

HOCHSCHULE PFORZHEIM 

Institut für angewandte Forschung

Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach  
B. Eng. Andreas Hudak

Tiefenbronner Straße 65  
D – 75175 Pforzheim

*Abschlussbericht*  
*Januar 2007 –*  
*Dezember 2009*

**„KABTEC/AEROLED“**

Laufzeit des Projekts von 2007 bis 2009  
Förderkennzeichen: 20K0604N  
Registernummer: 331

Juni 2010

*Karlheinz Blankenbach*

---

Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach

## Inhalt

1	Formalangaben.....	4
	Thema des Vorhabens .....	4
	Kooperationspartner .....	4
	Weitere Projektpartner .....	4
	Laufzeit des Vorhabens.....	4
	Berichtszeitraum .....	4
2	Arbeitspakete und deren Umsetzung .....	5
	AP P1: Projektfeinkonzeption, Recherchen, Versuchsplanung.....	6
	2.1.1 Erstellen eines detaillierten Projektplans .....	6
	2.1.2 Literatur- und Internetrecherchen bzgl. OLEDs, Ansteuerung etc.....	7
	2.1.3 Abstimmen der Lebensdauer-Versuche mit den Projektpartnern.....	7
	AP P2: Anpassung Lebensdauerermessplatz für OLEDs .....	8
	2.1.4 Konstruktion und Realisierung einer Halterung für OLED Muster .....	8
	2.1.5 Elektronische Ansteuerung und Verkabelung.....	8
	2.1.6 Software für die Erfassung und Auswertung der OLED-Lebensdauer- messungen <sup>10</sup> .....	10
	AP P3: Grundlegende Lebensdauerermessungen .....	11
	2.1.7 Grundlegende Untersuchungen an OLED-Modulen.....	11
	2.1.8 Lebensdaueruntersuchungen in Abhängigkeit der Temperatur.....	12
	2.1.9 Lebensdaueruntersuchungen in Abhängigkeit der Ansteuersignale (DC, Dreieck, PWM, Sinus) .....	13
	2.1.10 Lebensdaueruntersuchungen in Abhängigkeit der Leuchtdichte.....	16
	2.1.11 Untersuchungen zum Farbort von OLEDs.....	17
	AP P4: Lebensdauermodellierung.....	18
	2.1.12 Theoretische Lebensdauererweiterung .....	18
	2.1.13 Erweiterte Auswertung der Lebensdauerermessungen .....	19
	2.1.14 Extraktion von Modell-Parametern .....	21
	2.1.15 Software-Programmierung inkl. Visualisierung einer Simulation der OLED- Alterung in Abhängigkeit von Betriebsparametern .....	22
	2.1.16 Untersuchung zum Burn-In bei OLED hinterleuchteten Symbolen.....	24
	AP P5: Elektronik-Entwicklung .....	25
	2.1.17 Konzeption, Schaltungssimulation und Testplatinen-Erstellung.....	25
	2.1.18 Hard- und Software für Mikrocontroller .....	25
	2.1.19 Endstufen-Treiber für OLED Ansteuerung.....	29
	2.1.20 Auswahl und Test der optischen Sensoren (Empfindlichkeit, spektrale Eigenschaften).....	32
	AP P6: Elektronik-Zusammenführung inkl. Mikrocontroller .....	34
	2.1.21 Aufbau des Prototyps .....	34
	AP P7: Messung und Optimierung Ansteuerung und Sensorik.....	36
	2.1.22 Anpassungen am Lichtsensor .....	36
	2.1.23 Software und Algorithmen-Verifikation .....	37
	2.1.24 Genauigkeitsuntersuchungen .....	39
	AP P8: Systemoptimierung (Lebensdauer, Elektronik, HW & SW) .....	41
	2.1.25 Verwendung der Lichtsensoren an einem I2C-Multiplexer .....	41
	2.1.26 Miniaturisierung der Stromquelle .....	42
	2.1.27 Anpassen der Elektronik auf Einbauerfordernisse.....	42
	2.1.28 Black-Panel-Oberfläche.....	45
	45 Diese Methode wurde zum Patent angemeldet und mehrfach veröffentlicht und präsentiert. 45	
	AP P9: Projektbegleitende Lebensdaueruntersuchungen.....	46
	2.1.29 Messungen an OLED-Modulen unterschiedlicher Technologien.....	46



---

2.1.30	Weitere externe Einflüsse auf OLED-Hinterleuchtungen.....	47
2.1.31	Lebensdaueruntersuchung beim Betrieb mit konstanter Leuchtdichte mittels optischen Feedbacks.....	49
2.1.32	Lebensdaueruntersuchung mit zusätzlicher Spannungsmessung.....	51
2.1.33	Redundanzuntersuchungen.....	54
AP P10:	Meetings, Dokumentation, Querschnittsaktionen.....	55
2.1.34	Treffen mit Projekt- und Verbundpartnern .....	55
2.1.35	Erstellen von Zwischen- und Endberichten .....	55
2.1.36	Präsentation und Publikation der Projektergebnisse .....	56
3	Stand des Vorhabens .....	59
4	Projektziele .....	59
5	Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte .....	59
6	Projekt- und Meilensteinplan .....	60
7	Abbildungsverzeichnis .....	61
8	Tabellenverzeichnis .....	63
9	Literaturverzeichnis.....	64

## 1 Formalangaben

### Thema des Vorhabens

OLED - Hinterleuchtungstechnik für Anzeige- und Bediengeräte in der Luftfahrt  
Akronym: KABTEC/ AEROLED

### Kooperationspartner

Fa. Comtronic GmbH (Koordinator)  
In den Kreuzwiesen 26  
69250 Schönau

Fa. Opsira GmbH  
Leibnizstr. 20  
88250 Weingarten

### Weitere Projektpartner

TU Braunschweig, Braunschweig  
Merck KGaA, Mainz  
FhG-IAP, Golm  
Fa. Feo Elektronik GmbH, Ravensburg  
Fa. Adom GmbH, Berlin

### Laufzeit des Vorhabens

01.01.2007- 31.12.2009

### Berichtszeitraum

Januar 2007 bis Dezember 2009

## 2 Arbeitspakete und deren Umsetzung

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die von der Hochschule Pforzheim bearbeiteten Arbeitspakete.

Tabelle 1: Übersicht über die von der HS Pforzheim bearbeiteten Arbeitspakete

AP-Nr.	Beschreibung / Inhalte
AP P1	Projektfeinkonzeption, Recherchen, Versuchsplanung
AP P2	Anpassung Lebensdauer-messplatz für OLEDs
AP P3	Grundlegende Lebensdauer-Messungen
AP P4	Lebensdauer-Modellierung
AP P5	Elektronik-Entwicklung (Ansteuerung, Sensorik)
AP P6	Elektronik-Zusammenführung inkl. Mikrocontroller
AP P7	Messungen und Optimierungen Ansteuerung und Sensorik
AP P8	Systemoptimierungen (Lebensdauer, Elektronik, HW & SW, ...)
AP P9	Projektbegleitende Lebensdaueruntersuchungen
AP P10	Meetings, Dokumentation, Querschnittsakt. (Publikationen / Kongresse)



## AP P1: Projektfeinkonzeption, Recherchen, Versuchsplanung

Durchführungszeitraum: Quartal 1 2007

### 2.1.1 Erstellen eines detaillierten Projektplans

Die Projektplanung wurde anlehnend an den in Abbildung 1 dargestellten Netzplan durchgeführt. Insbesondere wurden zu Beginn des Projektes die Funktionalitäten der einzelnen Muster (Integrations-Muster, Erster Prototyp und Luftfahrtnahes Funktionsmuster) definiert.

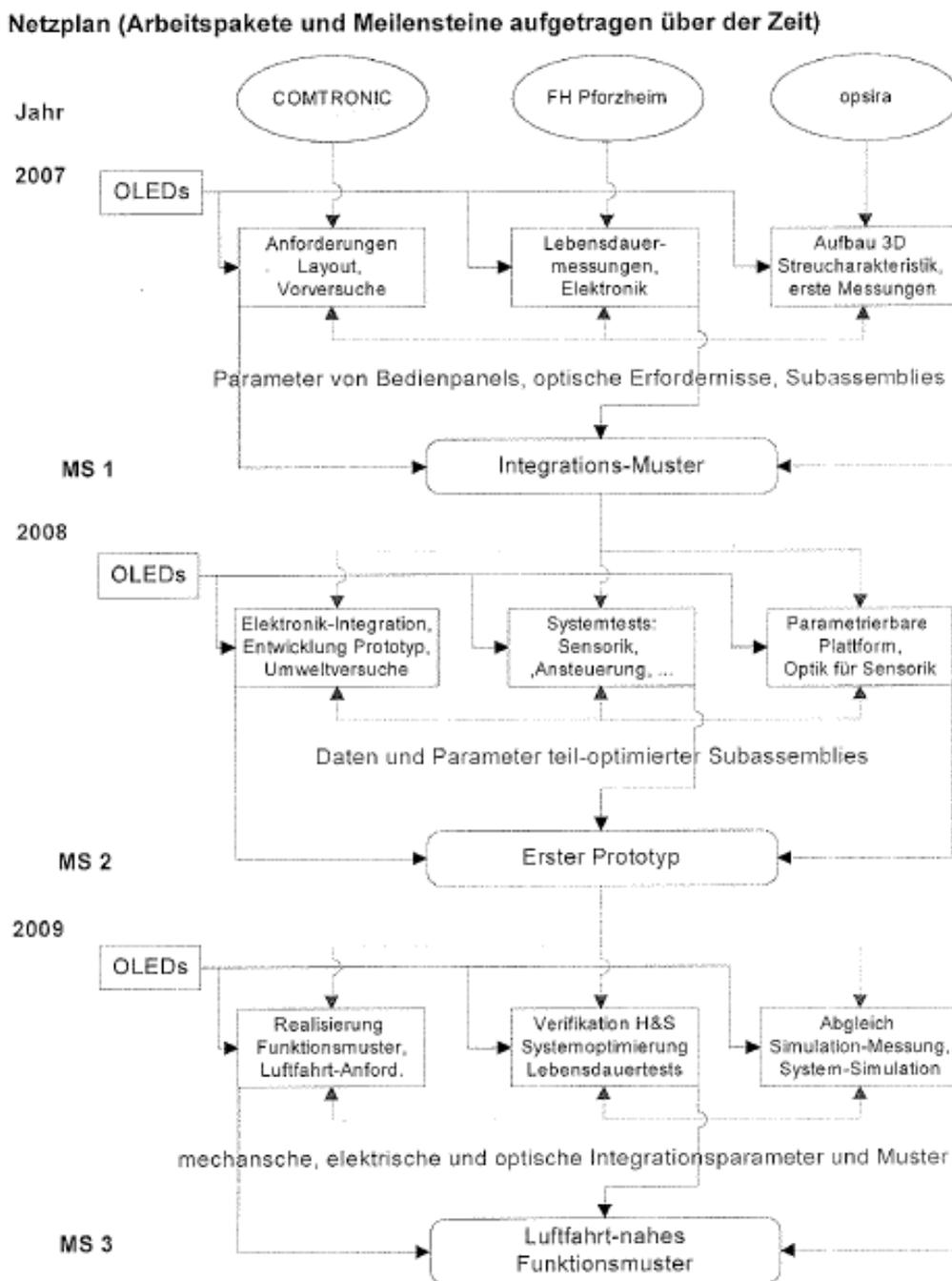


Abbildung 1: Netzplan für das KABTEC/AEROLED Projekt

### **2.1.2 Literatur- und Internetrecherchen bzgl. OLEDs, Ansteuerung etc.**

Ausführliche Recherchen zum Thema OLED, OLED-Ansteuerung und OLED-Lebensdauer wurden durchgeführt. Bei der Recherche wurden insbesondere folgende Quellen verwendet:

- SID (Society for Information Display), [www.sid.org](http://www.sid.org)
- OLED Info Web Site, [www.oled-info.com](http://www.oled-info.com)
- Fachliteratur der nationalen Hochschulbibliothek
- Diverse nationale und internationale Tagungen zum Thema OLED
- Gespräche mit den Partnern: MERCK, TU Braunschweig, FhG-IAP Golm

Die Recherche ergab, dass es eine Vielzahl an Publikationen zum Thema OLED gibt. Nachfolgend sind daher nur die besonders wichtigen Quellen angegeben.

- 1, Antti Lääperi et al: *OLED Lifetime Issues in Mobile Phone Industry*, SID07 Digest ISSN/007-0966X/07/3802, page 1183-1187
- 2, Kian Min Soh et al: *Electrical and Optical Characterization of PM OLED Displays*, Euro-Display 2005, page 393-396
- 3, Paul Weindorf, *Automotive OLED Life Prediction Method*, Visteon Corporation, Vehicle Display Conference, 2005
- 4, David Antonio-Torres, *Modelling of a Compensation Scheme for OLED Degradation*, SID04 DIGEST, ISSN/0004-0966X/04/3502, page 1124-1127
- 5, Han-Ho Choi et al: *Enhanced Lifetime and Efficiency of Organic Light Emitting Diodes*, IMID/IDMC '06 DIGEST, pages 1803-1804
- 6, Hajime Nakamura, *OLED Device Simulation with an Outcoupling Model Integrated with Electron and Exciton Processes*, EuroDisplay 2005, page 18-21
- 7, Ronald S. Cok et al: *OLED Aging Characteristics for Digital Still Camera Applications*, IMID/IDMC '06 DIGEST, page 583-587
- 8, D. Berner: *Insights into OLED Functioning through Numerical Simulation Modeling*, SID04 DIGEST
- 9, A. Giraldo et al: *Optical Feedback in Active Matrix Polymer OLED Displays*, SID-ME 2004

Aus den Recherchen wurden die hausinternen Lebensdaueruntersuchungen abgeleitet.

### **2.1.3 Abstimmen der Lebensdauer-Versuche mit den Projektpartnern**

Die Abstimmung mit den Projektpartnern hinsichtlich der Lebensdaueruntersuchungen ergab folgende Untersuchungsschwerpunkte:

- Lebensdaueruntersuchungen für unterschiedliche Ansteuerverfahren (PWM, DC, SINUS, DREIECK)
- Lebensdaueruntersuchungen für unterschiedliche Temperaturen (25°C, 50°C, 75°C)
- Lebensdaueruntersuchungen bei unterschiedlichen Anfangsleuchtdichten
- Lebensdaueruntersuchungen bei konstanter Leuchtdichte



## AP P2: Anpassung Lebensdaueremessplatz für OLEDs

Durchführungszeitraum: Quartal 1 und 2 2007

### 2.1.4 Konstruktion und Realisierung einer Halterung für OLED Muster

Die Halterung der OLED Muster für die Lebensdaueruntersuchungen wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. Comtronic entwickelt und ermöglicht die Kontaktierung der OLED-Pixel über Federstifte. Eine Steckverbindung an der Rückseite des Halters (siehe Abbildung 2) verbindet die OLEDs mit der entsprechenden Ansteuerelektronik.

Der Halter ist entsprechend für hohe Temperaturen ausgelegt und kann für Lebensdaueruntersuchungen im Temperaturbereich von  $-40^{\circ}\text{C}$  bis  $+125^{\circ}\text{C}$  verwendet werden.

Über verschiedene Aufsätze lassen sich flexibel neue OLED-Geometrien halten und kontaktieren.

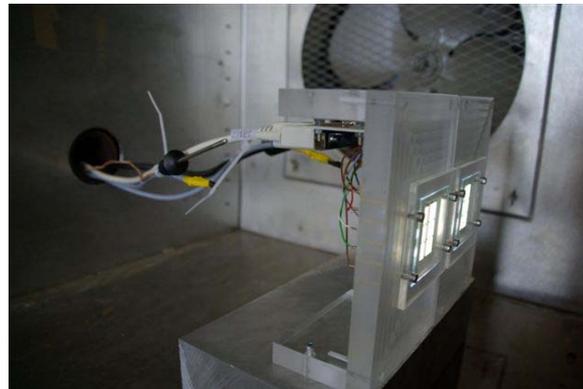


Abbildung 2: OLED Halterungsmodul im Klimaschrank während des ersten Lebensdauertests, 2007

### 2.1.5 Elektronische Ansteuerung und Verkabelung

Zur Ansteuerung der OLEDs während der Lebensdaueruntersuchungen wurde eine spezielle Ansteuerungselektronik entwickelt. Diese Ansteuerungselektronik kann ein moduliertes Stromsignal erzeugen, wobei sowohl die Amplitude als auch die Signalform über einen Mikrocontroller einstellbar sind.

Hauptmerkmale der Ansteuerungselektronik für die Lebensdaueruntersuchungen:

- 6 Stromtreiber mit max. 100mA
- Parametrisierbarer Ausgangsstrom (8-bit)
- High-Side Stromtreiberfunktionalität (Stromquelle benötigt keine Rückführung)
- Spannungsmessung für jeden Kanal
- Modulationstypen: DC, Sinus, Dreieck, Rampen, PWM

Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt den Schaltplan einer der insgesamt 6 Stromtreiberstufen. Über das Signal (in der Abbildung SIGNAL\_F) kann der Ausgangsstrom entsprechend einer vorgegebenen Spannung moduliert werden. Die Spannung wird über Look-Up Tabellen mit einem DA-Wandler im Mikroprozessor erzeugt.

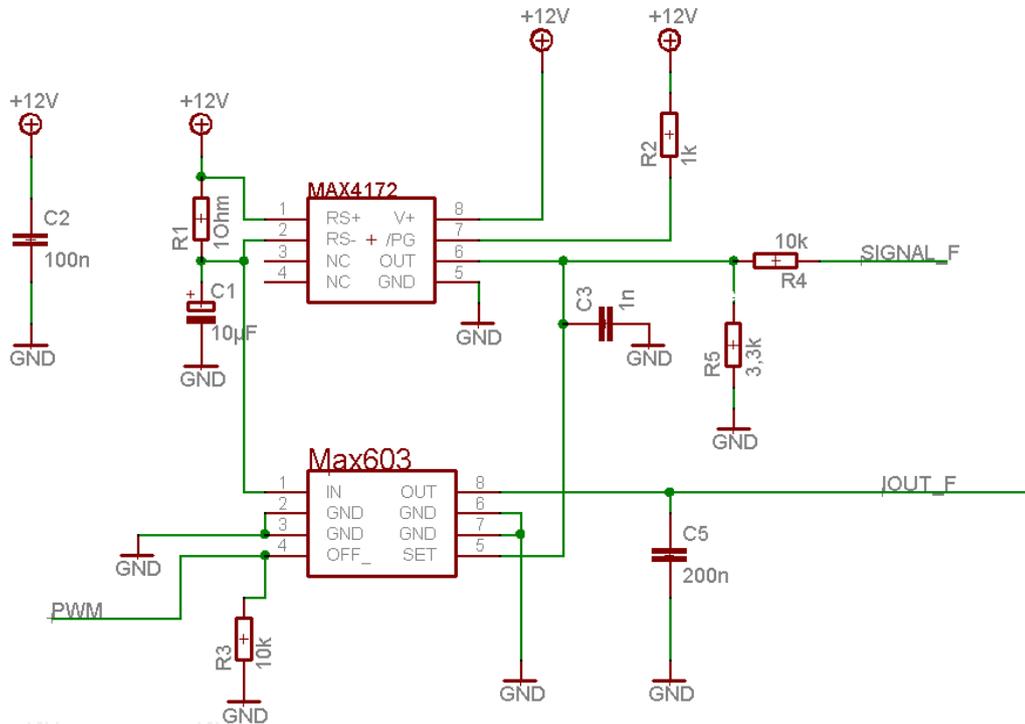


Abbildung 3: Schaltplan einer Transkonduktanzstufe für die OLED Lebensdaueransteuerung

Die Abbildung 4 zeigt die entwickelte Hardware. Diese verfügt zusätzlich über eine Serielle Kommunikationsverbindung zu einem Steuer- und Überwachungs-PC. Über diese Kommunikationsschnittstelle können die Ansteuerparameter während einer Lebensdaueruntersuchung mitgeloggt oder verändert werden. Die Anpassung der Ansteuerparameter ist insbesondere bei der Lebensdaueruntersuchung mit konstanter Leuchtdichte entscheidend, da bei dieser Variante der OLED Ansteuerstrom regelmäßig erhöht werden muss.

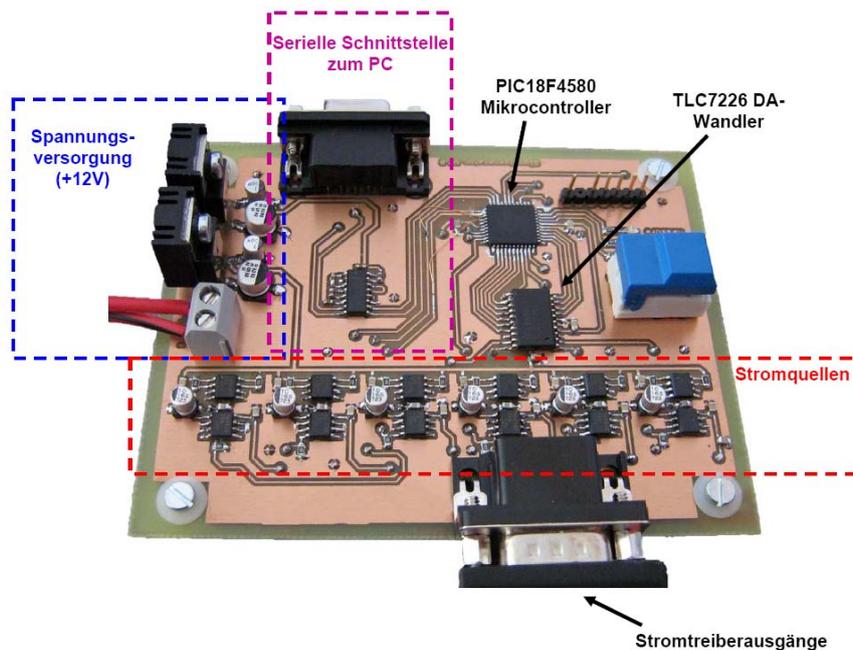


Abbildung 4: Ansteuerelektronik für die Lebensdaueruntersuchungen



## 2.1.6 Software für die Erfassung und Auswertung der OLED-Lebensdauer-messungen

Zur Überwachung und zur Datenerfassung der Lebensdaueruntersuchungen wurde folgendes Softwarekonzept erarbeitet:

- Aufzeichnung der Messwerte mittels selbsterstellter Software in Visual Basic
- Auswertung der Untersuchungen mittels Matlab und Excel

Zur Aufzeichnung der Messwerte wurden mehrere Programme mit Visual Basic erstellt (z.B. Abbildung 5). Die Programme erfassen die Messwerte der einzelnen Messgeräte und speichern diese mit einem gemeinsamen Zeitstempel in Textdateien ab.



Abbildung 5: Beispiel eines Programms zur automatischen Messwerte-Erfassung



## AP P3: Grundlegende Lebensdauerermessungen

Durchführungszeitraum: 2007, 2008

Die grundlegenden Lebensdaueruntersuchungen wurden sowohl an Small Molecule OLEDs als auch an Polymer OLEDs durchgeführt.

### 2.1.7 Grundlegende Untersuchungen an OLED-Modulen

Zur Charakterisierung der OLED-Module wurden grundlegende Zusammenhänge messtechnisch erfasst. Insbesondere der Zusammenhang zwischen Strom und Leuchtdichte (siehe Abbildung 6) und der Zusammenhang zwischen Spannung und Leuchtdichte (siehe Abbildung 7) sind entscheidend für die Dimensionierung der Ansteuerung. Es ergeben sich typische OLED-Kennlinien, wie sie auch in der Literatur zu finden sind.

