



# Zeldzame Aarden voor een Duurzame Aarde

Andries Meijerink

*Debye Institute, Departement Scheikunde,  
Faculteit Bètawetenschappen, Utrecht University  
e-mail: [a.meijerink@uu.nl](mailto:a.meijerink@uu.nl)*





## Inhoud:

- Inleiding zeldzame aarden
- Zeldzame aarden voor een duurzame aarde
- Duurzame lichtbronnen
  1. TL-buizen
  2. LED-lampen
  3. Beeldschermen
  4. Nalichtende materialen
  5. Zonnecellen
  6. Geld
- Conclusies
- Een 'Chemystery'

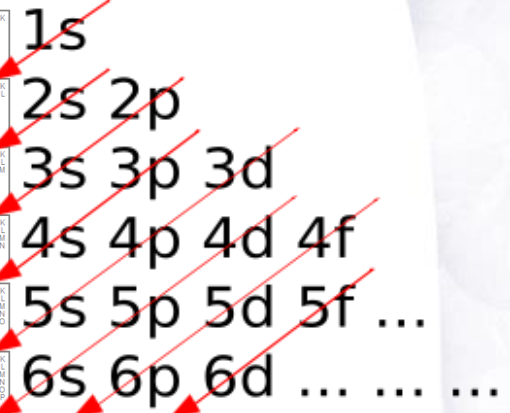
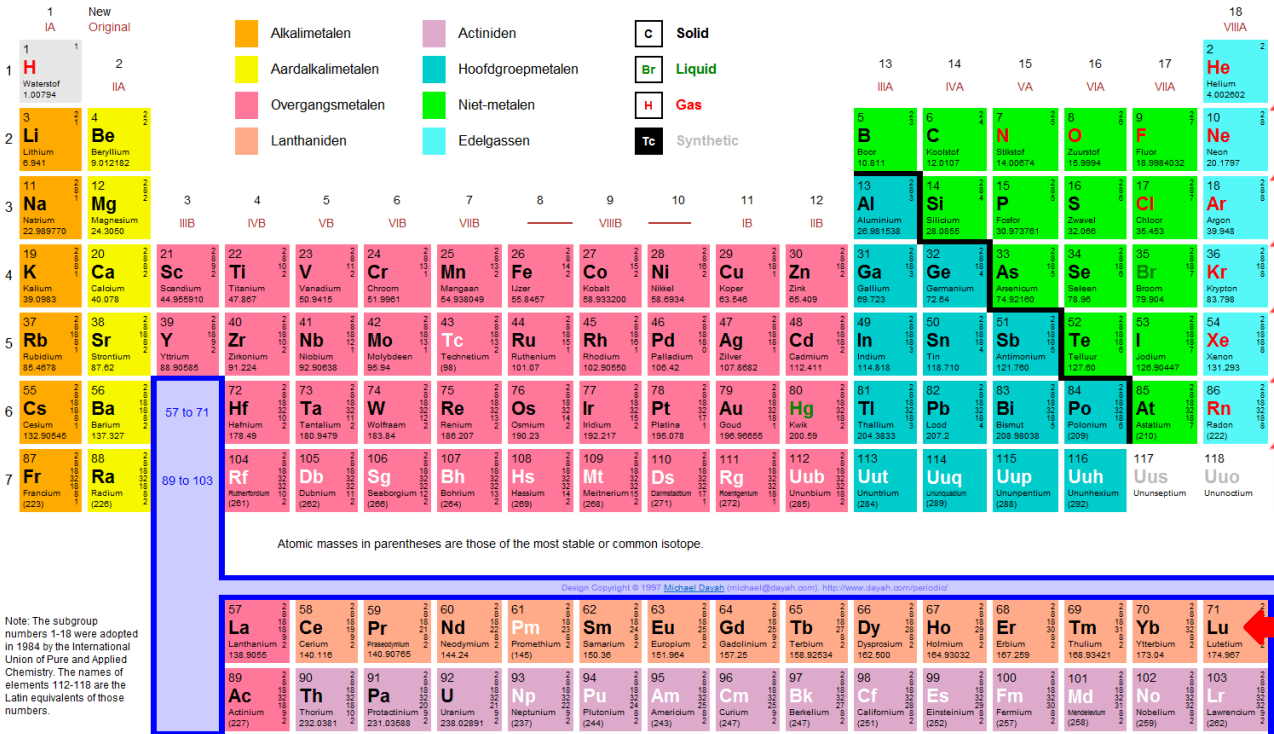
# Zeldzame aarden: Lanthaniden + Sc en Y



Lanthaniden afgeleid van het Griekse woord "λανθανειν" wat betekent "verborgen liggen" – verborgen positie onderaan PS:

## Periodiek Systeem der Elementen

Opvullen schillen volgens het Afbau principe:



Ln – 4f binnenschil wordt opgevuld met elektronen

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

# Verborgenen elementen?

Sinds kort niet meer:

Snel toenemende high tech toepassingen en Chinese exportbeperkingen hebben zeldzame aarden bekend gemaakt.



# Kijk

Nr. 3 2011  
[www.kijk.nl](http://www.kijk.nl)

Winkelprijs € 4.99





Vraag:

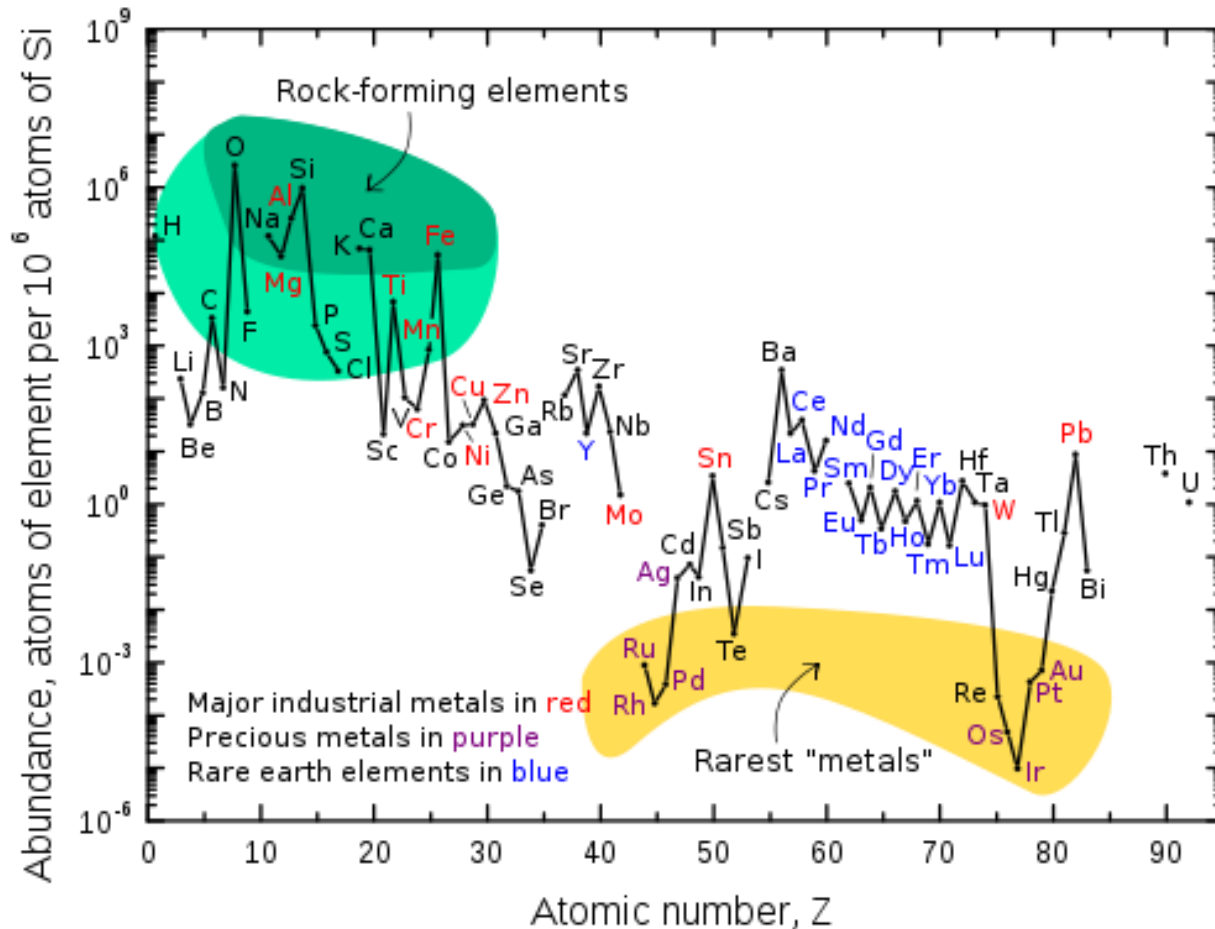
Welk element is het minst zeldzaam?

- a) Goud
- b) Zilver
- c) Cerium
- d) Cadmium
- e) Thullium



## Zeldzame elementen?

Al lang niet meer: aanvankelijk werd bij de (late) ontdekking gedacht dat de elementen zeldzaam zijn, maar dat zijn ze niet:

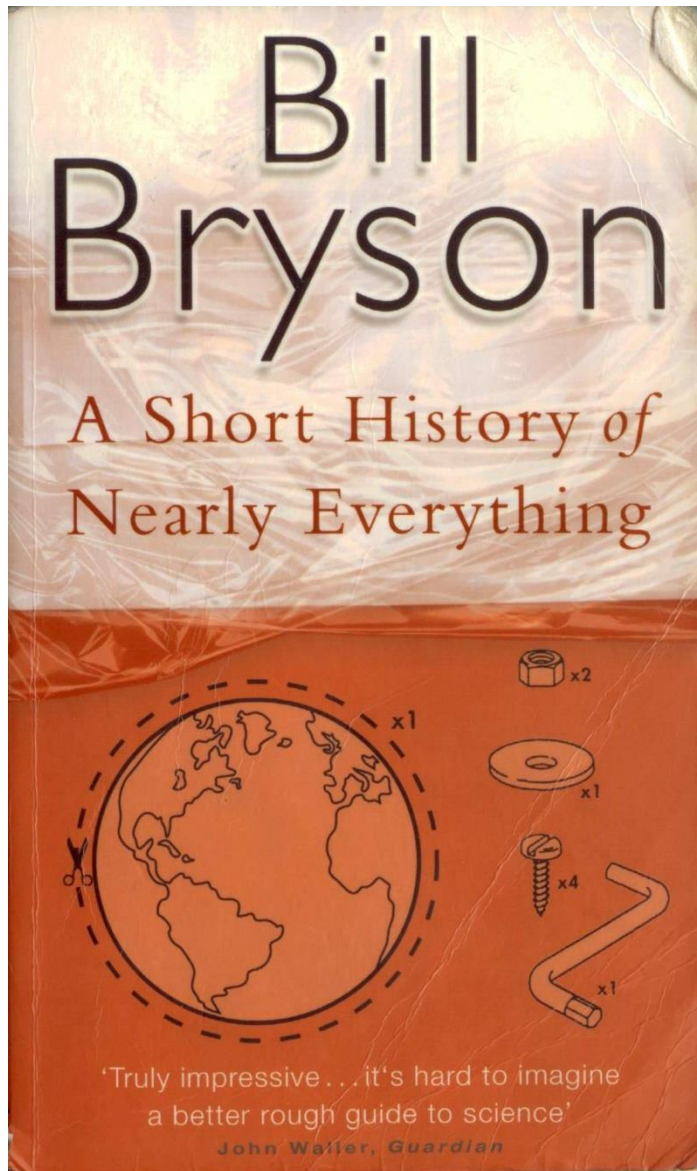


Meest voorkomende:  
Ce – nr. 29, 65 ppm

vgl: Cu – 60 ppm,  
Zn – 70 ppm

Minst voorkomende:  
Tm – nr. 65, 0.2 ppm

Vgl. Ag – 0.08 ppm  
Cd – 0.15 ppm  
Au – 0.003 ppm



As you might expect, oxygen is our most abundant element, accounting for just under 50 per cent of the Earth's crust, but after that the relative abundances are often surprising. Who would guess, for instance, that silicon is the second most common element on the Earth, or that titanium is tenth? Abundance has little to do with their familiarity or utility to us. Many of the more obscure elements are actually more common than the better-known ones. There is more cerium on the Earth than copper, more neodymium and lanthanum than cobalt or nitrogen. Tin barely makes it into the top fifty, eclipsed by such relative obscurities as praseodymium, samarium, gadolinium and dysprosium.

Abundance also has little to do with ease of detection.

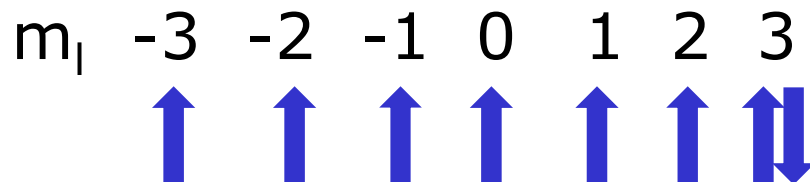


Niet langer verborgen, niet zeldzaam,  
maar wel **zeldzaam aardig**:

Gedeeltelijk gevulde 4f binnenschil geeft de zeldzame aarden unieke **optische** en **magnetische** eigenschappen

Opvullen 4f-binnenschil:  $[\text{Xe}] 4f^n 5s^2 5p^6$  configuratie met  $n=0-14$ .

Voorbeeld:  $\text{Tb}^{3+}$  ( $4f^8$ ) – 8 elektronen in 14 mogelijke orbitalen kan op (14 over 8) manieren: 3003 electronen configuraties mogelijk. Laagst-energetische toestand heeft een hoog magnetisch moment doordat de magnetische momenten van de elektronen zoveel mogelijk gelijkgericht zijn:





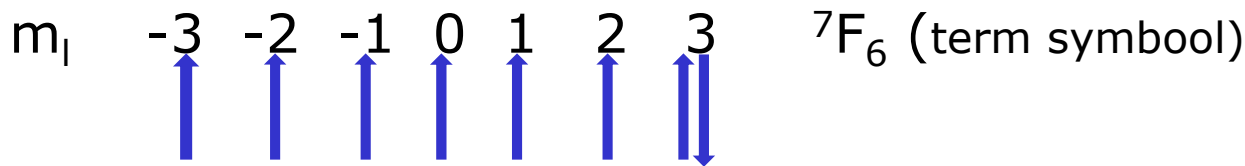
# Optische Eigenschappen:



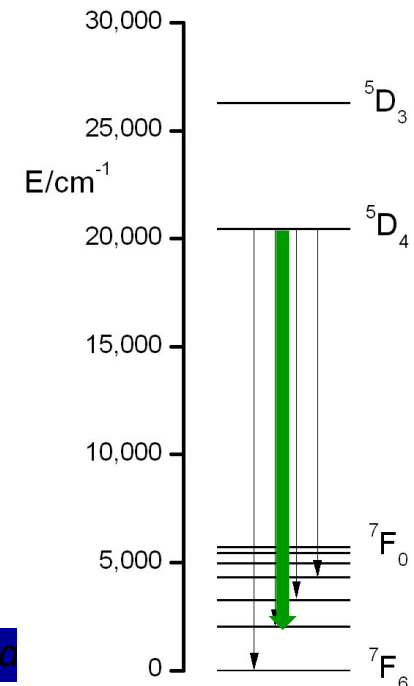
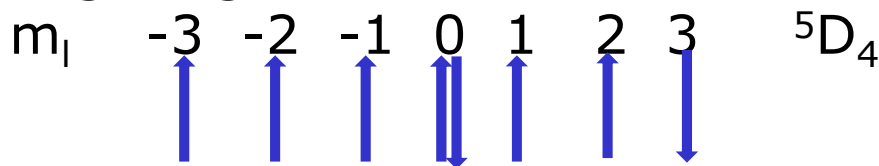
Karakteristieke luminescentie door energieniveaus door interactie tussen 4f-electronen in gedeeltelijk gevulde 4f-schil, afgeschermd van de omringende liganden door volle 5s and 5p orbitalen.

Voorbeeld: **Tb<sup>3+</sup> (4f<sup>8</sup>)** – 3003 mogelijke electron configuraties voor 8 electronen in 14 orbitalen, die allemaal een verschillende energie kunnen hebben. Energieniveaus worden aangeduid met een zgn. term symbool:

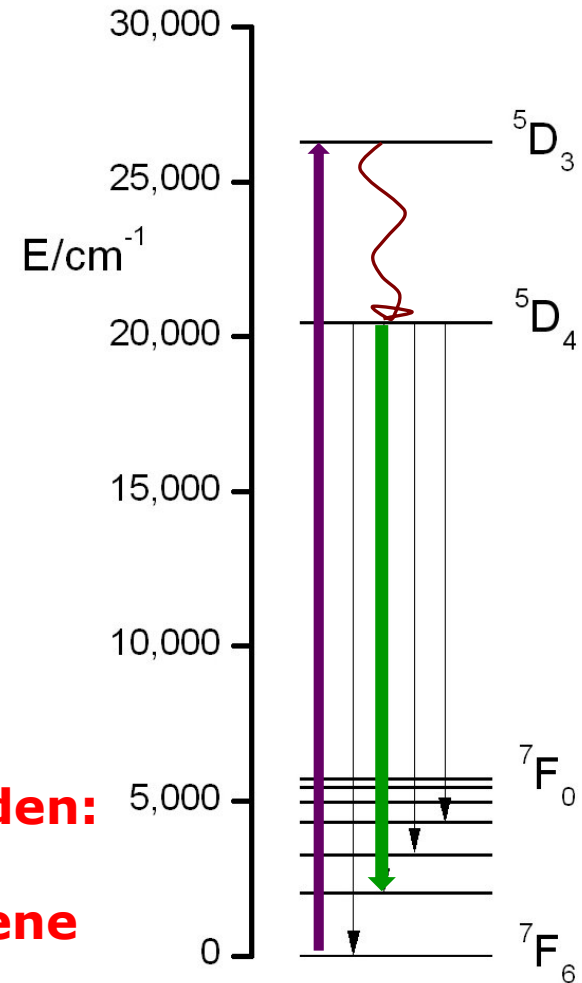
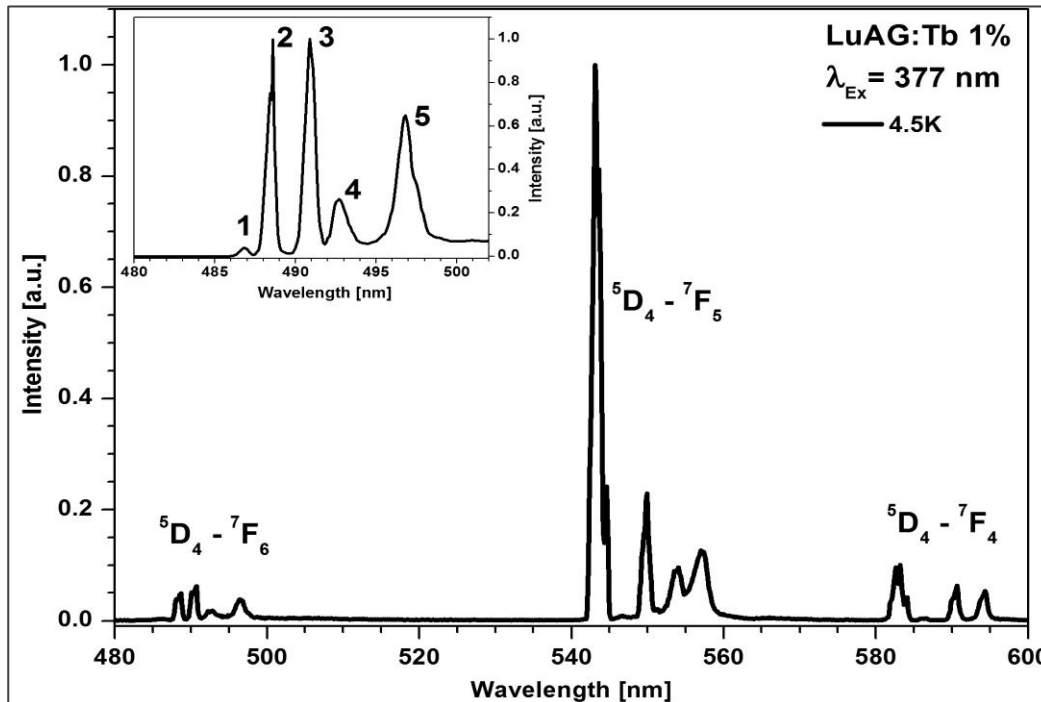
Grontoestand (regel van Hund):



Aangeslagen toestand:



# Emissie spectrum $Tb^{3+}$



## Karakteristieke luminescentie van lanthaniden:

- Scherpe emissielijnen
- Onafhankelijk van de omgeving (bijv. groene emissie  $Tb^{3+}$ , rode emissie  $Eu^{3+}$ )
- Hoge kwantumefficiëntie ( $>90\%$ )

# Magnetische eigenschappen:



Sterke magneten door groot magnetisch moment van zeldzame aarden en sterke anisotropie door ongepaarde elektronen in 4f binnenschil → sterk paramagnetische centra en hoge remanentie

Probleem: lage Curie temperatuur ( $T_c$ ) door zwakke interactie tussen 4f orbitalen – ferromagnetisme verdwijnt beneden 300 K.

Oplossing: legeringen met 3d-overgangsmetalen om  $T_c$  te verhogen door interactie 3d-4f.

		$B_r$ (T)	$T_c$ (K)
vb.	$\text{SmCo}_5$	0.8 – 1.1	600-700
	$\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$	1.0 – 1.4	1000
	Fe/Cr/Ni	< 1	400-1000

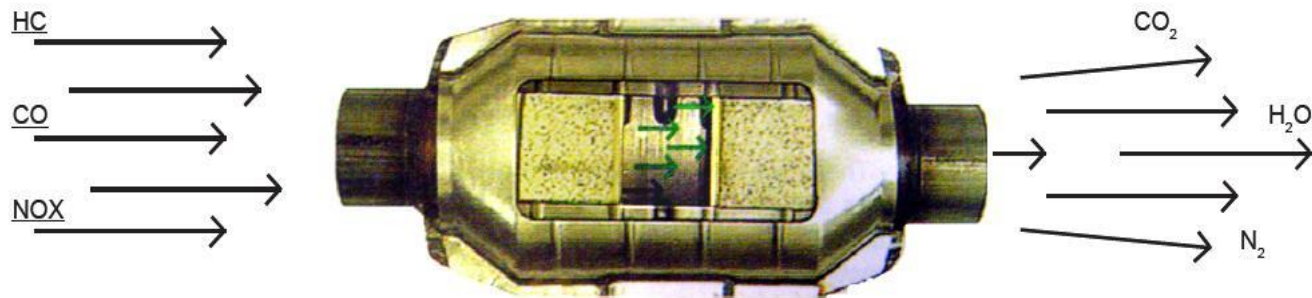




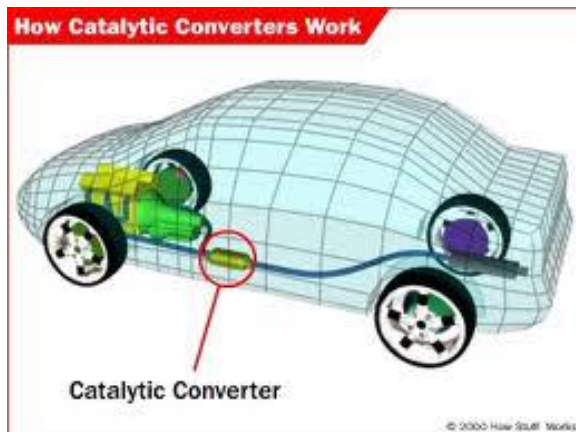
# Katalytische eigenschappen:

Variabele valentie:  $\text{Ce}^{3+}$  ( $4f^1$ ) en  $\text{Ce}^{4+}$  ( $4f^0$ ) beide stabiel en de verandering tussen 3+ en 4+ is de basis van de katalytische werking.

Katalysatoren: Ce-katalysatoren voor afbraak  $\text{NO}_x$  in uitlaat auto's en voor kraken olieproducten.



Mede mogelijk gemaakt door **Cerium**

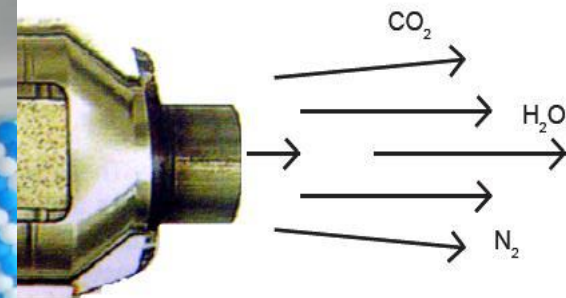




## Katalytische eigenschappen:

Variabele valentie:  $\text{Ce}^{3+}$  ( $4f^1$ ) en  $\text{Ce}^{4+}$  ( $4f^0$ ) beide stabiel en de verandering tussen 3+ en 4+ is de basis van de katalytische werking.

Katalysatoren: Ce-katalysatoren voor afbraak  $\text{NO}_x$  in uitlaat auto's en voor kraken olieproducten.



ik gemaakt



## Duurzame toepassingen:

- Energieproductie
  - Magneten in windmolens (Tb, Nd, Dy)
  - Magneten in hybride auto's (Tb, Nd, Dy)
  - Spectrale conversie voor zonnecellen (Pr, Tb, Yb) ?
- Energieopslag
  - Batterijen (La)
- Energiebesparing
  - Katalysatoren (Ce)
  - Spaarlampen, LED-lampen (Ce, Tb, Eu)

Andere high-toepassingen: **militair en medisch**, bijv. lasers, radar, sensoren, stralingsdetectoren, communicatie, medische beeldvorming etc.

