

BUNDESWETTBEWERB
Energieeffiziente Stadtbeleuchtung



Energetische Sanierung der Straßenbeleuchtung
in der Altstadt von Regensburg - Abschlussbericht

BMU -UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

BUNDESWETTBEWERB **Energieeffiziente Stadtbeleuchtung**

Abschlussbericht

Zum Vorhaben:

Energetische Sanierung der Straßenbeleuchtung in der Altstadt von Regensburg

KfW-Aktenzeichen: MBe1-001721

Fördernehmer/-in

Stadt Regensburg

Umweltbereich

Energie- und Ressourceneffizienz

Laufzeit des Vorhabens

2009 bis 2011

Autoren

Ltd. Baudirektor Alfons Swaczyna
Tiefbauamt Stadt Regensburg

Dr.-Ing. Martin Moeck, OSRAM
Semiconductors Regensburg

**Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktor-
sicherheit**

Datum der Erstellung

1. März 2012

Berichts-Kennblatt

<u>Aktenzeichen:</u> KfW-Aktenzeichen: MBe1-001721	<u>Vorhaben-Nr.:</u>
<u>Titel des Vorhabens:</u> Energetische Sanierung der Straßenbeleuchtung in der welterbegeschützten Altstadt von Regensburg	
<u>Autor(en); Name Vorname</u> Alfons Swaczyna Ltd. Baudirektor, Leiter Tiefbauamt Stadt Regensburg Martin Moeck, OSRAM Semiconductors, Regensburg	<u>Vorhabensbeginn:</u> 29.10.2009 <u>Vorhabensende (Abschlussdatum):</u> 30.11.2011
<u>Fördernehmer/-in (Name, Anschrift)</u> Stadt Regensburg D.-Martin-Luther-Straße 1 93047 Regensburg	<u>Veröffentlichungsdatum:</u> 2012 <u>Seitenzahl:</u> 22
Gefördert aus dem Umweltinnovationsprogramm des Bundesumweltministeriums	
<u>Kurzfassung</u> Ziel des Projektes war es, für die welterbegeschützten Regensburger Altstadt eine innovative, altstadtgerechte, ökologisch und ökonomisch optimierte LED-Lichtlösung zu entwickeln. Diese musste den Ansprüchen einer modernen Lichtlösung ebenso gerecht werden, wie der Einmaligkeit einer historischen, zum Weltkulturerbe zählenden mittelalterlichen Altstadt. Mit den Partnern OSRAM/Siemens, Regensburg wurde ein spezielles LED-Retrofit für die Altstadtleuchten in zwei Altstadtgassen entwickelt und getestet. Es wurden im Rahmen einer Befragung auch die Anwohner und Passanten in die Bewertung der neuen innovativen LED-Technik eingebunden mit einem überzeugenden Plädoyer für die Umsetzung des Projektes. Schließlich wurden 228 Altstadtleuchten mit einem LED-Lampeneinsatz umgerüstet. Der Energieverbrauch und die Energiekosten konnte dadurch um ca. 55% reduziert werden. Die CO ₂ -Emissionen verringerten sich um 25 t pro Jahr. Unter Berücksichtigung des hohen Anspruchs einer altstadtverträglichen Stadtbeleuchtung ergibt sich eine relativ günstige Amortisationszeit. Das geförderte LED-Projekt hat als Vorreiterprojekt positive Entscheidungen zugunsten einer energieeffizienten Straßenbeleuchtung in Stadt und Land ausgelöst, was Ziel des Bundeswettbewerbes war.	
<u>Summary</u> The city of Regensburg, a UNESCO classified world heritage centre, needed an innovative, sustainable, and economic LED lighting solution which respected the historic context. The solution had to fulfil the requirements of modern pedestrian lighting as well as historic preservation aspects of an original medieval surround protected by UNESCO world heritage requirements. The city of Regensburg teamed up with local partners Osram OS and Siemens. Together, they developed an LED module consisting of lensed and diffuse LED stripes arranged in a small cylinder. The 42W module is a retrofit and leaves the existing historic luminaire housings intact. However, unlike its predecessors, it provides an exact intensity distribution that lights the historic facades and small alleys without spill light. A following extensive survey of residents and pedestrians yielded clear support for and acceptance of the new solution. 228 luminaria were retrofitted. Energy consumption was reduced by 55%. CO ₂ -emissions dropped by 25 tonnes per year. Considering very stringent requirements for historic lighting, a corresponding yet suitable and acceptable payback time was achieved. This LED project has established itself as a pioneer solution for the city and the neighbouring counties, and is now used as a base case for historic LED lighting. This was the defined goal for the sponsors and its Environmental Innovation Programme	
<u>Schlagwörter</u> Welterbegeschützte Altstadt; Stadtlichtplan; altstadt- und nutzungsgerechte Stadtbeleuchtung; LED; Energieeffizienz; Öffentlichkeitsbeteiligung; Vorreiterrolle;	
<u>Anzahl der gelieferten Berichte</u> Papierform: 7 Elektronischer Datenträger: 1	<u>Sonstige Medien:</u> Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.regensburg.de

Projektbeschreibung

1. Ausgangssituation

Stadtlichtplan Regensburg

Im Jahr 2008 hat der Stadtrat den Stadtlichtplan für Regensburg beschlossen. Die Verbesserung der Beleuchtung in der Altstadt von Regensburg, die 2006 wegen ihres Charakters als „einzige authentisch erhaltene mittelalterliche Großstadt Deutschland“ zum UNESCO-Welterbe erhoben wurde, stellt dabei eine besondere Aufgabe dar. Dem Erscheinungsbild des Lichtes mit den charakteristischen Wandleuchten mit ihren stark punktuellen Lichtpunkten und dem diffusen Erscheinungsbild, das wohltuend in die Stadtstruktur eingreift, rhythmisierend wirkt und nur punktuell aufhellt, kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Die Beleuchtung soll die über Jahrhunderte entstandene Raumbildung der Straßen, Gassen, Plätze und Freiräume auch in der Nacht nachvollziehbar machen. Wenige ausgewählte Bauwerke und beliebte Stationen in der Altstadt sollen durch eine akzentuierte Beleuchtung die Wahrnehmung des Stadtraumes in der Nacht unterstützen und ein qualitätsvolles nächtliches Stadtbild erzeugen.

Der Stadtlichtplan verfolgt für die Altstadt die Ziele,

- mit Licht Identität zu unterstreichen,
- Lichtstimmung gesamthaft zu komponieren,
- nicht mehr, sondern anders zu beleuchten,
- Raum zu erleuchten statt Leuchten zu inszenieren,
- den **Energieverbrauch niedrig zu halten**,
- **neue Technologien zu prüfen** und
- Lichtverschmutzung zu vermeiden.



Beleuchtung Altstadtgasse nach Stadtlichtplan



Beleuchtung Gebäude (Reichssaal) nach Stadtlichtplan

Die Straßenbeleuchtung in Regensburg

	Jahr 2010	Jahr 1995	Änderung
Klassifiziertes Straßennetz	391 km	361 km	+8,31%
Leuchtpunkte	13.948	11.526	+21,01%
Leuchtmittel	16.905	13.004	+30,00%
Gesamtanschlusswert	1.605,25 KW	1.333,64 KW	+20,37%
Gesamtverbrauch	6.380.599 KWh	5.253.341 KWh	+21,46%
Stromkosten	923.038,96 €	619.729,22 €	+49,00%

Tabelle 1: Daten der Straßenbeleuchtung in Regensburg

Die Geschichte der Straßenbeleuchtung in Regensburg ist verhältnismäßig jung: Erst seit Ende des 19. Jahrhunderts gab es die ersten Gaslampen im öffentlichen Straßenraum. Im 20. Jahrhundert erfolgte die durchgehende Elektrifizierung mit überwiegend funktionsbetonten Leuchten.

Durch den Ausbau der Verkehrsinfrastruktur hat sich parallel dazu der Beleuchtungsumfang enorm vergrößert. Insbesondere die alten Leuchtsysteme sind in die Jahre gekommen. Sie müssen wegen der besseren Energieeffizienz und Umweltbilanz sowie den rasant zunehmenden Stromkosten nach und nach von zeitgemäßen und wartungsfreundlichen Systemen mit hohem Wirkungsgrad und langer Lebensdauer abgelöst werden. Mit den neuen Lichttechniken z.B. LED eröffnen sich dazu technische Möglichkeiten, den öffentlichen Raum entsprechend der Nutzung bei Nacht optimal auszuleuchten.

Die in der Stadt Regensburg verwendeten Leuchtmittel verteilen sich wie folgt:

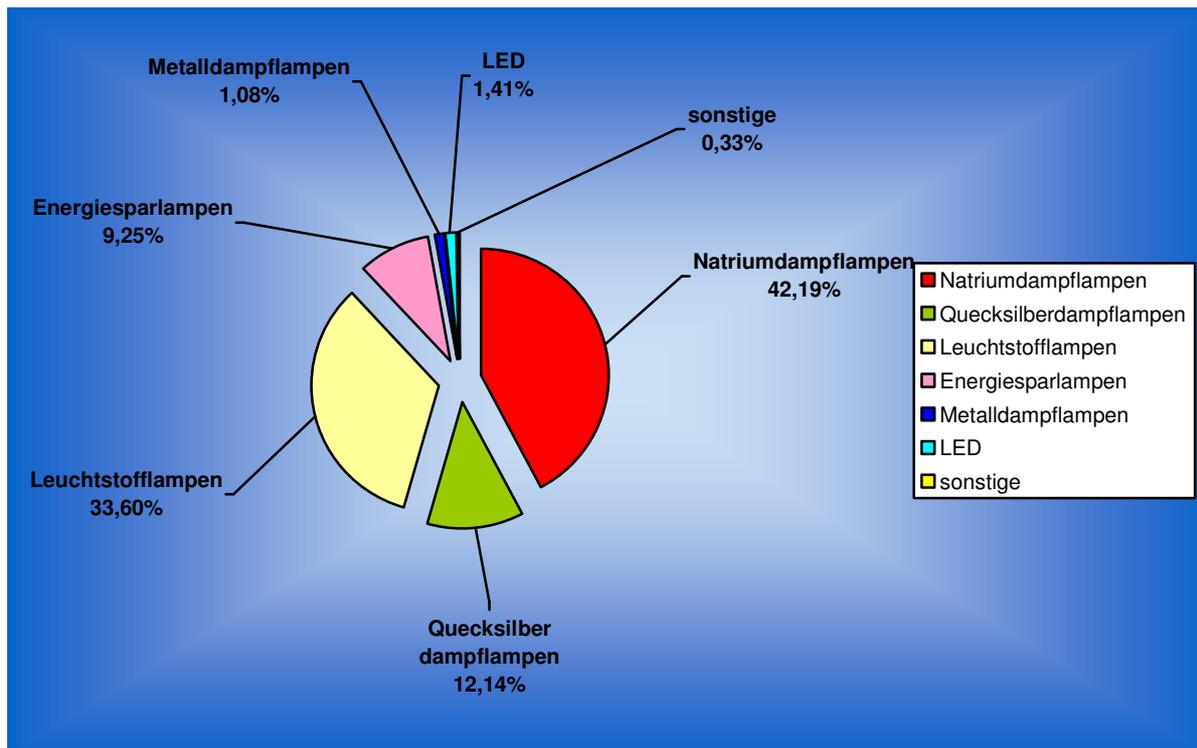


Tabelle 2: Verteilung der Leuchtmittel bei der Straßenbeleuchtung in Regensburg

Insbesondere durch den Ersatz der gemäß EU-Verordnung ab 2015 verbotenen Quecksilberdampf-Hochdrucklampen (12%) und der Leuchtstofflampen (34%) ergibt sich ein hohes Potential bei der Einsparung beim Stromverbrauch, der Reduktion der Kohlendioxidbelastung und der Reduzierung der Lichtverschmutzung.

Pilotprojekt LED-Technik für die Altstadtbeleuchtung

Entsprechend den Zielen des Stadtlichtplans hat sich die Stadt Regensburg in den letzten Jahren mit der Frage befasst, inwieweit die neue LED- Lichttechnik in der Straßenbeleuchtung eingesetzt werden könnte. Es existiert derzeit aufgrund technischer Gründe noch kein

standardisierter Einsatz der LED bei der Straßenbeleuchtung. Die Leuchtenhersteller befinden sich noch im Stadium des Experimentierens, um die Technik weiterzuentwickeln. Da der Einsatz der LED-Technik in der Straßenbeleuchtung noch relativ teuer ist und noch kein allgemeiner Standard existiert, wurde experimentell versucht, den Einsatz der LED-Leuchtsysteme in Pilotprojekten zu testen, um weitergehende Erkenntnisse gewinnen zu können. Die LED-Technik ist jedoch eine Technik mit großer Zukunft: Sie spart auf lange Sicht Geld, schont die Umwelt und schafft durch die große Variabilität in der Nutzung Lichtqualität z.B. in den Städten auf hohem technischen Niveau.

Um den technischen Anschluss zum Einsatz der LED-Technik in der Straßenbeleuchtung zu forcieren, hat die Stadt Regensburg die Zusammenarbeit mit der ortsansässigen Fa. OSRAM Opto Semiconductors, Regensburg, einem der Marktführer in der LED-Lichttechnik, gesucht. In einem gemeinsamen Pilotprojekt sollte geklärt werden, ob die Umrüstung der vorhandenen Lampenkörper in der historischen Altstadt praxistauglich, energieeffizient und altstadtgerecht mit modernen LED-Lichtlösungen möglich ist.

2. Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“

Ziele des Wettbewerbes

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), die KfW-Bankengruppe und das Umweltbundesamt (UBA) haben im Rahmen der Klimaschutzinitiative des BMU im Juli 2008 den Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ ausgeschrieben. Er soll Kommunen dabei bei deren Anstrengungen, gerade bei der Stadtbeleuchtung Energie einzusparen und Betriebskosten langfristig zu senken, unterstützen.

Ziel des Kommunenwettbewerbs war es, den Einsatz energieeffizienter Stadtbeleuchtungstechnik bei Städten und Gemeinden zu forcieren.

Durch den Wettbewerb sollen beispielhafte Projekte unterstützt werden, die eine sehr gute Energieeffizienz, Wirtschaftlichkeit, Umweltfreundlichkeit sowie eine hohe Qualität der Beleuchtungstechnik erwarten lassen und als Vorbild für andere Kommunen dienen können. Die ausgezeichneten Kommunen können Fördermittel aus dem Umweltinnovationsprogramm des BMU für die Umsetzung ihrer Konzepte erhalten. Der Wettbewerb legt dabei ein besonderes Augenmerk auf die zeitnahe Umsetzung der Konzepte.

Lichtkonzept für den Wettbewerb

In Kooperation mit OSRAM Semiconductors Regensburg wurde ein innovatives Lichtkonzept für die weltbergeschützte Altstadt von Regensburg entwickelt. In einem Pilotprojekt sollte der praxistaugliche Einsatz der LED-Technik in der historischen Altstadt erprobt und eine altstadtgerechte und energiesparende LED-Lichtlösung für bestehende Altstadtleuchten gefunden werden. Ein neuer Lampenprototyp mit LED-Technik soll die energiefressenden Quecksilberdampflampen durch LED zu ersetzen. Das neue Konzept basiert auf einem System, bei dem jede Seite je nach Bedarf und gewünschtem Lichtbild mit unterschiedlich vielen LED bestückt werden kann. So lassen sich ganz verschiedene, der historischen Umgebung und Nutzung der Altstadt angepasste individuelle Lichtverteilungen erzielen. Der Energiebedarf pro Leuchte könnte von jetzt 90 W auf bis zu 40 W reduziert werden.

Ziel des Konzeptes ist die Erneuerung von ca. 250 alten Lampen in der weltbergeschützten Altstadt von Regensburg mit Hilfe der modernen LED-Technik. Der jetzige Energieverbrauch soll mindestens um die Hälfte und in Folge die CO₂-Emissionen deutlich reduziert werden.

Hierbei sollten die Vorteile der LED-Technik ausgenutzt werden:

- die lange Nutzungsdauer,
- die geringeren Wartungskosten,
- die hohe Energieeffizienz,
- weniger Wärme bei gleichzeitiger hoher Lichtausbeute,
- die gute Farbwiedergabe (warmes Weiß ähnlich der Glühlampe) sowie

- die Eindämmung der Lichtverschmutzung (gleichmäßige Ausleuchtung und präzise Lichtlenkung).

Ergebnis des Wettbewerbes

Mit diesem Lichtkonzept hat sich die Stadt Regensburg im Jahre 2009 am Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ beteiligt. Von den mehr als 180 Bewerbern wurden 18 Städte prämiert. Dem Regensburger Konzept wurde vom Bundesumweltministerium in Berlin der erste Preis in der Kategorie „Sanierung“ zuerkannt. Mit dem Preis wird das Engagement der Stadt gewürdigt, den Energieverbrauch mindestens um die Hälfte und die damit verbundene Klimabelastung bei der Beleuchtung von Straßen, Wegen und Plätzen in der historischen Altstadt durch den Einsatz moderner LED-Technologie bei 250 Altstadtlampen wesentlich zu reduzieren; auch die Energiekosten sollten um ca. 10.000,- Euro pro Jahr sinken. Das preisgekrönte Konzept entspricht zudem nachhaltig den Leitlinien des vom Stadtrat beschlossenen „Stadtlichtplans“ für Regensburg.

Die Stadt Regensburg kann als Preisträger für die Umsetzung ihres ausgezeichneten Beleuchtungskonzeptes Fördermittel im Rahmen der Klimaschutzinitiative der Bundesregierung aus dem Umweltinnovationsprogramm erhalten. Die Wettbewerbsregeln sehen vor, das Konzept innerhalb von zwei Jahren zusammen mit OSRAM/Siemens umzusetzen.

3. Das Pilotprojekt

Vorhandene Altstadtbeleuchtung

In der Regensburger Altstadt kommen hauptsächlich historische Sechskantleuchten und die Wandleuchte „Ratisbona“ mit Quecksilberdampflampen HQL 80 W (weißes Licht) und Natriumdampflampen (gelbes Licht) mit einem Lichtstrom von 4.000 Lumen, einer Leuchtdichte von 5 cd/cm² und einer Farbwiedergabe von 3.400 K zum Einsatz.



