# Inhaltsverzeichnis

**1 Einleitung** **1**
1.1 Organische Elektrolumineszenz: Eine kurze Historie . . . . . 1
1.2 Motivation und Zielsetzung . . . . . 3
1.3 Gliederung der Arbeit . . . . . 4

**2 Grundlagen** **6**
2.1 Ladungstransport in organischen Halbleitern . . . . . 6
2.1.1 Struktur und elektronische Eigenschaften . . . . . 6
2.1.2 Molekülberechnungen: Vergleich zwischen Modell und Experiment . . 9
2.1.3 Stromtransport in ungeordneten Schichten . . . . . 11
2.1.4 Elektrisch dotierte Transportfilme . . . . . 13
2.2 Methoden zur Bestimmung der Ladungsträgerbeweglichkeit . . . . . 14
2.2.1 Raumladungsbegrenzte Strom-Spannungs-Messungen . . . . . 15
2.2.2 Admittanzspektroskopie . . . . . 19
2.2.3 DI-SCLC - Methode . . . . . 25
2.3 Lumineszenz in organischen Halbleitern . . . . . 27
2.3.1 Das Franck-Condon-Prinzip . . . . . 28
2.3.2 Mono- und bimolekularer Energietransfer . . . . . 29

**3 Bauelementtechnologie und Messtechnik** **33**
3.1 Bauteilpräparation . . . . . 33
3.2 Messtechnik . . . . . 38

**4 Mobilitätsmessungen an organischen Dünnschichten** **43**
4.1 ITO als Lochinjektionskontakt . . . . . 43
4.2 PEDOT:PSS als Lochinjektionskontakt . . . . . 47
4.3 Lochinjektion über $WO_3$ und $MoO_3$ . . . . . 51
4.3.1 Voruntersuchungen . . . . . 52
4.3.2 Nachweis des ohmschen Kontakts für CBP und TCTA . . . . . 54
4.3.3 Ladungstransporteigenschaften von EB3 . . . . . 60

4.4 Elektroneninjektion über $Cs_2CO_3$ . . . 63
4.4.1 Elektronenbeweglichkeit von TPBi . . . 65
4.4.2 Injektionsbegrenzter Strom in MA15 . . . 67
4.5 Zusammenfassung . . . 69

**5 Phosphoreszentes Tiefblau 72**
5.1 Der Carbenemitter Ir(cn-pmbic)$_3$ . . . 72
5.1.1 Identifikation des Degradationsmechanismus . . . 73
5.1.2 Substitution von $SO_2$MCP und MA2 . . . 77
5.2 Optimierung der Lebensdauer durch EB3 . . . 80
5.2.1 Hole- und electron-only Bauteile . . . 80
5.2.2 Lebensdauer und Bauteileffizienz . . . 84
5.2.3 Farbkoordinaten . . . 86
5.3 Die p-Dotierung . . . 88
5.4 Lokalisierung der Emissionszone bei Verwendung von SiCz . . . 90
5.5 SiCz-Derivate als alternative Matrixmaterialien . . . 98
5.5.1 Beweglichkeiten . . . 98
5.5.2 Stabilität gegenüber Ladungsträgern . . . 100
5.5.3 Bauteilleistung . . . 101
5.6 Lokalisierung der Emissionszone bei Verwendung von MA15 . . . 105
5.7 Verbreiterung der Emissionszone und „Mixed Host“ Konzept . . . 107
5.8 Entlastung von Ir(dpbic)$_3$ gegenüber Elektronen . . . 110
5.9 Zusammenfassung . . . 113

**6 Zusammenfassung und Ausblick 115**

**Anhang**

**A Namen und Strukturformeln ausgesuchter Moleküle 119**

**B Programmcode zur Simulation der Admittanz 122**

**Literaturverzeichnis 126**

# 1 Einleitung

## 1.1 Organische Elektrolumineszenz: Eine kurze Historie

Organische Materialien zeichnen sich durch zwei faszinierende Eigenschaften aus: Sie emittieren nach einer geeigneten Anregung Licht in effizienter Weise und können Ladungsträger entlang des Molekülverbunds transportieren. Aufgrund des geringen Überlapps der Moleküle fällt die Beweglichkeit mit $\mu < 10$ cm$^2$/Vs jedoch deutlich geringer aus als in anorganischen Verbindungen [1]. Aus diesem Grund wurde sich zu Beginn auf molekular geordnete Kristallstrukturen konzentriert, da diese die besten Transporteigenschaften besitzen. Der erste Nachweis der Elektrolumineszenz wurde 1965 von Helfrich *et al.* am Beispiel von 1 bis 5 mm dicken Anthracenkristallen erbracht [50]. Allerdings lag die angelegte Spannung bei über 100 V, was den praktischen Nutzen dieses Phänomens noch erheblich einschränkte. Im Jahre 1987 gelang Tang und van Slyke ein entscheidender Durchbruch, indem sie das Problem der hohen Betriebsspannung durch die Abscheidung dünner amorpher Schichten im Bereich von $\sim$ 100 nm lösten [3]. Darüber hinaus konnten sie die erste organische niedermolekulare *Heterostruktur* realisieren, die aus einer Löcher transportierenden Diaminstruktur und dem Elektronen transportierenden und gleichzeitig lumineszierenden Material $Alq_3$ (Tris(8-hydroxyquinolinato)aluminium) bestand. Sie bot den Vorteil, die Elektron/Loch-Rekombination von den Injektionskontakten zur organischen Grenzfläche zu verlagern und damit die Quanteneffizienz auf zum damaligen Zeitpunkt beachtliche 1 % zu steigern bei gleichzeitigen Betriebsspannungen unter 10 V. Eine weitere Steigerung auf 2 % gelang ihnen zwei Jahre später durch den Einsatz eines Gast-Wirt-Systems, bestehend aus einer ladungstransportierenden Matrix und einem effizienten fluoreszenten Emitterfarbstoff [4]. Die zugrunde liegende Bauteilarchitektur hat im Wesentlichen bis heute Bestand. Sie ist in Bild 1.1 dargestellt, erweitert um eine Elektronentransportschicht (engl.: Electron Transport Layer, ETL). Ein lichtauskoppelnder Kontakt wird durch das transparente, leitfähige Oxid ITO (engl.: Indium Tin Oxide) hergestellt, das Löcher in das HOMO (engl.: Highest Occupied Molecular Orbital) der Lochtransportschicht (engl.: Hole Transport Layer, HTL) injiziert. Analog dazu werden die Elektronen über einen Kontakt mit niedriger Austrittsarbeit (Li, Mg, Ca, Cs) in das LUMO (engl.: Lowest Unoccupied Molecular Orbital) der ETL injiziert. Die hohe Reaktionsfreudigkeit von Substanzen mit niedriger Austrittsar-