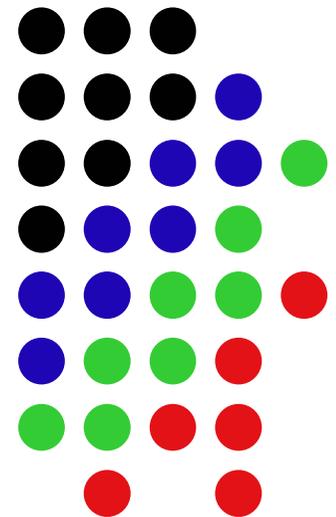
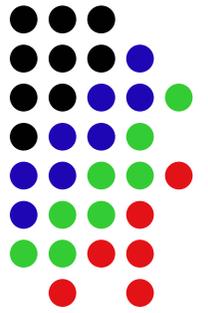


# Elektrolumineszenz

Ein Vortrag von

Annett Rabis, Tobias Blang und Dennis Weber

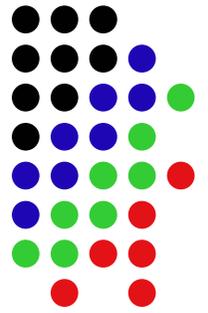




# Inhalt

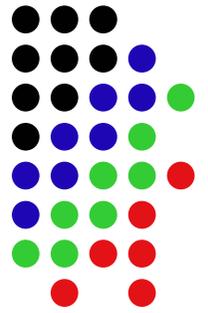
- Geschichte
- Grundbegriffe
- Wirkungsprinzip der Elektrolumineszenz
- Herstellungsverfahren
- Materialien
- Vorteile
- Anwendungen
- LYTTTRON
- Zukunft

# Geschichte

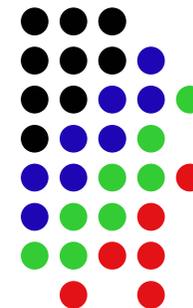


- Entdeckung durch Destriau im Jahre 1936
- 1950er erstmal Forschung da transparente Leiter entwickelt wurden
- Anfang der 60er Konzentration auf Dünnschicht-EL
- 1967 Verbesserung durch Einsatz von doppelter Isolatorschicht
- 1980er Anwendung in monochromatischen Displays
- Aktuell werden Fernseher mit EL Technologie entwickelt

# Geschichte

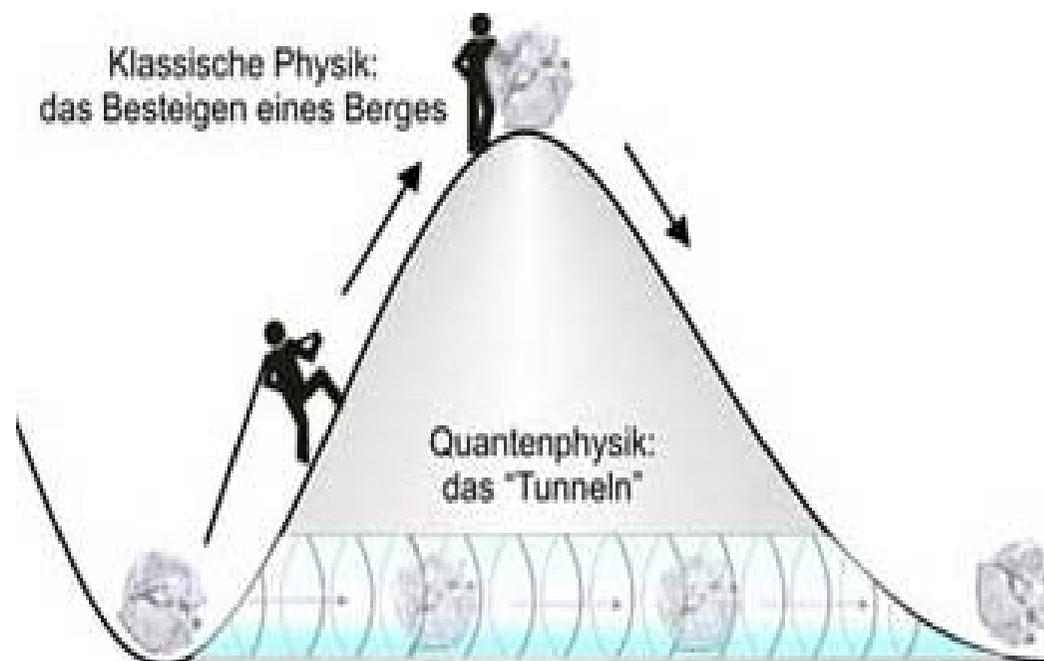
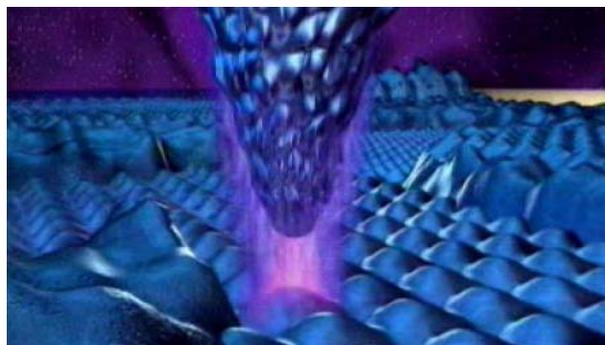


- Einer der ersten Laptops
  - mit EL-Display ausgestattet
- monochrom, jedoch:
  - wenig anfällig
  - großer Betrachtungswinkel
  - geringer Stromverbrauch

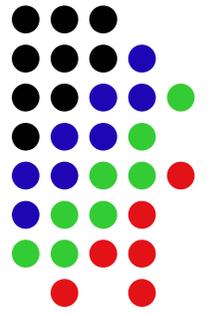


# Tunneleffekt

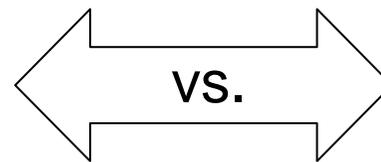
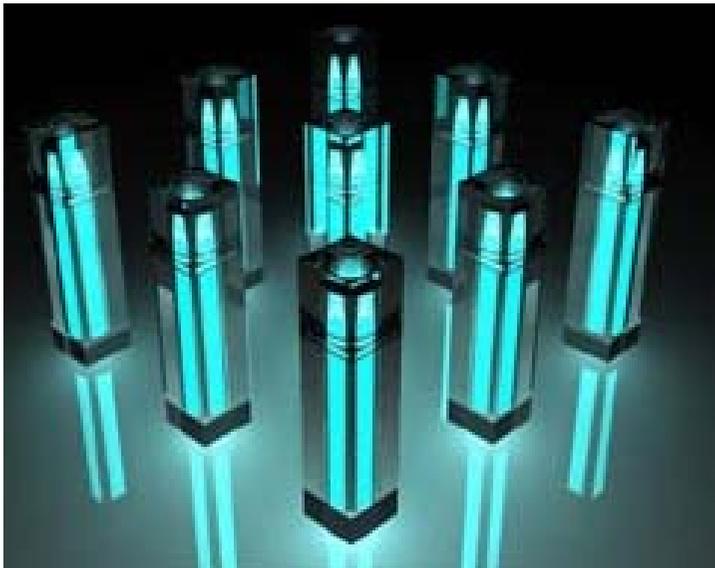
- quantenmechanisches Phänomen
- Überwindung einer Energiebarriere ohne die notwendige Energie zu besitzen
- „tunneln“ von Elektronen durch eine Energiebarriere
- Beschreibung durch Wellenfunktion
  - Unschärferealisation
- Nutzung des Effekts bei Rastertunnelmikroskopen



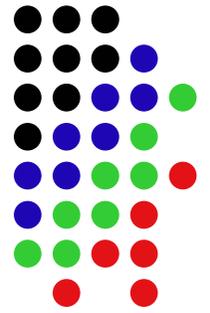
# Lumineszenz



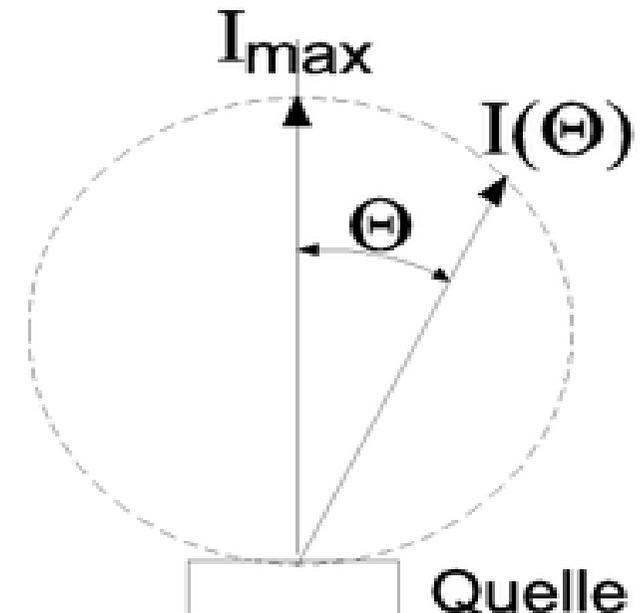
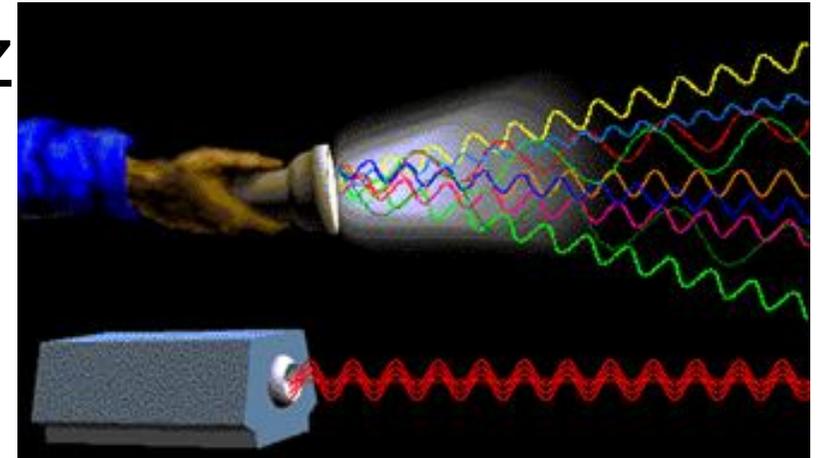
- Aussendung von Strahlung im nicht-thermischen Gleichgewicht
- Elektrolumineszenz durch:
  - Anlegen einer Spannung
  - Und Stromfluss



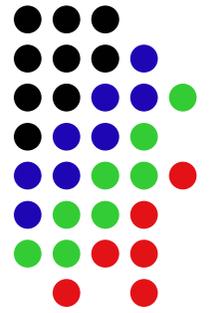
# Kohärenz



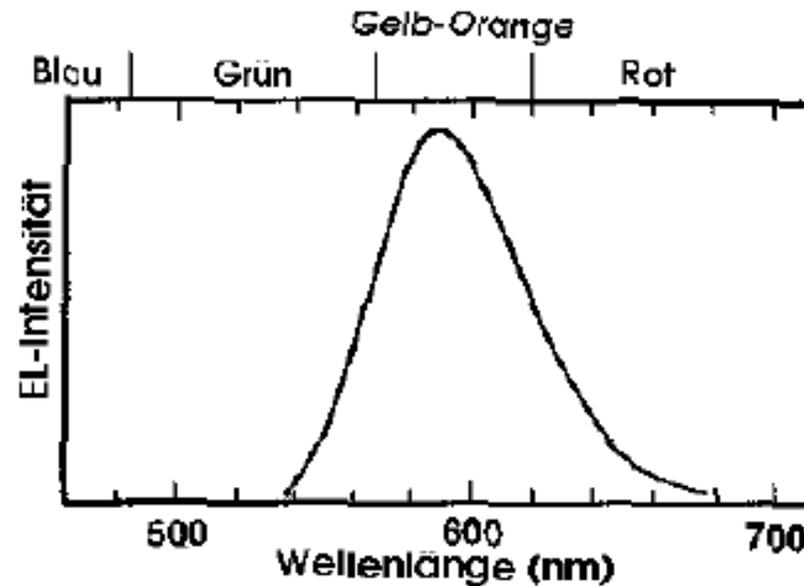
- Aus der Elektrolumineszenz entstandenes Licht ist nicht kohärent
  - es breitet sich in alle Raumrichtungen aus
- Die Leuchtdichte ist in alle Richtungen konstant
  - Lambert-Strahler



# Kohärenz

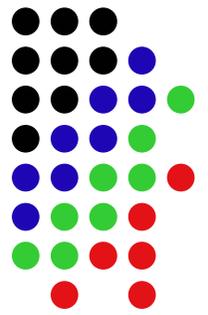


- Das emittierte Licht ist nicht monochromatisch wie das eines Lasers
- Bsp. ZnS:Mn



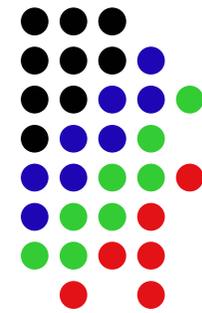
- Durch Filtern lässt sich auch rotes und grünes Licht erhalten
  - geringere Intensität