Histor. Sechskantleuchte mit NAV



Wandleuchte „Ratisbona“ mit HQL



Wandleuchte „Ratisbona“

Nachteile der vorhandenen Beleuchtung (HQL)

- Hohe Ungleichmäßigkeit der Ausleuchtung: zu helle und zu dunkle Straßen- und Gassenbereiche
- Schlechte Erkennbarkeit von Personen
- Zu hohe Beleuchtungsstärke an den Fassaden oberhalb der Leuchte
- Belästigung durch starken Lichtschein in den Wohnräumen
- Lichtverschmutzung durch Abstrahlung nach oben
- Verschmutzung der Fassaden durch Insekten

Anforderungen

Als allgemeine Leistungsmerkmale für die Beleuchtung von historischen Stätten wie der Altstadt von Regensburg wurden die qualitätsvolle, altstadtgerechte Beleuchtung die Berücksichtigung des Umwelt- und Denkmalschutzes identifiziert, die bei Nacht der Altstadt einen besonderen Lichtcharakter ohne zu inszenieren, verleiht. Zu den speziellen Anforderungen zählen:

- Gleichmäßige horizontale und vertikale Ausleuchtung von Fußgängerbereichen und Fassaden,
- Steuerung der Lichtmenge, die entweder mit zu viel oder zu wenig Licht auf horizontale und vertikale Oberflächen trifft,
- Blendungsbegrenzung,
- Gesichtserkennbarkeit der Passanten (Farbwiedergabeindex >80),
- Warmtonigkeit der Lichtfarbe: 2.700 – 3.000 K,
- Lichtimmission: Keine störende Einstrahlung von Licht durch die Fenster in die Wohnräume,
- Lichtverschmutzung: Reduktion des Licht, das in den Himmel abstrahlt,
- Energieverbrauch und Anschlusswert reduzieren,
- Erkennbarkeit historischer Fassadendetails und Anstrahlung,
- Erkennbarkeit von Fresken, Mauern und Fassadendetails historischer Gebäude,
- Lichteffizienz: Wie viel Licht wird effektiv genutzt zur Beleuchtung der Straßen/Gassen, zur Gesichtserkennung und zur Erkennung von architektonischen Elementen?

Teststrecke Blaue-Lilien-Gasse



Erste Prototyp Lampe



Bestehende HQL



LED-Prototyp bei Nacht



Beleuchtung in der Blauen-Lilien-Gasse

- Länge 77 m; Breite 1,90 m
- Fläche 146m²
- Belag: dunkles Pflaster
- Vierstöckige Gebäude
- Lichtpunkthöhe 4,20 m
- Leuchtenabstand ca. 20 m
- Lampen: 3 HQL 80 W Deluxe
- Energieverbrauch der 3 Lampen: 300 W
- Leuchtdichte: 2 W/m²
- Historische Leuchtengehäuse
- Lichtkosten 1300 €/Jahr
- Beleuchtungsstärke problematisch;
Horizontale Ausleuchtung: Durchschnitt 4,9 Lux;
maximal 10,2 Lux; minimal 3,2 Lux

In einem ersten Schritt wurde eine typische enge „dunkle“ Gasse in der mittelalterlichen Altstadt als Teststrecke für den Einsatz des von der Fa. OSRAM entwickelten LED-Prototypen gewählt. Die Gasse dient in erster Linie der Erschließung der anliegenden maximal 5-geschossigen Bebauung mit überwiegend Wohnnutzung. Die geschäftliche Nutzung beschränkt sich auf eine Pizzeria mit Freiraumnutzung, von der Fremdlicht ausgeht.

4. LED-Prototypen und Testphase

Berechnungen und Nachweise

Die Blauen-Lilien-Gasse wurde zuerst mittels eines neuzeitlichen 3D-Laserscannings vermessungstechnisch aufgenommen. Dadurch konnten alle Konturen der Gebäude in ihrer tatsächlichen Baustruktur sowie der Gassenraum geometrisch exakt erfasst werden. 552 Berechnungspunkte bildeten die Grundlage zur rechnerischen Simulation lichttechnischer Parameter wie vertikale und horizontale Beleuchtungsstärke für verschiedene Leuchtmittel einschließlich des geplanten LED-Lampennachrüstmoduls (retrofit). Zur Entwicklung eines Auf diese Weise konnten die Vorteile der LED-Technik hinsichtlich der durchschnittlichen Beleuchtungsstärke, der Über- und Unterbeleuchtung, der Energieeffizienz, der Lichtimmissionen in die Wohnungen und die Lichtverschmutzung eindrucksvoll nachgewiesen werden.

Vergleich von verschiedenen Lampen

Horizontale Beleuchtungsstärke, Über- und Unterbeleuchtung, Anschlussleistung

Leuchtentyp	Durchschnittl. Beleuchtungsstärke	% überbeleuchtet (>10 Lux)	% unterbeleuchtet (< 3 Lux)	Anschlussleistung in W/m ²
HQL 70W	2,9	1,1	55	2,1
LED 20 LEDs	3,7 OK	0	27	0,6
2x24W CFL	7,3	31	33	1,06
2x18W CFL Version 1	5,6	27	46	0,82
Metall Halide 70W	22,7	62	8,1	1,64

Spherical NAV 50W	5,7	26	39	1,16
NAV 50W Version 2	16,5	48	9,4	1,16
CFL 18W Version 2	5,5	61	28	0,82

Grün = Werte am Besten; **Rot** = Werte ungünstig

Vergleich von verschiedenen Lampen

Vertikale Beleuchtungsstärke auf Augenhöhe, Erkennbarkeit der Fußgänger mit zuviel oder zu wenig vertikaler Beleuchtungsstärke

Leuchtentyp	Durchschnittl. Beleuchtungsstärke	% überbeleuchtet (>30 Lux)	% überbeleuchtet (<3 Lux)
HQL 70W	2,5	0	77
LED 20 LEDs	6,5 OK	1,3	40
2x24W CFL	5,9	0	50
2x18W CFL Version 1	4,2	0	62
Metall Halide 70W	15,5	20	28
Sphere NAV 50W	5,1	0	54
NAV 50W mit Reflektor	11,1	13	37
CFL 18W Version 2	6,1	0	51

Grün = gute Gesichtserkennung; **Rot** = Gesichtsbeleuchtungsstärke zu gering

Eine Zusammenstellung der Untersuchungen ist der Anlage zu entnehmen.



Simulation zur Berechnung der Beleuchtungsstärke (Grundlage Laserscanning)

Bei der Messung der horizontalen Beleuchtungsstärke im Vergleich HQL/LED ergab sich im Vergleich zu den Hell-Dunkel-Sprüngen bei der HQL-Lampe eine Verstärkung der Gleich-

mäßigkeit auf ein Niveau von 2 Lux. Auch bei der vertikalen Beleuchtungsstärke ergab sich hinsichtlich der Gesichtserkennung in 1,5 m Höhe eine wesentliche Verbesserung.

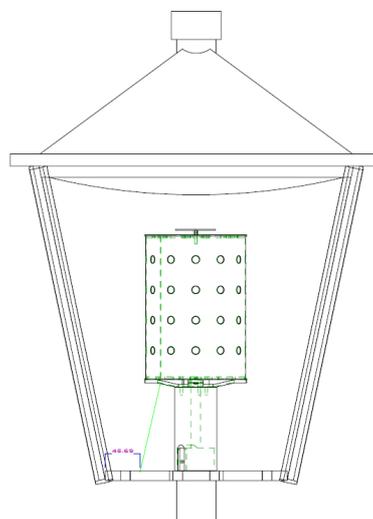


LED-Beleuchtung Blaue-Lilien-Gasse



Hochkontrastbild zur Darstellung der Helligkeitsunterschiede

Konstruktion des LED-Lampenkörpers



LED-Retrofit

Das Retrofit des LED-Lampenkörpers besteht aus einem zylindrischen Metallkörper, der eingeteilt in 12 Segmente pro Segment mit jeweils 4 Bohrungen versehen ist. Hinter den Bohrungen befinden sich je 4 auf Metalleisten aufgesetzte LEDs mit Linsen, die sich einzeln einsetzen und austauschen lassen. Entsprechend der gewünschten Lichtverteilung mit Schwerpunkt der gleichmäßigen Ausleuchtung der Straßen, Gassen und Plätze und weniger der Beleuchtung der Fassaden sind die Einselelemente mit und ohne Linsen versehen. Es lassen sich je nach lichttechnischer Anforderung auch weniger LEDs anordnen. Verwendet

wurden Golden Dragon LED mit einer Linse 20°. Der Lampenkörper wird mit einem elektronischen Vorschaltgerät gesteuert. Die Möglichkeit der Dimmbarkeit ist gegeben.

Ergebnisse der Testphase „Blaue-Lilien-Gasse

- Ersatz von drei Quecksilberdampflampen 90 W durch drei LED-Retrofits 42 W;
- HDR-Fotos (Hochkontrastbild) und Leuchtdichte-Messungen;
- mittlere Beleuchtungsstärke 2 Lux;
- Gleichmäßigkeit auf der Fußgängerebene sehr gut;
- vertikale Beleuchtungsstärke zwischen zwei Leuchten in 1,5 m Höhe: 2 Lux;

Die „dunkle“ Gasse erscheint jetzt heller an, denn es gibt kaum dunkle Stellen zwischen benachbarten Wandleuchten. Den Grund dafür liegt in der speziellen Ausrichtung der einzelnen LEDs: Die meisten Dioden sind jetzt so ausgerichtet, dass sie lange Lichtkegel entlang der Gasse erzeugen, einige leuchten nach unten. Die LEDs, die an die gegenüberliegende Hauswand strahlen, können nur mit 30 Prozent des Stroms betrieben werden. Durch die nutzungsabhängige Steuerung des Lichts lässt sich so Energie einsparen.

Nach Abschluss der Testbeleuchtung in der Blauen-Lilien-Gasse (enge Gasse) wurde in einem weiteren Schritt die als Geschäftsstraße stark frequentierte und breite Untere Bachgasse (breite Gasse) mit den entwickelten LED-Lampenkörpern ausgerüstet. Ziel dieser Aktion war es, die technischen Wirkungen und das Erscheinungsbild dieser neuen Lösung auf den Raum in der Altstadt an Ort und Stelle und die Reaktion durch die Öffentlichkeit zu testen.

Teststrecke Untere Bachgasse



Dezentres Streiflicht an der Fassade



Impressionen Bemusterung Untere Bachgasse

TECHNIK Stadt testet LED-Prototyp mit guten Ergebnissen

REGENSBURG. Rund ein Drittel der Straßenbeleuchtung in Deutschland ist 20 Jahre alt und älter. Anfällige Leuchten und umweltbelastende Quecksilberlampen sind noch häufig zu finden. Regensburg hat reagiert und ein Konzept zur energieeffizienten Beleuchtung erstellt. Mit Osram und Siemens wurde eine LED-Einsatzleuchte als innovative, ökologische und ökonomisch optimierte Lösung entwickelt. Sie sollte den modernen Ansprüchen einer Straßenbeleuchtung und einer Welterbe-Stadt gerecht werden.

Erste Beleuchtungstests wurden in der Blauen Liliengasse durchgeführt. Die Ergebnisse waren durchweg positiv: Der Energieverbrauch und die Lichtverschmutzung wurden deutlich

reduziert, die Lichtqualität erhöht und das Streulicht minimiert. Um auch in einer breiten, stark frequentierten Gasse die Lichtverteilung zu erproben, wurden die Wandleuchten in der Unteren Bachgasse jetzt mit dem Prototyp bestückt. Die Gasse ist gleichmäßig erhellt, die Lichtstrahlen werden gezielt nach unten geführt; damit wird die Blendwirkung nach oben deutlich reduziert und bewohnte Geschosse bleiben nachts von störendem Licht verschont, so das Fazit. Nach der Testphase werden die Erkenntnisse in die Weiterentwicklung der LED-Leuchtechnik einfließen. Ab 2010 wird die gesamte Altstadtbeleuchtung saniert und schrittweise auf die LED-Leuchten umgestellt.

Ergebnisse der beiden Testphasen

Die Erfahrungen aus der Testphase mit der Umstellung auf LED-Beleuchtung in der Regensburger Altstadt können wie folgt bewertet werden:

- Die mit LED-Lampentechnik ausgerüsteten Leuchten können das Licht gezielter als konventionelle Systeme lenken.
- Die LED-Lampen verhindern Lichtimmission, Lichtverschmutzung sowie Unter- und Überbeleuchtung.
- Die LED-Technik führt zum niedrigsten Stromverbrauch von 0,6 W/m², während andere Systeme 1-2 W/m² benötigen.
- Die Wirkleistung konnte von 90 W (HQL) auf 42 W/52 W pro Leuchte reduziert werden.
- Der Farbwiedergabeindex wurde von 60 auf 80 angehoben (gute Gesichtserkennung).
- Die Farbtemperatur wurde von 4.200 K auf 3.000 K reduziert (warmweißes Licht).
- Die Lichtimmission in Wohnräume ist bei LED-Beleuchtung am unproblematischsten, da das Licht am besten gelenkt werden kann.
- Die Anwendungseffizienz wurde erhöht: Der Lichtstrom fällt dorthin, wo er gewünscht ist; die Fassadenanstrahlung beschränkt sich mehr auf den unteren Bereich.
- LED-Lampen ziehen im Gegensatz zu Leuchtstoff- und Metaldampfleuchten keine Insekten an.

5. Anwohner- und Passantenbefragung

Öffentlichkeitsbeteiligung für eine neue Technik

Nach Abschluss der Testbeleuchtung in der Blauen-Lilien-Gasse (enge Gasse) wurde die als Geschäftsstraße stark frequentierte Untere Bachgasse (breite Gasse) mit den entwickelten LED-Lampenkörpern ausgerüstet. Ziel dieser Aktion war es, die technischen Wirkungen und das Erscheinungsbild dieser neuen Lösung an Ort und Stelle zu testen und der Öffentlichkeit vorzustellen.

Neben der Beteiligung der Denkmalpflege wurden in die Bewertung der neuen innovativen und zukunftsweisenden LED-Technik auch die Anwohner und Passanten in den beiden Gassen mit eingebunden und eine begleitende Befragung durchgeführt. Eine frühzeitige Öffentlichkeitsbeteiligung wurde für erforderlich gehalten, da die LED-Lichttechnik einen Paradigmenwechsel in der Straßenbeleuchtung darstellt, an dessen Wirkungen sich die Bürgerinnen und Bürger erst noch gewöhnen müssen. Die Bewertung der Bevölkerung bildet eine wichtige Grundlage für die Akzeptanz einer neuen zukunftsweisenden Lichttechnik, die es möglich macht, bei der energieeffizienten Beleuchtung der Altstadt ein wichtiges Stück voranzukommen. Dies ist ein wichtiger Beitrag zum Umwelt- und Klimaschutz einerseits und einer neuen Lichtwirkung in der welterbegeachteten Altstadt andererseits.

In der **Anwohnerbefragung** wurden zunächst die vorhandenen Kenntnisse der Vorteile der LED-Technik wie Energieeffizienz, lange Lebensdauer, die Wartungsfreundlichkeit, die hohe Leuchtdichten, die gute Ausleuchtung, die Ökologie-, Klima- und Insektenfreundlichkeit abgefragt. Anschließend sollten durch die Anwohner die Wirkungen der neuen LED - Beleuchtung in Bezug auf Helligkeit, die gleichmäßige Ausleuchtung der Straße, die Lichtfarbe, die Erkennbarkeit der Personen, das Sicherheitsgefühl in der Nacht, das Erscheinungsbild des Leuchtenkörpers bei Tag, die reduzierte und weniger störende Ausleuchtung von Fassaden und Wohnungen ab dem 1. Obergeschoss und die Blendung beurteilt werden.

Auch die **Passantenbefragung** bezog sich auf die Wirkungen der neuen LED-Technik. 77 Personen gaben ihre Meinung zur neuen Beleuchtungstechnik in der Unteren Bachgasse ab.

Ergebnis der Befragung

Anwohnerbefragung zum LED-Straßenbeleuchtung in der Unteren Bachgasse und Blauen-Lilien-Gasse

Frage: Wie bewerten Sie die Beleuchtung der Unteren Bachgasse/Blauen-Lilien-Gasse mit LED-Technik? Kriterien	sehr gut	gut	befriedigend	ausreichend	mangelhaft	ungenügend	keine Angabe/ Beurteilung
Helligkeit	33,3%	33,3%	13,3%	4,4%	4,4%	2,2%	8,9%
Gleichmäßige Ausleuchtung der Straße	28,9%	22,2%	28,9%	4,4%	0,0%	4,4%	11,1%
Lichtfarbe	17,8%	31,1%	26,7%	8,9%	4,4%	2,2%	8,9%
Erkennbarkeit von Personen	22,2%	28,9%	20,0%	6,7%	2,2%	2,2%	17,7%
Sicherheitsgefühl in der Nacht	24,4%	37,8%	15,6%	4,4%	4,4%	2,2%	11,1%
Erscheinungsbild des Leuchtenkörpers bei Tag	24,4%	46,7%	11,1%	0,0%	4,4%	0,0%	13,3%
Weniger Licht an den Fassaden und in den Wohnungen	20,0%	20,0%	11,1%	2,2%	0,0%	2,2%	44,5%
	sehr gering	gering	mittel	stark	sehr stark		keine Beurteilung
Blendung	31,1%	37,8%	6,7%	4,4%	0,0%		20,0%

Insgesamt haben 45 Personen an der Anwohnerbefragung in der Unteren Bachgasse und in der Blauen-Lilien-Gasse teilgenommen. Die meisten Kriterien wurden mit einer Spanne zwischen 51% und 71% mit „sehr gut“ bis „gut“ bewertet. Die Quote bei „sehr gut“ bis „befriedigend“ lag sogar zwischen 71% und 82%.

Auch die geäußerten Kommentare zur den Wirkungen des LED-Lichts in den Altstadtgassen waren durchwegs sehr positiv, von „*Straßenbild ist lebendiger, angenehmere Lichtfarbe*“ über „*positiv - bessere Lichtstreuung, weniger Blendung*“ bis „*energiesparend, Straßenzug wirkt harmonischer und Gebäude weniger dominant*“. Kritische Äußerungen waren: „*Blendet bei direkter Betrachtung*“ „*evtl. höhere Anschaffungskosten*“ / „*Die LED Lichter sind vollkommen schlecht.*“

Besonders erwähnenswert war die mehrheitliche Aussage (fast 90%) der befragten Anwohner, die sich aufgrund der lichttechnischen Vorteile, der Energieeffizienz (fast 50% weniger Strom) und CO₂-Reduzierung für die Umsetzung des Projekts „Sanierung der Altstadtbeleuchtung“ Altstadt aussprachen. 87% halten den Einsatz der neuen LED-Lichttechnik in der vorgestellten Form in der welterbebeschützten Altstadt für durchaus altstadtgerecht.

