

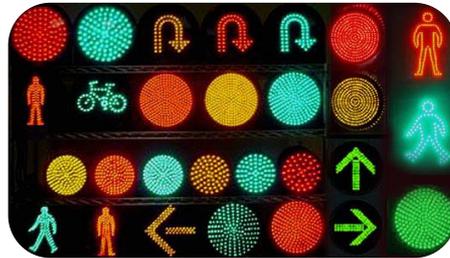
Wertstoffkreisläufe und Wiederverwertung von LED-Lampen & LED-Modulen



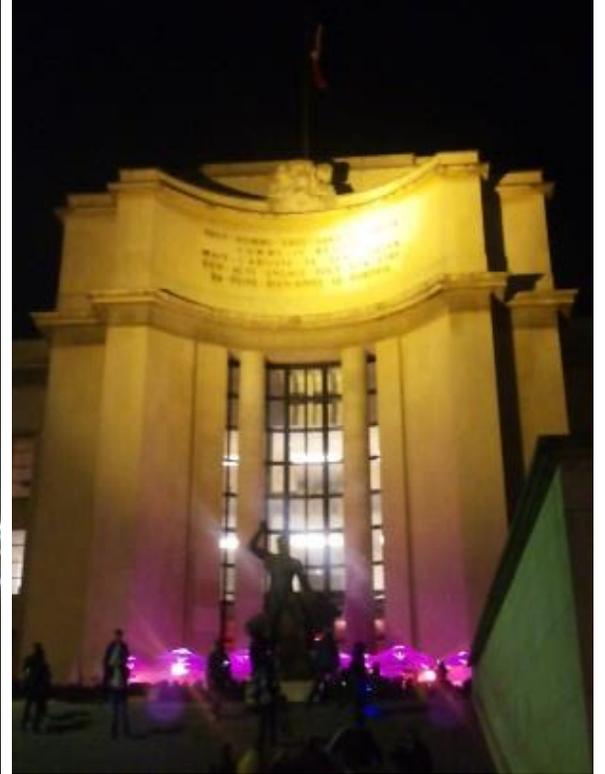
Lampenvielfalt



LEDs in unserem Alltag



Rebound-Effekt



Altlampensammlung

Gruppe 4

Anteile in Prozent (gewichtsbezogen)

Ergebnisse der statistischen Analyse im ear-System ab:		24.03. 2006	01.01. 2007	01.01. 2008	01.03. 2009	01.01. 2010	01.01. 2011	01.01. 2012	01.01. 2013	01.01. 2014	01.01. 2015	01.01. 2016	01.02. 2016	01.08. 2016	01.01. 2017	01.01. 2018	01.12. 2018
Kategorie	Geräteart	Anteil															
4	Großgeräte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	100
	Großgeräte b2c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Gasentladungslampen	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98,91	95,36	98,88	98,67	-
5	Beleuchtungskörper	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,09	4,64	1,12	1,33	-
	Lampen außer Gasentladungslampen (LED)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gesamt		100															

Gruppe 3

Anteile in Prozent (gewichtsbezogen)

Ergebnisse der statistischen Analyse im ear-System ab:		24.03. 2006	01.01. 2007	01.01. 2008	01.03. 2009	01.01. 2010	01.01. 2011	01.01. 2012	01.01. 2013	01.01. 2014	01.01. 2015	01.01. 2016	01.02. 2016	01.01. 2017	01.01. 2018	01.12. 2018
Kategorie	Geräteart	Anteil														
3	Lampen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	98,22
	Gasentladungslampen b2c	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	LED-Lampen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,78

Was bezahlt der Hersteller für die Entsorgung (seit 01.10.2017):
 0,08€ für jede LED-Lampe
 0,13€ für jede Entladungslampe (unverändert)

Herausforderungen und erste Ansätze



cycLED Cycling resources embedded in systems containing Light Emitting Diodes

01.01.2012 – 30.06.2015, FP7

Analyse der Lampeninhalte

Möglichkeiten zur Aufbereitung

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Herausforderungen und erste Ansätze



Illuminate: Automated Sorting and Recycling of Waste Lamps

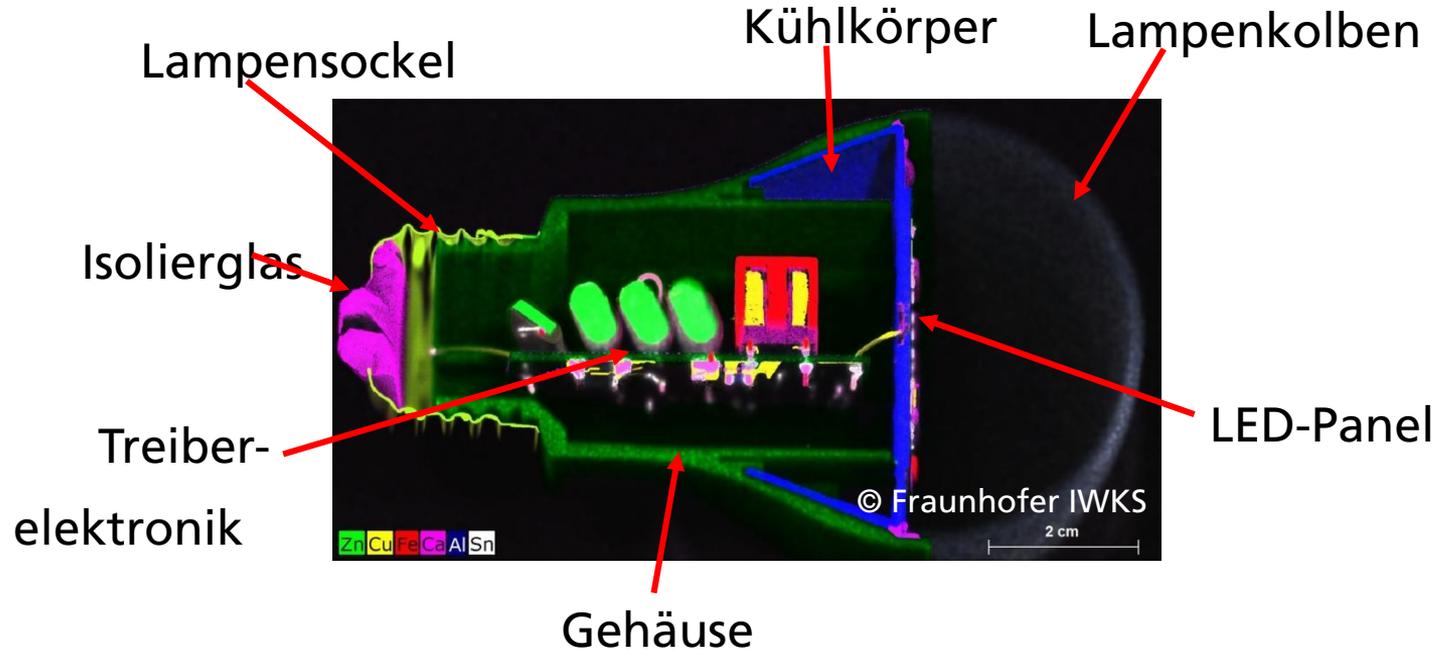
1.10.2013 – 30.09.2016 FP7

Entwicklung einer automatischen Lampensortierung zur Erkennung und Einteilung des Altlampenrücklaufes in relevante Gruppen für weiterführende Recyclingprozesse welche nahtlos in bestehende Lampenrecyclingprozesse integriert werden können.