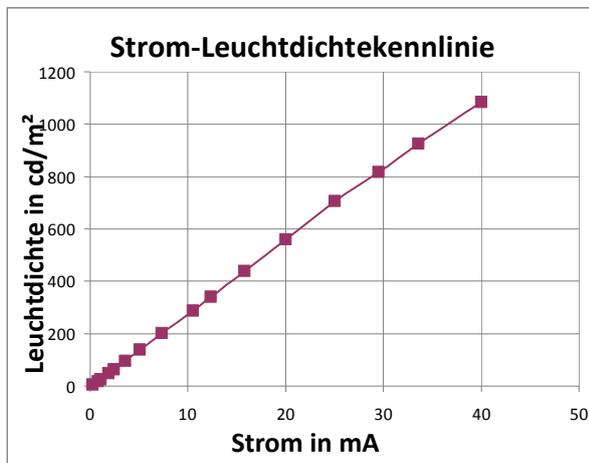


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Strom und Leuchtdichte(vgl. [1], S. 85)

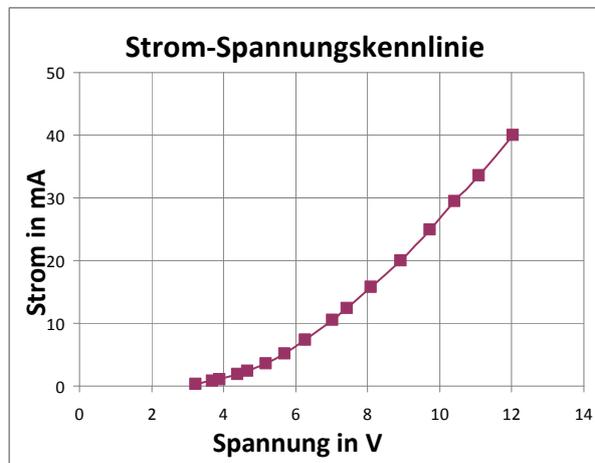


Abbildung 7: Zusammenhang zwischen Spannung und Leuchtdichte (vgl. [1], S. 85)

Aufgrund des linearen Zusammenhangs zwischen Strom und Leuchtdichte werden OLED-Anzeigen stromgetrieben angesteuert. Bei einem Spannungsgesteuerten Betrieb würde eine leichte Schwankung der Ansteuerspannung ein sichtbares Flackern der OLED-Anzeige hervorrufen.



### 2.1.8 Lebensdaueruntersuchungen in Abhängigkeit der Temperatur

Zur Charakterisierung des Einflusses der Temperatur auf die OLED-Lebensdauer wurden Lebensdauerermessungen bei drei unterschiedlichen Temperaturen (25°C, 50°C und 75°C) durchgeführt.

Abbildung 8 zeigt die typische Leuchtdichteabnahme mit der Zeit. Typischerweise tritt bei OLED-Anzeigen ein sog. „Initial Drop“ auf, d.h. innerhalb der ersten wenigen Stunden reduziert sich die Startleuchtdichte um ca. 10%. Anschließend nimmt die Leuchtdichte näherungsweise linear ab.

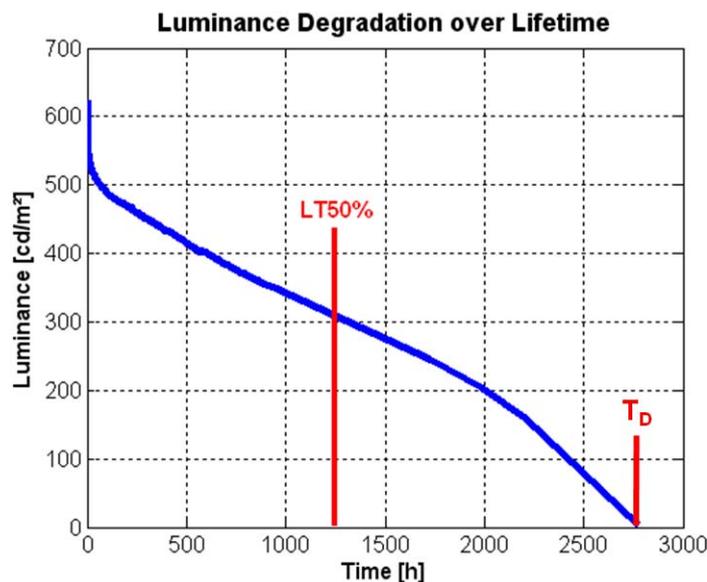


Abbildung 8: Typische Leuchtdichteabnahme von OLED Anzeigen (vgl. [2])

Aus den ermittelten Lebensdauern (vgl. Abbildung 10 bis Abbildung 12) konnten entsprechende Alterungsparameter abgeleitet werden. Die Verschlechterung der Lebensdauer bei höheren Temperaturen ist in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Tabelle 2: Temperaturabhängigkeit

Temperatur	Lebensdauerverkürzung
25°C	1 (Referenz)
50°C	2,2
75°C	7,3

Das bedeutet, dass z.B. die Lebensdauer bei 75°C auf 1/7 der Lebensdauer von 25°C verkürzt wird.



### 2.1.9 Lebensdaueruntersuchungen in Abhängigkeit der Ansteuersignale (DC, Dreieck, PWM, Sinus)

Da der Einfluss der Ansteuersignale auf die Lebensdauer der OLED Materialabhängig ist, wurde zur Charakterisierung des Einflusses der Ansteuersignale auf die verwendeten OLEDs Lebensdaueruntersuchungen mit unterschiedlichen Ansteuerverfahren durchgeführt.

Bei der Auswahl der Ansteuersignale wurde darauf geachtet, dass die unterschiedlichen Signalvarianten eine gemeinsame mittlere Ladungsmenge erzeugen (mittlerer Strom = 10mA) und dass die beiden aktuell üblichen Ansteuermethoden (Konstantstrom und gepulste Ansteuerung) als Vergleichsgrößen ebenfalls verwendet werden. Die verwendeten Ansteuersignale (DC, Sinus, PWM, Dreieck) sind in Abbildung 9 nochmals dargestellt.

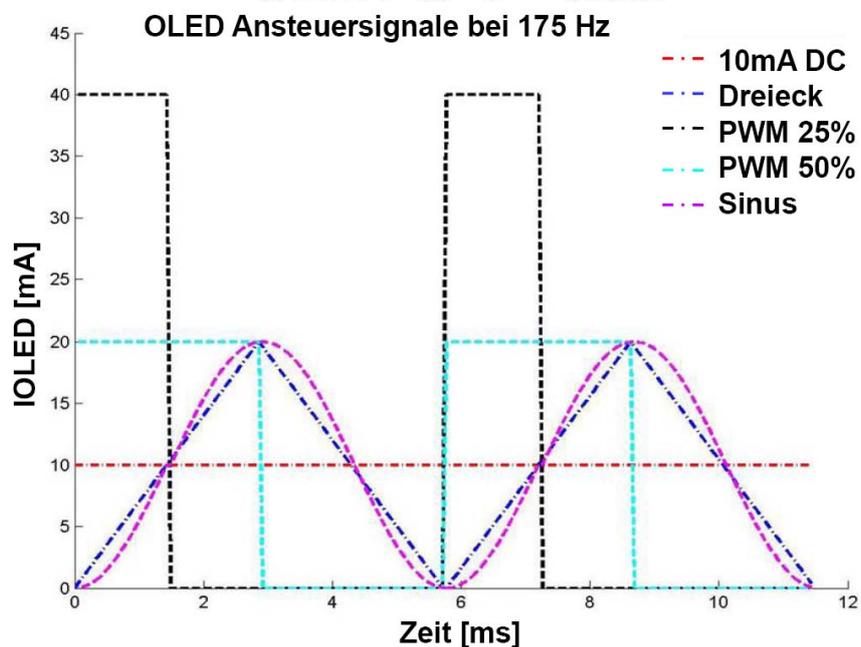


Abbildung 9: Verwendete Ansteuersignale für die Lebensdaueruntersuchungen

Die Abbildung 10, Abbildung 11 und Abbildung 12 zeigen die unterschiedlichen Lebensdauern der OLED-Segmente bei den unterschiedlichen Signalformen und Temperaturen. Hierbei sind sämtliche, sich ergebende Lebensdauern auffallend niedrig, da es sich um Prototypen-OLEDs handelt, die speziell auf die Anforderungen der Luftfahrt (hoher Temperaturbereich und besonders hohe Glas-Übergangstemperatur) angepasst sind.

Die Ergebnisse dieser Lebensdaueruntersuchung zeigen, dass ein klarer Zusammenhang zwischen der elektrischen Ansteuerung und der resultierenden Lebensdauer vorhanden ist. Auch bei den in diesem Projekt verwendeten OLEDs scheint eine Ansteuerung mit Konstantstrom die längste Lebensdauer zu versprechen. Dennoch ist auch eine Ansteuerung mittels PWM-Signal denkbar, um die OLED ohne signifikanten Farbverschiebungen zu dimmen (vgl. Kapitel 2.1.11).

## Measurement Results @ 75°C

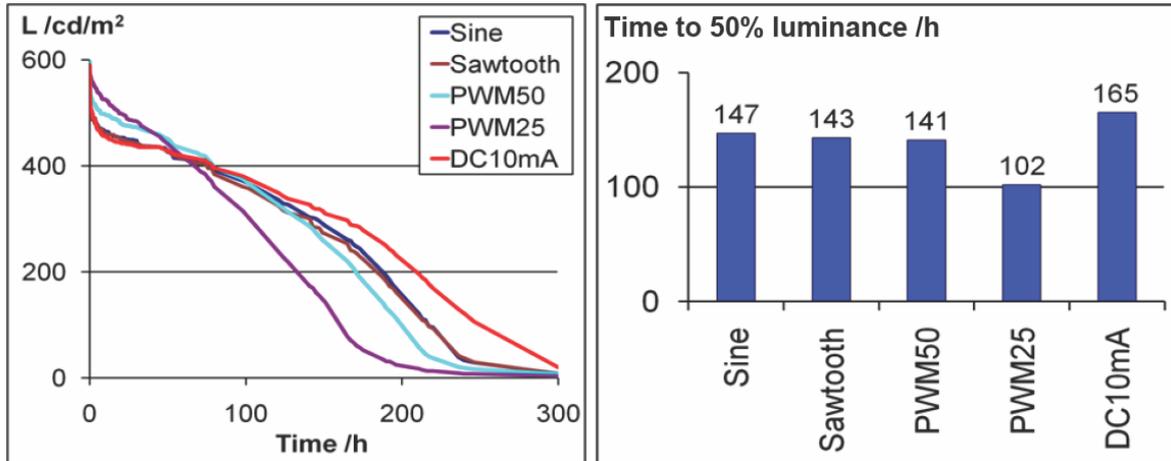


Abbildung 10: Ergebnisse der Lebensdaueruntersuchungen bei 75°C

## Measurement Results @ 50°C

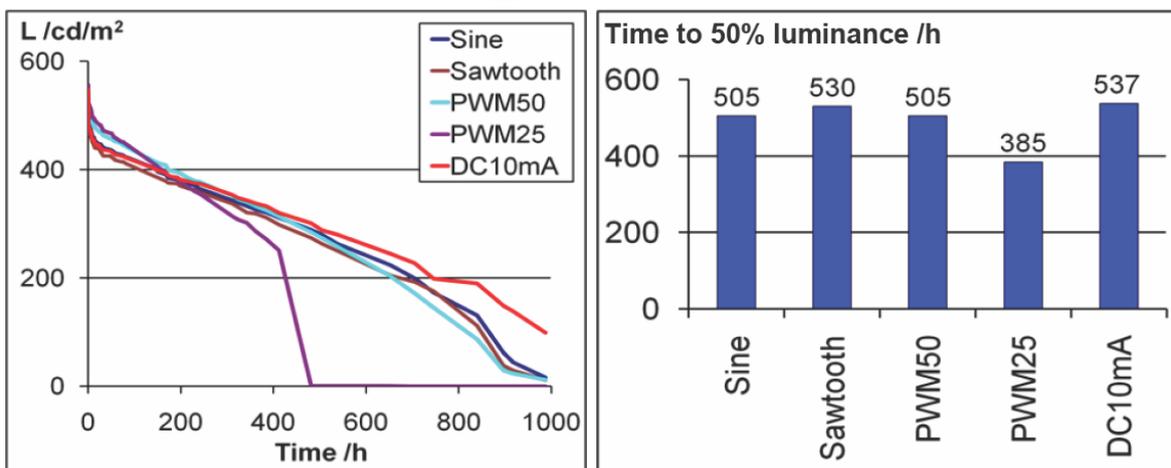


Abbildung 11: Ergebnisse der Lebensdaueruntersuchungen bei 50°C

## Measurement Results @ 25°C

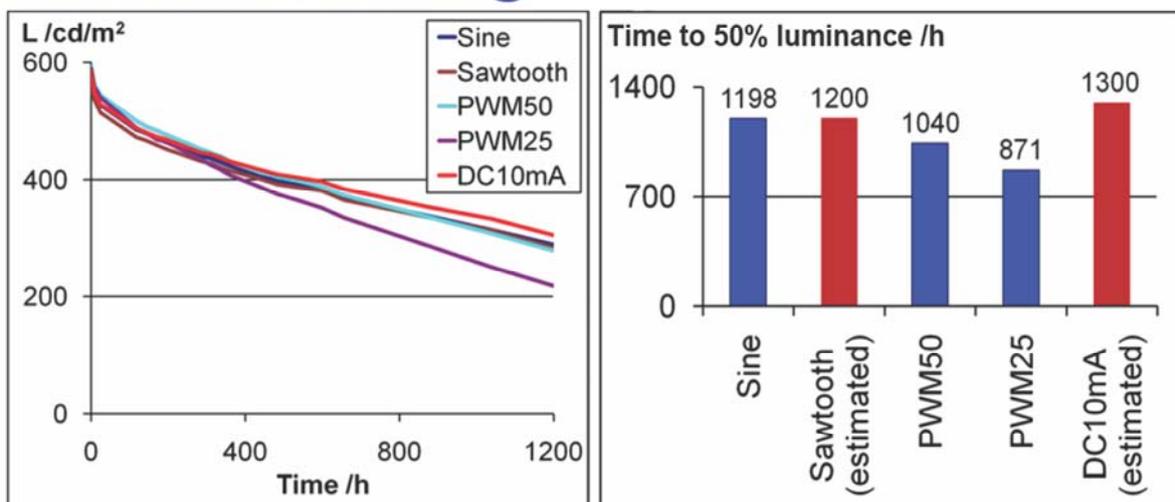


Abbildung 12: Ergebnisse der Lebensdaueruntersuchungen bei 25°C



Die Abbildung 13 zeigt die relative Lebensdauer in Abhängigkeit der Temperatur mit dem Ansteuersignal als Parameter. Daraus lässt sich ableiten, dass OLED-Anzeigen möglichst mit einem konstanten Strom angesteuert werden sollten. Diese Erkenntnis wurde beim Design der Funktionsmuster berücksichtigt.

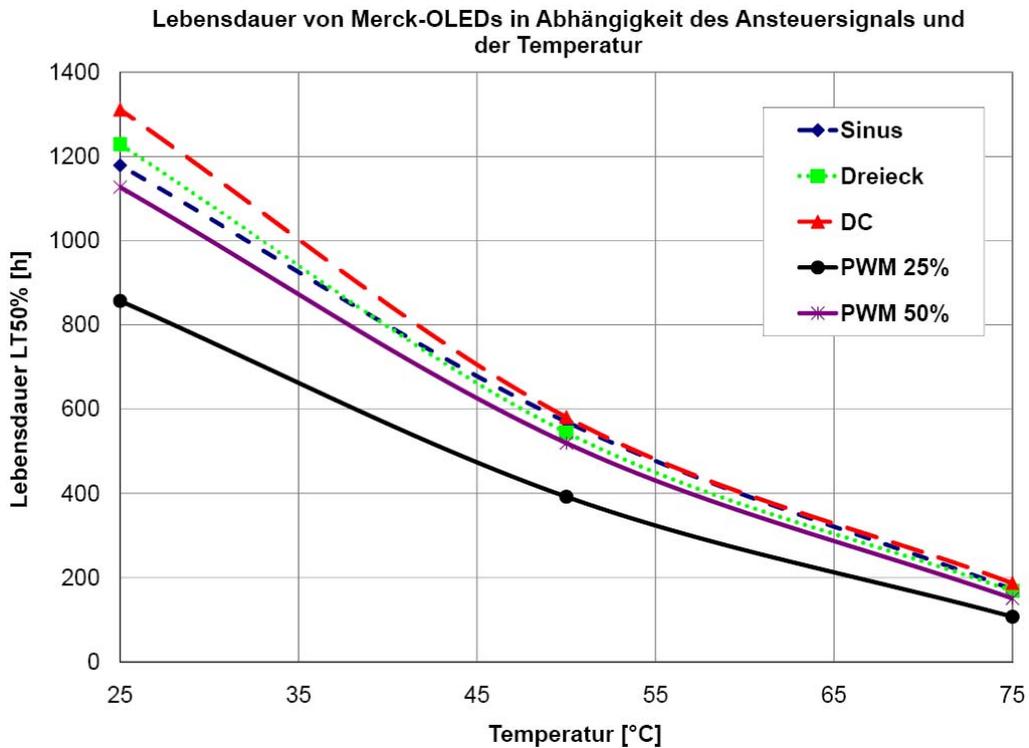


Abbildung 13: Lebensdauer für unterschiedliche Ansteuerverfahren (vgl. [4])



### 2.1.10 Lebensdaueruntersuchungen in Abhängigkeit der Leuchtdichte

Zur Charakterisierung des Einflusses der Leuchtdichte auf die Lebensdauer wurden an OLEDs entsprechende Untersuchungen durchgeführt. Dabei wurde bei drei verschiedenen Anfangsleuchtdichten die Lebensdauer experimentell ermittelt. Die Ansteuerung erfolgte hierbei jeweils mit Konstantstrom. Die Abbildung 14 zeigt die ermittelten Lebensdauern bei den unterschiedlichen Leuchtdichten für drei verschiedene Temperaturen.

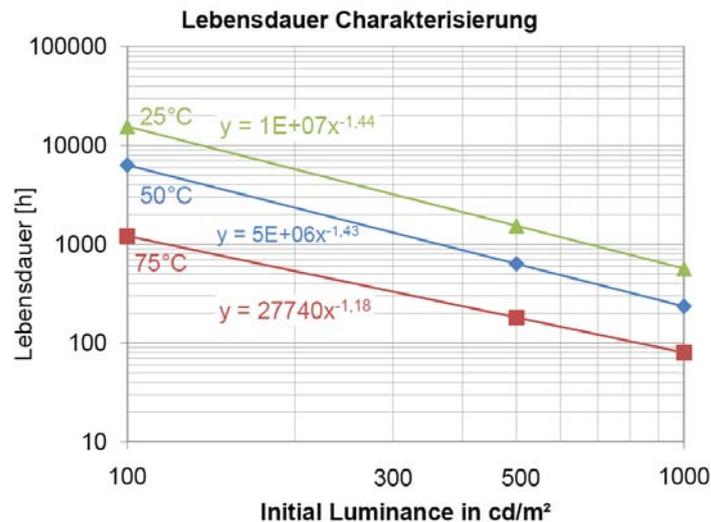


Abbildung 14: Experimentell ermittelte Lebensdauern von OLEDs bei unterschiedlichen Anfangsleuchtdichten und verschiedenen Temperaturen

Man erkennt, dass sowohl die Temperatur als auch die Anfangsleuchtdichte einen erheblichen Einfluss auf die Lebensdauer der OLED haben. Dabei ist die Lebensdauer umso kürzer, je höher die Anfangsleuchtdichte und je höher die Temperatur ist. Dieses Ergebnis stimmt mit der Literatur überein (vgl. [3]). Wie stark sich die Lebensdauer bei einer erhöhten Temperatur bzw. erhöhten Leuchtdichte verkürzt, bezogen auf eine vorher definierte Standardtemperatur bzw. Standard-Anfangsleuchtdichte, kann durch entsprechende Beschleunigungsfaktoren angegeben werden. Dabei kann jeder Temperatur und jeder Anfangsleuchtdichte ein eigener Beschleunigungsfaktor zugeordnet werden.

Die entsprechenden Beschleunigungsfaktoren für die Temperatur und der anfänglichen Leuchtdichte können anhand der Ergebnisse aus Abbildung 14 bestimmt werden. Der Beschleunigungsfaktor für die Temperatur bezogen auf 25°C wurde bereits in Kapitel 2.1.8 bestimmt. Der Beschleunigungsfaktor für die Leuchtdichte wird in Bezug auf 100cd/m² in folgender Tabelle wiedergegeben.

Tabelle 3: Abhängigkeit der Anfangsleuchtdichte

Anfangsleuchtdichte	Lebensdauerverkürzung
100	1 (Referenz)
500	9
1000	23

Das bedeutet, dass z.B. die Lebensdauer bei einer Anfangsleuchtdichte von 500cd/m² auf 1/9 der Lebensdauer bei einer Anfangsleuchtdichte von 100cd/m² verkürzt wird.

Die Beschleunigungsfaktoren der Temperatur und der Anfangsleuchtdichte finden in Kapitel 2.1.14 Anwendung.

### 2.1.11 Untersuchungen zum Farbort von OLEDs

Grundsätzlich ist das Dimmen einer OLED auf zwei Arten möglich. Zum einen kann die OLED mit konstantem Strom angesteuert werden, der entsprechend Amplitudenmoduliert wird, und zum anderen kann die OLED mit einem PWM-Signal (Pulsweitenmodulation) entsprechend gedimmt werden.

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass der Farbort von OLED-Anzeigen bei der Ansteuerung mit konstantem Strom deutlich variiert. Daher ist eine Dimmen der Anzeigen durch die Reduktion des Ansteuerstroms nur bedingt möglich. Ein Dimmen ohne visuell erkennbaren Farbdrift kann nur mittels einer Pulsweitenmodulation erreicht werden.

#### Farbverschiebung bei konstanten Strom

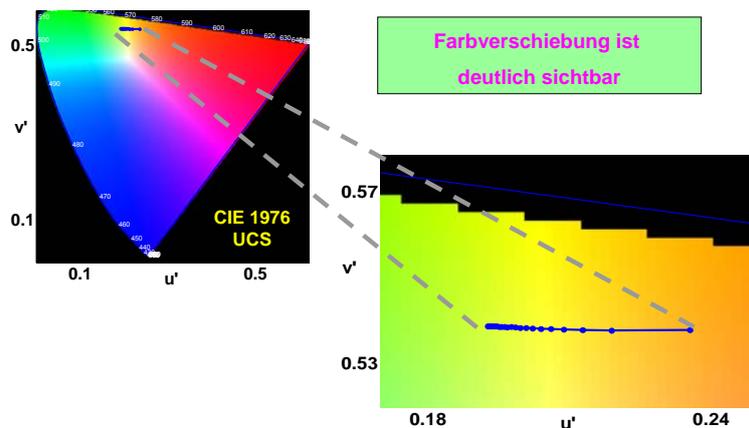


Abbildung 15: Farbverschiebung im DC-Betrieb bei unterschiedlichen Stromstärken

#### Farbverschiebung bei PWM

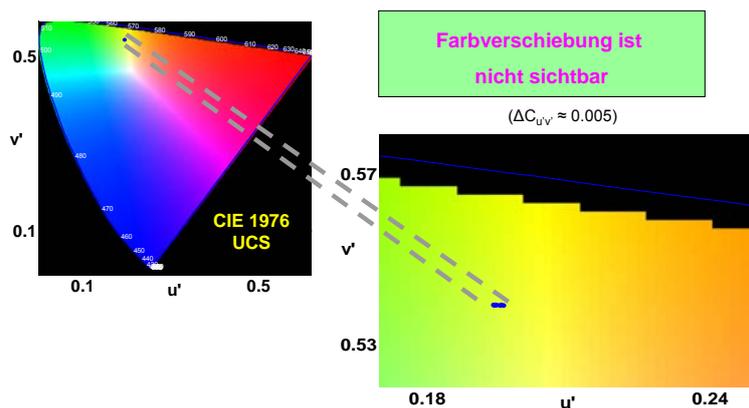


Abbildung 16: Farbverschiebung im PWM-Betrieb bei unterschiedlichen Tastverhältnissen



## AP P4: Lebensdauermodellierung

Durchführungszeitraum: 2008

### 2.1.12 Theoretische Lebensdauererweiterung

Für die Bestimmung der theoretischen Lebensdauererweiterung wird angenommen, dass jede OLED eine sog. Lebenskapazität besitzt. Diese Lebenskapazität ist für gleiche OLEDs konstant und unabhängig von der Betriebsart und der anfänglichen Leuchtdichte. Aus dem Integral über die zeitliche Leuchtdichtedegradation lässt sich die Größe bestimmen (vgl. Abbildung 17).

