

## **Forschungs- und Entwicklungslabor des Spitzenclusters in Heidelberg**

**- Druckkompetenzzentrum, Ausbildungslabor, Wissenschaftliche Apparaturen -**

### **Beschreibung der Möglichkeiten**

#### **Hintergrund**

Das Forschungs- und Entwicklungslabor (F&E-Labor) des Spitzenclusters „Forum Organic Electronics“ am Standort der InnovationLab GmbH bietet den Clusterpartnern hervorragende Möglichkeiten sowohl für die Beantwortung von wissenschaftlichen Fragestellungen, als auch für die Umsetzung von Produktideen. Neben dem „Druckkompetenzzentrum“ und einem Ausbildungslabor für den neu zu gründenden Joint-Masterstudiengang „Organische Elektronik“, stehen den Clusterpartnern am Standort auch ein Cluster-Tool im „Kompetenzzentrum Analytik“, das „Kompetenzzentrum Simulation“ und das „Kompetenzzentrum Synthese“ zur Verfügung. Am Standort wird somit die gesamte Wertschöpfungskette für die gedruckte organische Elektronik vom Moleküldesign über die Analytik bis zum Massenfertigungsverfahren abgebildet.

#### **1. Ziele**

##### **Druckkompetenzzentrum**

Mit dem Druckkompetenzzentrum (DKZ) ist eine F&E-Plattform geschaffen worden, auf der die Partner des Spitzenclusters „Forum Organic Electronics“ gemeinsam gezielt an den Materialien, der Fertigungstechnik und den Bauteile für die gedruckte organische Elektronik arbeiten können.

Ziel dieser Entwicklung ist es, Massenfertigungsverfahren für die „Organische Elektronik“ technisch möglich und marktreif zu machen.

Das DKZ bietet die Gelegenheit für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zentral an einem Ort und somit für extrem kurze Iterationsschritte, die für einen schnellen Erfolg dieser Technologie unerlässlich sind.

Dabei ist nicht vorgesehen Massenfertigung im DKZ durchzuführen, sondern in einem mehrstufigen Entwicklungsprozess die Machbarkeit einer Massenfertigung aufzuzeigen. Durch diesen mehrstufigen Prozess soll eine effiziente Skalierung ermöglicht werden. Optimierte Regelkreise sollen dabei die Vorwärts- und Rückwärtsintegration gewährleisten.

##### **Nachwuchsförderung**

Durch die geplante Schaffung des neuen Masterstudiengangs „Organische Elektronik“ an den Universitäten Heidelberg und Karlsruhe wird eine Ausbildungsstruktur ermöglicht, die in erheblichem Maße zur Bereitstellung von Fach- und Führungskräften auf dem Gebiet der „Organischen Elektronik“ beiträgt.

Für die Nachwuchsförderung ist im F&E-Labor ein Ausbildungslabor für die Durchführung von Praktikumsversuchen im neuen Masterstudiengang „Organische Elektronik“ aufgebaut. Ebenso steht das Labor für Promovierende der beteiligten Universitäten zur Verfügung.

## Cluster-Tool

Das Cluster-Tool besteht aus einer Ultrahochvakuumanlage, in der Schichtsysteme mit aufgedampften organischen Lagen ohne problematische Vakuumunterbrechungen und kritische Probentransfers studiert werden können. Das Tool stellt Aufdampfkomponenten und Analytikmethoden (Photoelektronenspektroskopie, Rastersondenmethoden, Infrarotspektroskopie u.a.) ohne Vakuumunterbrechung für die Proben bereit.

Die geplanten Studien sollen helfen, mittels aussagestarker Analytik an hochgradig definierten Proben, grundlegende physikalisch-technische Fragestellungen der „Organischen Elektronik“ zu lösen. Durch die Kooperation verschiedener spezialisierter Arbeitsgruppen vor Ort erfolgt ein unmittelbarer und damit effizienter wissenschaftlicher Austausch, so dass sich mit dem Cluster-Tool ein Kompetenzzentrum für die Analytik organischer Funktionschichten entwickeln wird.

