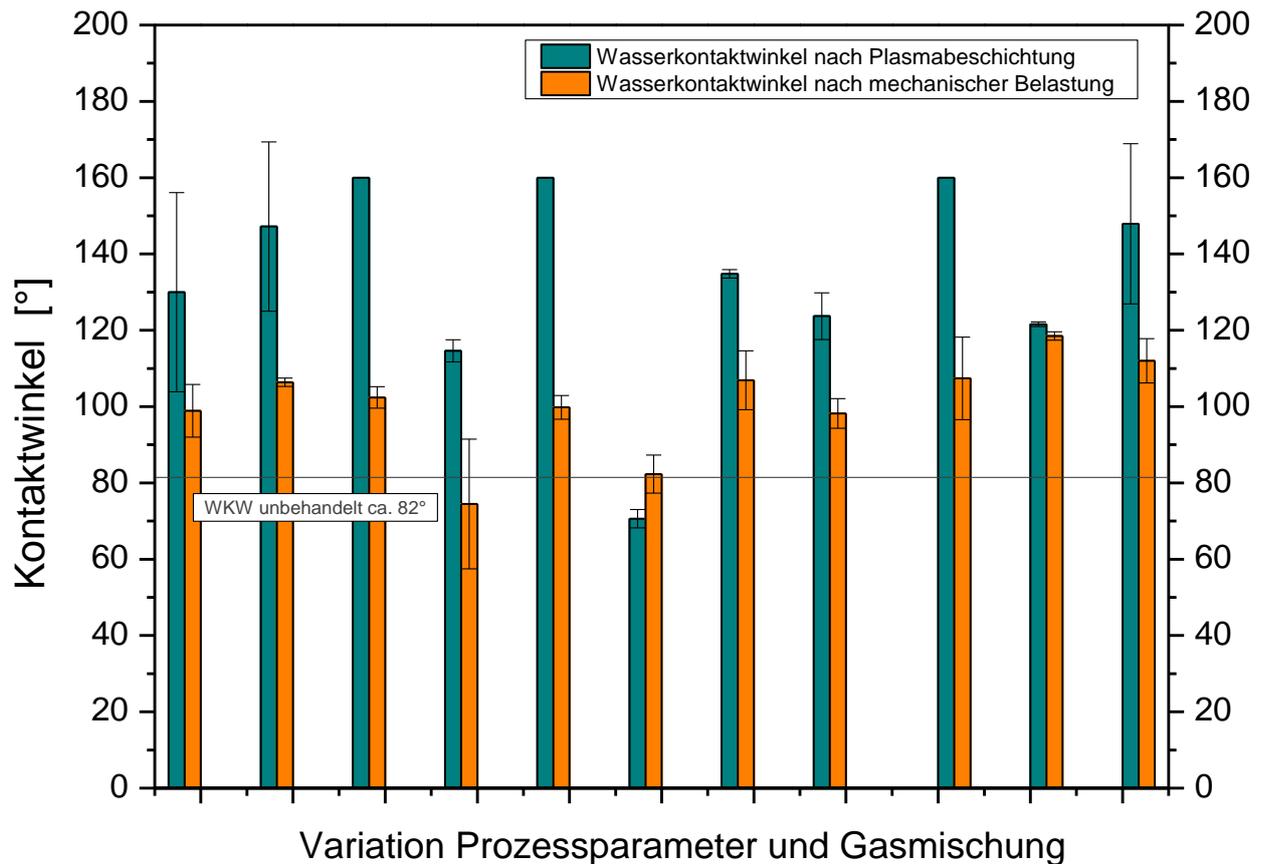
### 2.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

#### 2.1.1 Arbeitspaket 5.3.1 Erarbeitung Plasmaprozess Fluidik (antiadhäsiv)

In diesem Arbeitspaket bestand die Aufgabe, hydrophobe Oberflächen mit Ventulfunktion zu erarbeiten. Die Anwendung bestand in einer centifluidischen Y-Leitung, in der 2 Flüssigkeiten aus unterschiedlichen Richtungen nacheinander in den Abfluss geleitet werden sollen, jedoch musste verhindert werden, dass Flüssigkeit a in den Kanal von Flüssigkeit b gelang und anders herum. Der Ansatz war, die Flussrichtung der Flüssigkeiten durch gezielte Einstellung von hydrophilen und hydrophoben Oberflächeneigenschaften in eine bestimmte Richtung zu lenken bzw. Kanäle zu sperren.

Zur Erarbeitung von Beschichtungsprozessen zur Erzeugung hydrophober Oberflächeneigenschaften wurde in Absprache mit den Projektpartnern sowohl die Unterteile als auch die Ober-teile bestehender fluidischer Komponenten aus Polystyrol ausgewählt. Diese Prüfkörper bilden sowohl hinsichtlich des Materials als auch hinsichtlich der geometrischen Eigenschaften eine solide Basis für die Erarbeitung des Prozesses.

Der erste Schritt bestand in der Erzeugung von Oberflächenveredelungen mit einer ausreichend hohen Haftfestigkeit. In **Abb. 1** sind die Ergebnisse zur Kontaktwinkelmessung für unterschiedliche Prozessparameter, Gasgemischen und Schichtsystemen dargestellt.



**Abb. 1:** Darstellung der Wasserkontaktwinkel auf unterschiedlich veredelten Oberflächen.

Ein Wasserkontaktwinkel höher als  $160^\circ$  ist gleichbedeutend mit einem nicht absetzbarem Wassertropfen bzw. Superhydrophobität. Es zeigt sich, dass in Abhängigkeit von den Ausgangsparametern eine unterschiedliche Benetzbarkeit der Oberfläche einstellbar ist. Hierbei ist die Superhydrophobität immer eine Kombination aus Rauheit und chemischer Funktionalität der Oberfläche. Diese Kombination lässt sich jedoch nur mithilfe einer Beschichtung realisieren, wobei Beschichtungen wiederum höhere Ansprüche an das Substratmaterial und das Interface stellen. Dies wird auch nach der mechanischen Belastung der Beschichtungen mittels Tabertest deutlich. Während reine Funktionalisierungen auf vergleichsweise glatten Substraten keinen Superhydrophoben Effekt erzeugen können, sind sie in Bezug auf die mechanische Belastung resistenter. Beschichtungen hingegen haben eine geringere Belastungsresistenz.