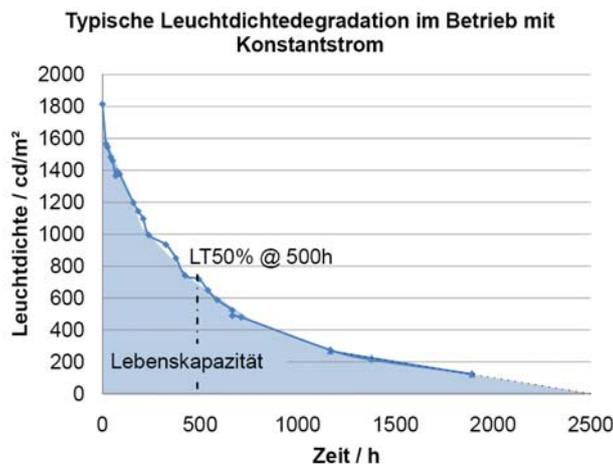


Abbildung 17: Gemessene Leuchtdichtedegradation im Betrieb mit Konstantstrom

Betrieibt man nun eine OLED statt mit Konstantstrom mit konstanter Leuchtdichte, kann die Anfangsleuchtdichte reduziert werden, womit sich aufgrund der konstanten Lebenskapazität eine verlängerte Lebensdauer ergeben muss (vgl. Abbildung 18).

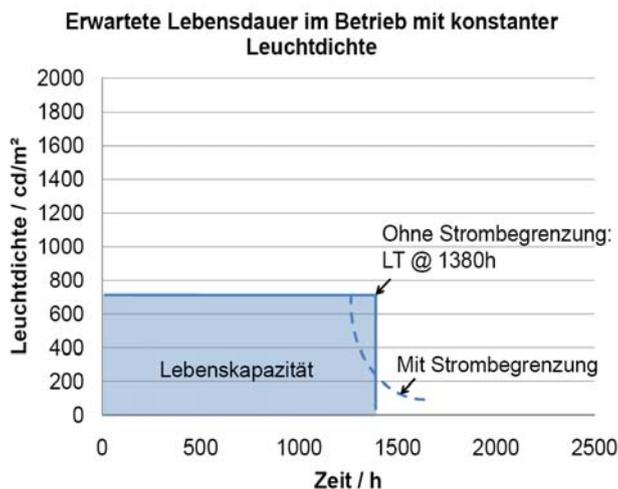


Abbildung 18: Theoretische Lebensdauererweiterung durch Betrieb bei konstanter Leuchtdichte

Um einen abrupten Ausfall des Bauteils, wie er in Abbildung 18 zu erkennen ist, zu vermeiden, kann eine Strombegrenzung eingeführt werden. Dies führt ab dem Erreichen des Maximalstroms zu einer exponentiellen Abnahme der Leuchtdichte, wobei die Lebensdauer aufgrund der konstanten Lebenskapazität geringfügig verkürzt wird (vgl. Abbildung 18).

Die Nachprüfung dieses Modell folgt in Kapitel 2.1.13 und 2.1.31.



### 2.1.13 Erweiterte Auswertung der Lebensdauermessungen

Für das geplante Luftfahrtnahe Funktionsmuster sollen die Anzeigen bei einer konstanten Leuchtdichte betrieben werden, um Burn-In-Effekte (vgl. Kapitel 2.1.16) zu vermeiden. Dazu wurden 2008 erste Lebensdaueruntersuchungen durchgeführt. Der Messaufbau beinhaltete einen aufgesetzten Lichtsensor, welcher die Leuchtdichte der OLED Anzeige erfasste sowie eine nachregelbare Ansteuerelektronik. Der Strom, welcher direkt proportional zur Leuchtdichte ist, wurde derart nachgeregelt, dass die OLED-Anzeige über die gesamte Betriebsdauer mit einer konstanten Leuchtdichte betrieben wurde.

Die nachfolgende Abbildung 19 zeigt das Ergebnis dieser Lebensdaueruntersuchung.

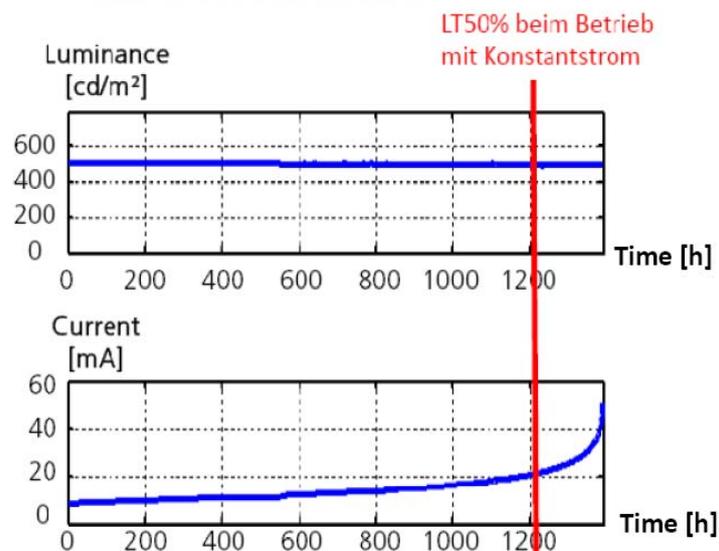


Abbildung 19: Ergebnis der Lebensdaueruntersuchung beim Betrieb mit konstanter Leuchtdichte

Beim Betrieb mit konstanter Leuchtdichte nimmt der benötigte Strom über die Betriebsdauer kontinuierlich zu. Diese Ergebnisse sind grundlegend für die Planung der entsprechenden Ansteuerelektronik, da die maximale Zunahme des Stroms schaltungstechnisch vorgehalten werden muss. Die Ansteuerung für das luftfahrtnahe Funktionsmuster wird daher so ausgelegt, dass der maximal benötigte Strom noch von der Ansteuerschaltung geliefert werden kann.

Die Referenzmessung (siehe Abbildung 20) zeigt, dass die Ansteuerung mit einem konstanten Strom keine höhere Lebensdauer erreicht. Dies folgt aus der verbleibenden Lichtenergie, welche die OLED auch nach dem Erreichen der Halbwertsschwelle noch liefern könnte. Diese Energie wird im Betrieb bei einer konstanten Leuchtdichte verbraucht, wodurch nach Erreichen der Lebensdauer ein schneller Ausfall der OLED eintritt.

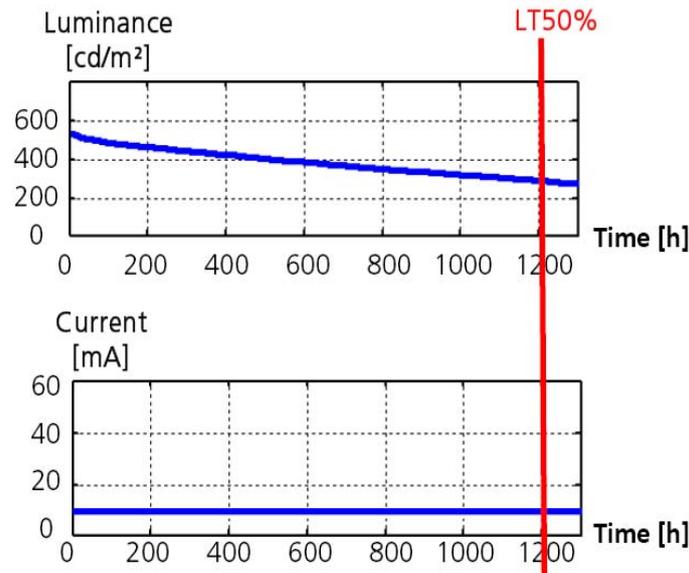


Abbildung 20: Lebensdauerergebnisse bei konstantem Strom

Ein positiver Nebeneffekt des Betriebs mit Leuchtdichtenachregelung ist, dass die Lebensdauer der OLEDs mittels dieses Verfahrens zusätzlich erhöht werden kann. Dies folgt aus einer reduzierten Anfangsleuchtdichte. Bei bisherigen Systemen wurde die Anfangsleuchtdichte jeweils so gewählt, dass selbst bei einem Leuchtdichteabfall auf 50% während der Produktlaufzeit die Ablesbarkeit noch gewährleistet war. Wird eine Anzeige mit konstanter Leuchtdichte betrieben, kann die Anfangsleuchtdichte entsprechend reduziert werden. Diese ist in Abbildung 21 schematisch dargestellt.

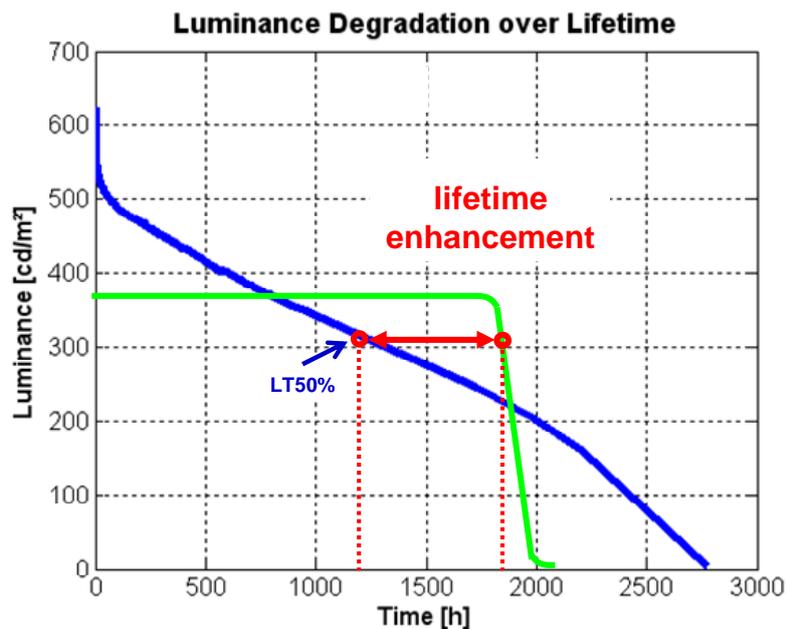


Abbildung 21: Verlängerung der Lebensdauer durch Betrieb bei konstanter Leuchtdichte



### 2.1.14 Extraktion von Modell-Parametern

Die Lebensdauer einer OLED wird hauptsächlich von der Umgebungstemperatur und der Startleuchtdichte beeinflusst. Um die OLED-Alterung simulieren zu können, müssen somit die Beschleunigungsfaktoren dieser beiden Parameter festgelegt werden.

Bei der Bestimmung des Beschleunigungsfaktors der Leuchtdichte muss eine Lebensdauer-Messkurve vorliegen, deren Fläche durch Integrieren bestimmt wird. Diese Fläche wird als so genannte Lebenskapazität bezeichnet und für gleiche OLEDs unabhängig von der Betriebsart als nahezu konstant angenommen. Damit ergibt sich eine indirekte Proportionalität zwischen der konstanten Leuchtdichte, bei der die OLED betrieben wird, und der zugehörigen Lebensdauer (Abbildung 22 zeigt dies exemplarisch für eine OLED). Somit kann bei gegebener Lebenskapazität und Temperatur für jede Leuchtdichte die entsprechende Lebensdauer bestimmt werden.

Für die Bestimmung des Temperaturbeschleunigungsfaktors werden mindestens zwei Lebensdauerermessungen bei gleicher Anfangsleuchtdichte und unterschiedlicher Temperatur herangezogen. Hierbei wird der erste Temperatur-Lebensdauer-Messpunkt als Referenz genommen, und dessen Beschleunigungsfaktor als 1 definiert. Die Lebensdauer bei der zweiten Temperatur wird relativ zu diesem Wert gesehen, um eine Leuchtdichteunabhängigkeit zu erreichen. Mithilfe der beiden Temperaturwerte sowie der zugehörigen Beschleunigungsfaktoren wird ein linearer Zusammenhang hergestellt. Somit kann für jede beliebige Temperatur der Lebensdauerfaktor bestimmt werden (Abbildung 23 zeigt dies exemplarisch für eine OLED).

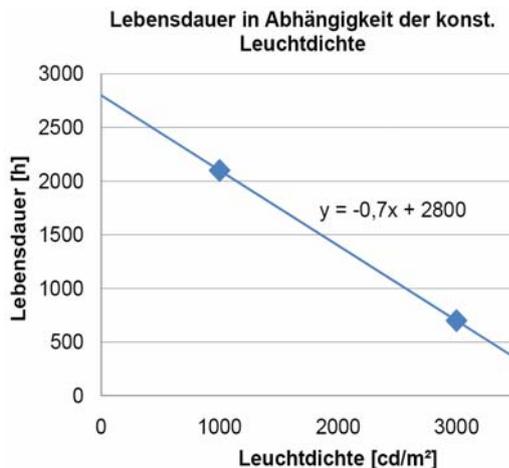


Abbildung 22: Lebensdauer in Abhängigkeit der konstanten OLED-Leuchtdichte, bei 25°C und bei gegebener Lebenskapazität, exemplarisch an einer OLED gemessen

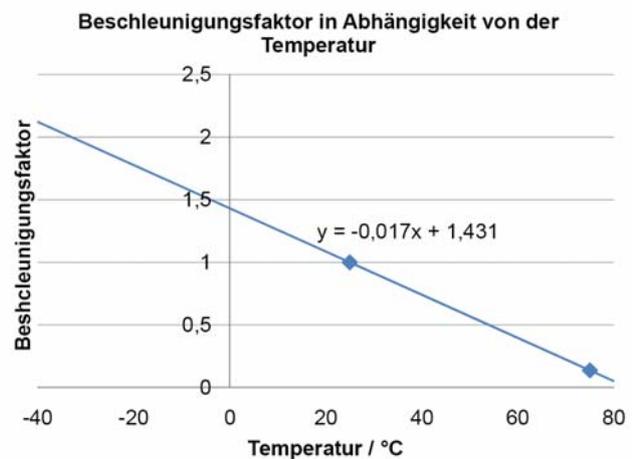


Abbildung 23: Temperatur-Beschleunigungsfaktor, exemplarisch an einer OLED gemessen

Mithilfe der beiden Beschleunigungsfaktoren der Leuchtdichte und der Temperatur kann somit für eine OLED im Betrieb bei beliebiger Leuchtdichte und Temperatur die Lebensdauer berechnet werden.



### 2.1.15 Software-Programmierung inkl. Visualisierung einer Simulation der OLED-Alterung in Abhängigkeit von Betriebsparametern

Die angegebene Lebensdauer einer OLED-Anzeige sagt lediglich aus, wie lange es bei Konstantstrombetrieb und bei einer konstanten Temperatur dauert, bis die Leuchtdichte auf 50% der anfänglichen abgefallen ist. Dies liefert jedoch keine Aussage über die tatsächliche Nutzungsdauer einer OLED-Anzeige in einem Produkt. Das liegt daran, dass im realen Umfeld sich ändernde Temperaturen herrschen, und dass die OLED-Anzeige bei unterschiedlichen Leuchtdichten (z.B. Tag- und Nachtmodus) betrieben wird.

Zur Berechnung der tatsächlichen Nutzungsdauer wurde deshalb eine Simulationssoftware in Visual Basic entwickelt (Benutzeroberfläche siehe Abbildung 24), welche abhängig von einem Leuchtdichte- und Temperaturprofil die tatsächliche Nutzungsdauer berechnet. Diese Software ist bereits für einen konstanten Leuchtdichtebetrieb angepasst.

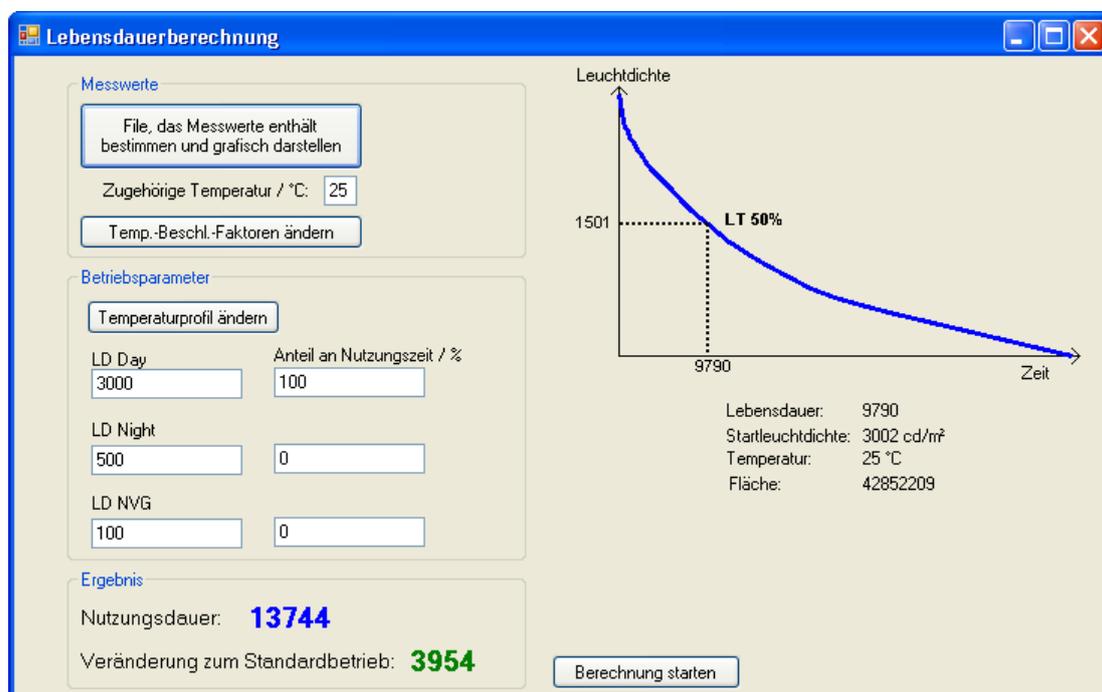


Abbildung 24: Benutzeroberfläche des Hauptprogramms der selbsterstellten Simulationssoftware

#### Beschreibung der erstellten Simulationssoftware:

Im ersten Schritt werden vom Benutzer die Messwerte einer Lebensdaueruntersuchung eingegeben. Hierfür wählt er nach Aktivieren der Schaltfläche „File, das Messwerte enthält bestimmen und grafisch darstellen“ die Textdatei, welche die entsprechenden Daten enthält. Die zugehörige Temperatur, bei der die Messwerte aufgenommen wurden, wird im darunter stehenden Textfeld eingegeben. Anschließend werden in der rechten Hälfte der Benutzeroberfläche die eingegebenen Messwerte grafisch dargestellt, die zugehörige Lebensdauer und Lebenskapazität berechnet und wichtige Kenndaten wie Lebensdauer, Startleuchtdichte, Temperatur und Fläche angezeigt (vgl. Abbildung 24). Mithilfe der Schaltfläche „Temp.-Beschl.-Faktoren ändern“ können optional eigene Messwerte für die Temperatur-Beschleunigungsfaktoren eingegeben werden (Abbildung 25).

Im nächsten Schritt werden die Betriebsparameter eingegeben, für die die Nutzungsdauer bestimmt werden soll. Hierbei kann das Temperaturprofil (Abbildung 26) unter „Temperaturprofil ändern“ geändert werden. In den darunter stehenden Textfeldern wird das Leuchtdichteprofil in Form von den drei Leuchtdichte-Modi „LD Day“, „LD Night“, „LD NVG“ und deren entsprechenden Nutzungszeitanteil eingegeben (Abbildung 24).

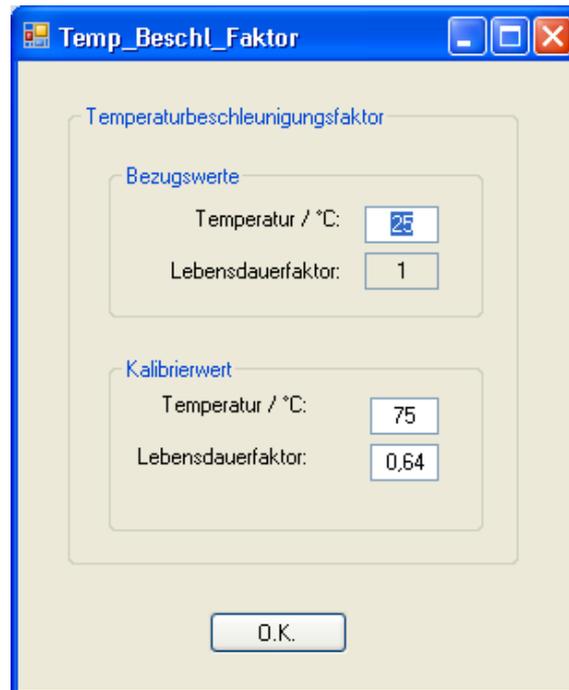


Abbildung 25: Simulationssoftware Beschleunigungsfaktoren Temperatur

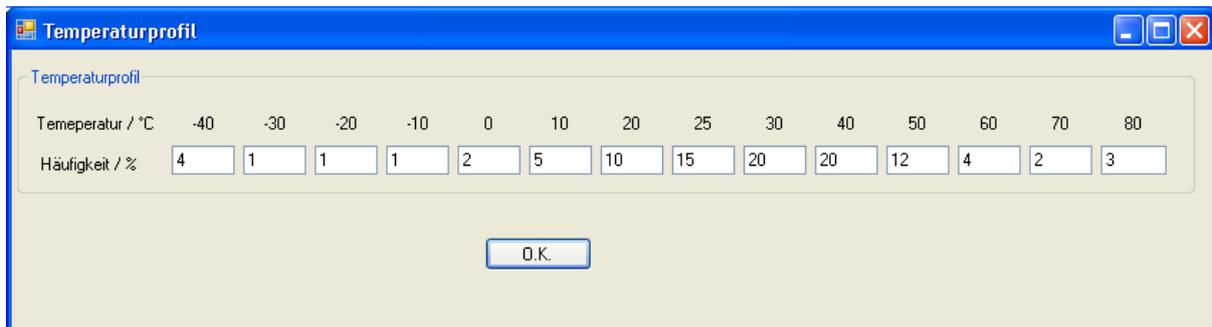


Abbildung 26: Simulationssoftware Temperaturprofil

Der letzte Schritt erfolgt durch Drücken des Knopfs „Berechnung starten“, wodurch die Nutzungsdauer bei den angegebenen Betriebsparametern berechnet und angezeigt wird. Hierfür wird zunächst die Fläche (=Lebenskapazität) unter der eingelesenen Messkurve berechnet, über die anschließend jeweils die Lebensdauern für die drei Betriebsmodi „Day“, „Night“ und „NVG“ berechnet werden.

Diese drei Lebensdauern werden jeweils mit dem entsprechenden Anteil an der Nutzungszeit multipliziert und anschließend zur Gesamt-Nutzungsdauer aufaddiert. Um nun die temperaturabhängige Nutzungsdauer zu erhalten, wird dieser Wert mit dem eingegebenen Temperaturprofil verrechnet. Hierfür werden zunächst die beiden eingegebenen Temperatur-Beschleunigungs-Werte in einen linearen Zusammenhang gebracht und die entsprechenden Faktoren für die möglichen Umgebungstemperaturen berechnet. Diese Faktoren werden jeweils mit dem angegebenen Nutzungsdauer-Anteil sowie der temperaturunabhängigen Nutzungsdauer multipliziert. Die Summe der sich ergebenden Nutzungsdauern ergibt die voraussichtliche Gesamtnutzungsdauer für die eingestellten Betriebsparameter.



### 2.1.16 Untersuchung zum Burn-In bei OLED hinterleuchteten Symbolen

Neben der Lebensdauer von OLED-Materialien ist das unterschiedliche Altern der einzelnen Anzeigen ein kritischer Parameter, welcher in einer Simulation untersucht wurde. Das unterschiedliche Altern von Anzeigen wird als Burn-In bezeichnet und resultiert aus den unterschiedlichen Nutzungsdauern der einzelnen Anzeigen. Ungenutzte Anzeigen altern nicht, wohingegen ständig genutzte Anzeigen kontinuierlich altern. Folglich besitzen die Anzeigen eines Gerätes nach einer beliebigen Betriebsdauer unterschiedliche Leuchtdichten. Die nachfolgende Gleichung gibt an, wie das Burn-In-Level berechnet wird.

$$\text{Burn-In-Level} [\%] = 100 \cdot \left(1 - \frac{L_{\min}(t)}{L_{\max}(t)}\right)$$

Abbildung 27 zeigt links einen Ausschnitt aus der Simulation, bei der alle Anzeigen die gleiche Leuchtdichte aufweisen. Die rechte Abbildung hingegen zeigt, dass einzelne Anzeigen gealtert sind. Es sind weiterhin alle Anzeigen eingeschaltet, lediglich die Leuchtdichte variiert. Bei der rechten Abbildung kann daher nicht sichergestellt werden, dass der Nutzer erkennt, welche Anzeigen tatsächlich eingeschaltet sind.