Fokus: Gefahrstoff- sowie charakteristischer Form- und Größenerkennung

Prototyp Relight (Italien)

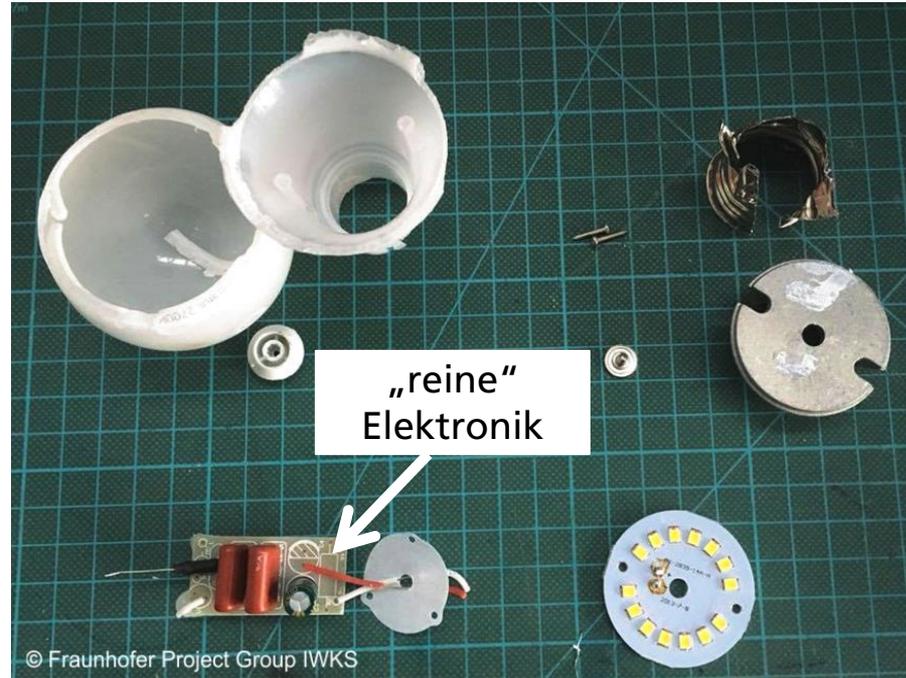
Materialzusammensetzung von LED-Altlampen