## 2. Möglichkeiten

Im F&E-Labor wird dem Wunsch der beteiligten Partner Rechnung getragen, gemeinsam unter einem Dach interdisziplinär an Forschungs- und Entwicklungs-Projekten der „Organischen Elektronik“ zu arbeiten. Prinzipiell werden im F&E-Labor die Materialien und Prozesse für die Herstellung (vorzugsweise Drucken) von Bauteilen der organischen Elektronik erforscht bzw. entwickelt (Grundlagenentwicklung). Bei den Bauteilen handelt es sich z.B. um „Organische Licht Emittierende Dioden“ (OLED), Bauelemente der „Organischen Photovoltaik“ (OPV), „Organische Schaltungen und Speicher“ (OSS) und Bauteile für „Organische Sensoranwendungen“ (OSA).

Das in Abb. 1 dargestellte Reinraum-Layout umfasst folgende Bereiche:

- Druckkompetenzzentrum: Bereich Drucken Stufe 1&2 sowie Drucken Stufe 3
- Kompetenzzentrum Analyse: Labor für die UHV-Apparatur des Cluster-Tools
- Gelbraum für Photolithographie
- Ausbildungslabor für den zu gründenden Joint-Masterstudiengang „Organische Elektronik“
- Bereich für Vakuumdeposition und Verkapselung
- Labor für Analytik und Charakterisierung
- Erweiterungsfläche von ca. 140 m<sup>2</sup>

Im DKZ ist es zum einen mit Hilfe von einfachen Benetzungstestgeräten (printing proofer) und kleinen Probedruckmaschinen (IGT F1, Dimatix,...) möglich, Quadratcentimeter große Proben zu beschichten/zu bedrucken, zum anderen wird eine Rolle-zu-Rolle-Druckmaschine als produktionsorientierter Versuchsträger vorhanden sein. Sowohl bei den kleinformatigen Versuchsmaschinen (Drucken Stufe 1&2) als auch in der Rolle-zu-Rolle-Testplattform (Drucken Stufe 3) werden die bekannten Druckverfahren Siebdruck, Tiefdruck, Offset, Flexo und Ink-Jet verfügbar sein. Des Weiteren ist es unser Ziel, die für die Herstellung von Bauteilen der Organischen Elektronik geringen Schichtdicken mit neu zu entwickelnden Prozessschritten zu erzeugen (Beschichtungs-/Druckverfahren). Ebenso werden die für die Materialien notwendigen Trocknungs- bzw. Härteverfahren für alle Substratformate zur Verfügung stehen.

Im gesamten Reinraum ist eine Reinraumklasse von 100.000, im Gelbraum die Reinraumklasse 100 gewährleistet. Aufgrund der äußerst sensitiven Prozesse, die im Gelbraum abgebildet werden sollen (Photolithographie) ist eine höhere Reinheit in diesem Bereich essentiell.