Abbildung 27: Burn-In Simulation;  
links: kein Burn-In; rechts: Simulierter Burn-In

Aus einer Probandenuntersuchung mit simulierten Leuchtdichteunterschieden konnten folgende Ergebnisse erarbeitet werden:

- Burn-In-Level <10%: Keine sichtbare Leuchtdichtevariation unter den Anzeigen erkennbar
- Burn-In-Level <15%: Die Leuchtdichtevariation ist sichtbar, jedoch noch akzeptabel
- Burn-In-Level >20%: Die Leuchtdichtevariation ist nicht akzeptabel

Beim Einsatz der OLED-Technologie in einem Warning Panel (welches als luftfahrtnahes Funktionsmuster aufgebaut wird) kann der Burn-In kompensiert werden, indem jede Anzeige mit einem Sensor überwacht, und auf eine konstante Leuchtdichte nachgeregelt wird. Aufgrund der Ergebnisse der Studie ist geplant, die Nachregelung der Anzeigen auf eine konstante Leuchtdichte nur beim Systemcheck durchzuführen. Obwohl die OLED-Anzeigen auch im Betrieb eine Leuchtdichteabnahme aufweisen, kann sichergestellt werden, dass zwischen den Nachregelintervallen nie ein Burn-In-Level von >15% auftritt.

Diese Erkenntnis ist für das Systemdesign entscheidend, da somit keine Nachregelung im Betrieb durchgeführt werden muss. Diese wäre insbesondere im Nachtmodus, in welchem die Anzeigen bei einer geringen Leuchtdichte betrieben werden, nur mit zusätzlichem Hardwareaufwand möglich.

## AP P5: Elektronik-Entwicklung

Durchführungszeitraum: 2007

### 2.1.17 Konzeption, Schaltungssimulation und Testplatten-Erstellung

In Zusammenarbeit mit der Fa. Comtronic wurde ein erster Demonstrator als Labormuster aufgebaut. Dieser wird nachfolgend als „OLED Demo Unit“ bezeichnet.

Die Anforderungen an die Elektronik wurden wie folgt definiert:

- Einstellung von festen Leuchtdichten (vgl. Tag- und Nachtmodus im Flugzeug).
- Manuelles Ein-/Aus-switchen der einzelnen Anzeigen muss möglich sein.
- Automatischer „Special Function Mode“, hier soll Aufblinken und stufenloses Dimmen der OLEDs visualisiert werden.
- Die OLED Demo Unit soll sowohl über eine Batterie als auch über ein Netzteil mit Spannung versorgt werden können.
- Die einzelnen OLEDs sollen wie in den Lebensdaueruntersuchungen mit modulierbaren Stromverläufen angesteuert werden (DC, PWM, Sinus, ...).
- Eine PC-Schnittstelle soll die Bedienung über einen Computer ermöglichen.

### 2.1.18 Hard- und Software für Mikrocontroller

#### 2.1.18.1 Spannungsversorgung

Die Spannungsversorgung für die "OLED-DEMO-UNIT" wurde so konzipiert, dass ein Batteriebetrieb mit einer handelsüblichen 9V-Blockbatterie möglich ist. Da die Versorgungsspannung für die Transkonduktanzstufen (siehe Kapitel 2.1.19.1) bei 12V liegt, ist ein Step-Up-Converter auf diesem Modul integriert. Dieser generiert die benötigten 12V aus der 9V-Batteriespannung. Um die Lebensdauer des verwendeten 9V-Blocks zu überwachen, dient eine Low-Battery-LED, welche blinkt, sobald die Batteriespannung einen vorher gewählten Schwellwert unterschreitet. Des Weiteren wurde der Betrieb mittels eines Steckernetzteils (siehe Abbildung 28) vorgesehen. Im Netzteilbetrieb wird die Batterie vollständig entlastet.

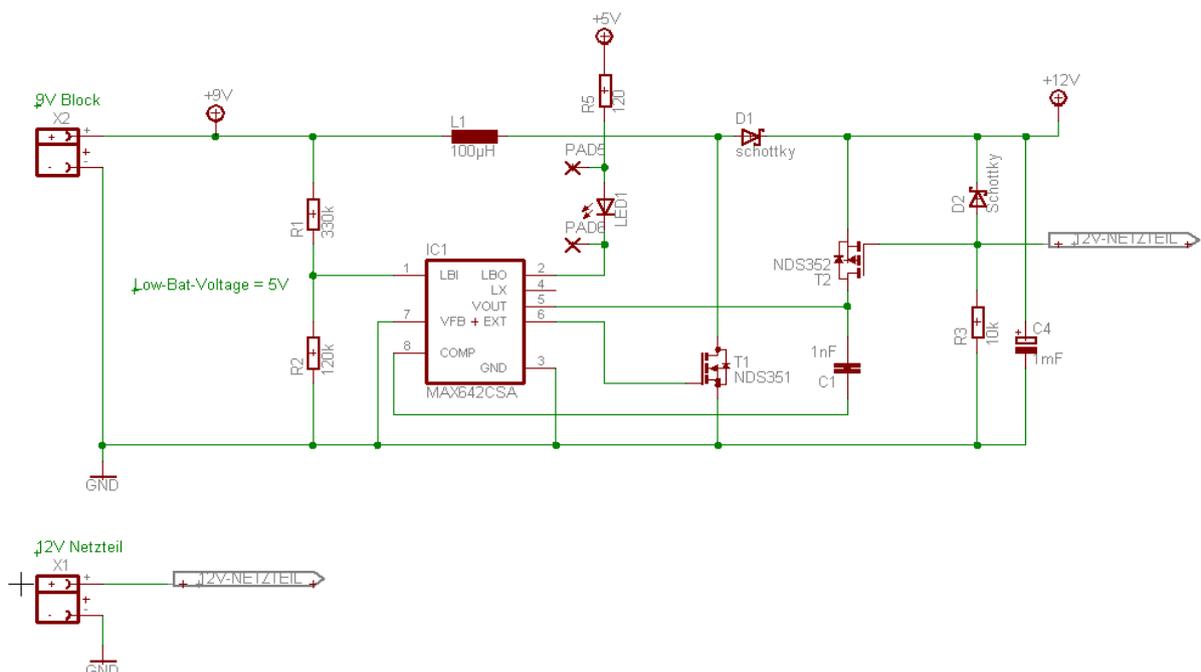


Abbildung 28: Spannungsversorgung der OLED Demo Unit



Die in Abbildung 29 dargestellte Schaltung besitzt die vorhergehend beschriebenen Funktionalitäten der Spannungsversorgung.

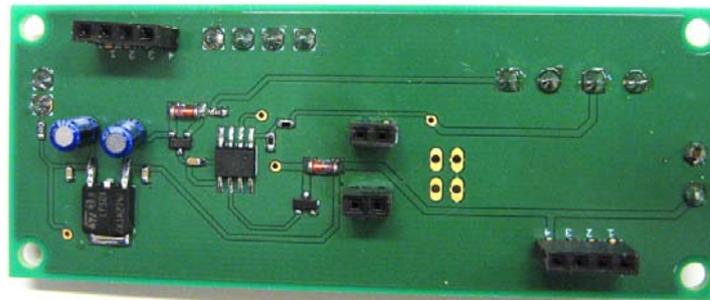


Abbildung 29: Spannungsversorgungsplatine für die OLED Demo Unit

### 2.1.18.2 Steuerlogik

Die Steuerlogik besteht hauptsächlich aus einem  $\mu$ -Controller und dessen Peripherie. Der  $\mu$ -Controller ist ein ADuC831 von Analog Devices mit einem 8051 Kern. Dieser übernimmt die Steuerung der OLEDs, indem er auf Änderungen an den analogen und digitalen Eingängen der programmierten Funktion entsprechend reagiert. Die Änderungen an diesen Eingängen werden von Bedienelementen des Demonstrators, wie z.B. Taster und Drehschalter, hervorgerufen. Um die Analog/Digital-Wandlerfunktion dieses ICs ausreichend genau zu erzielen, sind Impedanzwandler mit Tiefpässen, wie in Abbildung 30 dargestellt, und eine entstörte Referenzspannung, wie in Abbildung 31 dargestellt, notwendig.

Eine Kommunikation mit anderen Systemen, wie z.B. einem PC, ist über eine Schnittstelle, welche das UART - Protokoll verwendet, realisiert (siehe Abbildung 32).

In Abbildung 30 sind die Impedanzwandlerstufen mit nachgeschalteten RC - Tiefpässen dargestellt.

Damit die zu messende analoge Spannung möglichst nicht beeinflusst wird, wird sie mittels der Impedanzwandler hochohmig entkoppelt. Die Tiefpässe dienen zur Filterung eventuell auftretender Störungen.

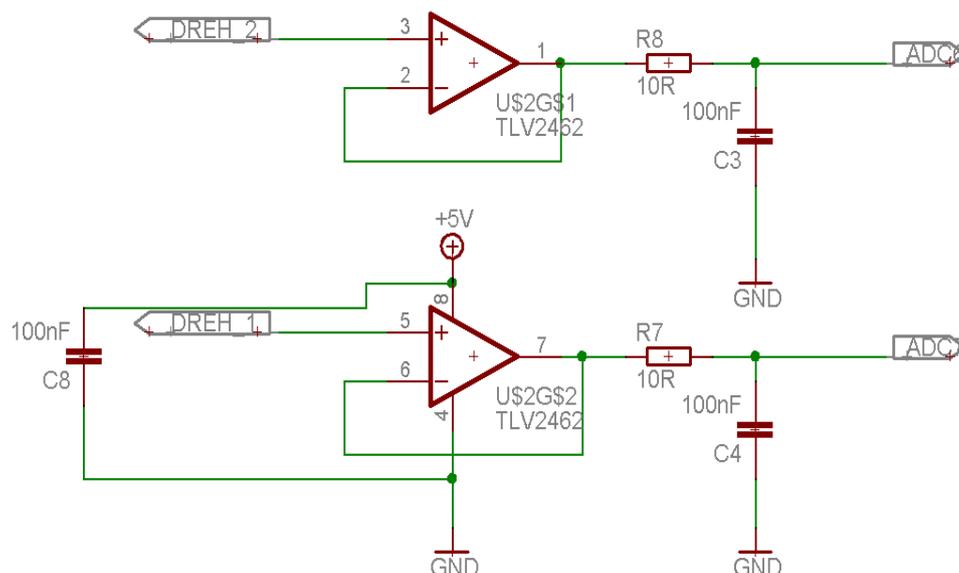


Abbildung 30: Impedanzwandlerstufen der OLED Demo Unit

In Abbildung 31 ist die entstörte Referenzspannung dargestellt. Hierbei wird die Versorgungsspannung des  $\mu$ -Controllers von 5V mit Hilfe zweier in Reihe geschalteten Tiefpässen entstört, so dass die A/D-Wandlung möglichst genau ist und die 12Bit Darstellung im  $\mu$ -Controller gewährleistet werden kann.

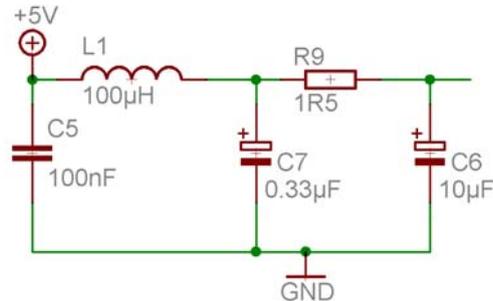


Abbildung 31: Referenzspannungsquelle der OLED Demo Unit

In Abbildung 32 ist der Signalkonvertierungsbaustein FT232RL und dessen Beschaltung dargestellt. Dieses IC wandelt das UART - Protokoll mit TTL-Pegel in das differentielle USB - Protokoll. Somit ist die Anbindung eines PCs über die USB - Schnittstelle als virtueller COM - Port möglich.

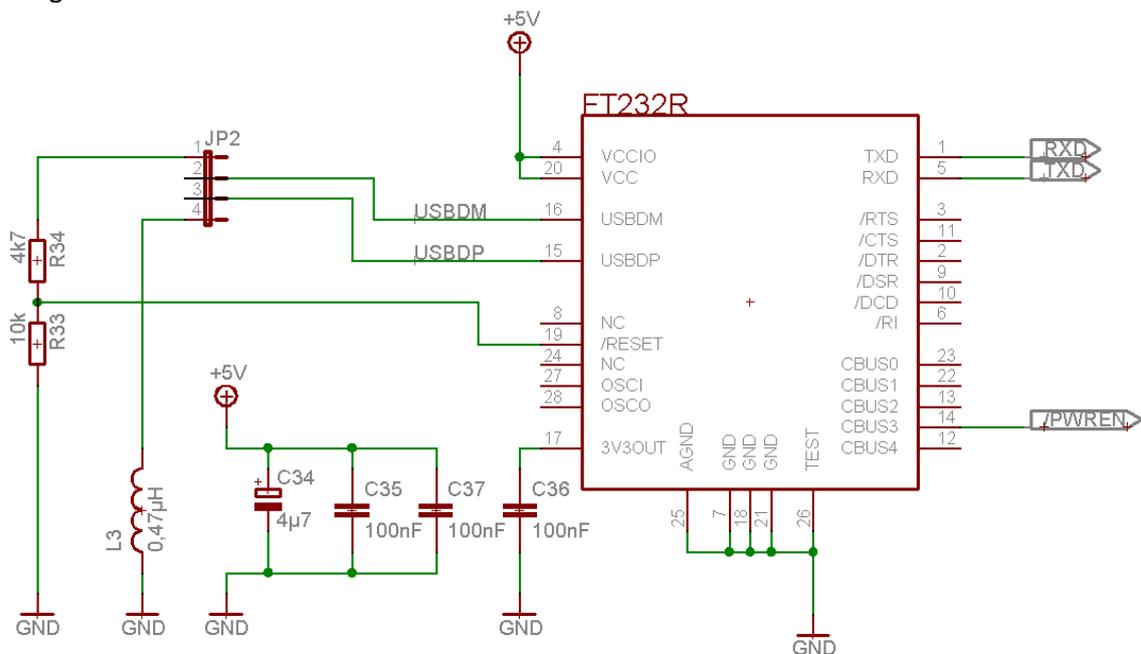


Abbildung 32: USB Schnittstelle der OLED Demo Unit



In Abbildung 33 ist das Modul Steuerlogik zu sehen. Die Abbildung 34 zeigt das fertige Funktionsmuster "OLED-DEMO-UNIT".

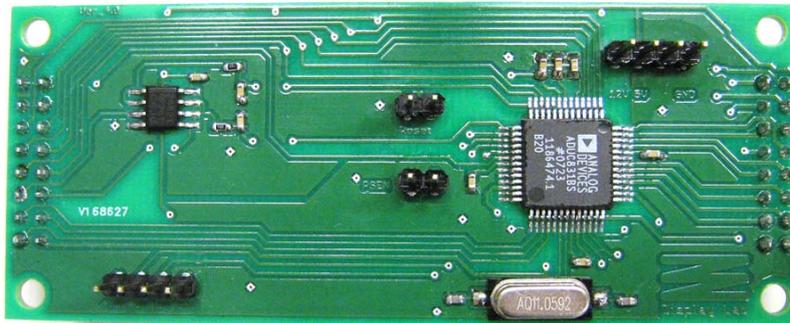


Abbildung 33: Steuerlogik der OLED Demo Unit



Abbildung 34: Funktionsmuster 1; OLED Demo Unit

Das Funktionsmuster 1 funktioniert wie spezifiziert. Über einen Drehschalter kann vom Benutzer der gewünschte Leuchtdichte-Modus gewählt werden, während über einen weiteren Schalter unterschiedliche Blinkmodi einstellbar sind. Von diesem Funktionsmuster wurden insgesamt 4 Stück aufgebaut, um auch den Projektpartnern Comtronic und Opsira weitere Untersuchungen zu ermöglichen. An der Hochschule Pforzheim wurde ein 50h – Dauerbetrieb erfolgreich durchlaufen. Auch nach dem Einsatz bei diversen Präsentationen und Ausstellungen konnten keinerlei Probleme bei der Elektronik oder der Kontaktierung der OLED Anzeigen festgestellt werden. Ausführliche Qualifizierungen wurden bei der Fa. Comtronic durchgeführt.

## 2.1.19 Endstufen-Treiber für OLED Ansteuerung

### 2.1.19.1 Treiberstufen High-Side Regelung

Für OLED Module mit einer gemeinsamen Kathode muss ein High-Side Stromtreiber verwendet werden. Dieser wurde für das erste Funktionsmuster (OLED Demo Unit) implementiert.

Das Modul der Treiberstufen besteht im Wesentlichen aus einem DA-Wandler und 6 Transkonduktanzstufen. Der DA-Wandler wandelt ein 8bit-Datenwort, welches er vom  $\mu$ -Controller erhält, in eine analoge Spannung. Diese analoge Spannung wird dann von der Treiberstufe, die in Abbildung 35 dargestellt ist, in einen der Spannung entsprechenden Strom gewandelt. Dies ermöglicht es, die OLED stromgesteuert mit einer vordefinierten Stromstärke zu betreiben. Die Leuchtdichte der angesteuerten OLED ist linear zum Strom, der durch diese getrieben wird.

In Abbildung 35 ist eine Transkonduktanzstufe dargestellt. Diese treibt wie oben beschrieben einen definierten Strom durch eine Last und lässt sich zusätzlich ein- und ausschalten. Diese zusätzliche Funktion ermöglicht es, die OLEDs mit Hilfe einer Pulsweitenmodulation (PWM) zu dimmen.

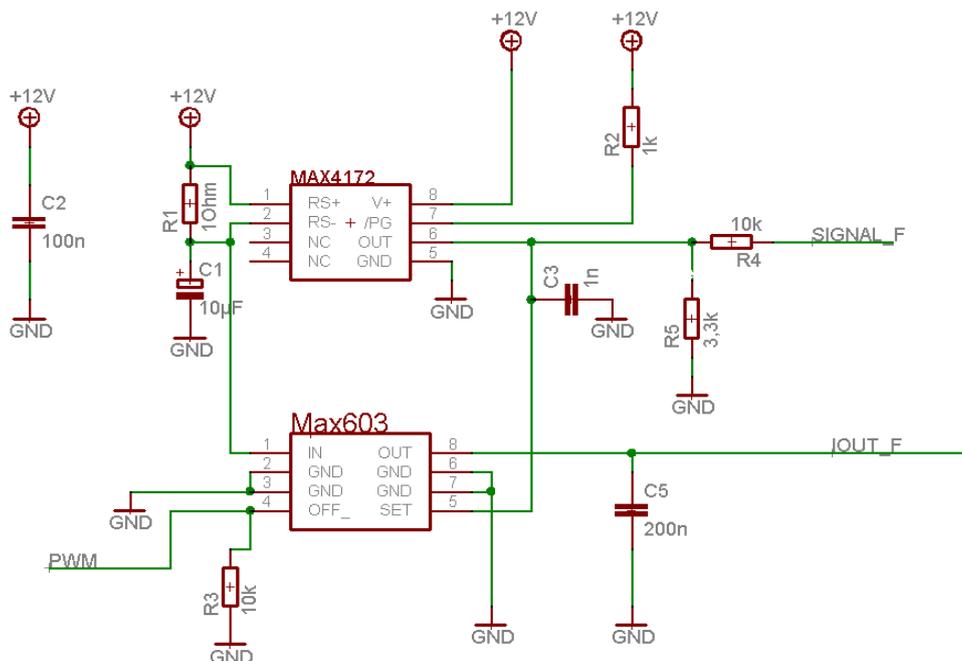


Abbildung 35: Schaltplan einer High-Side Transkonduktanzstufe für die OLED Demo Unit

Die Abbildung 36 zeigt die fertige Platine für die Treiberstufen der OLED Demo Unit.

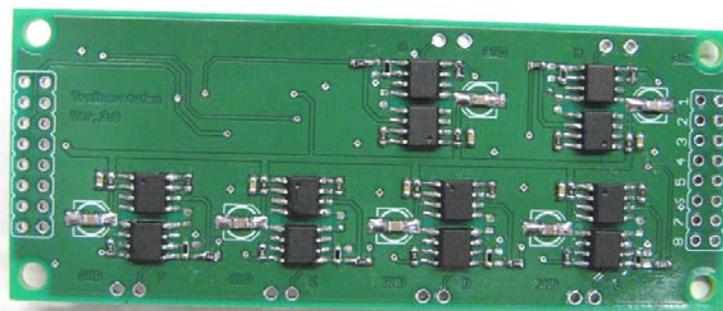


Abbildung 36: Fertige Platine der Treiberstufen für die OLED Demo Unit

### 2.1.19.2 Treiberstufen Low-Side Regelung

Die Ansteuerung von OLEDs mit High-Side Stromtreibern ist eher unwirtschaftlich, da der benötigte Hardwareaufwand deutlich größer ist als für einfache Low-Side Treiber. Daher wurde gemeinsam mit den Projektpartnern entschieden, für die nachfolgenden Funktionsmuster eine Low-Side Treiberstufe zu implementieren.

Zur Ansteuerung der OLEDs für das Funktionsmuster 2 wird eine parametrisierbare Stromquelle benötigt, welche folgende Funktionen realisieren muss:

- Einstellbarer Maximalstrom: Dieser wird benötigt, um die einzelnen Anzeigen entsprechend ihrer Nutzungsdauer auf eine konstante Leuchtdichte nachzuregeln.
- PWM-Dimm-Eingang: Die Stromquelle muss mit einer globalen PWM (Pulsweitenmodulation) gedimmt werden können. Diese PWM wird verwendet, um alle Anzeigen entsprechend dimmen zu können. Dies wird beim Umschalten zwischen dem Tag- und Nachtbetrieb benötigt. Desweiteren ist oftmals ein stufenloses Dimmen gefordert, welche ebenfalls über die PWM realisiert werden kann.

Hierfür wurde eine für OLEDs optimierte Stromquelle entwickelt. Die Schaltung ist so ausgelegt, dass der Maximalstrom über eine Analogspannung eingestellt werden kann. Diese wird von einem DA-Wandler-Ausgang zur Verfügung gestellt. Desweiteren können mehrere dieser Stromquellen über einen gemeinsamen PWM-Eingang entsprechend gedimmt werden. Die Abbildung 37 zeigt den Schaltplan der Low-Side Stromquelle.

#### Funktionsbeschreibung der Stromquelle (Abbildung 37):

Die Leuchtdichte der OLED (~Strom durch die OLED) wird über zwei Größen gesteuert. Zum einen durch eine Gleichspannung aus einem DA-Wandler ( $U_{DA}$ ) und zum anderen durch eine PWM. Dies ermöglicht es, die Leuchtdichte mit zwei voneinander unabhängigen Größen zu steuern.

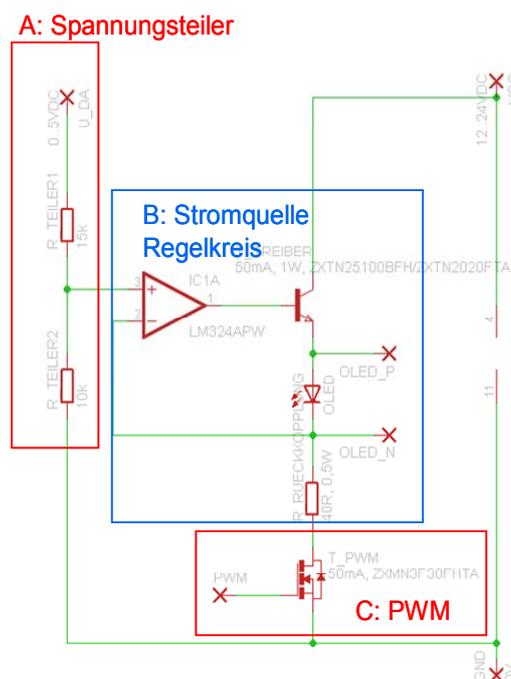


Abbildung 37: Schaltplan der Low-Side Stromquelle

A: Spannungsteiler

Eingangsgröße vom DA-Wandler (Wird nicht benötigt, wenn DA-Wandler 0...2V (statt 0...5V) liefert)

B: Stromquelle Regelkreis/ Spannungsgesteuerte Stromquelle

- LM324APW: Operationsverstärker
- T\_TREIBER: Treibertransistor, der die Leistung für die OLED generiert. Muss bei aktueller Konfiguration mindestens 1W Verlustleistung und die maximale Spannung OLED Spannung aushalten
- R\_RUECKKOPPLUNG: Bestimmt den maximalen Strom durch die OLED ( $R\_RUECKKOPPLUNG = OP\_Eingangsspannung / gewünschter\_OLED\text{-Strom}$ )

C: PWM

Eingangsgröße Spannungs-PWM:

- Taktet den Strom durch die OLED (high-aktiv / nichtinvertierend)
- T\_PWM: Muss für den Strom durch die OLED ausgelegt sein

VCC

Bei Wahl der Versorgungsspannung muss ein Kompromiss aus 2 gegensätzlichen Interessen gefunden werden:

- Um die OLED möglichst lange betreiben zu können muss eine hohe Spannungsreserve zur Verfügung stehen, um der Degradation der OLED entgegenwirken zu können, d.h. VCC soll möglichst groß sein
- Die Schaltung ist ein Linearregler: Die Spannung, die nicht an der OLED abfällt, muss also vom Treibertransistor ‚aufgenommen‘ werden. Dieser muss für die in ihm umgesetzte Leistung ausgelegt sein

Die Wahl von VCC ist also hauptsächlich vom Innenwiderstand der OLED abhängig. Hieraus ergeben sich die Power-Dissipation des Treibertransistors und der Wirkungsgrad der Quelle.