Elementmapping durch Mikro-Röntgenfluoreszenzanalyse

Analyse von LED-Altlampen

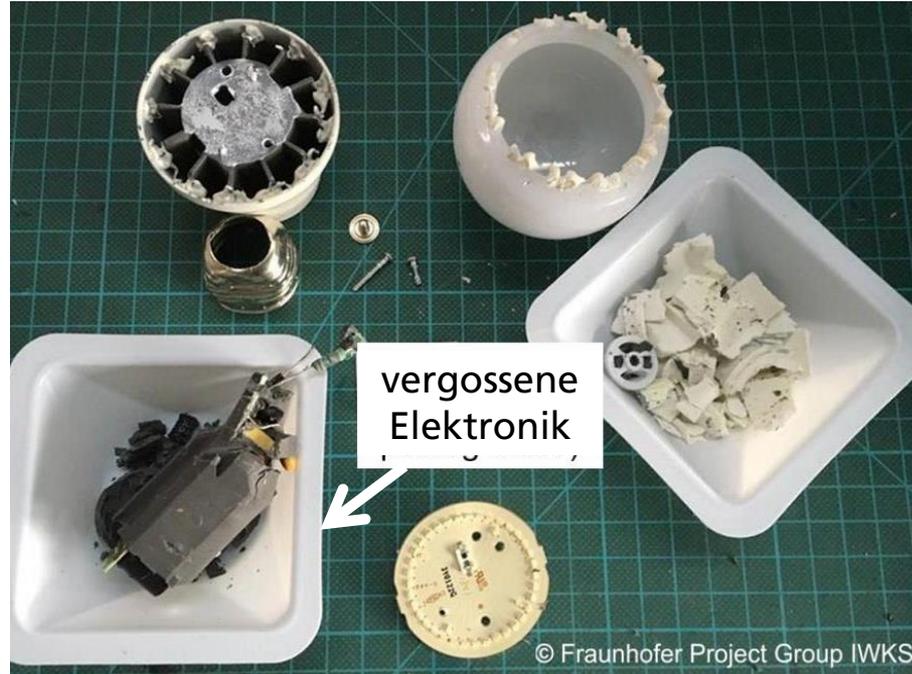
Beispiel 1



➤ *vorteilhaft* für
Recycling

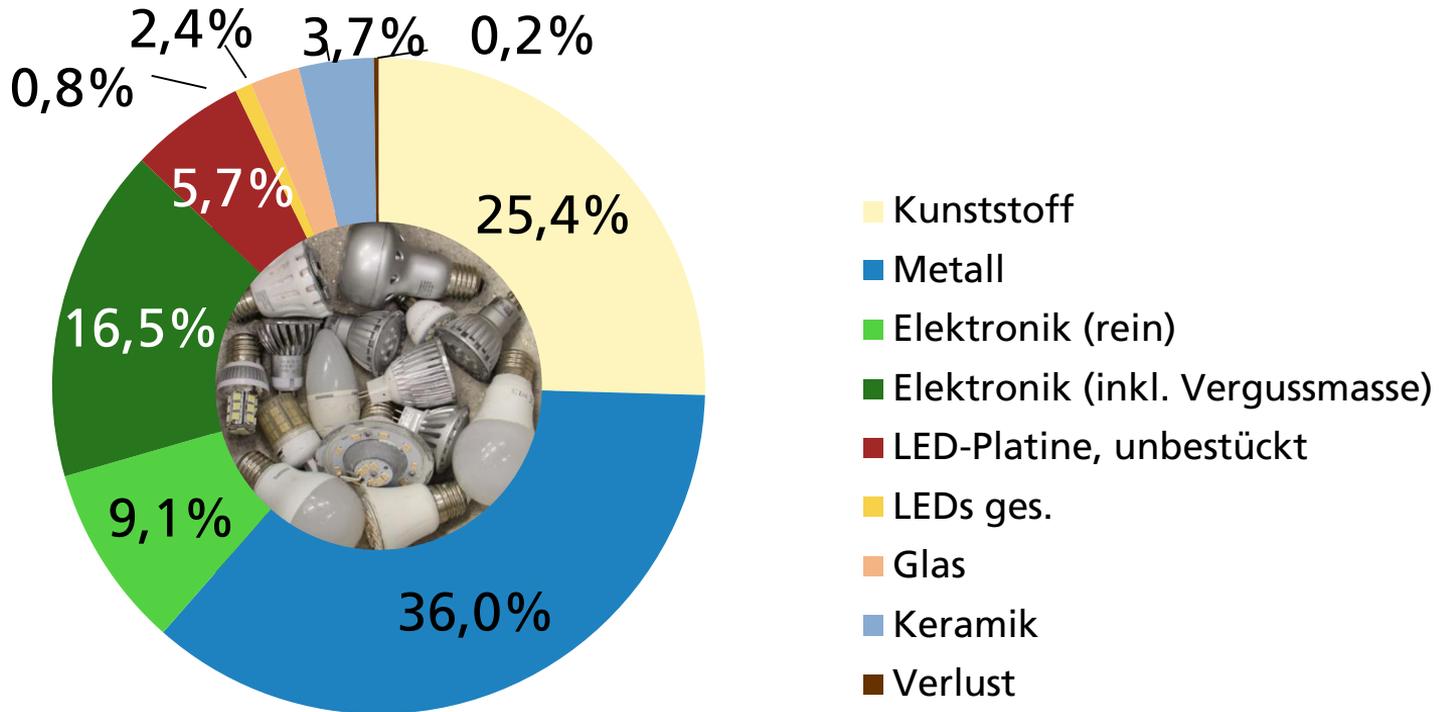
Analyse von LED-Altlampen

Beispiel 2



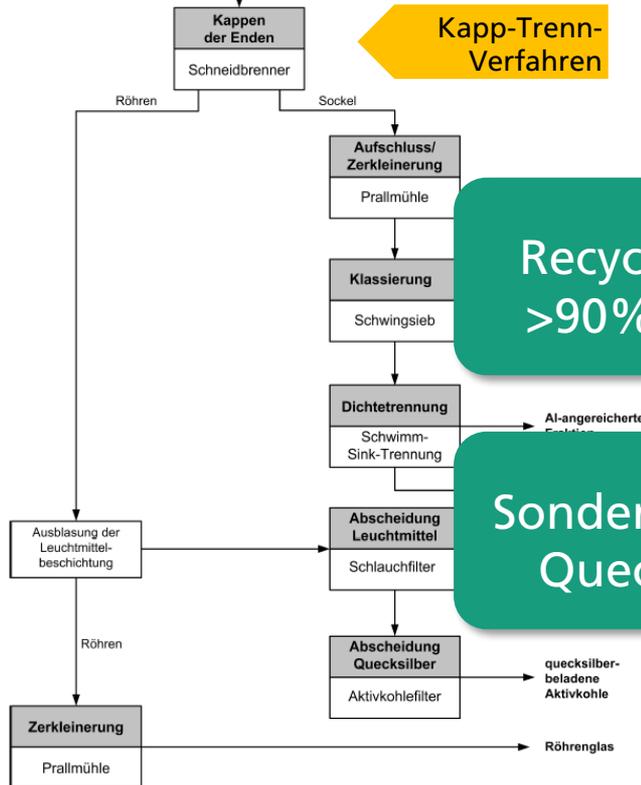
➤ *problematisch* für Recycling

Materialzusammensetzung von LED-Altlampen



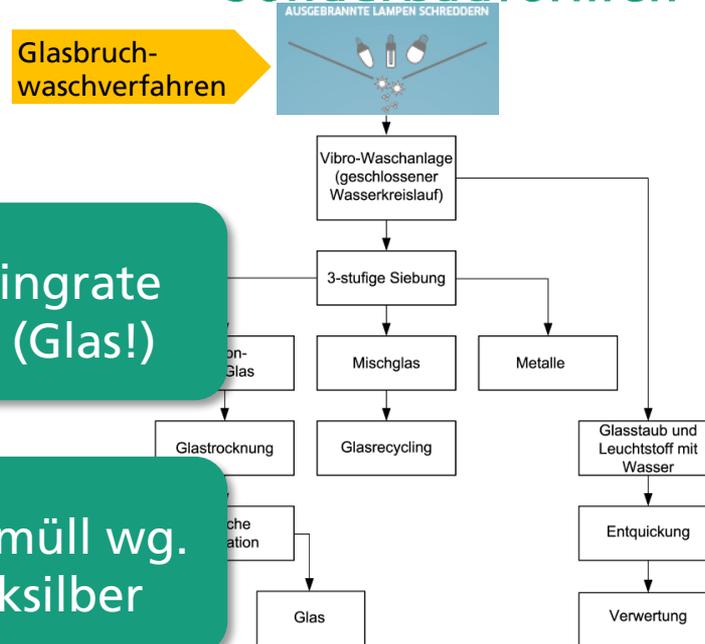
Lampenrecycling heute

Stabförmige Lampen



Glasbruchwaschverfahren

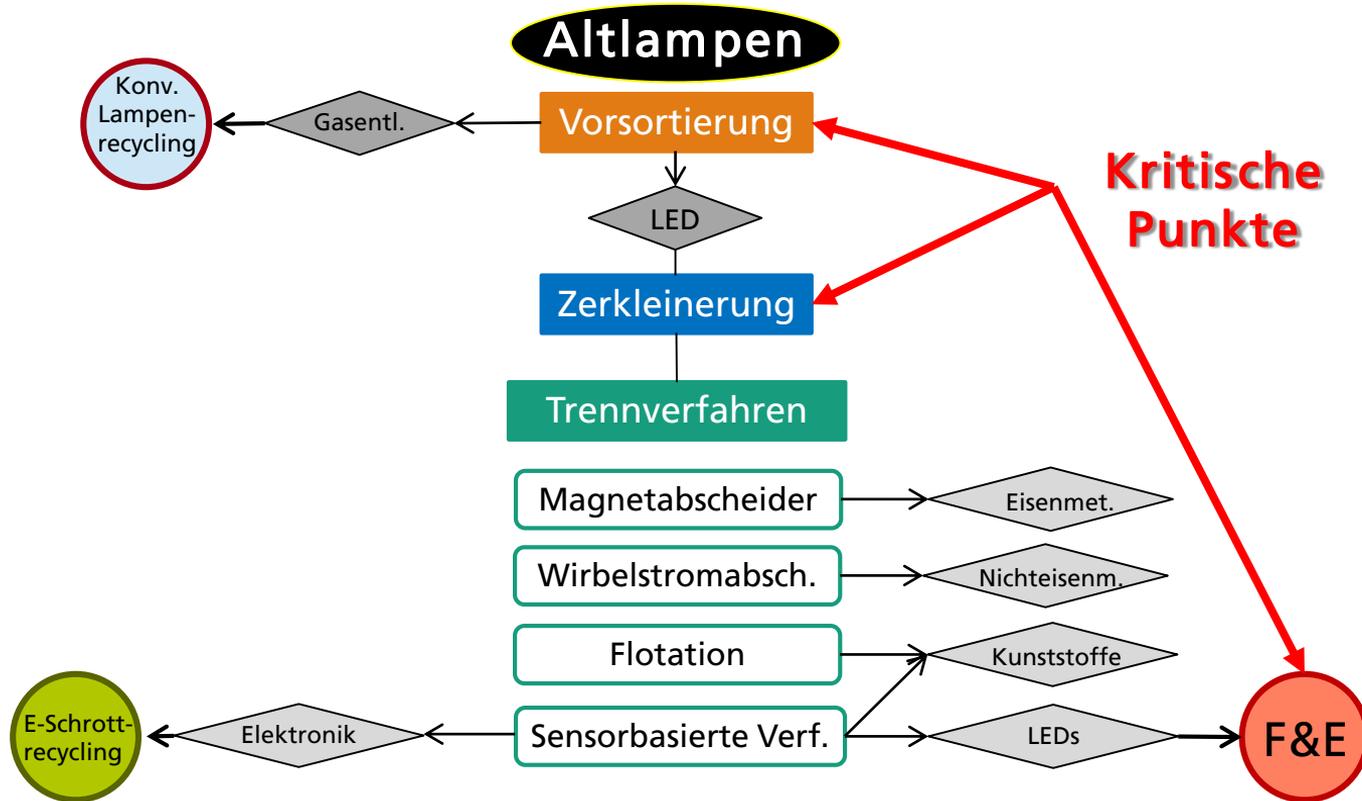
Sonderbauformen



Recyclingrate >90% (Glas!)