# Wirkungsprinzip Elektrolumineszenz

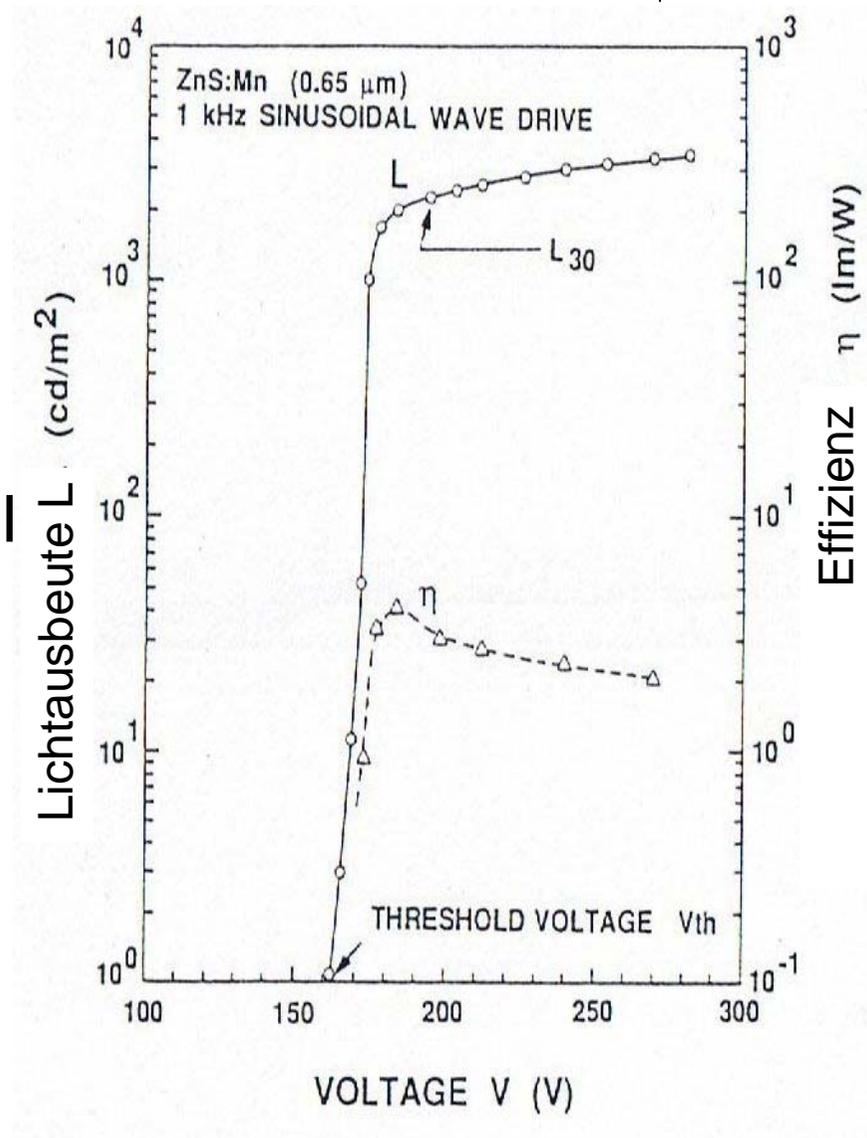


- Anlegen von Spannung erzeugt ein elektrisches Feld
- Elektronen werden beschleunigt
- lumineszierende Zentren werden angeregt
- Licht wird ausgesendet
  - inkohärentes Licht
  - kein monochromatisches Licht

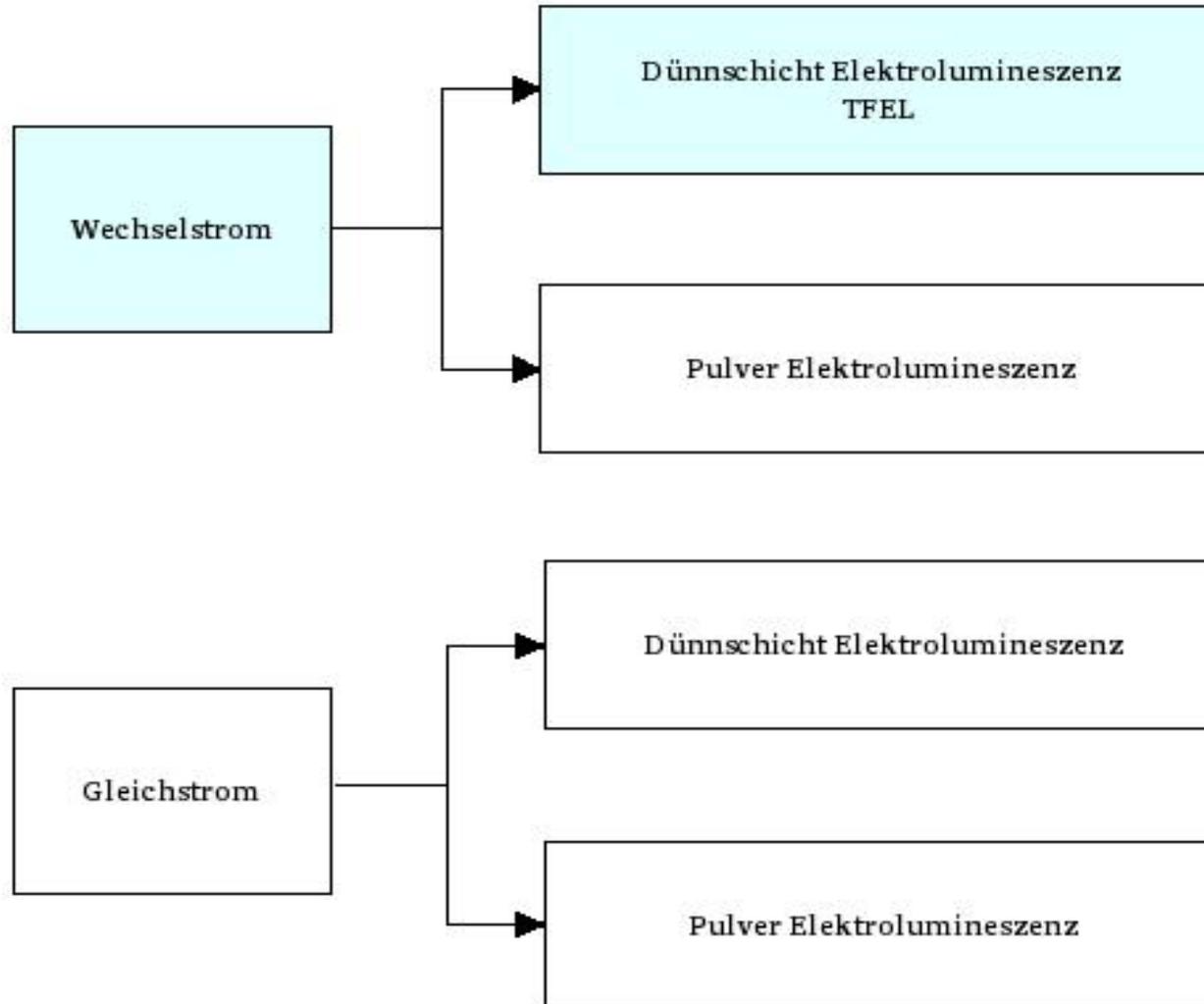
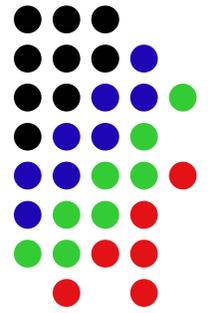
# Wirkungsprinzip Elektrolumineszenz



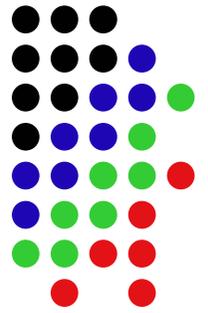
- Kondensator unter  $U_{th}$ 
  - „Leuchtkondensator“
- steiler Anstieg der Lichtausbeute bei  $U_{th}$
- Abflachung bei steigender Spannung
- Üblicherweise wird bei 20V bis 40V über  $U_{th}$  gearbeitet
- Bsp.: ZnS:Mn



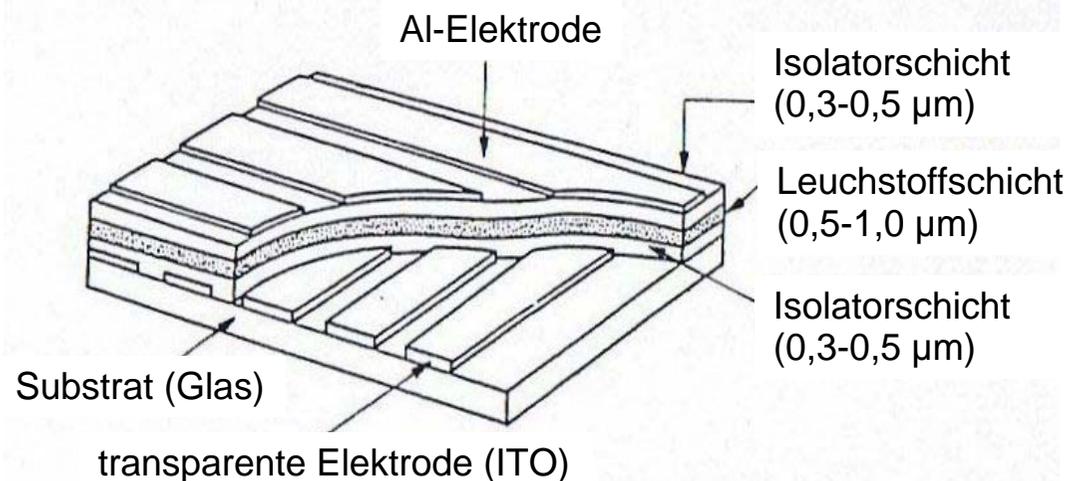
# 4 Strukturen der Elektrolumineszenz



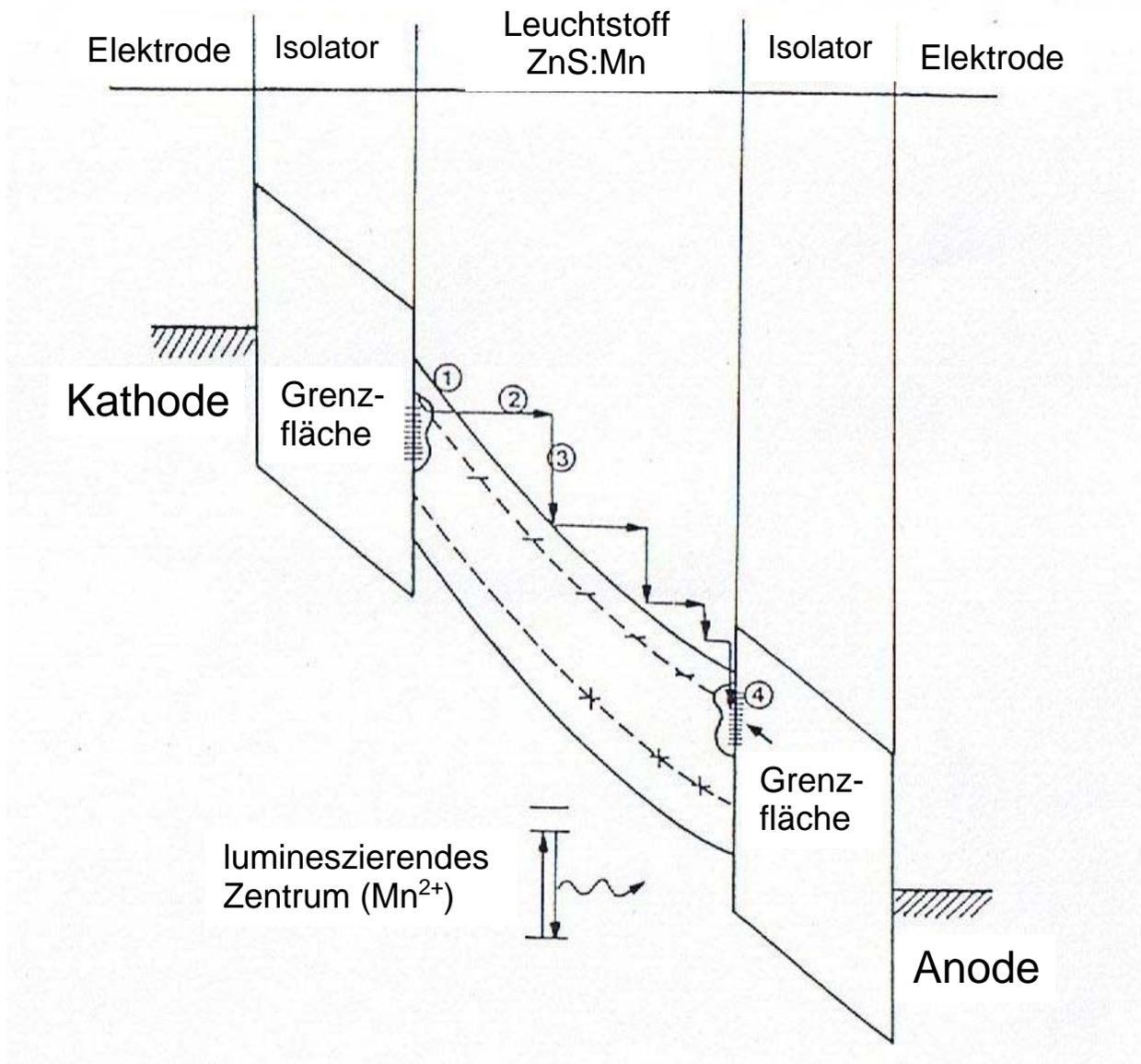
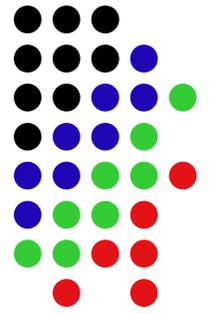
# Wechselstrom – Dünnschicht EL



- Doppelte Isolatorschicht
  - Vermeidung von Kurzschlüssen
  - Abgrenzung des Leuchtstoffes
  - Aufbau des elektr. Feldes
- Transparenz für Substrat, Elektrode und Isolator