### 2.1.20 Auswahl und Test der optischen Sensoren (Empfindlichkeit, spektrale Eigenschaften)

Zum Erfassen der Leuchtdichte der OLED-Anzeige wird ein Sensor hinter das OLED montiert. Dies ist in Abbildung 38 dargestellt. Bei dem Sensor handelt es sich um einen TAOS Farbsensor vom TYP TCS34xx. Der Sensor verfügt über eine digitale I2C-Schnittstelle und ist geeignet um die sehr geringe Leuchtdichte, welche durch das Glas und den Lichtleiter, auf die Sensorfläche reflektiert wird, zu detektieren. Der verwendete Lichtleiter wurde eigens von dem Projektpartner Opsira entwickelt.

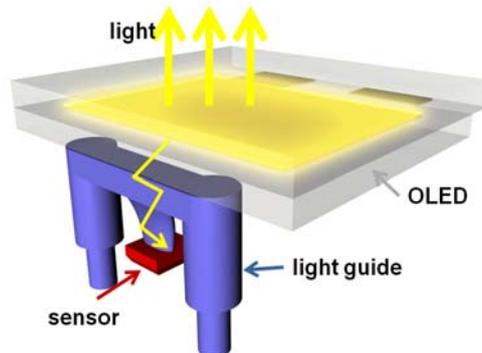


Abbildung 38: Anordnung des Sensors hinter der OLED Anzeige

Der TCS34xx Sensor ist in einem 8-Pin Ball Grid Array Gehäuse und hat ein äußeres Abmaß von 2095  $\mu\text{m}$  x 1875  $\mu\text{m}$ .

Abbildung 39 zeigt die spektrale Empfindlichkeit der einzelnen Sensorzellen. Diese Aufteilung ermöglicht eine Messung von beliebigen OLED Spektren (Farben), sowie die Ermittlung der Farbverschiebung der OLED-Materialien über die Nutzungsdauer.

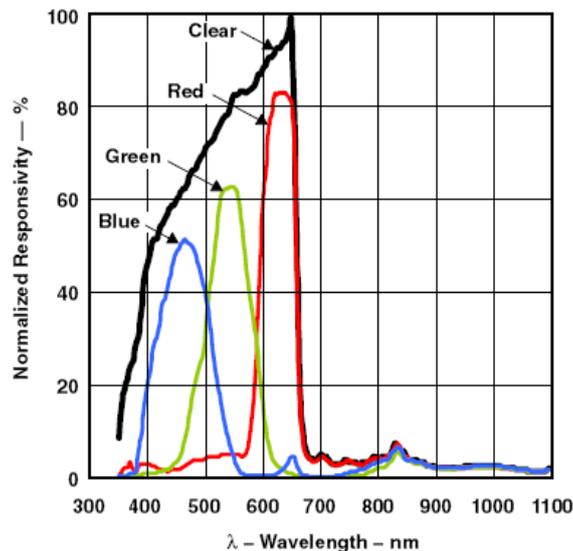


Abbildung 39: Spektrale Empfindlichkeit des TAOS TCS34xx Sensors (vgl. Datenblatt)



### 2.1.20.1 Messung der OLED-Leuchtdichte mit und ohne Lichtleiter

Bei den Messungen wurden schrittweise Ströme von 0mA bis 21mA eingestellt. Die Leuchtdichte der OLED wurde mittels Lichtleiter und Sensor gemessen. Die Messwerte sind Counts (der vom Sensor gelieferte Bitwert).

Ein Vergleich der beiden Messergebnisse in Abbildung 40 und Abbildung 41 zeigt, dass die Empfindlichkeit des Sensors ausreichend ist, um die Leuchtdichte der OLED zu erfassen. Gleichzeitig zeigt der Vergleich, dass der Lichtleiter das zu messende Signal um den Faktor 4 verstärkt. Weitere Verstärkung des Signals kann durch das Anbringen eines Reflektors an der Vorderseite der OLED erreicht werden.

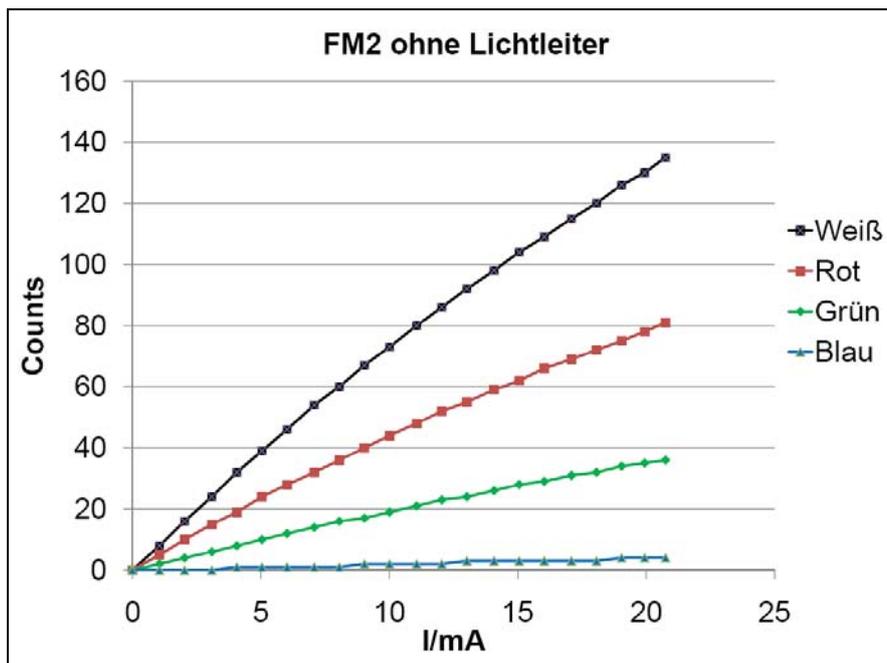


Abbildung 40: Referenzmessung des Lichtsensors ohne Lichtleiter

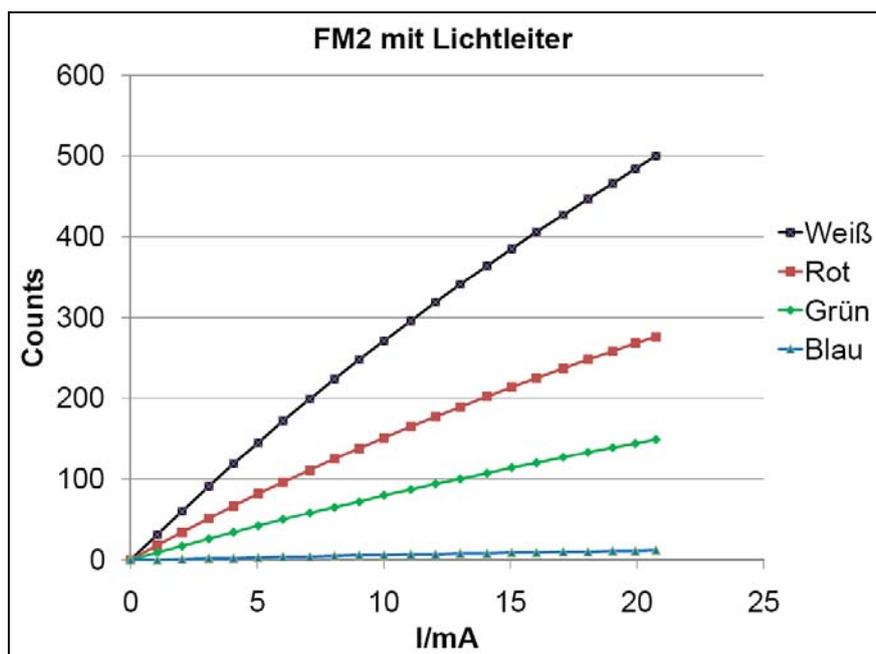


Abbildung 41: Messung des Lichtsensors mit Lichtleiter



## AP P6: Elektronik-Zusammenführung inkl. Mikrocontroller

Durchführungszeitraum: 2008

### 2.1.21 Aufbau des Prototyps

In Zusammenarbeit mit der Fa. Comtronic und Fa. Opsira wurde 2008 ein erster Prototyp aufgebaut, welcher angelehnt an typische Avionik-Panels entwickelt wurde. Dieser Prototyp wird nachfolgend als FM2 bezeichnet.

Das Funktionsmuster 2 (FM2) zeigt die Integration eines einzelnen OLED-Segementes inklusive Lichtsensor für den Betrieb mit konstanter Leuchtdichte. Somit ist es mit diesem Prototyp möglich, die Betriebsparameter des Lichtsensors auszutesten und die optimalen Einstellungen für diese Anwendung zu ermitteln. Desweiteren wird hierbei die Kontaktierung der OLED mittels Zebraleitgummi getestet. Durch die Integration des optischen Feedbacks kann auch die Regelungssoftware für den Betrieb der OLED mit konstanter Leuchtdichte evaluiert werden.

#### 2.1.21.1 Hardwareentwicklung FM2

Die Hardware des FM2 wurde entsprechend den Vorgaben von Comtronic entwickelt und ermöglicht es, ein OLED-Segment derart anzusteuern, dass dieses eine konstante Leuchtdichte hält. Dazu wird das optische Feedback des Lichtsensors verwendet und über eine P-Regelung der Strom durch die OLED regelmäßig angepasst.

Abbildung 42 zeigt die entwickelte Ansteuerelektronik für das FM2, Abbildung 43 das fertige Funktionsmuster 2 mit geöffnetem Deckel.



Abbildung 42: Ansteuerelektronik FM2



Abbildung 43: Funktionsmuster 2

Zur Kontaktierung des OLED-Segments wurde eine kleine Adapterplatine entwickelt, welche über einen Zebra-Leitgummi auf das OLED gepresst wird. Das OLED selbst wird in einer Frontplatte (siehe und Abbildung 45) gehalten.

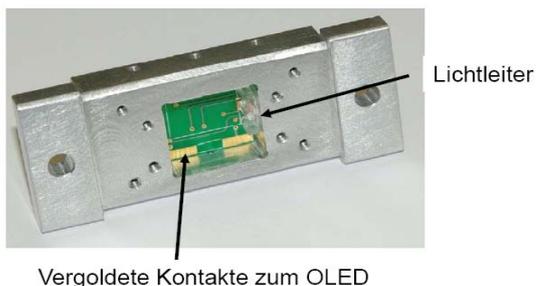


Abbildung 44: Frontplatte mit montierter Adapterplatine

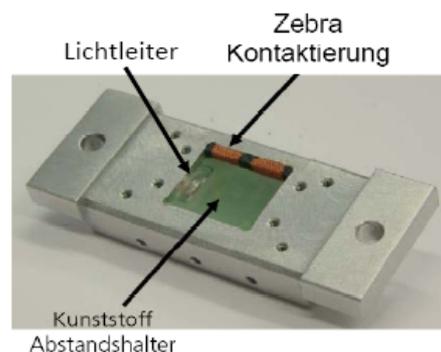


Abbildung 45: Frontplatte mit Lichtleiter und Zebra-Leitgummi



### 2.1.21.2 Hardware / Pinbelegung

Das FM2 verfügt über eine 9-pol Sub-D Buchse welche gemäß Abbildung 46 belegt ist.

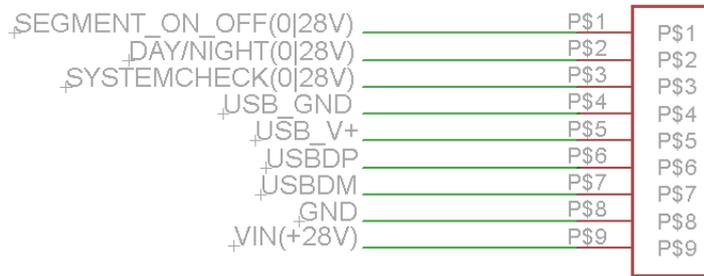


Abbildung 46: Belegung der Sub-D Buchse

Dabei ist zu beachten, dass die Eingänge « Low-Aktiv » sind. Das bedeutet, dass wenn z.B. am Pin « Segment\_On\_Off » keine Spannung angelegt wird, das Segment eingeschaltet ist. Durch Anlegen einer Spannung wird das Segment ausgeschaltet. Dies entspricht den Forderungen für Anwendungen in der Luftfahrt.

Folgende Funktionalität wird beim Anlegen der Versorgungsspannung ermöglicht:

- « Segment\_On\_Off » kann zum Ein- / Ausschalten des Segmentes genutzt werden.
- « DAY/NIGHT » kann zum Umschalten zwischen Tag- und Nachtbetrieb verwendet werden.

Wenn nur die Versorgungsspannung angelegt wird, schaltet sich das Segment ein und befindet sich im Tag-Modus (Maximale Leuchtdichte).

### 2.1.21.3 Maximum Ratings

Die nachfolgende Tabelle gibt die Maximum Ratings des FM2 an.

Tabelle 4: Maximum Ratings FM2

	Min	Typ	Max
<b>Versorgungsspannung</b>	12V	28V	32V
<b>High-Pegel an den Steuereingängen</b>	12V	28V	32V
<b>Low-Pegel an den Steuereingängen</b>	0V	0V	8V

### 2.1.21.4 USB Kommunikation

Zur Erfassung von Messdaten oder zur Anpassung von Parametern dient eine USB-Schnittstelle, die in diesem Prototyp integriert wird. Die USB-Kommunikation wird über einen FTDI USB Baustein realisiert und bildet ein serielles Protokoll ab.

Die USB-Schnittstelle bietet folgende Möglichkeiten:

- Aufspielen neuer Firmwarestände
- Kommunikation mit dem FM2 über ein Terminal-Programm

Über das Terminalprogramm können folgende Funktionen des FM2 genutzt werden:

<SetDAC0,0...255>	Festlegen des Stroms durch die OLED
<GetADC4>	Messen der Spannung über dem OLED
<GetLI2C>	Messen der Leuchtdichte mit dem Lichtsensor
<SetOLED,0...1>	Ein- / Ausschalten der OLED
<SetPWMH,0..255>	Festlegen der High-Periode für die PWM
<SetPWML,0...255>	Festlegen der Low-Periode für die PWM
<PWM1OFF>	Ausschalten der PWM



## AP P7: Messung und Optimierung Ansteuerung und Sensorik

Durchführungszeitraum: 2008 und 2009

### 2.1.22 Anpassungen am Lichtsensor

Um den Lichtsensor sinnvoll einzusetzen werden in den nachfolgenden Unterkapiteln einige Anpassungen an der Lichtsensorregelung vorgenommen.

#### 2.1.22.1 Kalibrierung auf $\text{cd/m}^2$ - Werte

Zur besseren Anpassung der OLED-Leuchtdichte an die aus Spezifikationen geforderten Leuchtdichtewerte wurde eine Kalibrierung der Sensormesswerte (Bit-Werte) auf Leuchtdichtewerte ( $\text{cd/m}^2$ ) direkt im Mikrocontroller implementiert. Somit ist es möglich, eine OLED-Anzeige direkt auf eine geforderte Leuchtdichte einzustellen.

Die Kalibrierung kann auf Grund eines linearen Zusammenhangs zwischen Bit-Wert und Leuchtdichtewert durch die Multiplikation des Bit-Werts mit einem Faktor erreicht werden. Die Messungen an unterschiedlichen OLED-Anzeigen, insbesondere bei unterschiedlich beschrifteten Deckfolien, haben jedoch gezeigt, dass die Bestimmung des Kalibrierungsfaktors für jeden Lichtsensor einmalig durchgeführt werden muss (Abbildung 47). Ebenfalls kommt es bei der Montage der Lichtleiter und den Fertigungstoleranzen der Leiterplatten mit den Lichtsensoren zu einem Versatz der Optik.

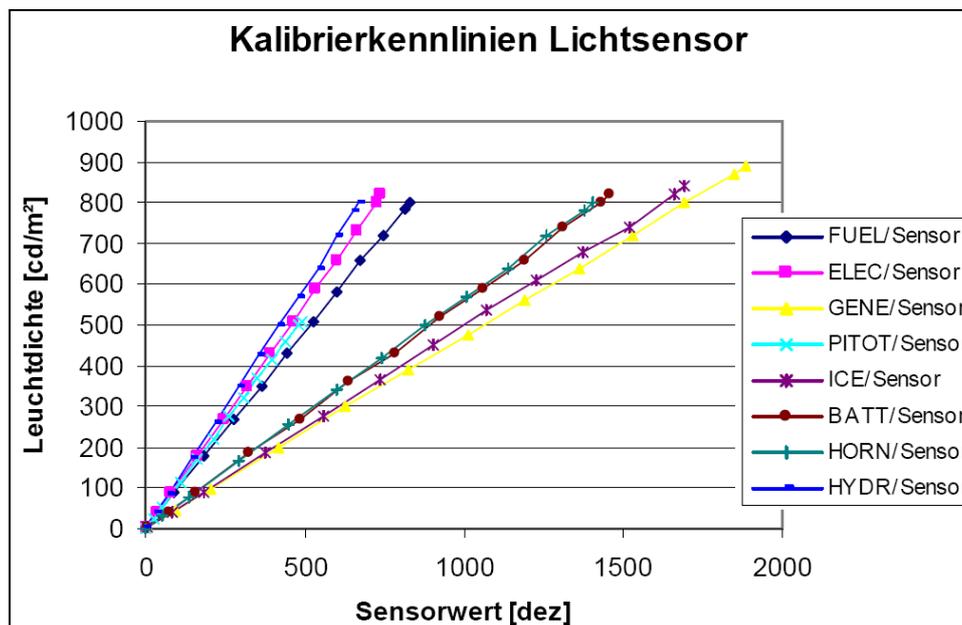


Abbildung 47: Kalibrierkennlinien für unterschiedlich beschriftete Symbolfolien

Eine Kalibrierung der OLED-Anzeigen bei der End Of Line Prüfung kann automatisiert durchgeführt werden und ist im Vergleich zu den aktuellen LED-Produkten kein zusätzlicher Aufwand. So müssen bei den LED-Produkten die LEDs vorsortiert und bei der End of Line Prüfung durch Anpassen der Vorwiderstände manuell auf eine homogene Leuchtdichte abgestimmt werden.

Durch die Verwendung des Lichtsensors kann die Abstimmung der Anzeigen automatisiert durchgeführt werden.



## 2.1.22.2 Windows Test Software für den Lichtsensor

Zur Qualifizierung der Lichtsensoren wurde eine Software in Visual Basic erstellt, welche es ermöglicht die Einstellungen des Lichtsensors anzupassen und zu evaluieren.

Die nachfolgende Abbildung 48 zeigt die einstellbaren Parameter in der Software. Mit Hilfe der Software konnte der geeignete Betriebsmodus der Sensoren (16-fache Verstärkung, Belichtungsdauer 12ms) evaluiert werden.

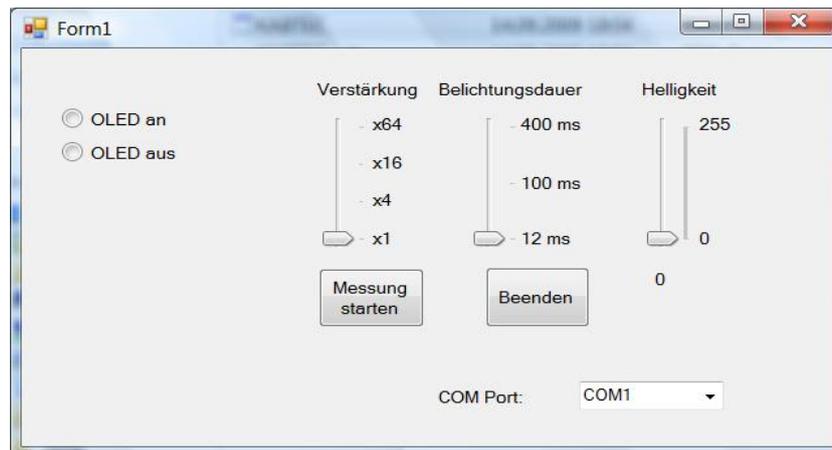


Abbildung 48: Parametriersoftware für die Lichtsensoren

In dem oben beschriebenen Betriebsmodus können die OLED-Anzeigen mit 16-bit Sensorauflösung ohne Bereichsumschaltung selbst bei Umgebungslicht vernünftig gemessen werden. Der Verzicht auf die Bereichsumschaltung bringt den Vorteil, dass bei der End Of Line Prüfung/Kalibrierung eine einzelne Messung an den Anzeigen ausreicht.

## 2.1.23 Software und Algorithmen-Verifikation

Um den Betrieb einer OLED bei konstanter Leuchtdichte zu realisieren, wird in die Software ein Regelverfahren gemäß Abbildung 49 implementiert. Mit diesem System lässt sich in Abhängigkeit der vom Lichtsensor ermittelten aktuellen Leuchtdichte der Strom solange nachregeln bis die vorgegebene Soll-Leuchtdichte erreicht ist.

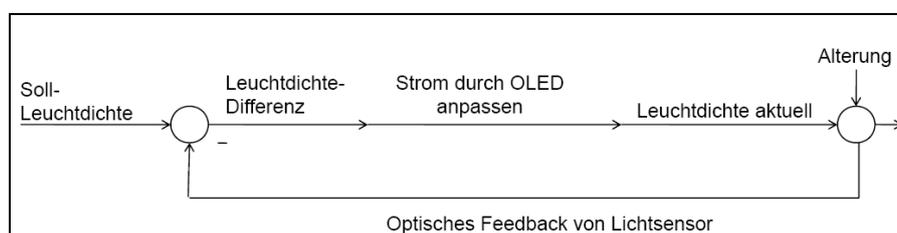


Abbildung 49: Funktionsprinzip der Regelung

Um eine zuverlässige Nachregelung sicherzustellen und um sicher Burn-In zu vermeiden, müssen folgende Anforderungen an die Software gestellt werden:

- Messung der Leuchtdichte erfolgt Umgebungslichtunabhängig
- Schwingfreier Regelkreis
- Möglichst geringe Anzahl an Messungen (→ Nachregeldauer < 5s)
- Genauigkeit von  $\pm 5\%$
- Nachregelung erfolgt zu definierten Zeitpunkten und nicht dauerhaft

Zur Wahl eines geeigneten Regelverfahrens wurde sowohl ein P-Regler als auch ein I-Regler in Matlab simuliert. Es zeigt sich, dass sich die Geschwindigkeiten und Genauigkeiten, bezogen auf die Anwendung, nicht signifikant voneinander unterscheiden. Da der I-Regler jedoch die Kapazitäten des  $\mu$ -Controllers stärker auslasten würde, wird die Programmierung eines P-Reglers präferiert.

#### Umgebungslichtunabhängige Messung der Leuchtdichte:

Um eine Verfälschung des Leuchtdichte-Messwerts durch Umgebungslicht zu vermeiden, muss die Messung Umgebungslichtunabhängig erfolgen. Hierfür werden drei Messungen hintereinander ausgeführt, wobei die erste und dritte Messung jeweils bei nichtleuchtender OLED durchgeführt werden und somit nur das Umgebungslicht gemessen wird. Bei der zweiten Messung wird die OLED-Leuchtdichte mit Umgebungslicht gemessen. Unterscheiden sich die beiden Umgebungslichtmesswerte nicht signifikant voneinander, ist davon auszugehen, dass bei der zweiten Messung das Umgebungslicht ebenfalls konstant war. In diesem Fall wird der Mittelwert aus den beiden Umgebungslichtmessungen gebildet und von der zweiten Messung abgezogen. Andernfalls erfolgt der Messdurchlauf erneut durchgeführt.