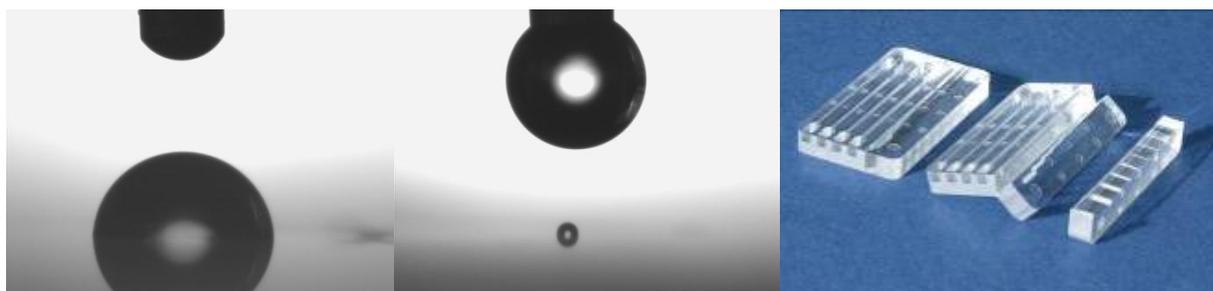
Um die Haftfestigkeit bzw. die mechanische Beständigkeit von Schichten noch weiter zu verbessern, wurde zusätzlich die Kombination von unterschiedlichen Schichtsystemen zu einem Multilagensystem untersucht. Als Test wurde die frisch veredelte Oberfläche mit einem Wischtuch gereinigt und im Anschluss die antiadhäsive Eigenschaft mittels Wasserkontaktwinkel gemessen. In der folgenden **Tabelle 1** sind die Ergebnisse dargestellt:

Anzahl der Schichten	Nach Beschichtung			Nach Wischtest		
	Polystyrol	Glas	Plexiglas	Polystyrol	Glas	Plexiglas
2	108,8°	160°	160°	110,9°	118,9°	106,2°
	160°	160°	160°	89,9°	118,8°	107,3°
4	160°	160°	128,1°	160°	160°	116,4°
	160°	160°	160°	160°	160°	89,7°
6	160°	160°	160°	109,8°	160°	114,7°
	160°	160°	160°	160°	160°	116,5°

**Tab. 1:** Darstellung der Wasserkontaktwinkel nach unterschiedlichen Prozessen auf Polystyrol, Glas und Plexiglas jeweils vor und nach dem Wischtest. 160° bedeutet, dass der Tropfen nicht absetzbar war (superhydrophob)

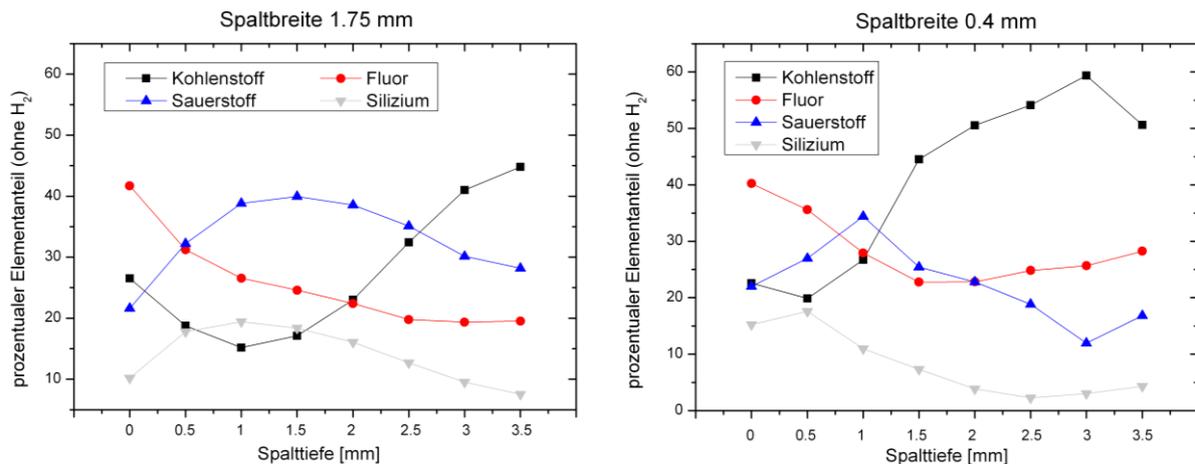
Es wird deutlich, dass mit zunehmender Anzahl an Lagen auch der antiadhäsive Effekt reproduzierbarer wird und gleichzeitig auch die Wischfestigkeit der Multilagen-Schicht zunimmt. Die Abscheidung des Multilagen-Systems auf Plexiglas führt im Vergleich zu den anderen Materialien Glas und Polystyrol nicht zum gewünschten Effekt. Der Wasserkontaktwinkel konnte zwar noch weiter erhöht werden, jedoch blieb der Tropfen stets absetzbar, weswegen kein superhydrophober Effekt vorliegt.

Bei der Abscheidung der Multilagen wurde streng darauf geachtet, dass sich die Gesamtzeit des Prozesses nicht ändert und entsprechend die Zeiten der einzelnen Abscheidungsprozesse verkürzt wurden. Die Versuche haben gezeigt, dass mittels Plasmaprozess eine homogene und ausreichend mechanisch stabile Oberflächenveredlung möglich ist. Die Oberfläche ist nach dem Prozess superhydrophob, so dass kein Wassertropfen mehr auf der Oberfläche abgesetzt werden kann (siehe **Abb. 2**)



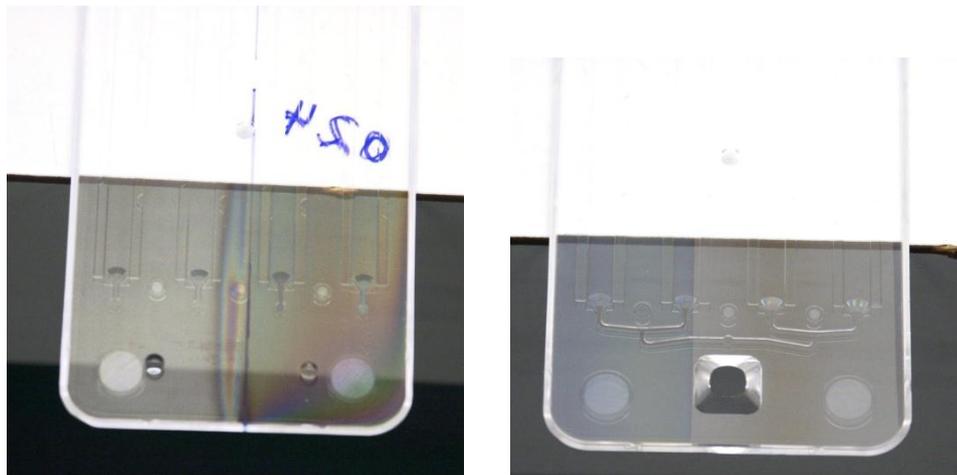
**Abb.1:** Bestimmung des Wasserkontaktwinkel der unbehandelten Probe ([links](#)) und der behandelten Probe ([mitte](#)). Auf der Behandelten Probe kann kein Wassertropfen mehr abgesetzt werden (superhydrophob). In der [rechten](#) Abbildung ist der vom INP entwickelte Testchip zur analyse der Spaltgängigkeit des Plasmas dargestellt.