Aus dem Befragungsergebnis lässt sich erkennen, dass sich die befragten Anwohner mit dem Thema innovative Altstadtbeleuchtung intensiv beschäftigt haben. Daraus lässt sich schließen, dass das Bemühen der Verwaltung, bei der Sanierung der Altstadtbeleuchtung die energiesparende, klimaschonende Einsatz der LED-Technik mit ihren lichttechnischen und betrieblichen Vorteilen einzusetzen, bei den Bürgern ausgesprochen positiv gesehen wird.

Passantenbefragung zum LED-Straßenbeleuchtung in der Unteren Bachgasse

Frage: Wie bewerten Sie die Beleuchtung der Unteren Bachgasse mit LED- Technik?

Kriterien	trifft voll und ganz zu	trifft zu	Unentschieden	trifft nicht zu	trifft überhaupt nicht zu	keine Angabe/ Beurteilung
Die Gasse wirkt hell	31,2%	41,6%	9,1%	15,6%	1,3%	1,3%
Die Lichtfarbe gefällt	19,5%	35,1%	6,5%	22,1%	16,9%	0,0%
Das Licht blendet	13,0%	19,5%	13,0%	23,4%	31,2%	0,0%
Die Beleuchtungsstärke ist richtig	24,7%	50,6%	7,8%	9,1%	7,8%	0,0%
Die Lichtpunkte der LED-Lampen stören	18,2%	14,3%	10,4%	23,4%	33,8%	0,0%
Weniger Licht an den Gebäuden	15,6%	42,9%	26,0%	7,8%	5,2%	2,6%
Die LED-Lampe gefällt	27,3%	32,5%	15,6%	10,4%	14,3%	0,0%
Die LED-Lampe passt in die historische Altstadt	23,4%	32,5%	11,7%	15,6%	16,9%	0,0%

Auch die **Passantenbefragung** bezog sich auf die Wirkungen der neuen LED-Technik. 77 Personen gaben ihre Meinung zur neuen Beleuchtungstechnik in der Unteren Bachgasse ab. Die Bewertungen aus der Anwohnerbefragung wurden dabei voll bestätigt.

Fazit der Befragung

Insgesamt gesehen ist die Befragung der Bürgerinnen und Bürger als Plädoyer für das gemeinsam mit den Kooperationspartnern OSRAM Semiconductors/Siemens Regensburg entwickelte Konzept der energieeffizienten Erneuerung der alten Leuchtmittel in der historischen Altstadt mit LED-Technik zu sehen. Sie bestätigt, dass die Mehrheit der Bürgerinnen und Bürger für Innovationen sehr aufgeschlossen ist, die langfristig Kosten sparen und den Zielen des Umweltschutzes entsprechen.

Umsetzung der Maßnahme

Nach Abschluss der Testphase, der Befragung und den Beschlüssen durch den Stadtrat wurden die von OSRAM, Regensburg entwickelten LED - Retrofits durch die Fa. Siemens, Regensburg, für die Umrüstung von 228 Altstadtleuchten gefertigt.

Der Einsatz der LED - Retrofits in die Altstadtleuchten und Montage vor Ort wurden durch die Mitarbeiter des Fachbereiches Straßenbeleuchtung des Tiefbauamtes durchgeführt. Auf diese Weise konnten sich die Mitarbeiter mit der neuen LED-Lampentechnik vertraut machen.



Öffentlichkeitsarbeit

Über die Maßnahme wurde umfassend in der Fachpresse, in den Medien und bei Fachtagungen (7. Fachtagung Straßen- und Außenbeleuchtung 2009 in Fulda, Energietagung Umweltbundesamt in Regensburg, 10. ETP-Tagung Köln, Tagung Bundeswettbewerb 2011 in Berlin) berichtet.

Romantische Stimmung

WELTKULTURERBE Leuchtdioden LED illuminieren Gassen in der Altstadt sparsam und stilgerecht.

REGENSBURG. Dass eine historische Altstadt durchaus stilgerecht und dabei energiesparend mit LED beleuchtet werden kann, zeigen OSRAM Opto Semiconductors und Siemens in Regensburg. Die Firmen haben eine Retrofit-Lösung entwickelt, die den Ansprüchen einer modernen Lichtlösung ebenso gerecht wird, wie denen einer zum Weltkulturerbe zählenden Stadt.

Eingesetzt werden Golden Dragon Plus LED. Sie fügen sich diskret in die vom Denkmalamt vorgegebenen Leuchten ein und bringen das Licht exakt an den gewünschten Ort, sodass auch keine Lichtverschmutzung auftritt. Regensburg hat enge Gassen, zahlreiche Kurven sowie Straßen, die weder in der Länge noch in der Breite

in ein Einheitsschema passen. „Die klein gegliederte Stadt braucht deshalb geeignete Leuchten, die das historische Ambiente unterstreichen“, sagt Susanne Ketterl von OSRAM. Damit stets angenehmes Licht entsteht, sind die unterschiedlichen Farben der Gebäude zu berücksichtigen. Ebenso müssen die Art ihrer Nutzung, Farbtemperatur sowie Farbwiedergabeindex entsprechend angepasst werden. So darf das Straßenlicht beispielsweise in Wohngebäuden nicht blenden oder in Restaurants mit Kerzenschein die romantische Stimmung negativ beeinflussen.

„Die LED-Variante von OSRAM und Siemens ist ideal: Die moderne Lichtlösung lässt sich hervorragend in die historische Altstadt integrieren und bringt zudem noch Vorteile wie Energieeinsparung, keine Lichtverschmutzung und optimierte Fassadenbeleuchtung mit sich“, sagt auch Alfons Swaczyna, Leitender Baudirektor und Leiter des Tiefbauamts der Stadt.

Bericht Mittelbayerische Zeitung

Rundschau - Mittwoch, 24. November 2010

Altstadt strahlt im LED-Licht

Nach dem erfolgreichen Pilotprojekt werden 200 weitere Leuchten in der Innenstadt mit LED-Technik bestückt.

Von Barbara Simon

Regensburg. Dass sich innovative Lichttechnik und historisches Altstadtflair bestens vertragen, hat das Pilotprojekt in der Blauen-Lilien-Gasse und in der Unteren Bauchgasse in den vergangenen Monaten gezeigt. In den Umfragen äußerten sich Anwohner, Bürger und Passanten durchwegs positiv zu den neuen Lichtpendern. Jetzt werden bis Ende des Jahres 2011 im gesamten Altstadtbereich 200 Wandeluchten mit den innovativen LED-Leuchtmitteln bestückt, die Hälfte davon soll noch im November und Dezember installiert werden.



Freuen sich über die neuen LED-Lampen: (v. li) Wilhelm Meierhofer, Siemens-Niederlassungsleiter, Dr. Michael Fiebig von Siemens Opto Semiconductors und Tiefbauamtsleiter Alfons Swaczyna. Foto: ab

Mit der innovativen Lichttechnik möchte die Stadt Regensburg nicht nur die historischen Gemäuer ins richtige Licht rücken, vielmehr sind die neuen

Lampen auch energieeffizienter, langlebiger und wartungsfreundlicher als ihre Vorgänger: „Durch das warme Licht bleibt die natürliche Farbqualität der

Fassaden erhalten“, erläutert Dr. Martin Möck von Siemens Opto Semiconductors. Nicht zuletzt sind die LED-Leuchten ein Beitrag gegen die Lichtverschmutzung: „Der Lichtpegel kann so eingestellt werden, dass das Licht nicht nach oben in den Himmel abgegeben wird, sondern dorthin, wo es gebraucht wird“, so Möck weiter.

Für das Konzept wurde die Stadt 2009 im Rahmen des Bundeswettbewerbs „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ ausgezeichnet und erhält nun einen Zuschuss: 60 Prozent der Investitionssumme von 200.000 Euro werden vom Umweltinnovationsprogramm übernommen.

Entwickelt wurde das Lichtkonzept vor Ort von Siemens und Osram Opto Semiconductors: „Die Anforderungen an ein Lichtkonzept in einer historischen Stadt wie Regensburg sind hoch“, beschreibt Dr. Michael Fiebig von Osram Opto Semiconductors die Pionierarbeit in der Domstadt: „In Zukunft könnte das Lichtkonzept auch für andere historische Städte in Europa interessant werden.“

- **Skizzierung der innovativen Lösung**

Es wurde mit der LED-Technik ein modularer Leuchtmittelprototyp mit gelinsten und diffusen LEDs entwickelt, der gerichtete und variable Akzentbeleuchtung auf historische Fassaden und Wege für historische Stadträume mit ihren verwinkelten Straßen und historischen Gebäuden möglich macht. Neben dem Energievorteil bieten warmweiße „Golden Dragon Plus“-Leuchtdioden mit einer entwickelten Lichttechnik aus geneigten Linsen und einem maßgeschneiderten Lochblech die Möglichkeit, Fassaden und Straßen viel exakter und zielgerichteter als bisher zu beleuchten. Die ruhigen LED-Module im unauffälligen dunklen zylindrischen Gehäuse fügen sich in die bereits bestehenden historischen sechs- oder viereckigen Lampegehäuse ein. Sie müssen nicht ersetzt werden und verbergen das technische Innenleben. Die gemütliche Lichtfarbe von 3000K und CRI 80 wurde erreicht.

Hinter dem schwarzen, gelochten Kolben sind gleich mehrere, im Kreis angeordnete Leuchtdioden-Riegel angeordnet. Unabhängig voneinander lassen sich der Lichtkegel und die Intensität exakt einstellen. Das meiste Licht kann direkt auf den Strassen und Gassen geleitet werden und nicht rundum den Nachthimmel „lichtverschmutzen“. Zusätzlich lassen sich noch interessante Details der Gebäudearchitektur neben oder über der Lampe dezent betonen. Fenster, hinter denen Menschen wohnen, lassen sich vorteilhaft abschatten. Lichtimmissionen in die oberen Geschossfenster werden komplett eliminiert, was mit keiner anderen Technik erreicht werden kann.

Stromverbrauch, Beleuchtungsstärke, Lichttemperatur und –Farbe, aber auch die Temperaturbeständigkeit und der Wartungsaufwand mussten genau untersucht werden. Besonders die Stromeinsparung mit der Folge der CO₂-Reduzierung, die längere Lebensdauer und die Insektenfreundlichkeit der LED-Retrofit Lampen wirken unmittelbar als maßgebliche positive direkte Umweltfaktoren des Projektes. Die positive Lichtwirkung in der historischen mittelalterlichen Altstadt zählt zu den von jedermann erlebbaren indirekten Umweltfaktoren, die das positive Image einer Stadt wie Regensburg unterstützen können.

Das ausgeführte Projekt bietet Ansätze im Sinne zukünftiger Perspektiven der Stadtbeleuchtung. In einer historischen Altstadt wie in Regensburg mit ihrer mittelalterlichen Baustruktur lässt sich mit dem Einsatz der LED-Beleuchtungstechnik eine gezieltere nutzflächenorientierte Beleuchtung etwa von Gebäuden und Fassaden oder stadtbildprägenden Denkmälern durchführen (vgl. Vortrag 2011 Prof. Völker in Berlin). Licht kann durch die LED gerichtet eingesetzt werden, d.h. nur dort wo es benötigt wird oder wenn es benötigt wird. Der Bevölkerung und den vielen Besuchern und Touristen wird ins Bewusstsein gebracht, dass Licht eine hohe Wertigkeit gerade für das nächtliche Erscheinungsbild einer Stadt hat, die ihren Preis kostet. Das Bundesprogramm „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ mit seiner Förderung hat dankenswerter Weise diese innovative Projektidee der Stadt Regensburg und seiner Industriepartner gezielt mit einem positiven Ergebnis unterstützt.

- **Vergleich vor und nach der Sanierung: Energieeinsparung oder zusätzlicher Energieverbrauch, CO₂-Minderung in Tonnen pro Jahr,**

Übersicht der Einsparungen

	Vorher	Nachher	Einsparung
Energieverbrauch/Jahr	91.928,60 kWh	41.895 kWh	54,42%
Energiekosten/Jahr	16.823,12 €	7.666,79 €	9.156,33€
CO₂/Jahr	54,79 to	24,96 to	29,83 to

(Basis: 18,3 ct/kWh; CO₂: 0,596 kg/kWh Bundeswert)

	vorher	nachher
Anzahl Leuchtstellen	228	228
Anzahl Leuchten je Leuchtstelle	1	1
Anzahl Lampen je Leuchte	1	48 LED
Leistung Lampe (inkl. Betriebsmittel)	96W	43,75W
Betriebsstunden/Jahr	4200h	4200h
Mastabstand Leuchtstellen	23-28 m	23-28 m
Höhe Leuchtstellen	4,20mtr.	4,20mtr.
Ersatzteilkosten/Jahr	880,-- €	noch nicht absehbar
Energiekosten/Jahr (0,183 €/kWh in Regensburg)	16.823,50 €	7.666,79 €
Eingesetzte Lampentechnik	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	LED
Vorschaltgerät (z.B. EVG)	KVG	EVG
Absenkung des Beleuchtungsniveaus	nein	nein
Beleuchtungsstärke bzw. Leuchtdichte (Mittel- und Min/Max-Werte)	$E_{\min}=0,4 \text{ lx}$ $E_{\max}=1,4 \text{ lx}$ $E_{\text{mittel}}= 1,0 \text{ lx}$	$E_{\min}=2,0 \text{ lx}$ $E_{\max}= 8,4 \text{ lx}$ $E_{\text{mittel}}= 4,6 \text{ lx}$
Energieverbrauch/Jahr	91.928,60 KWh	41.895 KWh

Übersicht Daten Vorher/Nachher

Stromverbrauch

In Einzelberechnungen wurden während der Entwicklungs- und Erprobungsphase der LED-Lampentechnik die lichttechnischen und nutzungsrelevanten Vorteile nachgewiesen. Insbesondere im Bereich Fassadenbeleuchtung, Lichtimmission, Lichtverschmutzung des Nachthimmels und Gleichmäßigkeit der Lichtverteilung ist die LED-Lösung unübertroffen. (s. Anlage Report Dr. Moeck, OSRAM). Verglichen wurden die alte HQL-Lösung, zwei unterschiedliche NAV 50 W, Metalldampf 70W, Kompaktleuchtstoff 18 und 24W, und LED. Im Prinzip scheiden 90% dieser Systeme aufgrund von Lichtimmission in engen Gassen aus, außer der LED und der 1X18W CFRL, die zu dunkel ist. Die anderen genannten Systeme führen zu Ungleichmäßigkeit und dramatisch hohen Beleuchtungsspitzen.

Neben dem Einbau von Stromzählern fanden vor und nach der Umrüstung begleitende Beleuchtungsmessungen für das entwickelte LED-Beleuchtungskonzept zur Wirksamkeit der Maßnahme statt.

Vor dem Einsetzen der LED-Retrofit wurde die elektrische Leistung nach Erreichen der vollen Helligkeit (15 bis 20 Minuten nach dem Einschalten) der Lampe ermittelt.

Nach der Sanierung wurde die Messung an den umgerüsteten Leuchten wiederholt.

Die Auswertungen der Messungen finden sich in der folgenden Tabelle. Die Werte beziehen sich auf die jeweilige Gesamtzahl der Leuchten (228 Stück, 4200 Brennstunden).

Auswertetabelle durch Tiefbauamt

Gemessene Werte Stromverbrauch	Einheit	Messung
Stromverbrauch vorher	W	96
Stromverbrauch nachher	W	43,75
Einsparung Strom	W	52,25
Rel. Einsparung Strom	%	54,42

Bewertung

Die Stromeinsparung liegt bei 54,42 %. Die Messwerte stimmen relativ gut mit den theoretisch berechneten Werten überein. Nachdem im Rahmen der Versuche am Pilotprojekt festgestellt wurde, dass es unter der Leuchte deutlich zu dunkel war, wurde das Retrofit modifiziert, um die Gleichmäßigkeit und die horizontale Beleuchtungsstärke zu verbessern.

Beleuchtungsstärke

Die Beleuchtungsstärke wurde ebenfalls vor und nach der Sanierung bestimmt (ILB Dr. Rönitzsch GmbH).

Gemessene Werte Beleuchtungsstärke	Einheit	Messung vorher	Messung nachher
		13.04.2010 22.15 Uhr	13.12.2011 18:15 Uhr
Minimum	lx	$E_{\min} = 0,4 \text{ lx}$	$E_{\min} = 2,0 \text{ lx}$
Maximum	lx	$E_{\max} = 1,4 \text{ lx}$	$E_{\max} = 8,4 \text{ lx}$
Mittelwert	lx	$E_{\text{mittel}} = 1,0 \text{ lx}$	$E_{\text{mittel}} = 4,6 \text{ lx}$
Gleichmäßigkeit	g_1 / g_2	0,41/0,18	0,43/0,24

Ziel des Einsatzes der LED-Technik war es, im weiterbegegeschützten Altstadtbereich eine wesentlich verbesserte Beleuchtungsqualität entsprechend den vielfältigen Nutzungsansprüchen zu erreichen.

Die minimale Beleuchtungsstärke hat sich um das Achtfache verbessert. Sie war vorher nicht zulässig. Die maximale Beleuchtungsstärke liegt unter 10 Lux, was ein sehr guter Wert ist. Die mittlere Beleuchtungsstärke hat sich um Mehr als das Vierfache verbessert. Die Werte für die Gleichmäßigkeit längs und quer haben sich auch positiv verändert.

CO₂ – Minderung

Auf der Basis des Bundeswertes von 0,596 kgCO₂ /kWh ergibt sich durch die Umrüstung der alten 228 Lampen (HQL) auf die LED-Lampentechnik insgesamt eine Minderung von ca. 25 to.

Wartung

Ein weiterer Effekt der Sanierungsmaßnahme ist, dass die neu eingesetzten LED-Lampen eine wesentlich höhere Lebenserwartung haben als die bisher eingesetzten Quecksilberdampflampen (8.000 bis 10.000 Stunden). Dadurch vergrößern sich die Wartungsintervalle von einer insbesondere durch Verschmutzung jährlichen Inspektion auf eine 3-jährliche Inspektion mit intensiver Reinigung des Leuchten- und Lampenkörpers innen und außen. Der Lampenwechselzyklus selbst wird wegen der längeren Lebensdauer der LED-Retrofit wesentlich größer.