#### Schwingungsfreier Regelkreis und möglichst geringe Anzahl an Messungen:

Um sicherzustellen, dass die Regelung einen Endwert erreicht, und um gleichzeitig eine möglichst geringe Anzahl an Messungen zu erhalten, muss der Proportionalitätsfaktor zwischen Leuchtdichtedifferenz und Stromerhöhung entsprechend gewählt werden. Ist der Faktor zu groß, treten beim Nachregeln von nicht bzw. kaum gealterten OLEDs Schwingungen auf. Wird der Faktor hingegen zu klein gewählt, wird bei der Regelung von stark gealterten OLEDs eine zu hohe Anzahl an Messungen benötigt. Der Idealwert ist also gerade so groß, dass bei der Regelung einer neuen OLED noch keine Schwingungen auftreten. Dieser Wert wird mittels einer Matlab-Simulation ermittelt.

#### Genauigkeit von $\pm 5\%$ :

Um Burn-in zu vermeiden, darf der Leuchtdichteunterschied zwischen zwei benachbarten OLEDs maximal 10% betragen (siehe Kapitel 2.4.4). Damit ergibt sich für eine einzelne OLED jeweils eine zulässige Abweichung von  $\pm 5\%$ . Um dies zu garantieren wird der Strom solange nachgeregelt, bis die Abweichung in einer definierten Toleranzgrenze liegt.

#### Nachregelung erfolgt zu definierten Zeitpunkten:

Da aufgrund der Umgebungslichtunabhängigen Messungen die OLEDs während der Regelung sichtbar blinken, ist es empfehlenswert das Programm lediglich beim Systemstart auszuführen. Die Gefahr des Burn-ins besteht trotzdem nicht (vgl. Kapitel 2.4.4).

### 2.1.24 Genauigkeitsuntersuchungen

Um die Software zur Nachregelung zu verifizieren, muss die Alterung einer OLED nachgestellt werden. Da die Alterung einer OLED eine Abnahme des Linearitätsfaktors zwischen Versorgungsstrom und OLED-Leuchtdichte bedeutet, kann dies durch Schaltung eines Widerstands parallel zur OLED realisiert werden. Aufgrund der damit verbundenen Leuchtdichteabnahme wird die Regelschleife die „Alterung“ durch Erhöhen des Stroms kompensieren.

Bei der Verifizierung der Software soll eine Regelung auf  $1000\text{cd/m}^2$  erfolgen. Der Toleranzbereich wird auf  $\pm 4\%$  festgelegt. Die OLED wird mit einer Leuchtdichte innerhalb des Toleranzbereichs von ca.  $1020\text{cd/m}^2$  gestartet. Anschließend wird ein Widerstand parallel zur OLED geschaltet. Die Wahl des Widerstands erfolgt derart, dass dieser eine Modifizierung der Leuchtdichte um ca. 8% hervorruft. Desweiteren wird die Regelung alle 12s aktiviert. Das Ergebnis in Abbildung 50 zeigt, dass die Regelung bis zum Erreichen der akzeptierten Abweichung von maximal  $\pm 4\%$  erfolgt. Die Genauigkeit ist wie spezifiziert  $< 4\%$ . In der finalen Softwareversion des Funktionsmusters wird die Genauigkeit auf  $\pm 1\%$  festgelegt. Damit wird sichergestellt, dass selbst mit Rundungs-, Sensor- und Kalibrierungsfehlern die Genauigkeit von 5%, und damit eine maximale Leuchtdichteabweichung zwischen zwei benachbarten OLEDs von 10%, eingehalten wird.

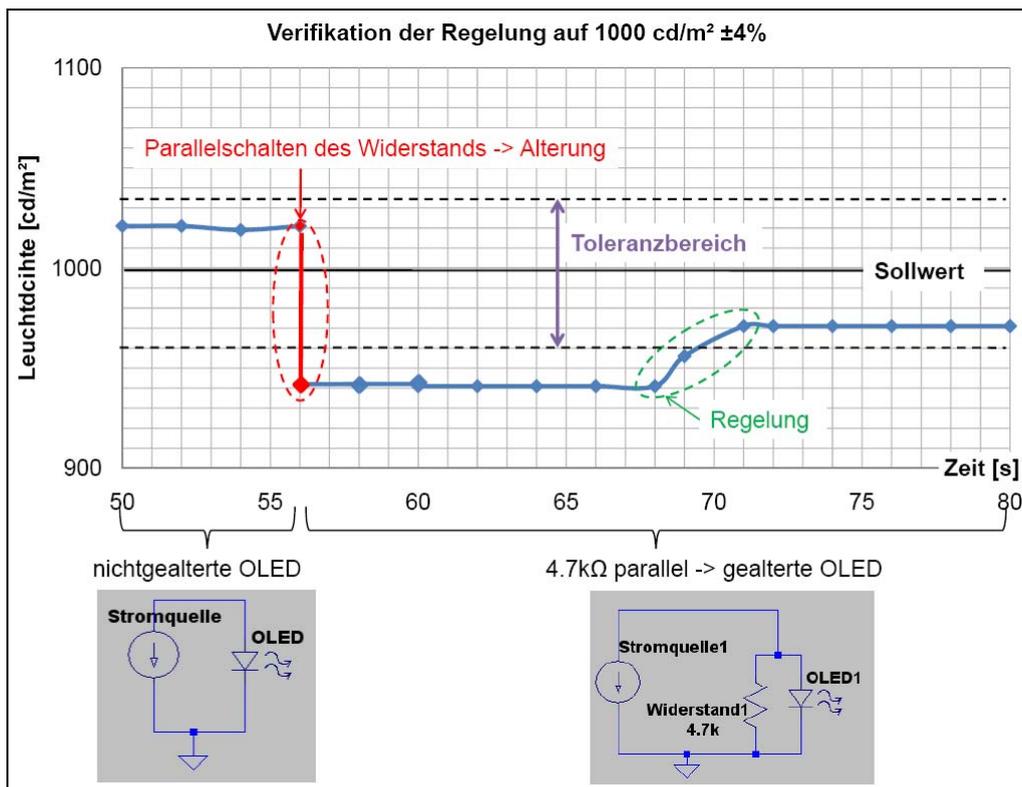


Abbildung 50: Test des Regelverfahrens



### 2.1.24.1 Verifikation der Ansteuerung im Lebensdauerest

Zur Verifikation der Ansteuerung wurde diese für mehrere Lebensdaueruntersuchungen verwendet. Bei den Lebensdaueruntersuchungen wurde die Ansteuerelektronik jeweils für mehr als 1000h bei einer Umgebungstemperatur von 75°C, 50°C und 25°C betrieben.

Während der Lebensdaueruntersuchungen wurden die Ausgangsströme der OLED-Treiber, die Datenkommunikation zum PC und die Funktionsfähigkeit des Regelverfahrens regelmäßig überprüft. Die Genauigkeit der Lichtsensoren wurde durch zusätzliche Messungen mit einer Leuchtdichtekamera überwacht.

Abbildung 51 zeigt zwei Funktionsmuster während einer Lebensdaueruntersuchung (vgl. Kapitel 2.1.31) im Klimaschrank.

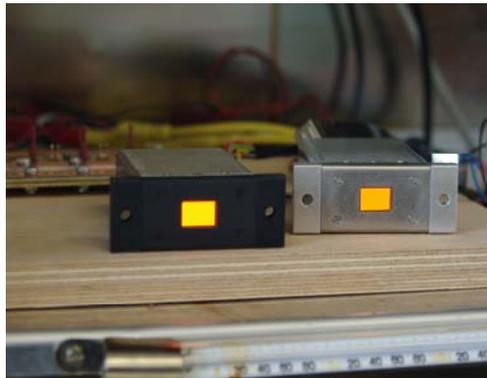


Abbildung 51: FM2 im Klimaschrank für Lebensdaueruntersuchungen

Bei den Versuchen zeigten die Elektronik, die Kontaktierung der OLED mittels Zebraleitgummi, und die Sensorik keinerlei Einflüsse hinsichtlich der Temperatur. Ausführlichere Untersuchungen hierzu wurden bei der Fa. Comtronic durchgeführt. Aufgrund unserer Untersuchungen ist davon auszugehen, dass dieser Systemaufbau für die Integration in ein luftfahrt-nahes Funktionsmuster geeignet ist.

## AP P8: Systemoptimierung (Lebensdauer, Elektronik, HW & SW)

Durchführungszeitraum: 2009

Mit dem folgenden Prototyp wird ein luftfahrtnahes Funktionsmuster (FM 3) entwickelt. ‚Luftfahrtnah‘ bedeutet hierbei, dass der Prototyp in Anlehnung an bereits bestehende, luftfahrttaugliche Warning Panels entwickelt und aufgebaut wird. Dazu ist es nötig, insgesamt acht voneinander unabhängige OLED-Anzeigen zu integrieren. Desweiteren soll die Geometrie des Prototyps sehr stark an bereits bestehende Warning-Panels erinnern. Sowohl die Sensorik als auch die elektronische Ansteuerung wird prinzipiell vom Funktionsmuster 2 übernommen. Da im Funktionsmuster 3 jedoch acht OLEDs, und damit acht Lichtsensoren betrieben werden sollen, sind einige Anpassungen bezüglich der Elektronik und der Sensorik nötig, die in den folgenden Unterkapiteln beschrieben sind. Bei der Entwicklung der Ansteuerelektronik wurde darauf geachtet, dass die verwendeten Bauteile für die Nutzung in der Luftfahrt geeignet sind (davon ausgeschlossen ist die PC-Kommunikation, da diese nur für Testzwecke integriert wurde).

### 2.1.25 Verwendung der Lichtsensoren an einem I2C-Multiplexer

Der verwendete Lichtsensor ist auf Grund seiner hohen Empfindlichkeit und seiner variablen Auflösung besonders gut für die Messung der OLED-Leuchtdichte geeignet. Ein Nachteil ist jedoch die Anbindung des Sensors über einen digitalen Bus an den Mikrocontroller. Der Sensor kann nur über einen I2C-Bus mit dem Mikrocontroller verbunden werden. Typischerweise hat jedes an einen I2C-Bus angeschlossene Gerät eine eigene Adresse. Da bei dem verwendeten Lichtsensor die Adresse fest vorgegeben, und bei allen Sensoren gleich ist, kann in einem I2C-Bus nur ein Lichtsensor verwendet werden.

Um mehrere I2C-Sensoren an einem Mikrocontroller verwenden zu können, wurde ein I2C-Multiplexer Baustein integriert. Dieser ermöglicht die Anbindung von insgesamt 8 Lichtsensoren pro I2C-Bus.

Die Abbildung 52 zeigt den Schaltplan für den zusätzlichen I2C-Multiplexer. Über ein Kommunikationsprotokoll kann vom Mikrocontroller ausgewählt werden, mit welchem Lichtsensor kommuniziert werden soll.

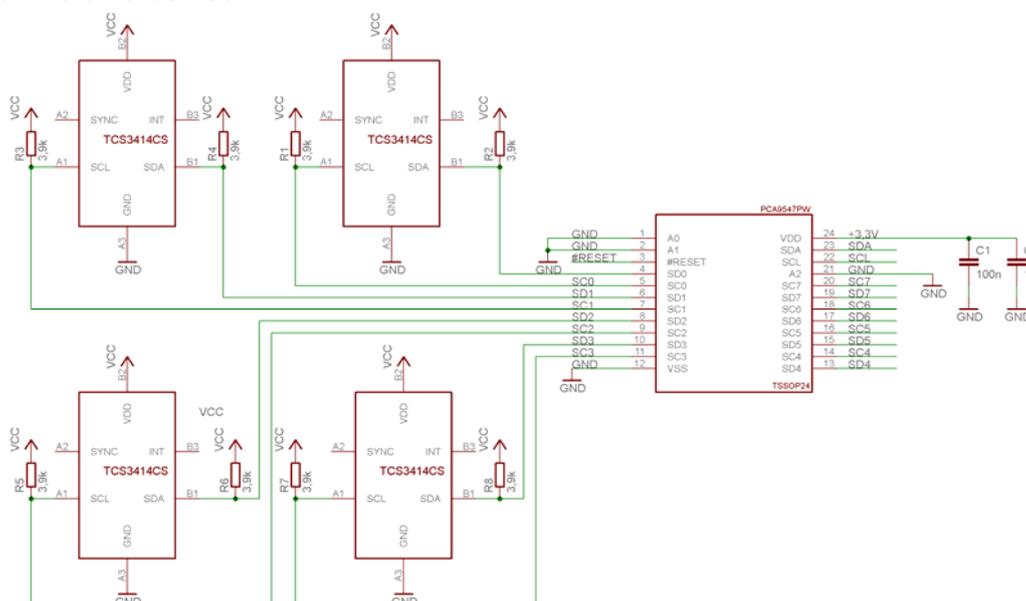


Abbildung 52: Schaltplan I2C-Multiplexer mit 4 Lichtsensoren



### 2.1.26 Miniaturisierung der Stromquelle

Die entwickelte Stromquelle, welche als OLED-Treiber genutzt wird, wurde hinsichtlich Kosten und Layoutfläche optimiert. Dabei wurde darauf geachtet, dass die verwendeten Bauteile für Luftfahrtanwendungen geeignet bzw. freigegeben sind. Abbildung 53 zeigt eine 8-fach OLED Treiberstufe, inkl. DA-Wandler, welche insgesamt acht Ausgänge mit jeweils 100mA treiben kann.

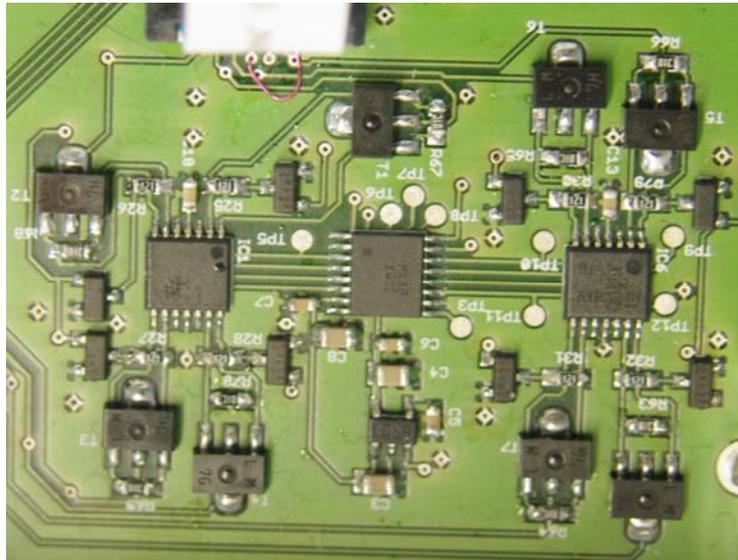


Abbildung 53: Optimiertes Layout der Stromquelle

### 2.1.27 Anpassen der Elektronik auf Einbauerfordernisse

Beim finalen Funktionsmuster FM3 ist sowohl die Elektronik als auch die Hardware derart ausgelegt, dass 8 OLEDs unabhängig voneinander bei konstanter Leuchtdichte betrieben werden können. Wie auch bei dem vorhergehenden Funktionsmuster wird hier eine Adapterplatine zur Integration der Lichtsensoren und zur Kontaktierung der OLEDs via Zebraleitgummi verwendet (Abbildung 54).

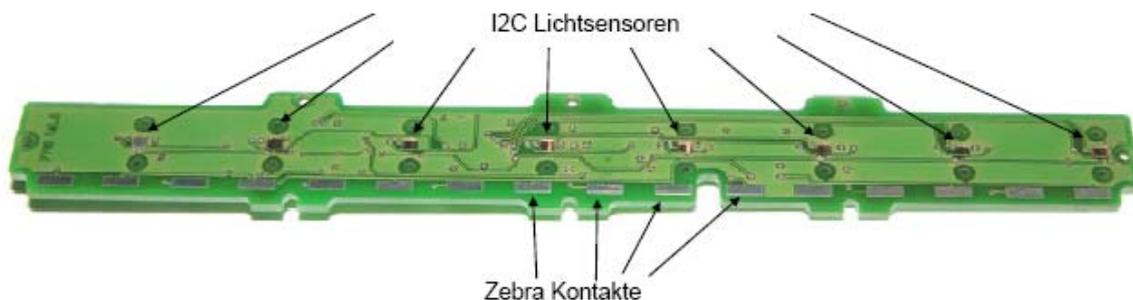


Abbildung 54: Vorderseite der Adapterplatine des finalen Funktionsmusters 3

Des Weiteren ist auf der Rückseite der Adapterplatine der I2C-Multiplexer zum separaten Ansprechen der Lichtsensoren integriert (Abbildung 55). Die Verbindung zwischen der Adapterplatine und der Platine, die die Ansteuerelektronik erhält, wird wie beim vorhergehenden Funktionsmuster (FM 2) mit einem Folienkabel realisiert.

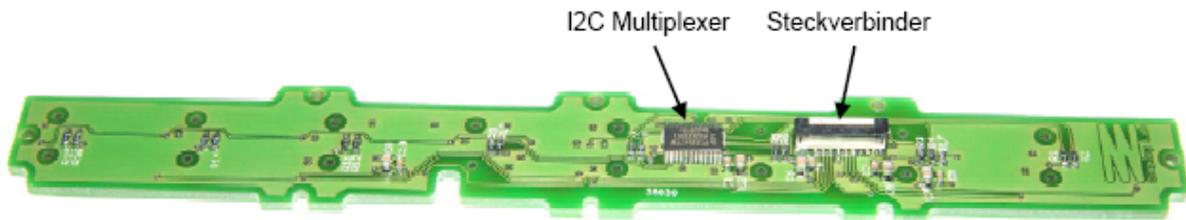


Abbildung 55: Rückseite der Adapterplatine des finalen Funktionsmusters 3

Analog zum FM2 sitzt auch beim Funktionsmuster FM3 die Ansteuerelektronik auf einer separaten Platine (Abbildung 56). Diese beinhaltet die Spannungsversorgung, die 8-fach OLED-Treiberstufe (inklusive DA-Wandler), einen Mikrocontroller mit entsprechender Software, zwei Taster zum Zurücksetzen des Mikrocontrollers, sowie eine USB-Schnittstelle. Dabei dient die USB-Schnittstelle zur Programmierung des Mikrocontrollers und zur einfachen Übersendung von Parametern an die Software oder von Messdaten an den PC.

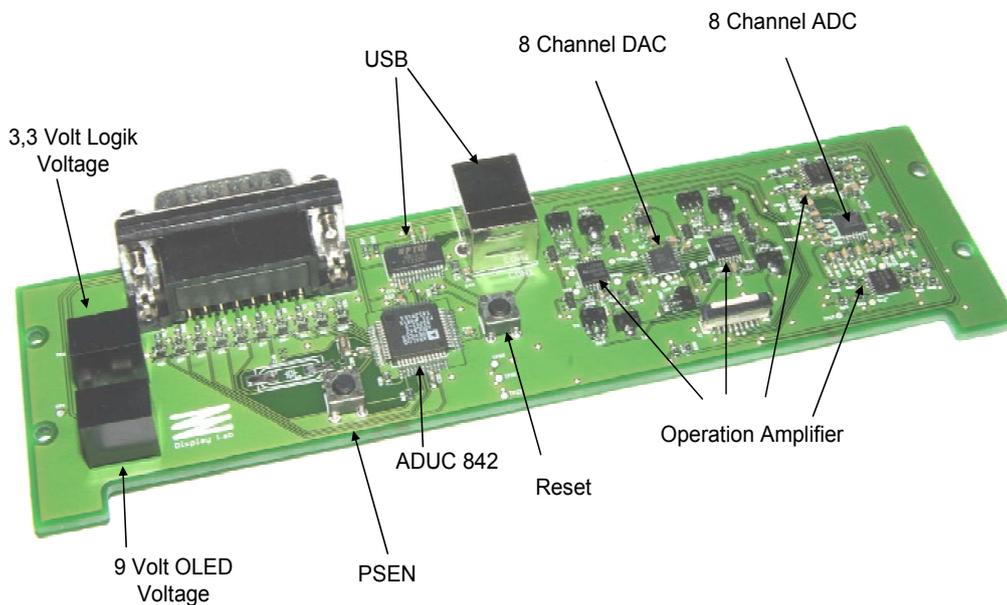


Abbildung 56: Platine mit Ansteuerelektronik des finalen Funktionsmusters 3

Abbildung 57 zeigt das zusammengesetzte Funktionsmuster FM3. Hierbei sind acht OLEDs integriert, die durch unterschiedlich beschriftete Symbolfolien abgedeckt sind. Die OLEDs können unabhängig voneinander betrieben werden und weisen auf der Rückseite jeweils einen eigenen Lichtsensor auf. Dadurch ist es beispielsweise möglich, einzelne OLEDs anzubzw. auszuschalten, die Segmente auf unterschiedliche Leuchtdichten zu regeln, oder verschiedene PWM-Tastverhältnisse zu benutzen.



Abbildung 57: Funktionsmuster FM3

Zur Verifikation der Ansteuerung wurde diese für die Lebensdaueruntersuchung in Kapitel 2.1.31 verwendet. Hierbei wurde dieses für mehr als 1000h bei 75°C betrieben. Somit konnten auch eventuelle Einflüsse der Temperatur auf die Elektronik, die Sensorik und die Kontaktierung untersucht werden. Während der Lebensdaueruntersuchungen wurden die Ausgangsströme der OLED-Treiber, die Datenkommunikation zum PC und die Funktionsfähigkeit der Regelungssoftware regelmäßig überprüft.

Es zeigte sich, dass die Hardware unabhängig von der Temperatur fehlerfrei funktioniert. Auch der Dauerbetrieb konnte auf Messen und Präsentationen erfolgreich absolviert werden.

Weitere Untersuchungen hinsichtlich der Anforderungen aus der Luftfahrt wurden bei der Fa. Comtronic durchgeführt.



### 2.1.28 Black-Panel-Oberfläche

Als Black-Panel-Oberfläche wird die Ununterscheidbarkeit zwischen einer ausgeschalteten Leucht-Anzeige und der umgebenden Oberfläche bezeichnet. Um eine weitere Analogie zwischen den heutigen LED-Produkten und den Funktionsmustern herzustellen, wird die Realisierung des sog. Black-Panel-Effekts angestrebt. Da die Methode mittels stark getrübbten Rauchglases, wie sie bei LED-Produkten Anwendung findet, für OLEDs aufgrund der resultierenden Lebensdauerverkürzung äußerst ungeeignet scheint, wird ein neues Verfahren getestet.

Bei der neuen Methode werden durch optische Filter die Reflexionseigenschaften der umgebenden Oberfläche an die des ausgeschalteten Symbols angepasst. Dazu ist ein Aufbau mit einem linearen Polarisationsfilter, einer  $\lambda/4$ -Verzögerungsschicht und einer Spiegelschicht nötig (vgl. Abbildung 58).

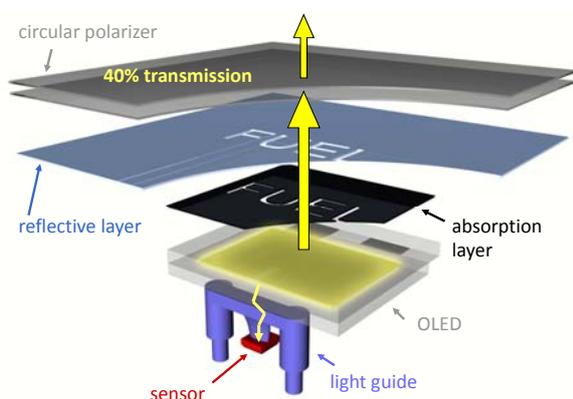


Abbildung 58: Aufbau zur Realisierung des Black-Panel-Effekts

Dieser Schichtaufbau führt dazu, dass einfallendes Umgebungslicht durch den linearen Polarisationsfilter und die  $\lambda/4$ -Verzögerungsschicht zirkular polarisiert wird. In diesem Zustand trifft das Licht entweder auf die zusätzlich eingeführte Spiegelschicht, oder auf die spiegelnde Elektrode der OLED. Da die Spiegeleigenschaften hierbei näherungsweise gleich sein sollten, wird das Licht in gleicher Weise reflektiert und erfährt eine Änderung der Rotationsrichtung. Vor dem Austritt aus dem System muss dieses Licht die Verzögerungsschicht erneut passieren, wodurch eine lineare Polarisation derart erfolgt, dass das Licht nun entgegengesetzt dem linearen Polarisationsfilter polarisiert ist, und damit nicht aus dem System austreten kann (vgl. Abbildung 59). Das von der OLED emittierte Licht ist hingegen nicht polarisiert, wodurch dieses theoretisch zu 50% ausgekoppelt werden kann. Experimentell kann hierbei eine Transmission von über 40% ermittelt werden. Eine Realisierung mit alleinigem Rauchglas würde hierbei die Transmission auf ca. 5% beschränken.