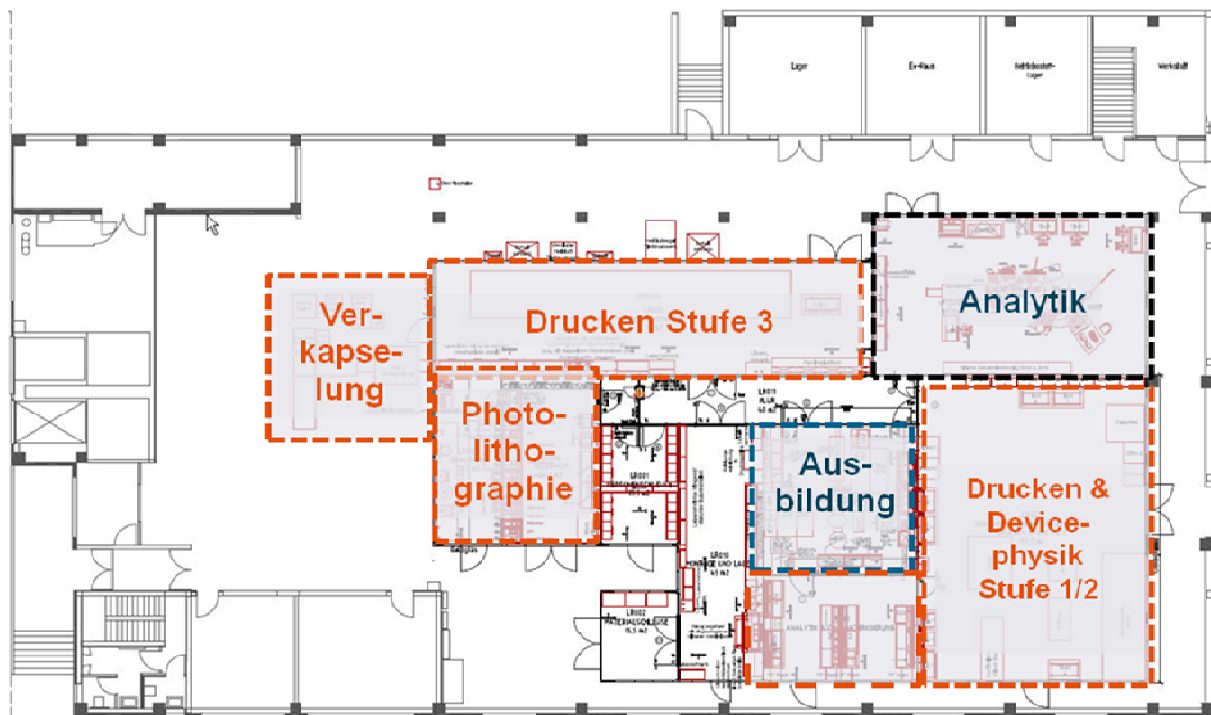


Abbildung 1: Skizze des Reinraumlayouts

## Druckkompetenzzentrum: Drucken Stufe 1&2

Aufgrund der unterschiedlichen Größen der eingesetzten Druckmaschinen und der zu beschichtenden Substrate wird das DKZ in die Stufen 1-3 unterteilt. Zusätzlich zu den unterschiedlichen Zielen und Anforderungen der einzelnen Druckstufen kommt es auch zu einer räumlichen Trennung, da das Equipment für die Stufen 1+2 und die Druckmaschine für Stufe 3 in unterschiedlichen Räumen untergebracht sind (Abb. 1).

### Definition Drucken Stufe 1

**proof-of-concept**, Substratgröße < 50x50 mm<sup>2</sup>, Materialverbrauch < 10ml

Wichtig zur Evaluierung neuer Materialien und Konzepte; Fenster zu akademischen Partnern (Material, neue Konzepte, Analytik); erster Schritt in einem funnel-down Prozess; Referenz- und Kontrollstruktur; keine laterale Strukturierung

=> *im Vordergrund steht hier die Evaluierung neuer Materialien und Konzepte und ein materialschonender Selektionsprozess sowie Referenz bzw. Kontrollstrukturen. Für diesen Zweck werden unter anderem Verdruckbarkeitstester, Flexo- und Tiefdruck-Probendruckmaschine und Inkjet (Dimatix) Drucker eingesetzt.*

### Definition Drucken Stufe 2

**rapid prototype**, Substratgröße bis 6 Zoll, Materialverbrauch < 100ml

Integrative Substratgröße zentral platziert zwischen Stufe 1 und Stufe 3; erlaubt Vorwärts- als auch Rückwärtsintegration; lateral strukturierte Schichten; d.h. Schaltungs- und Bauteilentwicklung; Bauteil- und Prototyp-Fabrikation; zweiter Schritt im funnel-down Prozess; selektives (einzelne Schichte(n)) oder vollständiges Drucken

=> im Vordergrund steht hier die Herstellung kompletter, funktionierender Bauteile (OTFT, OLED, OPV und Sensoren bzw. Kombinationen derer) und die Verknüpfung und Optimierung von Substrat, Material, Formulierung, Aufbau, Schaltungsdesign etc. mit dem Druckprozess. Funktionale Schichten können hier spezifisch für den Druckprozess (Stufe 3) optimiert werden, da weitere Schichten mittels klassischen Standardverfahren hergestellt werden können. Die dadurch mögliche Separierung der diversen Problemfelder hat sich außerordentlich bewährt.

Sämtliche Druckverfahren der ersten Stufe werden hier in größerer Ausführung abgebildet sein und durch weitere alternative Beschichtungsverfahren (z.B. Aerosol Jet) ergänzt werden.