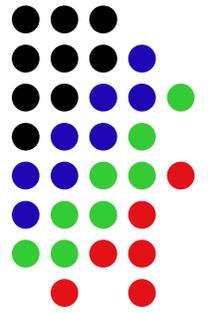


# Wechselstrom – Dünnschicht EL



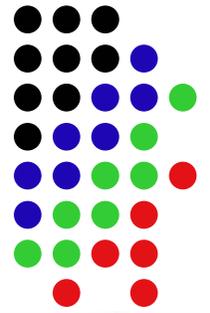
- „tunneln“
- beschleunigen
- anregen des Aktivators
- Polarisation
- Unterschied bei
  - CaS
  - SrS

# Wechselstrom – Dünnschicht EL

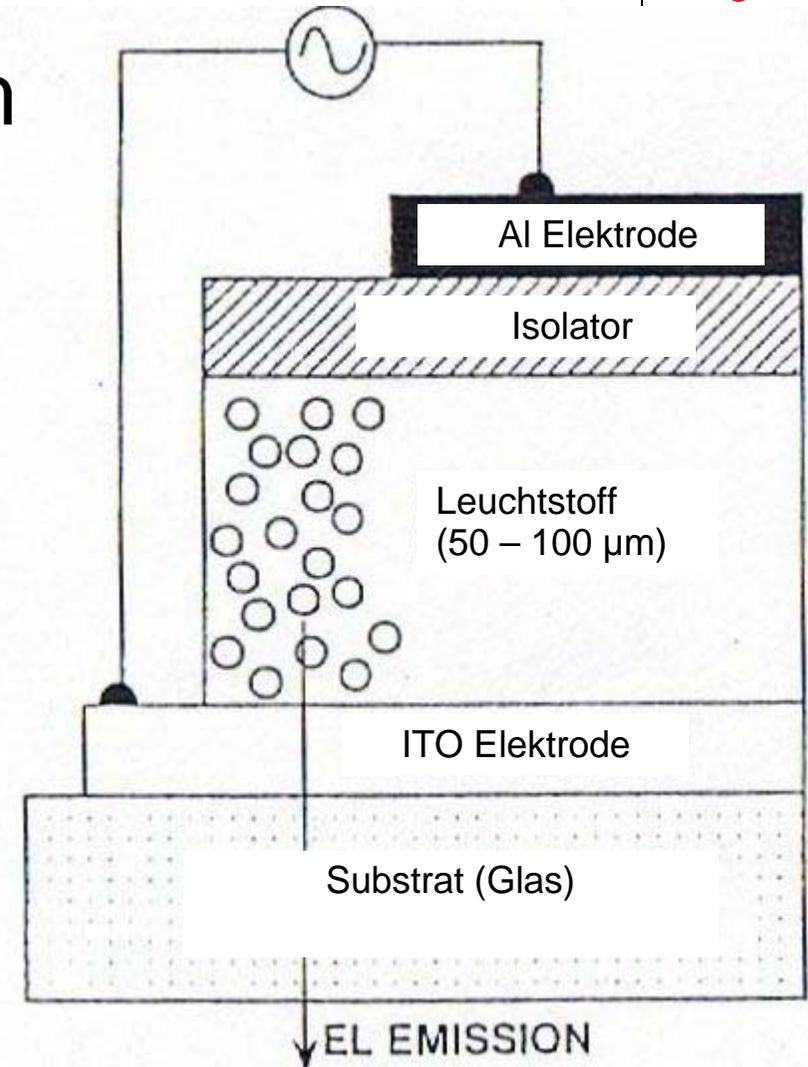


- Eigenschaften dieser Struktur
  - elektr. Feld in der Größe von  $10^8$  V/m
  - Kupfer ungeeignet als lumineszierendes Zentrum
  - hoher Temperaturspanne
  - robust
  - großer Betrachtungswinkel
  - guter Kontrast

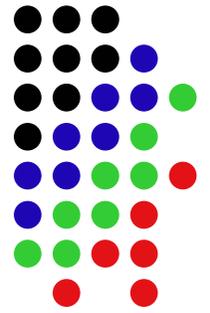
# Wechselstrom – Pulver EL



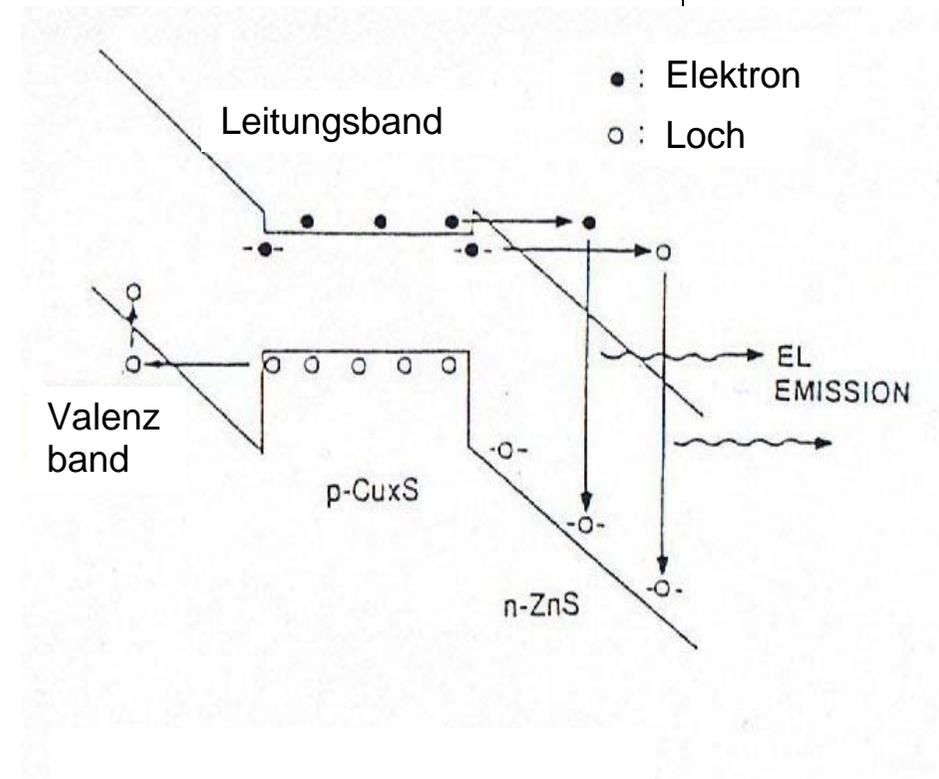
- Leuchtstoff in Dielektrikum eingebettet
  - Trennung der Leuchtstoffpartikel
- elektr. Feld von  $10^6$  bis  $10^7$  V/m
- Einfache Kontrolle der emittierten Farbe
- Einsatz als Hintergrundbeleuchtung für LCDs



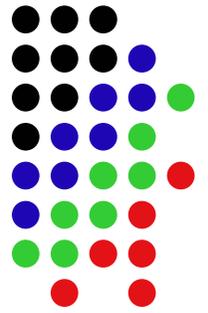
# Wechselstrom – Pulver EL



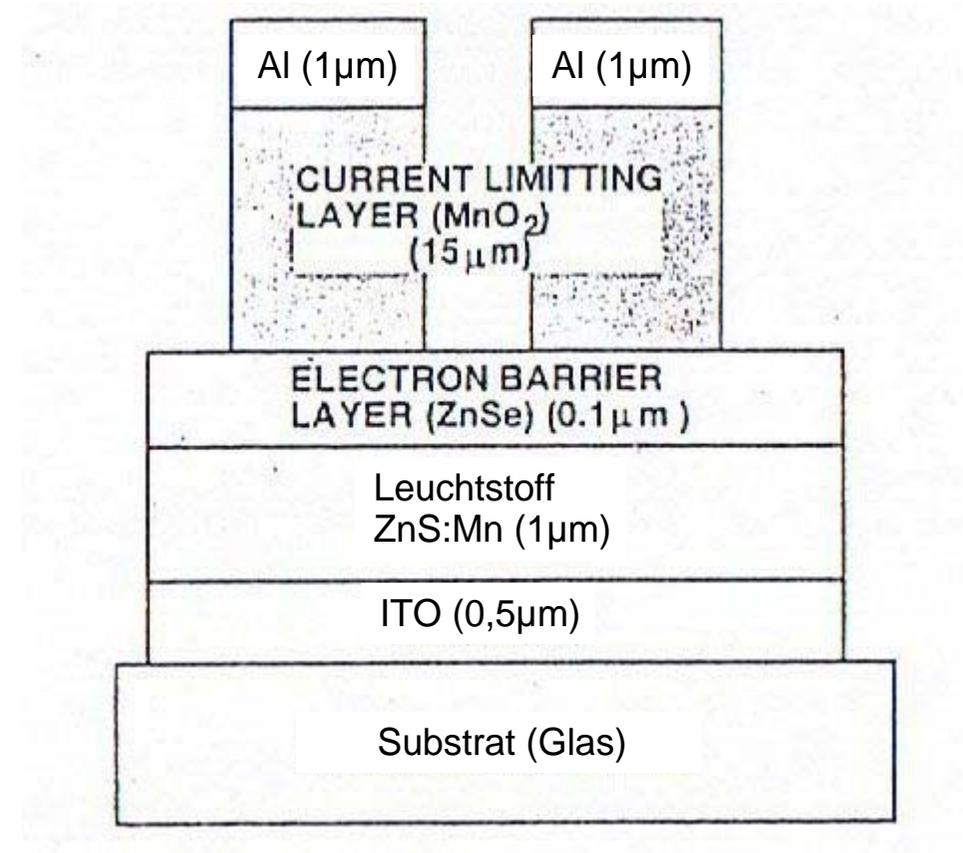
- Rekombination von Donor-Akzeptor Paaren
  - z.B.  $\text{Cl}^-$  als Donor und  $\text{Cu}^{2+}$  als Akzeptor
- Phasenänderung führt zum Ausfallen von  $\text{Cu}_x\text{S}$ 
  - hetero-junction
  - Konzentration des elektr. Feldes
- tunneln von Elektronen und Löchern
  - Einfang an Cu-Zentren und Rekombination



# Gleichstrom – Dünnschicht EL

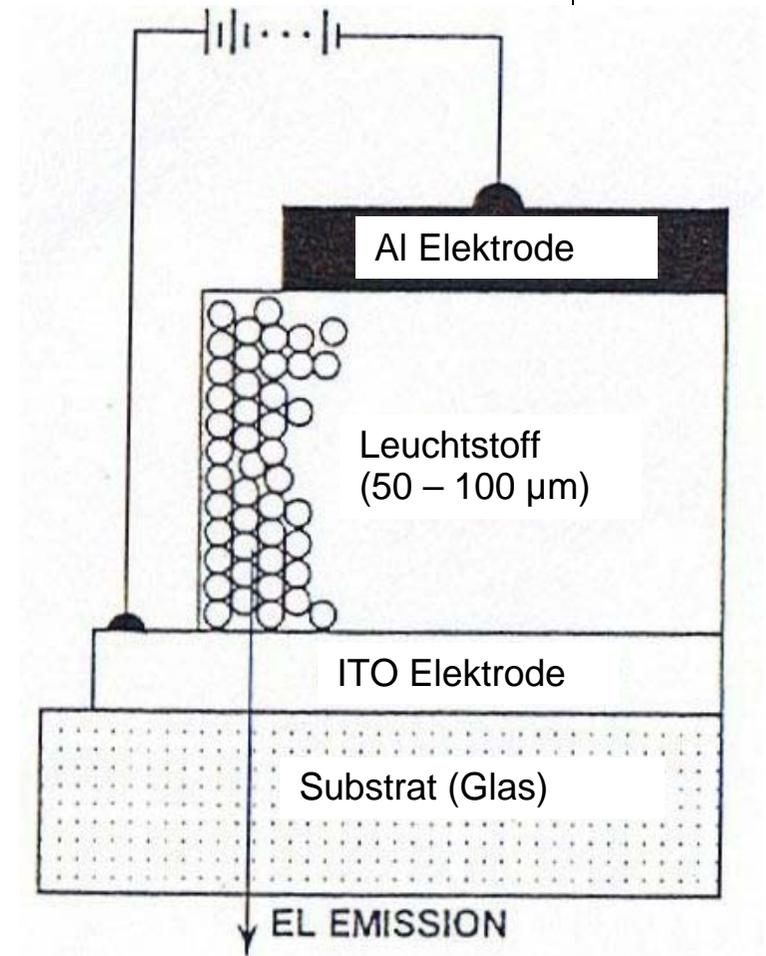
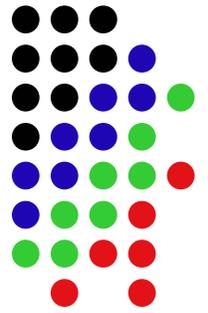