Kostendaten und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Daten zur Beurteilung der finanziellen Auswirkungen des LED-Umrüstungsprojektes (220 LED-Retrofits) in der Altstadt sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Finanzielle Auswirkungen	Einheit	LED-Projekt Altstadt
Zuwendungsfähige Ausgaben	€	288.590,04 €
Investitionszuschuss	€	173.154,03 €
Eigenanteil Ausgaben (40%)	€	115.436,01 €
Einsparung Energieverbrauch	kWh/a	50.034,60 kWh/a
Einsparungen Energiekosten (bei 0,15 €/kWh)	€/a	7.505,19 €/a
Einsparungen Wartungskosten	€/a	4.294,00 €/a¹
Gesamteinsparungen (0,15 €/kWh)	€/a	11.799,19 €/a
Gesamteinsparungen (0,183 €/kWh)	€/a	13.450,33 €/a
Gesamteinsparungen (0,188 €/kWh)	€/a	13.800,50 €/a
Statische Rückflussdauer in Jahren bei 0,15 €/kWh, (Eigenanteil/Einsparung)	a	9,8 Jahre
Statische Rückflussdauer bei 0,183 €/kWh (Stand 2011)	a	8,6 Jahre
Statische Rückflussdauer bei 0,188 €/kWh (Stand 2012)	a	8,4 Jahre

¹⁾ 3-jährliche Wartung mit Steiger; Reinigung (innen und außen); Aufwand je 0,5h/Lampe; Stundenlohn 113 €/h; (113 €/h x 0,5h) / 3 Jahre = 18,83 €/a x 228 Lampen = 4.294 €/a;

Kostenübersicht

Investitionskosten (Material, Fremdlieferungen- und -leistungen, Personal, Sonder-/Einzelkosten; inkl. Umsatzsteuer)	Fa. OSRAM/Siemens Personalkosten Stadt	247.130,64 € 41.459,40 €
Gesamt		288.590,04 €

• Bewertung der Investitions- und Betriebskosten

Die Investitionskosten erscheinen insgesamt relativ hoch. Es ist jedoch zu bedenken, dass es sich bei den spezifisch für die Verhältnisse in der Regensburger Altstadt entwickelten LED-Retrofits um eine grundlegende Neuentwicklung handelte, mit der innovatives Neuland betreten wurde und die vielfältigen Anforderungen zu erfüllen hatte. Es war ein erheblicher Entwicklungsaufwand durch die beteiligten Partner Osram und Siemens zu leisten, um das heutige sehr gute Ergebnis der Stadtbeleuchtung einer historischen Altstadt zu erreichen, das von der Bevölkerung anerkannt wird.

Der Eigenanteil der Stadt bei den Investitionskosten bestimmt sich jeweils aus der Differenz von den tatsächlichen getätigten, förderfähigen Ausgaben und dem Investitionszuschuss in

Höhe von 60%. Mit Eigenleistungen (Montage, Installation) sich die Stadt Regensburg im Umfang von ca. 15% eingebracht.

Die Betriebskosteneinsparung wird zu 64% von der Stromkosteneinsparung beeinflusst ist. Jedoch tragen auch die verringerten Wartungskosten (Insektenfreundlichkeit=weniger Verschmutzung) einen Anteil (36%) bei. Sie ergeben sich im Wesentlichen aus der längeren Haltbarkeit der Leuchtmittel. Das Wartungsintervall verlängert sich von einer jährlichen auf eine 3-jährliche Wartung. Dabei sind hauptsächlich die Leuchten zu inspizieren und zu reinigen.

- **Wirtschaftlichkeitsanalyse**

Aus dem Quotienten von Eigenmitteln zu Gesamteinsparung wurde die statische Amortisationszeit ermittelt, die ein Indikator für die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen für die Stadt Regensburg darstellt.

Die so ermittelte Amortisationszeit des Projektes bewegt sich je nach dem anzusetzenden Strompreis zwischen ca. 10 Jahren und 8,4 Jahren. Sie liegt somit deutlich unterhalb der Lebensdauer der Anlagen (20 bis 30 Jahre für die Leuchenaufsätze und 40 bis 50 Jahre für die Maste).

Die Stromkosteneinsparung wurde dabei mit einem Strompreis von 15 Cent/kWh berechnet. In Regensburg liegt dagegen der Strompreis für die Straßenbeleuchtung im Jahr 2011 bei 18,3 Cent/kWh. Ab April 2012 wird der Strompreis sogar auf 18,8 Cent/kWh erhöht. Diese Tendenz wird sich angesichts der Energiewende und den damit verbundenen höheren Stromkosten mit Sicherheit weiter fortsetzen. Die Amortisationszeiten verringern sich damit mehr und mehr und zeigen auf, dass sich die Investitionen in die innovative LED-Lichttechnologie mit zunehmender Zeit bezahlbar machen.

- **Kosten-Nutzen-Vergleich (Eckwerte)**

Für die Umrüstung der 228 Lampen auf LED-Lichttechnik wurde insgesamt eine Investitionssumme von etwa 288.590,04 € Euro aufgewendet. Bei einem Strompreis 2011 von 18,3 Cent/kWh in Regensburg beträgt die jährliche Kosteneinsparung 9.156,71 Euro/a (Statische Amortisationszeit der Gesamtinvestition bei momentanen Energiepreisen: 8,6 Jahre).

Eine langfristige wirtschaftliche Betrachtung führt überschlägig zu einem Annuitätsfaktor von 8% und somit zu Jahreskosten für die Finanzierung der Gesamtinvestition von etwa 23.087 Euro. Diese Betrachtung zeigt, dass sich bei einer Gesamteinsparung im Jahr 2012 mit den aktuellen Energiepreisen und den reduzierten Wartungskosten sich die Investition bereits zu 57% aus der Gesamteinsparung finanzieren lässt. Dieser Wert wird noch günstiger, wenn man die aufgewendeten Entwicklungskosten für das besondere Projekt der Sanierung der Altstadtbeleuchtung als Anteil an der Investitionssumme unberücksichtigt lässt. Er wird sich zukünftig weiter erhöhen, wenn sich die Preisspanne zwischen herkömmlicher Beleuchtung und LED-Beleuchtungstechnik weiter reduziert.

Insgesamt geht diese Betrachtungsweise davon aus, dass die alte Beleuchtung (HQL) sehr ineffizient ist.

Es muss zusammenfassend aber betont werden, dass nicht alleine die eingesetzten Mehrkosten für die Wirtschaftlichkeit des Projektes zu betrachten sind. Bei einem innovativen LED- Beleuchtungskonzept in einer welterbegehrten Altstadt sind auch die nicht monetär bewertbaren Faktoren zu berücksichtigen, wie sie als Ziele im Stadtlichtplan für die Beleuchtung der mittelalterlichen Altstadt von Regensburg definiert sind. Ob diese mit der LED-Beleuchtungstechnik machbar ist, war nicht zuletzt ein Ziel des Bundeswettbewerbes. Der Nachweis und der vielfältige Nutzen konnten eindrucksvoll geliefert werden.

Anwendbarkeit der Technik

Das Pilotprojekt „Energetische Sanierung der Straßenbeleuchtung in der Altstadt von Regensburg“ im Rahmen des Bundeswettbewerbes „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ mit Beteiligung der Bevölkerung und der Umsetzung in den Jahren 2010/2011 hat als Vorzeige-

projekt folgende Entscheidungen und Aktivitäten für die weitere Anwendbarkeit der LED-Beleuchtungstechnik in Stadt und Land ausgelöst:

- Stadtrat beschließt mittel- bis langfristig den Einsatz der LED-Technik bei der Neuerschließung von Wohngebieten
- Weitere Umrüstung der Altstadtbeleuchtung (250 Stück) und von weiteren Leuchten (520 Stück) auf LED-Technik im Rahmen eines weiteren Förderprogrammes in 2012
- Neukonzeption der Beleuchtung bei der Instandsetzung der Steinernen Brücke in LED-Technik
- Einsatz der LED-Technik bei der Beleuchtung der neuen Ostumfahrung (Hauptverkehrsstraße) (ca. 300 Leuchten)
- Umrüstung der Parkbeleuchtung mit LED-Technik
- Gründung eines Arbeitskreises LED (Beteiligte OSRAM, EVU, Stadt, Landkreis) bei der Energieagentur Regensburg
- LED-Lichterfahrt der Energieagentur Regensburg am 28.11.2011 mit kommunalen Entscheidungsträgern des Landkreises Regensburg

Tabellarischer Teil

Projekt: Energetische Sanierung der Straßenbeleuchtung in der Altstadt von Regensburg durch Umrüstung auf LED-Lichttechnik

	vorher	nachher
1. Anzahl Leuchtstellen	228	228
2. Anzahl Leuchten je Leuchtstelle	1	1
3. Anzahl Lampen je Leuchte	1	48 LED
4. Leistung Lampe (inkl. Betriebsmittel)	96W	43,75W
5. Betriebsstunden/Jahr	4200h	4200h
6. Mastabstand Leuchtstellen	23-28 m	23-28 m
7. Höhe Leuchtstellen	4,20mtr.	4,20mtr.
8. Ersatzteilkosten/Jahr	880,-- €	noch nicht absehbar
9. Energiekosten/Jahr (0,18 €/kWh)	16.823,50 €	7.666,79 €
10. Eingesetzte Technik	Quecksilberdampf-Hochdrucklampen	LED
11. Vorschaltgerät (z.B. EVG)	KVG	EVG
12. Absenkung des Beleuchtungsniveaus	nein	nein
13. Beleuchtungsstärke bzw. Leuchtdichte (Mittel- und Min/Max-Werte)	$E_{\min}=0,4 \text{ lx}$ $E_{\max}=1,4 \text{ lx}$ $E_{\text{mittel}}= 1,0 \text{ lx}$	$E_{\min}=2,0 \text{ lx}$ $E_{\max}= 8,4 \text{ lx}$ $E_{\text{mittel}}= 4,6 \text{ lx}$
14. Energieverbrauch/Jahr	91.928,60 kWh	41.895 kWh

BMU -UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

BUNDESWETTBEWERB
Energieeffiziente Stadtbeleuchtung

Abschlussbericht

Zum Vorhaben:

Energetische Sanierung der Straßenbeleuchtung in der Altstadt von Regensburg

Anlage zum Abschlussbericht:

Pilotstudie in der Blauen-Lilien-Gasse in Regensburg

Entwicklung und Berechnungen i.A. der Stadt Regensburg:

Projektleiter: Herr Dr.-Ing. Martin Moeck, OSRAM Semiconductors Regensburg

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

Aufgabe:

Entwicklung eines LED-Lichtkonzeptes für die Beleuchtung der Straßen, Wege und Plätze in der weiterbegeschützten Altstadt von Regensburg

Pilotstudie in der Blauen-Lilien-Gasse in Regensburg

Entwicklung und Berechnungen i.A. der Stadt Regensburg:

Projektleiter: Herr Dr.-Ing. Martin Moeck, OSRAM Semiconductors
Regensburg



Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Blaue-Lilien-Gasse

Ausgangsdaten Blaue-Lilien-Gasse

- Länge 77 m
- Breite 1,90 m
- Fläche 146m²
- Vierstöckige Gebäude
- Lichtpunkthöhe 4,20 m
- Leuchtenabstand ca. 20 m
- Lampen: HQL 80 W Deluxe
- Energieverbrauch der 3 Lampe: 300 W
- Leuchtdichte: 2 W/m²
- Historische Leuchtengehäuse
- Lichtkosten 1300 €/Jahr
- **Beleuchtungsstärke problematisch**
Horizontale Ausleuchtung: Durchschnitt 4,9 Lux;
maximal 10,2 Lux; minimal 3,2 Lux

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

Ausgangsdaten für die Simulationsberechnung

Leistung in W für die Blaue Liliengasse für unterschiedliche Leuchtmittel:

HQL	270W
CFL 2X18W	120W
CFL 2X24W	150W
HQI	240W
NAV	180W
CFL 1X18W	60W
LED	135W

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“

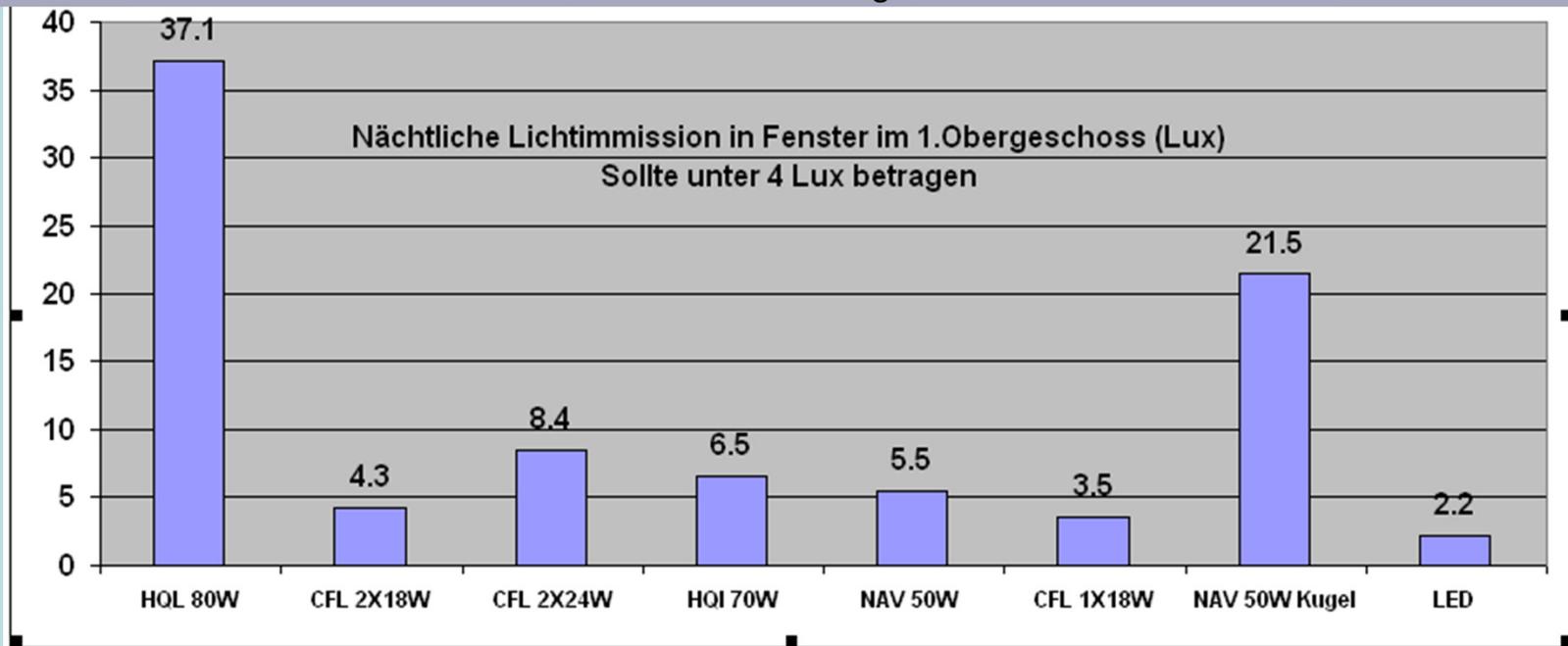
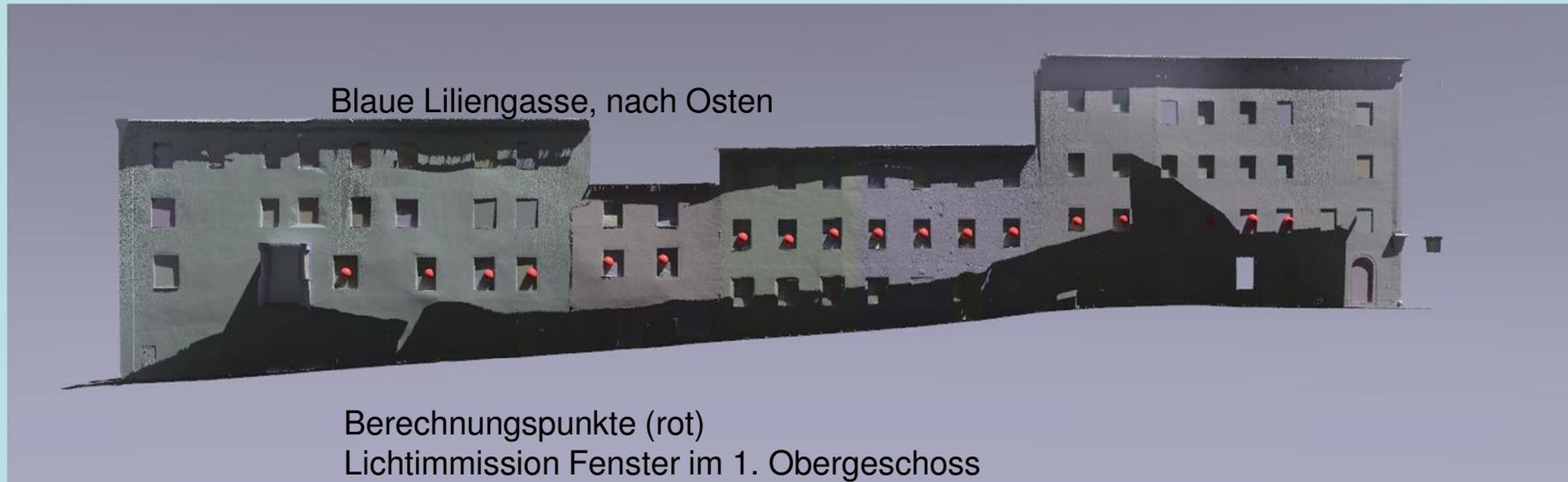
Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