## **Druckkompetenzzentrum: Drucken Stufe 3**

### **Definition Drucken Stufe 3**

**mass-production**, Substratgröße > DIN A4, Materialverbrauch > 1000ml

Produkt- und applikationsorientierte Druckverfahren; Schwerpunkt Rolle-zu-Rolle oder kontinuierlicher Prozess in produktionsstypischen Druckgeschwindigkeiten; Kernelement („Gravitationszentrum“) des Druckkompetenzzentrums

=> im Vordergrund steht hier das Drucken kompletter Bauteile (OTFT, OLED, OPV und Sensoren bzw. Kombinationen derer) unter Massenproduktionsbedingungen.

Herzstück des Labors *Drucken Stufe 3* ist eine Rollendruckmaschine (Bahnbreite ca. 30 cm). Die Maschine zeichnet sich aufgrund ihrer Bauweise mit einseitig gelagerten Zylindern durch ihre Flexibilität im Bezug auf verschiedene Druck- und Trocknungsverfahren sowie durch schnelle Umrüstzeiten aus. Gerade die schnellen Umrüstzeiten und die damit verbundene Flexibilität machen diese Maschine zu einer optimalen Testplattform für industrielle Anwendungen. Die einzigartige Kombination von verschiedenen Druck- und Trocknungsverfahren auf einer solchen Maschine ist ein deutliches Alleinstellungsmerkmal dieser Testplattform.

## **Ausbildungslabor**

Beim Ausbildungslabor handelt es sich um ein Labor zur Ausbildung von Studierenden des geplanten Joint-Masterstudiengangs „Organische Elektronik“ sowie zur Nachwuchsförderung von Promovierenden, die im Rahmen des Spitzenclusters tätig sind. Die Benutzung des Labors durch Studierende wird im Rahmen von Praktika und Laborversuchen stattfinden, zu einem späteren Zeitpunkt sollen außerdem Masterarbeiten unter Anleitung von Promovierenden durchgeführt werden. Hinzu kommt die Verwendung als universelles Labor für die Durchführung von Experimenten durch Promovierende.

Die Herstellung organischer Bauelemente gliedert sich in mehrere Schritte, die für Studierende für Praktika im Ausbildungslabor, angrenzenden Gelbraum, Drucken Stufe 1+2 und Charakterisierung abgebildet werden. Für die Durchführung von Masterarbeiten und für die Tätigkeit der Promovierenden ist auch der Zugang zu anderen Räumen möglich.

## **Cluster-Tool**

Das Cluster-Tool ermöglicht die Erforschung der bauteilrelevanten Eigenschaften von organischen Halbleitern. Dazu sollen zunächst Methoden zur Analyse der elektronischen Struktur, Methoden zur Analyse der morphologischen Struktur und Methoden zur Analyse

der chemischen Struktur und Phononenstruktur kombiniert werden. Die dabei verwendeten Analyseverfahren werden in ein UHV-Gesamtsystem integriert.

Mit Hilfe des Cluster-Tools (siehe Abbildung 2) können Proben über ein Transfersystem in die verschiedenen Analyseeinrichtungen eingebracht werden, so dass ein Höchstmaß an Probenvergleichbarkeit erzielt wird. Um reproduzierbare und durch Verunreinigungen über den erforderlichen Messzeitraum unverfälschte Aussagen zu erhalten, wird das Gesamtsystem auf einen Basisdruck von  $< 10^{-10}$  mbar evakuiert.

