

**STEPConsult** GmbH

- beratende Ingenieure -

[www.stepconsult.de](http://www.stepconsult.de)



## easyFairs MAINTENANCE 2011

24. Februar 2011

***Energieeffiziente Außenbeleuchtungsanlagen –  
Messung der Beleuchtungssituation und anschließende  
Optimierung***

**STEPConsult** GmbH

Marktstrasse 1  
67487 Maikammer  
Tel.: +49 6321 576388  
Fax: +49 6321 576390  
[www.stepconsult.de](http://www.stepconsult.de)  
[info@stepconsult.de](mailto:info@stepconsult.de)



## Tätigkeitsfelder

### *Engineering*

- **Produktion**
- **Instandhaltung**
- **Logistik**
- **Materialeffizienz**
- **Öffentliche Beleuchtung**
- **Energieeffizienz**
- **Beleuchtungsniveaumessung**

### *Beratung*

- **KVP – Kaizen**
- **Lean Management**
- **TPM**
- **Six Sigma**
- **Methoden + Werkzeuge**
  
- **Straßenbeleuchtung**
- **Ausschreibungen**

### *Prototypen- / Kleinserienbau*

- **Entwicklung**
- **Konzeptionierung**
- **Produktion**
- **Konstruktion**
- **Vorrichtungen + Hilfsmittel**

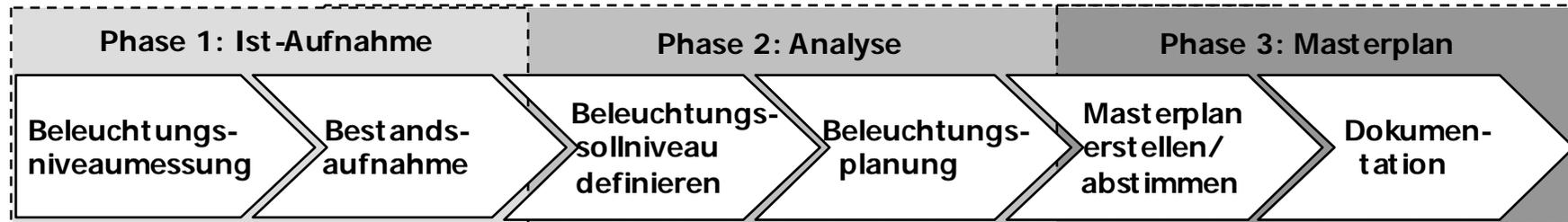


## Situation der Außenbeleuchtung auf Industrieflächen und -straßen

- Betriebe stehen unter finanziellen Druck
- andere Erneuerungsmaßnahmen sind „wichtiger“
- Außenbeleuchtung ist bei den Instandhaltern das „Mauerblümchen“
- Häufig ist die Information über den Bestand unzureichend oder unbekannt
- Hoher Anteil ineffizienter Leuchtmittel (z.B. HQL)
- Starke Überalterung der Komponenten (Leuchten)
- Anforderungen an das Beleuchtungsniveau sind unterschiedlich



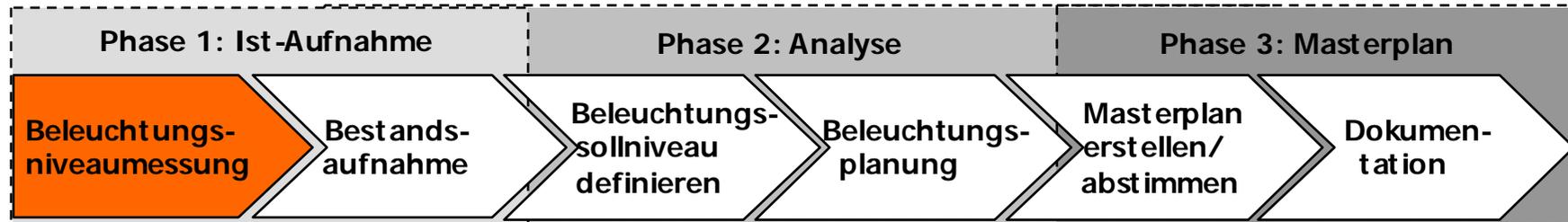
## Vorgehensweise zur Optimierung der Außenbeleuchtung



- |   |  |   |   |   |  |
|---|--|---|---|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Geo-referenzierte Messung des Beleuchtungs-niveaus</li> <li>▪ Darstellung des Beleuchtungs-niveaus in GIS bzw. Google Maps</li> <li>▪ Ggf. Ermittlung von Kennwerten (mittlere Beleuchtungs-stärke, Gleich-mäßigkeit)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ermittlung des Bestandes</li> <li>▪ Standort (geo-referenziert)</li> <li>▪ Tragsystem</li> <li>▪ Lichtpunkt-höhe</li> <li>▪ Leuchte</li> <li>▪ Leuchtmittel</li> <li>▪ Energie-verbrauch</li> <li>▪ etc.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zuordnung der beleuchteten Flächen (Straße, Lager, Arbeitsplatz, Parkplatz, Schienen etc.)</li> <li>▪ Definition des notwendigen Beleuchtungs-niveaus</li> <li>▪ Clusterung der Bereiche nach Anforderungen</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Vergleich mit Ist-Niveau</li> <li>▪ Simulations-berechnung mit unterschiedlichen Leuchten / Leuchtmitteln</li> <li>▪ Auswahl möglicher einsetzbarer Leuchten / Leuchtmittel</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kosten-kalkulation</li> <li>▪ Amortisations-berechnung (Kosten / Energie-einsparung)</li> <li>▪ Erstellung Masterplan (Reihenfolge, Zeitplan)</li> <li>▪ Abstimmung mit Kunden ggf. Anpassung</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beleuchtungs-niveau</li> <li>▪ Bestands-dokumentation</li> <li>▪ Darstellung Beleuchtungs-sollniveau</li> <li>▪ Masterplan</li> <li>▪ ggf. Nachmessung des Beleuchtungs-niveaus der neuen Anlage</li> </ul> |
|---|--|---|---|---|--|



## Vorgehensweise zur Optimierung der Außenbeleuchtung



- Geo-referenzierte Messung des Beleuchtungsniveaus
- Darstellung des Beleuchtungsniveaus in GIS bzw. Google Maps
- Ggf. Ermittlung von Kennwerten (mittlere Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit)

- Ermittlung des Bestandes
- Standort (geo-referenziert)
- Tragsystem
- Lichtpunkthöhe
- Leuchte
- Leuchtmittel
- Energieverbrauch
- etc.

- Zuordnung der beleuchteten Flächen (Straße, Lager, Arbeitsplatz, Parkplatz, Schienen etc.)
- Definition des notwendigen Beleuchtungsniveaus
- Clusterung der Bereiche nach Anforderungen

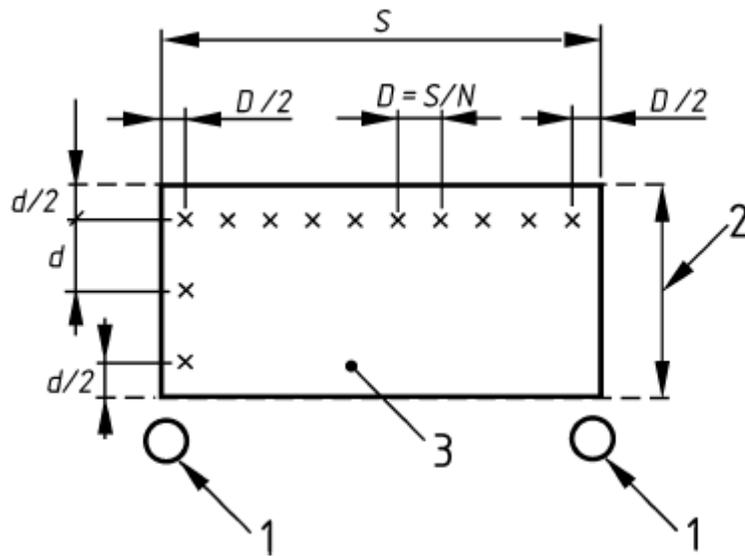
- Vergleich mit Ist-Niveau
- Simulationsberechnung mit unterschiedlichen Leuchten / Leuchtmitteln
- Auswahl möglicher einsetzbarer Leuchten / Leuchtmittel