1) Kriterium: Lichtimmission im Fenster

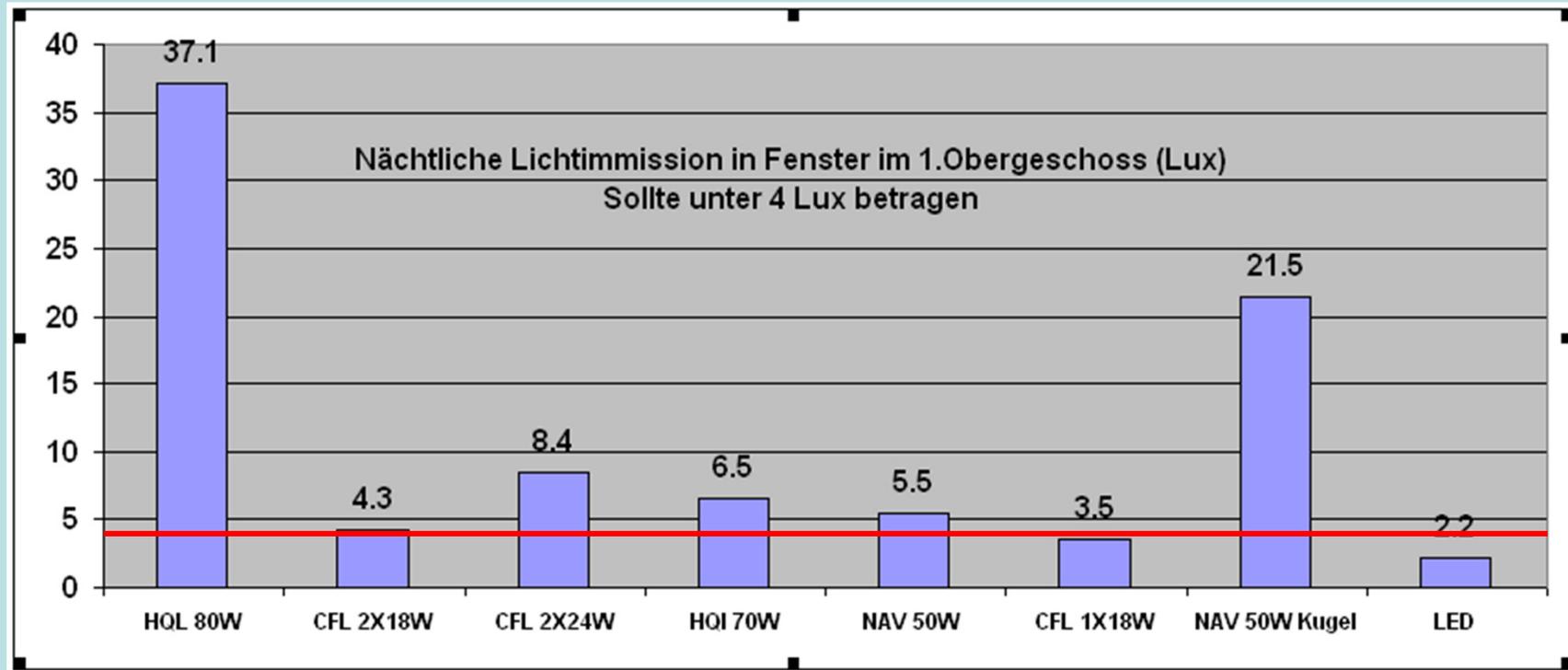
Grundlagen:

1. Publ. CIE No 92 (1991) Guide to lighting urban areas
Handbuch für Beleuchtung, SLG, LiTG, LTAG, NSVV, ecomed, 5. Auflage, III-1.3 DIN 67523
 2. Handbuch für Beleuchtung III-1.3, S. 1: In Kopfhöhe ist eine halbzylindrische Beleuchtungsstärke von 1 Lux erforderlich : van Bommel, W.J.M, Caminada, J.F.: Neue Gesichtspunkte für die Beleuchtung von Wohngebieten. Internationale Lichttrundschau 1980/3
 3. Handbuch für Beleuchtung III-1.3, 1:
... die gewählte Beleuchtungsstärke darf einerseits die Anwohner nicht stören – der Schwellenwert liegt bei 3 lux [34] ...
- [34] *Hartmann, E., et. Al.: Messung und Beurteilung der Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. Bayerisches Landamt für Umweltschutz, München 1984.*
4. Land Nordrhein-Westfalen: Geltende Erlasse (SMBl. NRW.)
Lichtimmissionen, Messung, Beurteilung und Verminderung Gem. RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz – V B 2 – 8829 – (V Nr. 5/00) -, d. Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand, Energie und Verkehr - III A 4 – 62 – 03 -, u.d. Ministeriums für Städtebau und Wohnen, Kultur und Sport - II A 4 – 850.1 - v. 13.9.2000.
 5. Anlage 01 zum RdErl. vom 13.9.2000: Tabelle 1: Wohngebiete, Mischgebiete: mittlere Beleuchtungsstärke in der Fensterebene: 1 Lux, Kerngebiete und Gewerbegebiete: 5 Lux (von 22-6 Uhr).

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Ergebnis:

Das entwickelte LED-Retrofit liegt bei den Lichtimmissionen wesentlich unter der Grenze von 4 Lux;

Auch die 1X18W CFL verursacht noch zuviel Lichtimmissionen.

**Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“
Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg**

2) Kriterium: Horizontale Beleuchtungsstärke: Mittel, Maximum

(Minimum ist immer 0)

Berechnung für gesamte Gassenlänge Blaue-Lilien-Gasse

Grundlagen:

Handbuch für Beleuchtung, III-1.3, S. 1:

III-1.3.1: Wohngebiete, Fußgängerzonen

...sollte eine mittlere horizontale Nennbeleuchtungsstärke von 3 lux mit einer Gleichmäßigkeit

$g_1 = E_{\min}/E_{\text{mittel}} = \geq 0.1$ vorgesehen werden (DIN 5044 bzw SEV 8916 ...)

**Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“
Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg**



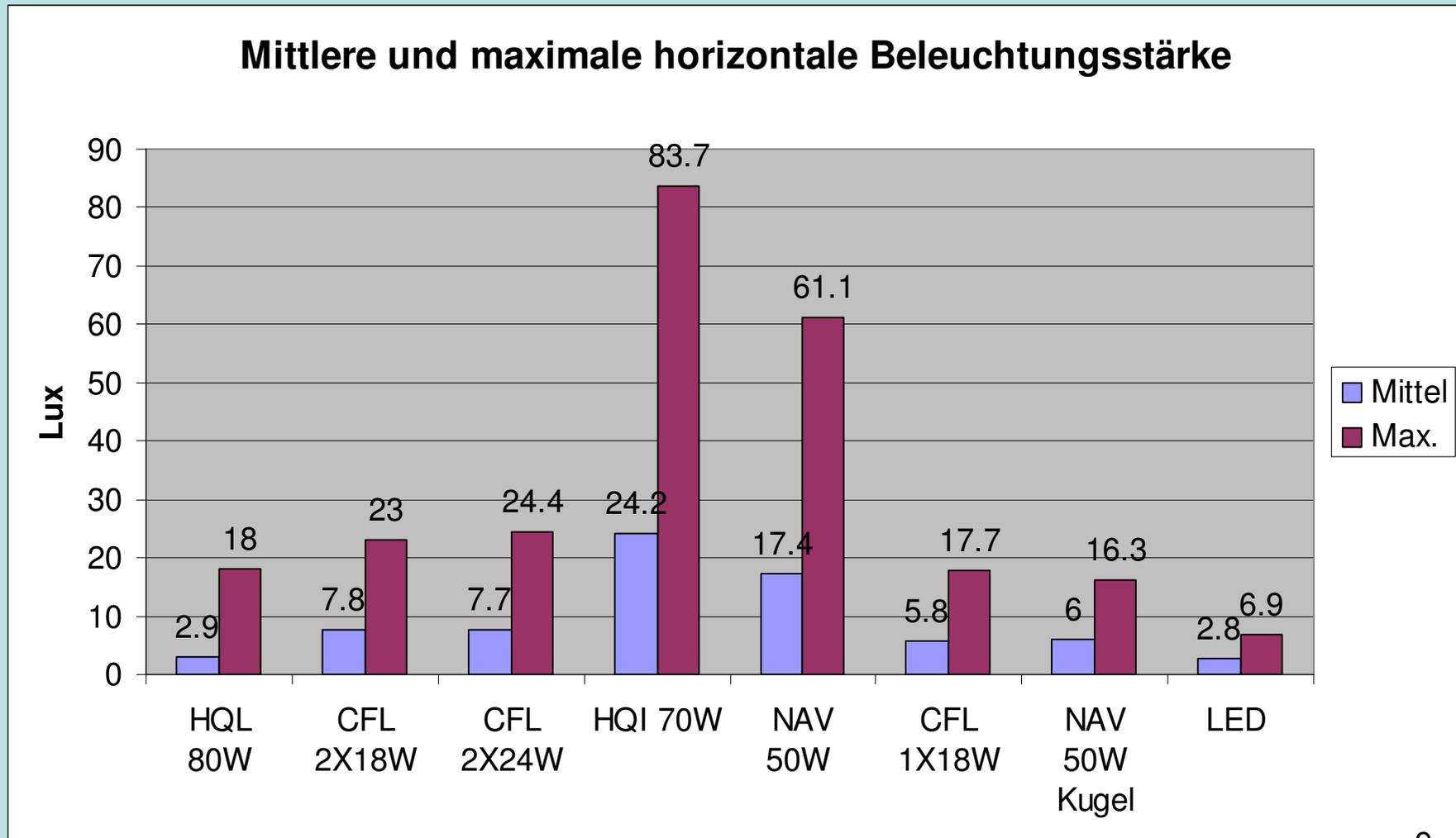
**Blaue Liliengasse
Blick nach Norden zur Donau**

Blaue-Lilien-Gasse:

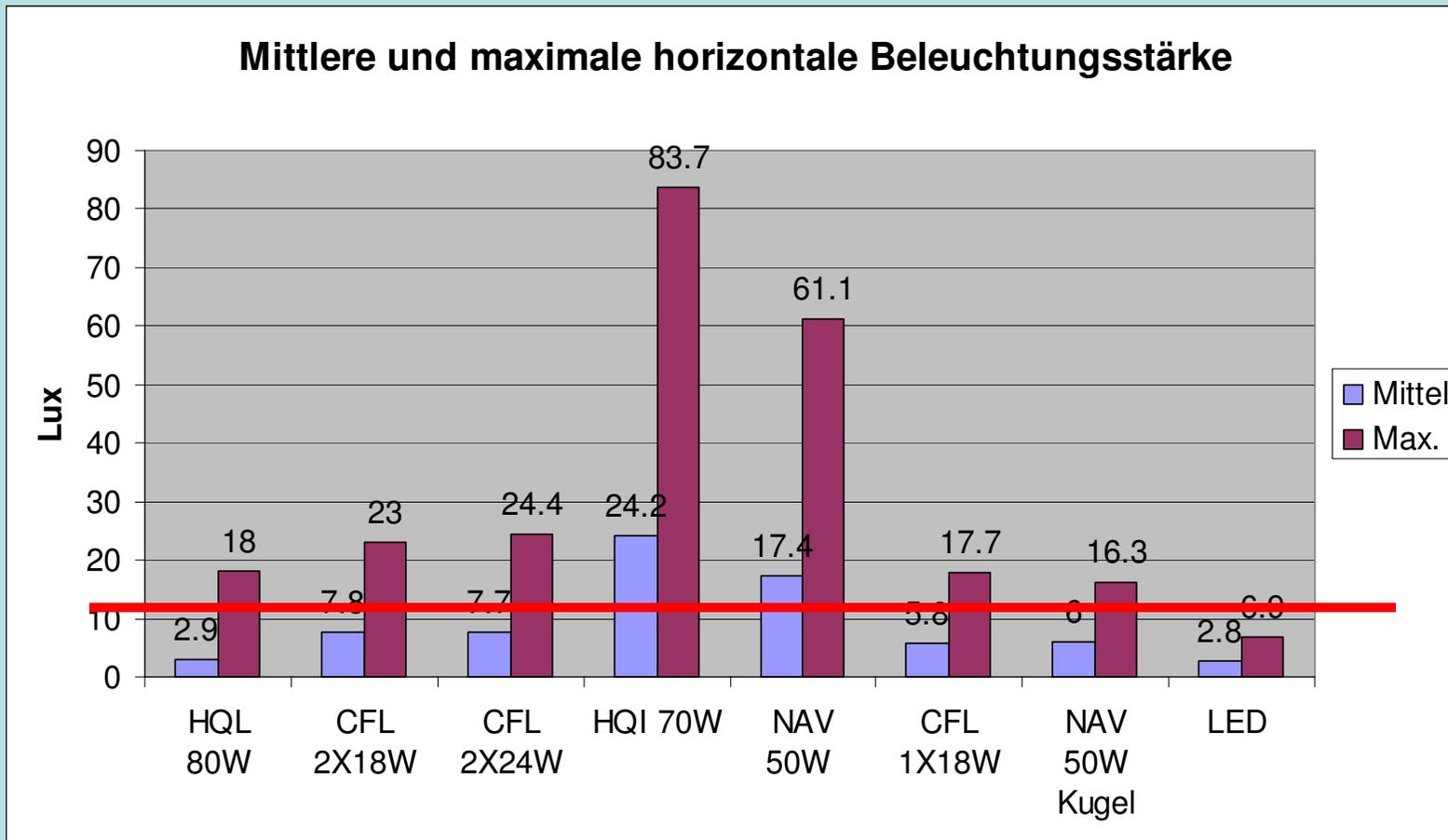
Berechnungspunkte für horizontale Beleuchtungsstärke: Mittel, Maximum

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

Berechnung der horizontalen Beleuchtungsstärke: Mittel, Maximum



Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Ergebnis:

Alle Systeme außer der alten Lösung und der neuen LED Lösung sind überbeleuchtet. Dies führt zu Lichtverschmutzung und zu hohem Energieverbrauch

**Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“
Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg**

Berechnungspunkte für horizontale Beleuchtungsstärke: Mittel, Maximum
Berechnung für gesamte Gassenlänge:

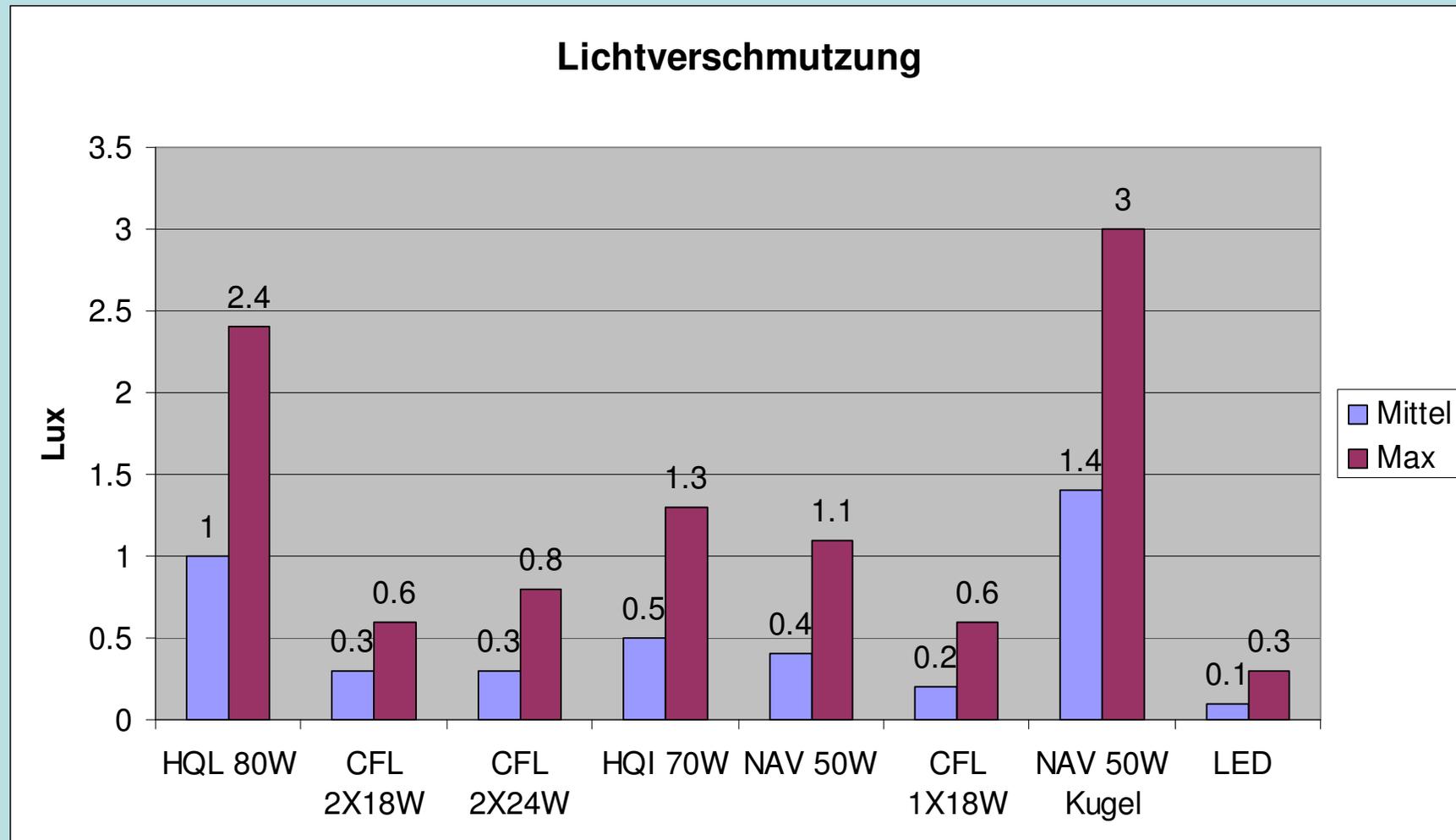
Gleichmäßigkeit $g1 = E_{min} / E_{mittel} = 0$ in allen Fällen da einige Punkte nicht beleuchtet sind

**Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“
Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg**

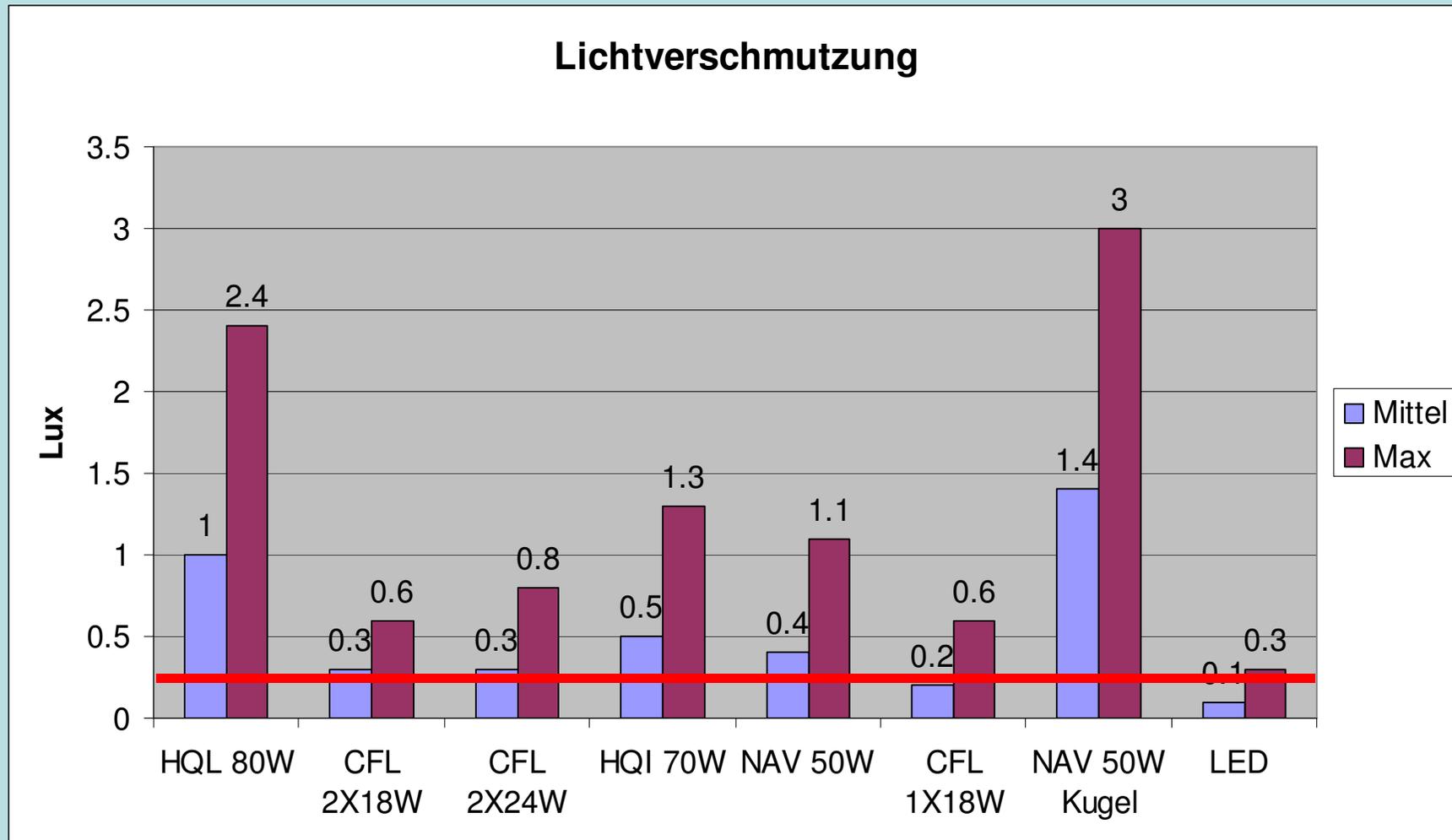
3) Kriterium: Lichtverschmutzung = nächtliche Abstrahlung in den Himmel



Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Ergebnis: Alle Beleuchtungssysteme außer CFL und LED führen zu massiver Lichtverschmutzung. Dies liegt an zu hohen Beleuchtungsstärken nach unten als auch an fehlender Lichtabschirmung nach oben

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

4) **Kriterium: Beleuchtung der Architektur** = Beleuchtungsstärke auf den unteren Fassaden

Grundlagen:

Handbuch für Beleuchtung III-1.3, 1:

... andererseits schafft die Beleuchtung der Hauswände im Erdgeschoß und in den anliegenden Horizontalflächen davor eine wirkungsvolle Barriere gegen Einbrüche. Je nach Wandreflexion sind hierfür Beleuchtungsstärken zwischen 1 und 4 lux erforderlich, die zugleich eine gute Orientierung ermöglichen...

Die Beleuchtung in Wohngebieten und Fußgängerzonen sollte ein gewisses Maß an Ausstrahlung unter flachen Winkeln haben, um die Umgebung zu beleben...

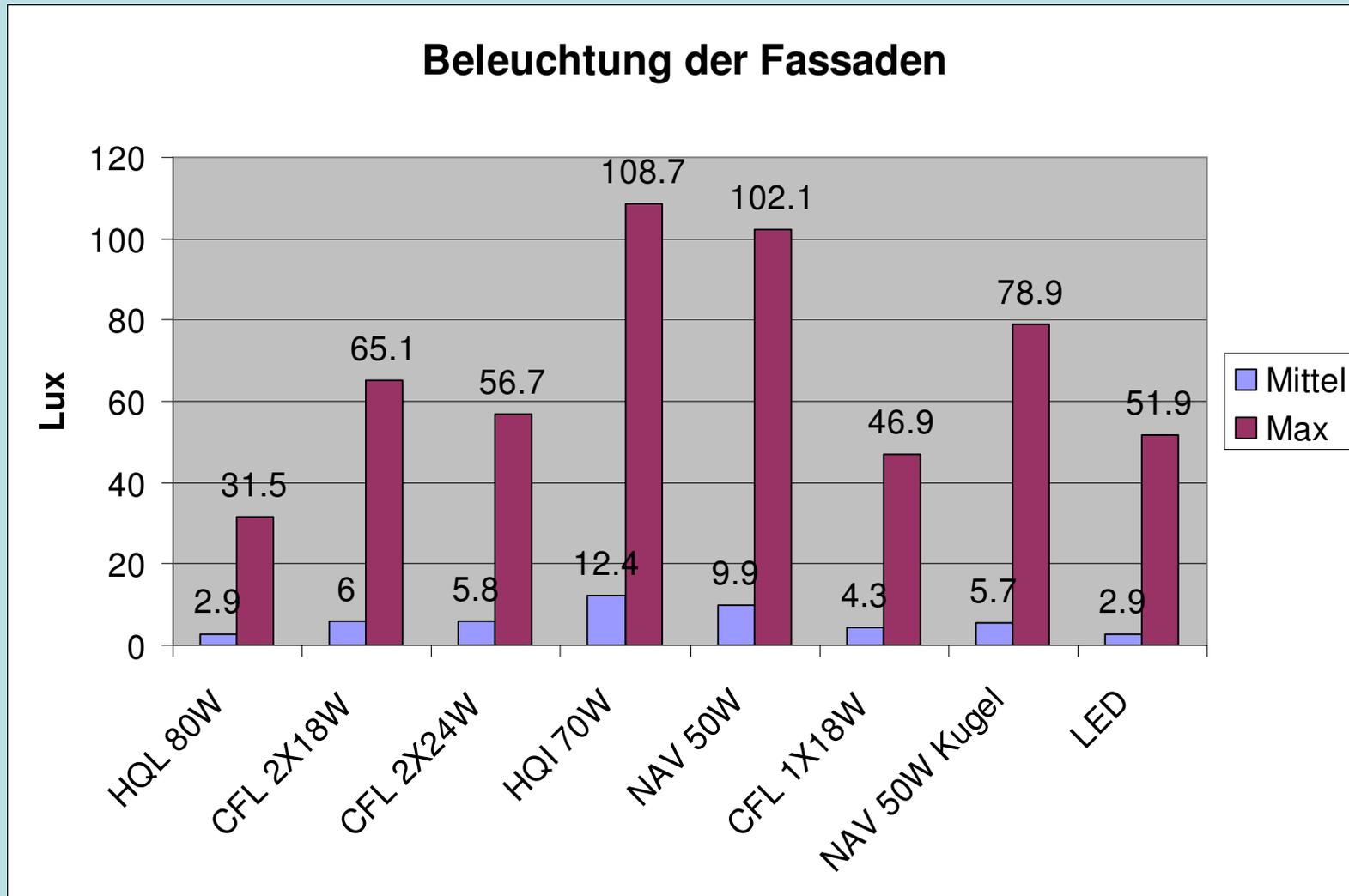
Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



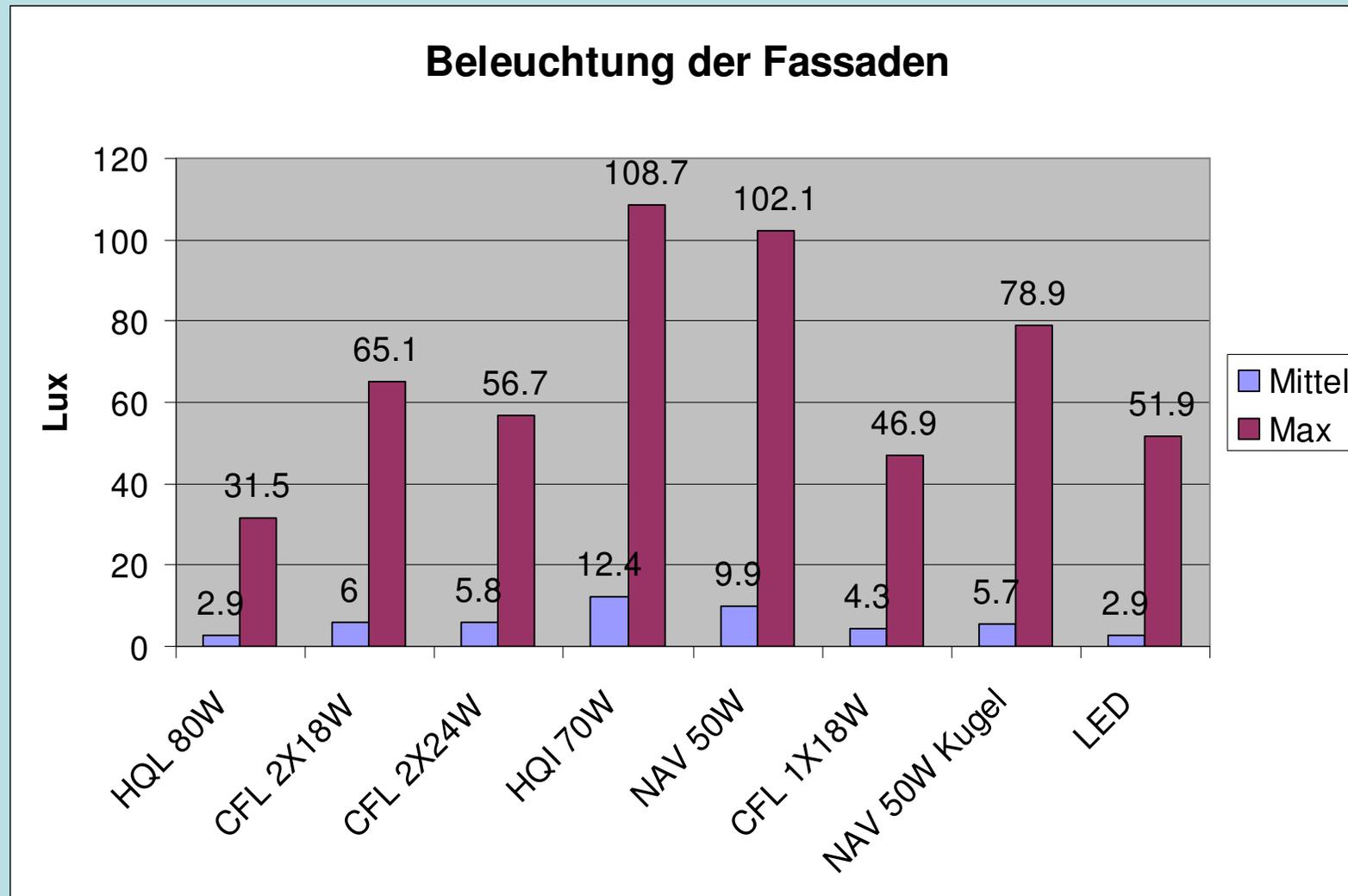
Berechnungsmodell für Beleuchtung der Architektur:
Beleuchtungsstärke auf den unteren Fassaden: Berechnungspunkte in rot

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

Beleuchtung der Architektur: Beleuchtungsstärke auf den unteren Fassaden



Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Ergebnis: Alle Systeme beleuchten die Fassaden ausreichend.
Überbeleuchtung der Fassaden bei 50 W und mehr

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

5) Kriterium: Beleuchtung von Passanten

Beleuchtungsstärke auf dem Gesicht zur Gesichtserkennung

Grundlagen:

1. Handbuch für Beleuchtung: III-1.3, S. 1

... daß in Kopfhöhe eine halbzyindrische Beleuchtungsstärke von ca 1 lux erforderlich ist. Für Begegnungen auf einem Weg sind diese Werte vor allem in der Längsrichtung der Strasse wichtig.

2. Handbuch für Beleuchtung: III-1.3, S. 2

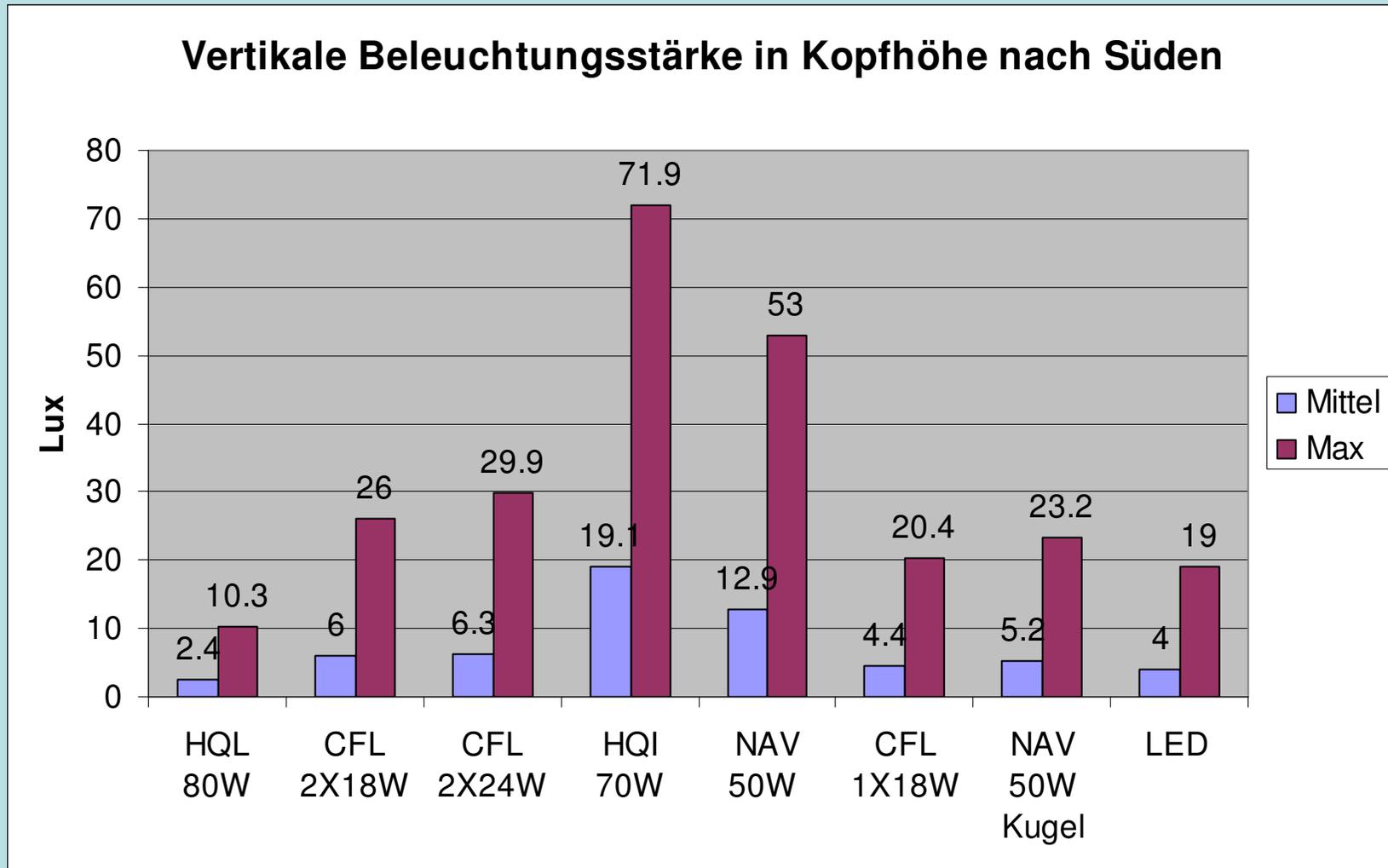
Die Beleuchtung in Wohn- oder Einkaufsgebieten wird nur dann als angenehm beurteilt, wenn das Licht so auf das menschliche Gesicht fällt, dass die Gesichtszüge auf natürliche Weise „modelliert“ werden. Das Verhältnis der vertikalen zur halbzyindrischen Beleuchtungsstärke liefert hierfür zuverlässige Informationen. E_v / E_{hz} sollte zwischen 0.8 und 1.3 liegen.