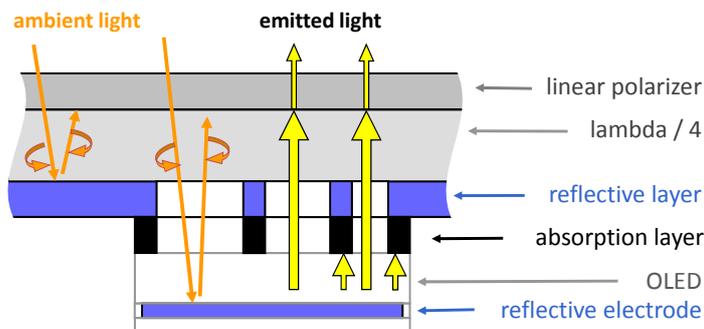


Abbildung 59: Funktionsprinzip des Black-Panel-Effekts

Diese Methode wurde zum Patent angemeldet und mehrfach veröffentlicht und präsentiert.



## AP P9: Projektbegleitende Lebensdaueruntersuchungen

Durchführungszeitraum: 2008 bis 2009

### 2.1.29 Messungen an OLED-Modulen unterschiedlicher Technologien

Die Lebensdaueruntersuchungen an Polymer-OLEDs des Fraunhofer Instituts für angewandte Polymerforschung (Golm) ergaben weitere Kenntnisse, welche für eine Modellbildung benötigt werden. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen Ergebnisse dieser Untersuchungen.

#### 2.1.29.1 Weitere Erkenntnisse aus den Lebensdauererests

Weitere Lebensdaueruntersuchungen zeigen den Einfluss der Alterung des OLED-Materials hinsichtlich der optischen Performance. Die in Abbildung 60 dargestellte Effizienz zeigt, dass bei konstantem Ansteuerstrom eine Abnahme der Lichtausbeute zu erwarten ist. Der typische Kurvenverlauf selbst (vgl. [6]) ändert sich jedoch nicht, so dass ein mathematisches Modell Anwendung finden kann.

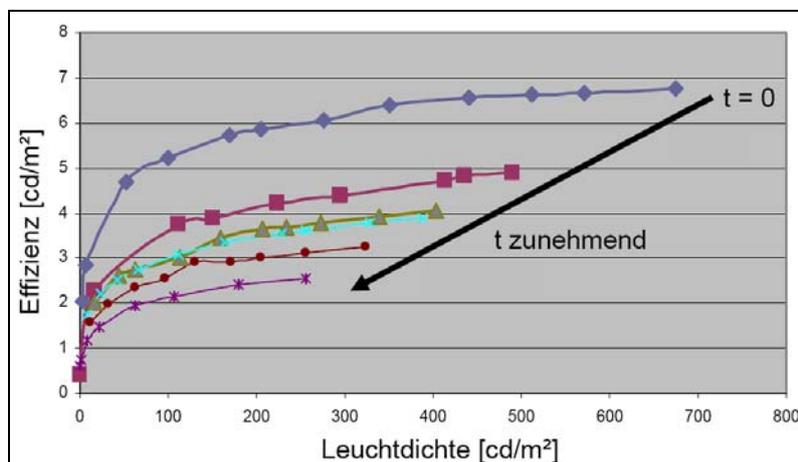


Abbildung 60: Verschlechterung der OLED Effizienz über die Lebensdauer

Eine andere Darstellung der Effizienz des OLED-Materials ist in Abbildung 61 gegeben. Hier ist die erreichbare Leuchtdichte über einen variablen Strom nach verschiedenen Betriebsdauern einer OLED dargestellt. Der typische näherungsweise lineare Kurvenverlauf (vgl. [1], S.85) bleibt auch hier während der gesamten Lebensdauer erhalten.

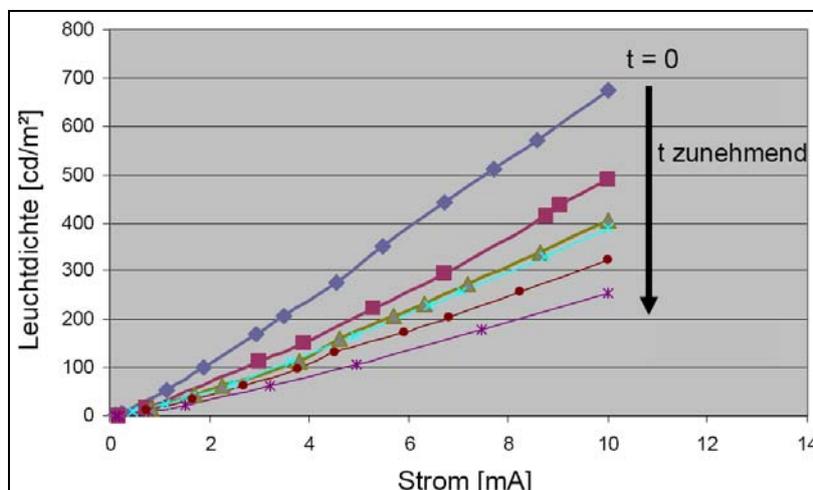


Abbildung 61: Strom-Leuchtdichte-Kennlinie in Abhängigkeit der Betriebsdauer



### 2.1.30 Weitere externe Einflüsse auf OLED-Hinterleuchtungen

Da OLEDs noch relativ empfindlich gegenüber externen Einflüssen sind, sind während der gesamten Projektdauer gelegentlich Defekte an OLEDs aufgetreten. Diese werden in den folgenden Abbildungen dargestellt und zu interpretieren versucht (vgl. [6]).

In Abbildung 62 ist ein teilweiser Ausfall des Bauteils zu erkennen. Da der Ausfall vom Rand der OLED her erfolgte, ist davon auszugehen, dass durch eine schlechte Verkapselung an dieser Stelle Luft (Sauerstoff) eindringen konnte und somit allmählich zur Zerstörung des OLED Materials führte.

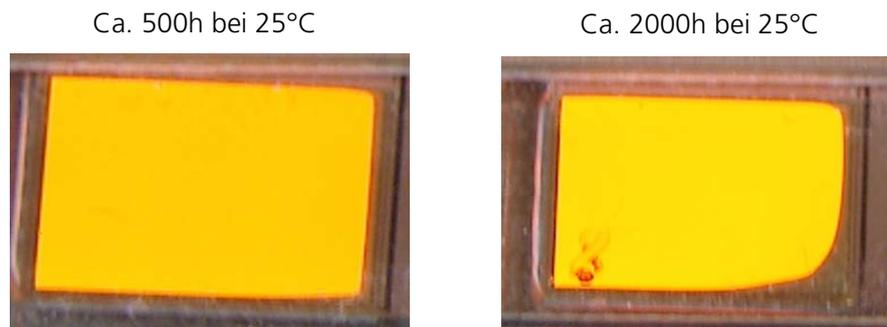


Abbildung 62: Teilweiser Ausfall des Bauteils

Durch Fremdpartikel, die während der Fertigung von OLEDs in den Schichtaufbau eingebracht werden, können ebenfalls Defekte entstehen. Unabhängig vom Material der Fremdpartikel ist während des Betriebs an den entsprechenden Stellen die Feldstärke erhöht. Das führt dazu, dass durch diese Stellen ein erhöhter Strom fließt, womit eine entsprechende Erhöhung der Leuchtdichte einhergeht. Die Folge sind heller leuchtende Bereiche, sog. Hot Spots (Abbildung 63, links).

Die OLED Materialien altern in den Hot Spots deutlich schneller. Das liegt zum einem an dem erhöhten Stromfluss, zum anderen aber auch an den von Verunreinigungen hervorgerufenen unterschiedlichen Schichtdicken. Daher kann bei OLED-Anzeigen, welche Hot-Spots aufweisen, die Bildung von Dark-Spots beobachtet werden. Nach einer längeren Nutzungsdauer fallen die Hot-Spots aus und sind als schwarze Punkte sichtbar. Hinzu kommt, dass sich diese Dark-Spots (Abbildung 63 rechts) langsam ausbreiten.

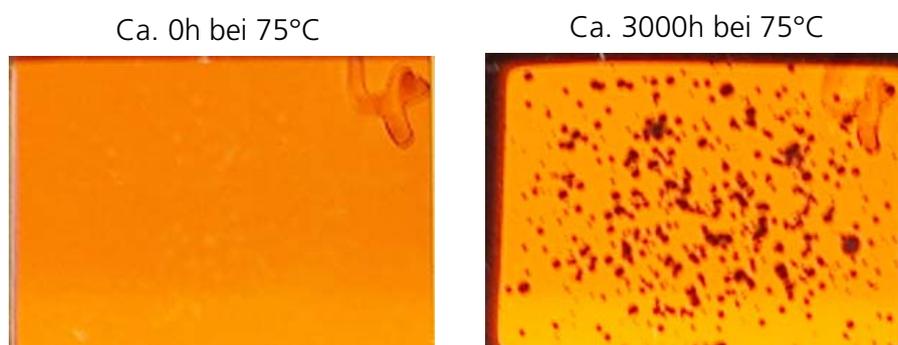


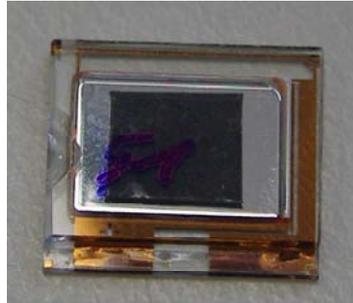
Abbildung 63: Auftreten von sog. Hot Spots und Dark Spots bei OLEDs;  
links: Hot Spots; rechts: Dark Spots



Die folgende Abbildung 64 zeigt Beschädigungen am Glas. Dabei ist der Fehler links im Bild auf einen Fertigungsfehler zurückzuführen, während bei dem Defekt rechts im Bild ein Montage- bzw. Halterungsfehler ursächlich ist.

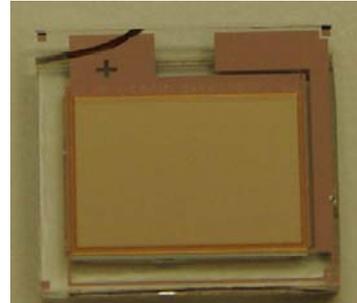
Beschädigtes Glas

→ Fertigungsfehler



Beschädigtes Frontglas

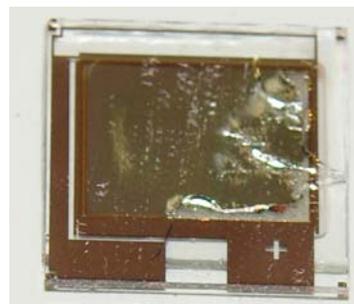
→ Montage/Halterungsfehler



**Abbildung 64: Beschädigungen am Glas eines OLEDs;  
links: Fertigungsfehler; rechts: Montage-/Halterungsfehler**

Die folgende Abbildung 65 zeigt die Zerstörung von OLEDs durch zu hohe Ströme. Dabei ist bei der OLED links zu erkennen, dass die Zerstörung lediglich am unteren Rand stattgefunden hat. Das deutet auf einen Fertigungsfehler hin, bei dem die Schichtdicke an dem entsprechenden Rand sehr stark ausgedünnt war und somit die organischen Schichten durch eine zu hohe Feldstärke durchgeschlagen sind und ein Kurzschluss entstand.

Bei der OLED rechts im Bild wurde ein zu hoher Ansteuerstrom gewählt, was eine derart starke Erhitzung zur Folge hatte, dass Material verdampft ist. Das Verdampfen und der damit verbundene hohe Druck führten zum Aufbrechen des Glases.



**Abbildung 65: Zerstörung von OLEDs aufgrund von zu hohen Strömen;  
links: Kurzschluss durch Fertigungsfehler; rechts: Betrieb mit zu hohem Strom**

### 2.1.31 Lebensdaueruntersuchung beim Betrieb mit konstanter Leuchtdichte mittels optischen Feedbacks

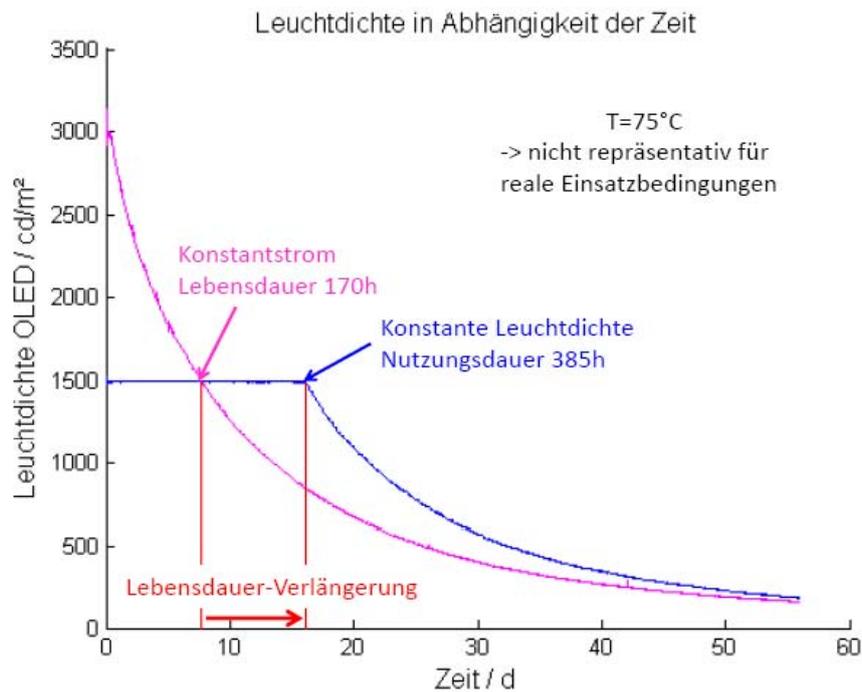
Um einerseits die Funktionalität der Nachregelung mittels optischen Feedbacks für das FM3 zu verifizieren und andererseits die Lebensdauern von unterschiedlich angesteuerten OLEDs (Betrieb mit Konstantstrom oder bei konstanter Leuchtdichte) zu vergleichen, werden weitere Lebensdaueruntersuchungen durchgeführt. Hierfür werden insgesamt 6 OLEDs der Fa. IPMS unter gleichen Umgebungsbedingungen im Klimaschrank betrieben. Um die Tests innerhalb eines angemessenen Zeitrahmens durchzuführen, wird eine Umgebungstemperatur von 75°C gewählt. Es werden jeweils zwei OLEDs bei einer Anfangsleuchtdichte von 750cd/m<sup>2</sup>, 1500cd/m<sup>2</sup> und 3000cd/m<sup>2</sup> betrieben. Dabei wird jeweils eine OLED mit Konstantstrom betrieben, während bei der anderen OLED jeweils stündlich eine Regelschleife ausgeführt wird, die die Leuchtdichte auf den entsprechenden Sollwert mit einer Toleranz von ±30cd/m<sup>2</sup> regelt. Die Messwerte der Leuchtdichte und des zugehörigen Stroms werden in Intervallen von 10min aufgenommen und in eine Textdatei gespeichert. Zur Messung der Leuchtdichte werden die Lichtsensoren genutzt, die rückseitig der OLEDs sitzen. Um einen abrupten Ausfall des Bauteils zu verhindern, wird der maximale Strom durch eine OLED auf ca. 30mA begrenzt. Die Zusammenfassung der Betriebsparameter sowie die sich ergebenden Lebensdauern sind in Tabelle 5 dargestellt.

**Tabelle 5: Betriebsparameter und die sich ergebenden Lebensdauern der einzelnen OLEDs (bei 75°C)**

OLED	1	2	3	4	5	6
Startleuchtdichte / cd/m <sup>2</sup>	3000	3000	1500	1500	750	750
Startstrom / mA	23.6	17	10.7	10.8	5.2	5.3
Nachregelung	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
Nachregeldauer	10h	0h	385h	0h	1260h	0h
Lebensdauer LT50%	185h	170 h	610h	480 h	1440h	815 h

Da eine OLED im Regelbetrieb bereits ab Beginn mit der minimal erforderlichen Leuchtdichte betrieben wird, und ab dem Erreichen des Maximalstroms die Leuchtdichte abfällt, bedeutet hier das Ende der Regelung gleichzeitig das Erreichen der Lebensdauer.

Während eine OLED mit Nachregelung durchgehend beim Leuchtdichte-Sollwert betrieben wird, muss bei einer OLED, die mit Konstantstrom betrieben wird, eine deutlich erhöhte Startleuchtdichte gewählt werden (vgl. 2.1.13). Aus diesem Grund müssen beim Vergleich der Lebensdauern der beiden Betriebsarten die entsprechenden OLEDs gewählt werden. Exemplarisch wird hier der Leuchtdichteverlauf von OLED 2 und OLED 3 grafisch dargestellt (Abbildung 66).



**Abbildung 66: Lebensdauer von OLEDs bei unterschiedlichen Betriebsvarianten**

Es ist zu erkennen, dass die OLED, die bei einer konstanten Leuchtdichte betrieben wurde, eine über zweifach längere Lebensdauer aufweist als die OLED mit herkömmlichem Konstantstrombetrieb. Das liegt zum einen daran, dass die Anfangsleuchtdichte beim Betrieb mit Regelung wesentlich reduziert werden kann [11], und zum anderen daran, dass der Strom beim Erreichen der eigentlichen Lebensdauer entsprechend erhöht wird.

Anhand Abbildung 66 erkennt man, dass nach Beendigung der Regelung die Leuchtdichte nicht abrupt, sondern exponentiell abfällt. Grund hierfür ist die Begrenzung durch den maximalen Versorgungsstrom, dessen Wert in der Software angepasst werden kann. Dadurch wird eine Schädigung der OLED aufgrund eines zu hohen Stroms vermieden.

Ein grober Flächenvergleich der beiden Kurven zeigt, dass die Lebenskapazität annähernd gleich groß ist.



### 2.1.32 Lebensdaueruntersuchung mit zusätzlicher Spannungsmessung

Rein aus finanzieller Sicht ist die geplante Lösung, die OLED-Anzeigen mit einem Sensor zu überwachen, nicht unbedingt attraktiv. Die Integration der Sensoren bringt einen erheblichen zusätzlichen Aufwand und Kosten mit sich, was sich jedoch durch einen erheblichen Qualitätsgewinn auf Grund der konstanten Leuchtdichte rechtfertigt. Des Weiteren bietet der Sensor in Bezug auf Redundanz und Ausfallerkennung erhebliche Vorteile.

In einem weiteren Lebensdauertest wurde eine sensorunabhängige Lösung getestet, die ebenfalls einen konstanten Leuchtdichtebetrieb der OLED ermöglichen soll. Dabei wurde der Sensor durch eine Spannungsmessung ersetzt, deren Ergebnis mittels eines OLED-spezifischen Modells als Leuchtdichteabnahme interpretiert wird. Das Modell basiert auf den in Abbildung 67 und Abbildung 68 gezeigten Messkurven, die bei der Ansteuerung der OLED mit konstantem Strom einmalig erfasst und mit einer Gleichung beschrieben werden. Als Gleichungen eignen sich Polynome oder e-Funktionen.



Abbildung 67: Spannungszunahme an einem OLED beim Betrieb mit konstantem Strom

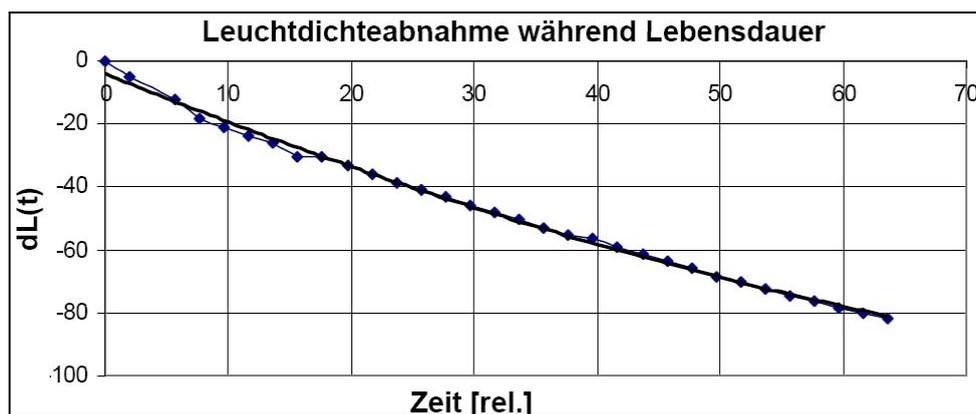


Abbildung 68: Leuchtdichteabnahme an einem OLED beim Betrieb mit konstantem Strom

Aus den beiden Messkurven (Abbildung 67 und Abbildung 68) wird anschließend eine entsprechende Gegenüberstellung  $\Delta U$  (Spannungszunahme) über  $\Delta L$  (Leuchtdichteabnahme) aufgetragen (Abbildung 69). Auch diese Kurve wird mittels einer Gleichung beschrieben und dient anschließend als Modell für die OLED.

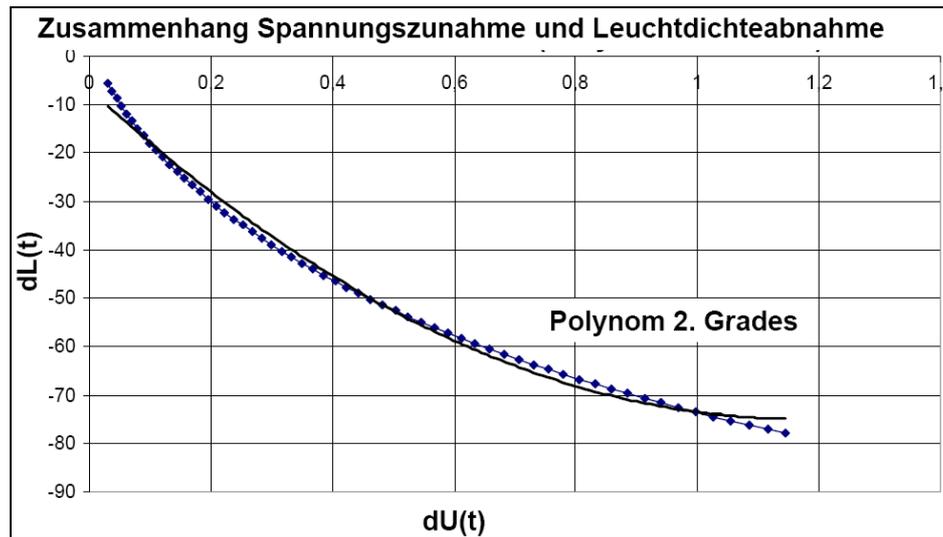


Abbildung 69: Zusammenhang der Spannungszunahme und Leuchtdichteabnahme

Nachdem das Modell einmalig messtechnisch erfasst und mathematisch beschrieben wurde, kann folgender Kalibrierungsalgorithmus verwendet werden, um eine konstante Leuchtdichte an einer OLED-Anzeige zu gewährleisten:

**1. Messen der Spannungszunahme**

Hierfür muss die OLED mit dem Strom angesteuert werden, bei welchem die Messkurven für das Modell erfasst wurden.

**2. Berechnen der Leuchtdichteabnahme**

Aus dem Zusammenhang aus

Abbildung 69 kann die Leuchtdichteabnahme berechnet werden. In einer  $\mu\text{C}$ -Lösung könnte dieser Zusammenhang als Look-Up-Tabelle hinterlegt werden.

**3. Ermitteln des neuen Stromwertes**

Da der Zusammenhang zwischen Leuchtdichte und Strom bei OLEDs linear ist, kann eine Gerade bestimmt werden, die sowohl durch den Ursprung (0,0) als auch durch den ermittelten Punkt (eingestellter Strom, berechnete Leuchtdichte) geht. Diese Gerade liefert den einzustellenden Strom für die gewünschte Leuchtdichte. Abbildung 70 verdeutlicht diesen Zusammenhang. Hier ist eine entsprechende Ursprungsgerade (schwarz) eingezeichnet, welche durch einen berechneten Leuchtdichtewert führt. Ohne die Alterung der OLED (rote Kurve) müsste die OLED bei 20mA eine Leuchtdichte von  $600\text{cd/m}^2$  besitzen. Die Berechnung aus der Spannungszunahme ergibt jedoch einen Wert von  $400\text{cd/m}^2$ . Aus dem linear angenommenen Zusammenhang von Strom und Leuchtdichte kann folglich eine Erhöhung des Stroms um 30mA bestimmt werden, um die gewünschten  $600\text{cd/m}^2$  zu erreichen.