- Kostenkalkulation
- Amortisationsberechnung (Kosten / Energieeinsparung)
- Erstellung Masterplan (Reihenfolge, Zeitplan)
- Abstimmung mit Kunden ggf. Anpassung

- Beleuchtungsniveau
- Bestandsdokumentation
- Darstellung Beleuchtungssollniveau
- Masterplan
- ggf. Nachmessung des Beleuchtungsniveaus der neuen Anlage



## Beleuchtungsniveau-Messung (bisher)



### Legende

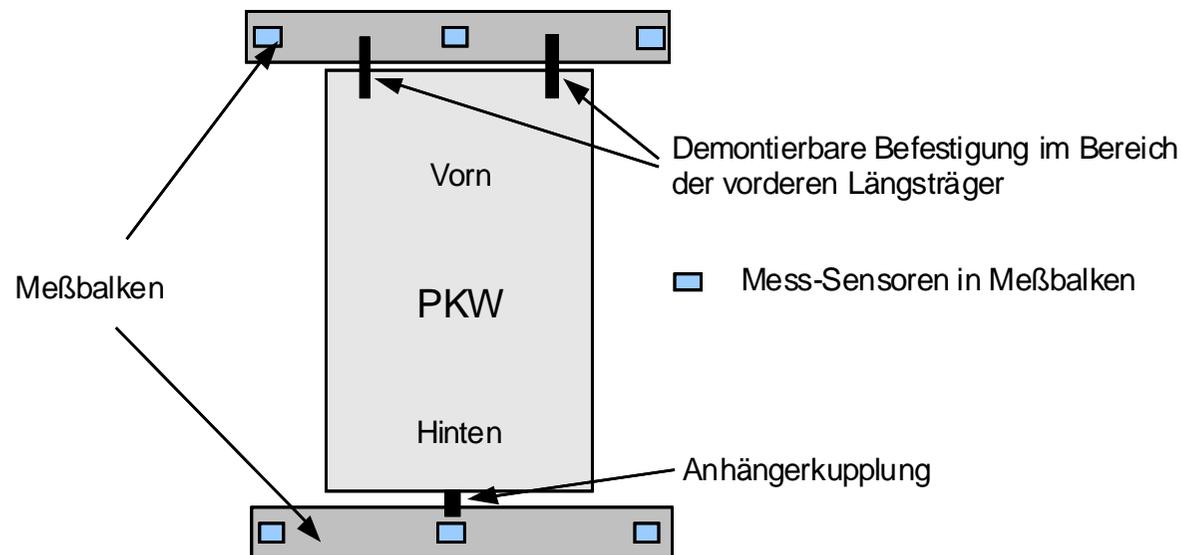
- 1 Leuchte
- 2 Breite der betrachteten Fläche  $W$
- 3 Bewertungsfeld
- X deutet Linie der Bewertungspunkte längs und quer zur Beobachtungsrichtung an.



## Beleuchtungsniveau-Messung (neu)

Entwicklung / Realisierung eines Strassenbeleuchtungsmessystems Stralum

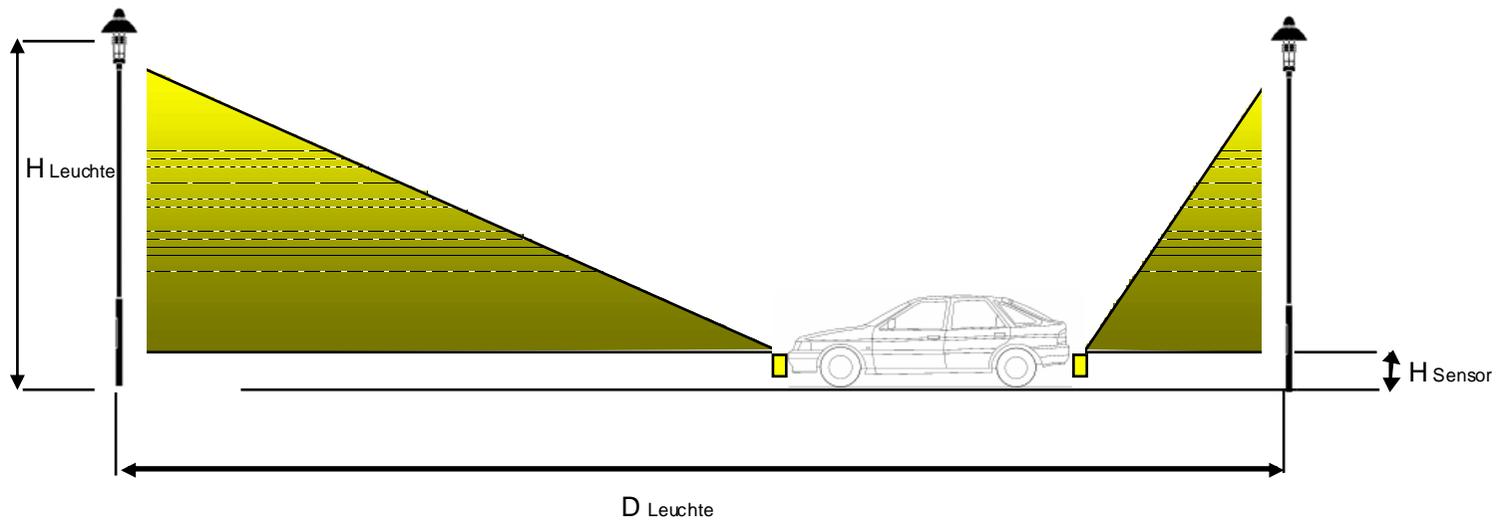
### Prinzip-Skizze der Mess-Anordnung am Fahrzeug





## Beleuchtungslevel-Messung (neu)

Entwicklung / Realisierung eines Strassenbeleuchtungsmesssystems Stralum





## Beleuchtungsniveau-Messung (neu)

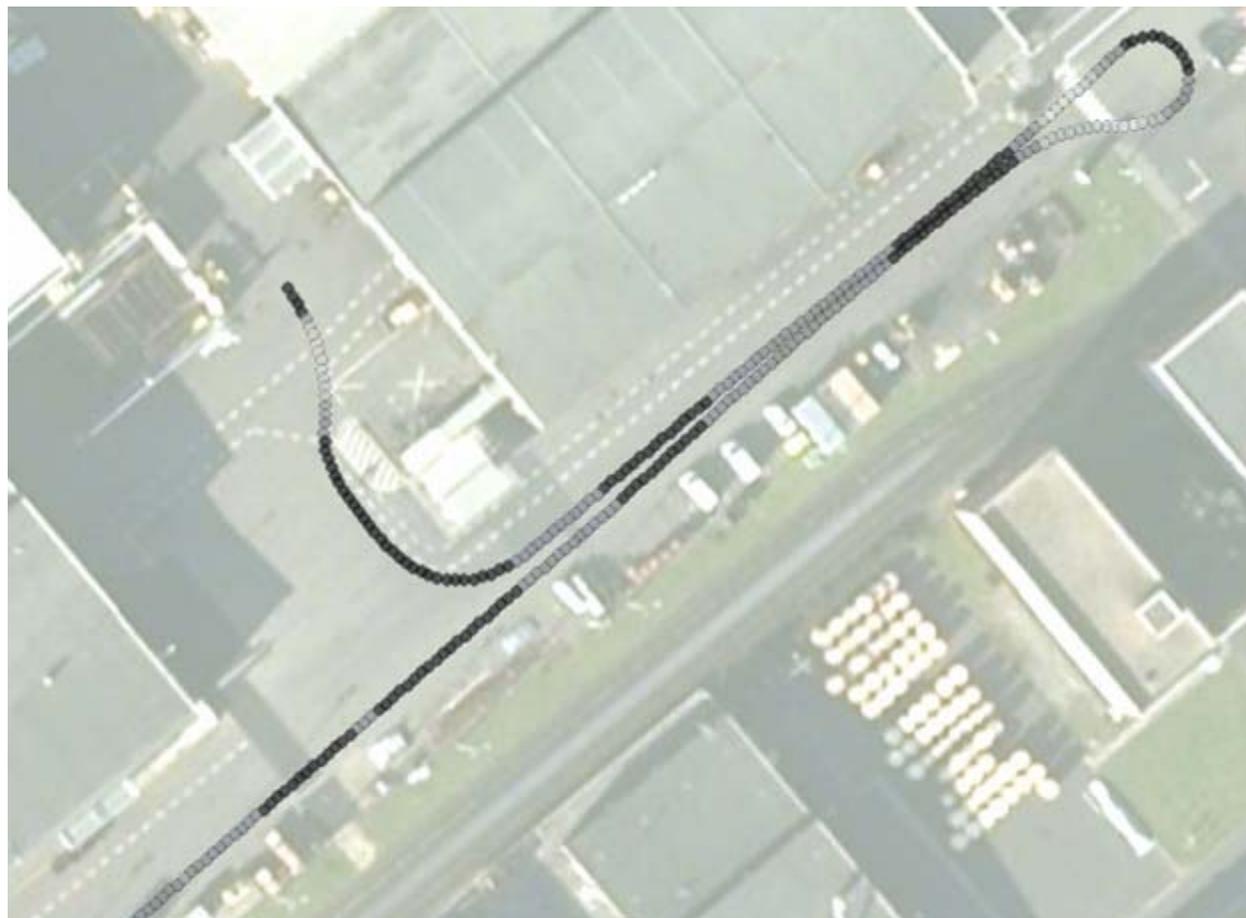
Entwicklung / Realisierung eines Straßenbeleuchtungsmesssystems Stralum