Da diese Modifizierung vorrangig in den centifluidischen Kanälen des späteren point of care Demonstrators appliziert werden soll, wurde ein Nachweis für die Spaltgängigkeit des Plasmas geführt. Dazu wurde ein im INP-Greifswald entwickelter Testchip (siehe **Abb. 2 rechts**) bestehend aus unterschiedlich breiten Kavitäten verwendet. Dieser Chip lässt sich an einer vorgesehenen Stelle durchbrechen, so dass im Anschluss die Kavitäten mittels Oberflächendiagnostik (bspw. Röntgen-Photoelectron-Spectroscopy – XPS) analysiert werden können. Die Ergebnisse der Elementverteilung für unterschiedliche breite Kavitäten sind in **Abb. 3** dargestellt.



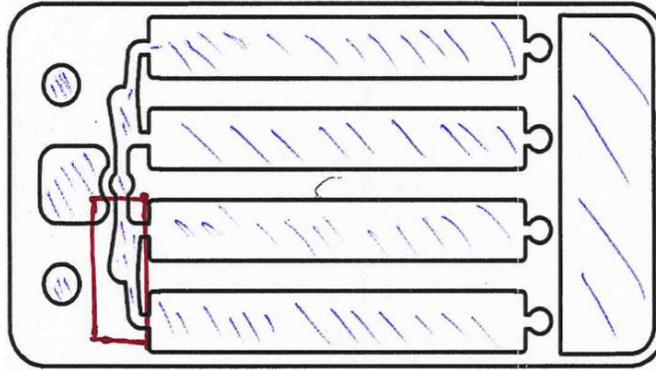
**Abb. 3:** Darstellung der Elementzusammensetzung entlang der Tiefe der Kavität für unterschiedliche Breiten der Kavität. Es wurden Teflon-artige Schichten verwendet. Der Fluor-Gehalt ist daher ein Maß für die zu erreichende Modifikationstiefe innerhalb solcher Kavitäten.

Es wird deutlich, dass das Plasma problemlos in einen 1.75 mm breiten Spalt bis zu einer Tiefe von 1.5 mm eine ausreichend dicke PTFE-Beschichtung aufbringen kann. Bei einem 0.4 mm breiten Spalt ist eine ausreichend dicke Modifizierung zumindest bis 0.5 mm Tiefe gewährleistet. Um nun die „Ventilfunktion“ modifizierter Kanäle des Testchips zu untersuchen, wurde das Strömungsverhalten einer Testlösung innerhalb der modifizierten Kanäle mit dem in unmodifizierten Kanälen verglichen. In Kooperation mit den Projektpartnern wurden Ideen erarbeitet, wie ein solcher Nachweis aussehen könnte. Eine Idee beruht auf der teilweise halbseitigen Modifizierung des vorhandenen Testchips, so dass das Strömungsverhalten direkt verglichen werden konnte. Die Herausforderung bestand nun darin, eine entsprechende Maske für den Plasmaprozess zu erarbeiten. Durch Testung verschiedener Methoden konnte ein entsprechendes Maskierungsverfahren etabliert werden (siehe **Abb. 4**).



**Abb. 4:** Unterschiedliche Maskierungsverfahren führen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Links: Die Maskierung war schlecht, keine scharfe Abgrenzung der Beschichtung. Rechts: sehr gutes Maskierungsverfahren.

Bei der anschließenden Laserverschweißung von Ober- und Unterteil hat sich jedoch herausgestellt, dass die Beschichtung den Verschweißprozess unmöglich macht. Trotz der hohen Temperaturen von weit über 100°C beim Aufschmelzen des Kunststoffes durch den Laser blieb die Funktion der Schicht vollständig erhalten. Als Resultat ließen sich Ober- und Unterteil der Proben nicht verschweißen. Dieser Effekt ließ sich nur vermeiden, indem lediglich ein sehr kleiner Bereich des POC-Allergietests mittel Plasma beschichtet wurde (siehe **Abb. 5**).



**Abb.5:** Oberteil des POC-Allergietests der Firma DST. Die hydrophobe Beschichtung wurde auf den rot eingerahmten Bereich begrenzt.

Durch die starke flächenmäßige Eingrenzung der Beschichtung war die Laser-Verschweißung der Ober- und Unterhälfte möglich. Leider haben die Untersuchungen hinsichtlich der Ventilfunktion nicht die erwarteten Ergebnisse geliefert. Die Rückhaltekraft zwischen unbehandeltem (ca. 90° Wasserkontaktwinkel) und beschichteten Bereich (über 160° Wasserkontaktwinkel) war zu gering im Vergleich zum Flüssigkeitsdruck. Details der Ergebnisse können aus dem Bericht des Projektpartners DST entnommen werden.

Der nächste Ansatz war daher die Kombination von hydrophoben mit hydrophilen Veredelungen. Um zu überprüfen, ob mit diesem Ansatz eine Ventilfunktion eingestellt werden kann, wurden seitens des Projektpartners verschiedene Mischkassetten entwickelt. Zweck der unterschiedlichen Designs war die Bestimmung des Einflusses von Kanalbreiten und -tiefen auf das Rückhaltevermögens. Im Rahmen des Projektes wurde eine Vielzahl der Mischkassetten mit unterschiedlichen Oberflächenveredelungen kombiniert. Es konnten auch Abhängigkeiten zur Kanalgeometrie festgestellt werden, jedoch konnte kein Parametersatz aus Geometrie und Veredelung gefunden werden, um ausreichend hohe Rückhaltekräfte zu generieren (siehe Bericht vom Projektpartner DST).