- Enthält Schicht zur Begrenzung der Stromstärke
- Keine kommerzielle Relevanz



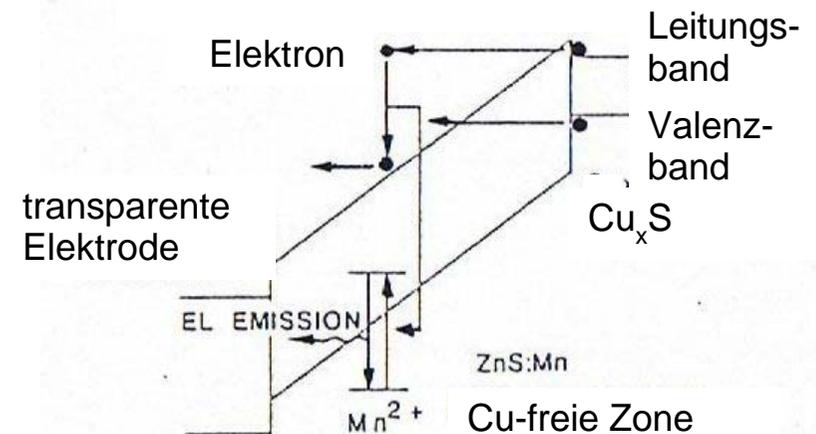
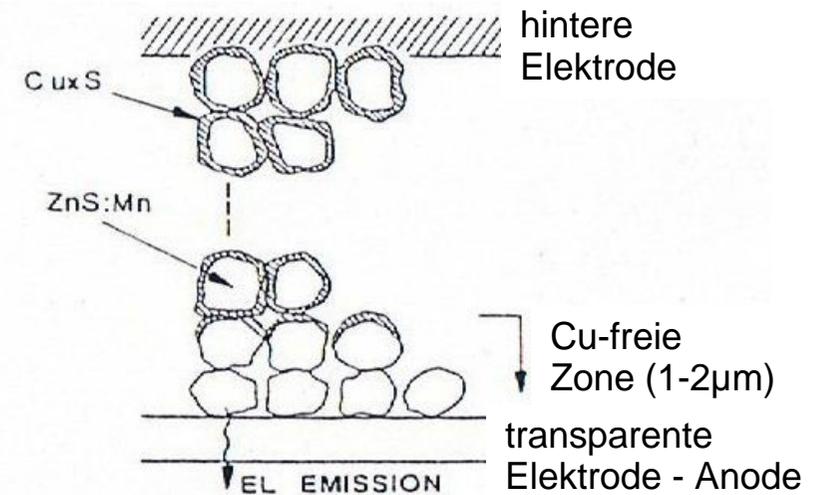
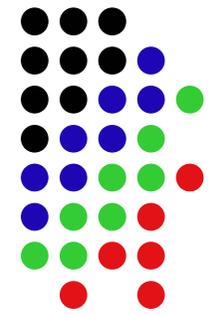
# Gleichstrom – Pulver EL

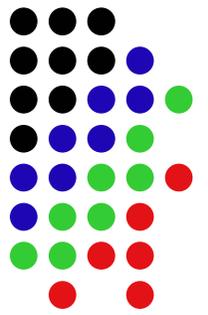
- Keine Isolatorschichten
- Leuchtstoffpartikel in Bindemittel
- Kapseln aus  $\text{Cu}_x\text{S}$
- Einfache Kontrolle der emittierten Farbe



# Gleichstrom – Pulver EL

- Ausbildung einer Kupfer-freien Zone
  - hoher Widerstand
  - $10^8$  V/m
- Elektronen tunneln aus  $\text{Cu}_x\text{S}$  Grenzschicht
  - Anregung des Aktivators
  - Lumineszenz

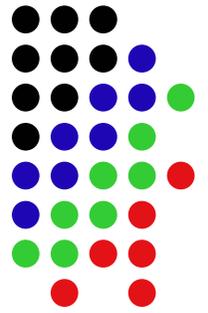




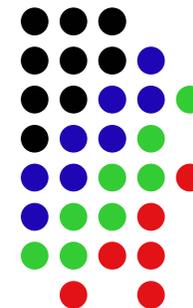
# Verfahren zur Herstellung

- Für Pulver-EL → Siebdruck
  - Für Dünnschicht-EL Verfahren in 2 Gruppen unterteilt:
    - Chemical Vapor Deposition CVD
    - Physical Vapor Deposition PVD
- Je nach Verfahren können unterschiedliche Intensitäten des EL-Lichts erreicht werden (Bsp. ZnS:Mn → Praktikum)

# Atomare Schicht-Abscheidung

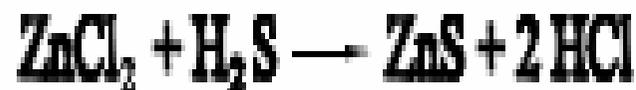
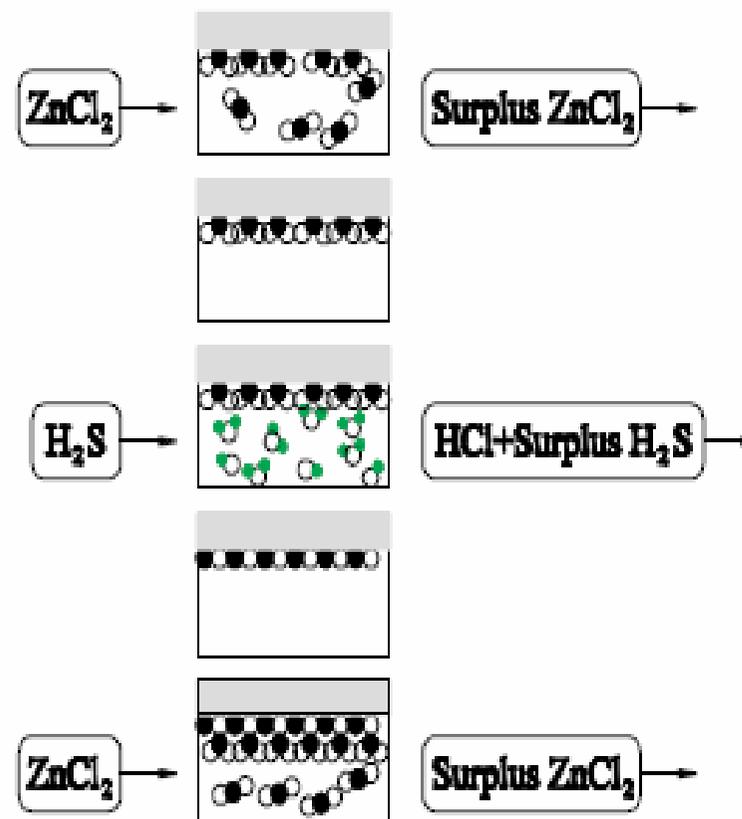


- Früher Atomare Schicht-Epitaxie ALE
- Vorteile: (Anforderungen an Schicht)
  - exakte Stöchiometrie
  - sehr gute Kontrolle über Dicke der Schichten
  - exakte Abgrenzung der Schichten
  - Isolator/Phosphor/Isolatorschicht-Block kann in einem fortlaufenden Prozess hergestellt werden
  - hohe Qualität der Kristalle

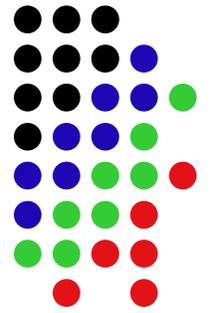


# Atomare Schicht-Abscheidung

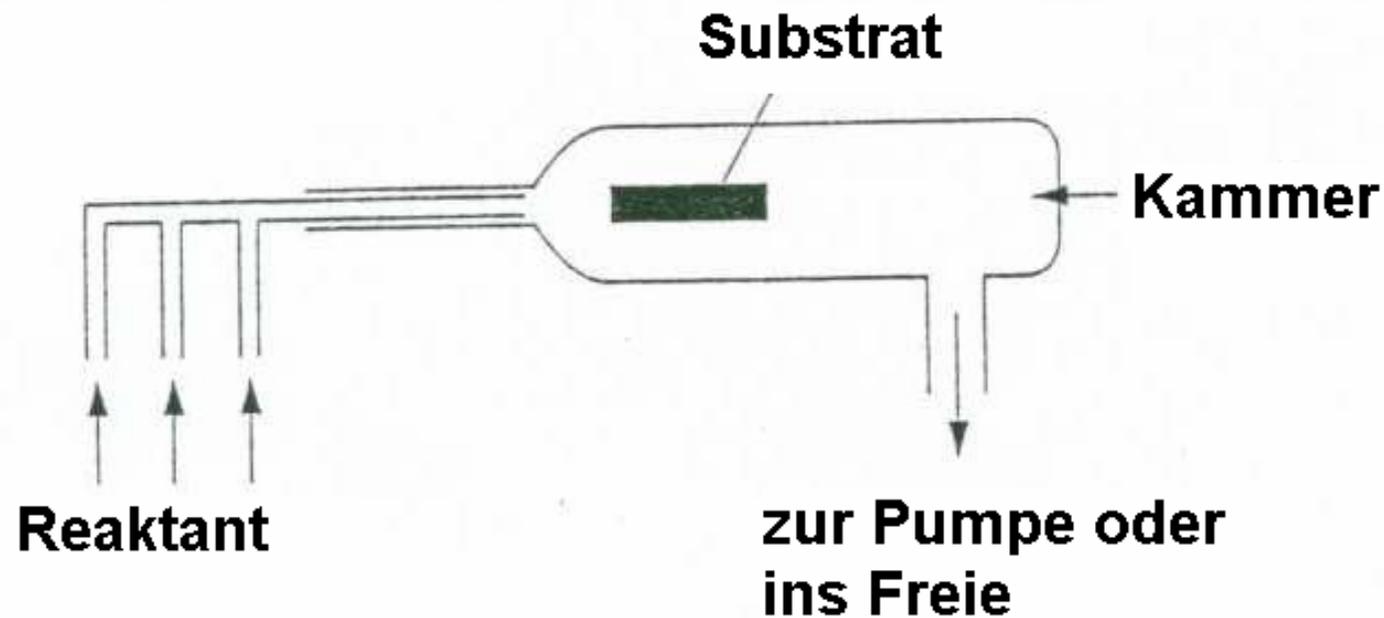
- Reaktanden in eine Vakuumkammer geleitet
- Einwirkung der ersten Vorstufe
- Spülen der Reaktionskammer,
- Einwirkung der zweiten Vorstufe
- Zweites Spülen der Reaktionskammer



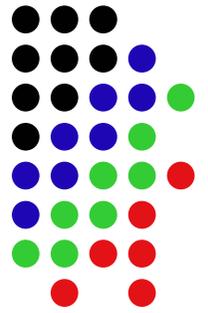
# Atomare Schicht-Abscheidung



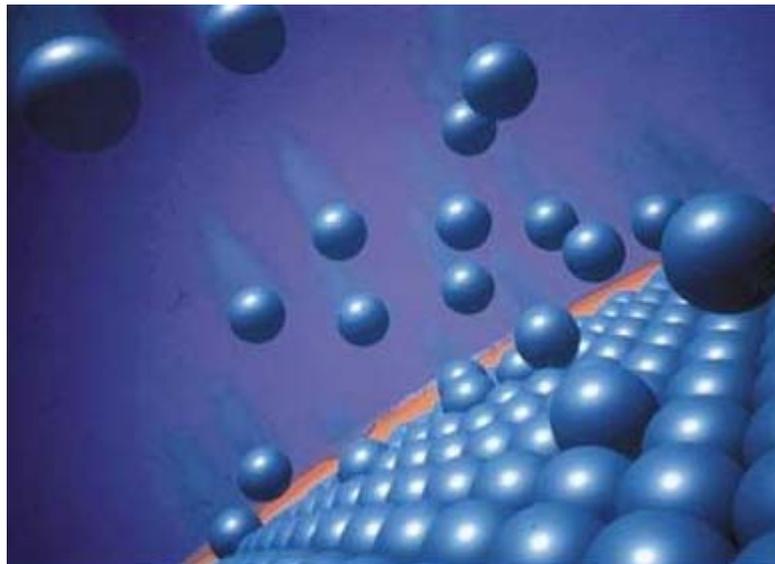
- Reaktionskammer für ALD

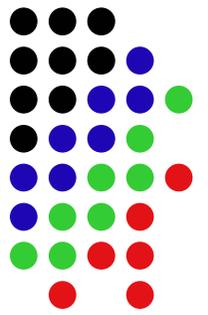


# Atomare Schicht-Abscheidung



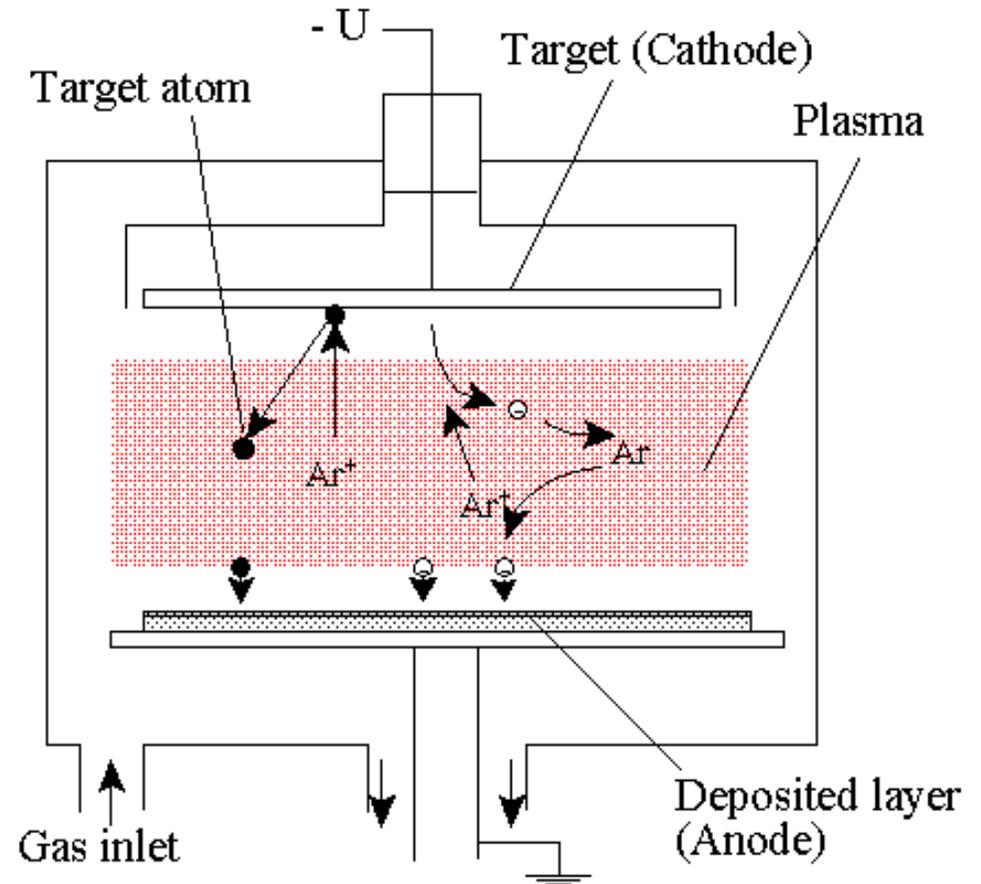
- Temperatur und Dauer des Einwirkens variiert für jedes Element
- ein Zyklus zwischen 0,5 und einigen Sekunden lang
- pro Zyklus werden 0,1–3 Å an Filmmaterial erzeugt (0.1 – 3 nm)