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



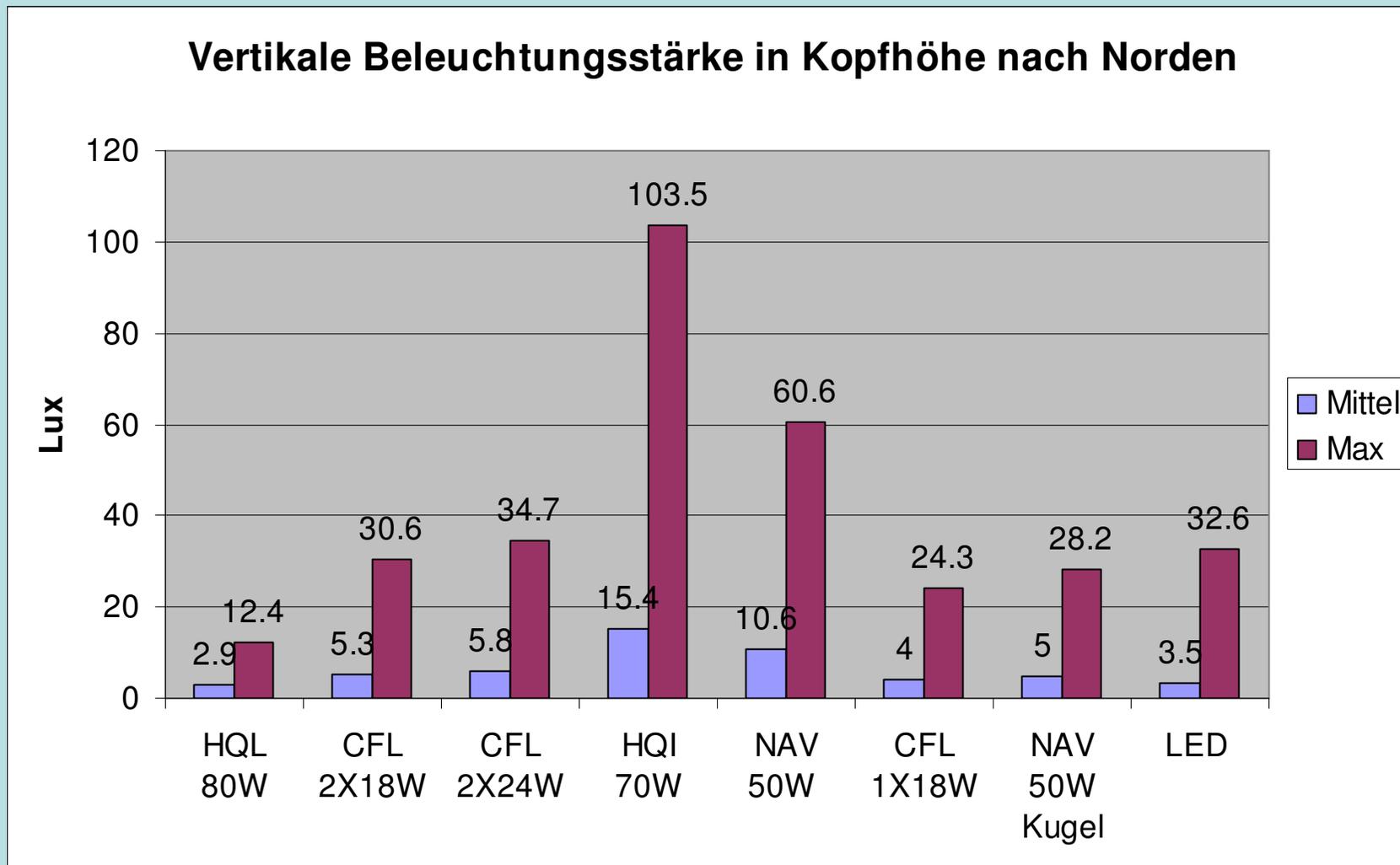
Berechnungsmodell für Beleuchtung von Passanten
Beleuchtungsstärke auf dem Gesicht in ca. 1,50 m Höhe (rote Punkte)

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



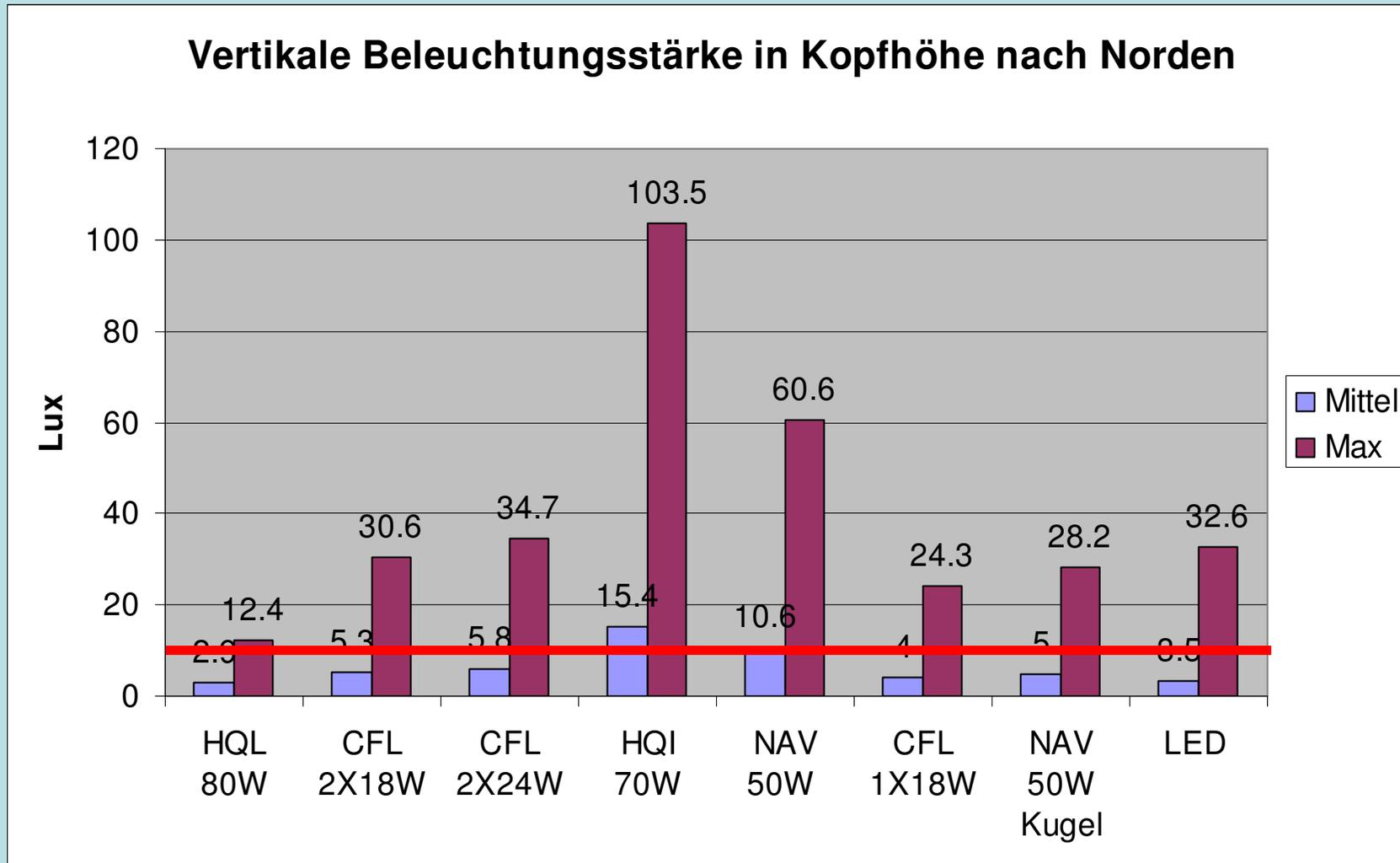
Beleuchtung von Passanten: vertikale Beleuchtungsstärke Ri. Süden

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Beleuchtung von Passanten: vertikale Beleuchtungsstärke Ri. Norden

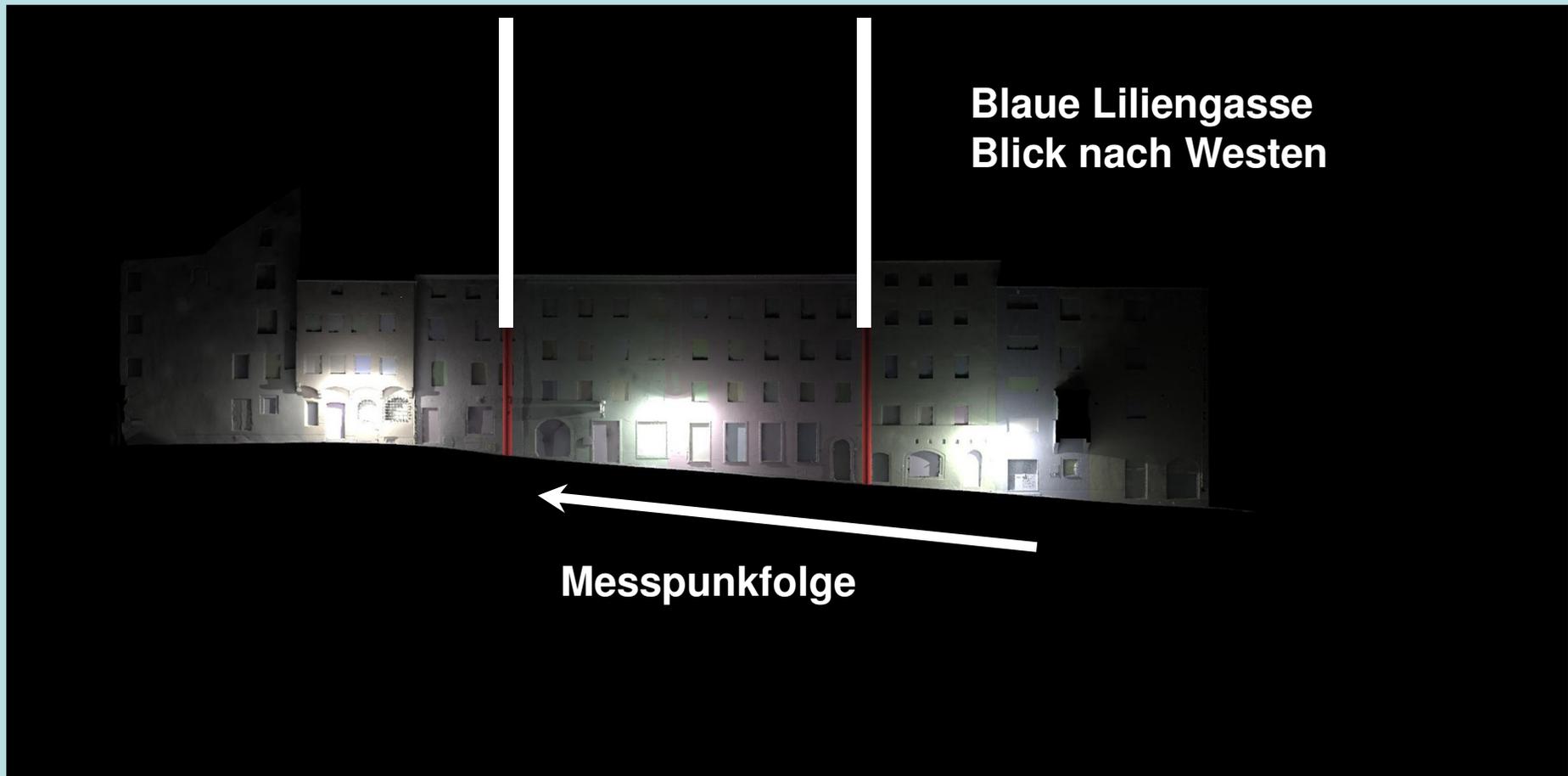
Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Ergebnis: Alle Lösungen haben ausreichende vertikale Beleuchtungsstärken 23

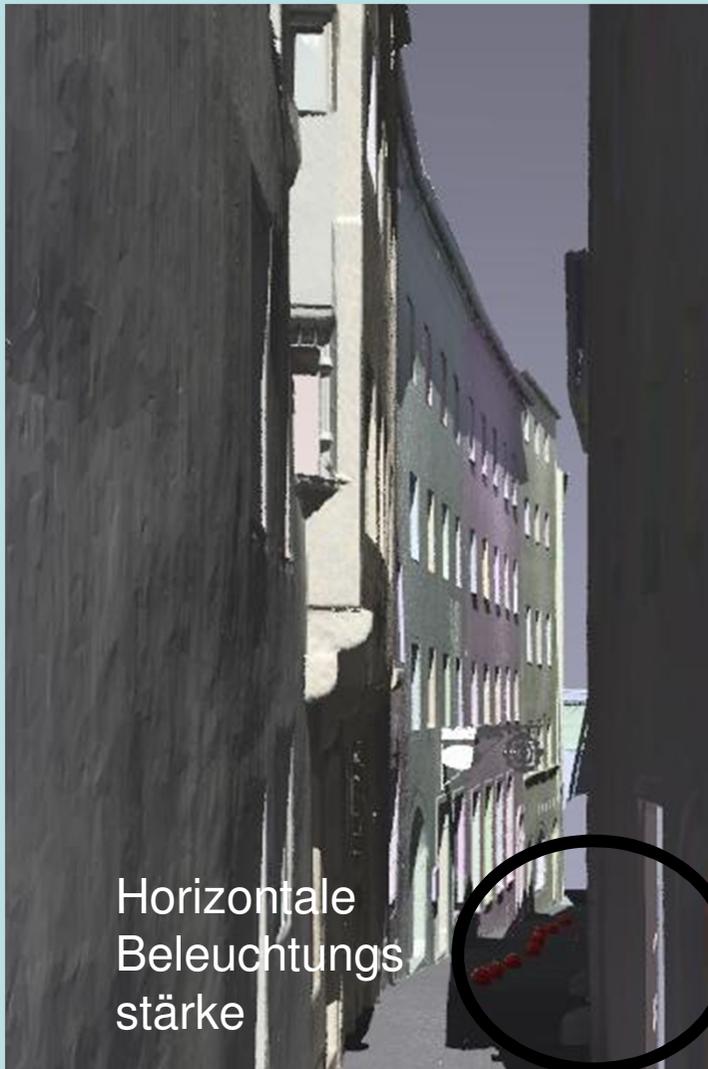
**Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“
Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg**

Berechnung Beleuchtungsstärke zwischen den Leuchten

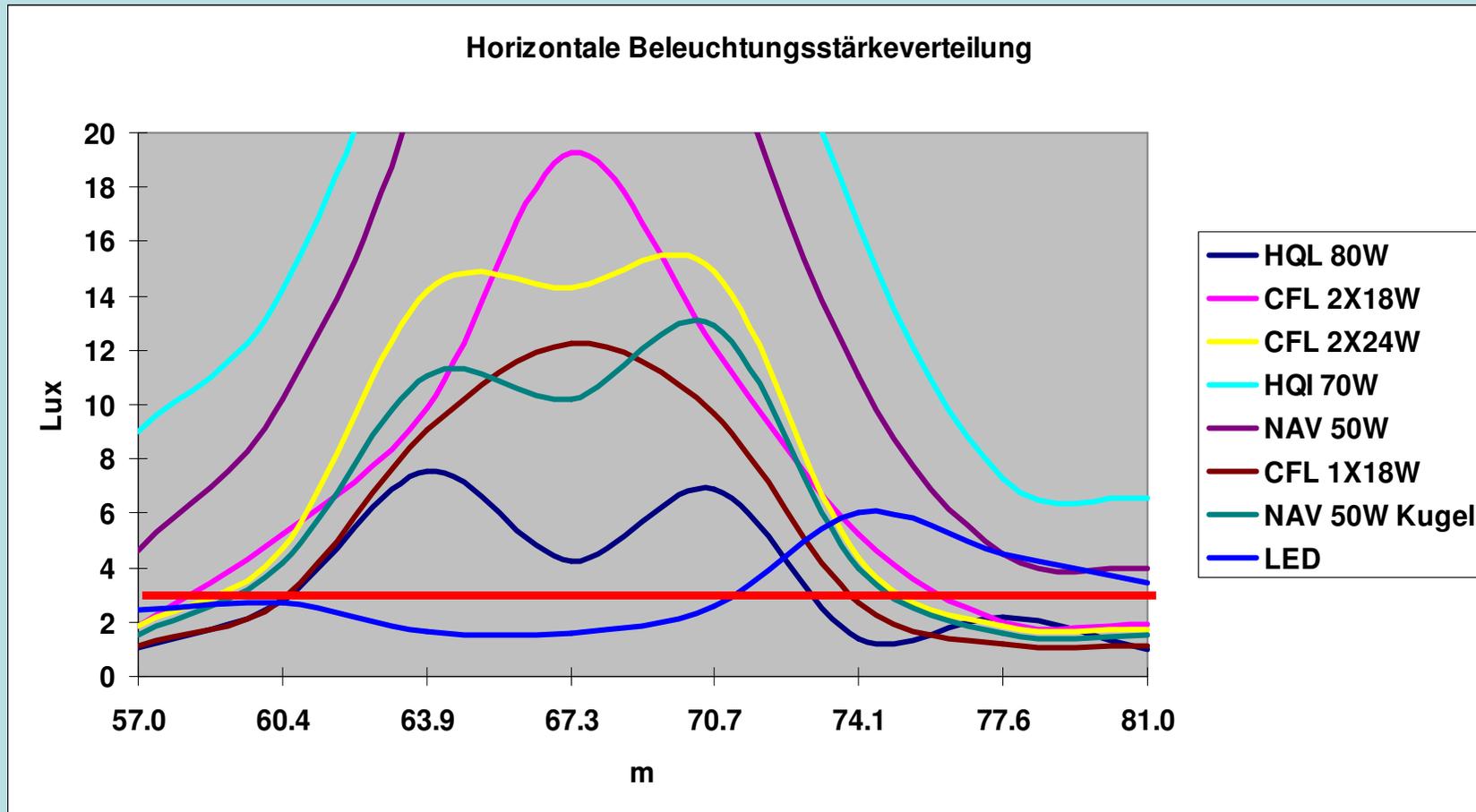


Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

Berechnungsmodell: Messpunkte in rot zwischen Leuchten in Gassenmitte

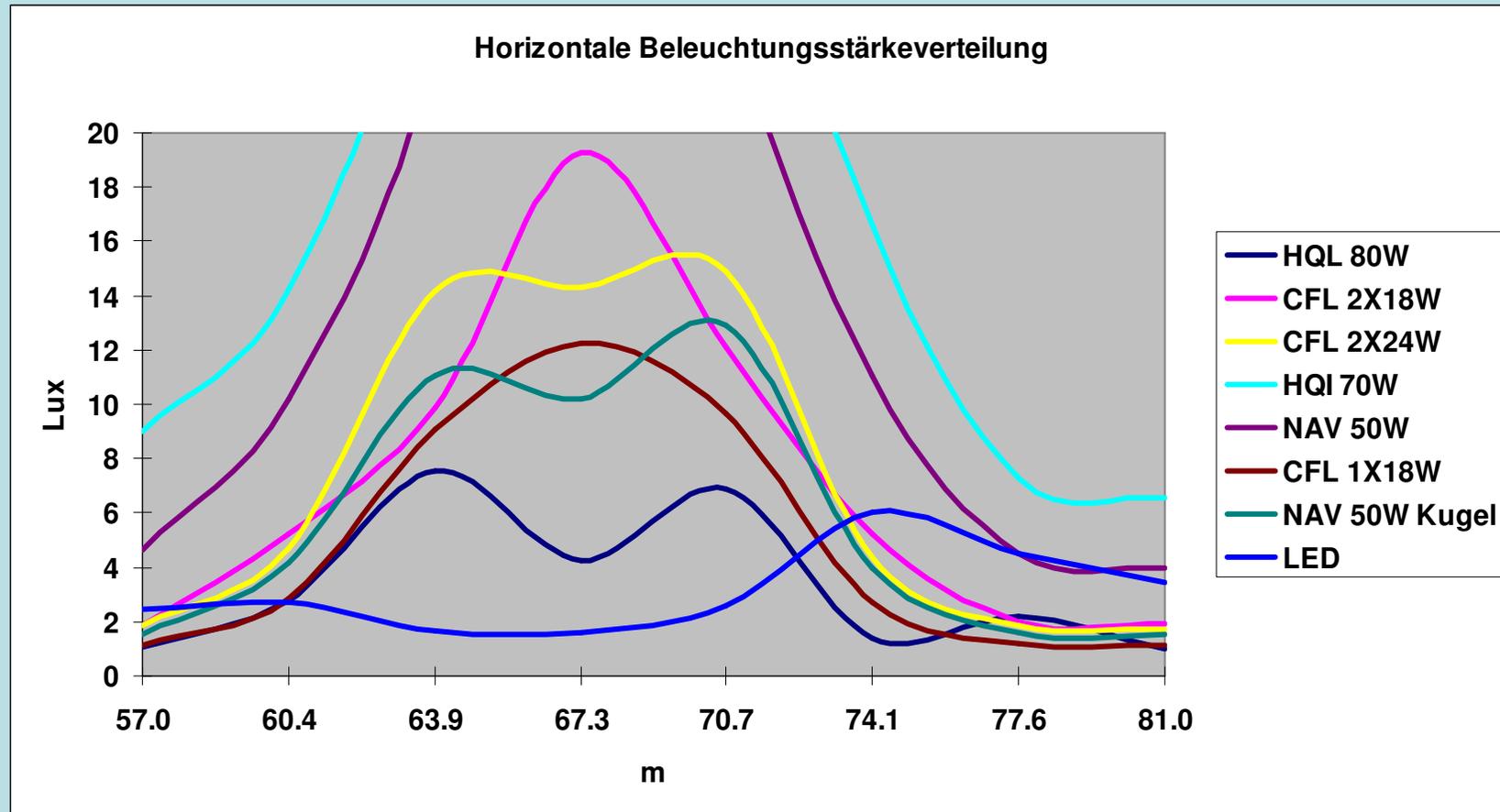


Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Ergebnis: Das LED-Retrofit hat die richtige mittlere Beleuchtungsstärke.
Alle anderen Leuchtmittel zeigen eine Überbeleuchtung