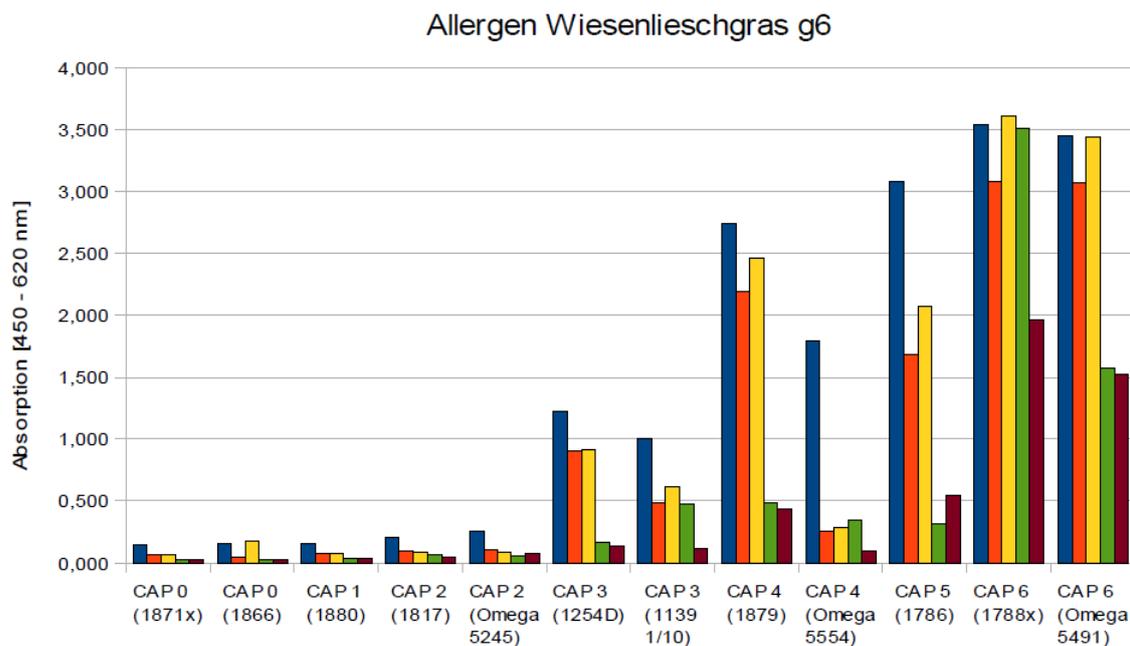
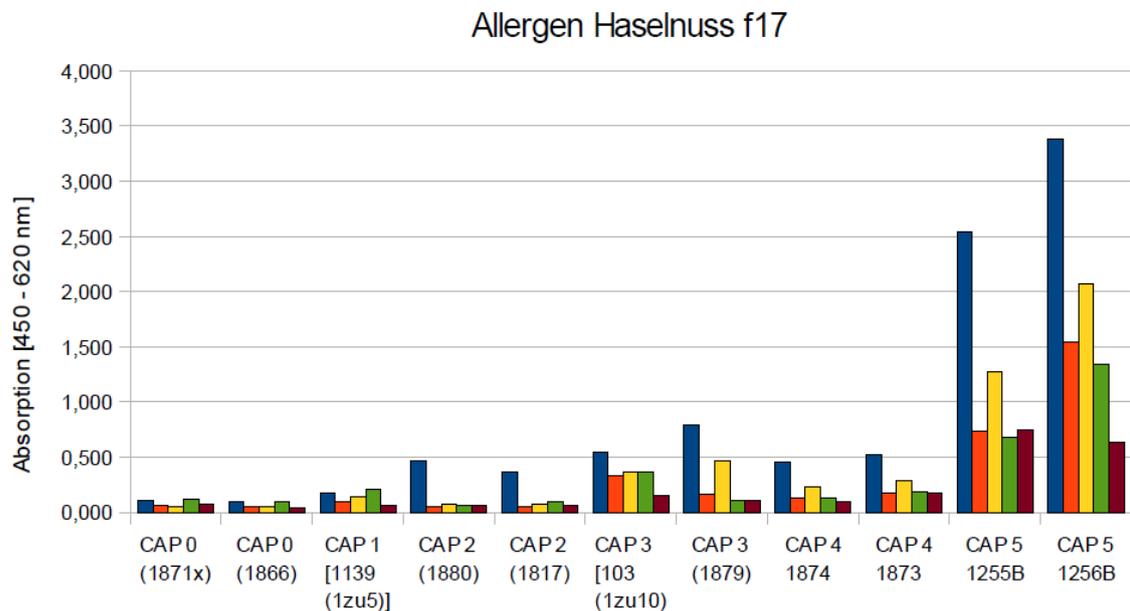
### 2.1.2 Arbeitspaket 5.3.2 Erarbeitung Plasmaprozess Point-of-care Testsystem (proteinadhärent)

Der Demonstrator des POC-Allergietests wird aus 3 Einzelmodulen zusammengesetzt sein. Die Arbeiten in diesem Arbeitspaket konzentrieren sich auf das Nachweismodul. In diesem Modul sind verschieden Allergene auf der Oberfläche fixiert. Bei der Wechselwirkung der Allergene mit der zu analysierenden Flüssigkeit (bspw. das Blut des Patienten) finden Farbreaktionen statt, welche dann Aussage über eine Allergie erlauben. Die ortsfeste Fixierung der Allergene (Immobilisierung) spielt dabei eine entscheidende Rolle. Primär soll gewährleistet werden, dass die Allergene fest gebunden sind und sich nicht mit der zu analysierenden Flüssigkeit vermischen. Als Resultat können Kreuzreaktionen in anderen Analytikfenstern auftreten, welche das Ergebnis des Tests negativ beeinflussen. Weiterhin ist der Herstellungsprozess der Allergene sehr aufwändig und teuer. Aus wirtschaftlicher Sicht ist es daher erstrebenswert, durch sparsamen Einsatz der Allergene die Gesamtkosten des POC-Demonstrators zu senken.

Zur Immobilisierung der Allergene stellen plasma-gestützte Oberflächenveredelungen eine preiswerte Alternative dar. Durch Wechselwirkung des Plasmas mit der Oberfläche werden spezielle funktionelle Gruppen kovalent an die Oberfläche gebunden. Diese Gruppen gehen wiederum in Bindung mit den Kopfgruppen der Allergene, idealerweise ebenfalls kovalent.

Die Aufgabe des INP-Greifswald bestand darin, geeignete funktionelle Gruppen auf der Oberfläche anzubinden. Im ersten Schritt wurden Amino-Funktionalisierungen sowie Sauerstoff-Funktionalisierung untersucht, da es aus der Literatur bekannt ist, dass NH<sub>2</sub> bzw. OH und

COOH Gruppen für die Immobilisierung vorteilhaft sind. In **Abb. 6** sind 2 Beispiele der Ergebnisse dargestellt.



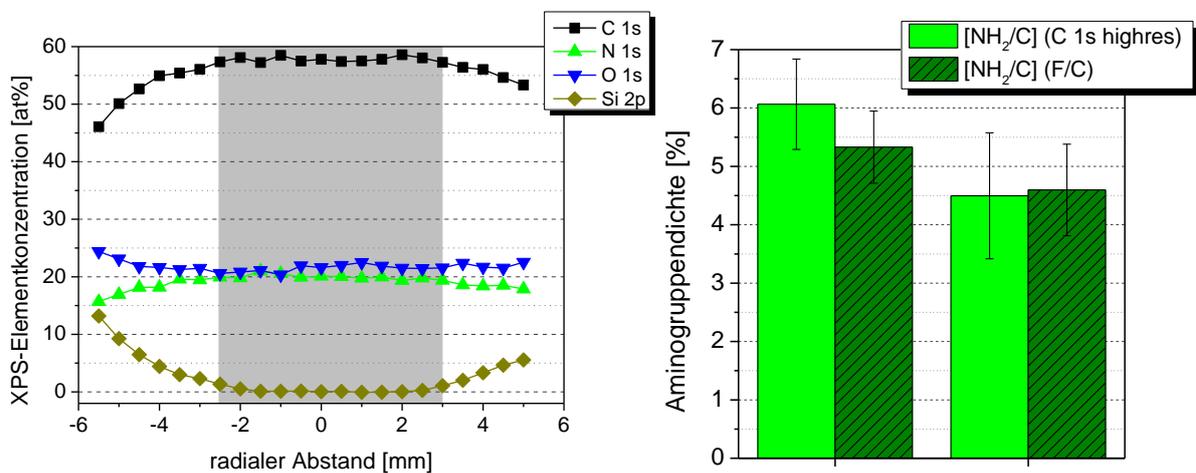
- „Goldstandard“
- Beschichtung mit Aminogruppen
- Amino-Funktionalisierung
- Sauerstoff-Funktionalisierung
- Unbehandelte well-plates

**Abb.6:** Darstellung der Absorption von sichtbarem Licht im Bereich von 450nm – 650nm für unterschiedliche Oberflächenveredelungen im Vergleich zum kommerziell erhältlichen „Goldstandard“. Die Absorption ist ein direktes Maß für die Anzahl an fest gebundenen Allergenen.