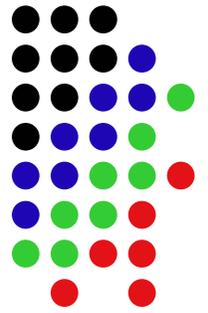


# Sputtern

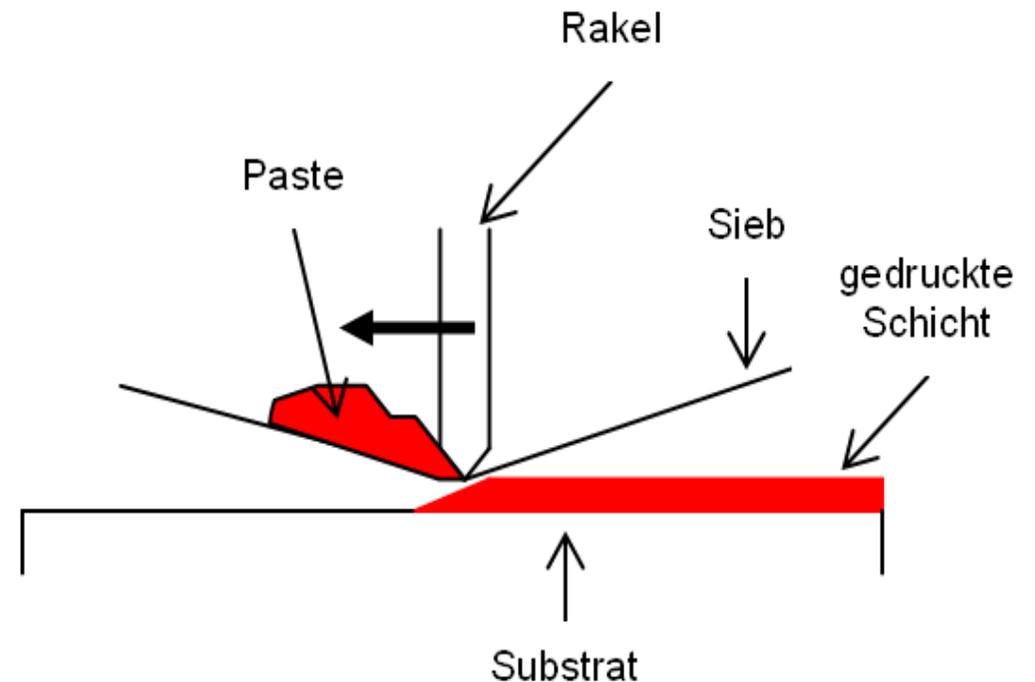
- Atome durch Beschuss mit energiereichen Ionen (meist  $\text{Ar}^+$ ) aus Festkörper (Target) gelöst
- Gehen in Gasphase über
- Anlagern an Substrat

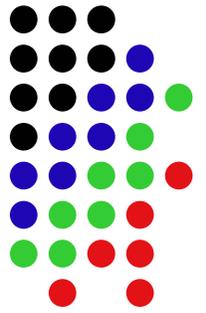


# Siebdruckverfahren



- durch ein feinmaschiges Gewebe mit einem Rakel direkt auf ein Substrat
- Maschen des Siebs an dem keine Paste auf Substrat soll verschlossen
- Nach dem Drucken getrocknet und gesintert





# Materialien

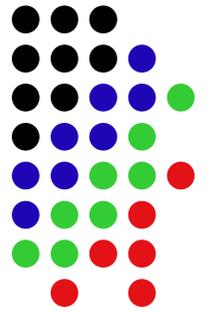
- Isolatorschichten
  - Möglichst Defektfrei
  - Genügend große Bandlücke
  - hohe Dielektrizitätszahl
  - hohe Durchbruchsspannung

Verwendet werden:

1. Oxide und Oxinitride: z.B.  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{AlO}_x\text{N}_y$
2. Ferroelektrika: z.B.  $\text{BaTiO}_3$ ,  $\text{SrTiO}_3$ .

# Materialien

- Elektroden
    - Gute Haftung am Isolator
    - Stabil in großen elektrischen Feldern  $10^8$  V/m
    - Hoher Transmissionskoeffizient (im VIS-Bereich)
    - Passender Ausdehnungskoeffizient
    - Gute elektrische Leitfähigkeit
- Aluminium, ITO und Polymere

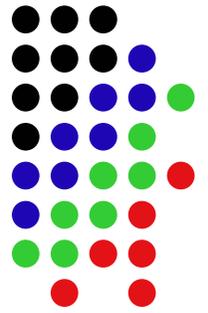


**ITO-Schicht**



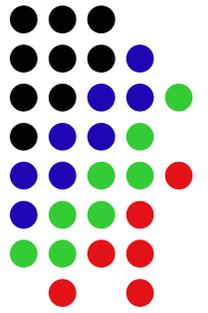
**Al-Elektrode**

# Materialien



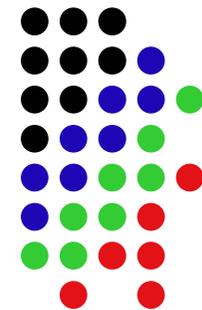
- ITO-Schicht
  - Sehr gute elektrische Leitfähigkeit und transparent
  - Mischoxid aus 90%  $\text{In}_2\text{O}_3$  und 10%  $\text{SnO}_2$
  - $\text{SnO}_2$  ist Dotiermittel - erzeugt Fehlstellen im Kristallgitter des  $\text{In}_2\text{O}_3$  → gute elektrische Leitfähigkeit





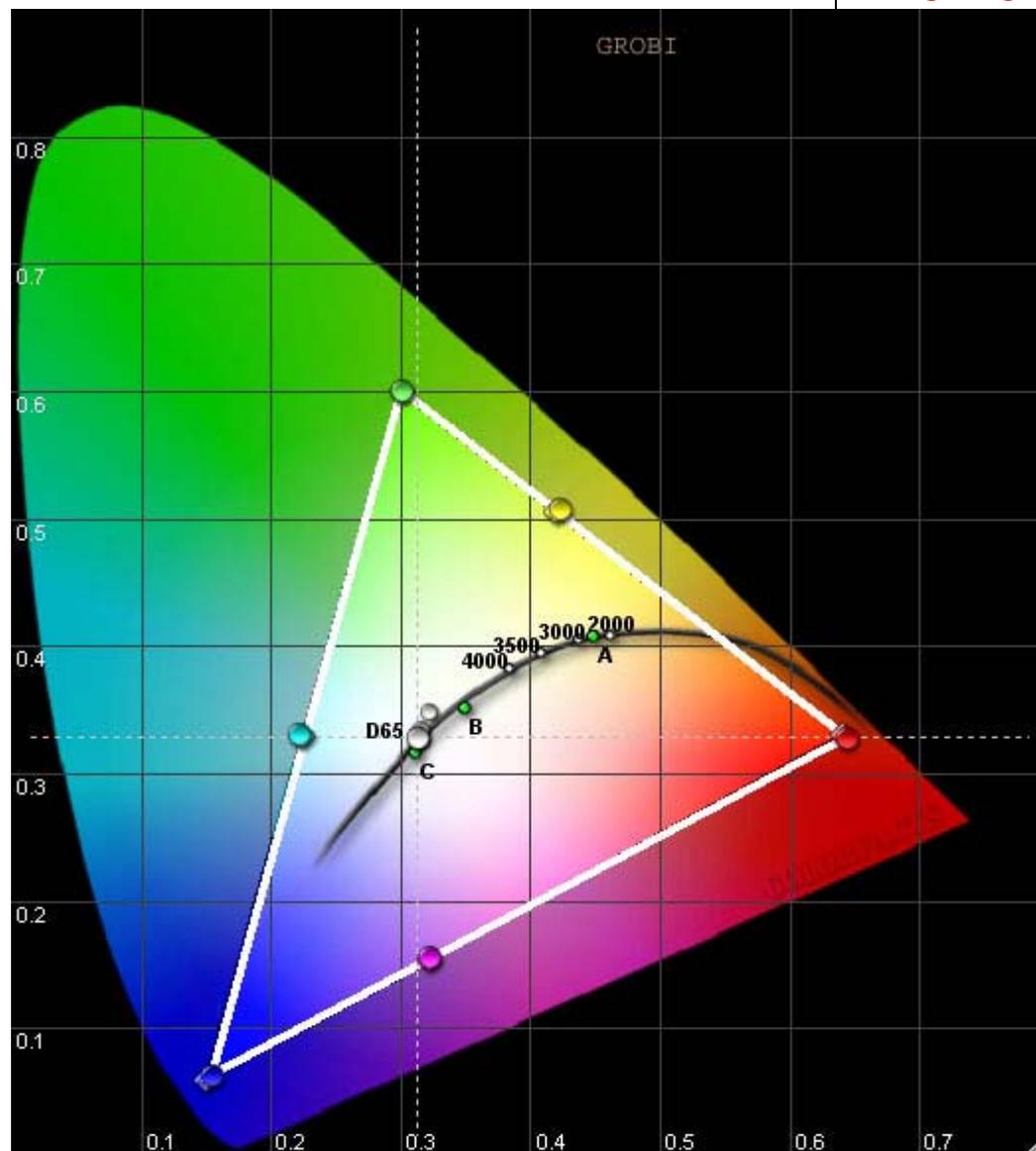
# Materialien

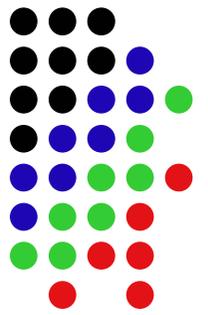
- Substrate
  - hohe Transmission
  - Passender therm. Ausdehnungskoeffizient
  - Hoher elektrischer Widerstand
  - Stabil bei Temperaturen bis 650°C
- Spezielle Phosphor- und Aluminosilikatgläser
- Polymere z.B. PMMA, PC und TPU



# Welche Eigenschaften benötigen gute EL-Leuchtstoffe?

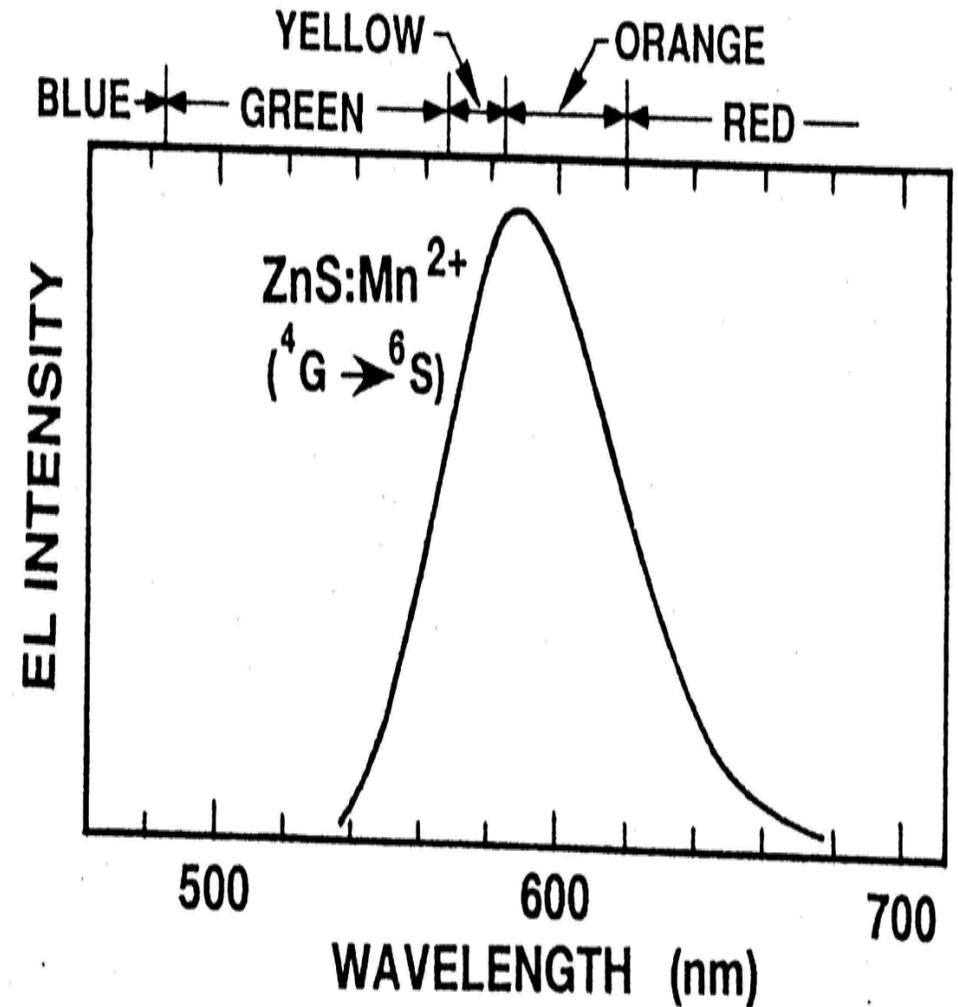
- Hohe Leuchtdichte  $\text{cd/m}^2$
- Hohe Lichtausbeute  $\text{lm/W}$
- Farbsättigung
- Chemische Stabilität
- Gute Mischkristallbildung (3er-Regel)