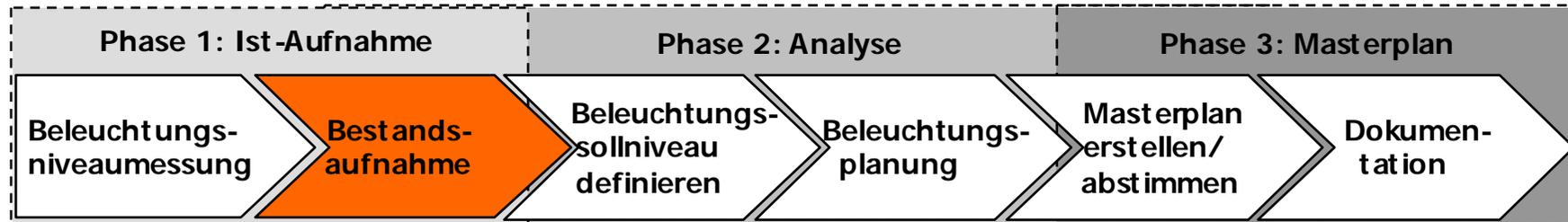
Darstellung in Google Maps

### Beleuchtungsniveau-Messung (neu)





## Vorgehensweise zur Optimierung der Außenbeleuchtung



- Geo-referenzierte Messung des Beleuchtungsniveaus
- Darstellung des Beleuchtungsniveaus in GIS bzw. Google Maps
- Ggf. Ermittlung von Kennwerten (mittlere Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit)

- Ermittlung des Bestandes
- Standort (geo-referenziert)
- Tragsystem
- Lichtpunkthöhe
- Leuchte
- Leuchtmittel
- Energieverbrauch
- etc.

- Zuordnung der beleuchteten Flächen (Straße, Lager, Arbeitsplatz, Parkplatz, Schienen etc.)
- Definition des notwendigen Beleuchtungsniveaus
- Clusterung der Bereiche nach Anforderungen

- Vergleich mit Ist-Niveau
- Simulationsberechnung mit unterschiedlichen Leuchten / Leuchtmitteln
- Auswahl möglicher einsetzbarer Leuchten / Leuchtmittel

- Kostenkalkulation
- Amortisationsberechnung (Kosten / Energieeinsparung)
- Erstellung Masterplan (Reihenfolge, Zeitplan)
- Abstimmung mit Kunden ggf. Anpassung

- Beleuchtungsniveau
- Bestandsdokumentation
- Darstellung Beleuchtungssollniveau
- Masterplan
- ggf. Nachmessung des Beleuchtungsniveaus der neuen Anlage

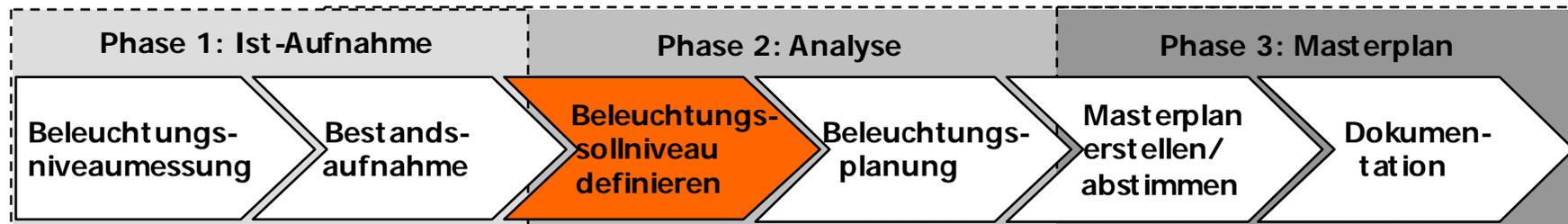


## Bestandsaufnahme (Auszug)

LEUCHTSTELLE	LEUCHTENART	MASTHOEHE	LICHTPUNKTHOEHE	LEUCHTENANZAHL	LAMPENART	LAMPENANZAHL	LAMPENLEISTUNG
29	Au	9,5	8	1	Q	1	125
30	Au	4,8	4	2	SL	1	18
1	Au	4,8	4	1	L	2	18
2	Au	4,8	4	1	L	2	18
3	Au	4,8	4	1	L	2	18
4	Au	4,8	4	1	L	2	18
5	Au	4,8	4	1	L	2	18
1	A	4,8	4	1	NaH	1	70
2	A	4,8	4	1	NaH	1	70
1	Au	5,8	5	1	L	2	18
2	Au	5,8	5	1	L	2	18
3	Au	5,8	5	1	L	2	18
1	A	6,5	5,5	1	Q	1	80
2	A	6,5	5,5	1	L/u	1	40
1	Au	4,8	4	1	L	2	11
2	Au	4,8	4	1	L	2	11
3	Au	4,8	4	1	L	2	11
4	Au	4,8	4	1	L	2	18
5	Au	4,8	4	1	L	2	18
6	Au	4,8	4	1	L	2	18
7	Au	4,8	4	1	L	2	18
8	Au	4,8	4	1	L	2	18



## Vorgehensweise zur Optimierung der Außenbeleuchtung



- Geo-referenzierte Messung des Beleuchtungs-niveaus
- Darstellung des Beleuchtungs-niveaus in GIS bzw. Google Maps
- Ggf. Ermittlung von Kennwerten (mittlere Beleuchtungs-stärke, Gleich-mäßigkeit)

- Ermittlung des Bestandes
- Standort (geo-referenziert)
- Tragsystem
- Lichtpunkt-höhe
- Leuchte
- Leuchtmittel
- Energie-verbrauch
- etc.