# Windmolens

300 kg Nd per windmolen in  
 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  magneten





## Hybrid technology is totally dependent upon Rare Earths

### HYBRID electric motor and generator

- Neodymium
- Praseodymium
- Dysprosium
- Terbium

### HYBRID NiMH battery

- Lanthanum
- Neodymium
- Cerium



Enabling better emission standards and lower energy consumption



Toyota Prius: 1 kg Nd in magneten elektromotor, 10 kg La in batterij





Vraag:

Welke toepassing gebruikt het meeste ZA's?

# Rare Earth Demand Drivers

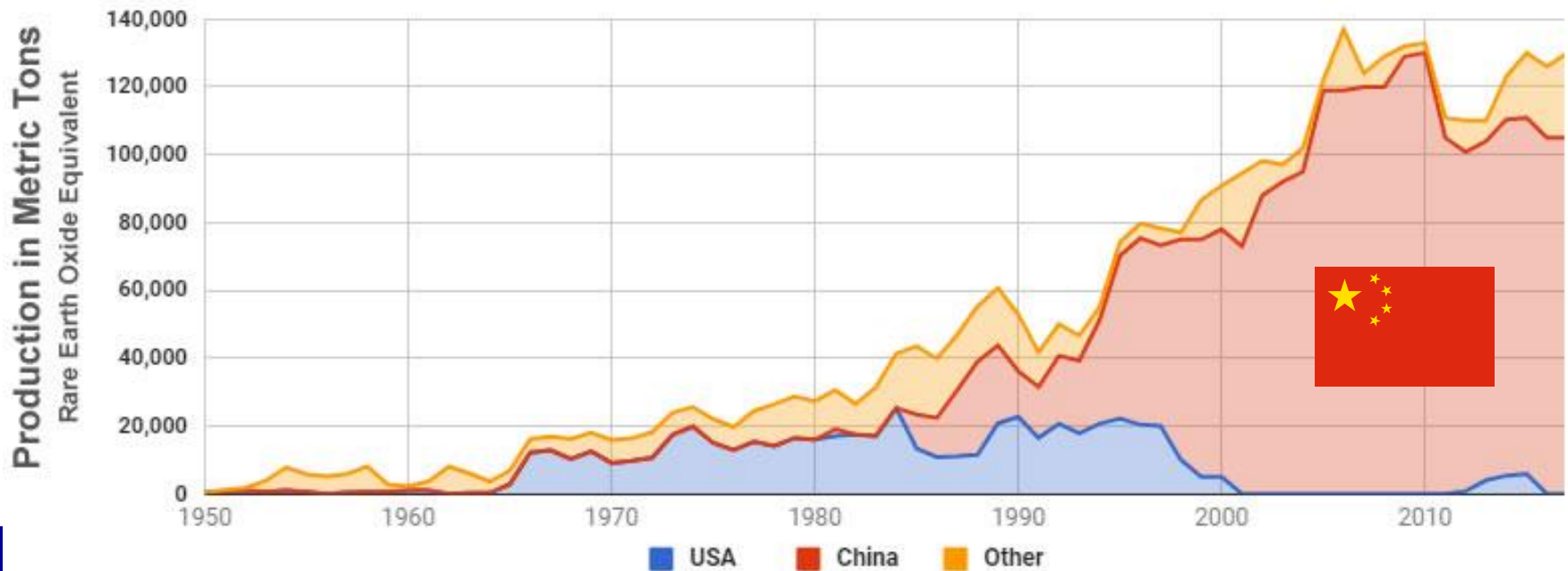
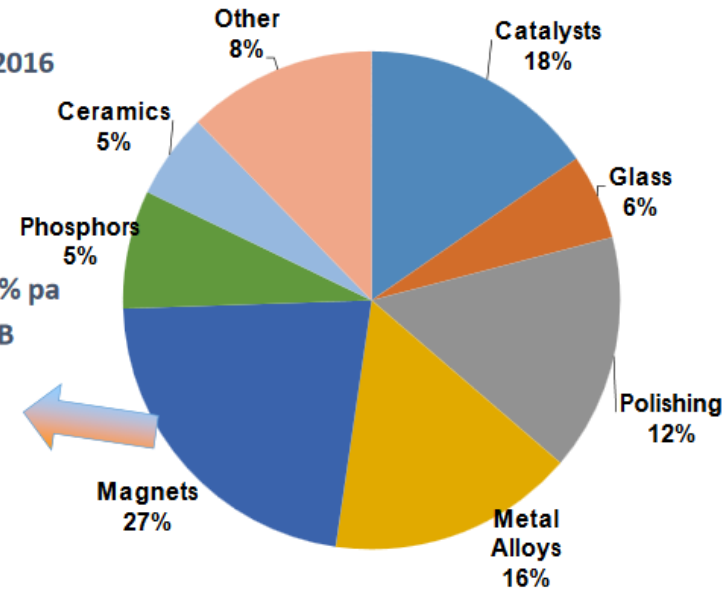
Productie en vraag zeldzame aarden toegenomen tot ca. 140 kton per jaar!

**Centrale Rol China!**

Mijnen in VS en Australie gesloten

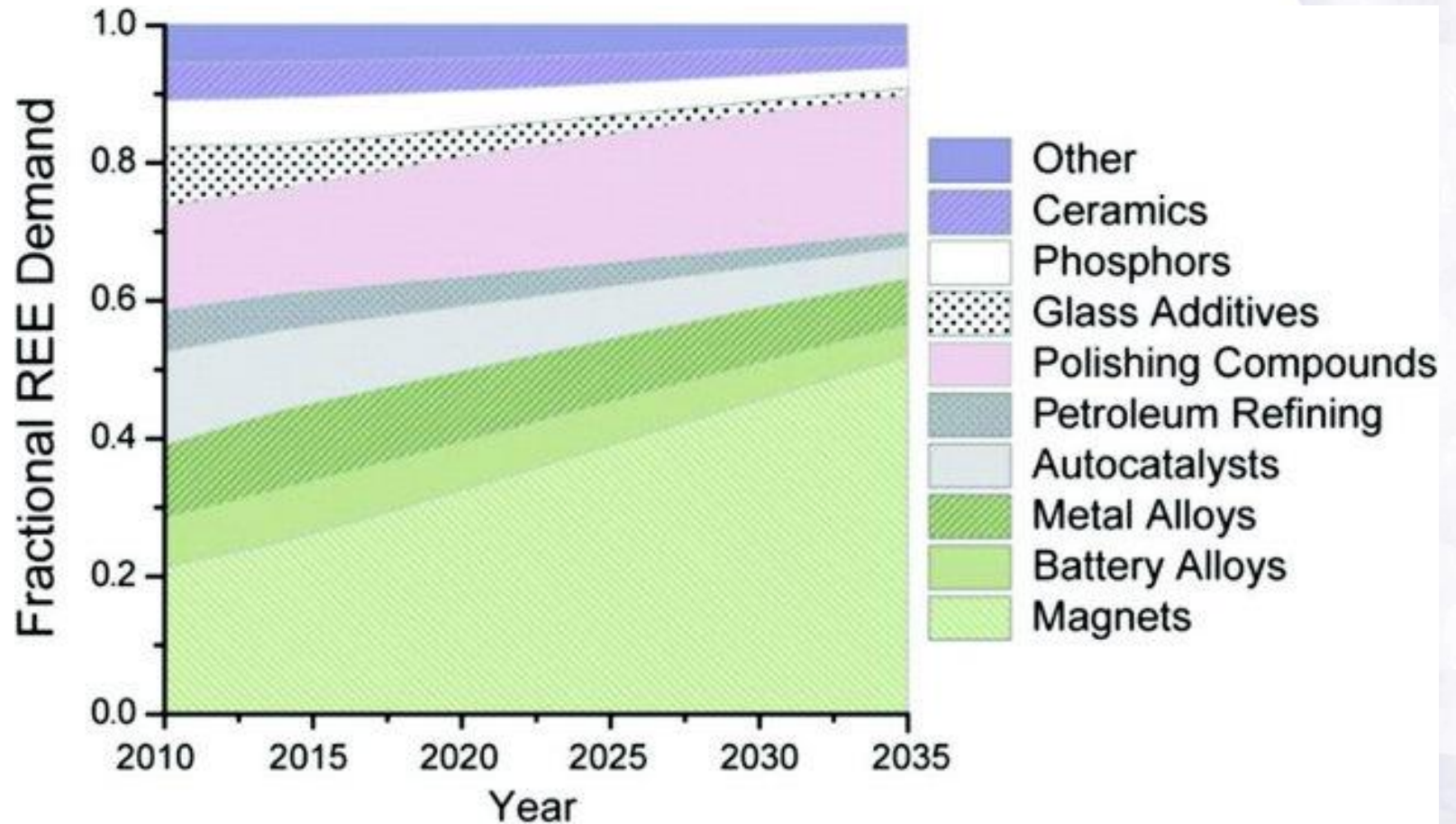
- US\$3-5B Global market
- 159,500t Annual consumption 2016
- 6-8% Annual growth estimates
- 85-90% REE produced by China
- Permanent magnets dominate consumption and growth 6 - 12% pa
- Annual magnet market ~US\$20B
- Major use for Nd, Pr, Dy and Tb
- 80% by value 20% by volume
- Growth in other REs for special metal alloys and ceramics

REE Demand 2016 by Application





# Toekomst: Sterke groei markt magneten (Nd en Dy)



# Grootste mijn: Bayan Obo, Binnen-Mongolie



Universiteit Utrecht



Productie en zuivering zeldzame aarden: geconcentreerd zuur voor oplossen ZA-verbindingen, herhaald zuiveren over kolommen met water/oplosmiddelen:

- Milieuvervuilend
  - Energie- en waterintensief
  - Radioactief afval (U, Th)
- productie naar China in jaren '90



7 km breed meer bij Baotou met zuur afvalwater en radioactieve restproducten

# Tekort zeldzame aarden:

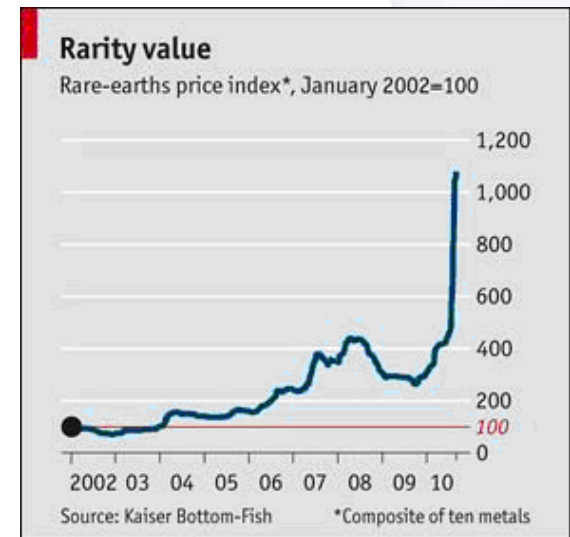


- Toegenomen vraag (meer toepassingen)
- Beslissing China grote voorraden strategisch belangrijke grondstoffen niet langer (te) goedkoop op de markt te brengen
- Monopoliepositie China

→ Tekorten op korte termijn

## Toekomst:

- Nieuwe mijnen buiten China (her)openen  
→ opstarttijd > 5 jaar
- Winning is sterk milieubelastend →  
nieuwe energie- en waterefficiënte processen
- Recycling zeldzame aarden
- Alternatieven voor zeldzame aarden



# Tekort zeldzame aarden:



- Toegenomen vraag (meer toepassingen)
- Beslissing China grote voorraden strategisch belangrijke grondstoffen niet langer (te) goedkoop op de markt te brengen
- Monopoliepositie China

→ Tekorten op korte termijn

## Toekomst:

- Nieuwe mijnen buiten China (her)openen  
→ opstarttijd > 5 jaar, Mountain Pass mijn helaas weer failliet
- Winning is sterk milieubelastend → nieuwe energie- en waterefficiënte processen
- Recycling zeldzame aarden
- Alternatieven voor zeldzame aarden



2014: Prijs gedaald tot ca. 3x nivo 2009

# Zeldzame aard voorraden in mijnen wereldwijd:



## Comparison of some Significant Rare Earth Deposits

Source: IMCOA 2009

Deposit	Resource (million tonnes)	Grade (% TREO)	TREO (million tonnes)	HREE Content (% TREO)	Cut-off Grade
Bayan Obo, China	1,460	3.9%	56	2%	n/a
Kvanefjeld, Greenland	215	1.0%	2.6	14%	0.015% U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
Mountain Pass, USA	20	9.2%	1.8	1%	5% REO
<b>Nechalacho, Canada</b>	<b>65</b>	<b>2.1%</b>	<b>1.3</b>	<b>20%</b>	<b>1.6% REO</b>
Mt Weld, Australia	12	9.7%	1.2	3%	2.5% REO
Nolans, Australia	30	2.8%	0.9	4%	1.2% REO
Dong Pao, Vietnam	11	6.9%	0.8	n/a	6.9% REO
Bear Lodge, USA	9	4.1%	0.4	n/a	1.5% REO
Hoidas Lake, Canada	1.5	2.6%	0.04	7%	1.5% REO

*Note: each company publishes their resources/reserves differently to comply with local rules; accordingly, these figures need to be reviewed with care as they do not necessarily make allowances for the varying recovering associated with each reserve/resource.*

Voorraden 30-50% in China:  
 $60 \cdot 10^6 / 150 \cdot 10^3$   
 → 400 jaar

Belangrijk bij winning zijn ook het Total RE % en het % Heavy RE (Eu-Lu)

Ook voorraden in Brazilië, Zuid-Afrika, Estland

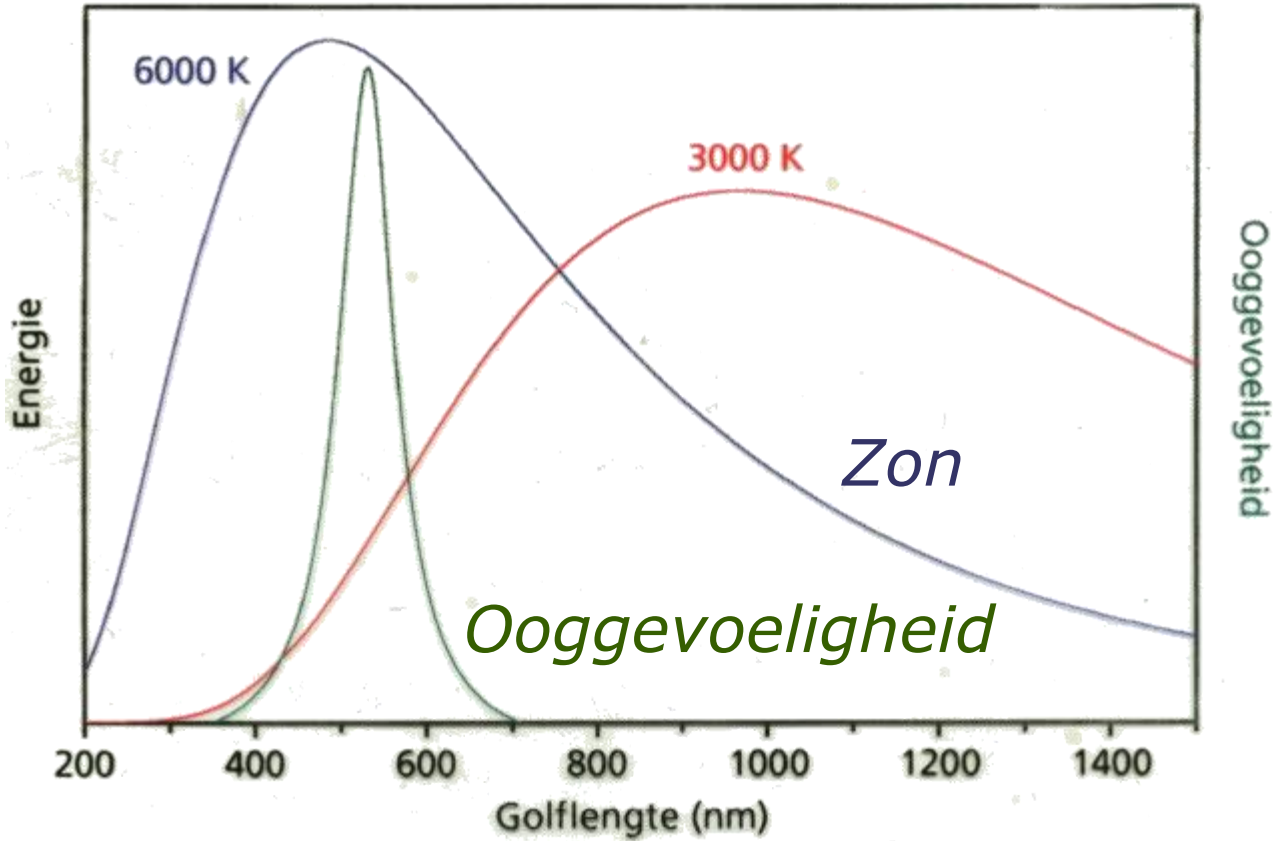


# Duurzame lichtbronnen

Een korte geschiedenis van de verlichting:  
van kampvuur tot LED-lamp



# Duurzaam licht: de zon





# Licht Maken in pre-historie



Conferentie UC Davis,  
Organisator:

**Peter Dorhout**

# Licht Maken in pre-historie



Oplossing:

Burn **Dor hout**

# Geschiedenis verlichting

Universiteit Utrecht



790 000 BC

2 000 BC

200 BC

1792 AD

1809 AD

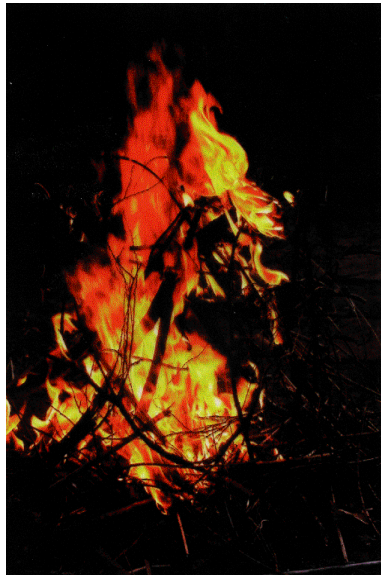
Fire

Oil lamp

Candle

Gas lamp

C-Arc lamp



Energie efficiëntie < 1 %



# 1879: Gloeilamp van Edison



Electriciteit → licht ; **Energie efficiëntie  $\sim 2-3\%$**



# Edison Laboratoria West Orange, New Jersey



The  
Cas  
Mil  
lab

T.A.E. INC.

**1920**

**2016**



Ed  
str  
the

# Chemistry Laboratory

Building 2

In 1887 this building was one of the best-equipped chemistry laboratories in the world. Within its walls, Thomas Edison and his chemists experimented on everything from phonograph records to rubber. "Grand science, chemistry," Edison once said, "I like it best of all the sciences."



Thomas Edison (above) experimenting with rubber, 1929.

Beginning in the late 1890s, Edison and his staff worked for more than a decade to develop a practical storage battery for electric automobiles. After thousands of experiments, they produced a nickel-iron-alkaline battery by 1909. Although not practical for electric autos, Edison's durable battery was used in industry, mining, and railroad applications.

Edison's chemists (below) at work, 1910.



## 2016





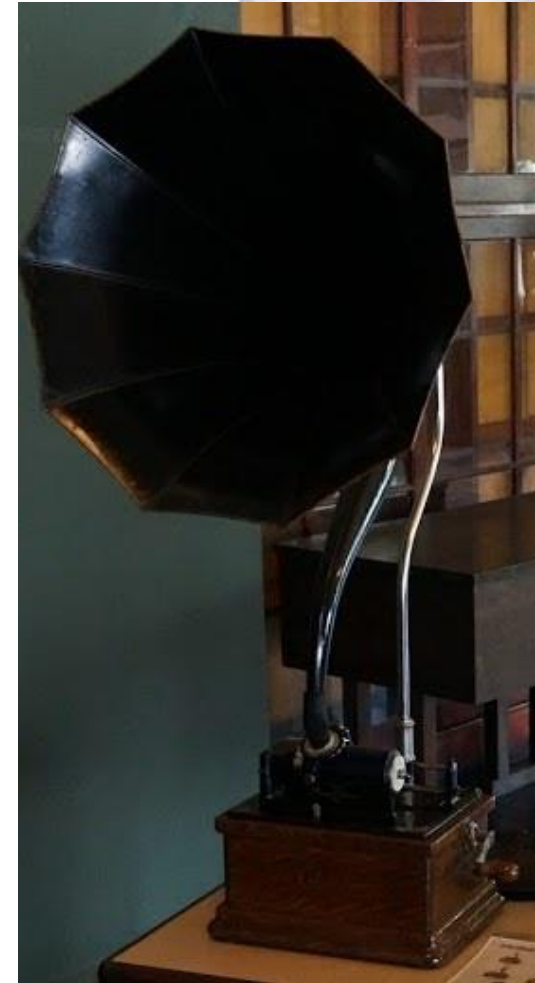
trecht



## Uitvindingen Edison



8-1935.  
28-1935.





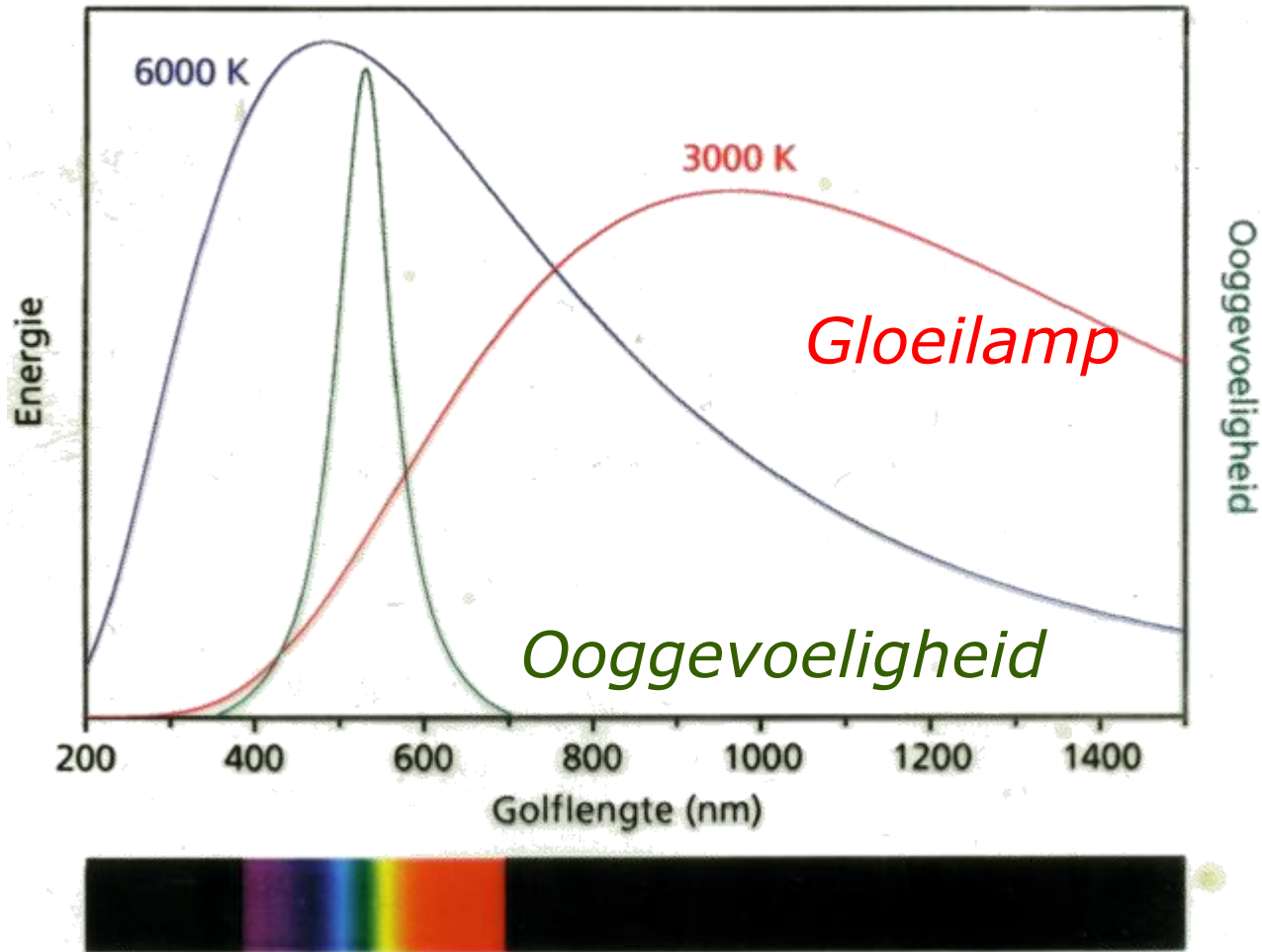


Vraag:

Van welke uitvinding is Edison rijk geworden?