Braun dargestellt ist die Anzahl an fest gebundenen Allergenen auf der unbehandelten Oberfläche einer 96er Wellplatte, grün, gelb und orange entsprechend die Anzahl fest gebundener Allergene nach unterschiedlichen Plasmaveredelungen. Es wird deutlich, dass alle Oberflächen

nach der Plasmaveredelung eine erhöhte Anbindung von Allergenen aufweisen. Als besonders vielversprechend stellt sich die Amino-Funktionalisierung (gelb) heraus.

Ein weiteres Ergebnis dieser Experimente ist, dass die einzelnen Allergene teilweise eine sehr unterschiedlich chemische Zusammensetzung haben (entsprechend unterschiedliche Kopfgruppen) und damit auch unterschiedliche Affinitäten gegenüber den funktionellen Gruppen auf der Oberfläche besitzen. Dies wird besonders deutlich am Beispiel des Haselnuss- und des Wiesenlieschgras-Allergens. Während die Immobilisierung von Wiesenlieschgras sehr gut gelungen ist und teilweise sogar über dem Goldstandard liegt, zeigt die Immobilisierung von Haselnuss-Allergenen noch Potenzial nach oben. Es galt daher, weitere Prozesse zur Oberflächenveredelung zu erarbeiten. Dazu wurden für eine einfache Integration des Plasmaprozesses in bestehende Produktionsabläufe alternativ zu den Niederdruckprozessen auch Atmosphärendruck-Prozesse auf Eignung überprüft. Ein weiterer Vorteil von Atmosphärendruckquellen besteht darin, dass gezielt eine lokale Schichtabscheidung durchgeführt werden kann und somit der Einsatz von Maskierungen nicht von Nöten ist. In **Abb. 7a** ist die radiale Zusammensetzung der lokalen Schichtabscheidung dargestellt. Es wird deutlich, dass eine homogene Beschichtung über eine Kreisfläche mit 4mm Durchmesser möglich ist.



**Abb 7. a)** Elementare Zusammensetzung der Oberfläche nach Beschichtung unter Atmosphärendruck. **b)** Darstellung der Aminogruppendichte in Abhängigkeit von unterschiedlichen Prozessparametern.

Als messbares Kriterium für eine potenzielle Oberfläche zur Ankopplung von Allergenen wurden Aminogruppen (NH<sub>2</sub>-Gruppen) identifiziert. In **Abb. 7b** ist daher die Aminogruppendichte beispielhaft für 2 unterschiedliche Prozessparameter dargestellt. Es wird deutlich, dass eine sehr hohe Aminogruppendichte von bis zu 6% erreicht werden kann. Diese liegt erheblich über den mit Niederdruckquellen erreichten Werten. Es konnte somit gezeigt werden, dass Atmosphärendruckprozesse neben ihrem Vorteil bezüglich der einfachen Integration in bestehende Produktionsstrecken auch noch eine erhebliche Verbesserung in der Funktionalität gegenüber Niederdruckquellen haben.

Der Nachteil von Plasmajets ist die lokal stark begrenzte zu veredelnde Fläche von einigen mm. Es wurde daher im Berichtszeitraum eine alternative Quelle zur Erzeugung von Aminogruppen auf der Oberfläche von Kunststoffen untersucht. Im Detail ist dies eine dielektrisch behinderte Entladung, welche zwischen 2 flächigen Elektroden erzeugt wird. Der Vorteil an den flächigen Elektroden besteht in der einfachen und kostengünstigen Möglichkeit zum Upscaling. Aktuell gibt es solche Entladungen mit einer Breite von mehreren Metern, so dass viele Produkte nebeneinander veredelt werden können. Wird eine solche Entladungsform zusätzlich zur großen Breite in ein Förderbandsystem integriert, ist eine schnelle und vor allem wirtschaftliche Anwendung gewährleistet. In **Abb. 8** ist eine schematische Darstellung der Entladung dargestellt. Dieser Aufbau wurde extra für das Projekt reaktiviert und an die Problemstellungen angepasst.

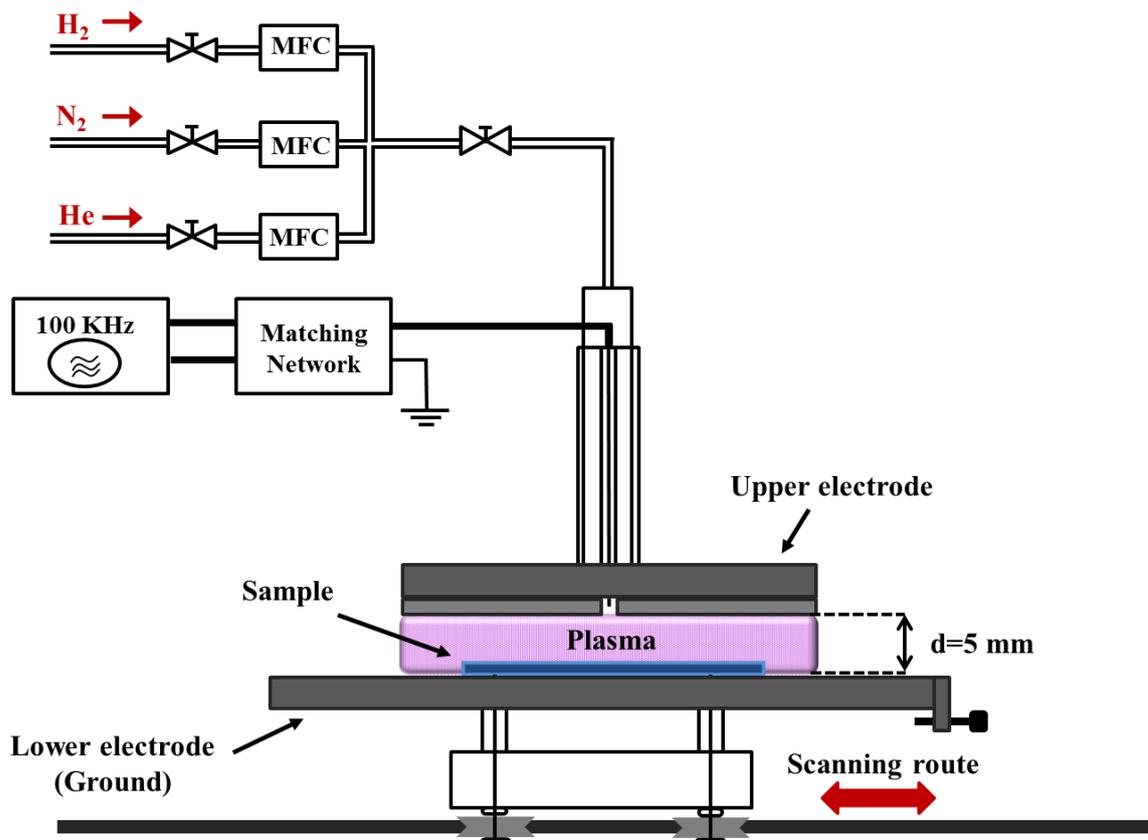


Abb. 7: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus.