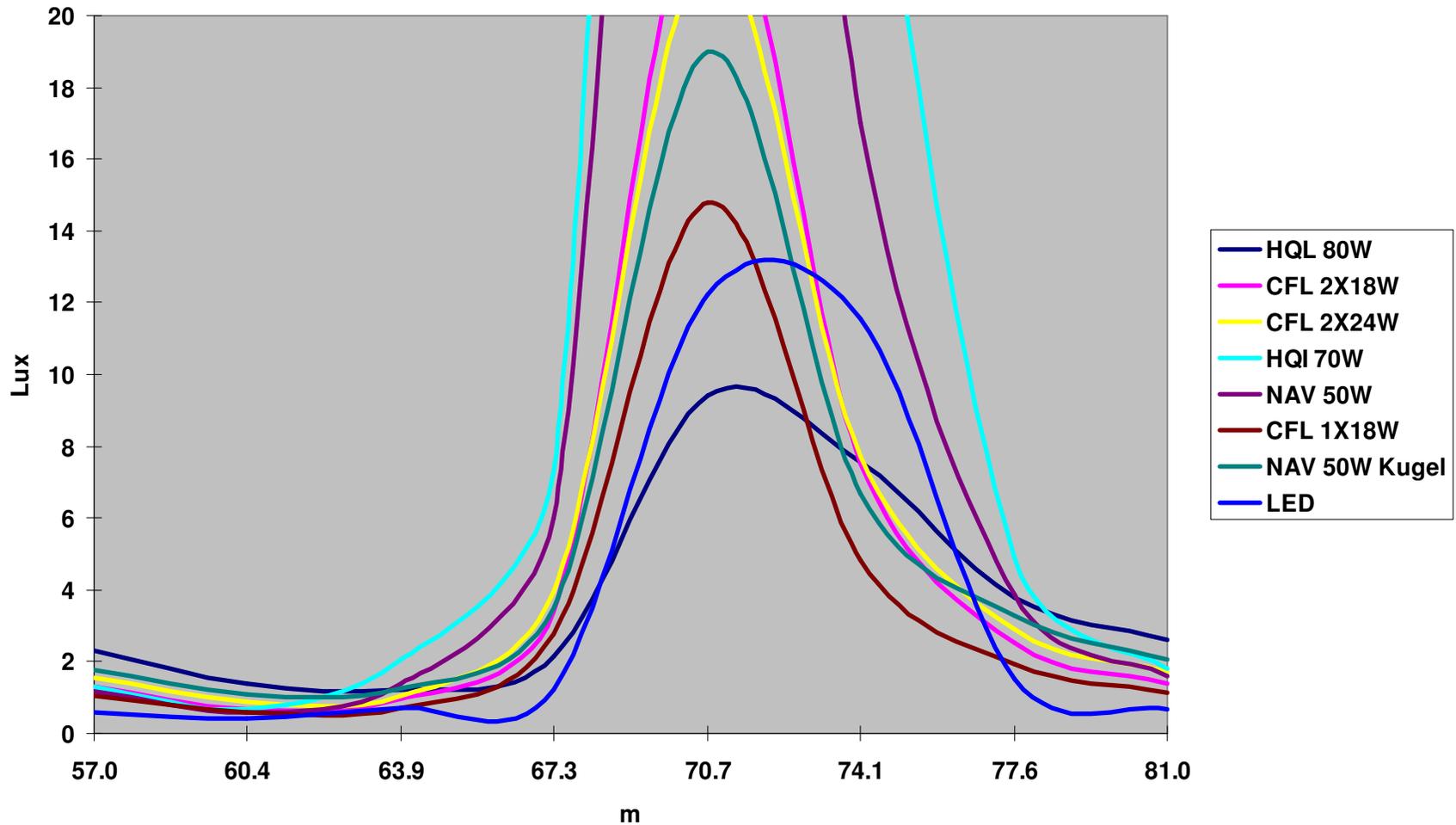
Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



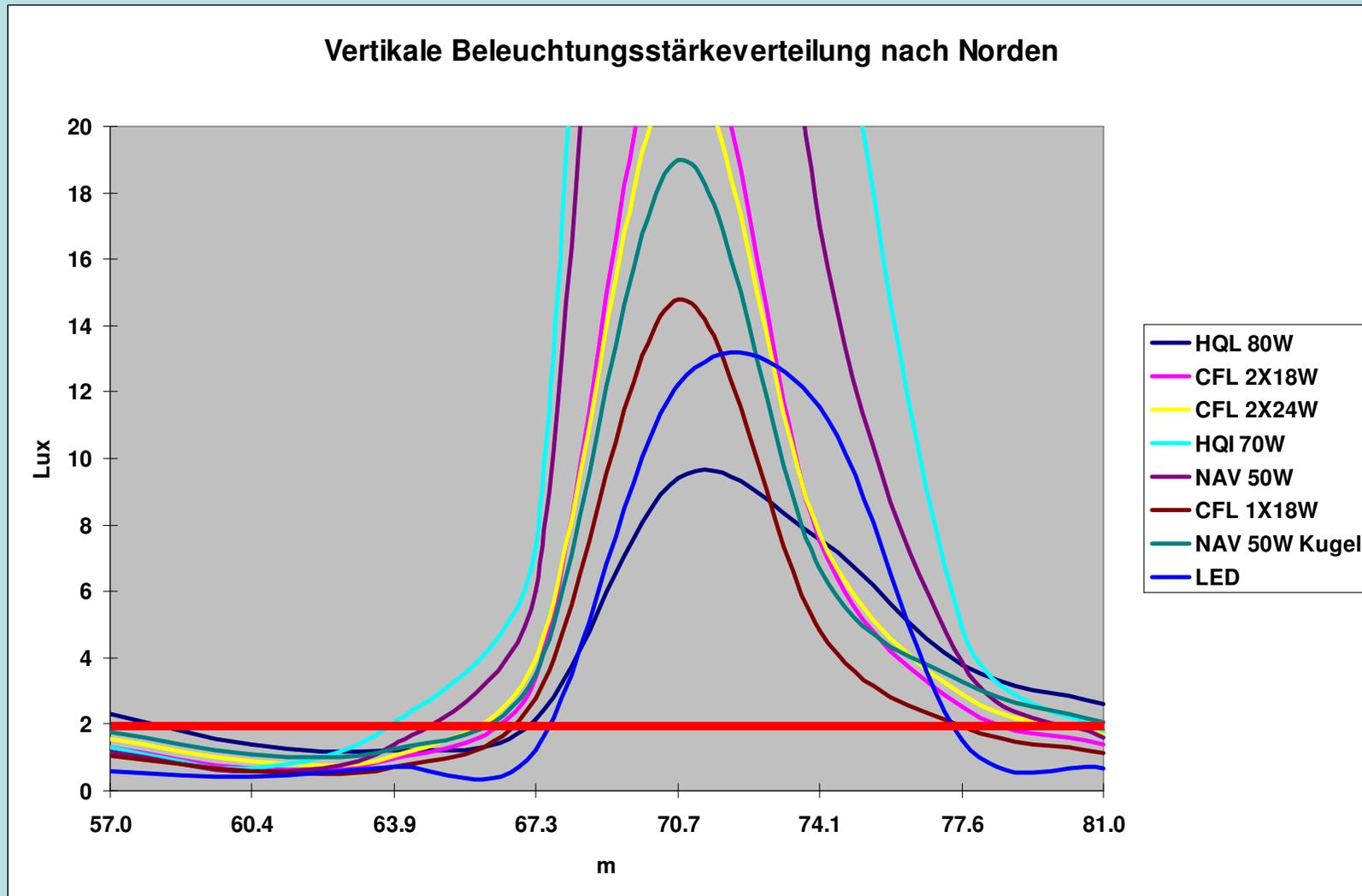
Die Gleichmäßigkeit von $E_{\min} / E_{\text{mittel}} > 0.1$ ist in allen Fällen gegeben

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

Vertikale Beleuchtungsstärkeverteilung nach Norden

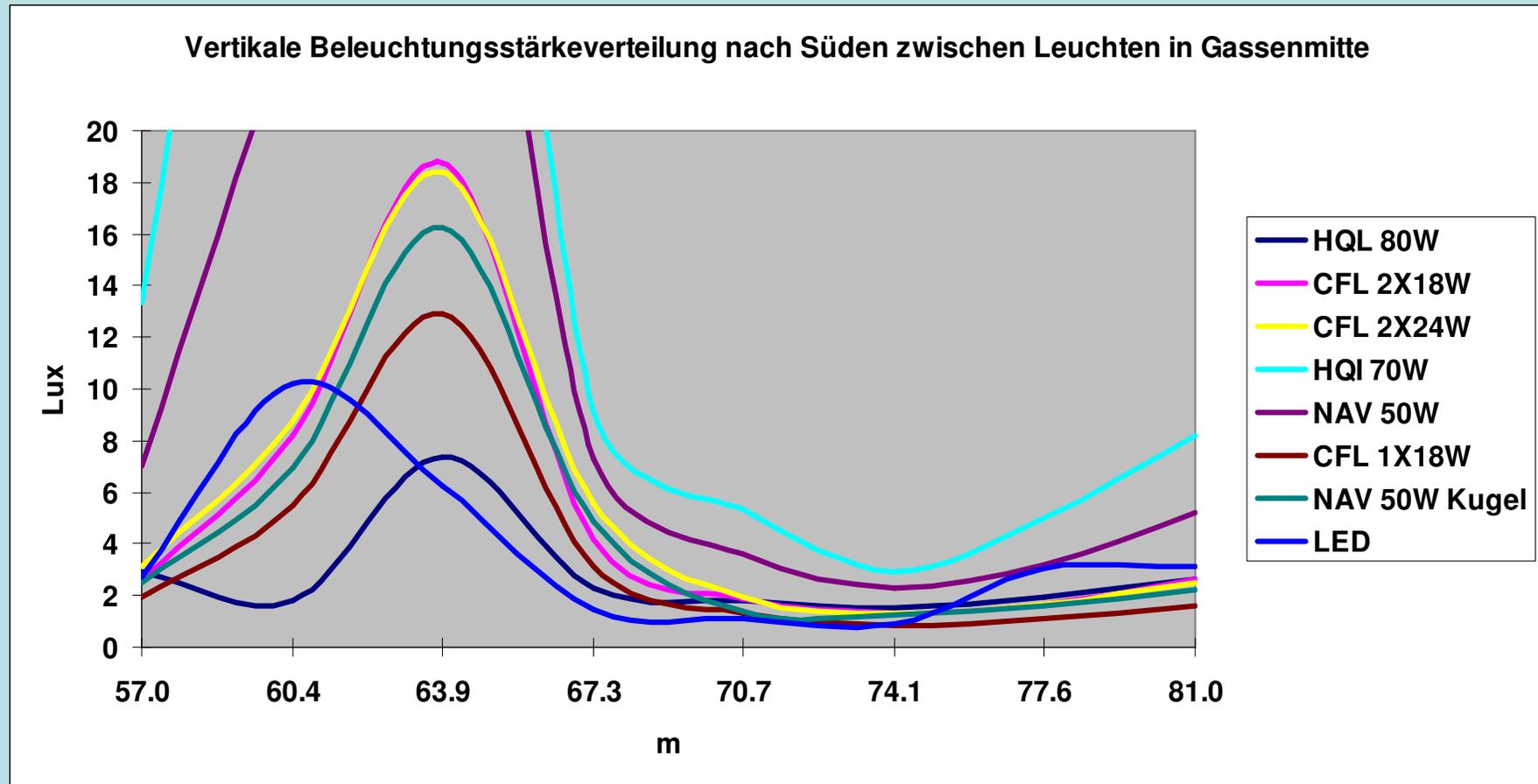


Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

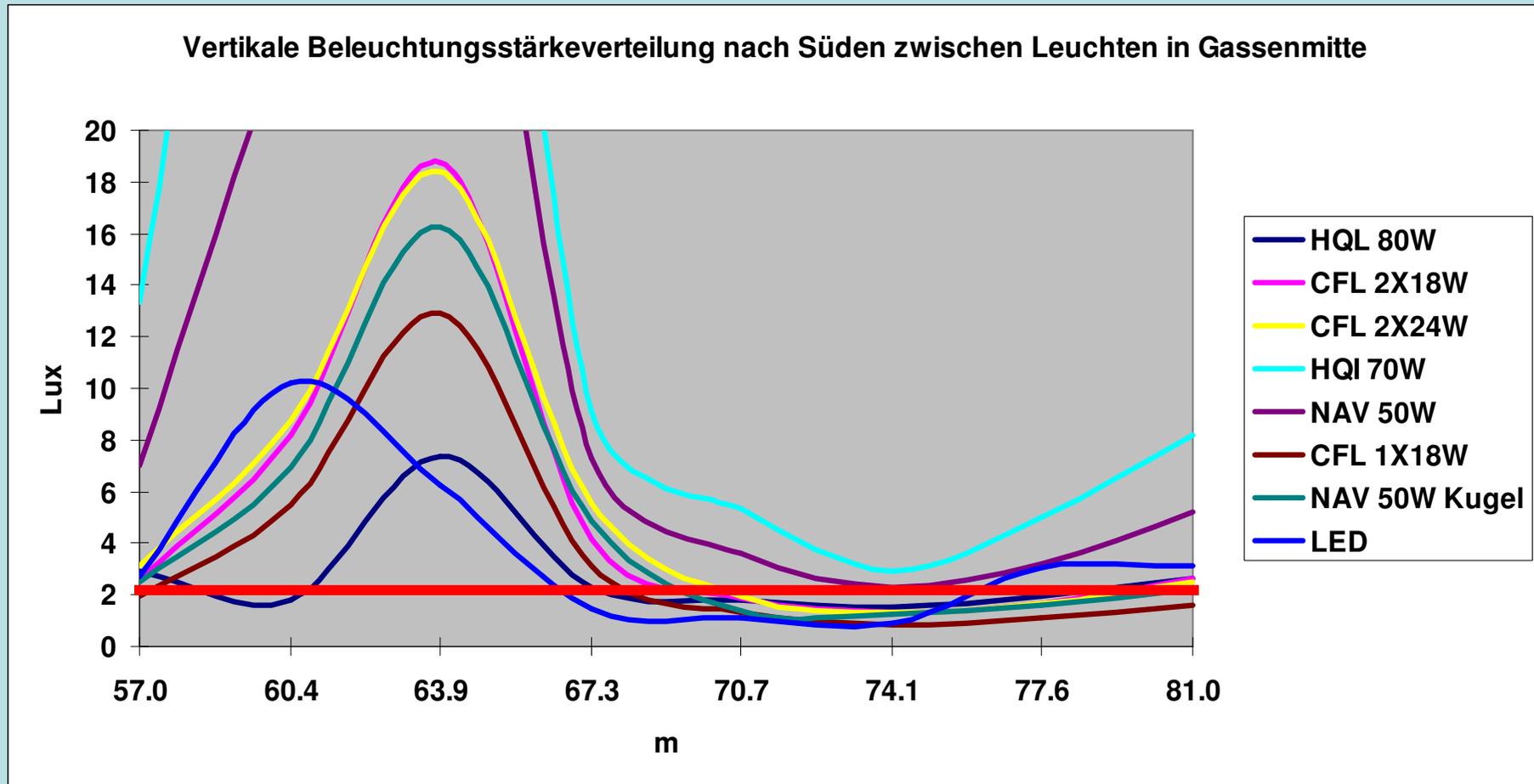


Ergebnis: Die Entladungslampen sind viel zu hell, was zur Blendung führt 29

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg



Ergebnis: Entladungslampen sind zu hell

Bundeswettbewerb „Energieeffiziente Stadtbeleuchtung“ Projekt: Sanierung der Altstadtbeleuchtung in Regensburg

Zusammenfassende Bewertung der Berechnungen anhand einer Simulationsberechnung:

Marktgängige Leuchtmittel können in der Regensburger Altstadt nicht die differenzierten nutzungsrelevanten Anforderungen erfüllen , da sie

- zu vertikaler Überbeleuchtung der Fassaden am Lichtpunkt führen
- zu horizontaler Überbeleuchtung und damit zu Streulicht in den Nachthimmel und vermehrter Lichtverschmutzung führen
- nicht zulässige Lichtimmissionen über 3 Lux in den bewohnten Obergeschossen verursachen
- zu hohe vertikale Beleuchtungsstärken im Gesicht verursachen