# Zwarte straler: gloeilamp





Model van de Europese Gemeenschappen



DRIVING LICENCE / PERMIS DE CONDUIRE / FÜHRERSCHEIN

# RIJBEWIJS



1 Meijerink

2 Andries

3 21.12.1963 Nijkerk

4a 18.06.2008

4b 18.06.2018

4c Gemeente Soest

8 Soesterberg

5 4273063301

9 B  
AM

*J. Meijerink*



Model van de Europese Gemeenschappen



DRIVING LICENCE / PERMIS DE CONDUIRE / FÜHRERSCHEIN

# RIJBEWIJS



1 Meijerink

2 Andries

3 21.12.1963 Nijkerk

4a 18.06.2008

4b 18.06.2018

4c Gemeente Soest

8 Soesterberg

5 4273063301

9 B  
AM

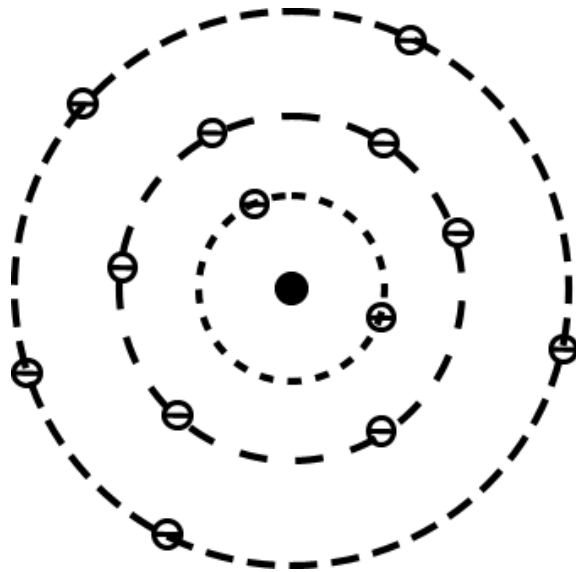
*J. Meijer*

Vraag:  
Hoe vaak heeft de houder van  
dit rijbewijs rij-examen gedaan?

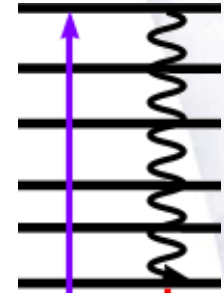
# Luminescentie



Uitzenden van zichtbaar licht onder invloed van externe stimulatie, anders dan zwarte straler, 'koud licht'



"aangeslagen toestand"



UV

Rood

"grondtoestand"



Luminescentie = fosforescentie+fluorescentie

Luminescerend materiaal = fosfor



# Licht-emitterende elementen in Periodiek Systeem

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
			Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

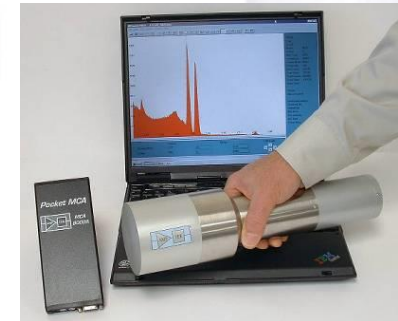
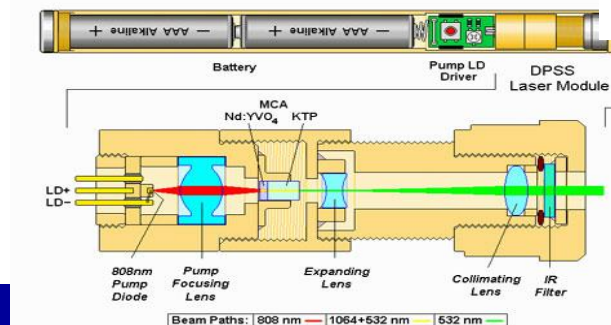
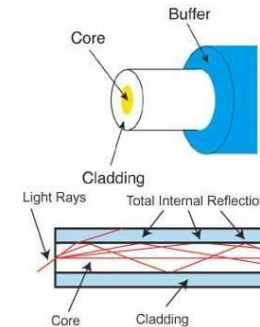
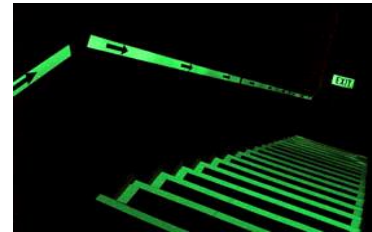
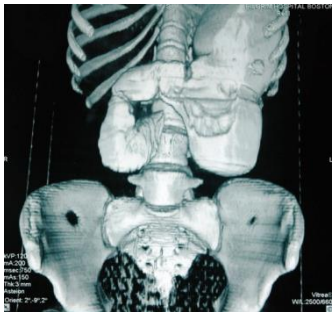
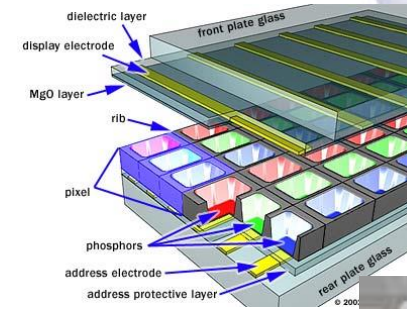
**Zeldzame aarden – kampioen onder de 'activatoren'**

activator elements

# Toepassingen luminescentie zeldzame aarden:

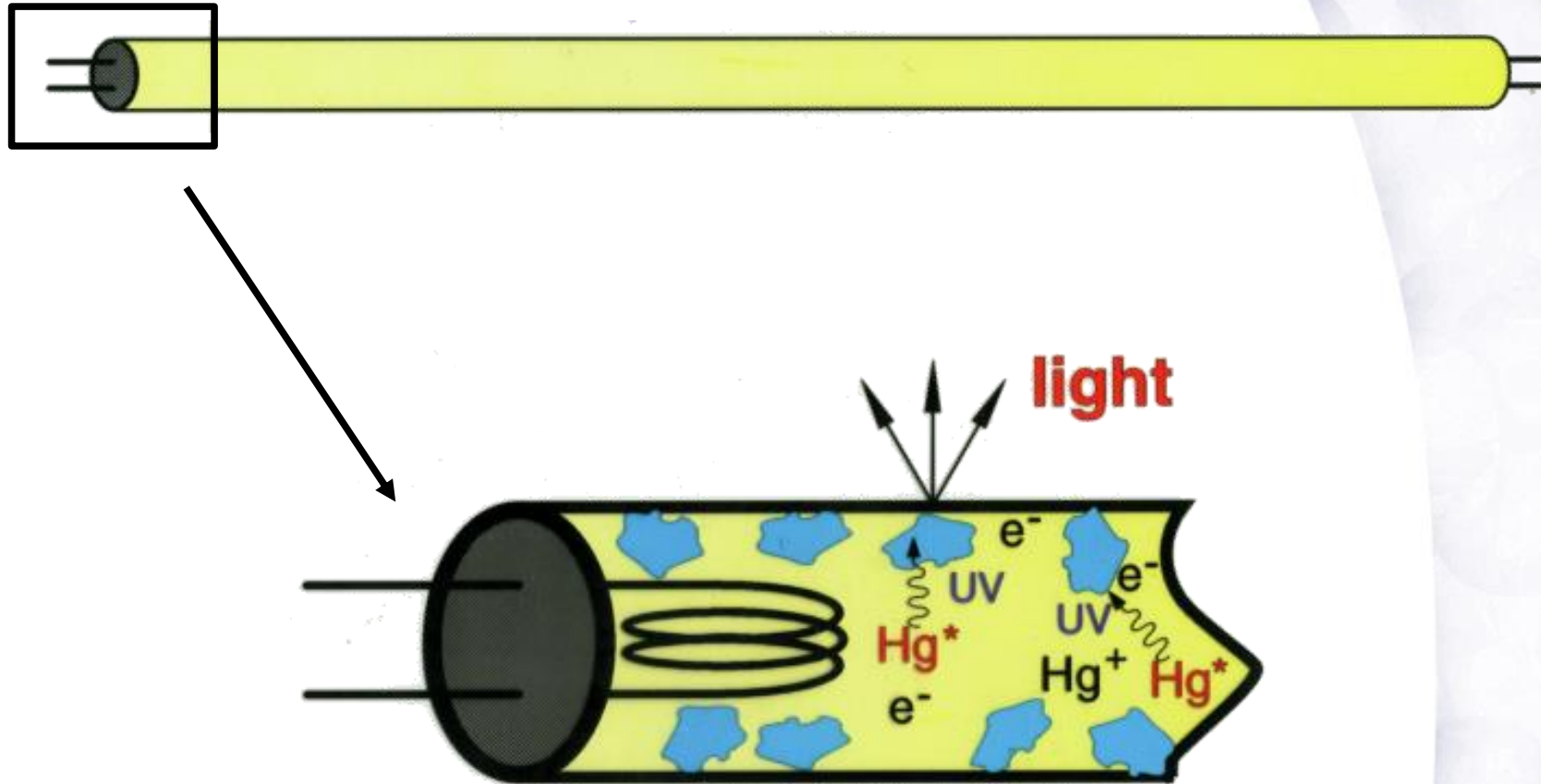


1. TL-buizen en spaarlampen
2. Witte LED-lampen
3. Beeldschermen (PDP, LCD)
4. Scintillatoren, Röntgenfotografie
5. Nalichtende materialen
6. Lasers, fiber versterkers (data transport)
7. Zonnecellen
8. Geld





# 1 - TL- verlichting

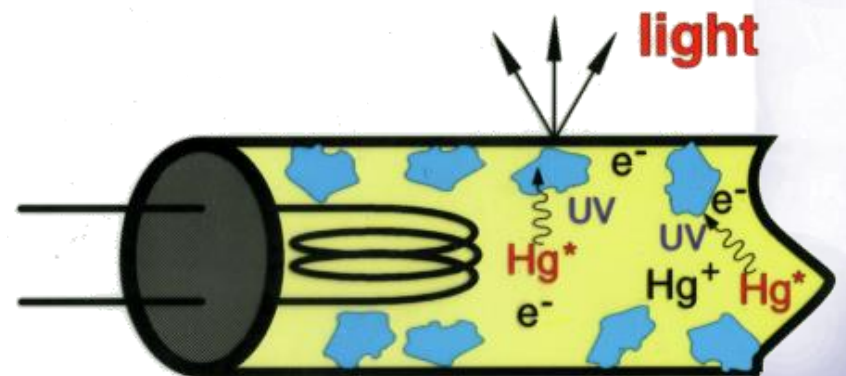
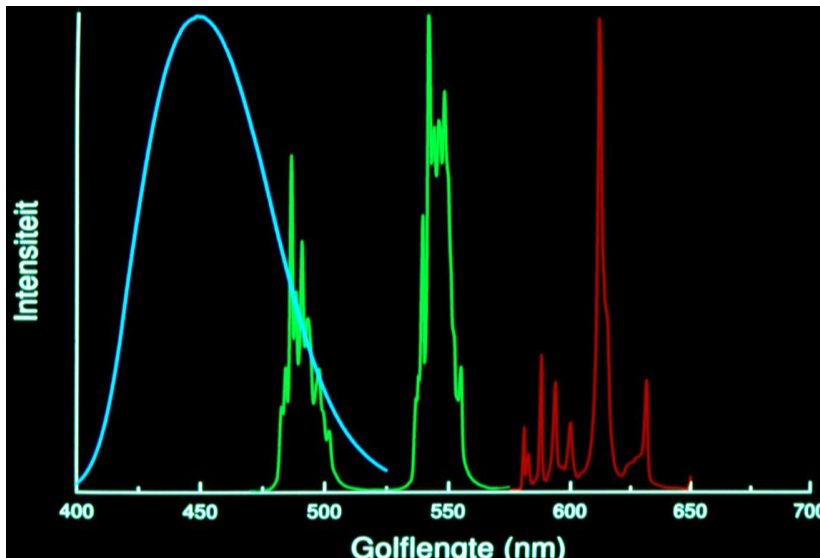






# Fosforen in de TL-buis

- $\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$
- $\text{LaPO}_4:\text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$
- $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$



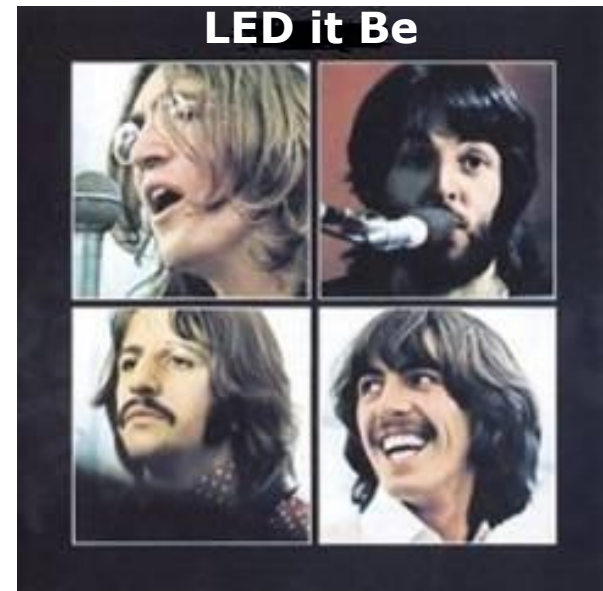
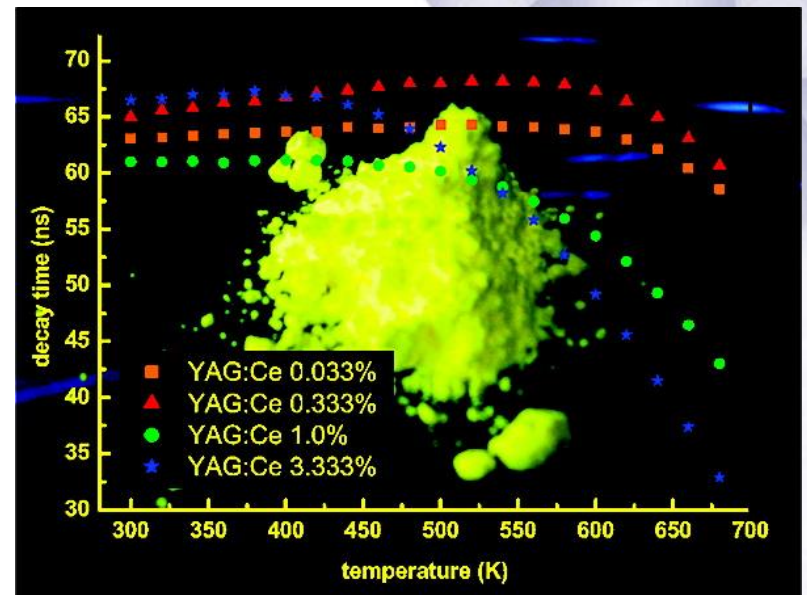
# Vers of niet....?



Speciale TL-buizen met veel  $Y_2O_3:Eu^{3+}$  laten brood en vlees er vers en mooi rood uitzien

## 2. Witte LED lampen:

'LED it Be'



**The Nobel Prize in Physics 2014 was awarded jointly to Isamu Akasaki, Hiroshi Amano and Shuji Nakamura *"for the invention of efficient blue light-emitting diodes which has enabled bright and energy-saving white light sources"*.**



**Isamu Akasaki**



**Hiroshi Amano**

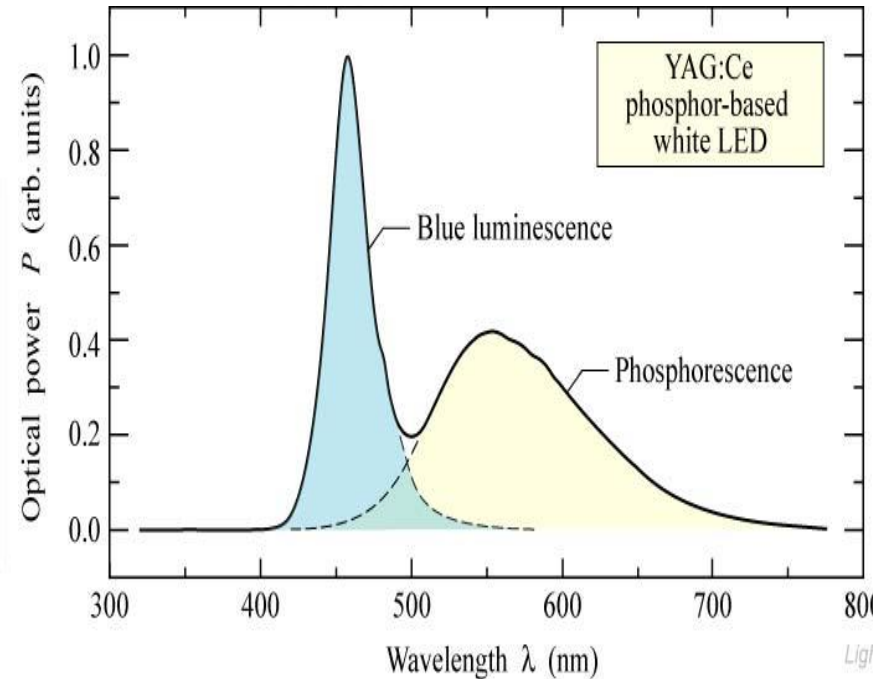
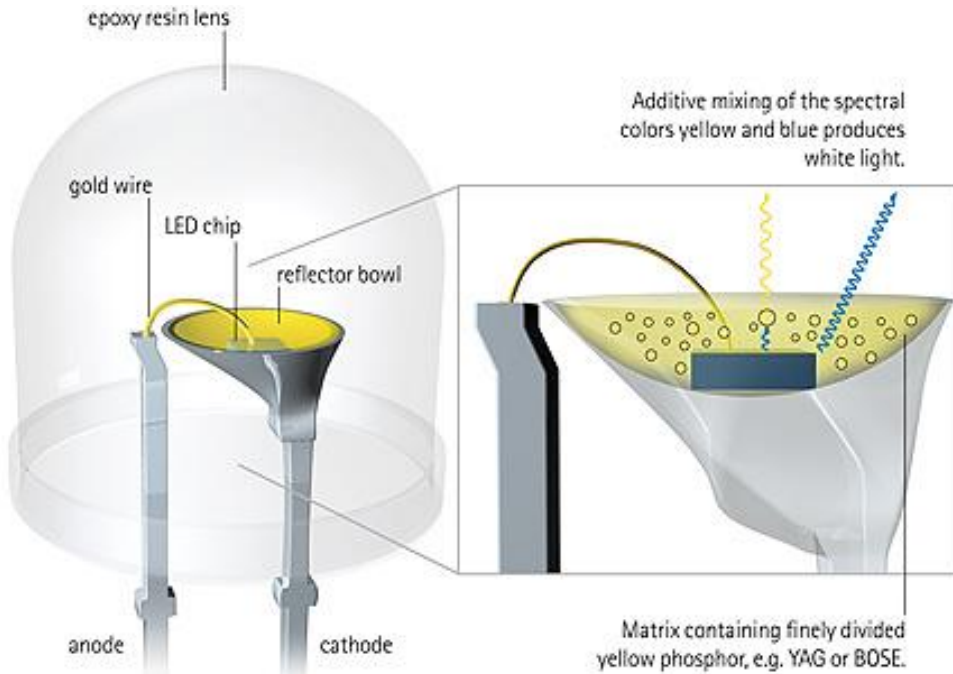


**Shuji Nakamura**



# 1991: Ontdekking UV/Blauwe LED (In,Ga)N door Nakamura (Nichia, Japan)

Witte LED lamp: (LED) Blauw+Geel - fosfor YAG:  $\text{Ce}^{3+}$





LED-fosforen: Groen, geel, oranje en rood luminescerende poeders.  
Te zien in LED lampen en mobiele telefoons.



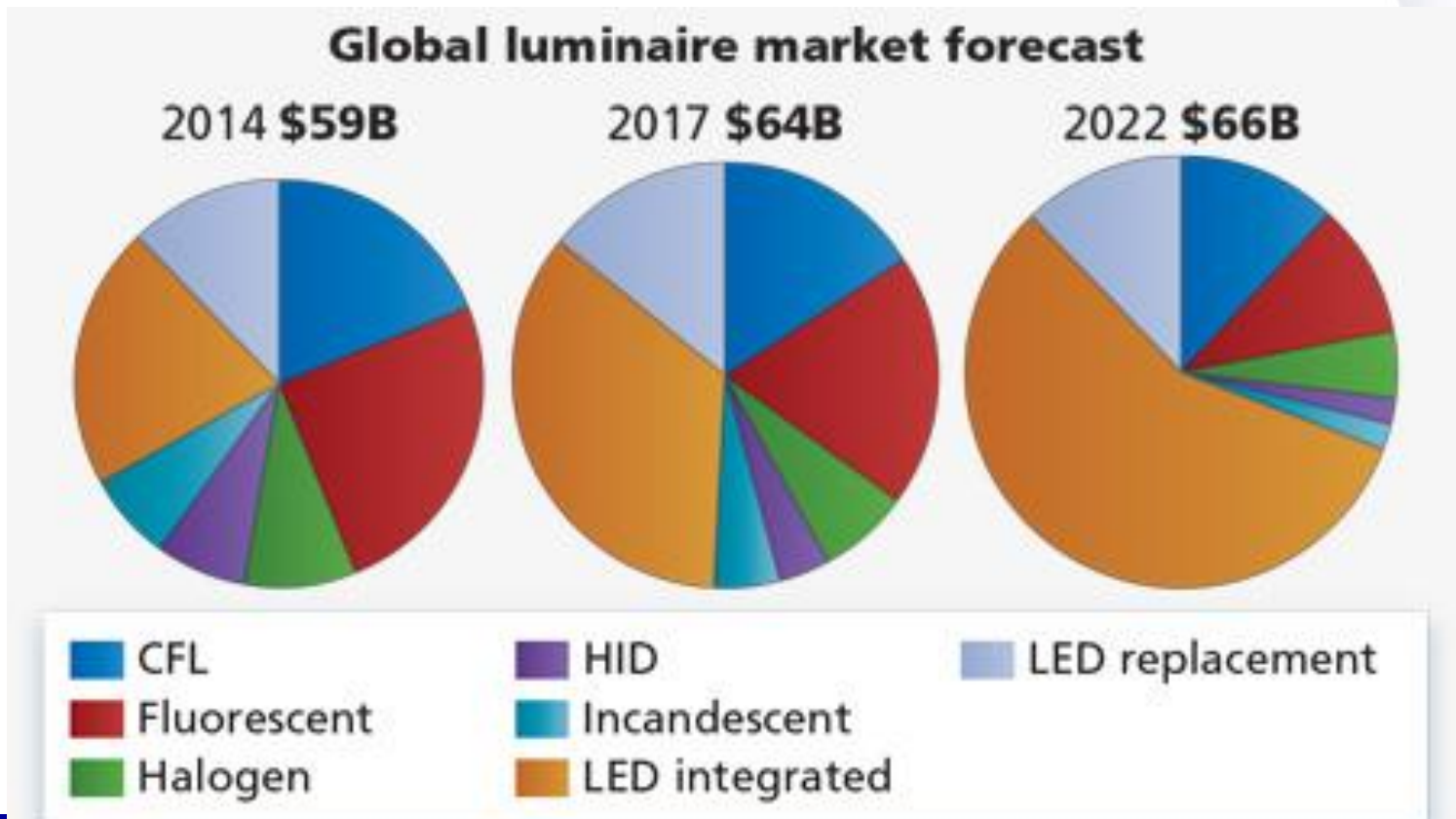
Witte LEDs:

- Efficiënt > 100 lm/W
- Compact
- Lange levensduur > 30 000 h

Universiteit Utrecht



## 'Revolution in lighting'

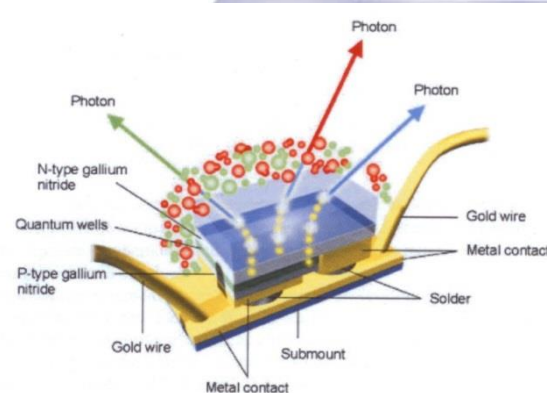


# Ontwikkelingen LEDs:

Unive

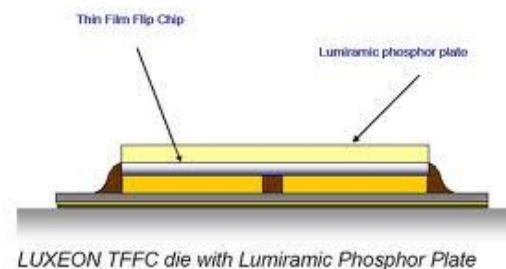
## Competitie tussen verschillende concepten:

- Blauw + PC geel
- Blauw + PC groen and rood
- UV + PC Blauw, groen and rood



## Nieuwe ontwerpen:

- Lumiramic – keramisch fosforplaatje



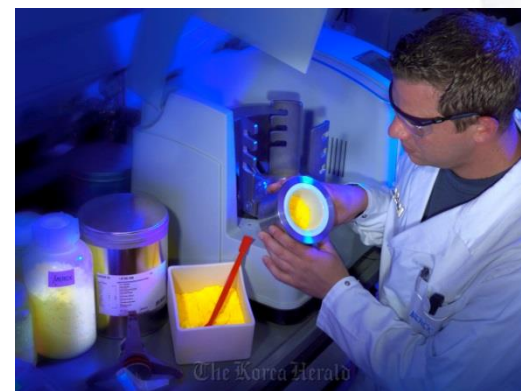
## Nieuwe markten

- Amber PC-LEDs (automobiel industrie)
- Human Centric Lighting

## Nieuwe fosforen

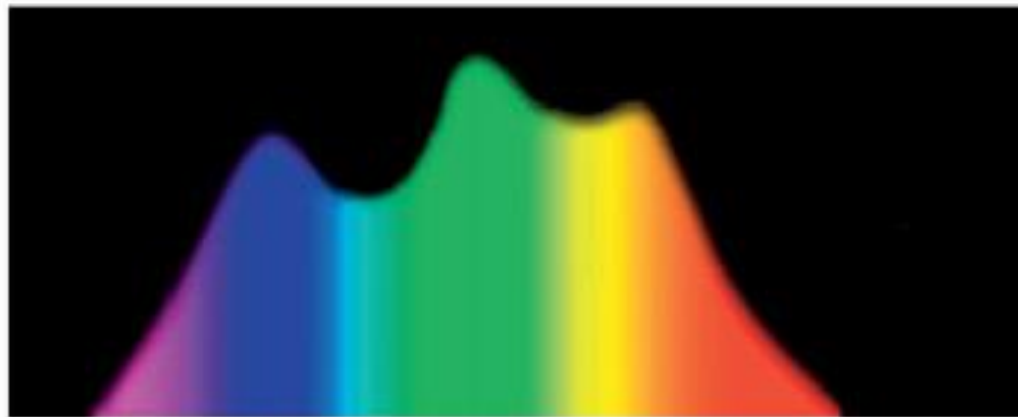
- Granaten – e.g. YAG:Ce – geel
- Sulfides – e.g. (Sr,Ca)S:Eu – rood
- Oxynitrides – e.g.  $M_2Si_2O_2N_2$ :Eu – groen
- Nitrides – e.g.  $M_2Si_5N_8$ :Eu – amber/rood

Uitdaging: **Narrow Band Red**





# Narrow band voor meer lumen/W

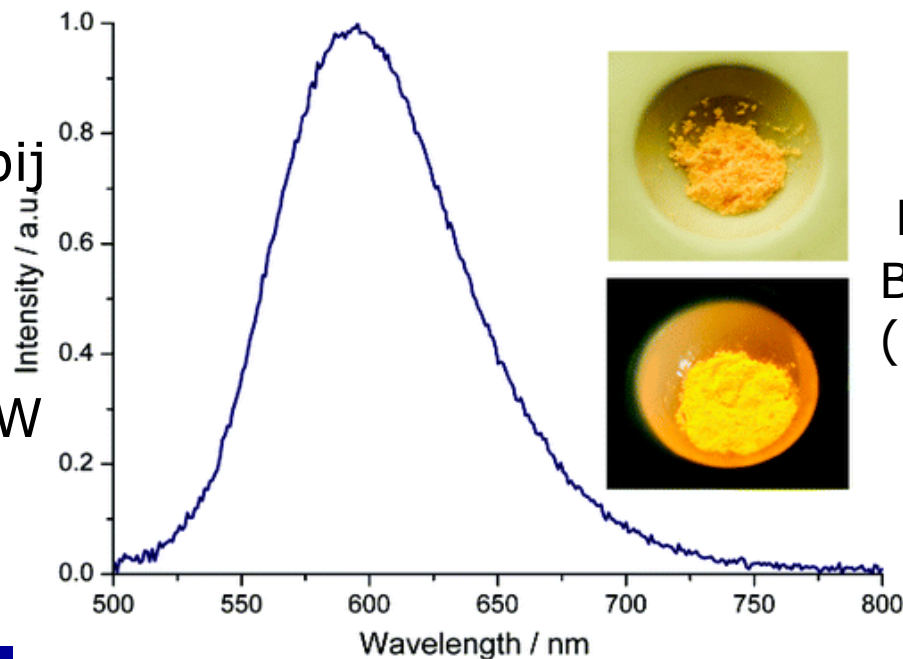


Ooggevoeligheds curve (kleur)



Ooggevoeligheid neemt sterk af voorbij 630 nm

Breedbandig rood: minder Lumens per W



Emissie spectrum  $\text{Ba}_{1.5}\text{Sr}_{0.5}\text{Si}_5\text{N}_8:\text{Eu}^{2+}$  (Schnick et. al)

# Alternatieve kandidaat:

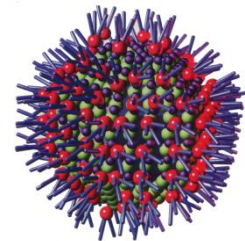


Halfgeleider Quantum Dots

Efficiënte, continu afstembare en smalbandige emissie

CdSe  
Quantum  
Dots

**1.5 nm**



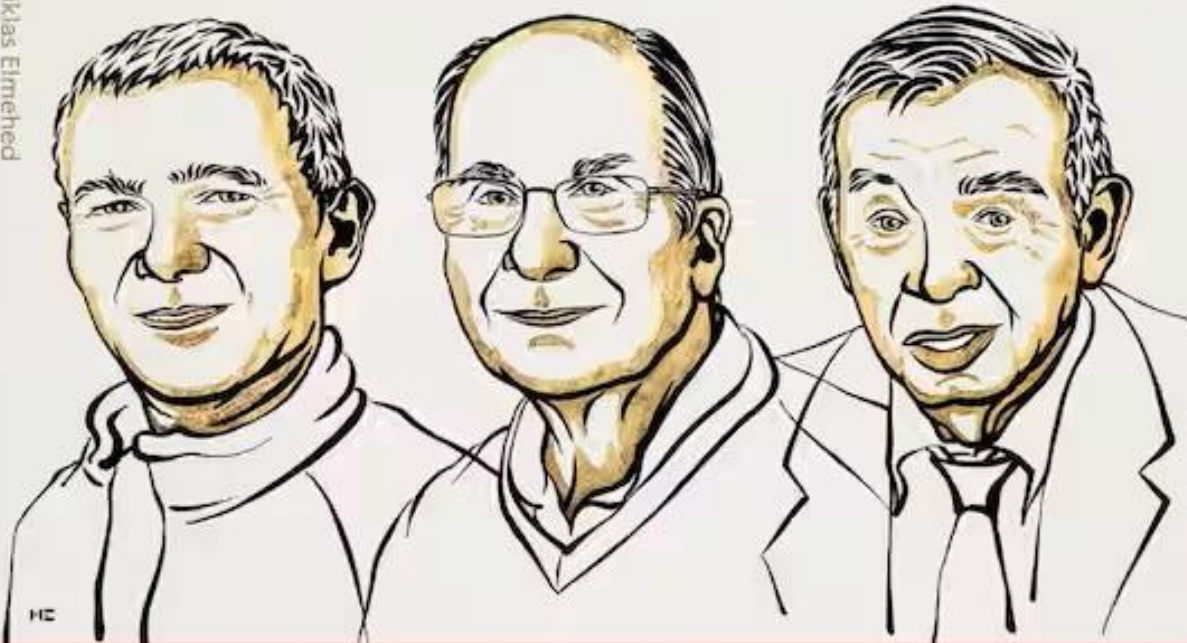
**6 nm**

# Another Nobel Prize



Illustrations: Niklas Elmehed

## THE NOBEL PRIZE IN CHEMISTRY 2023



Mounqi G.  
Bawendi

Louis E.  
Brus

Alexei I.  
Ekimov

"for the discovery and synthesis of quantum dots"

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



2014: We (Dubertret, Reiss and me) organized  
30 Years Quantum Symposium in Paris:

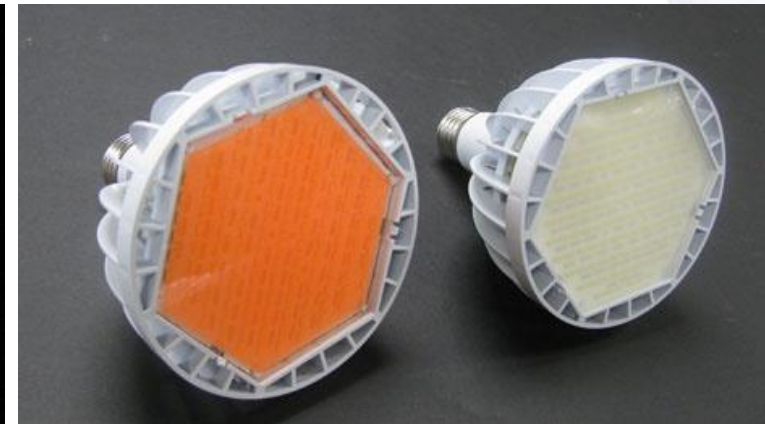
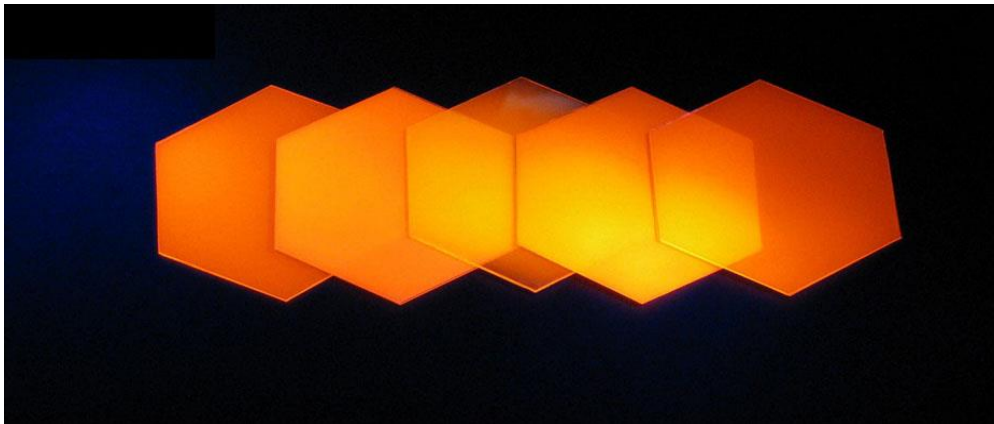


Brus

Bawendi

Ekimov

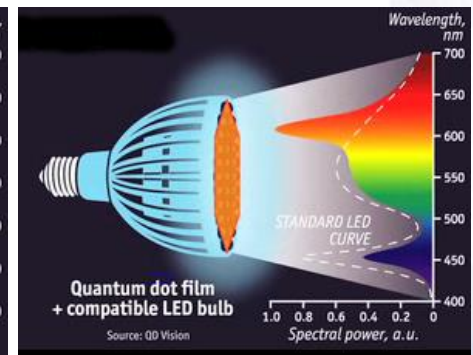
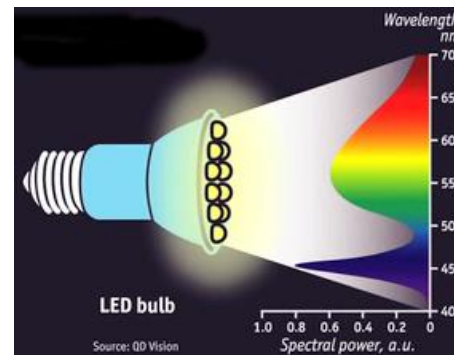
CdSe QDs in transparente plaat voor de omzetting van de blauw/gele emissie van 'koude' wLEDs in rood licht met 80-90 % quantum efficiëntie



**\$100B Lighting Industry**

**SOLID STATE LIGHTING**

- **True Color**
  - Matches incandescent warmth
  - Improves Color Rendering Index (CRI) up to 90
- **More Power Efficient**
  - ~33%
- **Lower Cost**
  - LED costs down 25 to 35%

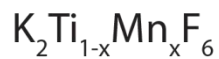
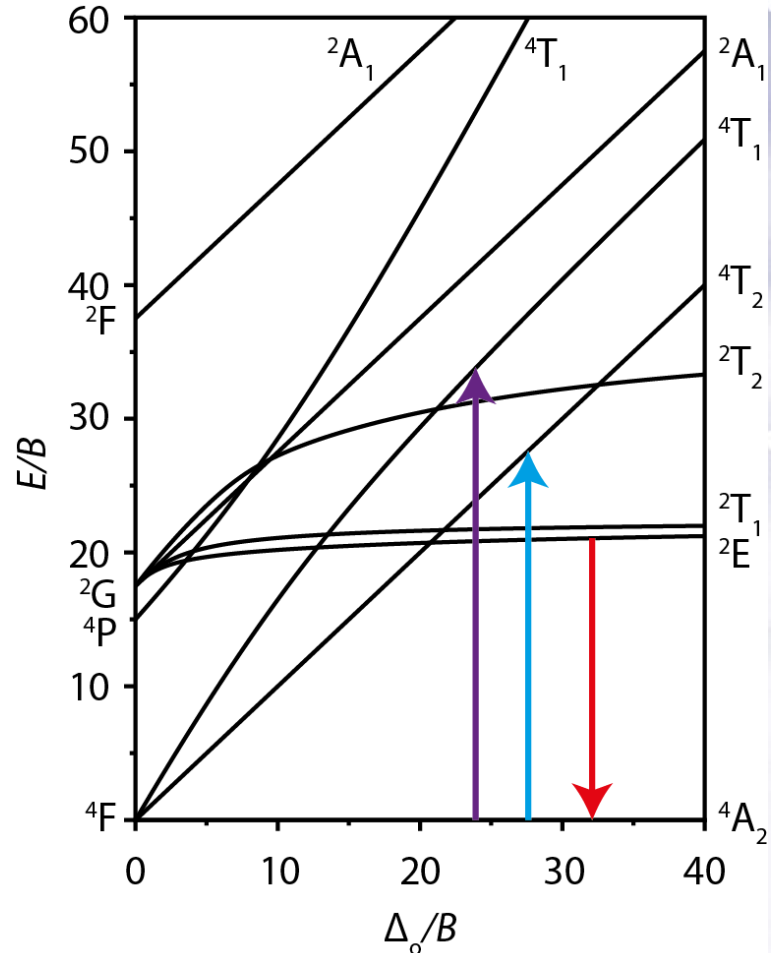
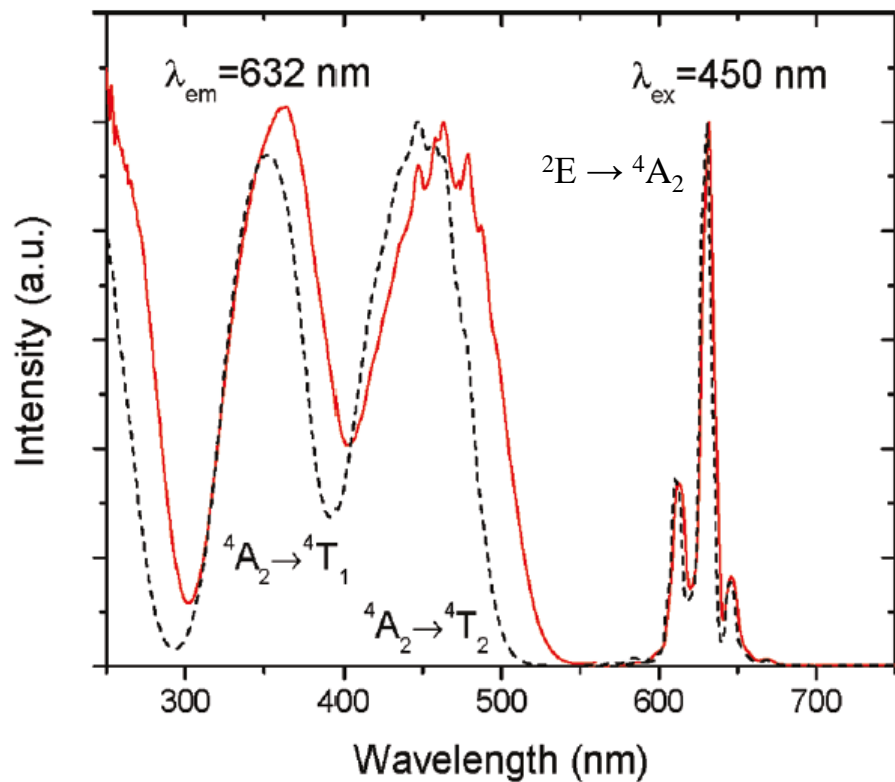




# Narrow band phosphors for LCD displays



# Alternatief: Mn<sup>4+</sup> Rode lijn emissie



Mn (x%)

0.02% 0.2% 1.0% 2.5% 5.0% 7.5% 12.5% 20%



# 3. Beeldschermen



Dec. 26, 1967 F. F. MIKUS ET AL 3,360,675  
EUROPIUM AND CALCIUM OR MANGANESE ACTIVATED  
YTRIVM VANADATE PHOSPHOR  
Filed Nov. 23, 1964 2 Sheets-Sheet 1

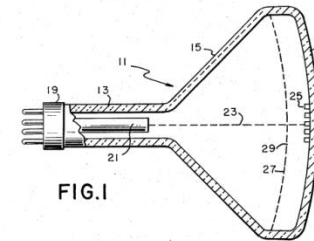


FIG. 1

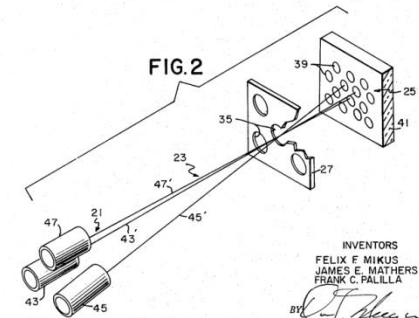


FIG. 2

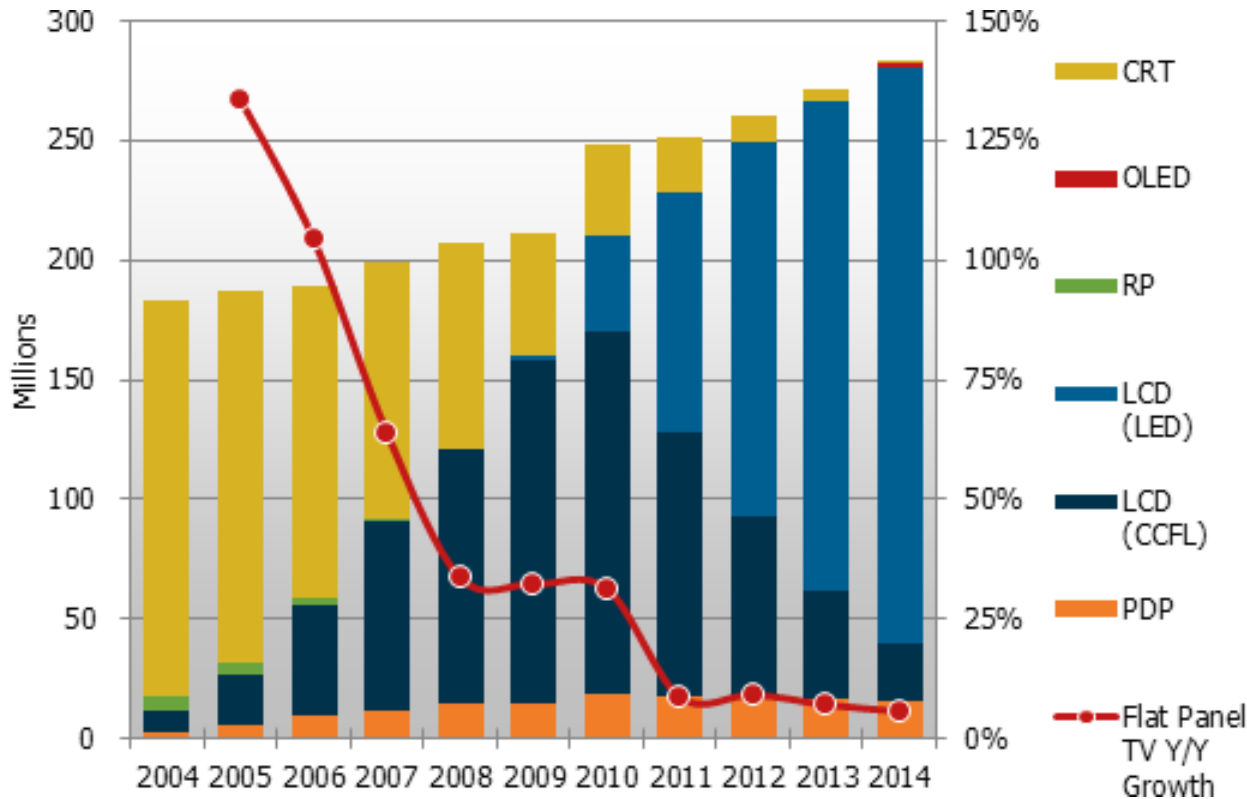
INVENTORS  
FELIX F MIKUS  
JAMES E MATHERS  
FRANK C. PALLILA  
BY *[Signature]*  
ATTORNEY

1964 -  $\text{YVO}_4:\text{Eu}^{3+}$  rode fosfor voor kleuren TV  
Begin van toepassing Zeldzame Aarden voor verlichting





# Ontwikkelingen in de beeldschermmarkt:



Bron:  
<http://www.displaysresearch.com/>

LCD: verschuiving van koude kathode TL-buis naar LED backlight

**Uitdagingen: Narrow band red en Narrow band green LEDs**

# Phosphor Global Summit

Color without compromise. Only from GE.

Historically, lighting designers have been faced with a choice: enhanced efficacy or enhanced beauty. But what if you want it all?

**CRI** High color rendering index (CRI) of up to 90, ensuring vibrant, natural colors.

**R9** A specialized red phosphor that improves color accuracy in the red spectrum.

**LPW** Because lighting is a major expense in your store, we've designed a low-power LED that saves you money.

**TriGain™ technology from GE**  
ULTIMATE COLOR QUALITY WITH ZERO SACCIFICES.

Phosphor	LED	LED	TriGain™
BI-CR	80 CRI	80 CRI	90 CRI
BI-CR	300 lm/W	120 lm/W	100 lm/W
BI-CR	80 x 115	80 x 115	80 x 115

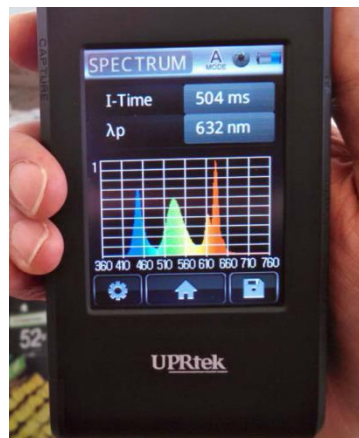
**A REVOLUTION IN RED**  
With no unsaturated levels of R9, TriGain from GE unlocks the power of red to bring out the best in more common objects.

↑ **ARTWORK**   **SKIN TONE**   **FABRIC**   **PRODUCE**

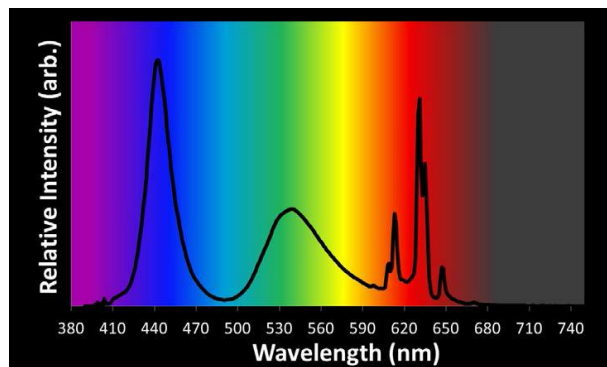
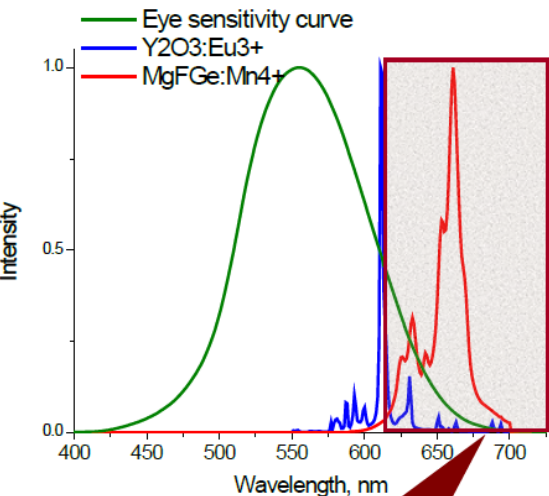
To learn how TriGain can impact your retail or commercial lighting design, visit [gtrigain.com/TriGain](http://gtrigain.com/TriGain) or contact your GE representative today.