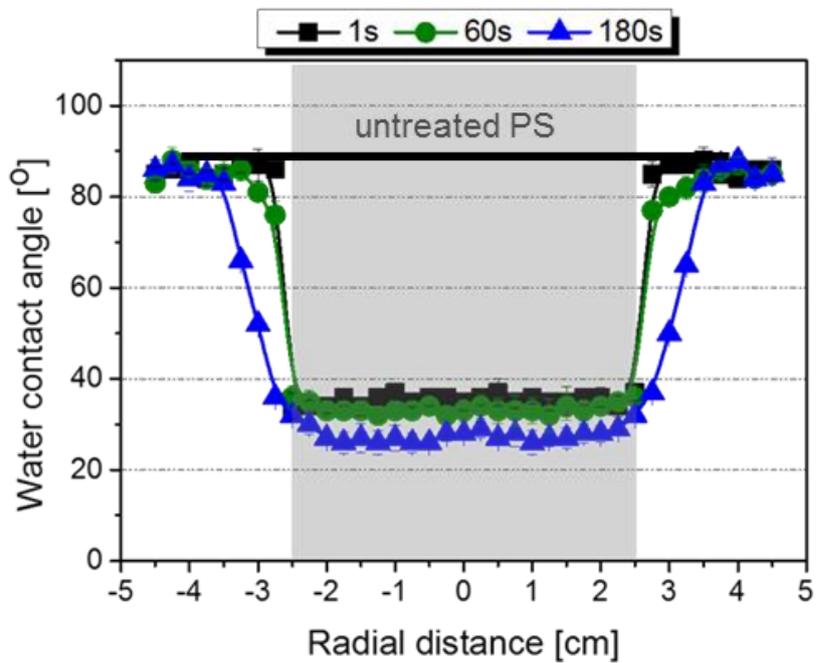
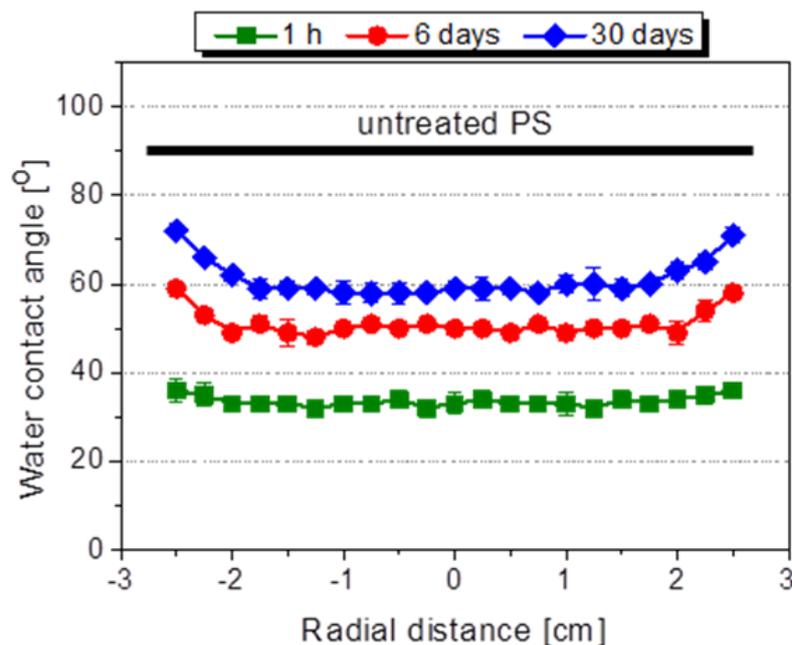


Abb. 8: Darstellung des Wasserkontaktwinkels über die Breite der Entladung nach unterschiedlichen Behandlungszeiten.

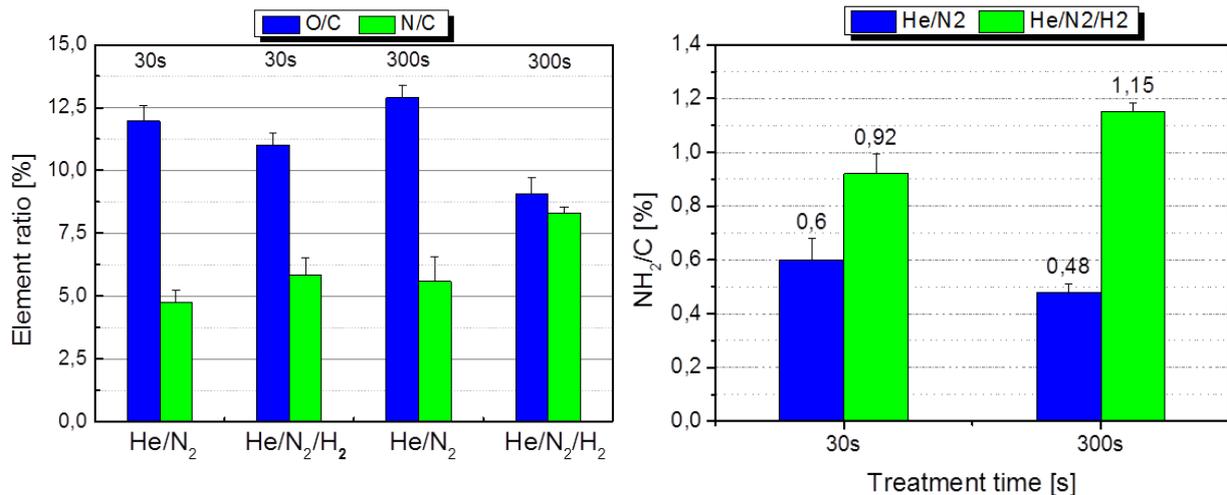
Um die Eignung dieser Entladung zur Veredelung von Polymeren zu untersuchen, wurde im ersten Schritt die durch die Entladung auf der Polymeroberfläche induzierte Temperatur gemessen. Dabei stellte sich heraus, dass in Abhängigkeit der Gasmischung teilweise bis zu 80°C erreicht wurden, was für viele Polymere schon zu hoch ist. Es wurden daher unterschiedliche Gase und deren Mischungsverhältnisse untersucht. Das Ziel der Veredelung war die Erzeugung von Aminogruppen (NH<sub>2</sub>) auf der Oberfläche, weswegen immer ein gewisser Anteil von Stickstoff und Wasserstoff im Gasmischungs benötigt wird. Als Trägergas wurde sowohl Argon als auch Helium untersucht. Da Helium eine bessere Wärmeleitung besitzt und sich im Vergleich zu Argon bei deutlich geringeren Spannungen die Entladung einstellt, wurden bei Helium eine Gastemperatur von 50°C und weniger erzielt. Die darauf folgenden Versuche wurden daher immer mit einer Mischung aus Helium, Stickstoff und Wasserstoff durchgeführt. Die Wirkung der Entladung auf die Polymeroberfläche in Abhängigkeit von der Behandlungszeit ist in **Abb. 8** dargestellt.