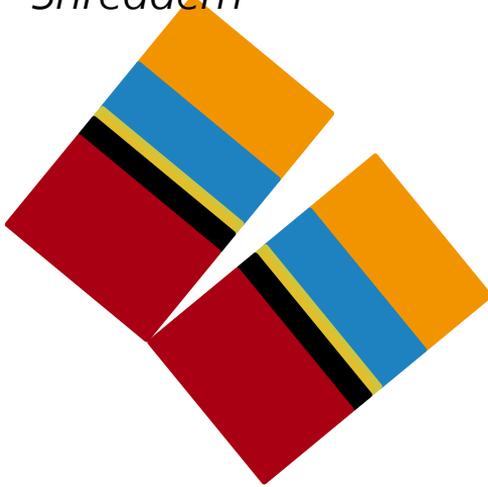
Sondermüll wg. Quecksilber

grundlegende Schritte eines Recyclingprozesses für LED-Lampen

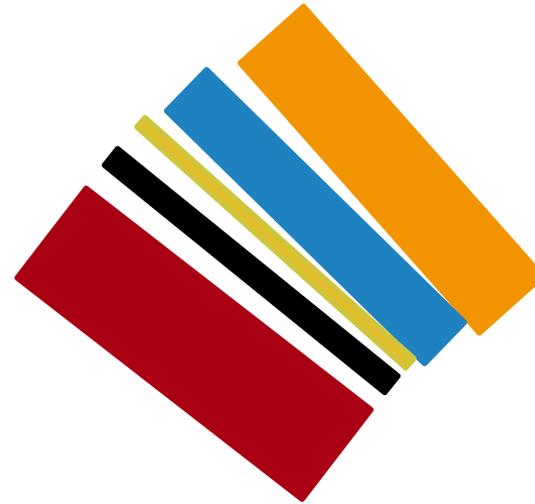


Zerkleinerungsoptionen für LED-Lampen

Aktuelle Methode:
Shreddern



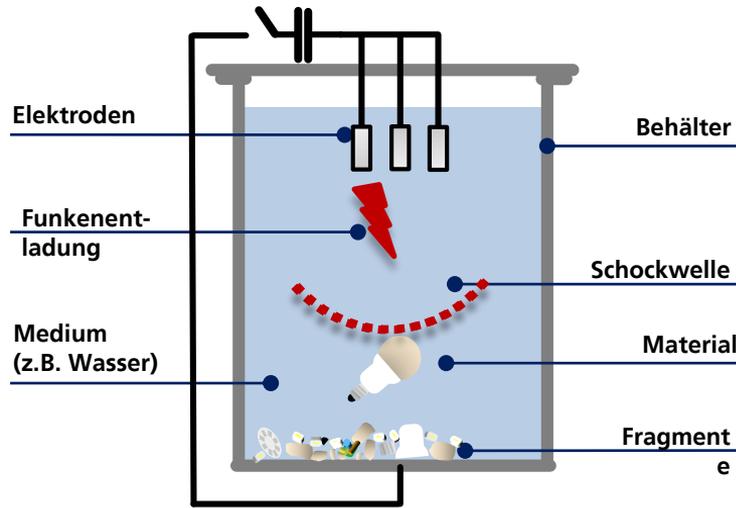
Benötigte Methode:
materialelektive Fragmentierung



Separation an

- makroskopischen Verbindungsstellen
- mikroskopischen Phasengrenzen

Intelligente Komponententrennung für LED-Lampen



Elektrohydraulische Zerkleinerung (EHZ)



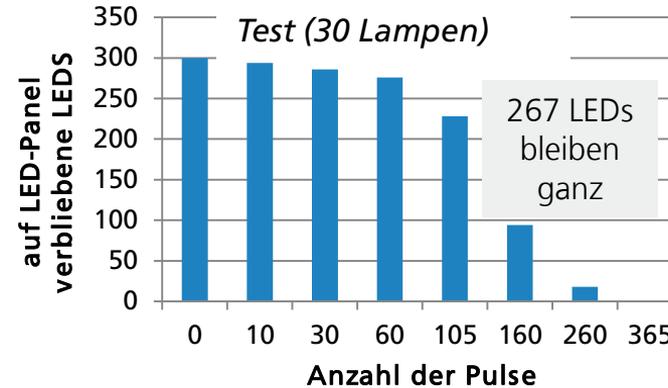
Vorteile:

- Zerkleinerung an Phasen- und Materialgrenzen
 - Staubfreie Fragmentierung
 - Ungiftiges Medium
- Stromverbrauch
~0,13kWh/kg

Intelligente Komponententrennung für LED-Lampen



Schritt-für-Schritt Fragmentierung

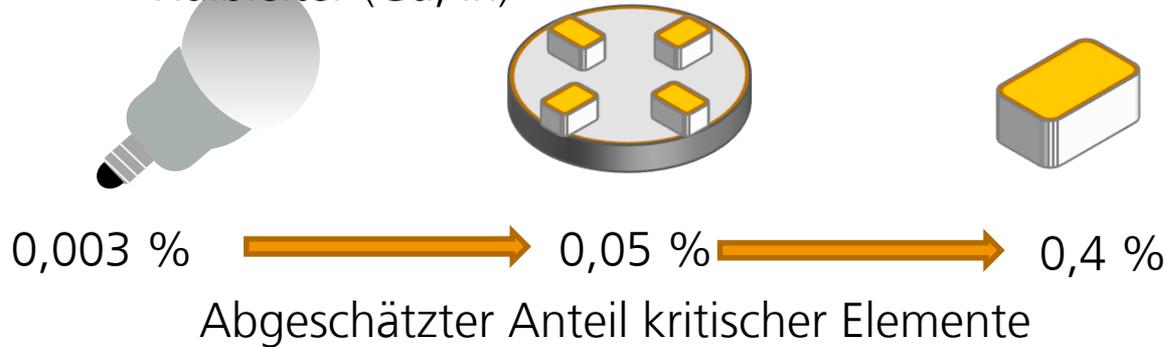


Möglichkeit zur
Aufkonzentration

Kritische Elemente im kleinsten Bauteil

Kritische Elemente im LED-Package:

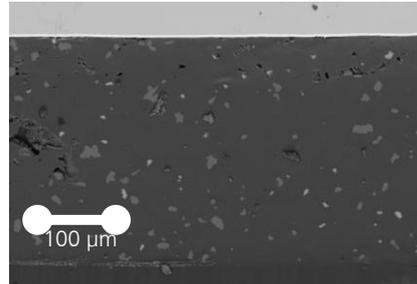
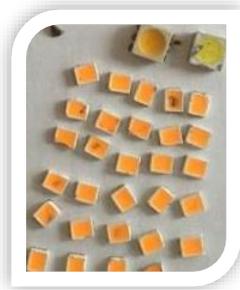
- Edelmetalle (Ag, Au)
- Seltene Erden (Y, Lu, La, Ce, Eu, Tb)
- Halbleiter (Ga, In)



Aufkonzentration ist der wichtige erste Schritt um das Recycling von LED-Packages zu ermöglichen.

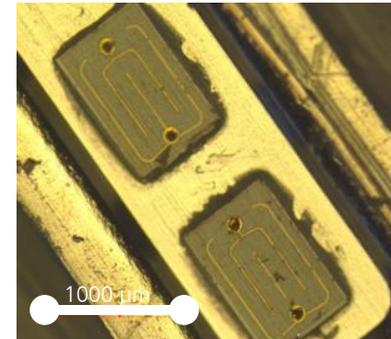
LED-Package

Warum ist das Recycling von LED-packages so *unwirtschaftlich*?



Verteilung der Leuchtstoffe
in der Konverterschicht
(REM-Aufnahme)

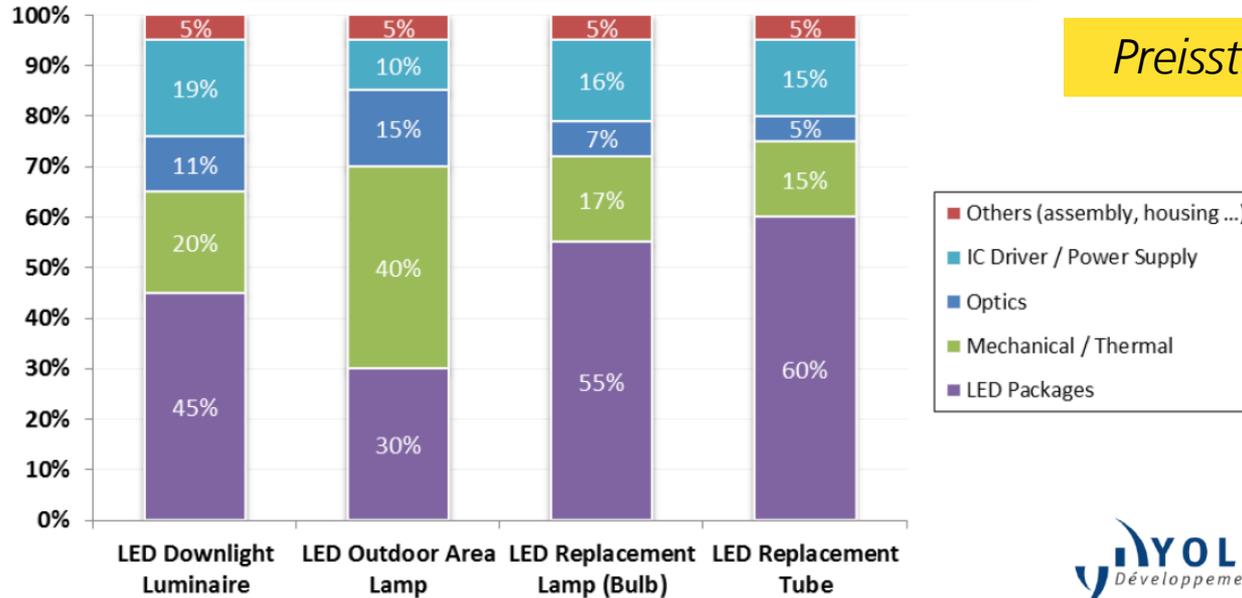
Halbleiterdioden nach
Entfernung der Konverterschicht
(Lichtmikroskop)



LED-Package

Warum ist das Recycling von LED-packages von *Interesse*?