Universiteit Utrecht



LG V10 mobile phone



Faculteit Scheikunde

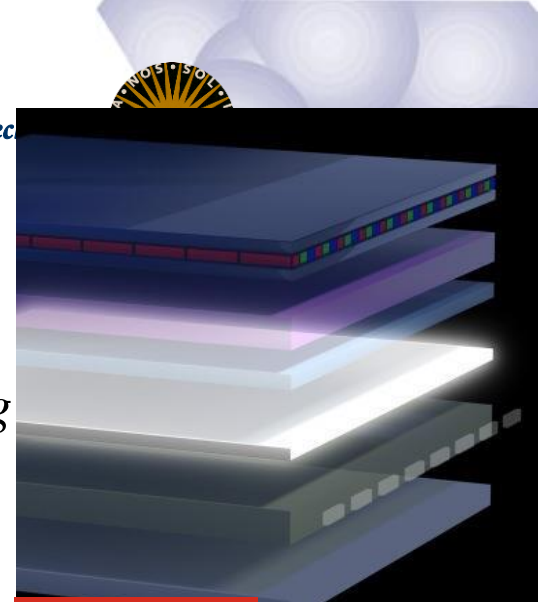
Range of Mn<sup>4+</sup> emission in different hosts

# Quantum Dot Forum

Universiteit Utrecht

Quantum Dot Display Technology  
**QUANTUM DOT COLOR**

*Cadmium-based quantum dots are more energy-efficient than any color gamut technology – including phosphor, OLED and indium-based quantum dots*



**NANOCO**  
 GROUP PLC

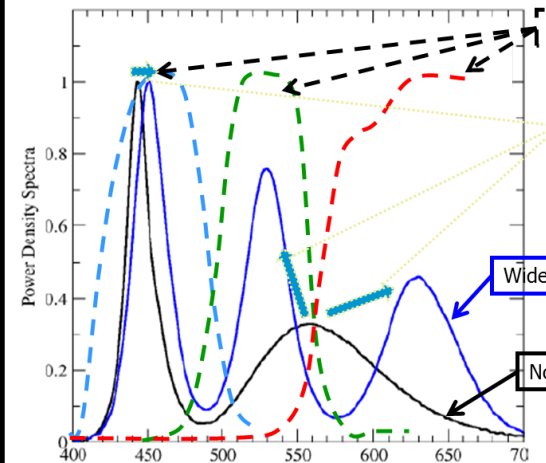
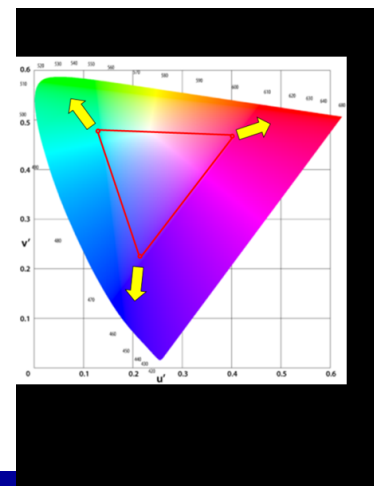
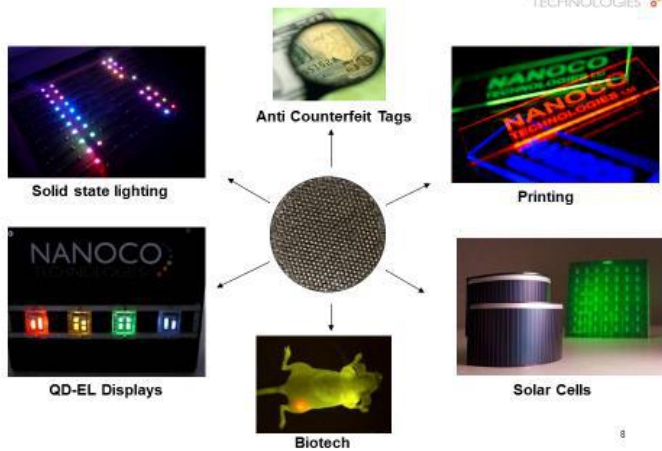
**3M**



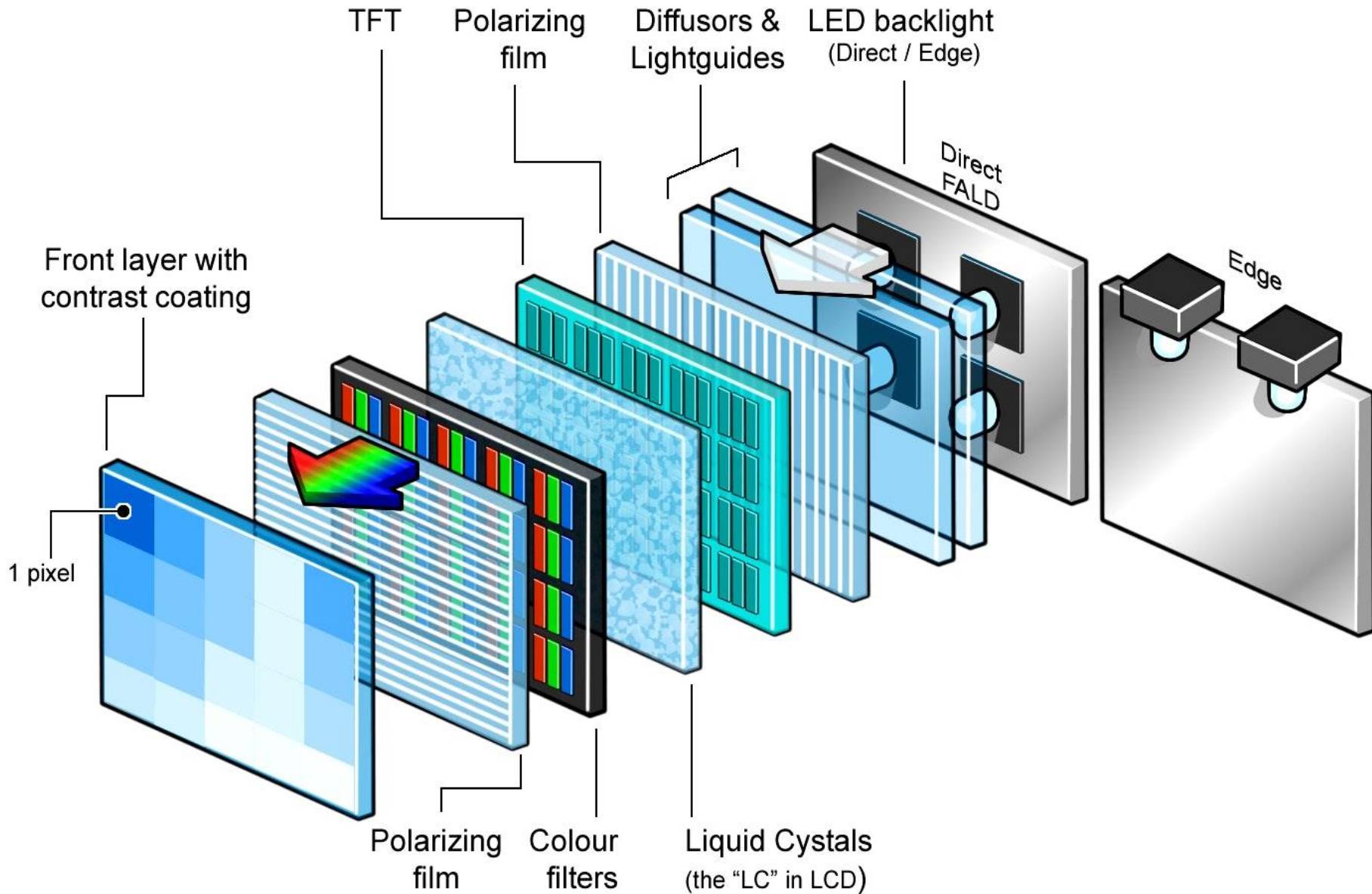
**COLOR IQ**  
 BY QD VISION

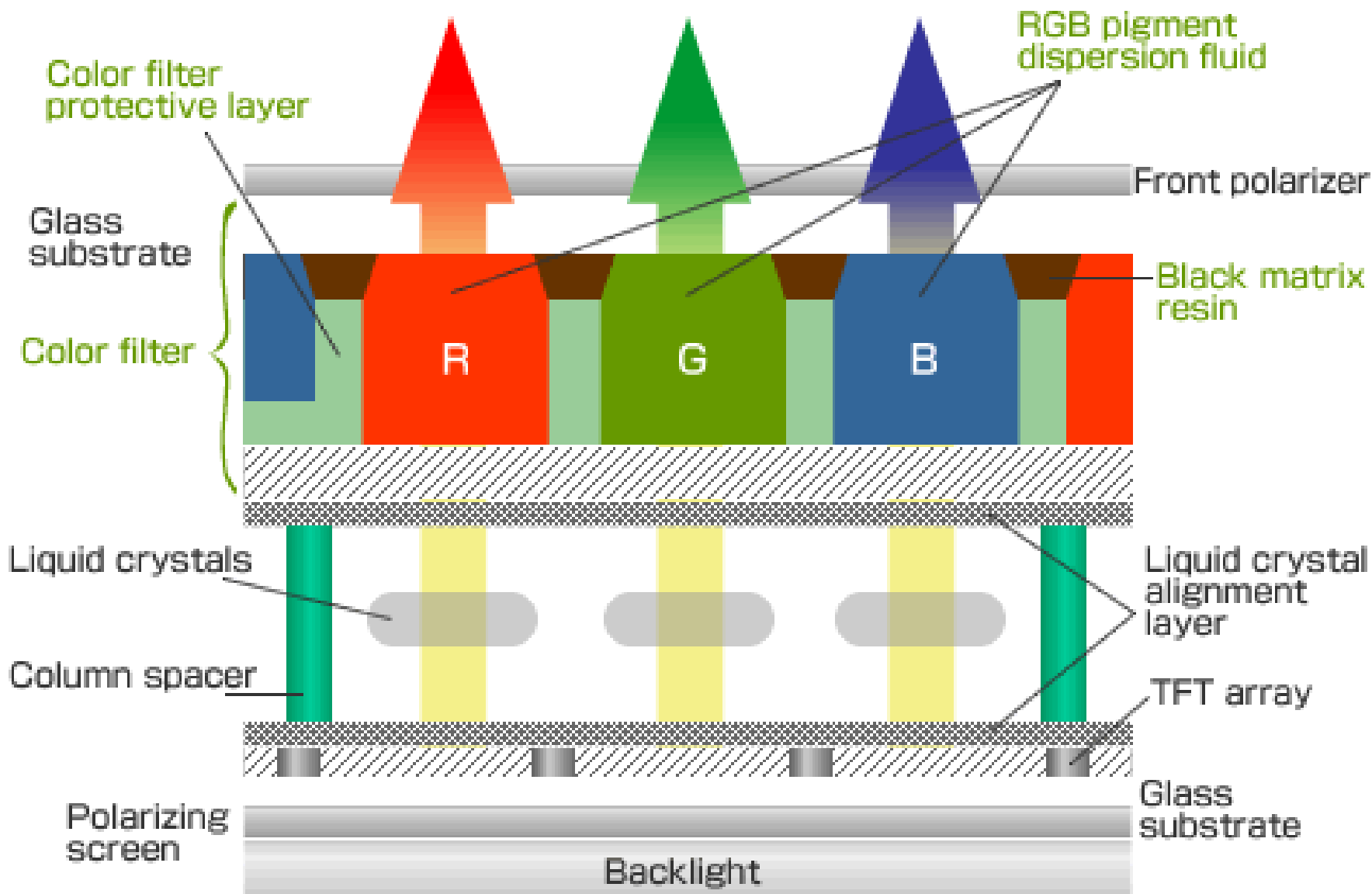


## Developing Markets for QDs



# LED Backlight LCD





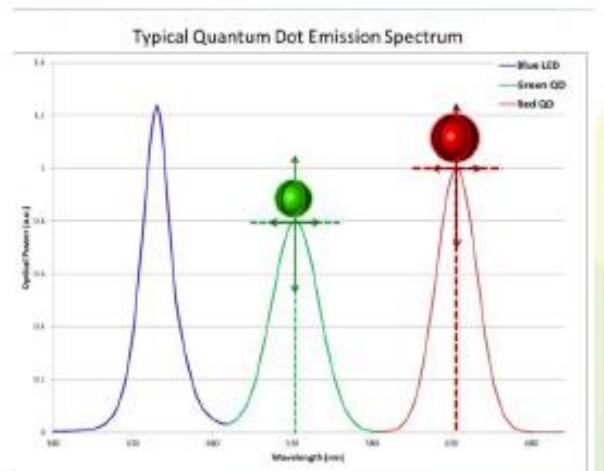
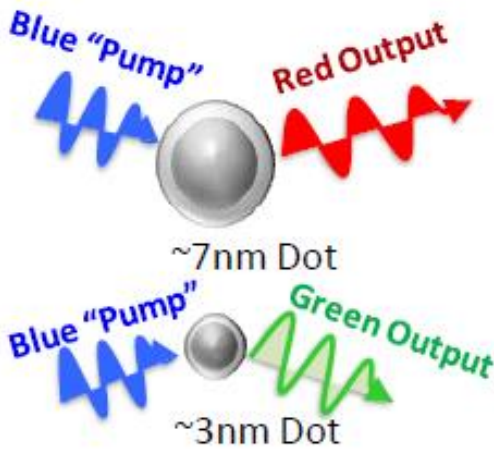
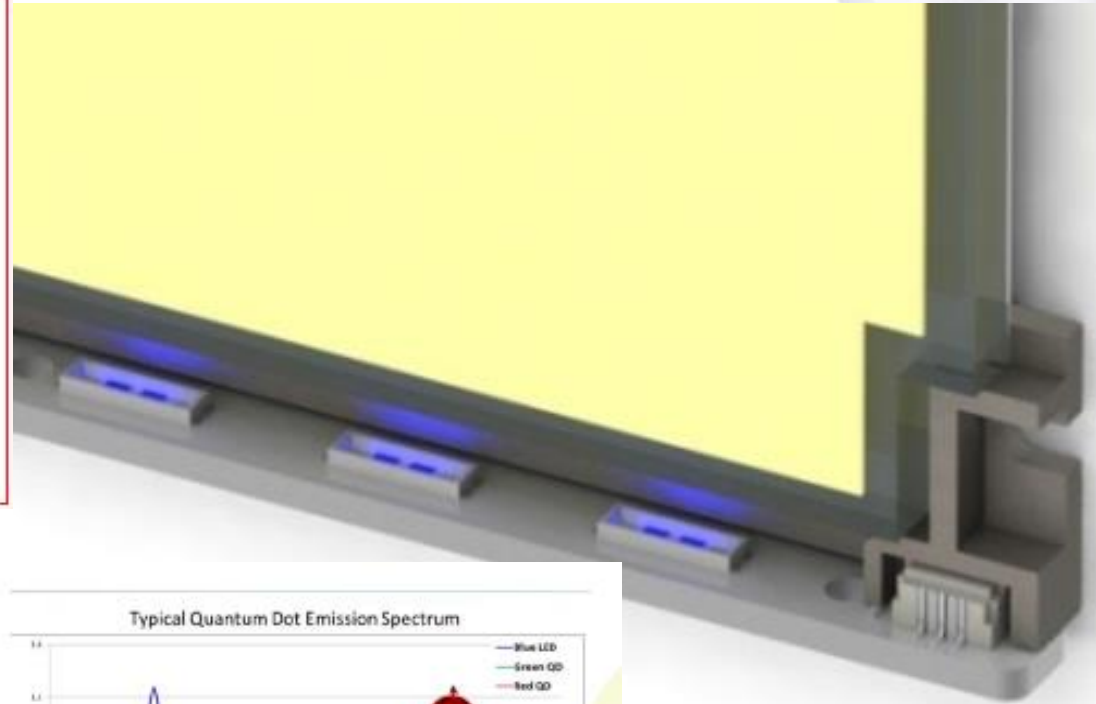
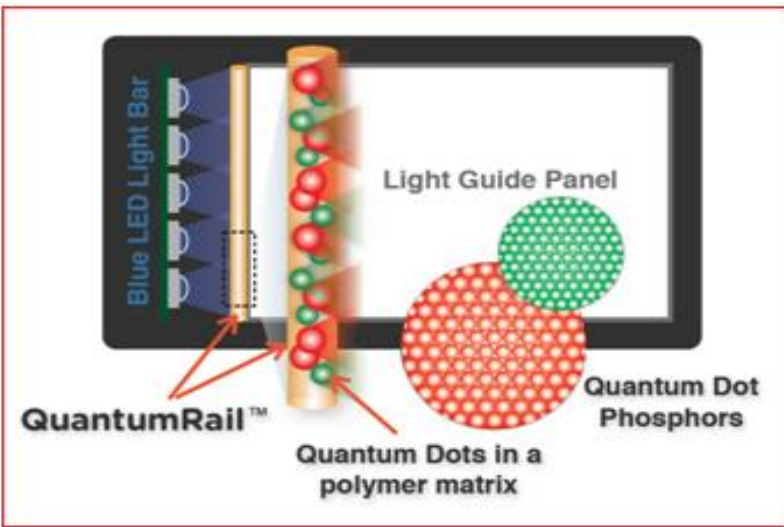
# Apple iPod LED backlights:

*Universiteit Utrecht*





# New concept: blauwe LEDs met plastic QD-screen



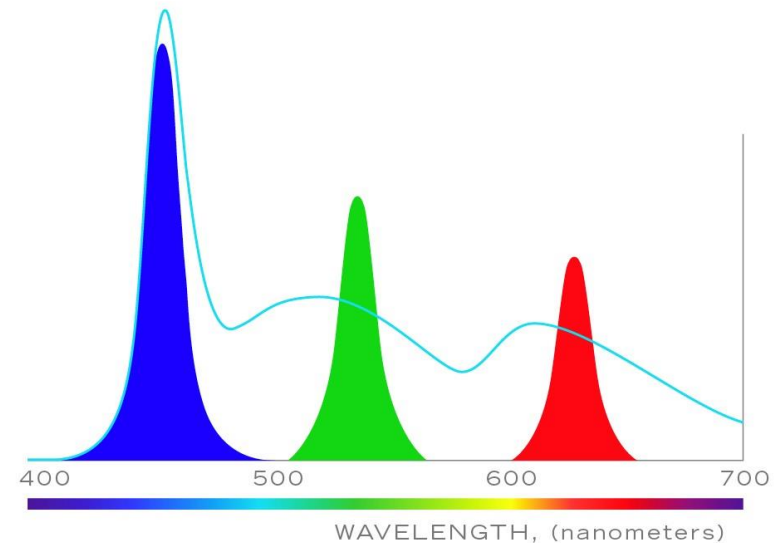
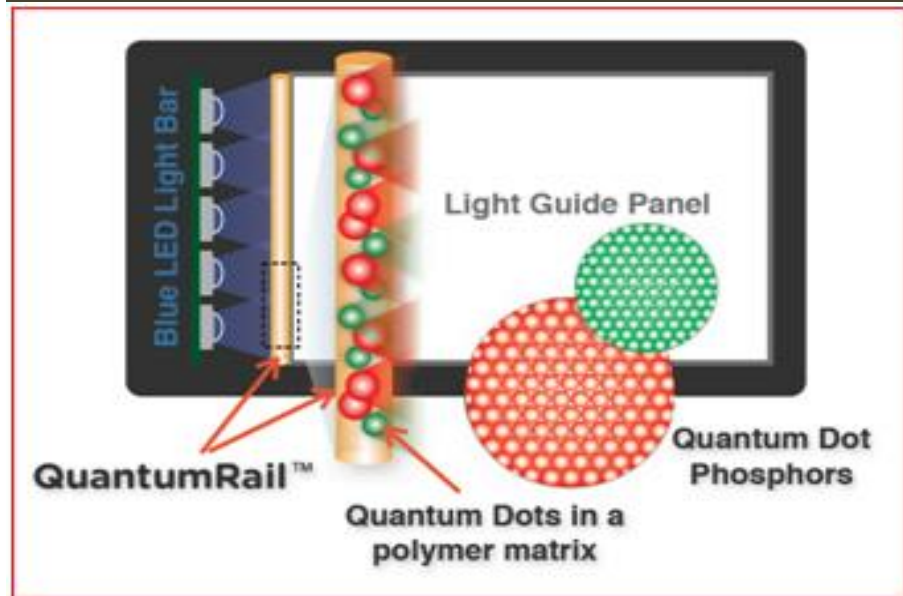
# New: QD-LCD displays:



At CES in January 2013, SONY announced several LCD TVs with 'Triluminos' a new backlighting method. Triluminos includes an optical component produced by QD Vision, Inc. called "Color IQ" which uses quantum dots to create light.

2015: QD displays van o.a. Samsung, LG, TCL en ook Philips

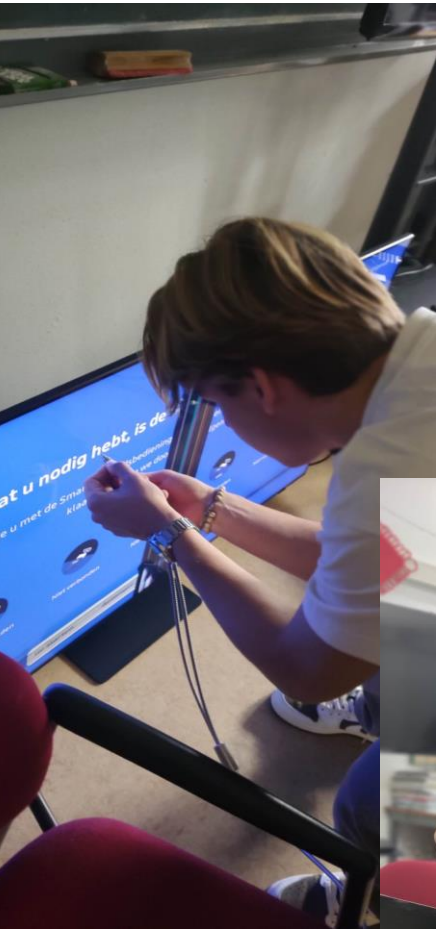
2021: Breed scala aan QD TVs verkrijgbaar



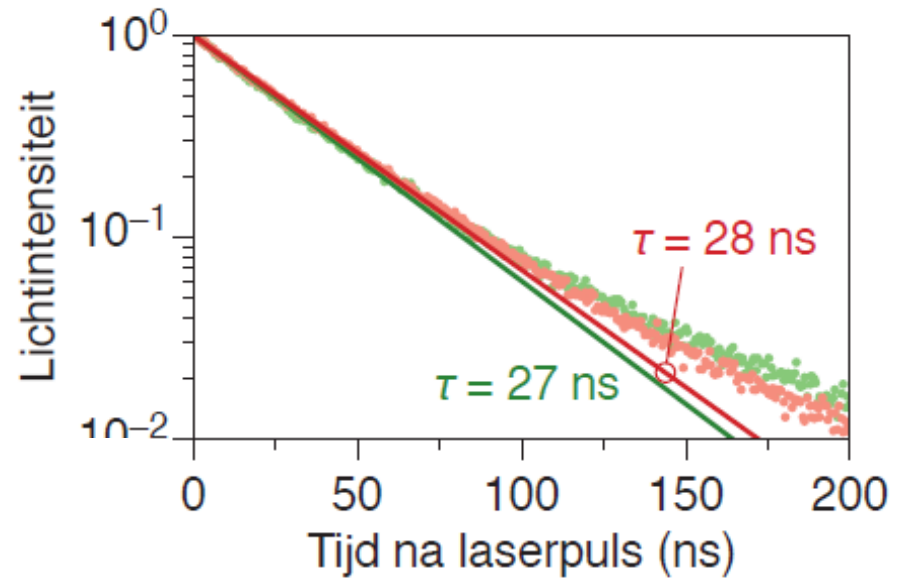
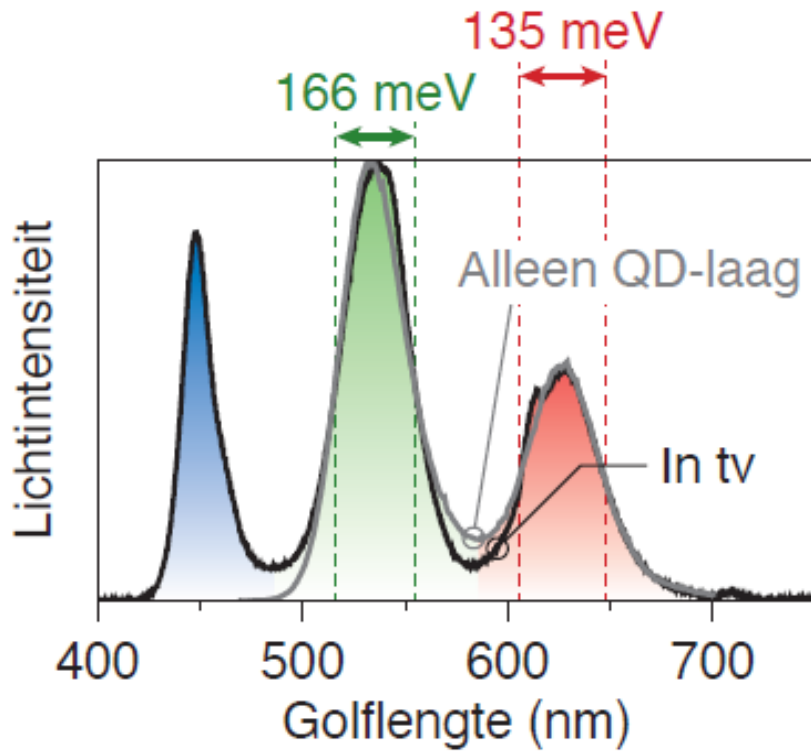