- Zuordnung der beleuchteten Flächen (Straße, Lager, Arbeitsplatz, Parkplatz, Schienen etc.)
- Definition des notwendigen Beleuchtungs-niveaus
- Clusterung der Bereiche nach Anforderungen

- Vergleich mit Ist-Niveau
- Simulations-berechnung mit unterschiedlichen Leuchten / Leuchtmitteln
- Auswahl möglicher einsetzbarer Leuchten / Leuchtmittel

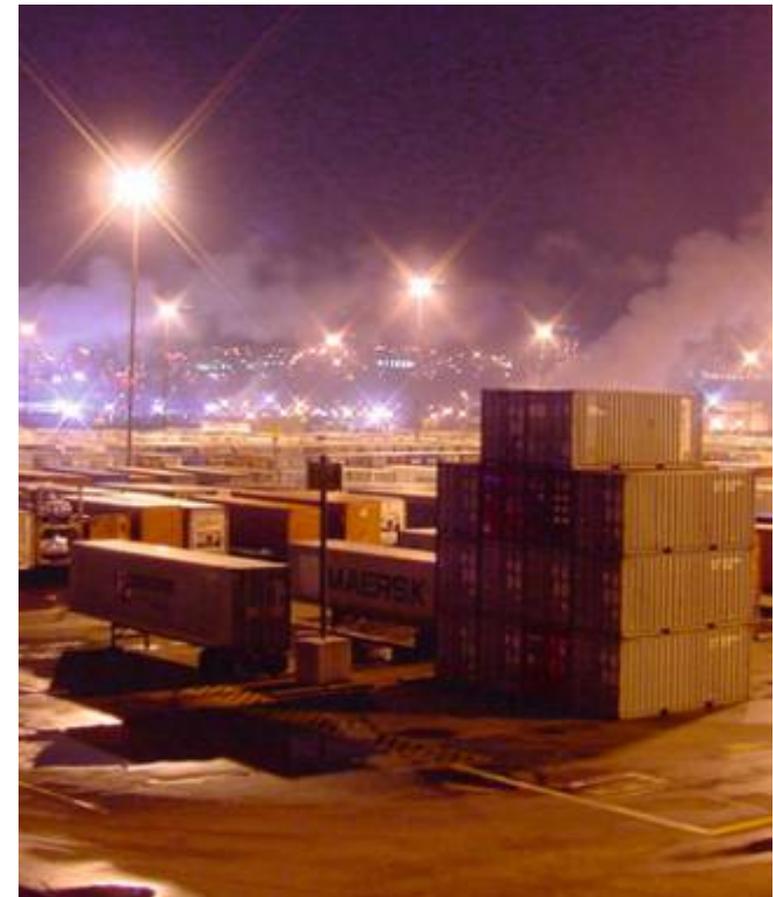
- Kosten-kalkulation
- Amortisations-berechnung (Kosten / Energie-einsparung)
- Erstellung Masterplan (Reihenfolge, Zeitplan)
- Abstimmung mit Kunden ggf. Anpassung

- Beleuchtungs-niveau
- Bestands-dokumentation
- Darstellung Beleuchtungs-sollniveau
- Masterplan
- ggf. Nachmessung des Beleuchtungs-niveaus der neuen Anlage



## Einteilung der Arbeitsstätten nach Aufgabe aus der EN 12464-2

Allgemeine Verkehrsbereiche
Flughäfen
Baustellen
Kanäle, Schleusen und Hafenanlagen
Landwirtschaftliche Betriebe
Tankstellen
Industrieanlage und Lagerbereiche
Im Meer gelegene Gas- und Ölförderanlagen
Parkplätze
Erdölchemische und andere risikoreiche Industrieanlagen
Energie-, Elektrizitäts-, Gas- und Heizkraftwerke
Bahnen und Straßenbahnen
Sägewerke
Schiffswerften und Docks
Wasser- und Abwasseranlagen





## Anforderungen an die Beleuchtung von Arbeitsstätten im Freien (EN 12464-2)

**Tabelle 5.1 – Allgemeine Verkehrsbereiche bei Arbeitsstätten/Arbeitsplätzen im Freien**

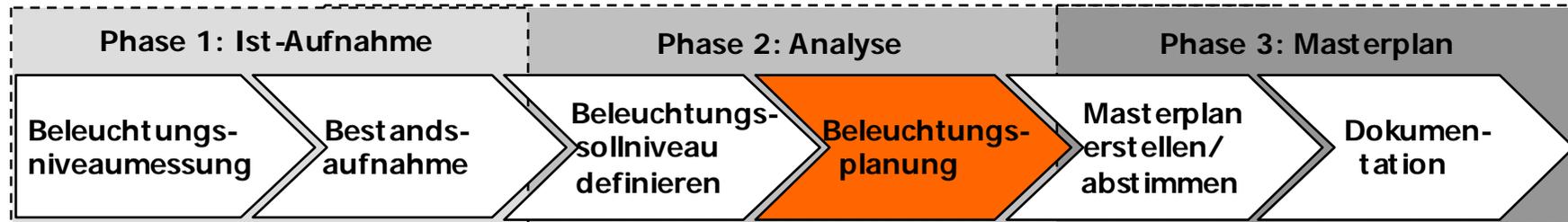
Ref. Nr.	Art des Bereiches, der Aufgabe oder Tätigkeit	$\bar{E}_m$ lx	$U_o$	$GR_L$	$R_a$	Bemerkungen
5.1.1	Gehwege, ausschließlich für Fußgänger	5	0,25	50	20	
5.1.2	Verkehrsflächen für sich langsam bewegende Fahrzeuge (max. 10 km/h), z. B. Fahrräder, Lastwagen, Bagger	10	0,40	50	20	
5.1.3	Regelmäßiger Fahrzeugverkehr (max. 40 km/h)	20	0,40	45	20	In Werften und Hafenanlagen kann $GR_L = 50$ sein.
5.1.4	Fußgänger-Passagen, Fahrzeug-Wendepunkte, Be- und Entladestellen	30	0,40	50	20	Für das Lesen von Beschriftungen: $\bar{E}_m = 50$ lx

**Tabelle 5.7 – Industrieanlagen und Lagerbereiche**

Ref. Nr.	Art des Bereiches, der Aufgabe oder Tätigkeit	$\bar{E}_m$ lx	$U_o$	$GR_L$	$R_a$	Bemerkungen
5.7.1	Kurzzeitiges Hantieren mit großen Bauteilen und Rohstoffen, Be- und Entladen von sperrigen Gütern	20	0,25	55	20	
5.7.2	Ständiges Hantieren mit großen Bauteilen und Rohstoffen, Be- und Entladen von Fracht, Aktionsbereiche von Kränen, offene Ladeplattformen	50	0,40	50	20	
5.7.3	Lesen von Beschriftungen, überdachte Ladeplattformen, Verwendung von Werkzeugen, Herstellung von Stahlbetonfertigteilen	100	0,50	45	20	
5.7.4	Anspruchsvolle Elektro-, Maschinen- und Rohrinstallationen, Inspektion	200	0,50	45	60	Nutzung von örtlicher Beleuchtung



## Vorgehensweise zur Optimierung der Außenbeleuchtung



- Geo-referenzierte Messung des Beleuchtungs-niveaus
- Darstellung des Beleuchtungs-niveaus in GIS bzw. Google Maps
- Ggf. Ermittlung von Kennwerten (mittlere Beleuchtungs-stärke, Gleich-mäßigkeit)

- Ermittlung des Bestandes
- Standort (geo-referenziert)
- Tragsystem
- Lichtpunkt-höhe
- Leuchte
- Leuchtmittel
- Energie-verbrauch
- etc.

- Zuordnung der beleuchteten Flächen (Straße, Lager, Arbeitsplatz, Parkplatz, Schienen etc.)
- Definition des notwendigen Beleuchtungs-niveaus
- Clusterung der Bereiche nach Anforderungen

- Vergleich mit Ist-Niveau
- Simulations-berechnung mit unterschiedlichen Leuchten / Leuchtmitteln
- Auswahl möglicher einsetzbarer Leuchten / Leuchtmittel

- Kosten-kalkulation
- Amortisations-berechnung (Kosten / Energie-einsparung)
- Erstellung Masterplan (Reihenfolge, Zeitplan)
- Abstimmung mit Kunden ggf. Anpassung

- Beleuchtungs-niveau
- Bestands-dokumentation
- Darstellung Beleuchtungs-sollniveau
- Masterplan
- ggf. Nachmessung des Beleuchtungs-niveaus der neuen Anlage