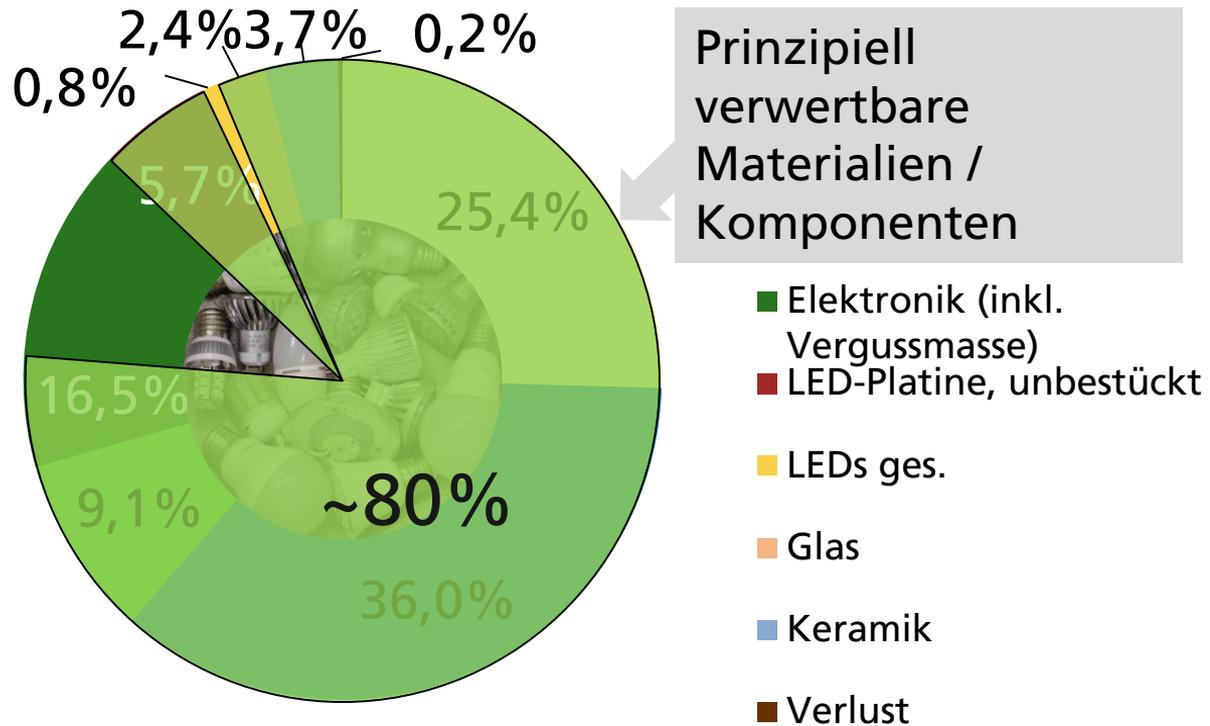
Comparison of Cost Structures of Different Lighting Products



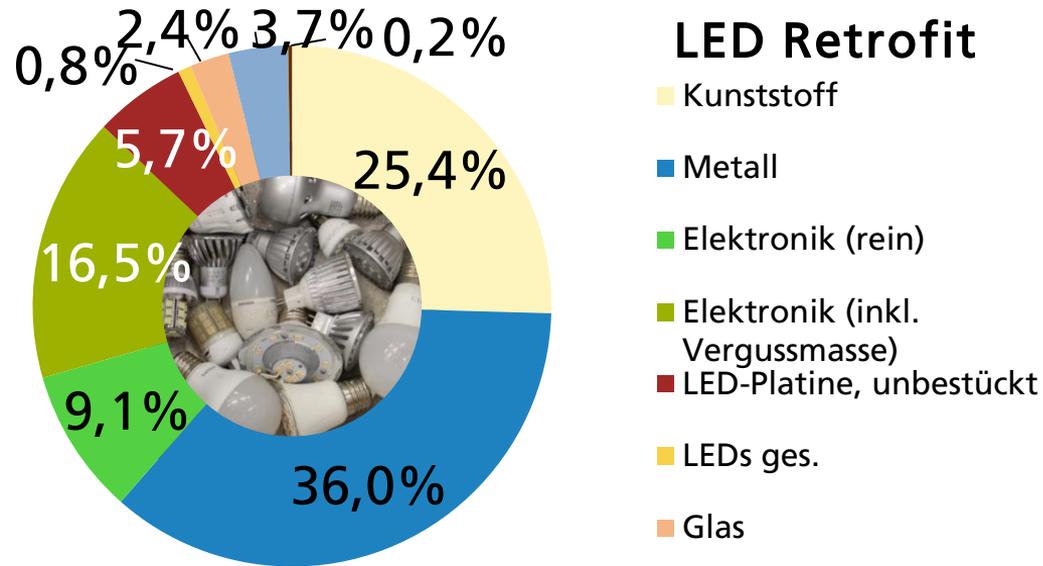
Preisstruktur



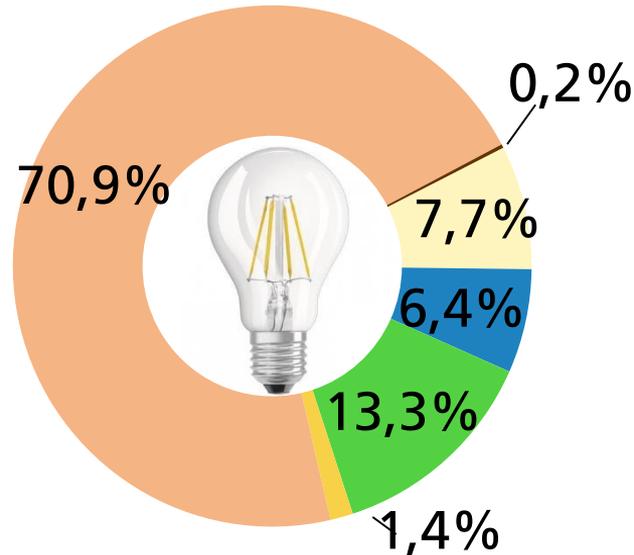
Verwertung von LED-Altlampen



Notwendige Veränderungen im Lampendesign



Notwendige Veränderungen im Lampendesign

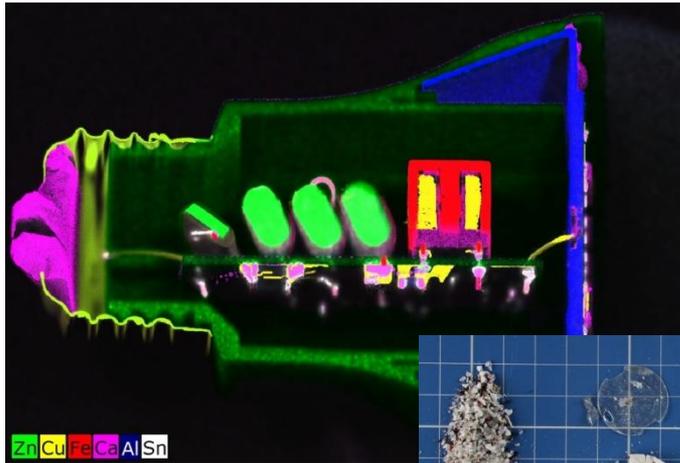


Filament LED Lampe

- Kunststoff
- Metall
- Elektronik (rein)
- Elektronik (inkl. Vergussmasse)
- LED-Platine, unbestückt
- LEDs ges.
- Glas
- Keramik
- Verlust