# VWO scholier (Luuk Bax) Profielwerkstuk quantum dots: QLED TV slopen!

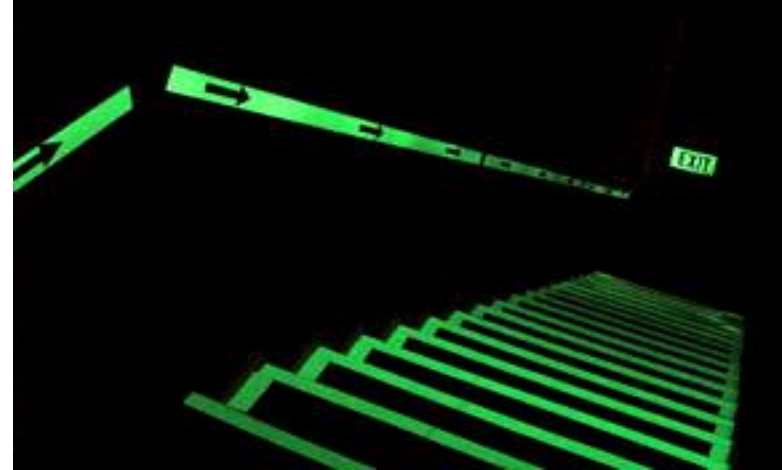


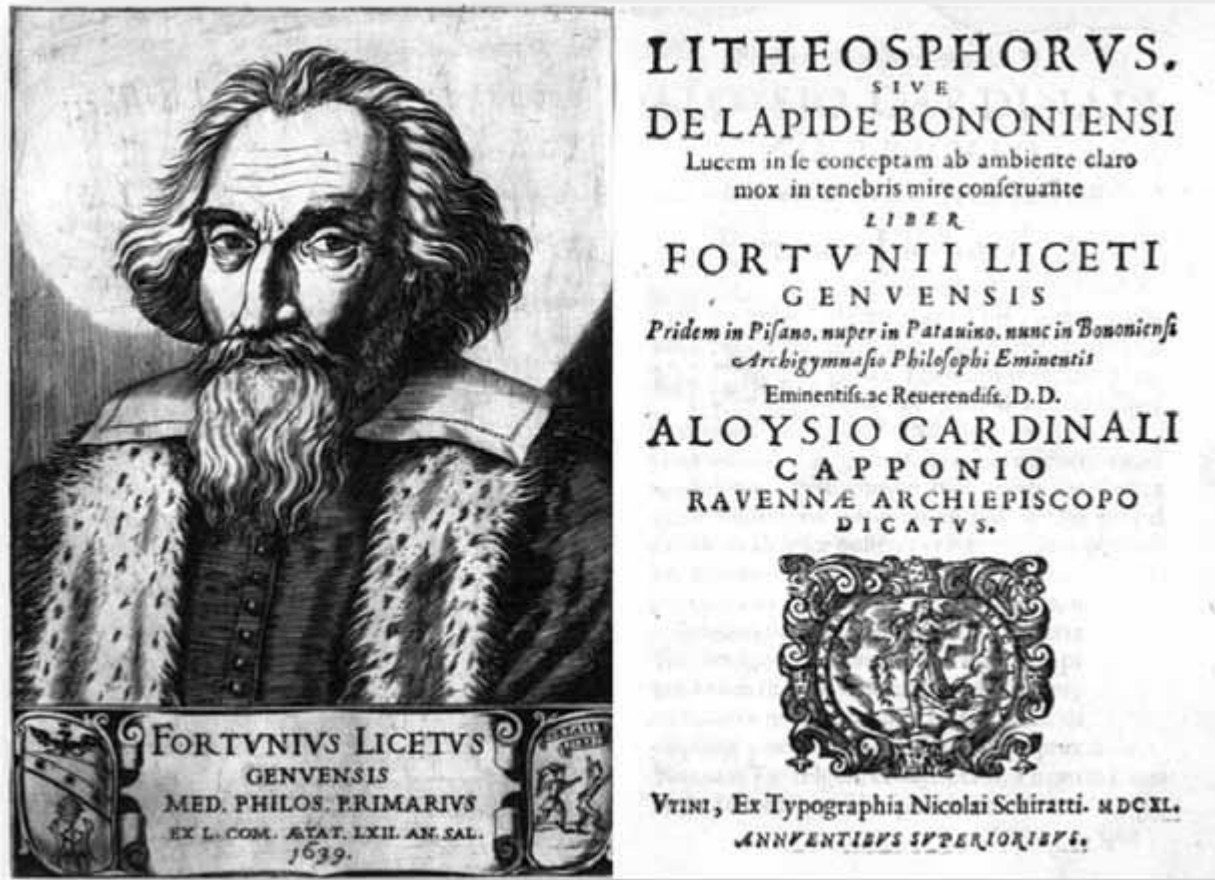
# Spectra en decay curven QD scherm





## 4. Nalichtfosforen



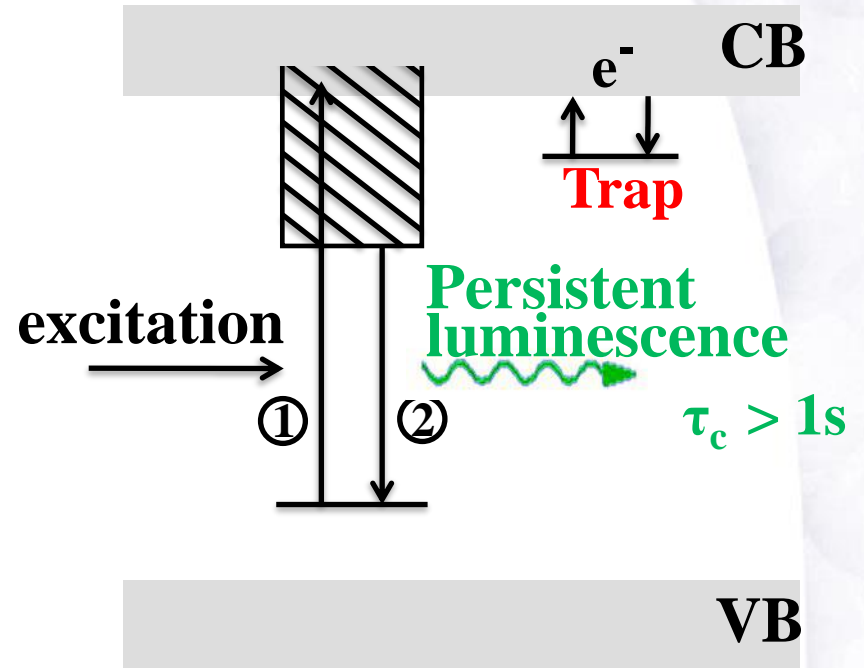
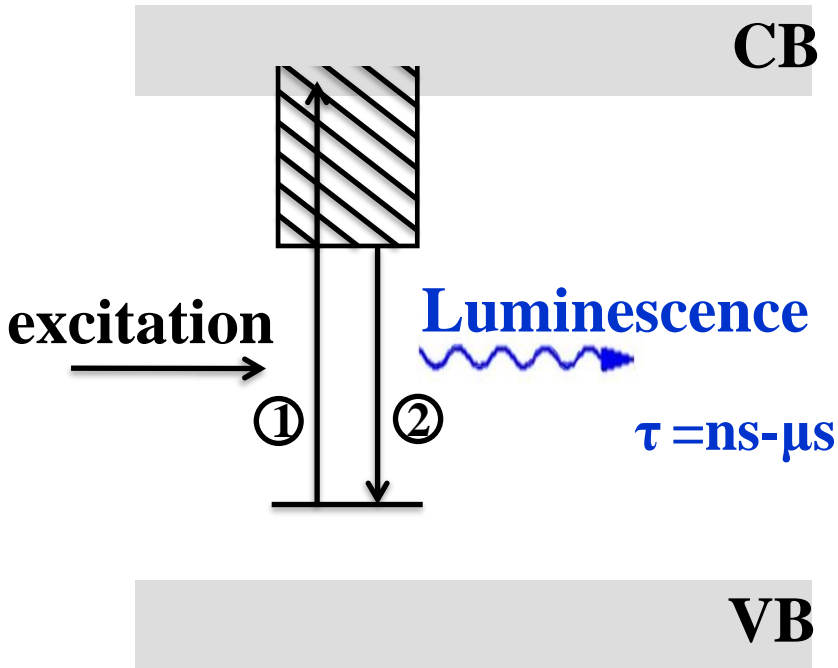


Ontdekking van luminescentie door Fortunius Licetus met de nalichtende Bologna steen in 1640



## Luminescentie

## Nalichten

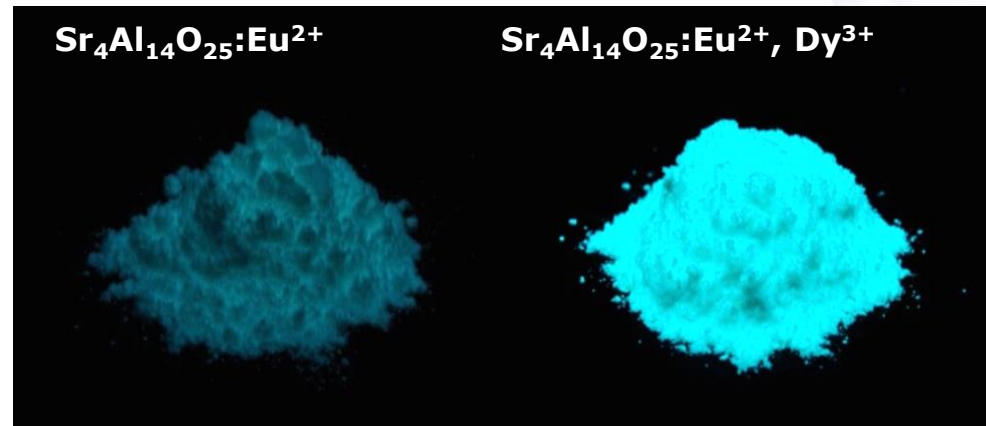


Nalichtfosforen: thermisch gestimuleerd langzaam vrijkomen van ingevangen ladingsdragers en recombinatie geeft licht



Klassieke nalichtfosfor (tot ca. 1995): ZnS:Cu<sup>+</sup>

Nieuw materiaal: SrAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>:Eu<sup>2+</sup>, Dy<sup>3+</sup> gebaseerd op ZA  
'Luminova' ontdekt in 1995 in Japan, bij Nemoto  
>10 keer intenser dan ZnS:Cu

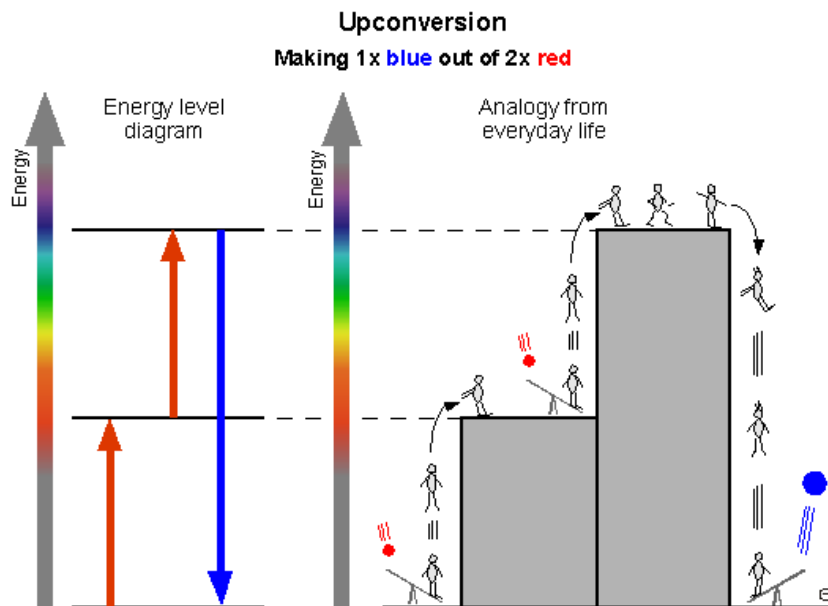


Uitdagingen:

- Nieuwe kleuren (blauw, geel, oranje, rood)
- Opslagmechanisme beter begrijpen



# 5. Spectrale conversie voor zonnecellen



# Zonne-energie oogsten



vs.



Vraag

Efficientie ???

Efficientie ???



# Zonne-energie oogsten



VS.



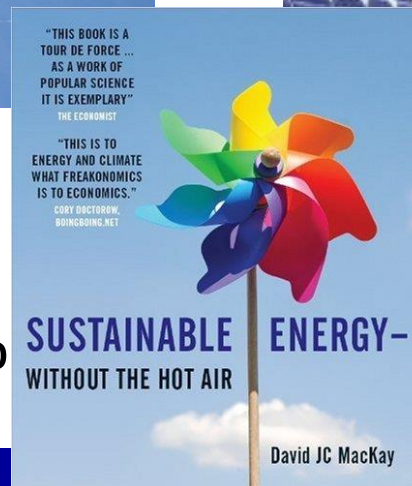
Efficientie  $< 0.5\%$

Efficientie  $> 10\%$

# Zonne-energie oogsten



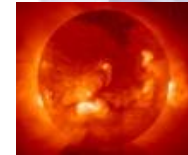
VS.



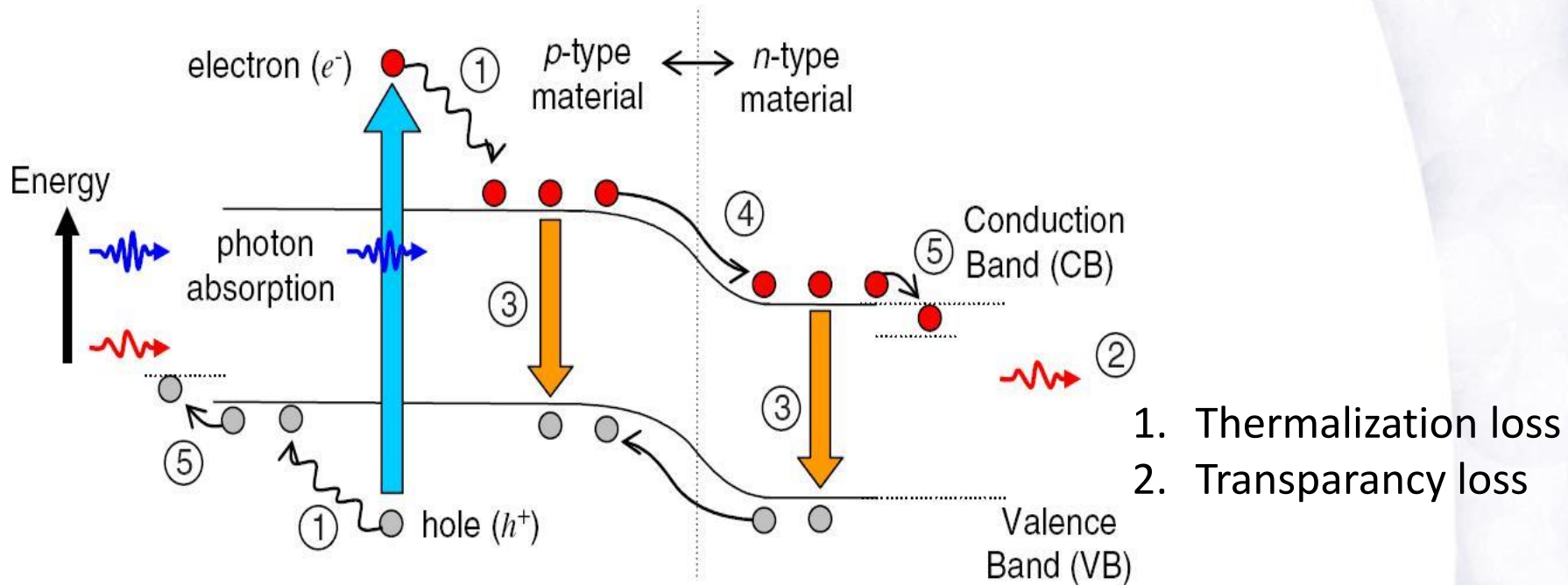
Efficientie < 0.5%

**Aanrader:** Afscheidsrede Krijn de Jong  
<https://vimeo.com/manage/videos/632732434/2810bdf9ba> \_ Start rond minuut 18

Efficientie > 10%



# Efficiëntie verliezen in zonnecel:



1. Thermalization loss
2. Transparency loss

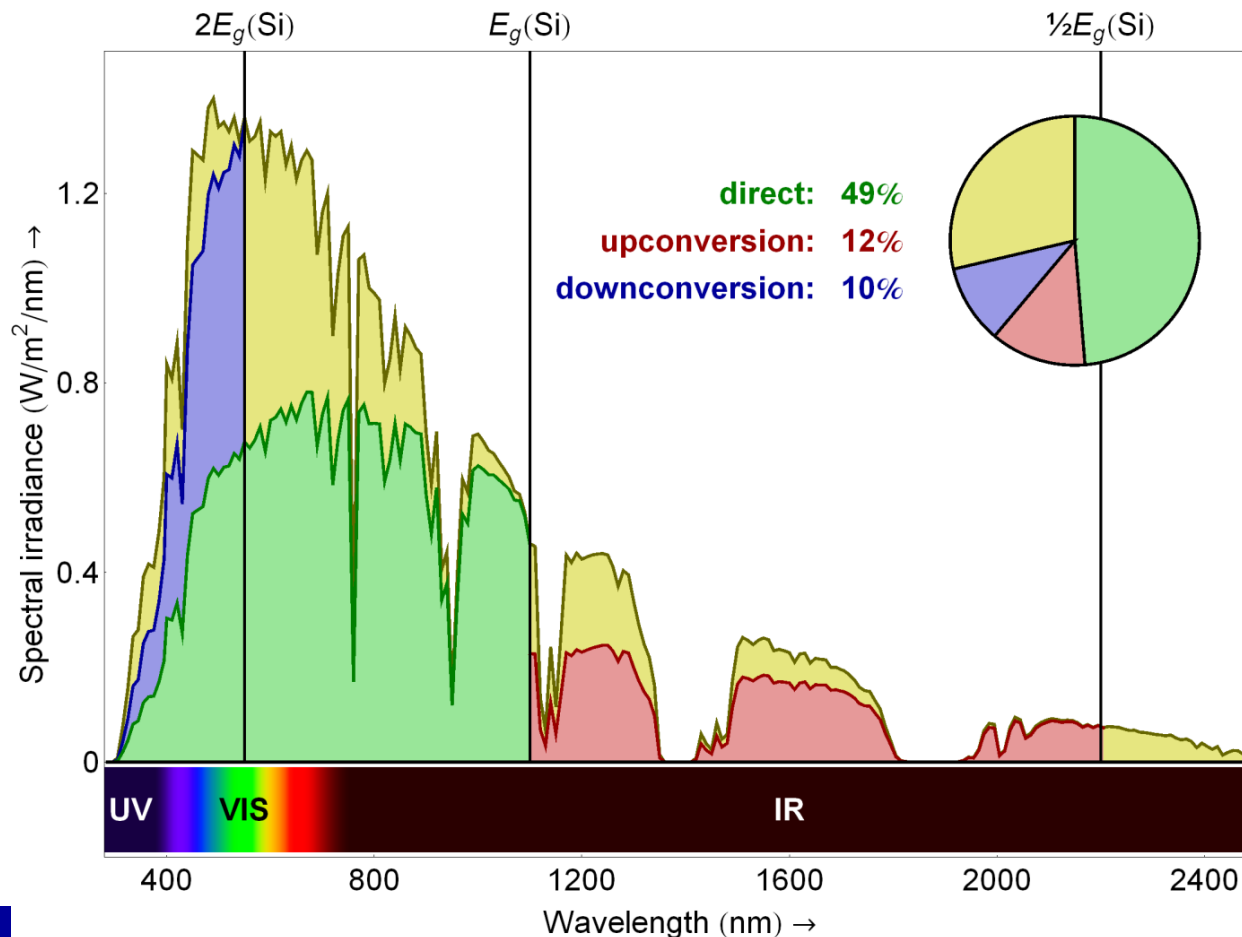
Shockley-Queisser efficiëntie limiet Si Solar Cell: 30%

Figure taken from B.S. Richards, Solar Energy Materials & Solar Cells 90, 2329-2337 (2006)



# Zonnespectrum aanpassen:

- Transparantie verliezen → Upconversie **2 IR naar 1 NIR**
- Thermalisatie verliezen → Downconversie **1 Blauw naar 2 NIR**



Grote efficiëntie winst mogelijk met ideal up- en downconverters, e.g. voor c-Si zonnecel

(Dank aan Freddy Rabouw)

# Energie niveaus Lanthaniden: Dieke diagram

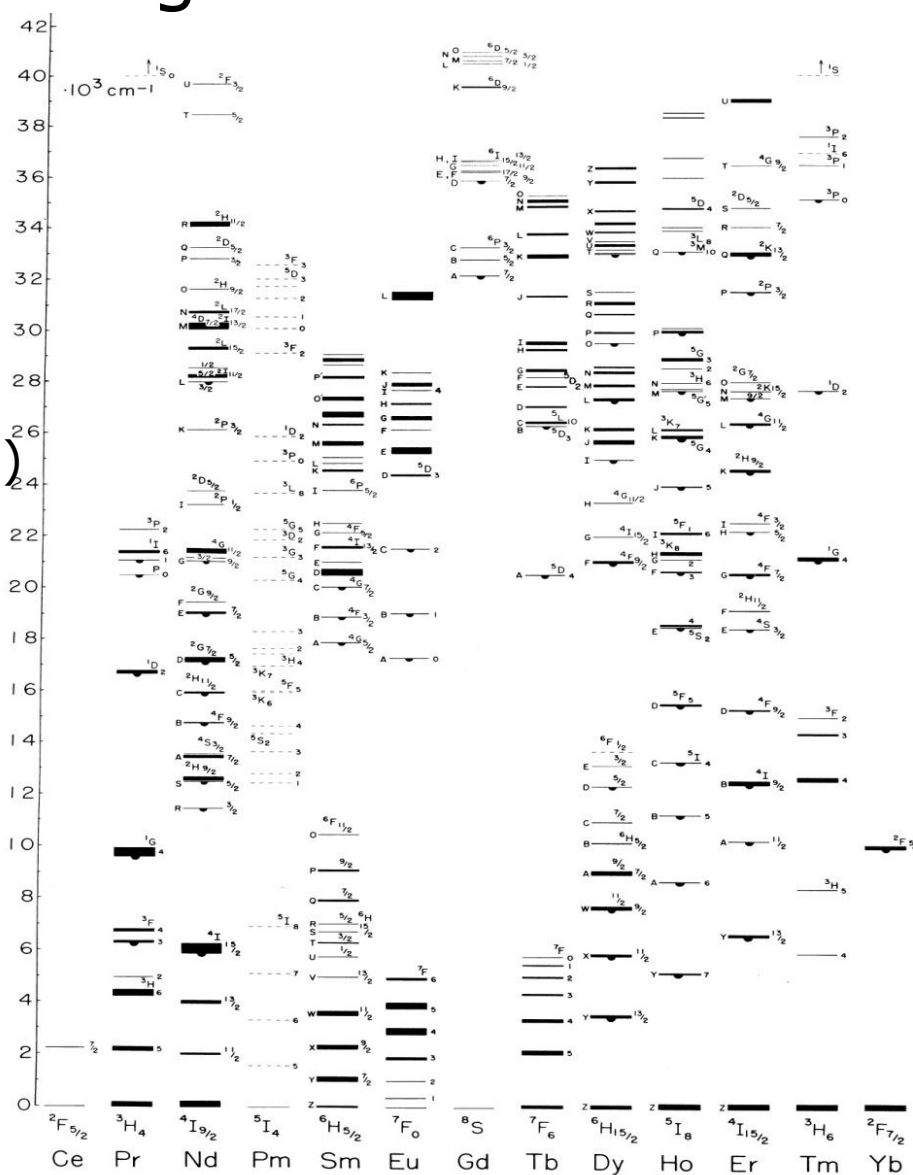


UV

Energy  
( $10^3 \text{ cm}^{-1}$ )

VIS

IR



$$E(\text{cm}^{-1}) = 1/\lambda(\text{cm})$$

$$30000 \text{ cm}^{-1} = 333 \text{ nm}$$

$$20000 \text{ cm}^{-1} = 500 \text{ nm}$$

$$10000 \text{ cm}^{-1} = 1000 \text{ nm}$$

$$E_{\text{photon}} = h \cdot f = h \cdot c/\lambda$$

h – Planck's constant ( $6.10^{-34} \text{ J.s}$ )  
c – speed of light ( $3.10^8 \text{ m.s}^{-1}$ )