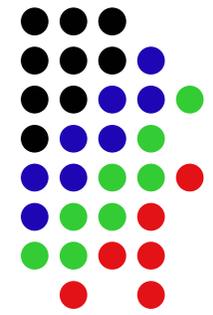


# Leuchtstoffe basierend auf ZnS

- ZnS:Mn mit kubischem Kristallgitter  
→ gelb-orange (~585 nm)
- ZnS:Mn mit hexagonalem Kristallgitter  
→ gelb (~580 nm)  
x = 0,50 und y = 0,50

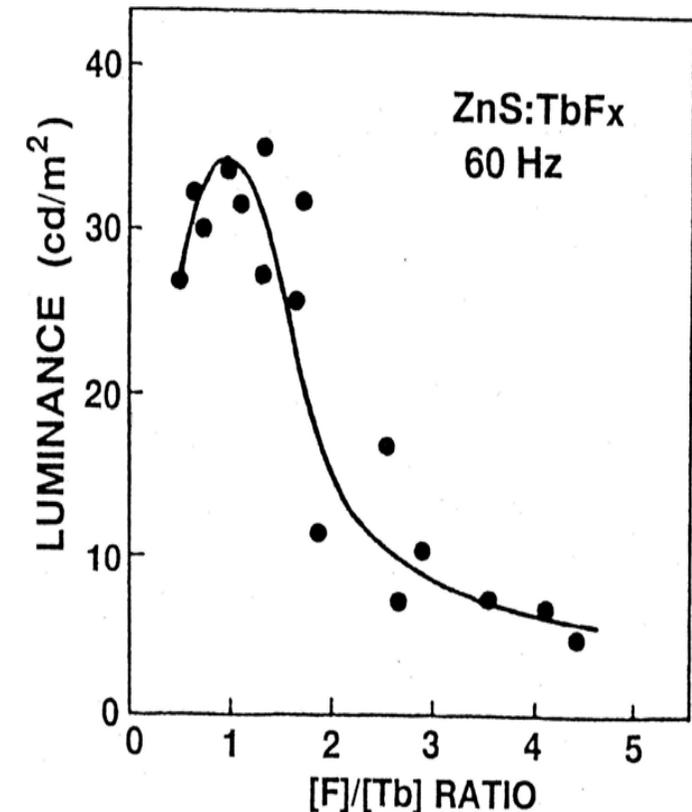


# Leuchtstoffe basierend auf ZnS dotiert mit Seltenerden

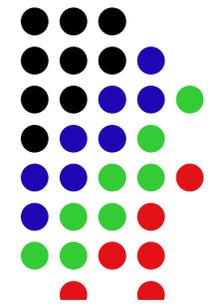


RARE-EARTH ELEMENTS					
Ce <sup>3+</sup>	<u>Pr</u> <sup>3+</sup>	<u>Nd</u> <sup>3+</sup>	Pm <sup>3+</sup>	<u>Sm</u> <sup>3+</sup>	
Eu <sup>3+</sup>	Eu <sup>2+</sup>	Gd <sup>3+</sup>	<u>Tb</u> <sup>3+</sup>	<u>Dy</u> <sup>3+</sup>	
<u>Ho</u> <sup>3+</sup>	<u>Er</u> <sup>3+</sup>	<u>Tm</u> <sup>3+</sup>	Yb <sup>3+</sup>	Lu <sup>3+</sup>	

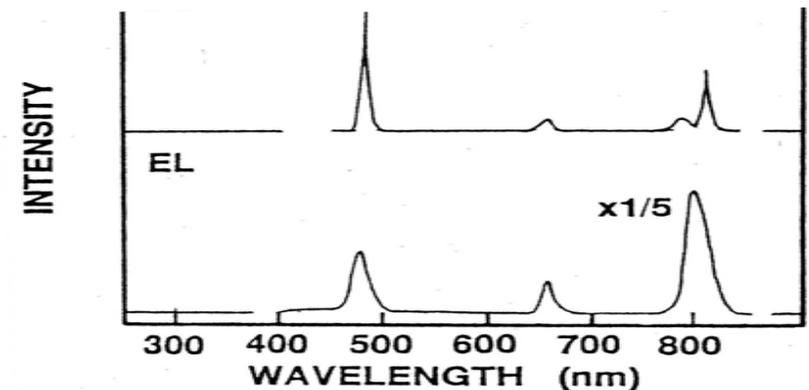
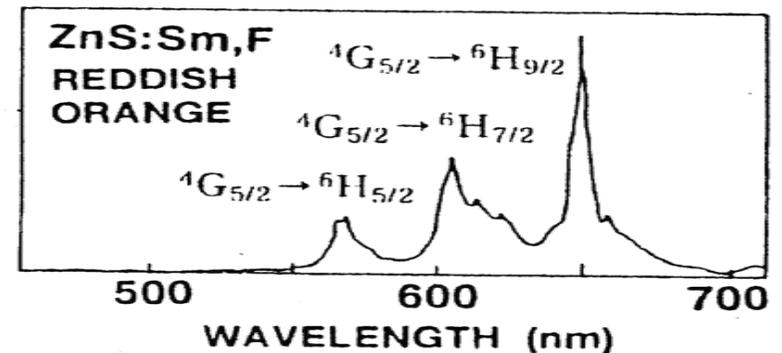
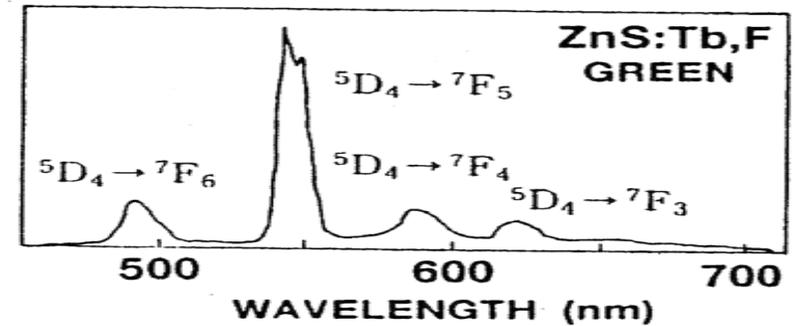
- Ladungskompensation durch Halogenide
- Höhere Leuchtdichte
- Beispiel  $Zn_{1-x}Tb_xSF_x$



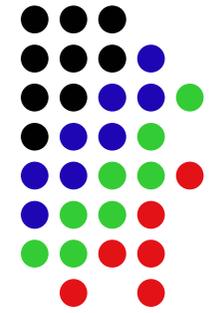
# Leuchtstoffe basierend auf ZnS dotiert mit Seltenerden



- ZnS:Tb,F → grün  
x = 0,32 und y = 0,60
- ZnS:Sm,F → rot-orange  
x = 0,60 und y = 0,38
- ZnS:Tm,F → blau-grün  
x = 0,11 und y = 0,09

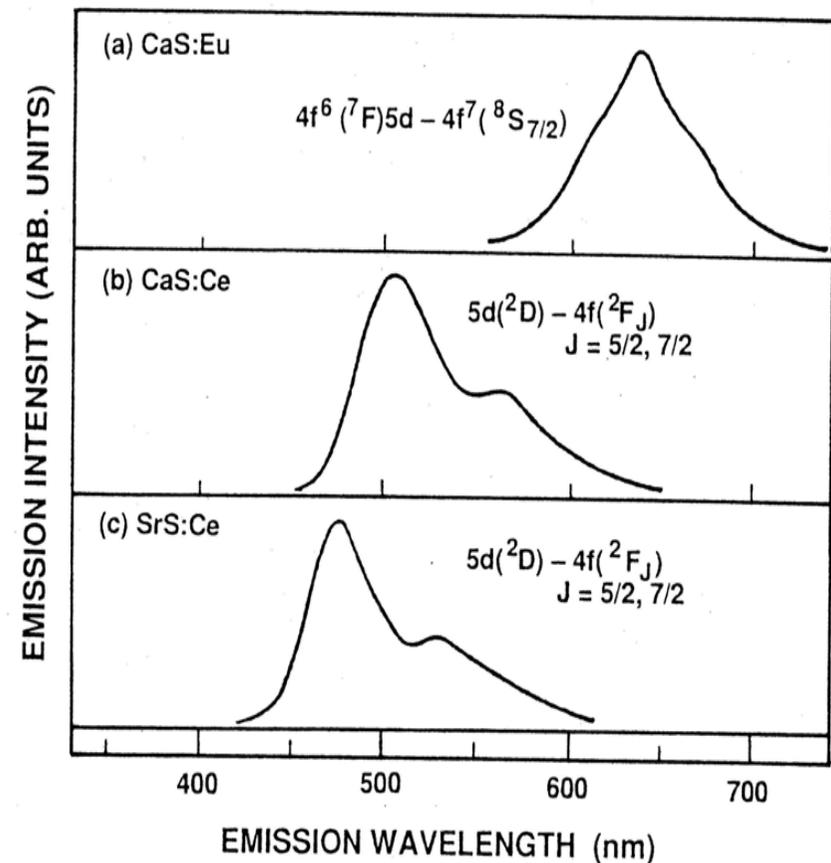


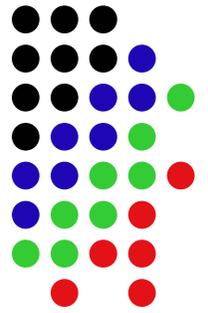
# Leuchtstoffe auf Basis von CaS und SrS



Color Thin-Film EL Devices Based on CaS and SrS Phosphors

- **CaS:Eu** → rot  
 $x = 0,68$  und  $y = 0,31$
- **CaS:Ce** → grün  
 $x = 0,27$  und  $y = 0,52$
- **SrS:Ce** → blau  
 $x = 0,19$  und  $y = 0,38$

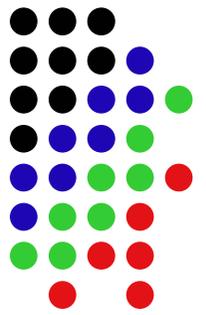




# Leuchtstoffe auf Basis von CaS und SrS

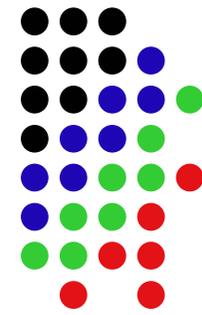
## Nachteile dieser Leuchtstoffe:

- stark hygroskopisch
  - $\text{CaS} + 2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{S}$
- Anfällig für Sauerstoff aus Elektrolyse von Wasser
  - $2 \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{H}_2 + \text{O}_2$
  - $\text{CaS} + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4$
- Lichtausbeute
- zum Teil Filterung notwendig



# Leuchtstoffe basierend auf Erdalkalithiogallaten

- Allgemeine Formel  $\text{MGa}_2\text{S}_4$  (mit  $\text{M} = \text{Ca}, \text{Sr}$  oder  $\text{Ba}$ )
- $\text{CaGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}$ ,  $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}$  und  $\text{BaGa}_2\text{S}_4:\text{Ce}$   
→ tiefblau  
 $x = 0,15$   $y = 0,19$   
 $x = 0,15$   $y = 0,10$   
 $x = 0,15$   $y = 0,15$
- $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}$   
→ tiefgrün  
 $x = 0,26$   $y = 0,69$



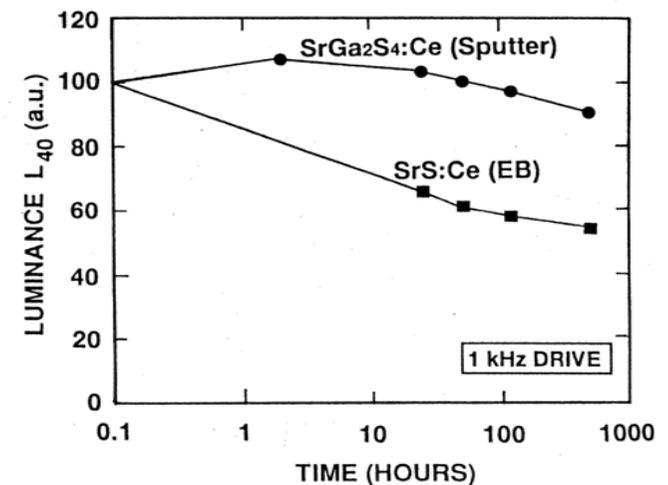
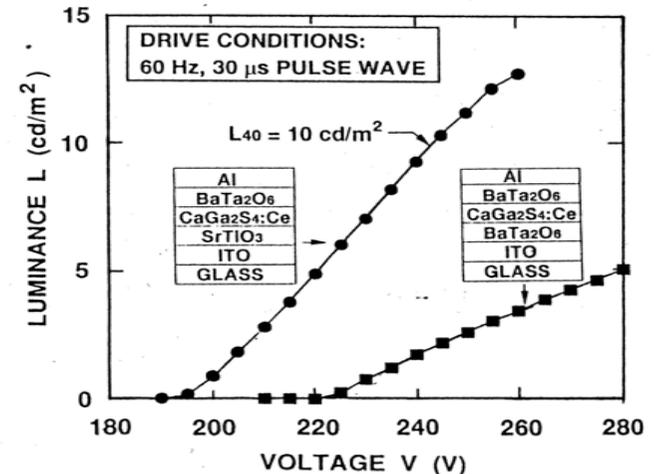
# Leuchtstoffe basierend auf Erdalkalithiogallaten