**Minimierung der
Materialvielfalt**

WERTSTOFFE IN LED-LAMPEN UND LEUCHTEN

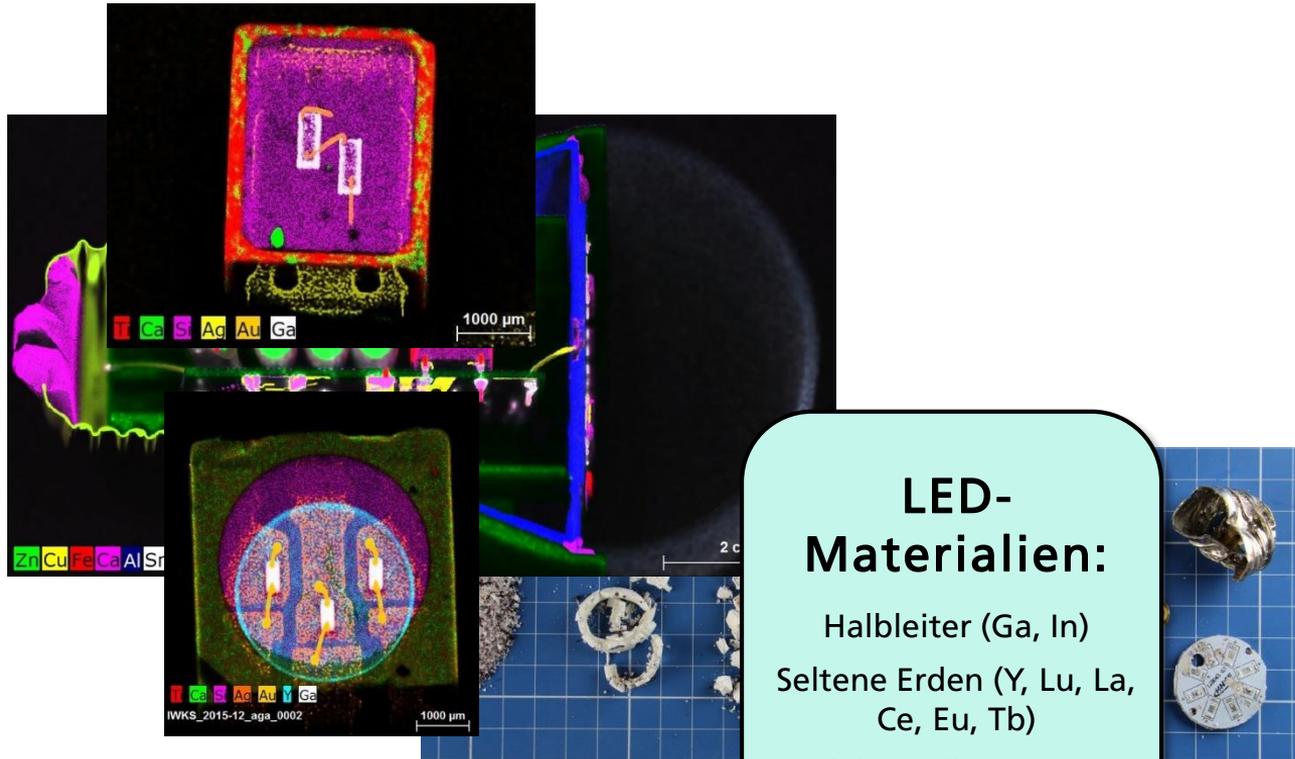


Hauptfraktionen:

Metalle
Kunststoffe
Glas
Keramik
Elektronikkomponenten



WERTSTOFFE IN LED-LAMPEN UND LEUCHTEN



LED- Materialien:

Halbleiter (Ga, In)
Seltene Erden (Y, Lu, La,
Ce, Eu, Tb)
Edelmetalle (Au, Ag)

Elemente zur Herstellung von LEDs und LED-Leuchtmitteln



„Angebots- und nachfrageseitige Entwicklung völlig unklar“

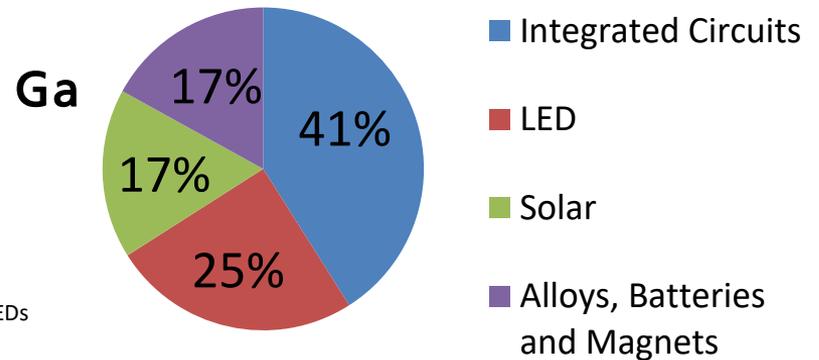
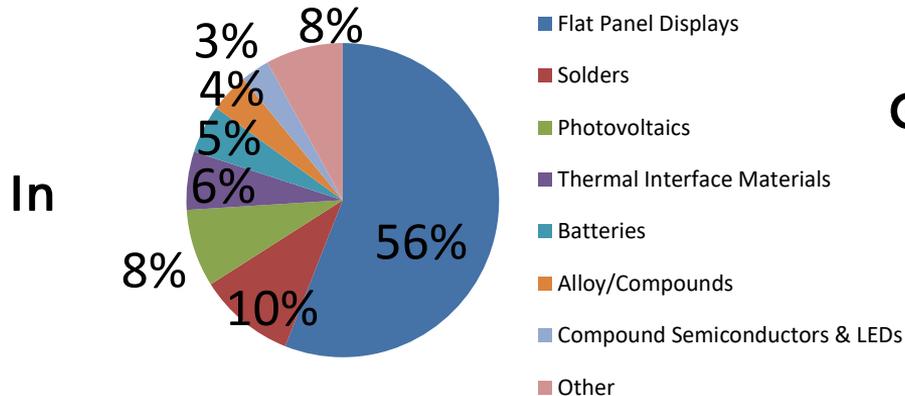
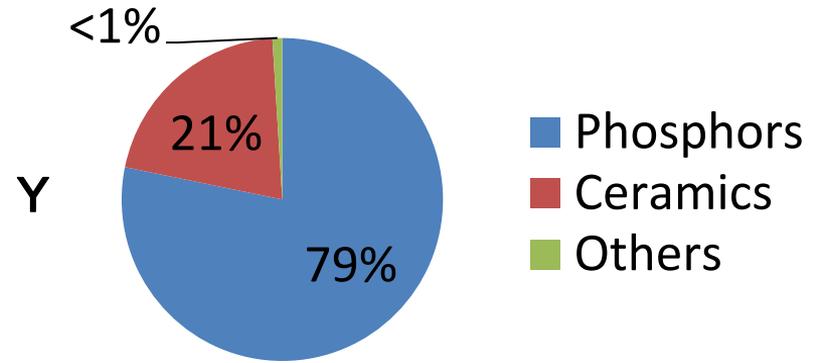
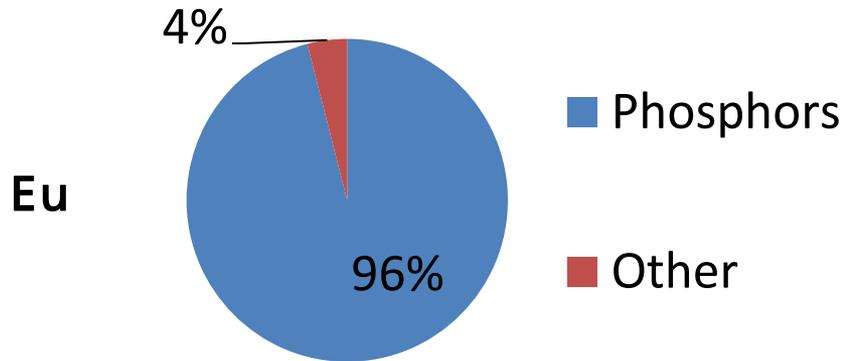
Materialmenge für 1 mm² Chip:[4]