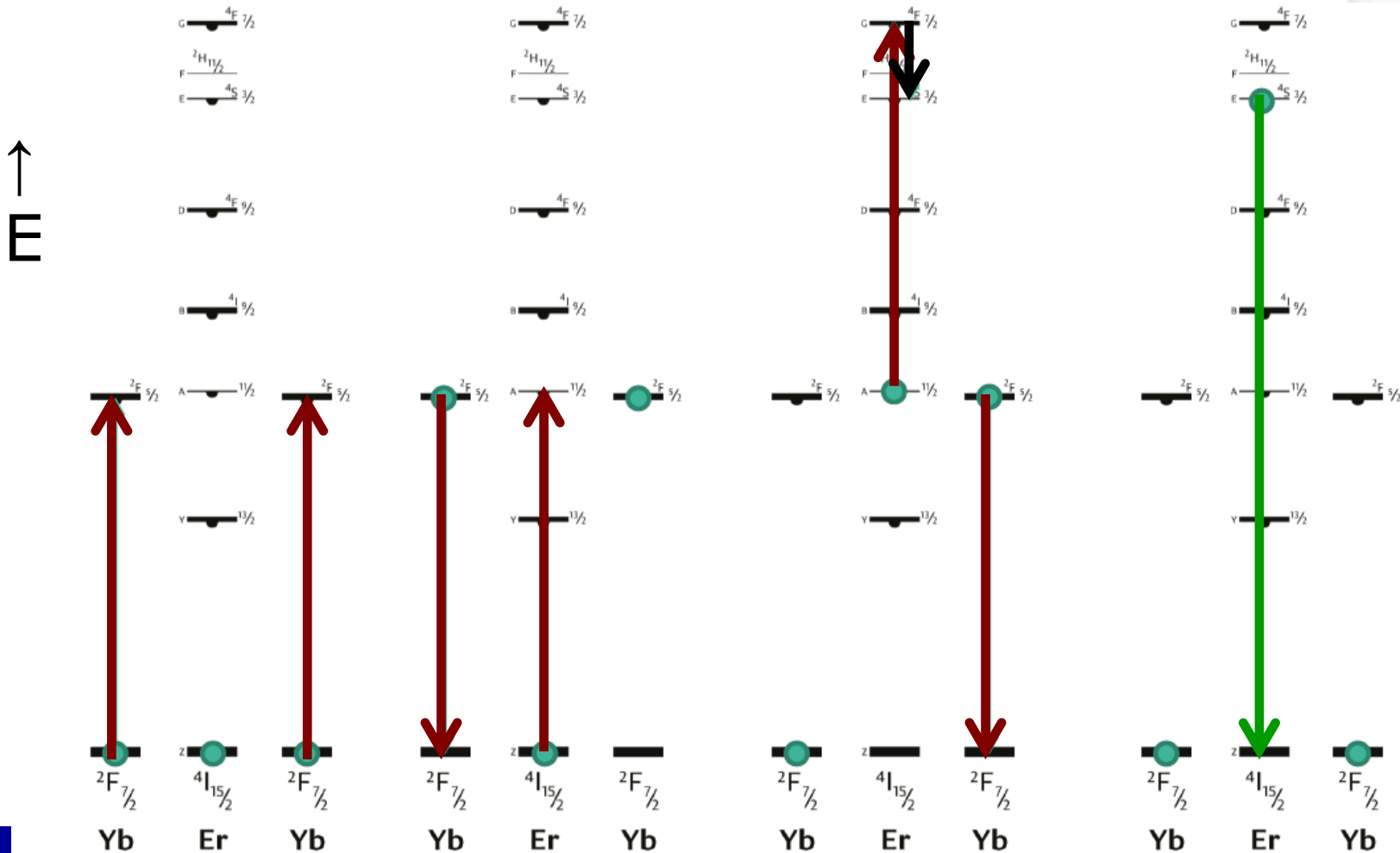


# Upconversion

# Upconversion systems:



Combine Rare Earth ions with matching energy gaps, for example  $\text{Er}^{3+}$  and  $\text{Yb}^{3+}$



# Upconversion works!



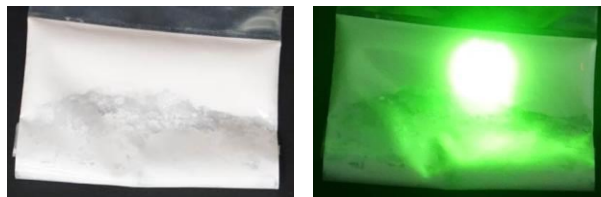
1 Yuan = 13 Eurocent



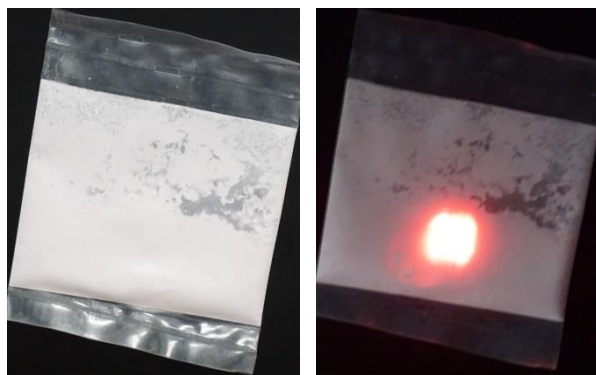
NaYF<sub>4</sub>:Yb,Er  
Nanocrystals



500 mW 980 nm IR laser



UV



Commercial Yb<sup>3+</sup>,  
Er<sup>3+</sup> Upconversion  
Phosphors



980 nm IR

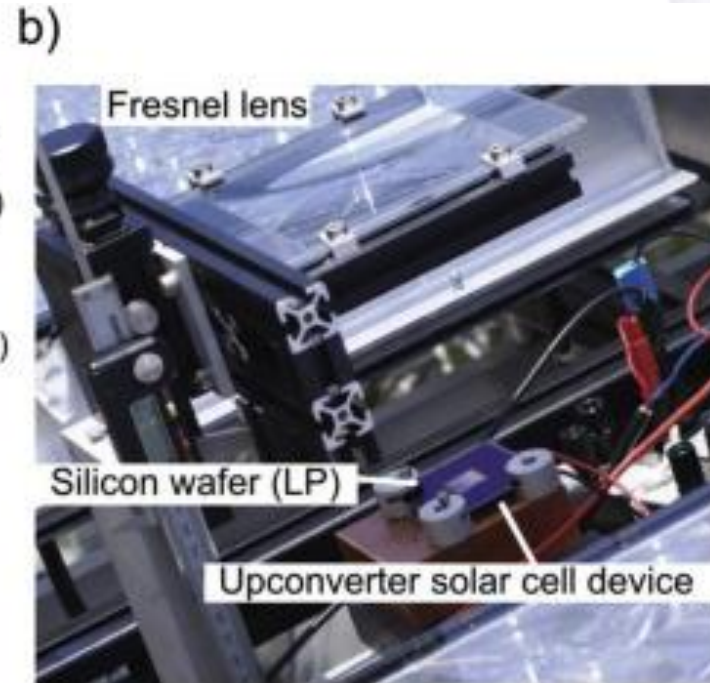
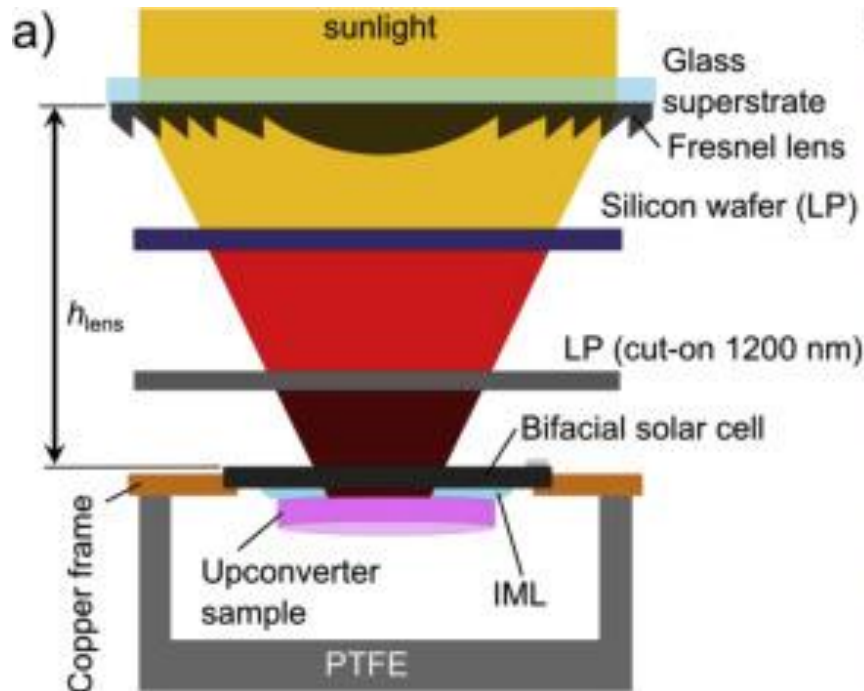
UC Phosphor Yb, Er



# Does it really work?



Outdoor Testing 1500 nm to 1000 nm upconversion with  $\text{Er}^{3+}$ :

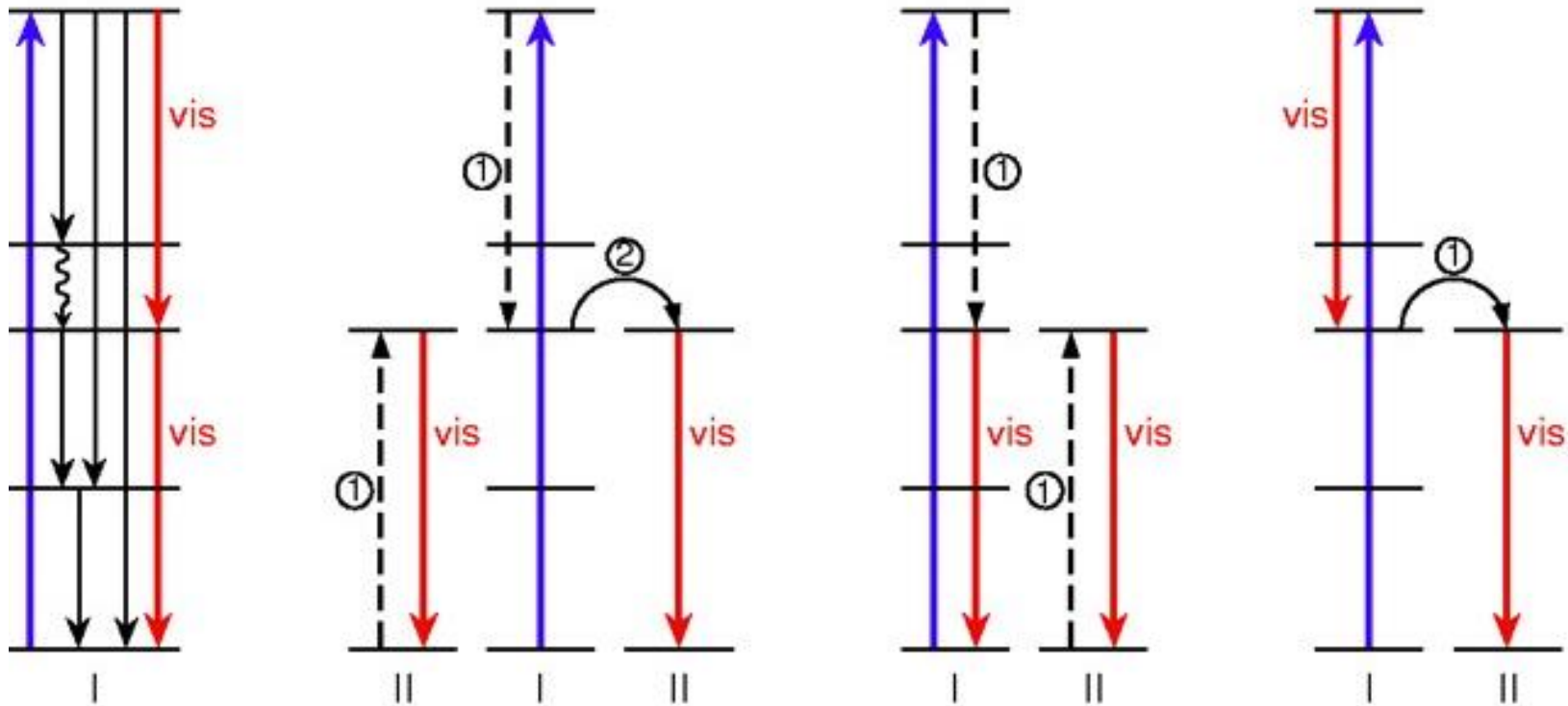


Testing: both with solar simulator and outdoor at Fraunhofer ISE – small increase (0.1%) in efficiency. Research on higher efficiency upconversion and better infrared absorption



# Downconversion

# Downconversion



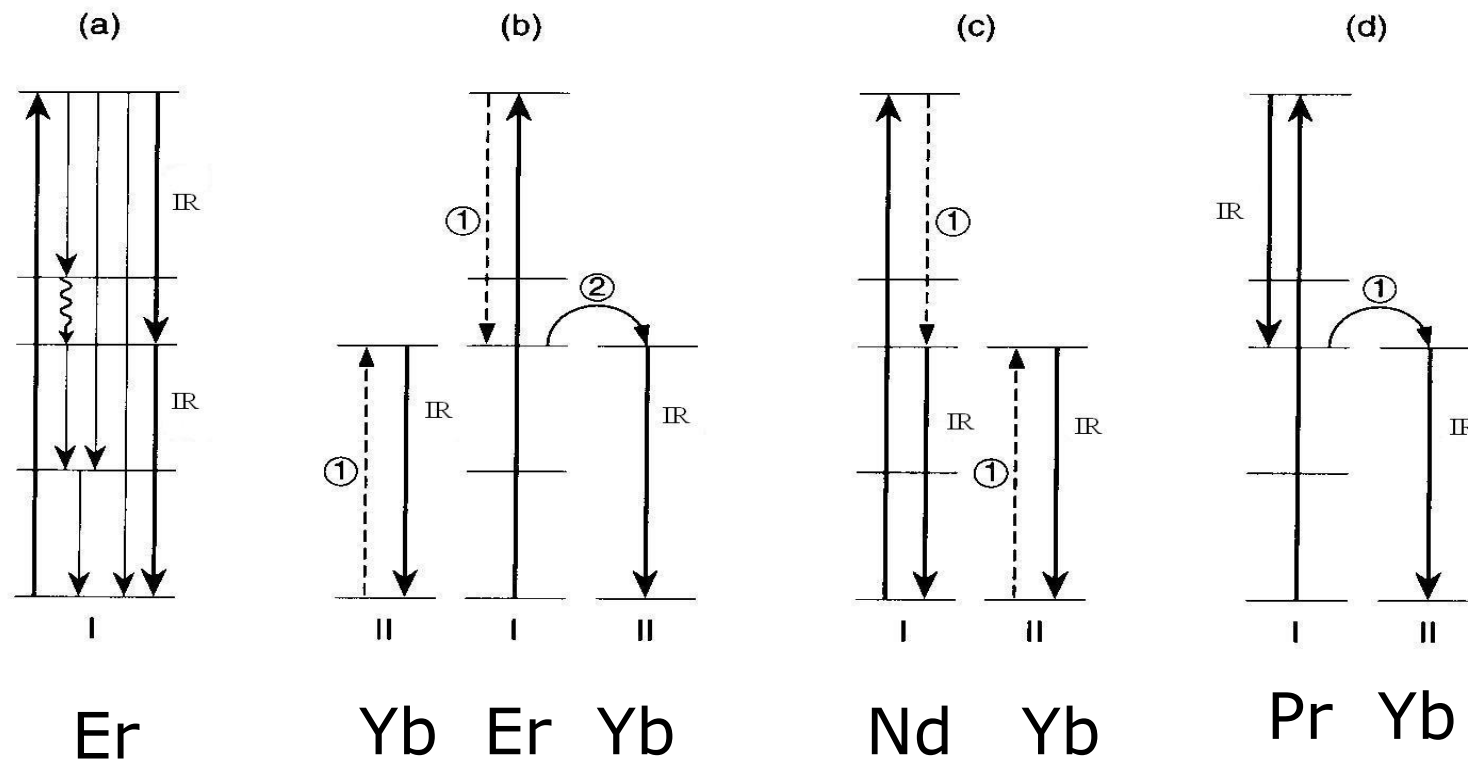
Downconversion from **1 VUV** photon to **2 VIS** photons achieved with the Gd-Eu couple (discovered 1999)

# Downconversion for Solar Cells:

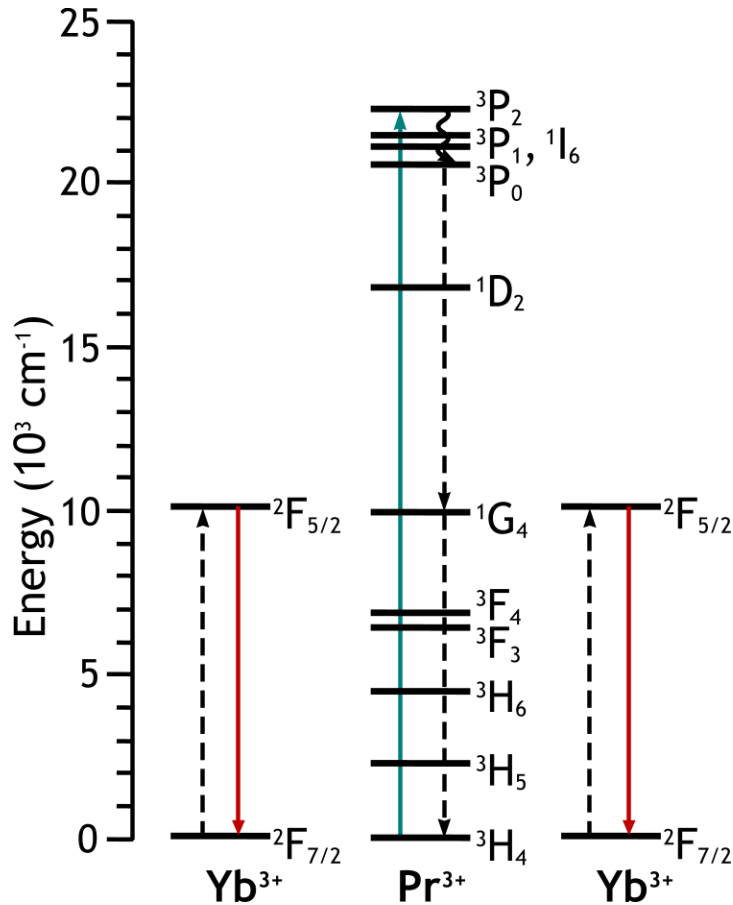
1 VIS  $\rightarrow$  2 IR



## Possible downconversion schemes:



# Pr-Yb



Downconversion:

Two step energy transfer from  $\text{Pr}^{3+}$  to two  $\text{Yb}^{3+}$  ionen via two resonant steps from  $^3\text{P}_0$  level, using the intermediate  $^1\text{G}_4$  level.

Both  $\text{Yb}^{3+}$  ions can emit a 1000 nm photon, just above the bandgap of c-Si

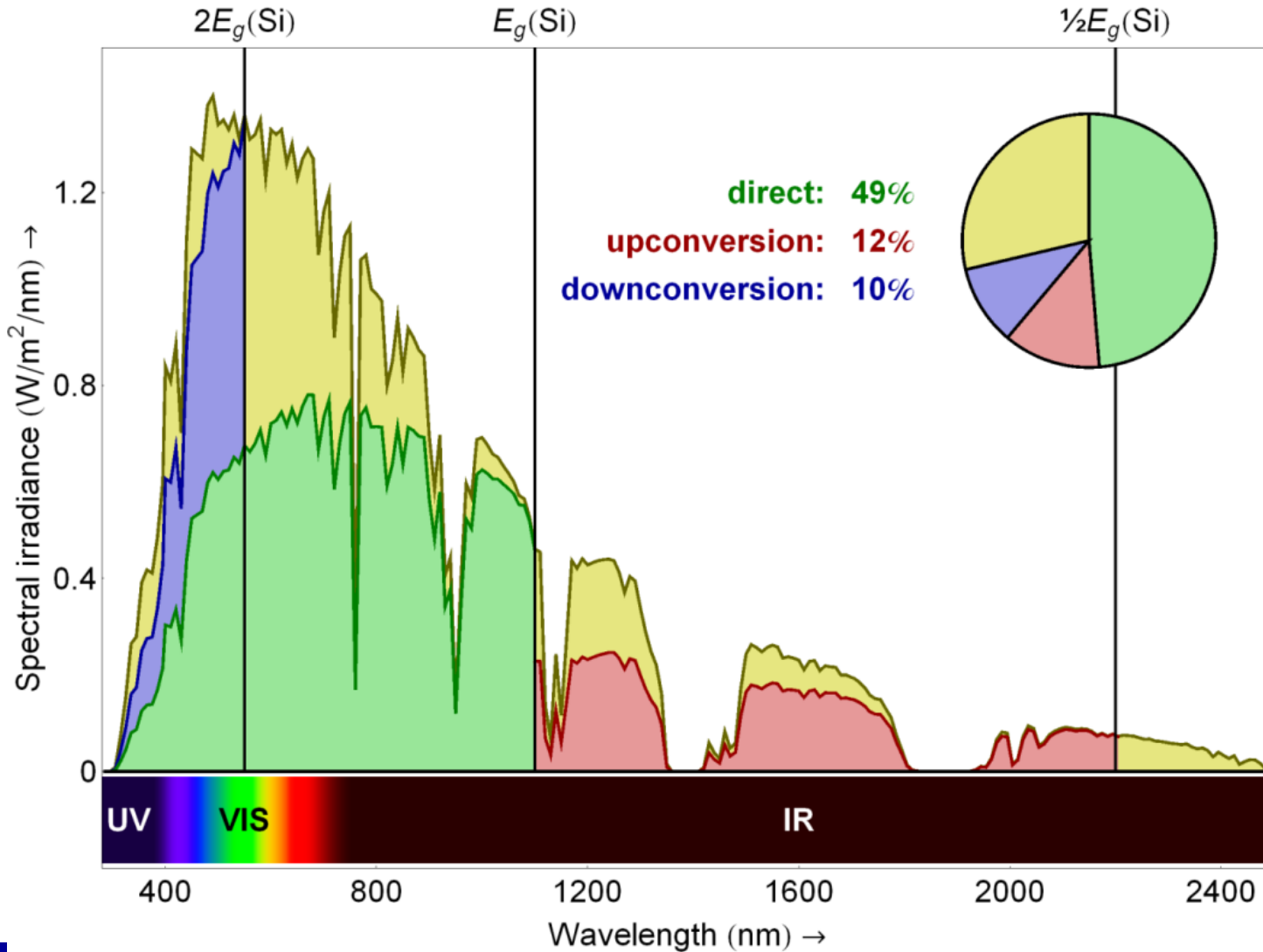
Quantum Yield 200%!

2 photons out for 1 photon absorbed

**Problem: weak narrow line absorption  
Rare Earth Ions**



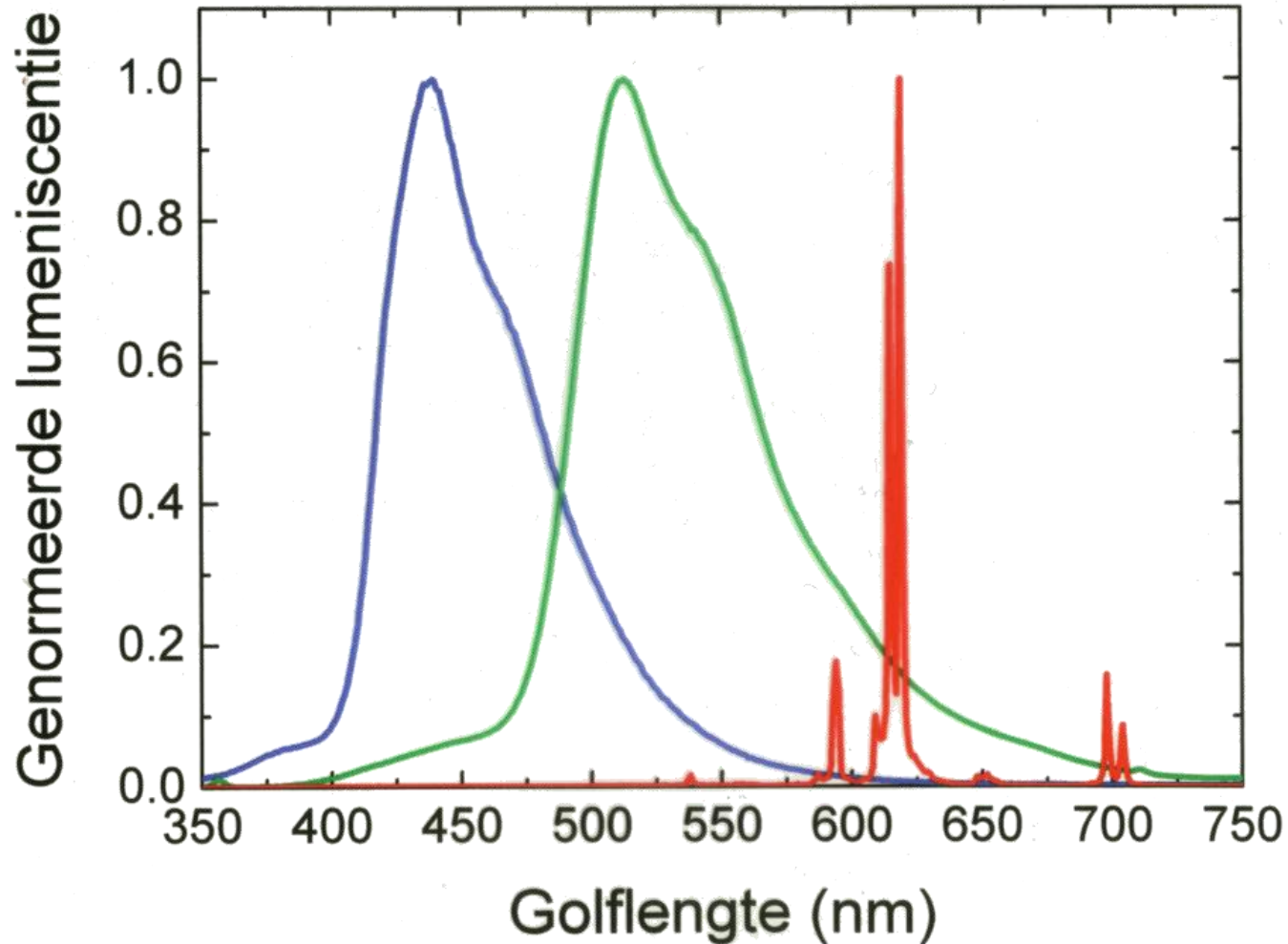
# 22% efficiëntie winst blijft voorlopig een droom....