## Auswahl der möglicher Alternativen

<p><b>Ausgangslage und Zielsetzung</b></p>	<p><b>Maßnahmen- beschreibung</b></p>	<p><b>Mögliche Hemmnisse</b></p>																			
<ul style="list-style-type: none"> <li>Reduzierung der Lebenslaufkosten (Anschaffung, Energie, Instandhaltung)</li> <li>Richtiges Beleuchtungsniveau</li> </ul> <p>▶ <b>Licht-Masterplan / Konzept</b></p>	<p>Untersuchung möglicher Alternativen bei</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>zu geringem Beleuchtungsniveau</li> <li>zu hohem Beleuchtungsniveau</li> <li>zu hohem Energieverbrauch</li> <li>überalterten Beleuchtungsbestand (z.B. Lebensdauer Leuchte ca. 25 Jahre)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Investition trotz kurzer (5 bis 10 Jahre) Amortisationszeit zu hoch</li> <li>LED-Technik noch nicht voll ausgereift = Warten auf eine noch effizientere Technologie</li> <li>Keine Reserve bei späterer Überprüfung des Soll-Beleuchtungsniveaus</li> </ul>																			
<p><b>Voraussetzungen und Rahmenbedingungen</b></p>	<p><b>Priorisierung</b></p> <table border="1"> <tr> <td rowspan="3" style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Einsparung</td> <td>hoch</td> <td>C</td> <td>B</td> <td rowspan="3" style="text-align: center;"></td> </tr> <tr> <td>mittel</td> <td>D</td> <td>C</td> <td>B</td> </tr> <tr> <td>gering</td> <td>E</td> <td>D</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>hoch</td> <td>mittel</td> <td>gering</td> </tr> </table> <p><b>Anschaffungskosten</b></p>	Einsparung	hoch	C	B		mittel	D	C	B	gering	E	D	C			hoch	mittel	gering	<p><b>Priorität</b></p> <p style="text-align: center;"></p>	<p><b>Status und Dokumentation</b></p>
Einsparung	hoch		C	B																	
	mittel		D	C			B														
	gering	E	D	C																	
		hoch	mittel	gering																	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Gesetzliche Vorgaben (Normen und „Verbot Quecksilberdampf-Lampen“)</li> <li>Sicherheitsbeurteilung und -anforderungen</li> </ul>	<p><b>Messgröße</b></p> <p style="text-align: center;"></p>																				



## Beleuchtungsrechnung

**Projektbeschreibung**

Projekt-Nr.

Dateiname

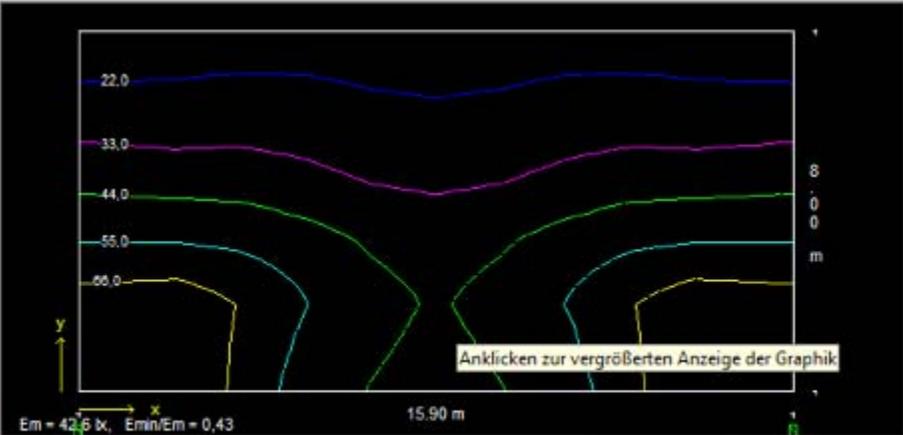
Datum/Bearbeiter

Werkstraßen

**Gewählte Leuchten**

Anz...	Typ	Leuchtenlyp	Lampentyp
4	9722/100HST-1		2xHST100W

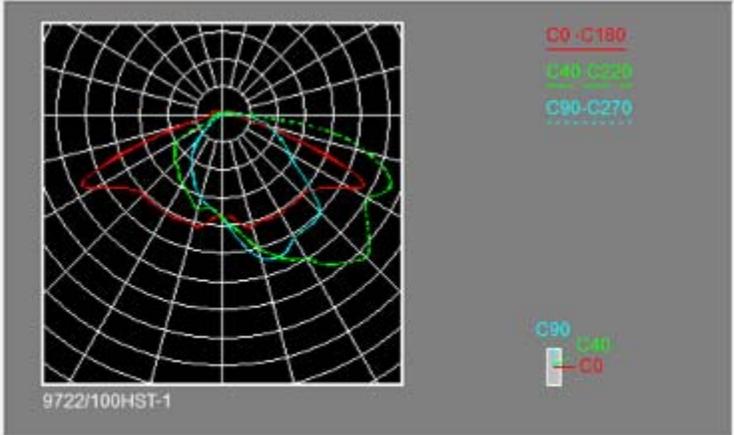




Em = 42,6 lx, Emin/Em = 0,43

15.90 m

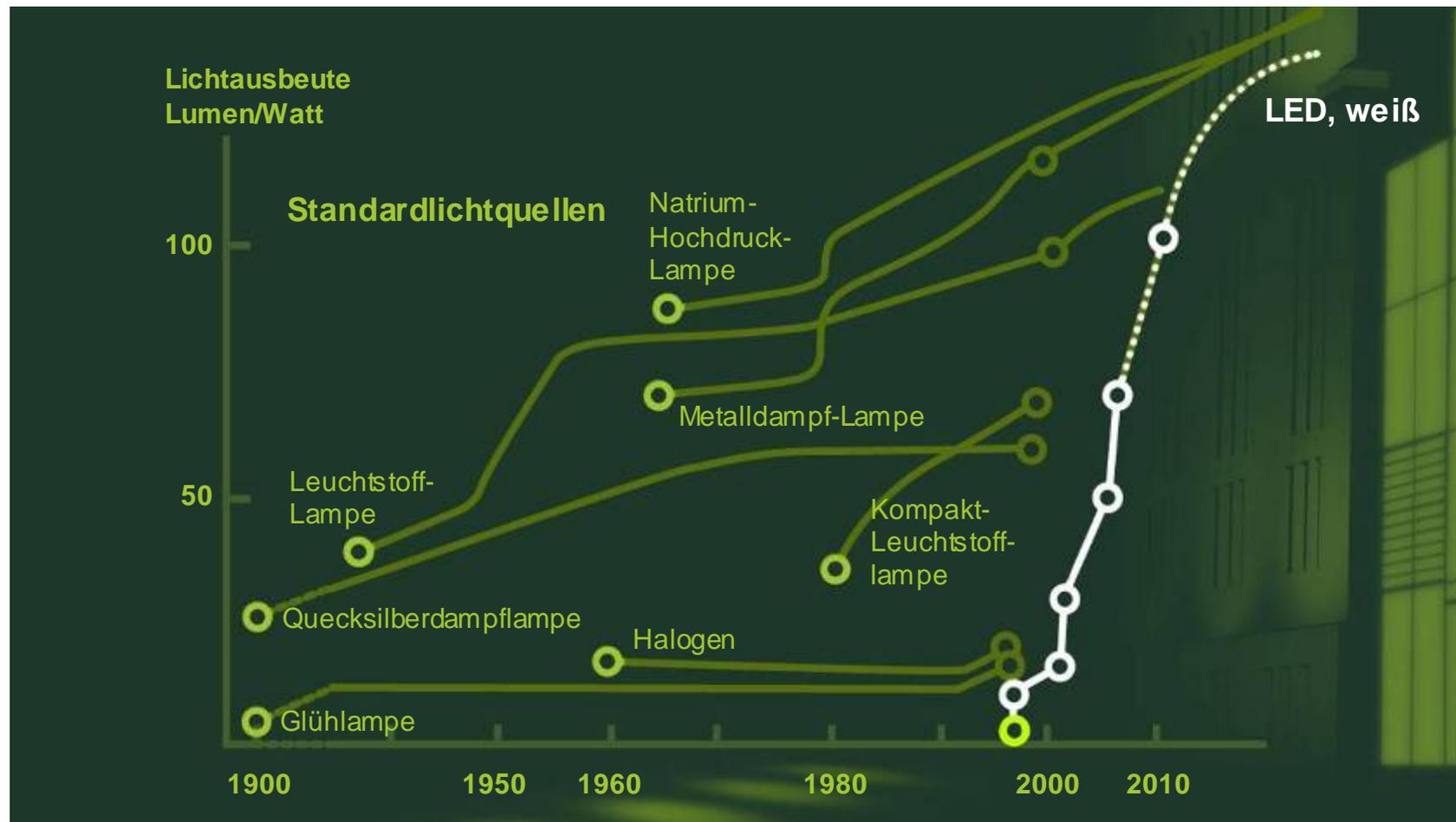
Isolux-Diagramm  
Nutzenebene (Eh)