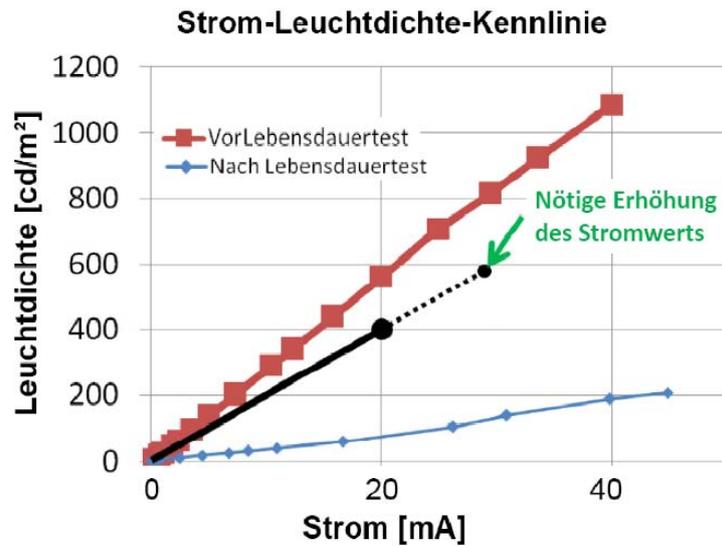


Abbildung 70: Strom-Leuchtdichte-Zusammenhang bei einer OLED

Die Nachregelung der Leuchtdichte, basierend auf der Spannungsmessung, erreicht eine schlechtere Genauigkeit als die Nachregelung mittels eines optischen Sensors. Dies beruht hauptsächlich darauf, dass die Spannung am OLED, welche als Regelgröße verwendet wird, temperaturabhängig ist.



### 2.1.33 Redundanzuntersuchungen

Die Realisierung von redundanten Anzeigesystemen ist entscheidend für den Einsatz in Avionik-Produkten. Daher wurden diverse Konzepte für redundante Anzeigen erarbeitet.

Das favorisierte Konzept ist die Realisierung der Redundanz durch OLED-Anzeigen, welche aus mehreren Pixeln bestehen. Dieses Konzept ist vergleichbar zu den aktuell verwendeten LED-Varianten. Bei LED-Anzeigen wird die Redundanz durch die Verwendung von mehreren LEDs realisiert.

Die Abbildung 71 zeigt ein entsprechendes „Redundantes“ OLED, welches ein Streifenprofil mit vier Pixeln (Zeilen) beinhaltet. Das OLED wurde in Zusammenarbeit mit der Fa. IPMS gefertigt. Beim Ausfall eines Pixels wird die Anzeige entsprechend weiterhin hinterleuchtet. Das Elektrodendesign der OLED aus Abbildung 71 weist jedoch eine visuell sichtbare Leuchtdichteabnahme auf (Blaue Pfeile). Für Produkte muss diese Leuchtdichteabnahme durch die Verwendung anderer Elektrodenmaterialien entsprechend verbessert werden.

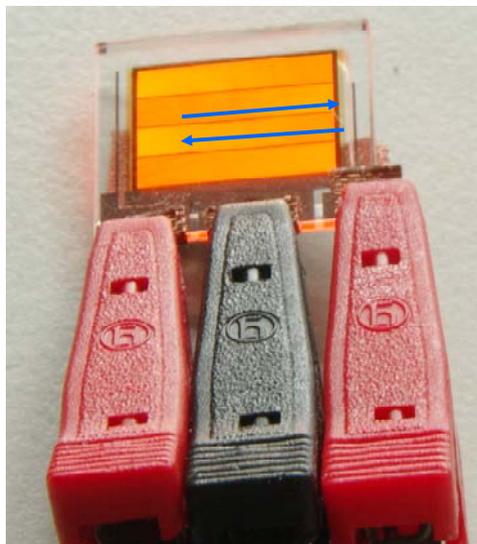


Abbildung 71: Prototyp eines „Redundanten“ OLED Displays

Die Abbildung 72 zeigt das Funktionsmuster mit einem auf mehreren Pixel (Zeilen) basierendem OLED. Die Hälfte des hinterleuchteten Symbols ist in der Abbildung ausgeschaltet. Obwohl sich die Anzeigequalität deutlich verschlechtert, lässt sich die Anzeige auf Grund der Reflektion des Lichtes innerhalb der OLED weiterhin ablesen.



Abbildung 72: Redundanz-Muster

Eine alternative Implementierungsform für redundante Anzeigen basiert auf der Verwendung von einer zusätzlichen transparenten OLED [12], welche vor dem eigentlichen OLED-Modul montiert ist und bei Bedarf eingeschaltet werden kann.

## **AP P10: Meetings, Dokumentation, Querschnittsaktionen**

Durchführungszeitraum: 2007 bis 2009

### **2.1.34 Treffen mit Projekt- und Verbundpartnern**

Mit den Projekt- und Verbundpartnern fanden regelmäßig Projektbesprechungen statt. Dabei wurden bereits erreichte Ergebnisse von den jeweiligen Projektpartnern präsentiert und aktuelle bzw. noch bevorstehende Projektaufgaben ausführlich besprochen und diskutiert. Telefonischer und elektronischer Kontakt wurde stets gepflegt um die anstehenden Projektziele zu erreichen.

Termine der Projekttreffen (mit Teilnahme aller Projektpartner):

- 30.05.2007 bei Fa. Comtronic
- 03.07.2007 bei Fa. Opsira
- 11.10.2007 an der Hochschule Pforzheim
- 28.03.2008 bei Fa. Comtronic
- 09.06.2008 bei Fa. Opsira
- 02.10.2008 bei Fa. Comtronic
- 08.11.2008 an der Hochschule Pforzheim
- 11.12.2008 bei Fa. Opsira
- 11.03.2009 bei Fa. Comtronic
- 26.02.2009 an der Hochschule Pforzheim
- 02.07.2009 bei Fa. Opsira
- 15.09.2009 bei Fa. Comtronic
- 08.11.2009 an der Hochschule Pforzheim

### **2.1.35 Erstellen von Zwischen- und Endberichten**

Die durchgeführten Arbeiten, die jeweils vorangegangenen Überlegungen, als auch die erreichten Ergebnisse wurden stets dokumentiert und ordnungsgemäß in entsprechenden Zwischen- bzw. Endberichten festgehalten.

## **2.1.36 Präsentation und Publikation der Projektergebnisse**

### **2.1.36.1 OLEDs as Backlight, Lifetime and Dimming Issues**

Zur Diskussion der ersten Forschungsergebnisse im Bereich der Lebensdaueruntersuchungen wurde auf der Electronic Displays Conference 2008 eine Posterpräsentation publiziert. Bei der Vorstellung des Posters durch die Projektmitarbeiter konnten Erfahrungen mit anderen Firmen und Hochschulen ausgetauscht werden.

**Titel der Publikation:** OLEDs as Backlight, Lifetime and Dimming Issues

**Autoren:** Andreas Hudak  
Jan Bauer  
Frank Schumacher  
Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach

**ISBN Nummer:** 978-3-7723-3960-8

A. Hudak, K. Blankenbach et al.: OLEDs as Backlight, Lifetime and Dimming Issues. Electronic Displays Conference 2008. ISBN: 978-3-7723-3960-8

### **2.1.36.2 Hinterleuchtungstechnik in Bedien- und Anzeigeelementen mit OLEDs**

Im Fachmagazin Elektronik Praxis wurde ein wissenschaftlicher Bericht zu den im Forschungsprojekt Kabtec/Aeroled erarbeiteten Systemaspekten veröffentlicht. Der Bericht umfasst die Ansteuerung, das Dimmverhalten und die Lebensdauerinformationen die zur Nutzung von OLEDs im industriellen Umfeld benötigt werden.

**Titel der Publikation:** Hinterleuchtungstechnik in Bedien- und Anzeigeelementen mit OLEDs

**Autoren:** B. Eng. Andreas Hudak  
Dipl.-Ing. (FH) Jan Bauer  
Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach

**Link:** <http://www.elektronikpraxis.vogel.de/opto/articles/151731/>

A. Hudak, K. Blankenbach et al.: Hinterleuchtungstechnik in Bedien- und Anzeigeelementen mit OLEDs. Elektronik Praxis, Oktober 2008.

### **2.1.36.3 OLED for backlighting and sign – system aspects, measurements & integration**

Zur Diskussion der aktuellen Forschungsergebnisse im Bereich der Lebensdaueruntersuchungen wurde auf der Electronic Displays Conference 2009 im Februar ein Vortrag gehalten. Bei der anschließenden Diskussion konnten Erfahrungen mit anderen Firmen und Hochschulen ausgetauscht werden.

**Titel der Publikation:** OLED for backlighting and sign – system aspects, measurements & integration

**Autoren:** B. Eng. Andreas Hudak,  
Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Reiser  
Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach

**Link:** <http://www.elektroniknet.de/home/termine/foren/electronic-displays-conference-2009/program-2009/2007-03-05/>

A. Hudak, K. Blankenbach et al.: OLED for backlighting and sign – system aspects, measurements & integration. Electronic Displays Conference 2009.

### **2.1.36.4 Systemaspekte für den Einsatz der OLED-Technologie**

Auf der InnoComp 2009 (München) wurde ein Fachvortrag zu den Systemaspekten, welche bei der Verwendung von OLEDs berücksichtigt werden müssen, gehalten.

**Titel der Publikation:** Systemaspekte für den Einsatz der OLED-Technologie

**Autor:** B. Eng. Andreas Hudak

A. Hudak: Systemaspekte für den Einsatz der OLED-Technologie. InnoComp 2009, München.

### **2.1.36.5 OLEDs for High Quality Signs with Constant Luminance Level, Lifetime Enhancement and End of Life Prediction**

Auf der Konferenz ‚Society for Information Display‘ (San Antonio, USA) wurden 2009 zusammen mit der Partnerfirma Opsira die erarbeiteten Forschungsergebnisse präsentiert.

**Titel der Publikation:** OLEDs for High Quality Signs with Constant Luminance Level, Lifetime Enhancement and End of Life Prediction

**Autoren:** B.Eng. Andreas Hudak  
Dipl. Ing. (FH) Sebastian Reiser  
Cand. B. Eng. Sascha Kurbatfinski  
B. Eng. Michael Jentsch  
Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach

Dipl. Ing. (FH) Johannes Mäder (Partnerfirma Opsira)  
Dipl. Ing. (FH) Marcus Krauel (Partnerfirma Opsira)

**ISSN Nummer:** ISSN 0009-966X, p. 1442-1444, 6/2009

A. Hudak, K. Blankenbach et al.: OLEDs for High Quality Signs with Constant Luminance Level, Lifetime Enhancement and End of Life Prediction, SID 09 DIGEST (P-86). ISSN: 0009-966X

### **2.1.36.6 Implementation of Black Panel Appearance with OLED Displays**

Auf der Electronic Displays Conference 2010 wurde im März ein Vortrag gehalten. Bei der anschließenden Diskussion konnten Erfahrungen mit anderen Firmen und Hochschulen ausgetauscht werden.

**Titel der Publikation: Implementation of Black Panel Appearance with OLED Displays**

Autoren: B. Eng. Andreas Hudak,  
Dipl.-Ing. (FH) Kerstin Hohenschläger  
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Jung  
Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach

A. Hudak, K. Blankenbach et al.: Implementation of Black Panel Appearance with OLED Displays. Electronic Displays Conference 2010.

### **2.1.36.7 Black Panel OLED Cluster with Constant Luminance, Lifetime Enhancement and Burn-In Compensation**

Auf der Konferenz ‚Society for Information Display‘ (Seattle, USA), renommiert u.a. für OLED-Anwendungen, wurden 2010 die erarbeiteten Forschungsergebnisse präsentiert.

**Titel der Publikation: Black Panel OLED Cluster with Constant Luminance, Lifetime Enhancement and Burn-In Compensation**

Autoren: Andreas Hudak  
Matthias Jung  
Kerstin Hohenschläger  
Prof. Dr. Karlheinz Blankenbach  
M. Jentsch  
  
G. Kaster (Partnerfirma Comtronic)

ISSN Nummer: 2154-6746

A. Hudak, K. Blankenbach et al.: Black Panel OLED Cluster with Constant Luminance, Lifetime Enhancement and Burn-In Compensation, SID 10 DIGEST (P-151). ISSN: 2154-6746

### **3 Stand des Vorhabens**

Die Bearbeitung, der laut Projekt- und Meilensteinplan der Vorhabensbeschreibung definierten Arbeitspakete, konnte erfolgreich in den dafür vorgesehenen Zeiträumen erfolgen. Aus Sicht der Hochschule Pforzheim liegen Kosten- und Personalplan in den dafür vorgesehenen Bereichen.

### **4 Projektziele**

Während des Projekts konnten keine Gründe für eine Änderung des Projektziels ausgemacht werden. Somit erfolgte die Bearbeitung gemäß den definierten Arbeitspaketen.

### **5 Erfindungen/Schutzrechtsanmeldungen und erteilte Schutzrechte**

Im Rahmen der Black-Panel Untersuchungen wurde ein Verfahren erarbeitet, welches aus der Sicht der Hochschule Pforzheim patentwürdig ist. Dieses wurde mit dem Titel „Black-Panel-Effekt bei OLED hinterleuchteten Symbolen“ als Patent angemeldet. Aktuell befindet sich dieses Patent in der Prüfungsphase.

## 6 Projekt- und Meilensteinplan

Die

Tabelle 6 zeigt die im Antrag definierten Arbeitspakete sowie die zeitliche Planung für die Abarbeitung der Arbeitspakete.

AP	Hochschule Pforzheim	2007				2008				2009				PM	
		Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q	Q4	Q1	Q2	Q3		Q4
1	Projektfeinkonzeption, Recherchen, Versuchplanung	■													2
2	Anpassung Lebensdauer-messplatz für OLEDs	■	■												2
3	Grundlegende Lebensdauer-Messungen		■	■	■										3
4	Lebensdauer-Modellierung			■	■										2
5	Elektronik-Entwicklung (Ansteuerung, Sensorik)		■	■	■										6
6	Elektronik-Zusammenführung inkl. Mikrocontroller				■	■	■	■							7
7	Messungen und Optimierungen Ansteuerung und Sensorik					■	■	■	■						7
8	Systemoptimierungen (Lebensdauer, Elektronik, H & S, ...)								■	■	■	■	■		8
9	Projektbegleitende Lebensdaueruntersuchungen					■	■	■	■	■	■	■	■		6
10	Meetings, Dokumentation, Querschnittsakt. (Publ./Messen/Kongr.)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■		2
Summe														45	

Tabelle 6: Aufteilung und Abarbeitungsplan für die Arbeitspakete

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Netzplan für das KABTEC/AEROLED Projekt .....	6
Abbildung 2: OLED Halterungsmodul im Klimaschrank während des ersten Lebensdauertests, 2007.....	8
Abbildung 3: Schaltplan einer Transkonduktanzstufe für die OLED Lebensdaueransteuerung .....	9
Abbildung 4: Ansterelektronik für die Lebensdaueruntersuchungen.....	9
Abbildung 5: Beispiel eines Programms zur automatischen Messwerte-Erfassung .....	10
Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Strom und Leuchtdichte(vgl. [1], S. 85) .....	11
Abbildung 7: Zusammenhang zwischen Spannung und Leuchtdichte (vgl. [1], S. 85).....	11
Abbildung 8: Typische Leuchtdichteabnahme von OLED Anzeigen (vgl. [2]).....	12
Abbildung 9: Verwendete Ansteuersignale für die Lebensdaueruntersuchungen.....	13
Abbildung 10: Ergebnisse der Lebensdaueruntersuchungen bei 75°C.....	14
Abbildung 11: Ergebnisse der Lebensdaueruntersuchungen bei 50°C.....	14
Abbildung 12: Ergebnisse der Lebensdaueruntersuchungen bei 25°C.....	14
Abbildung 13: Lebensdauer für unterschiedliche Ansteuerverfahren (vgl. [4]).....	15
Abbildung 14: Experimentell ermittelte Lebensdauern von OLEDs bei unterschiedlichen Anfangsleuchtdichten und verschiedenen Temperaturen.....	16
Abbildung 15: Farbverschiebung im DC-Betrieb bei unterschiedlichen Stromstärken.....	17
Abbildung 16: Farbverschiebung im PWM-Betrieb bei unterschiedlichen Tastverhältnissen	17
Abbildung 17: Gemessene Leuchtdichtedegradation im Betrieb mit Konstantstrom .....	18
Abbildung 18: Theoretische Lebensdauererweiterung durch Betrieb bei konstanter Leuchtdichte.....	18
Abbildung 19: Ergebnis der Lebensdaueruntersuchung beim Betrieb mit konstanter Leuchtdichte.....	19
Abbildung 20: Lebensdauerergebnisse bei konstantem Strom.....	20
Abbildung 21: Verlängerung der Lebensdauer durch Betrieb bei konstanter Leuchtdichte ...	20
Abbildung 22: Lebensdauer in Abhängigkeit der konstanten OLED-Leuchtdichte, bei 25°C und bei gegebener Lebenskapazität, exemplarisch an einer OLED gemessen.....	21
Abbildung 23: Temperatur-Beschleunigungsfaktor, exemplarisch an einer OLED gemessen .....	21
Abbildung 24: Benutzeroberfläche des Hauptprogramms der selbsterstellten Simulationssoftware .....	22
Abbildung 25: Simulationssoftware Beschleunigungsfaktoren Temperatur .....	23
Abbildung 26: Simulationssoftware Temperaturprofil.....	23
Abbildung 27: Burn-In Simulation; links: kein Burn-In; rechts: Simulierter Burn-In .....	24
Abbildung 28: Spannungsversorgung der OLED Demo Unit .....	25
Abbildung 29: Spannungsversorgungsplatine für die OLED Demo Unit .....	26
Abbildung 30: Impedanzwandlerstufen der OLED Demo Unit .....	26
Abbildung 31: Referenzspannungsquelle der OLED Demo Unit.....	27
Abbildung 32: USB Schnittstelle der OLED Demo Unit.....	27
Abbildung 33: Steuerlogik der OLED Demo Unit .....	28
Abbildung 34: Funktionsmuster 1; OLED Demo Unit.....	28
Abbildung 35: Schaltplan einer High-Side Transkonduktanzstufe für die OLED Demo Unit..	29
Abbildung 36: Fertige Platine der Treiberstufen für die OLED Demo Unit .....	29
Abbildung 37: Schaltplan der Low-Side Stromquelle .....	30
Abbildung 38: Anordnung des Sensors hinter der OLED Anzeige.....	32
Abbildung 39: Spektrale Empfindlichkeit des TAOS TCS34xx Sensors (vgl. Datenblatt) .....	32

Abbildung 40: Referenzmessung des Lichtsensors ohne Lichtleiter .....	33
Abbildung 41: Messung des Lichtsensors mit Lichtleiter.....	33
Abbildung 42: Ansteuerelektronik FM2 .....	34
Abbildung 43: Funktionsmuster 2.....	34
Abbildung 44: Frontplatte mit montierter Adapterplatine .....	34
Abbildung 45: Frontplatte mit Lichtleiter und Zebra-Leitgummi.....	34
Abbildung 46: Belegung der Sub-D Buchse.....	35
Abbildung 47: Kalibrierungskennlinien für unterschiedlich beschriftete Symbolfolien.....	36
Abbildung 48: Parametriersoftware für die Lichtsensoren.....	37
Abbildung 49: Funktionsprinzip der Regelung.....	37
Abbildung 50: Test des Regelverfahrens .....	39
Abbildung 51: FM2 im Klimaschrank für Lebensdaueruntersuchungen.....	40
Abbildung 52: Schaltplan I2C-Multiplexer mit 4 Lichtsensoren .....	41
Abbildung 53: Optimiertes Layout der Stromquelle.....	42
Abbildung 54: Vorderseite der Adapterplatine des finalen Funktionsmusters 3.....	42
Abbildung 55: Rückseite der Adapterplatine des finalen Funktionsmusters 3 .....	43
Abbildung 56: Platine mit Ansteuerelektronik des finalen Funktionsmusters 3 .....	43
Abbildung 57: Funktionsmuster FM3.....	43
Abbildung 58: Aufbau zur Realisierung des Black-Panel-Effekts.....	45
Abbildung 59: Funktionsprinzip des Black-Panel-Effekts.....	45
Abbildung 60: Verschlechterung der OLED Effizienz über die Lebensdauer.....	46
Abbildung 61: Strom-Leuchtdichte-Kennlinie in Abhängigkeit der Betriebsdauer .....	46
Abbildung 62: Teilweiser Ausfall des Bauteils.....	47
Abbildung 63: Auftreten von sog. Hot Spots und Dark Spots bei OLEDs; .....	47
Abbildung 64: Beschädigungen am Glas eines OLEDs; .....	48
Abbildung 65: Zerstörung von OLEDs aufgrund von zu hohen Strömen; .....	48
Abbildung 66: Lebensdauer von OLEDs bei unterschiedlichen Betriebsvarianten .....	50
Abbildung 67: Spannungszunahme an einem OLED beim Betrieb mit konstantem Strom....	51
Abbildung 68: Leuchtdichteabnahme an einem OLED beim Betrieb mit konstantem Strom .	51
Abbildung 69: Zusammenhang der Spannungszunahme und Leuchtdichteabnahme.....	52
Abbildung 70: Strom-Leuchtdichte-Zusammenhang bei einer OLED .....	53
Abbildung 71: Prototyp eines "Redundanten" OLED Displays .....	54
Abbildung 72: Redundanz-Muster.....	54

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die von der HS Pforzheim bearbeiteten Arbeitspakete .....	5
Tabelle 2: Temperaturabhängigkeit.....	12
Tabelle 3: Abhängigkeit der Anfangsleuchtdichte .....	16
Tabelle 4: Maximum Ratings FM2.....	35
Tabelle 5: Betriebsparameter und die sich ergebenden Lebensdauern der einzelnen OLEDs (bei 75°C) .....	49
Tabelle 6: Aufteilung und Abarbeitungsplan für die Arbeitspakete.....	60

## 9 Literaturverzeichnis

Grundlegende Quellen zum Thema OLED sind in Kapitel 2.1.2. aufgeführt. Die hier aufgeführten Quellen sind für den Abschlussbericht relevant.

- [1]: A. Kammoun: Organische Leuchtdioden aus Polymeren und niedermolekularen Verbindungen für großflächige OLED-Anzeigen, Dissertation, Cuvillier Verlag Göttingen, 2008
- [2]: S. J. Kang et al.: A 1.25-in. Full-Color Passive-Matrix OLED with Nitrogen Plasma Treatments, SID 06 DIGEST (P-178)
- [3]: R. S. Cok and F. Leon: Active Compensation for OLED Ageing, SID 06 DIGEST (P-180)
- [4]: H. Cloarec et al.: Reliability of the extrapolated OLED lifetime from stretched exponential decay fit, EuroDisplay 2007, S12-5
- [5]: M.-F. Lin et al.: Improved OLEDs with Single Ambipolar Material for Hole-Transport and Electron-Transport Layers, SID 08 DIGEST (P-206)
- [6]: C. Gärditz: Organische Leuchtdioden für Beleuchtungszwecke, Dissertation, perspektivenverlag Kösching, 2007
- [7]: K. Müllen, U. Scherf, Organic Light-Emitting Devices, Max Plank Institut für Polymerforschung, Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2006
- [9]: H. Yersin, Highly Efficient OLEDs with Phosphorescent Materials, Universität Regensburg, Wiley-VCH Verlag, Weinheim 2008
- [10]: J. Halls, Fundamentals of OLEDs/PLEDs, CDT, Ltd., Cambridgeshire, U.K. Society For Information Displays, May 2008
- [11]: Chih-Lung Lin et al: *Improving Power Efficiency for Color OLED Display using Color Difference Algorithm*, IMID/IDMC/ASIA DISPLAY 2008, page 1222-1225
- [12]: Daniel Schneidenbach et al: *Transparent OLED Displays: Technology Development*, IDRC2009
- [13]: Seungjun Chung et al: *Influence of Substrate Thermal Conductivity on OLED Lifetime*, IMID/IDMC/ASIA DISPLAY, 2008, page 1026-1029
- [14]: David J. Giesen et al: *Power and Lifetime Modeling of White OLED Formulations for WRGBW Display Applications*, SID 09 DIGEST, ISSN/009-0966X/09/3902, page 939-942
- [15]: Sang Gun Lee, Reiji Hattori: *OLED Analog Behavioral Modeling Based on Physics*, IMID/IDMC/ASIA DISPLAY 08 DIGEST, page 431-434