Es wird deutlich, dass schon nach 1s Behandlungsdauer der Wasserkontaktwinkel über eine Breite von mehreren cm deutlich absinkt. Eine weitere Verlängerung der Zeit wirkt sich nur noch unbedeutend aus. Es ist mit dieser Entladung also möglich, aufgrund der sehr kurzen Prozesszeiten, hoch wirtschaftliche Prozesse zu erarbeiten. Weiterhin wurde die Langzeitstabilität der Oberfläche vermessen (**Abb. 9**).



**Abb. 9:** Langzeitstabilität der veredelten Oberfläche.

Es zeigte sich, dass selbst nach 30 Tagen Lagerung an Luft noch eine Wirkung des Plasmas zu sehen ist. Die Dichte der gewünschten Amino-Gruppen wurde mittels Röntgen-Photoelektronen-Spektroskopie ermittelt. In **Abb. 10** sind die entsprechenden Ergebnisse dargestellt.



**Abb. 10:** links) Darstellung des O/C und N/C Verhältnisses für unterschiedliche Behandlungszeiten und Gasmischungen. Rechts) Darstellung der Aminogruppendichte für unterschiedliche Behandlungszeiten und Gasmischungen.

Aus den Messungen geht hervor, dass durch die Zumischung von Wasserstoff mehr stickstoffhaltige Gruppen auf der Oberfläche aufgebracht werden und die anschließende Oxidation an Luft verringert werden kann. Weiterhin zeigt sich, dass sich eine längere Behandlungszeit sowohl auf den Stickstoffanteil als auch auf die Aminogruppendichte positiv auswirkt.

Zusammenfassend konnten im Rahmen des Projektes unterschiedliche Prozesse zur Ausrüstung der Oberfläche mit Aminogruppen erarbeitet werden. Dazu zählen Prozesse im Niederdruck sowie im Atmosphärendruck, wobei sich letztere noch in Prozesse für lokale und flächige Oberflächenveredelung unterteilen.

## 2.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Im Rahmen des Projektes wurden primär Personalmittel abgerufen. Ein sehr geringer Teil der Projektmittel wurde für Verbrauchsmaterialien wie beispielsweise Prozessgase verwendet. Die Verwendung der Mittel geschah in Übereinkunft mit der Planung im Vorfeld des Projektes.

## 2.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, da sie (i) der im Projektantrag detailliert dargelegten Planung entsprachen und (ii) alle im Arbeitsplan formulierten Aufgaben bearbeitet wurden. Darüber hinaus mussten keine zusätzlichen Ressourcen zur Durchführung des Vorhabens aufgewandt werden.

## 2.4 Voraussichtlicher Nutzen

Im Vorliegenden Projekt wurden unterschiedliche Prozesse zur Veredelung von Oberflächen erarbeitet. Dazu zählen superhydrophobe Oberflächen sowie proteinadhärente Oberflächen. Es wurde dazu Prozesse im Niederdruck und Atmosphärendruck erarbeitet, wobei sich letztere noch in flächige und lokale Oberflächenveredelungen unterteilen. Die erarbeiteten Prozesse können grundsätzlich in vielen Bereichen eingesetzt werden, weswegen basierend auf diesen Ergebnissen neue Partner und somit auch neue Projekte eingeworben werden können. Diese Projekte können eine reine Machbarkeit des Transfers umfassen, weitere Grundlagenforschung zur Verbesserung der erzielten Oberflächeneigenschaften oder Projekte zur Anpassung der Ergebnisse an andere biomedizinische und technische Anforderungen.

## 2.5 Neue relevante F&E-Ergebnisse von dritter Seite für das Vorhaben

Relevante F&E Ergebnisse zur Erzeugung einer Ventilfunktion mittels hydrophiler und hydrophober Oberflächenveredelungen sind nicht bekannt.

Die Erzeugung proteinadhärenter Oberflächen ist in den letzten Jahren und auch aktuell ein stark bearbeitetes Thema. Es wird weltweit an unterschiedlichen Verfahren gearbeitet. Eine Übersicht relevanter Veröffentlichungen zu diesem Thema ist daher nicht vollständig abbildbar. Folgend daher nur die Darstellung eines kleinen Auszuges:

Hegemann et al., *Considering the degradation effects of amino-functional plasma polymer coatings for biomedical application*, Surface and Coatings Technology, Volume 255, 25 September **2014**, Pages 90–95.

Sarapiroma et al., *Effect of surface modification of poly(lactic acid) by low-pressure ammonia plasma on adsorption of human serum albumin*, Applied Surface Science, Volume 310, 15 August **2014**, Pages 42–50.

Wei et al., *Protein Interactions with Polymer Coatings and Biomaterials*, Angewandte Chemie International Edition, Volume 53, Issue 31, 28 July **2014**, pages 8004–8031.

## 2.6 Veröffentlichung der Ergebnisse

Martin Polak, Frank Hempel, Roland Ihrke, Uta Schnabel, Laila Al-Halabi-Frenzel, Marc Dangers, Nadja Einnolf, Dirk Forberger, Dennis Warncke, Eckhard Genrich, *Plasmagestützte Oberflächenveredelung von Komponenten für Centifluidische Bauteile*, 1. Öffentlicher Workshop Centifluidic Technologies, November **2012**.

Martin Polak, Frank Hempel, Birgit Finke, Uta Schnabel, Roland Ihrke, Clara Rehder, Klaus-Dieter Weltmann, *Plasmagestützte Oberflächenveredelung von Bauteilen für centifluidische Systeme*, 2. Öffentlicher Workshop Centifluidic Technologies, November **2013**.

Frank Hempel, Uta Schnabel, Roland Ihrke, Klaus-Dieter Weltmann, Martin Polak, *Plasmagestützte Oberflächenveredelung von Bauteilen für centifluidische Systeme*, 3. Öffentlicher Workshop Centifluidic Technologies November **2014**.

Martin Polak, *Plasmagestützte Oberflächenveredelung von Komponenten für centifluidische Systeme*, Seminarvortrag Universität Rostock, Juni **2014**.

Martin Polak, Birgit Finke, Katja Fricke, Maik Fröhlich, Frank Hempel, Roland Ihrke, Dagmar Jasinski, Urte Kellner, Monique Levien, Uwe Lindemann, Holger Testrich, Claudia Stancu, Antje Quade, Klaus-Dieter Weltmann, *Plasmaoberflächentechnik zur Erzeugung bioaktiver Oberflächen*, DPG Frühjahrstagung, März **2015**.