9722/100HST-1

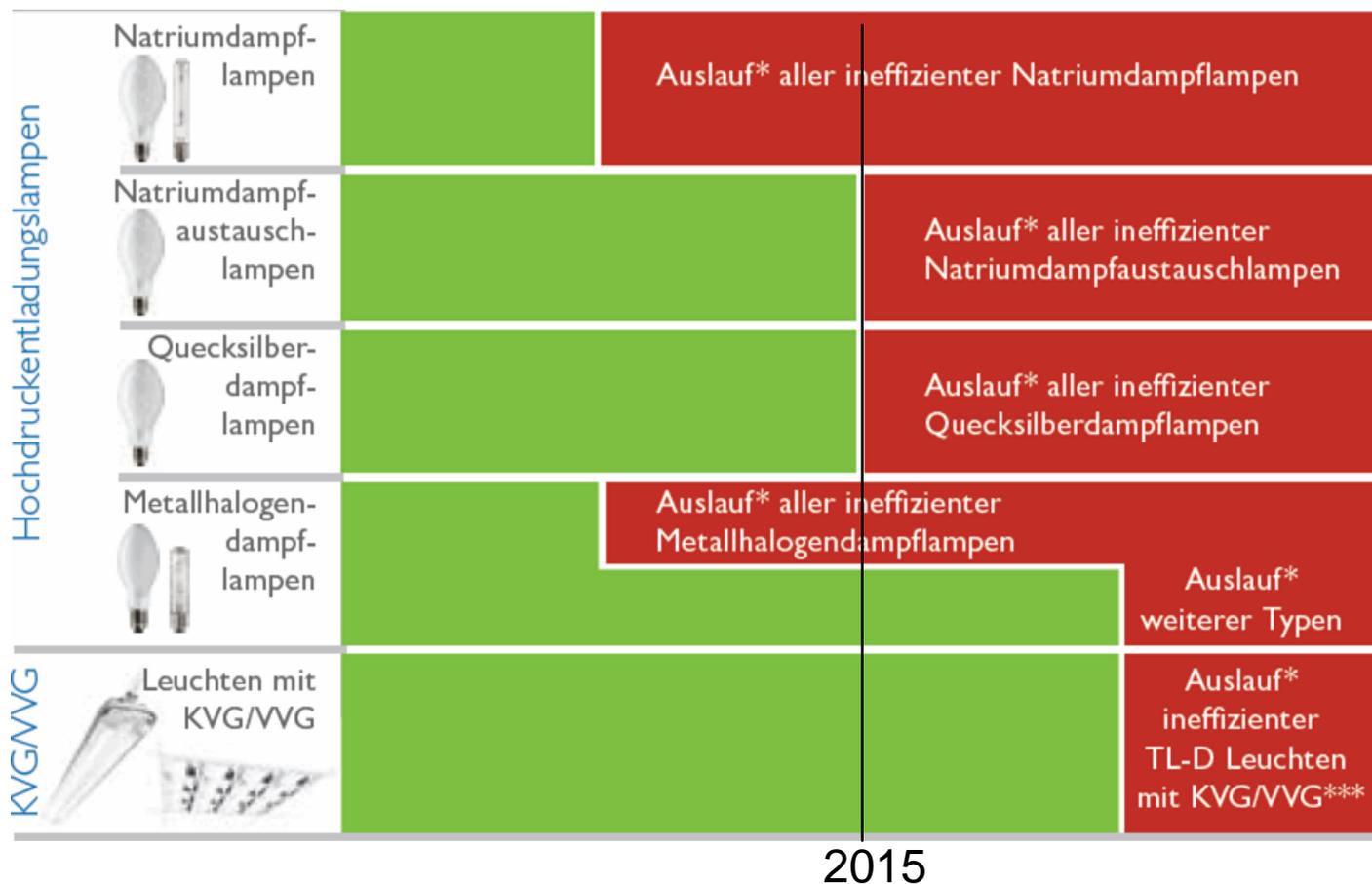


## Energieeffiziente Leuchtmittel: Übersicht Lichtausbeute





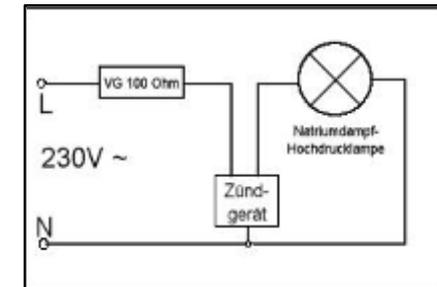
**Auswirkung der EuP-Richtlinie auf Quecksilberdampflampen (Quelle Philips)**





## Ersatzmaßnahmen für HQL

- Umrüstung der Leuchte mit Umbau auf z.B. Natriumhochdrucklampe
  - Tausch des Elektroblocs (wo möglich)
  - Nachrüstung eines Zündgerätes (nur für ellipsoidförmige Natriumhochdrucklampen zu empfehlen = Spiegeloptik passt nicht zu den HST-Lampen)
  - Austauschlampe (siehe auch EuP-Richtlinie)
  
- Tausch der Leuchte bei hohem Alter (Erreichen der typischen Nutzungsdauer von ca. 30 Jahren)



**Bei allen Maßnahmen sind Amortisationszeiten zwischen 1 Jahr und 4 Jahren zu erreichen.**



## Weiß oder Gelb?

- Bisher überwiegend Umrüstung auf Natriumhochdrucklampen
  - Gelbes Licht (Argumentation häufig = gemütliches goldgelbes Licht)
  - Problem: Schlechter Farbwiedergabewert
- Umrüstung auf Metaldampfhalogenlampen (z.B. Cosmopolis) oder (Kompakt)-Leuchtstofflampen bzw. Energiesparlampen und LED´s
  - Erlaubt eine Höchstmaß an Wohlbefinden und Sicherheit bei 3000K
- Cosmopolis in der Stadt Vechta: vorher / nachher (Quelle: Philips)





## Weiß oder Gelb?





## Beispiele für energiesparende Leuchten



Leuchte SQUALO der Firma Schröder



Koffer<sup>2</sup> 100 der Firma Philips

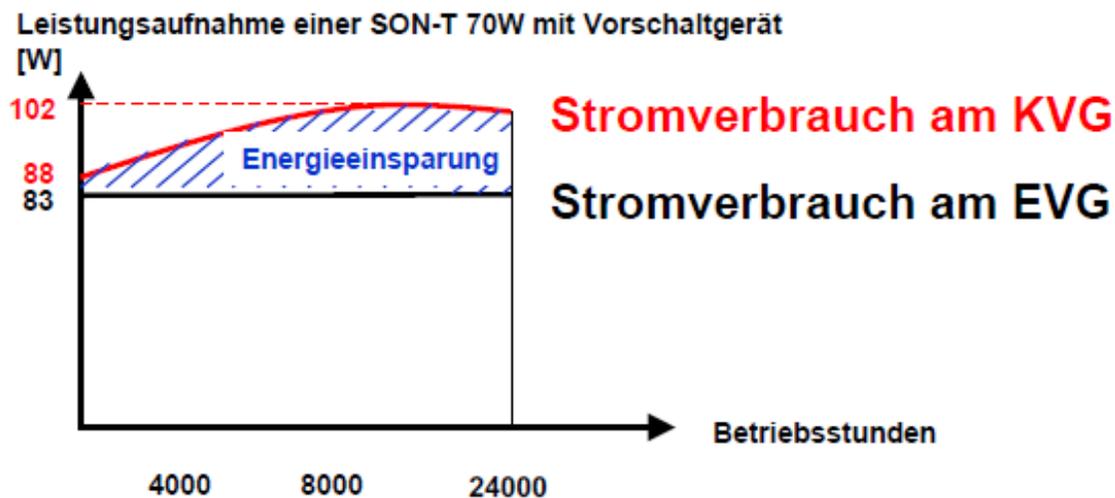


Lumega 700 der Firma Trilux



## Energieeffiziente Leuchten

- Verbesserte Lichttechnische Eigenschaften (Reflektor, Abdeckung...)
- Adaption an die Beleuchtungsaufgabe durch Typenvielfalt und Einstellmöglichkeiten
- Bei Leuchten mit elektronischen Vorschaltgerät (EVG) verbrauchen Entladungslampen bis zu 20% weniger Strom.