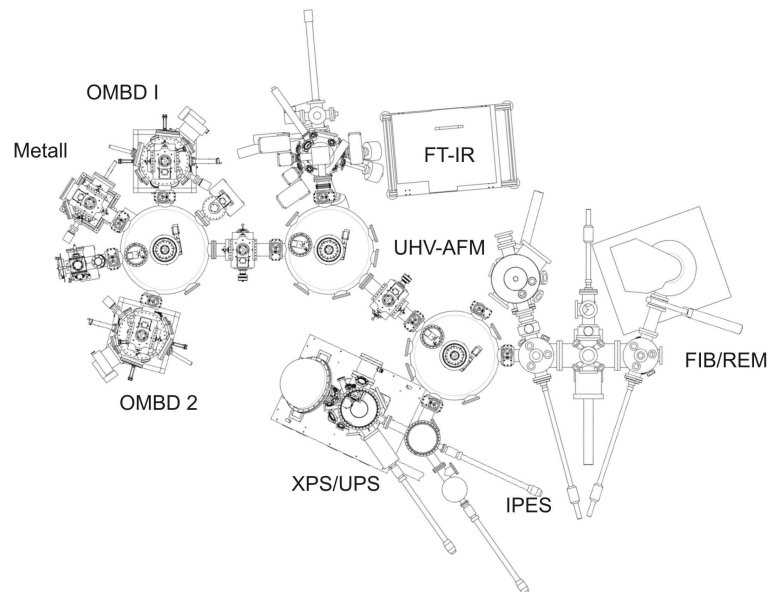


Abbildung 2: Skizze des Cluster-Tools

Für nasschemisch zu präparierende Grenzflächen wird eine Glovebox eingesetzt, um intrinsische Schichten unter Schutzgas aus Lösung zu deponieren. Um bauteilrelevante Schichtsysteme abscheiden zu können, ist die Integration von unterschiedlichen Depositionskammern mit jeweils spezifischen Materialien erforderlich. Es sind zunächst vier Aufdampfkammern (drei für organische Materialien in Kombination mit Metalloxiden und eine für Metalle) vorgesehen, die über ein automatisiertes Handlersystem miteinander verbunden werden.

Die Analytik wird in drei separaten UHV-Kammern aufgebaut, die ebenfalls über ein automatisiertes Handlersystem miteinander verbunden werden:

- Die Analytik mittels elektronenspektroskopischer Methoden (Photoelektronenspektroskopie (XPS, UPS) und inverser Photoemission (IPES)) erlaubt die Analyse der chemischen Zusammensetzung und der elektronischen Struktur sowie der Grenzflächenpotentiale von Schichten und Grenzflächen mit hoher vertikaler Auflösung.
- Die Analytik mittels Schwingungsspektroskopie (Infrarot (IR) Spektroskopie, später ggf. auch hochauflösende Elektronenenergieverlustspektroskopie (HREELS)) an organischen Schichten soll die Entwicklung stabiler Materialien und Grenzflächen in Schichtsystemen mit organischen Halbleitern unterstützen.
- Die orts aufgelöste Kelvin-Probe (KP) Methode erlaubt die Abbildung der Austrittsarbeit einer Probenoberfläche.

## Vakuumdeposition und Verkapselung

Die thermische Abscheidung der Metallkontakte für die fertigen Bauteile kann an zwei verschiedenen Anlagen geschehen. In beiden Fällen werden die Proben über ein inertes Gloveboxsystem in die eigentliche Aufdampfkammer eingeschleust. Neben der Möglichkeit, die Metallisierungsvorrichtung des Ausbildungslabors (Substratgrößen von 1“ und 2“) zu verwenden, steht für größere Substrate (Substratgröße > 6“ x 6“) eine weitere Metallisierungskammer vor dem eigentlichen Reinraum zur Verfügung.

- Die Proben können entweder direkt von außen oder über eine Verbindungsschleuse zu Drucken 3 auch direkt aus dem Reinraum in das Gloveboxsystem eingebracht werden.
- Der Aufdampfkammer sind zwei Gloveboxen vorgeschaltet, in denen die Probenvorbereitung und der Verkapselungsprozess nach der Metallisierung unter Inertgasbedingungen durchgeführt werden können.
- Das Beladungssystem der Anlage ist für eine maximale Probengröße von 12“x12“ ausgelegt
- Über ein Vorvakuumssystem werden die Substrate der Aufdampfkammer zugeführt, d.h. die Aufdampfkammer verbleibt unter Hochvakuum.
- Jedes gewünschte Elektrodenlayout kann durch entsprechende Schattenmasken auf das Substrat übertragen werden.
- Es stehen fünf thermische Aufdampfquellen und ein Elektronenstrahlverdampfer zur Verfügung.
- Der Aufdampfprozess ist vollständig automatisiert.
- Ein Verkapselungsroboter für den Schutz von sensiblen Bauteile gegenüber Wasser und Sauerstoff befindet sich innerhalb der Glovebox.