Gallium 17-25 µg (230-460 µg Aufwand)

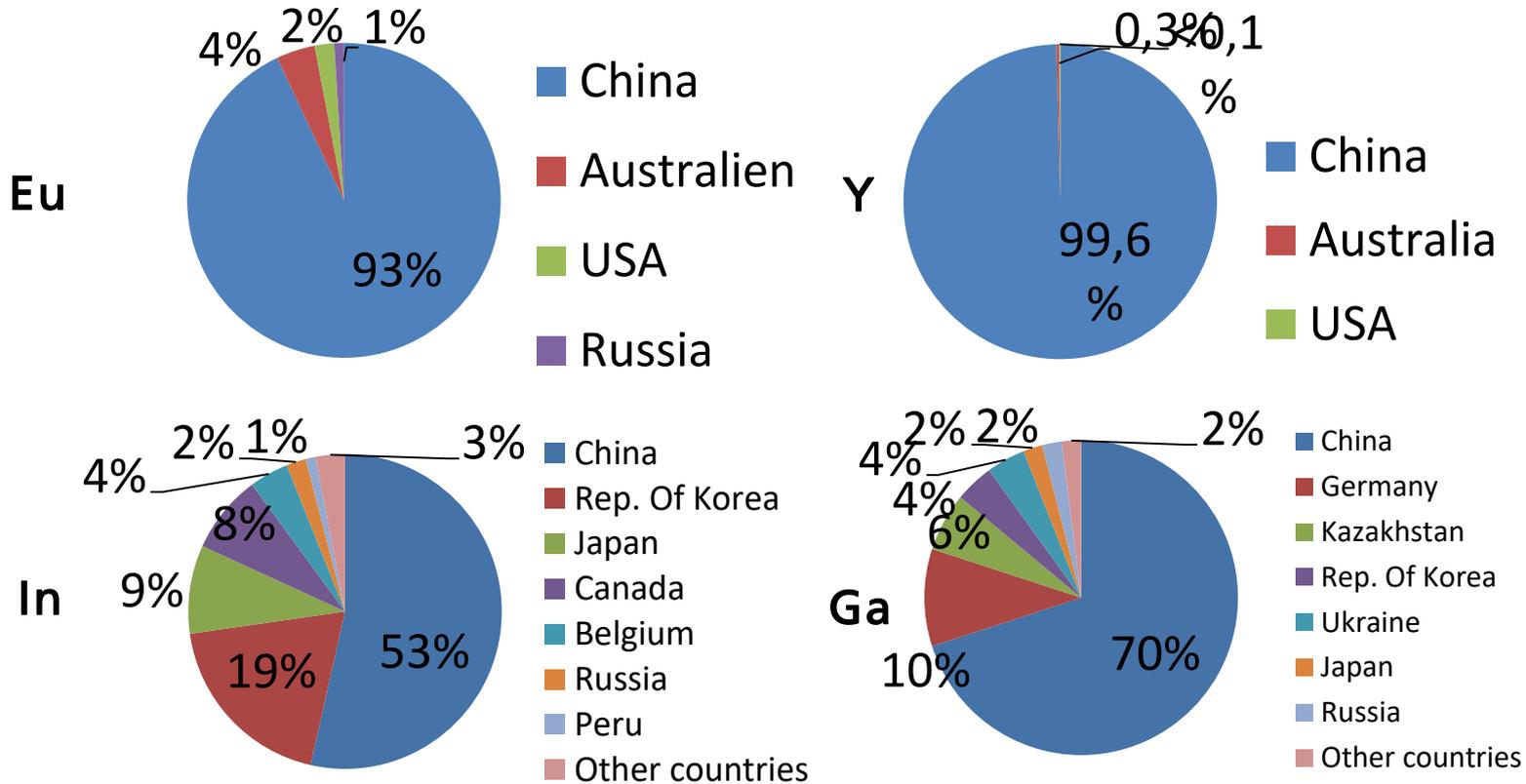
Indium 280 ng (230-540 µg Aufwand)

→ Zur Umrüstung des Bestands (Büro und Haushalt) 8-13 t Ga (12% WJP) und 9-15 t In (2,5 % WJP) nötig, zum Bestandserhalt 200-600 kg Ga & In jährlich.

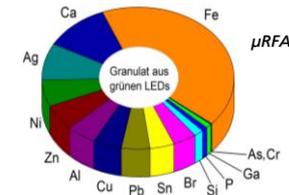
Elemente für die LED-Technologie



Herkunftsländer dieser Elemente



LED-Recycling





Dr. Jörg Zimmermann

Abteilungsleitung Energiematerialien

Fraunhofer-Projektgruppe IWKS

Rodenbacher Chaussee 4
63457 Hanau

Tel: +49 6023 32039-875
joerg.zimmermann@isc.fraunhofer.de



Fraunhofer-Einrichtung für Wertstoffkreisläufe und
Ressourcenstrategie IWKS