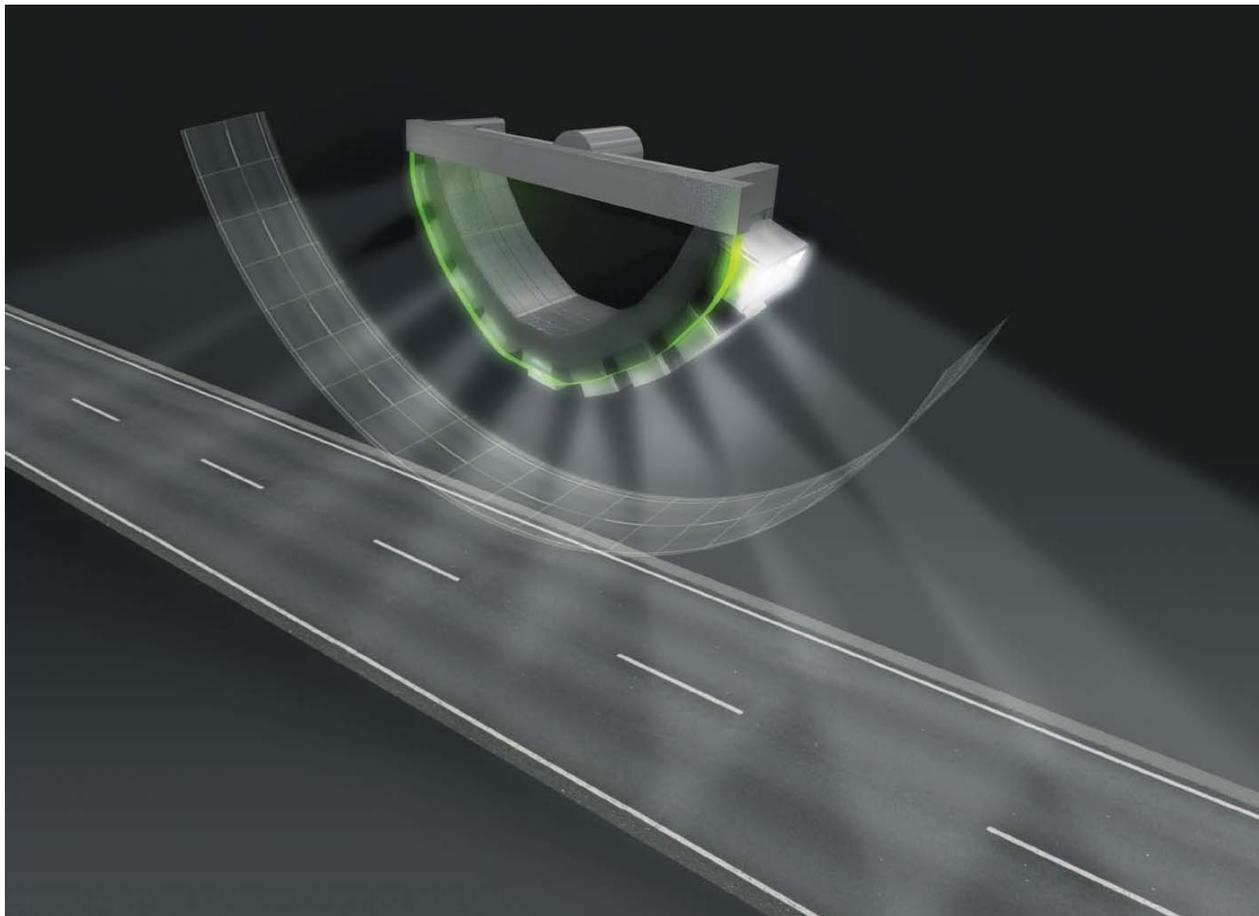
## LED´s in der Außenbeleuchtung

Ökonomische Vorteile der LED gegenüber konventioneller Straßenbeleuchtung

- IR/UV-freies Licht (keine „Lichtverschwendung“)
- Lichtselektivität möglich (z. B. Gehweg weiß, Fahrbahn gelb)
- Geringerer Energiebedarf durch exakte Lichtlenkung, geringe Wärmeentwicklung und hohe Lichtausbeute
- Hohe Lebensdauer (3 - 4-fache Lebensdauer zu NaH-Lampe)
- Geringere Wartungskosten, da wartungsarm
- Stabil gegen Erschütterungen (u. a. Vandalismus)
- noch keine hohen Beleuchtungsstärken ( $> 20$  lux) möglich



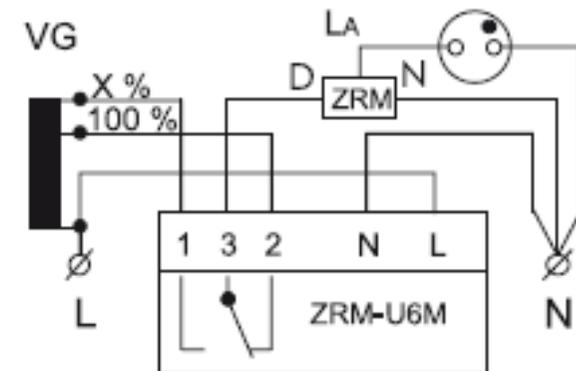
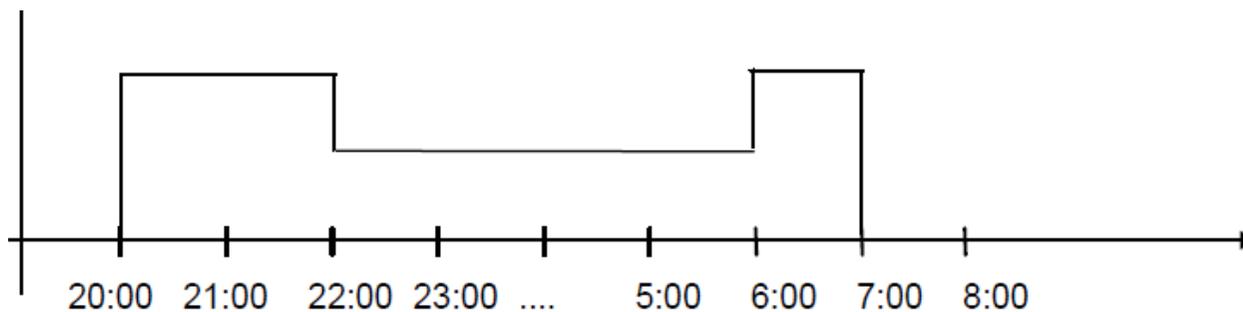
## Das Prinzip der aufgewickelten Straße





## Dezentrale Leistungsreduzierung

- Umschaltbares Vorschaltgerät oder Einbau einer Zusatzimpedanz
  - Reduzierungsmöglichkeiten: z.B. 70 auf 50W,
- EVG ist regelbar bei NaH auf ca. 70% Leistung
- Regelung über Steuerader oder Funk
- Autarke Regelung über Leistungsreduzierungsbausteine





## Zentrale Leistungsreduzierung

### ■ Dimmsysteme zur Leistungsreduzierung durch Amplitudensteuerung

- Leistungsreduzierung durch Amplitudensteuerung der Speisespannung unter Beibehaltung der Sinusform mit Hilfe von Spartransformatoren
- Leistungsreduzierung durch Amplitudensteuerung der Speisespannung unter Beibehaltung der Sinusform mit Hilfe von elektro-mechanischen Stelltrafos
- Leistungsreduzierung durch Amplitudensteuerung der Speisespannung unter Veränderung der Sinusform mit Hilfe elektronischer Regler