# 5. Geld





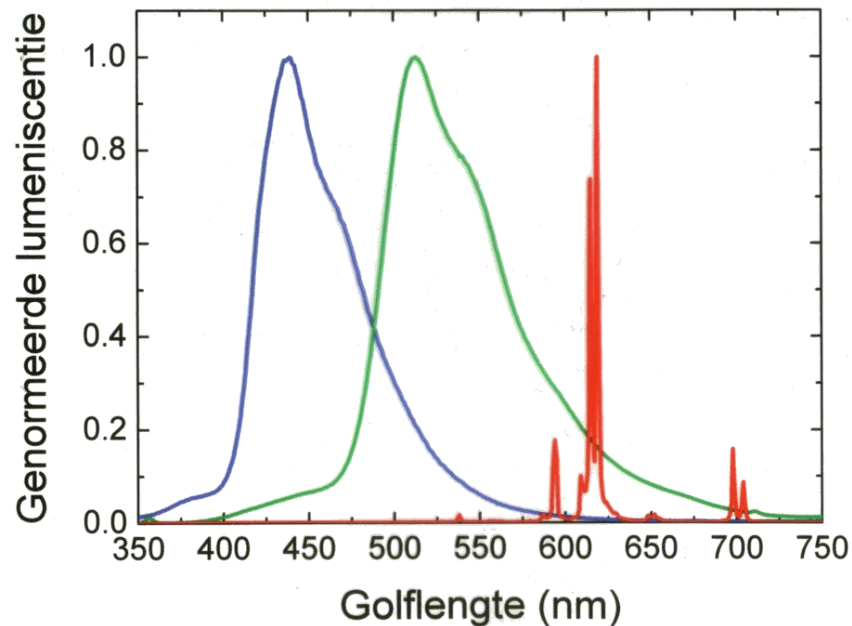
Emissiespectra rode, groene, blauwe fibers en rode sterren in Euro-biljetten





## Vraag:

Welk ion is verantwoordelijk voor de scherpe emissielijnen rond 610 nm?



Hint: een fout antwoord werd gegeven in de 2 voor 12 quiz

# €UROPIUM BEVEILIGT DE €URO

Onderzoekers uit Utrecht hebben het vijf €uro-biljet tegen het UV-licht gehouden en een aantal opvallende zaken ontdekt. De luminescentie bleek veroorzaakt door verbindingen die europium bevatten. Een stof die wel erg bekend voorkwam.

Freek Suyver en Andries Meijerink, Faculteit Scheikunde, Databe In situ, Universiteit Utrecht

De euro is van ons allemaal! Het is vrijwel onmogelijk om niet op de hoogte te zijn van de grootste monetaire operatie ooit. Bij de introductie van de nieuwe biljetten is veel aandacht besteed aan de beveiliging. Vervallen van de €uro-biljetten is niet eenvoudig onder andere door reliëfdruk, watermerk en hologrammen. De echtheid kan worden vastgesteld door: voel, kijk en kantel. Niet iedereen weet dat de €uro-biljetten als extra beveiliging ook luminescerende materialen be-

vatten. Onder UV-bestraling zien we direct dat een €uro-biljet oplicht in drie kleuren: rood, groen en blauw. Dit licht wordt opgewekt in een tijtje in het papier. Daarnaast blijkt ook een deel van de 'gewone' drukinkt te luminesceren. Met behulp van luminescentiemetingen hebben wij geprobeerd te achterhalen welke luminescerende materialen (fosforen genaamd) verantwoordelijk zijn voor deze luminescentie.

**BEKEND FOSFOR.** Het is niet mogelijk om alleen op basis van het emissiespectrum te bepalen welke verbinding verantwoordelijk moet zijn voor de emissie. Meestal is er meer dan één mogelijkheid. Daarom worden van een luminescerende stof niet alleen emissiespectra maar ook excitatiespectra opgenomen. Een excitatiespectrum toont de intensiteit van de emissie gemeten als functie van de golflengte van de exciterende straling. Het spectrum geeft informatie over de energie van verschillende aangeslagen toestanden die relaxeren naar de lichtemitterende (lagste) aangeslagen toestand. Verder is ook de luminescentie levensduur bepaald. Dit is de tijd waarin de intensiteit van de emissie terugvalt naar 1/e van de beginintensiteit na afloop van een excitatiepuls. Door de emissie- en excitatiespectra en de levens-

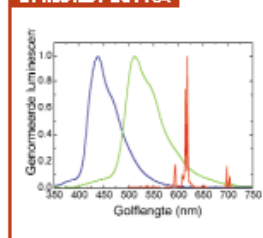
duur van een fosfor te vergelijken met die van bekende materialen, kan meestal een goed idee verkregen worden over de aard van de fosfor.

De emissiespectra van de drie verschillende vezels in een €5,- biljet gaan direct aan dat er met het rode licht iets bijzonders aan de hand is. Deze emissie bestaat uit scherpe lijnen. Lijnemissie is karakteristiek voor overgangen binnen de 4f-schil van zeldzame aardionen. Uit de posities van de pieken is het voor een ingewijde direct duidelijk dat de emissie afkomstig is van drie-waardig europium ( $\text{Eu}^{2+}$ ). Deze rode europiumemissie wordt ook gebruikt in TL-buizen en kleurentelevies. Op basis van de extra informatie uit het excitatiespectrum en de levensduur (0,36 ms) is het waarschijnlijk dat het hier een  $\text{Eu}^{2+}$ -diketoncomplex betreft, waarin het  $\text{Eu}^{2+}$ -ion gecoordineerd wordt door drie  $\text{O}=\text{C}(\text{CH}_2)_2-\text{C}=\text{O}$  groepen.

**STABILITEIT.** De groene en blauwe emissie zijn lastiger te identificeren omdat

Voor een nachtlerant van een vijf €uro-biljet in daglicht (boven) en dezelfde voor een nachtlerant onder bestraling met 254 nm UV-straling uit een kwiklamp.

## EMISSIESPECTRA




Emissiespectra van de rode, groene en blauw luminescerende vezels in een biljet van 5 €uro. In een emissiespectrum wordt het aantal uitgezonden fotonen als functie van de golflengte weergegeven. De spectra in deze figuur zijn gemiddeld op 1 voor het emissie maximum.

het een (minder karakteristieke) breedband-emissie betreft. De emissie zou van een organische kleurstof afkomstig kunnen zijn zoals die in de inkt van fluorescerende stifters gebruikt wordt. Een nadeel van luminescerende moleculen is echter de geringe stabiliteit. Omdat bankbiljetten lang mee moeten gaan is het waarschijnlijk dat ook de groene en blauwe emissie van een anorganische verbinding komen. Een goede mogelijkheid voor groen is  $\text{SrGa}_2\text{S}_4$  gedoteerd met  $\text{Eu}^{2+}$ . In dit materiaal zorgt de overgang van een elektron uit de 5d- naar de 4f-schil van tweewaardig europium voor een brede emissieband. De fosfor  $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$  is bekend vanwege de toepassing in groene 'licht emitterende diodes' (LED's). De emissie- en excitatiespectra en luminescentielevensduur van deze fosfor komen goed overeen met de karakteristieken van de groene vezel. De 'dubbele piek' die in het emissiespectrum te zien is wordt veroorzaakt doordat er twee verschillende posities zijn voor  $\text{Eu}^{2+}$  in het  $\text{SrGa}_2\text{S}_4$  kristal. De golflengte van de emissie van  $\text{Eu}^{2+}$  is gevoelig voor de omgeving en daarom ontstaat er  $\text{Eu}^{2+}$ -emissie bij een iets verschillende golflengte.

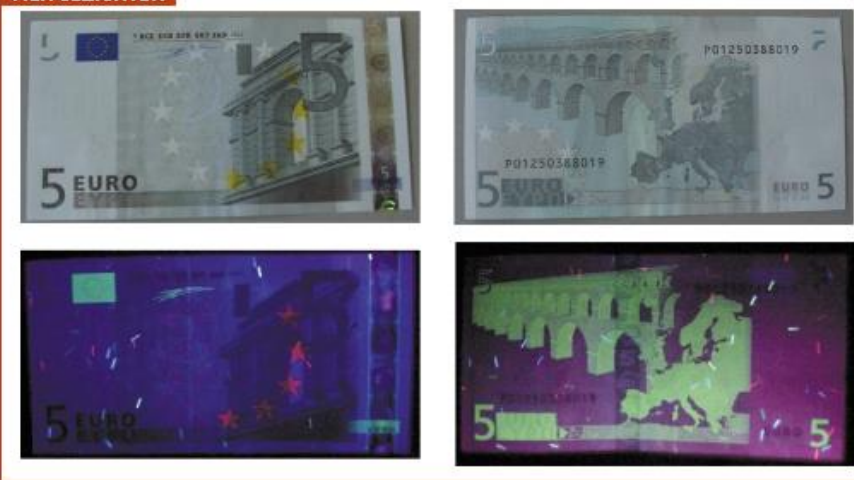
Het lastigt is de blauwe vezel omdat er veel materialen zijn die blauw licht uitzenden (ook het papier zelf geeft een zwakke blauwpaarse emissie). We verdenken de €uro-beveiligers ervan dat ze het zeer toepasselijk vonden om europium te gebruiken voor de €uro en daarom ook voor de blauwe fosfor een europiumemissie-

gebruikt hebben. Verderom zit er veel informatie in het excitatiespectrum en de levensduur. Een goede kandidaat voor de blauwe fosfor is  $(\text{BaO})_x\text{-6Al}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{2+}$ . Bij de synthese van dit materiaal worden zowel een fase met  $x = 0,83$  als één met  $x = 1,29$  gevormd. De fasen met verschillende waarden voor  $x$  geven  $\text{Eu}^{2+}$ -emissie bij een iets verschillende golflengte, zoals in het emissiespectrum te zien is. Emissie- en excitatiespectra zoals die in de literatuur gepubliceerd zijn komen zeer goed overeen met de door ons gemeten spectra, evenals de korte (sub-microseconde) levensduur van de emissie. Deze blauwe fosfor is overigens nauw verwant aan de blauwe fosfor die in TL-buizen gebruikt wordt om samen met de rode en groene fosfor wit licht te maken.

**NEDERLANDSE BANK.** Op basis van de luminescentiemetingen hebben we een goed idee gekregen van de luminescerende materialen die de biljetten zo mooi doen oplichten onder een UV-lamp. Eigenlijk hadden we van tevoren wel kunnen bedenken dat een ion met een naam als europium hiervoor verantwoordelijk moest zijn. Om onze antwoorden op hun juistheid te controleren hebben we contact opgenomen met de Nederlandse Bank. Na enige telefoontjes belde een met beveiliging van bankbiljetten belaste onderzoeker op. Het bleek geen onbekende. Enige jaren geleden bezocht hij samen met een collega onze groep, waarbij wij hem zeer veel informatie over luminescerende materialen konden verstrekken. Niet geheel onverwacht kon hij ons niet veel informatie geven. Wie ke fosforen gebruikt worden voor de beveiliging van de €uro-biljetten is geheim en alleen de direct betrokken onderzoekers zullen weten of onze speurtocht tot een juiste identificatie van de fosforen heeft geleid. Voor een verdere analyse van de samenstelling van de fosforen zijn veel destructieve technieken vereist en stukmaken van bankbiljetten is verboden, evenals namaken. →

 We willen Owe Ronda, Celso de Mello, Donato en Mariko van Veen bedanken voor hun hulp en suggesties bij het schrijven van dit artikel.

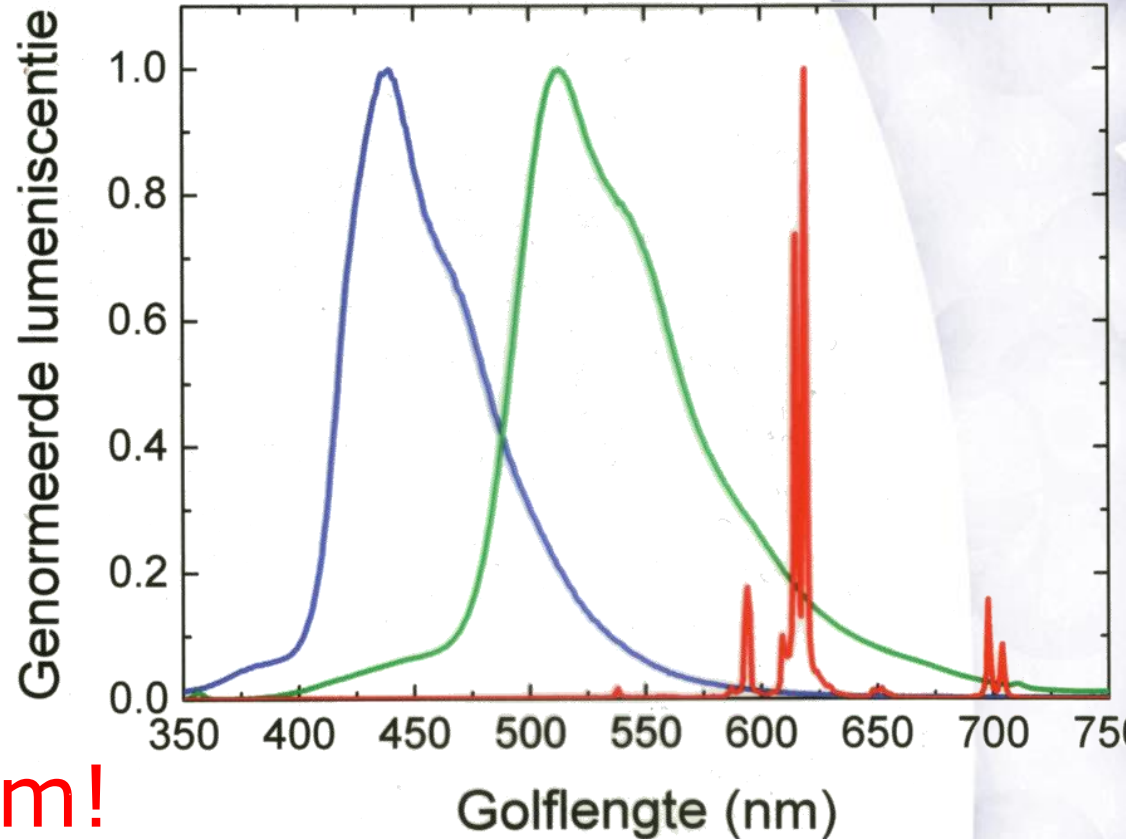
## VIER GEZICHTEN





# Zeldzame aarden in geld

- $\text{Eu}^{3+}$  in een diketon
- $\text{Eu}^{2+}$  in sulfide
- $\text{Eu}^{2+}$  in aluminaat



**Allemaal €uropium!**

(geen toeval)

Emissiespectra rode, groene, blauwe fibers en rode sterren in Euro-biljetten



and the dollar...?



and the dollar...?





# Conclusies

- De unieke en superieure eigenschappen (optisch, magnetisch) van zeldzame aarden hebben geleid tot een breed scala van high-tech toepassingen – alternatieven zijn veelal inferieur.
- Niet de geweldige groei in toepassingen, maar vooral het dreigende tekort zorgen ervoor dat zeldzame aarden niet langer verborgen liggen. De reserves zeldzame aarden zijn ruim. Nieuwe (en schone) mijnen buiten China zijn nodig.
- Zeldzame aarden zijn ideaal voor het efficiënt omzetten en opwekken van licht, met toepassingen in energiezuinige lichtbronnen, lasers, bankbiljetten, beeldschermen, medische diagnostiek, homeland security, nalichtende fosforen en wellicht efficiëntere zonnecellen.



# A ChemMystery....







# Verborgen informatie in het periodiek systeem?

## Periodiek Systeem der Elementen

1 IA New Original																		18 VIIIA											
1 H 1.00784	2 He 4.002602											3 B 10.811	4 C 12.0107	5 N 14.00674	6 O 15.9994	7 F 18.9984032	8 Ne 20.1797												
3 Li 6.941	4 Be 9.012182											13 Al 26.981538	14 Si 28.0855	15 P 30.973761	16 S 32.065	17 Cl 35.453	18 Ar 39.948												
11 Na 22.989770	12 Mg 24.3050	3 Sc 44.955910	4 Ti 47.887	5 V 50.9415	6 Cr 51.9961	7 Mn 54.938049	8 Fe 55.8457	9 Co 58.933200	10 Ni 58.6934	11 Cu 63.546	12 Zn 65.409	31 Ga 69.723	32 Ge 72.64	33 As 74.92160	34 Se 78.96	35 Br 79.904	36 Kr 83.798												
19 K 39.0983	20 Ca 40.078	37 Rb 85.4678	38 Sr 87.62	39 Y 88.90585	40 Zr 91.224	41 Nb 92.90638	42 Mo 95.94	43 Tc (98)	44 Ru 101.07	45 Rh 102.90550	46 Pd 106.42	47 Ag 107.8682	48 Cd 112.411	49 In 114.818	50 Sn 118.710	51 Sb 121.760	52 Te 127.60	53 I 126.90447	54 Xe 131.293										
55 Cs 132.90545	56 Ba 137.327	72 Hf 178.49	73 Ta 180.9479	74 W 183.84	75 Re 186.207	76 Os 190.23	77 Ir 192.217	78 Pt 195.078	79 Au 196.96655	80 Hg 200.59	81 Tl 204.383	82 Pb 207.2	83 Bi 208.98038	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)	87 Fr (223)	88 Ra (226)											
87 Fr (223)	88 Ra (226)	104 Rf (261)	105 Db (262)	106 Sg (266)	107 Bh (264)	108 Hs (269)	109 Mt (268)	110 Ds (271)	111 Rg (272)	112 Uub (285)	113 Uut (284)	114 Uuq (289)	115 Uup (288)	116 Uuh (292)	117 Uus (293)	118 Uuo (294)	119 Uuq (295)	120 Uuq (296)											
Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.																													
Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michael@dayah.com) http://www.dayah.com/periodic																													
57 La 138.9055	58 Ce 140.116	59 Pr 140.90766	60 Nd 144.24	61 Pm (145)	62 Sm 150.36	63 Eu 151.964	64 Gd 157.25	65 Tb 158.92534	66 Dy 162.50	67 Ho 164.93032	68 Er 167.259	69 Tm 168.93421	70 Yb 173.04	71 Lu 174.967	89 Ac (227)	90 Th 232.0381	91 Pa 231.03688	92 U 238.02891	93 Np (237)	94 Pu (244)	95 Am (243)	96 Cm (247)	97 Bk (247)	98 Cf (251)	99 Es (252)	100 Fm (257)	101 Md (258)	102 No (259)	103 Lr (262)

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the international Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.

# Frans-Duitse dominantie in Europa

Universiteit

## Germany+France = Europe ???



## Zorgelijk voor kleine landen!

11.12.2011 | 10:09 Uhr  
 AKTUELL VIDEO THEMEN DER TAG BEI BILD.DE  
 HOME NEWS POLITIK GELD UNTERHALTUNG SPORT LIFESTYLE  
 Home » Politik » Ausland » Nicolas Sarkozy » Sarkozy: Frankreich und Deutschland sollen die  
 ALLES ZUM THEMA Nicolas Sarkozy  
 Recommend 181  
**MERKOZY – sieht so das neue Europa aus?**  
 FRANKREICH UND DEUTSCHLAND SOLLTEN DER KERN DES KONTINENTS WERDEN  
 [Portrait of Catherine Merkel]  
 Merkel & Sarkozy = Merkozy! Europas Power-Mischung als BILD-Fotomontage





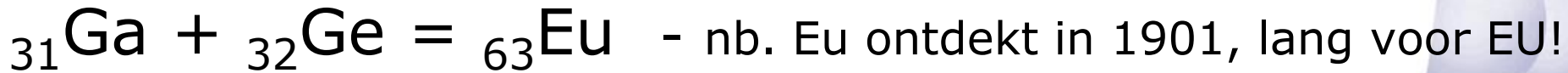
# Verborgen informatie in het periodiek systeem?

## Periodiek Systeem der Elementen

1 IA New Original																	18 VIIIA	
1 H Waterstof 1.00794	2 He Helium 4.002602											13 III A	14 IV A	15 V A	16 VI A	17 VII A	18 VIII A	
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182											5 B Bor 10.811	6 C Koolstof 12.0107	7 N Stikstof 14.00674	8 O Zuurstof 15.9994	9 F Fluor 18.9984032	10 Ne Neon 20.1797	
11 Na Natrium 22.989770	12 Mg Magnesium 24.3050	3 III B	4 IV B	5 V B	6 VI B	7 VII B	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB	13 Al Aluminium 26.981538	14 Si Silicium 28.0855	15 P Fosfor 30.973761	16 S Zwavel 32.065	17 Cl Chloor 35.453	18 Ar Argon 39.948	
19 K Kalium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chroom 51.9961	25 Mn Mangaan 54.938049	26 Fe Izer 55.8457	27 Co Kobalt 58.933200	28 Ni Nikkel 58.6934	29 Cu Koper 63.546	30 Zn Zink 65.409	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenium 74.92160	34 Se Selen 78.96	35 Br Broom 79.904	36 Kr Krypton 83.798	
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirkonium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdeen 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Zilver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimonium 121.760	52 Te Telluur 127.60	53 I Jodium 126.90547	54 Xe Xenon 131.293	
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57 to 71 Lanthaniden	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Wolfram 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platina 195.078	79 Au Goud 196.96655	80 Hg Kwik 200.59	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lood 207.2	83 Bi Bismut 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astatium (210)	86 Rn Radon (222)	
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 to 103 Actiniden	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (285)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquadium (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Uuh Ununhexium (289)	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium	

Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.





# Frans-Duitse as in Periodiek Systeem?

## Periodiek Systeem der Elementen

1 IA 1 H Waterstof 1.00784	2 IIA 2 He Helium 4.002602											13 IIIA 5 B Bor 10.811	14 IVA 6 C Koolstof 12.0107	15 VA 7 N Stikstof 14.00574	16 VIA 8 O Zuurstof 15.9994	17 VIIA 9 F Fluor 18.9984032	18 VIIIA 10 Ne Neon 20.1797												
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.012182											13 Al Aluminium 26.981538	14 Si Silicium 28.0855	15 P Fosfor 30.973761	16 S Zwavel 32.065	17 Cl Chloor 35.453	18 Ar Argon 39.948												
11 Na Natrium 22.989770	12 Mg Magnesium 24.3050	3 III B	4 IV B	5 V B	6 VI B	7 VII B	8 VIII B	9 VIII B	10 VIII B	11 IB	12 IIB	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenium 74.92160	34 Se Selen 78.96	35 Br Broom 79.904	36 Kr Krypton 83.798												
19 K Kalium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.955910	22 Ti Titanium 47.867	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chroom 51.9961	25 Mn Mangaan 54.938049	26 Fe Izer 55.8457	27 Co Kobalt 58.933200	28 Ni Nikkel 58.6934	29 Cu Koper 63.546	30 Zn Zink 65.409	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenium 74.92160	34 Se Selen 78.96	35 Br Broom 79.904	36 Kr Krypton 83.798												
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirkonium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdeen 95.94	43 Tc Technetium (98)	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.90550	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Zilver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.710	51 Sb Antimonium 121.760	52 Te Telluur 127.60	53 I Jodium 126.90547	54 Xe Xenon 131.293												
55 Cs Cesium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57 to 71 Lanthaniden	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Wolfram 183.84	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.217	78 Pt Platina 195.078	79 Au Goud 196.96655	80 Hg Kwik 200.59	81 Tl Thallium 204.383	82 Pb Lood 207.2	83 Bi Bismut 208.98038	84 Po Polonium (209)	85 At Astatium (210)	86 Rn Radon (222)												
87 Fr Francium (223)	88 Ra Radium (226)	89 to 103 Actiniden	104 Rf Rutherfordium (261)	105 Db Dubnium (262)	106 Sg Seaborgium (266)	107 Bh Bohrium (264)	108 Hs Hassium (285)	109 Mt Meitnerium (268)	110 Ds Darmstadtium (271)	111 Rg Roentgenium (272)	112 Uub Ununbium (285)	113 Uut Ununtrium (284)	114 Uuq Ununquadium (289)	115 Uup Ununpentium (288)	116 Uuh Ununhexium (289)	117 Uus Ununseptium	118 Uuo Ununoctium												
Atomic masses in parentheses are those of the most stable or common isotope.																													
Design Copyright © 1997 Michael Dayah (michah@dayah.com), http://www.dayah.com/periodic/																													
57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cesium 140.116	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium (145)	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 161.964	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 168.92534	66 Dy Dysprosium 162.500	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.259	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	89 Ac Actinium (227)	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium (237)	94 Pu Plutonium (244)	95 Am Americium (243)	96 Cm Curium (247)	97 Bk Berkelium (247)	98 Cf Californium (251)	99 Es Einsteinium (252)	100 Fm Fermium (257)	101 Md Mendelevium (258)	102 No Nobelium (259)	103 Lr Lawrencium (262)

Note: The subgroup numbers 1-18 were adopted in 1984 by the International Union of Pure and Applied Chemistry. The names of elements 112-118 are the Latin equivalents of those numbers.





Vragen?