## Nachteile der Thiogallate

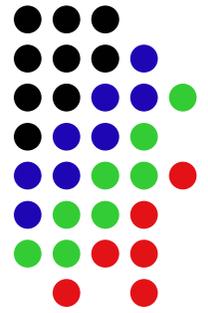
- Es werden Isolatoren mit hohen Dielektrizitätskonstanten benötigt

## Vorteile der Thiogallate

- Gute Alterungscharakteristik



# Leuchtstoffmischungen, die weißes Licht emittieren

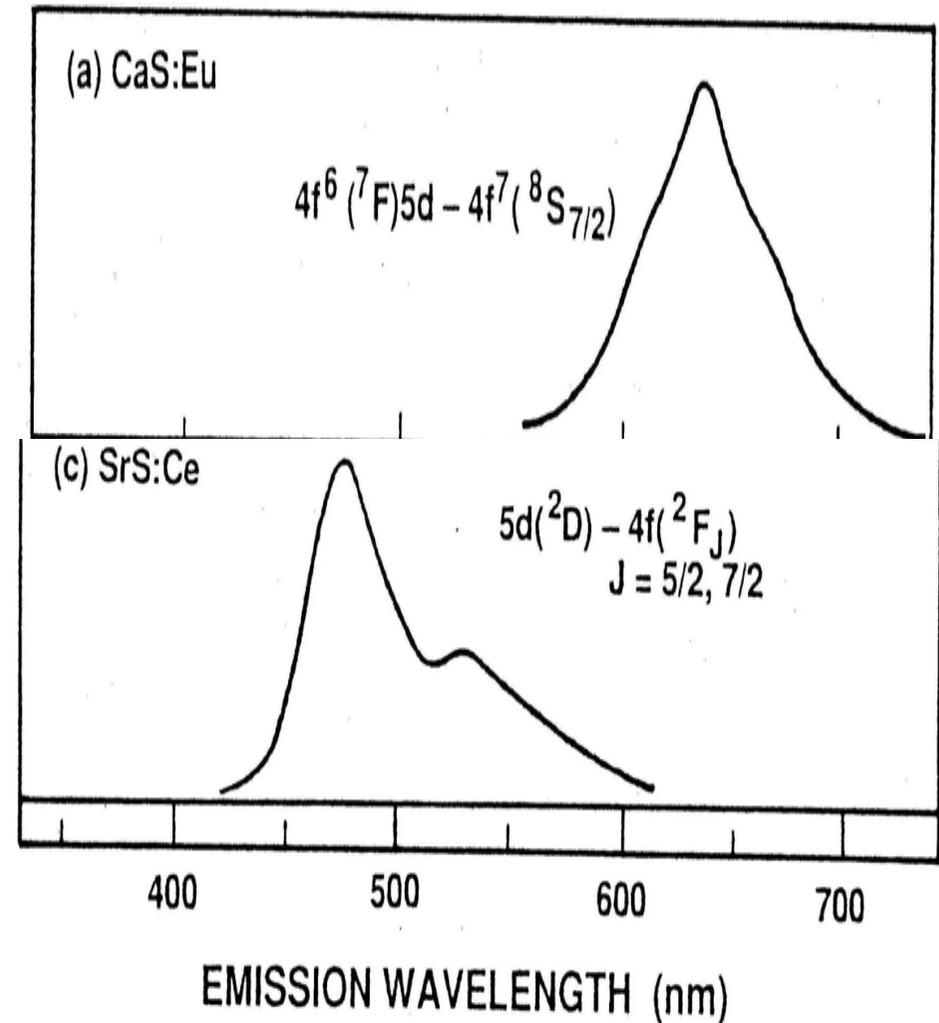


## Voraussetzung

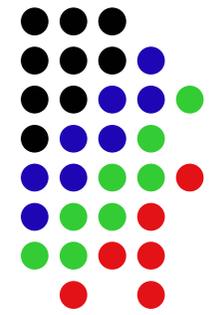
Die Emissionsbande sollte über den gesamten optischen Bereich verlaufen

## Beispiel

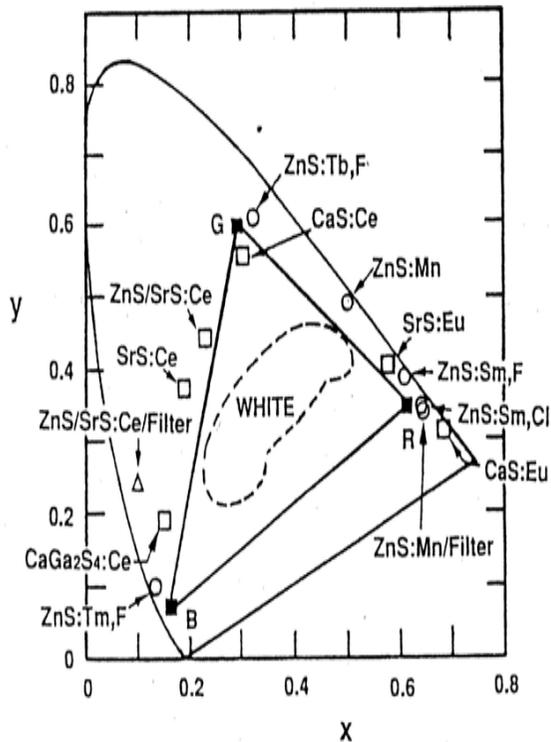
SrS:Ce/CaS:Eu



# Zusammenfassung der verwendeten Leuchtstoffe in EL-Anwendungen



Wenige Leuchtstoffe eignen sich für EL-Anwendungen

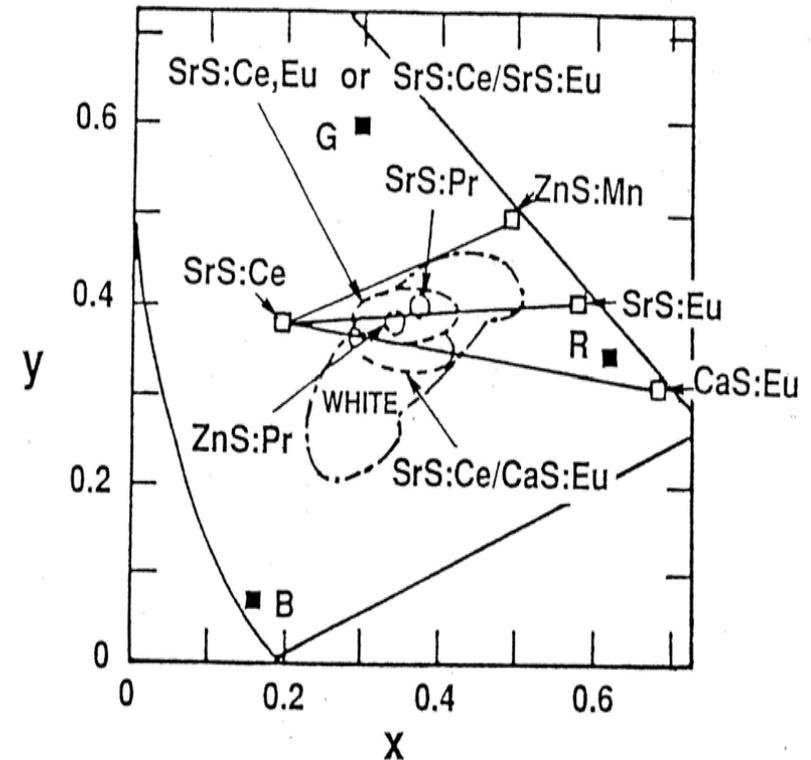


Suitable Thin-Film EL Phosphors

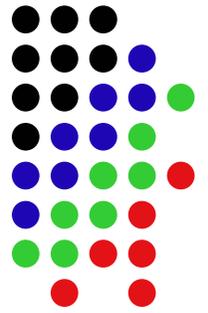
Color	Phosphor	CIE Color Coordinates	
		x	y
Red	ZnS:Mn/Filter	0.65	0.35
	ZnS:Sm,Cl	0.64	0.35
	CaS:Eu	0.68	0.31
Green	ZnS:Tb,F	0.32	0.60
Blue	CaGa <sub>2</sub> S <sub>4</sub> :Ce	0.15	0.19
	ZnS/SrS:Ce/Filter	0.10	0.26

Color CRT Phosphors

Color	Phosphor	CIE Color Coordinates	
		x	y
Red	Y <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S:Eu	0.624	0.337
Green	ZnS:Cu,Al	0.312	0.597
Blue	ZnS:Ag	0.157	0.069



# Anwendungen



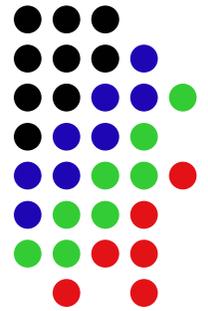
- Hintergrundbeleuchtung für Werbetafeln



- Hintergrundbeleuchtung von Instrumententafeln



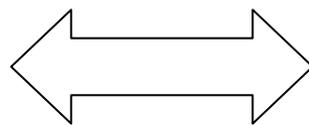
# Anwendungen



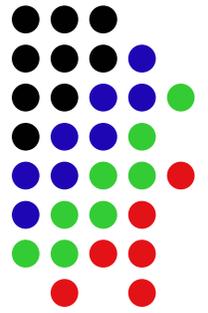
- Hintergrundbeleuchtung für LCDs
- Displays auf EL Basis



- Selbstleuchtende Nummernschilder oder Schulranzen

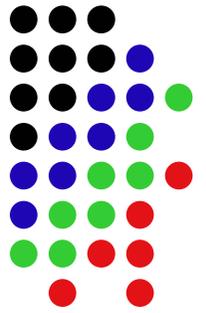


# Anwendungen



- Viele Designanwendungen denkbar
  - Automobilhimmel
  - Lichtquellen
  - dekorative Elemente



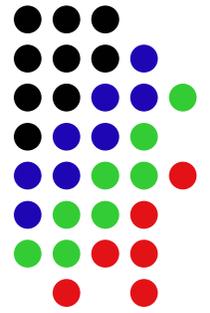


# Vorteile EL-Licht

- Dünne Folien (0,5 – 1 mm)
- Geringes Gewicht
- Blend- und flimmerfreies, weitsichtbares Licht
- Geringer Energieverbrauch
- Weitgehende Wartungsfreiheit
- kaum Wärmeentwicklung
- Stoßunempfindlich, trittfest und unzerbrechlich
- Lebensdauer 10000 – 15000 h (20000 – 30000 h)