### ■ Dimmsysteme durch Frequenzsteuerung

- Leistungsreduzierung durch Frequenzsteuerung der Lampenspannung durch Erhöhung der Frequenz der Speisespannung mit Hilfe elektronischer Regler (z.B. Dimmlight)



## Beleuchtungsmanagementsysteme

### ■ Bedarfsgerechte Steuerung von Beleuchtungsanlagen

- Verkehrsabhängig
- Tageszeitabhängig
- Dämmerungsabhängig
- In Anhängigkeit z.B. von Veranstaltungen
- Auffangen des Lichtstromrückgangs / Leistungsreduzierung durch Anpassung

### ■ Überwachung der Anlagen ist möglich

- Reduzierung des Instandhaltungsaufwandes

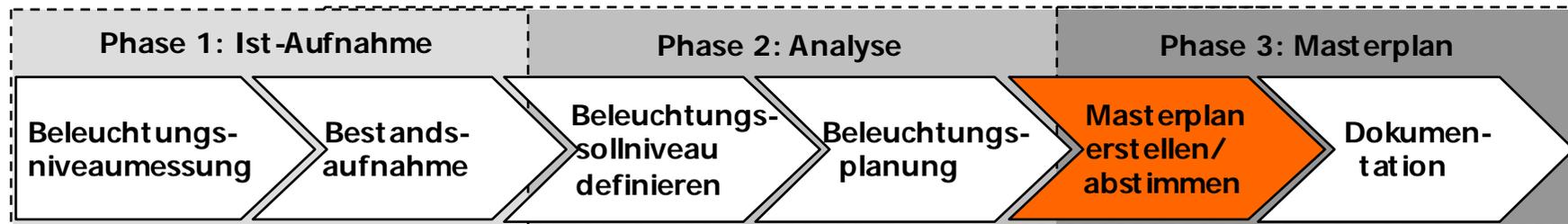


## Beleuchtungsmanagementsysteme





## Vorgehensweise zur Optimierung der Außenbeleuchtung



- Geo-referenzierte Messung des Beleuchtungs-niveaus
- Darstellung des Beleuchtungs-niveaus in GIS bzw. Google Maps
- Ggf. Ermittlung von Kennwerten (mittlere Beleuchtungs-stärke, Gleich-mäßigkeit)

- Ermittlung des Bestandes
- Standort (geo-referenziert)
- Tragsystem
- Lichtpunkt-höhe
- Leuchte
- Leuchtmittel
- Energie-verbrauch
- etc.

- Zuordnung der beleuchteten Flächen (Straße, Lager, Arbeitsplatz, Parkplatz, Schienen etc.)
- Definition des notwendigen Beleuchtungs-niveaus
- Clusterung der Bereiche nach Anforderungen

- Vergleich mit Ist-Niveau
- Simulations-berechnung mit unterschiedlichen Leuchten / Leuchtmitteln
- Auswahl möglicher einsetzbarer Leuchten / Leuchtmittel

- Kosten-kalkulation
- Amortisations-berechnung (Kosten / Energie-einsparung)
- Erstellung Masterplan (Reihenfolge, Zeitplan)
- Abstimmung mit Kunden ggf. Anpassung

- Beleuchtungs-niveau
- Bestands-dokumentation
- Darstellung Beleuchtungs-sollniveau
- Masterplan
- ggf. Nachmessung des Beleuchtungs-niveaus der neuen Anlage

Leuchte (Typ)  
Lampe (Typ)

Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Leuchte A	Leuchte B	Leuchte C	Leuchte D
HQL125*DELUXE	Langfeldlampe	LED	NAV-T70*SUPER 4Y

### Anlagenkosten

Leuchte (Preis)  
Montage- und Anschlusskosten (Leuchte)  
Reparaturkostenkosten (Leuchte)  
Anzahl Leuchten  
**Summe Leuchte**  
Nutzungsdauer  
Abschreibung  
Zinssatz (Kapitaldienst)  
**Jährliche Anlagenkosten über die Nutzungsdauer**

€	0,00	170,00	450,00	239,00
€	0,00	35,00	35,00	35,00
€	30,00	0,00	0,00	0,00
Stk.	200	200	200	200
€	<b>6.000,00</b>	<b>41.000,00</b>	<b>97.000,00</b>	<b>54.800,00</b>
Jahr	25	25	25	25
%	10,00	4,00	4,00	4,00
%	6	6	6	6
€	<b>780,00</b>	<b>2.870,00</b>	<b>6.790,00</b>	<b>3.836,00</b>
%	<b>100%</b>	<b>368%</b>	<b>871%</b>	<b>492%</b>

### Lampenkosten

Anzahl Lampen je Leuchte  
Gesamtanzahl der Lampen  
Lampe (Preis)  
Lampen(gruppen)wechsel incl. Wartung (Leuchte)  
Instandsetzung nach Lampenausfall  
Ausfallrate (Lampe)  
Lebensdauer (Lampe)  
Bremstunden (jährlich)  
Frequenz Lampengruppenwechsel (Jahre)  
Ausfallrate (Leuchte) jährlicher Anteil  
Kosten Lampengruppenwechsel (jährlich) spezifisch  
Kosten Instandsetzung (jährlich) spezifisch  
Kosten Lampengruppenwechsel (jährlich) gesamt  
Kosten Instandsetzung (jährlich) gesamt

Stk.	1,0	2,0	1,0	1,0
Stk.	200	400	200	200
€	3,00	3,00	500,00	3,00
€	20,00	20,00	20,00	20,00
€	60,00	60,00	60,00	60,00
%	10	10	10	10
Std.	16.000	32.000	64.000	16.000
Std.	4.000	4.000	4.000	4.000
Jahr	4,0	8,0	16,0	4,0
%	2,50	0,63	0,63	2,50
€	5,75	3,25	32,50	5,75
€	1,58	0,41	3,50	1,58
€	1150,00	1300,00	6500,00	1150,00
€	315,00	165,00	700,00	315,00

**Mittlere Lampenkosten jährlich**

€	<b>1.465,00</b>	<b>1.465,00</b>	<b>7.200,00</b>	<b>1.465,00</b>
%	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>491%</b>	<b>100%</b>

### Energiekosten

Erwartete Energie-Einsparung durch Lichtregelung  
Lampen-Nennleistung  
Vorschaltgerät (Typ)  
Vorschaltgerät (Leistung)  
Systemleistung einer Lampe  
Systemleistung einer Leuchte  
Gesamt-Anschlußleistung der Beleuchtungsanlage  
Mittlerer Arbeitspreis je kWh  
Jährliche Teuerungsrate für Stromkosten  
**Mittlere Energiekosten jährlich**

%	0,0	0,0	0,0	0,0
W	125	36	28	70
W	KVG	KVG	EVG	KVG
W	12	12	5	13
W	137	48	33	83
W	137	96	33	83
W	27.400	19.200	6.600	16.600
€	0,18	0,18	0,18	0,18
%	0,00	0,00	0,00	0,00
€	<b>19.728,00</b>	<b>13.824,00</b>	<b>4.752,00</b>	<b>11.952,00</b>
%	<b>100%</b>	<b>70%</b>	<b>24%</b>	<b>61%</b>

**Gesamtkosten jährlich**

€	<b>21.973,00</b>	<b>18.159,00</b>	<b>18.742,00</b>	<b>17.253,00</b>
%	<b>100%</b>	<b>83%</b>	<b>85%</b>	<b>79%</b>



## Fazit

### Energiekosten

- Langfristige gesicherte Reduzierung des Energieverbrauchs, damit Absicherung der spezifischen Kosten bei allgemeinen steigenden Energiekosten.

### Anlagenkosten

- Reduzierung der Instandhaltungskosten durch moderne Leuchtentechnik

### Sicherheit

- Bedarfsgerechtes Beleuchtungsniveau nach Norm bzw. eigenen Sicherheitsanforderungen

### Gesetzliche Vorgaben

- Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben z.B. Verbot HQL