Martin Polak, *Enhancement of surface properties for biomedical applications - Research Programm „Bioactive Surfaces“*, Poster auf der Jahreskonferenz der deutschen Gesellschaft für Implantologie, November **2014**.

K. Fricke, A. Quade, L. Henningsen, M. Levien, K.-D. Weltmann, M. Polak, *Biofunctional surface finishing by the use of different plasma-jet-systems at atmospheric pressure*, COST Action Workshop, Januar **2014**.

Katja Fricke, Monique Levien, Klaus-Dieter Weltmann, Martin Polak, *PECVD von Funktionsschichten in Atmosphärendruckplasmen für Anwendungen in der Medizintechnik und Biotechnologie*, 17. Fachtagung für Plasmatechnologie (PT-17), Februar **2015**.

Katja Fricke, Monique Levien, Klaus-Dieter Weltmann, Martin Polak, *Development of Atmospheric Pressure Plasma Polymerized Nitrogen-rich (PPC:H:N) Thin Films*, 22nd International Symposium on Plasma Chemistry, Juli **2015**.

Katja Fricke, Monique Levien, Klaus-Dieter Weltmann, Martin Polak, *Erzeugung und Charakterisierung aminofunktionalisierter Polymerschichten mittels kaltaktiver Atmosphärendruckplasmen*, Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Biomaterialien, November **2014**.

Katja Fricke, *Generation of locally deposited Bioactive Thin Films using Atmospheric Pressure Plasma Jets*, 5th International Conference on Plasma Medicine (ICPM5), Mai **2014**.

## Anlage 1: Erfolgskontrollbericht

### 1. Ergebnisse zu den förderpolitischen Zielen

Die Ziele des Projektes lagen primär in der Weiterentwicklung der Technologieplattform zur Veredelung von Oberflächen. Dazu hat das INP einen wesentlichen Teil beigetragen, indem es das Prozessspektrum zur Erzeugung superhydrophober und proteinadhärenter Oberflächen deutlich erweitert hat. Es gibt nun mehrere Prozesse zur Einstellung dieser Oberflächeneigenschaften sowohl im Nieder- als auch im Atmosphärendruck für großflächige und auch für punktuelle Anwendungen.

### 2. wissenschaftlich-technische Ergebnisse des Vorhabens, erreichte Nebenergebnisse und wesentliche Erfahrungen

Im Rahmen des Projektes wurden mehrere Ergebnisse und Nebenergebnisse erarbeitet sowie eine Vielzahl von Erfahrungen gesammelt. Für die Oberflächenveredelung im Niederdruck wurden folgende Prozesse erarbeitet:

- superhydrophobe Beschichtung, welche selbst in feine Kanäle mit Abmessungen im sub-mm Bereich applizierbar ist
- proteinadhärente Beschichtung und Funktionalisierung, welche bei einigen Proteinen vergleichbare und teilweise auch bessere Immobilisierungsraten von Proteinen als mit dem Goldstandard ermöglichen

Für die Oberflächenveredelung im Atmosphärendruck wurden folgende Prozesse erarbeitet:

- lokale aminohaltige Beschichtung mit einer sehr hohen und bisher nicht erreichten Aminogruppendichte von 6%
- flächige aminohaltige Funktionalisierung innerhalb einer sehr kurzen Behandlungszeit von wenigen Sekunden

### 3. Verwertungsplan

Die Ergebnisse des Projektes werden auch weiterhin auf wiss. (inter)nationalen Konferenzen, Workshops und Messen präsentiert. Weiterhin werden Artikel in wiss. Journalen und Bücher geschrieben. Zusätzlich werden kontinuierliche neue Kooperationspartner für das Bündnis und weitere Projekte akquiriert.

### 4. Arbeiten ohne Lösung/Ergebnis

Die Erzeugung einer Ventulfunktion durch die Kombination von superhydrophilen und superhydrophoben Beschichtungen in Kanälen mit variierender Geometrie hat nicht in einer ausreichend hohen Rückhaltekraft für Flüssigkeiten resultiert.

### 5. Präsentationsmöglichkeiten für mögliche Nutzer

Die Ergebnisse wurden im Rahmen des Projektes auf Beispielobjekte bzw. exemplarische 3D-Prüfkörper übertragen, um spezielle Problemstellen bzw. Möglichkeiten zur Lösung dieser Probleme darzustellen. Bspw. existieren beschichtete Textilboxen und ein speziell für Messen erarbeiteter Schaukasten mit der Gegenüberstellung hydrophil und hydrophob. Diese Ausstellungsstücke werden bei Laborführungen, In-House-Tagungen/Meetings, Konferenzen und Messen ausgestellt, so dass mögliche Nutzer einen direkten Bezug zu den erarbeiteten Lösungen bekommen und so neue Projektideen entstehen. Darüber hinaus werden kontinuierlich neue Beispielobjekte für andere Anwendungen erstellt.

Weitere Präsentationsmöglichkeiten werden in Form von Fachartikeln in Journalen, Werbeartikeln in Zeitschriften und Vorträgen auf Konferenzen und Messen wahrgenommen.

## **6. Einhaltung der Ausgaben- und Zeitplanung**

Die in der Antragsphase aufgestellte Ausgaben- und Zeitplanung wurde eingehalten. Einige Arbeiten wurden sogar schon eher begonnen.

## Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel Wachstums-kern Centrifluidic Technologies Teilprojekt: Auswahl der Materialien, Beschichtung, Modifikation von Oberflächen	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Polak, Martin	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.12.2014
	6. Veröffentlichungsdatum
	7. Form der Publikation
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Leibniz-Institut für Plasmaforschung und Technologie e.V. Felix Hausdorff Str.2 17489 Greifswald	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 03WKCC5C
	11. Seitenzahl 20
12. Fördernde Institution (Name, Adresse)  Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 53170 Bonn	13. Literaturangaben 23
	14. Tabellen 1
	15. Abbildungen 10
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) PTJ	
18. Kurzfassung Das Ziel des Projektes war die plasma-gestützte Schichtabscheidung einerseits zur Erzeugung von superhydrophoben und superhydrophilen Oberflächeneigenschaften und andererseits um die Adhäsion von Proteinen zu verbessern. Um dieses Ziel zu erreichen, wurden Niederdruck- und Atmosphärendruckplasmen zum Einsatz gebracht. Bei den Atmosphärendruckplasmen wurde darüber hinaus Quellen zur lokalen und zur flächigen Oberflächenveredelung untersucht. Sowohl die Erzeugung der superhydrophilen und superhydrophoben Oberflächeneigenschaften als auch die verbesserte Anhaftung von Proteinen konnte im Projekt erfolgreich umgesetzt werden.	
19. Schlagwörter Plasma, Beschichtung, Funktionalisierung, hydrophil, hydrophob, Proteinankopplung	
20. Verlag	21. Preis