# LYTTRON

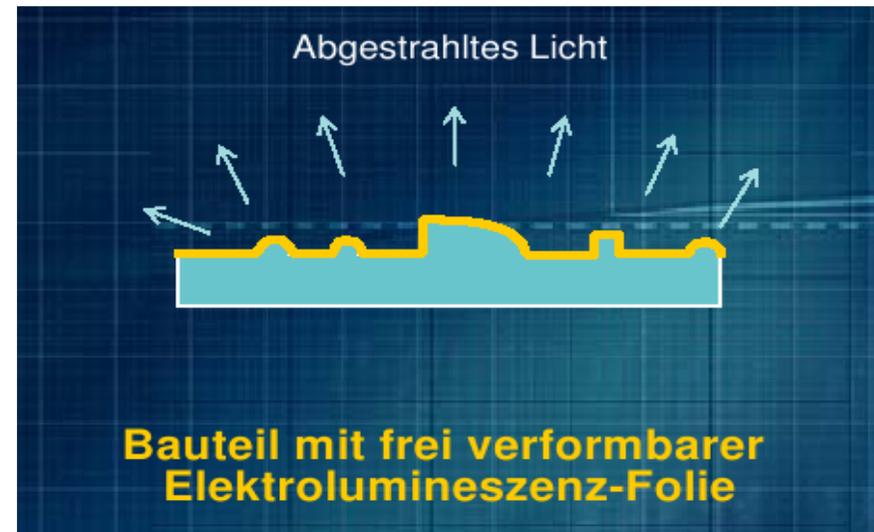


- Neue Möglichkeiten durch Smart Film  
Technologie der Firma LYTTRON

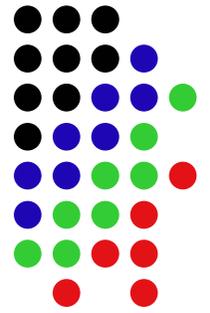
Herkömmliche Technologie: **2D**



LYTTRON Smart Film: **3D**

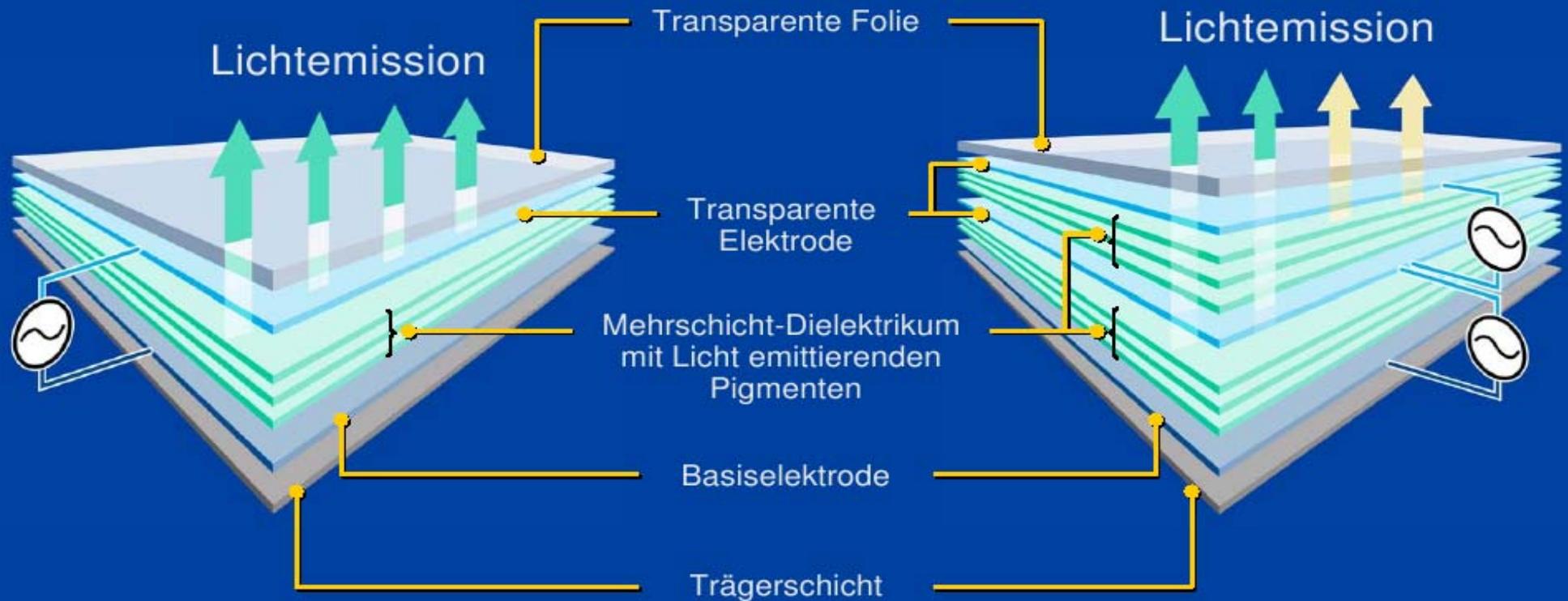


# LYTTRON

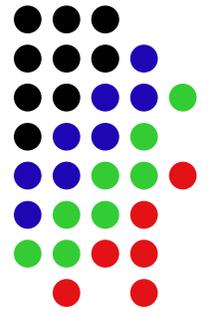


## Einfarbige Emission

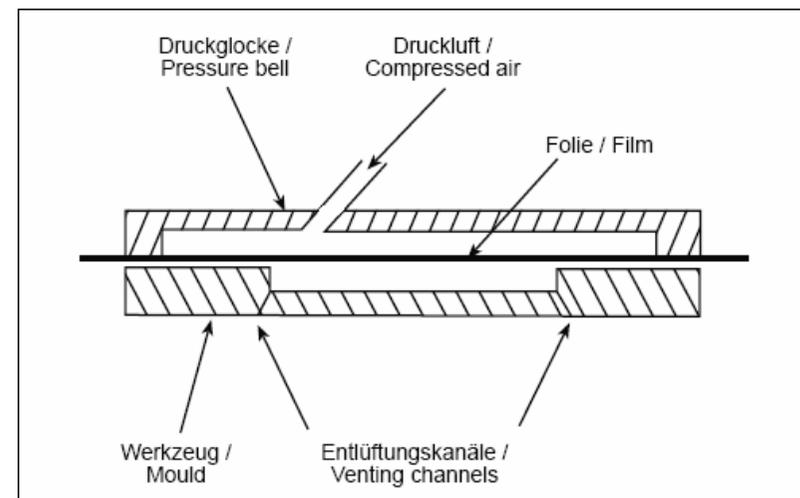
## Zweifarbige Emission

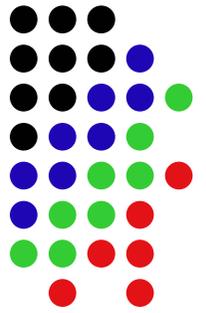


# LYTTRON



- Transparente Elektroden
  - Polymere wie Baytron®
    - gute Leitfähigkeit
    - sind flexibel
    - leicht verarbeitbar
- High Pressure Forming
  - Statt Tiefziehen
    - Vorher erwärmt
    - Unter Hochdruck verformt

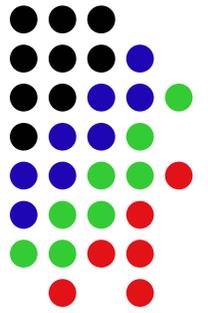




# LYTTRON

- Leuchtstoffe sind verwandt, mit denen aus Leuchtstoffröhren
  - Rot:  $Y_2O_3:Eu$
  - Grün:  $LaPO_4:Ce,Tb$
  - Blau:  $BaMgAl_{10}O_{17}:Eu$
- Verkapselung der Pigmente zum Schutz
  - Ähnlicher Brechungsindex von PUR ( $n \sim 1.56$ ) und  $Al_2O_3$  ( $n \sim 1.76$ )
  - Konflikt von Leuchtdichte und Lebensdauer

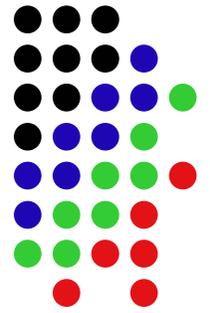




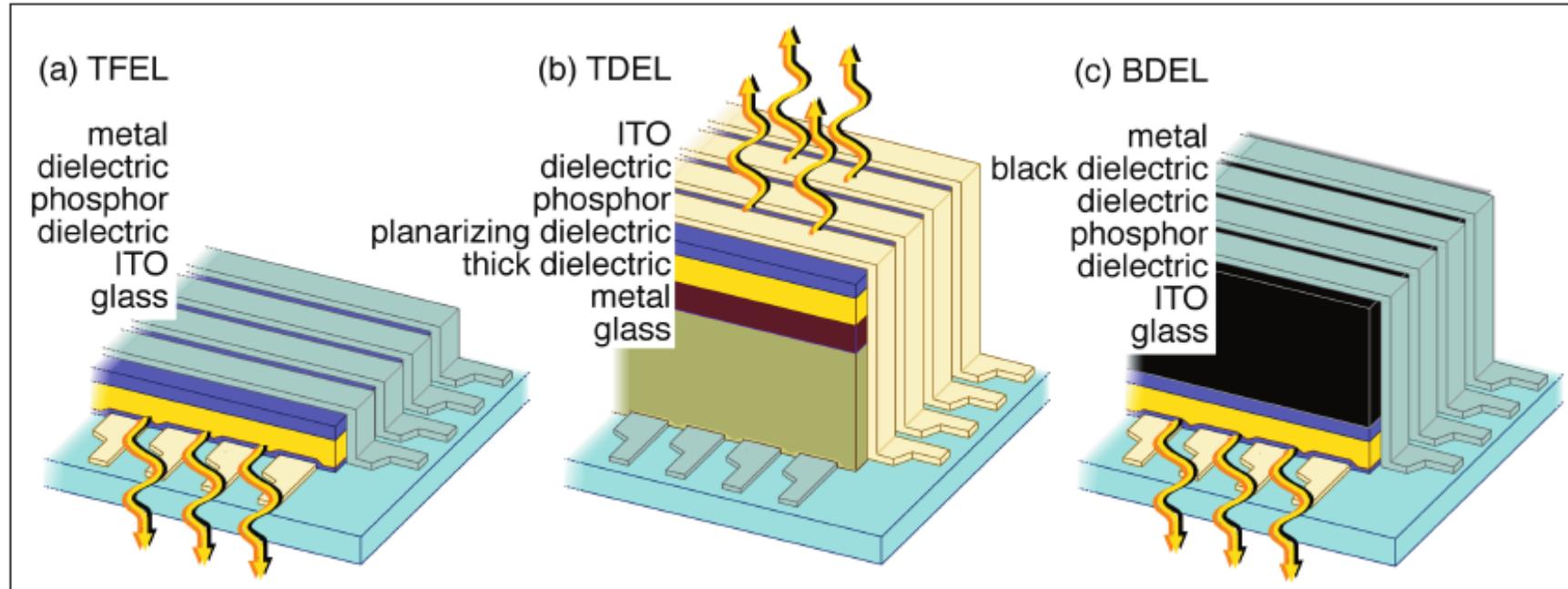
# LYTTRON

- Ziele der Forschung
  - Leitschichten verbessern
    - Polymere mit besserer Leitfähigkeit und Transparenz
  - Einheitliche Pigmentgröße
    - Zur Zeit Verteilung von 5  $\mu\text{m}$  bis zu 80  $\mu\text{m}$
  - Besserer Schutz vor Wasser durch Substrate
  - Verformbarkeit
  - Lebensdauer
  - Leuchtdichte

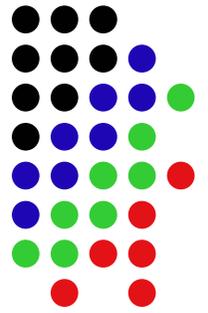
# Zukunft der EL – Displays



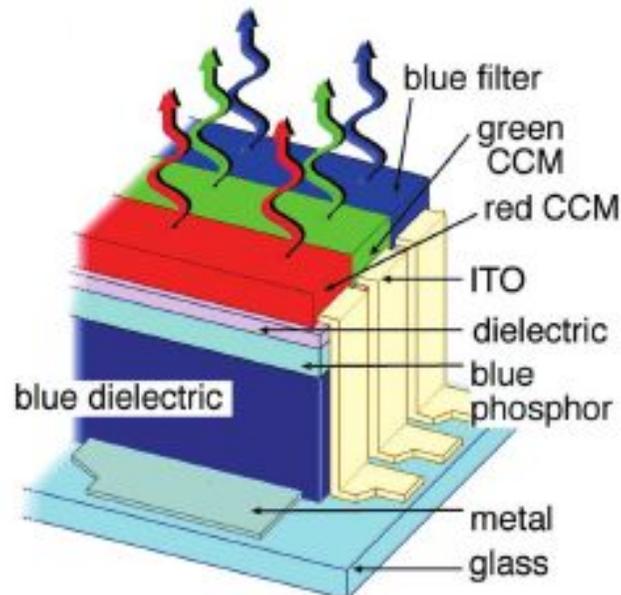
- Abkehr von der Dünnschichtvariante
  - Dicke Isolatorschicht – EL Struktur TDEL oder
  - Schwarze Isolatorschicht – EL Struktur BDEL

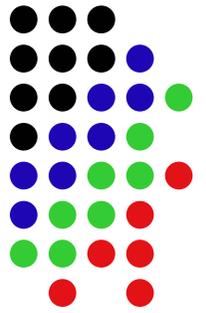


# Zukunft der EL – Displays



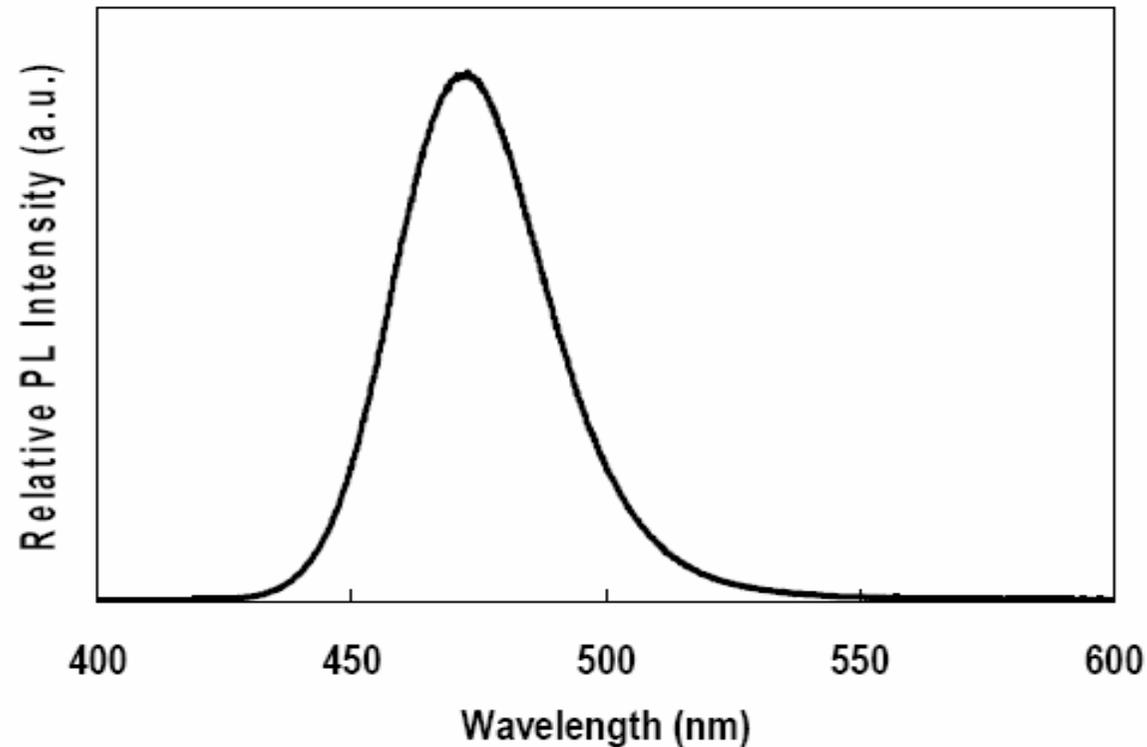
- Neue Methode entwickelt bei iFire: CBB
  - Colour by blue via CCM
  - Hocheffizienter blau emittierender Leuchtstoff
  - Konvertierung des blauen Lichts in RGB Displayfarben



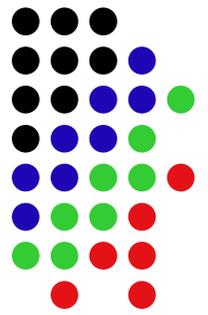


# Zukunft der EL – Displays

- iFire entwickelt neuen blauen Leuchtstoff  
→  $\text{BaAl}_2\text{S}_4:\text{Eu}$        $x = 0,12$     $y = 0,10$



# Danksagung



Ein herzliches Dankeschön möchten wir aufgrund der freundlichen Unterstützung an folgende Firmen richten:

