



LED-Teststrecke im Klimapark Rietberg

**Messtechnische Untersuchung moderner und
energiesparsamer LED Beleuchtungstechnik
im Bereich der Straßenbeleuchtung**

Wissenschaftlich betreut und vermessen
durch die Fachhochschule Bielefeld
Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik

Herausgeber

**Fachhochschule Bielefeld
Fachbereich Ingenieurwissenschaften
und Mathematik**

Wilhelm-Bertelsmann-Straße 10
33602 Bielefeld
www.fh-bielefeld.de

Autoren

Sascha Held
Daniel Werner, Dipl.-Ing. (FH)
Prof. Dr.-Ing. Eva Schwenzfeier-Hellkamp

© Januar 2013

VORWEG GEHEN
BME

KLIMAPARK-RIETBERG
lokal wirken – global gewinnen

FH Bielefeld
University of
Applied Sciences

Inhalt

Klimapark Rietberg	3
Motivation	4
Lageplan	5
Begriffe	6
Messfeld nach DIN EN 12193	7
Hinweise	8
Verwendete Straßenleuchten:	
Trilux – 9821	9
Vulkan – Krefeld 3456	10
Siteco – Citylight LED	11
Bega – 8100 K4	12
Hella – Eco StreetLine Square	13
Hess – Sera 600	14
Schröder – CALLA LED	15
Indal – Stela Square	16
Trilux – Convia	17
HSW Stadtfeld – Solar	18
WE-EF – VFL 540	19
Philips – CitySpirit 470	20
Philips – Triangel LED gine	21
Hellux – 740 Konus	22
Zusammenfassung	23
Quellenverzeichnis	23

Der Klimapark Rietberg



Der Klimapark Rietberg vereint, auf einem Freiluftgelände, Modelle und Technologien, welche der Erzeugung von regenerativen Energien dienen. Das Klimapark-Konzept, Besuchern und Interessierten, Informationen und Einblicke in verschiedene Bereiche der Erzeugung und Nutzung von Energie aus nachhaltig nutzbaren Ressourcen zu geben, ist bisher einzigartig auf Bundesebene.

Der Fachbereich Ingenieurwissenschaften und Mathematik (IuM) der Fachhochschule Bielefeld hat bei diesem Projekt die wissenschaftliche Betreuung übernommen. Somit steht der Stadt Rietberg und den Projektpartnern ein kompetenter Ansprechpartner in sämtlichen Bereichen der Erzeugung und Nutzung von regenerativen Energien zur Seite. Die LED-Teststrecke zur Straßenbeleuchtung hat RWE Deutschland als Partner der Stadt Rietberg ermöglicht.

Motivation

In Zeiten von Rohstoffknappheit und den damit verbundenen steigenden Kosten für Primärenergieträger, ist es unabkömmlich neue Wege in der Energienutzung und -erzeugung zu bereiten. Die Entwicklung effizienter, stabiler und sicherer Alternativen der Energieerzeugung und Nutzung stellt den Schlüssel dar, die Umwelt nachhaltig zu schützen.

Großes Potenzial im Bereich der Energieeffizienz und Energieeinsparung liegt unbestritten in der Beleuchtungstechnik. Insbesondere bei der Beleuchtung von Straßen und öffentlichen Plätzen, ist es möglich, durch die Umsetzung aktueller wissenschaftlicher Erkenntnisse, enorme Mengen an Energie einzusparen. Die in den vergangenen Jahren weiterentwickelte „Light Emitting Diode“, (LED), ist ein sehr energiesparsames Bauteil, welches zu der Erzeugung von Licht eingesetzt werden kann.

Immer mehr Hersteller bieten ein großes Spektrum von Leuchtmitteln an, welche die energiesparende LED-Technologie nutzen. Zwar sind diese Leuchtmittel im Vergleich zu der herkömmlichen Glüh- oder Energiesparlampe in der Anschaffung noch relativ teuer, doch die hohe Lebensdauer und der, um ein vielfaches signifikant geringerer Verbrauch

elektrischer Energie, sprechen für diese Technologie. Um im Bereich der Straßenbeleuchtung den Einsatz der LED-Technologie zu veranschaulichen, wurde neben dem Forschungsprojekt des Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) „Kommunen in neuem Licht-Lichtkonzept Historischer Stadtkern Rietberg“, welches den Einsatz von LED-Straßenleuchten im Stadtkern von Rietberg umsetzt, eine LED-Teststecke im Klimapark Rietberg errichtet. Insgesamt sind im Bereich des Klimaparks Rietberg 14 LED-Straßenleuchten von 12 verschiedenen Herstellern installiert, damit stellt diese eine der größten LED Teststrecken in der Region dar.

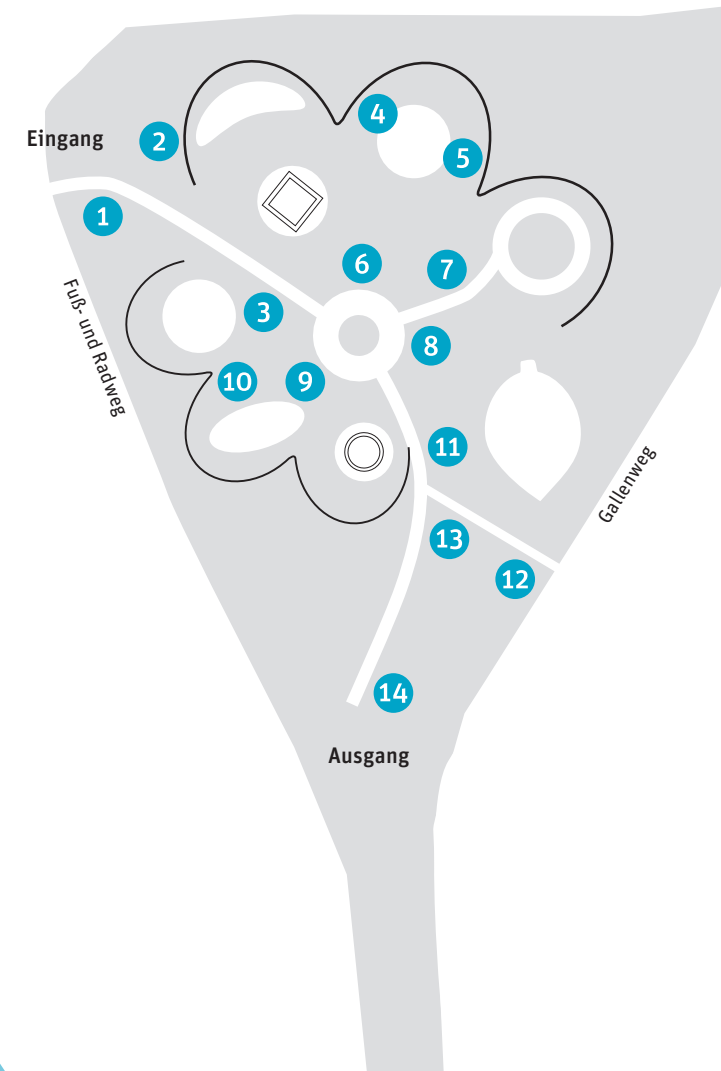
Durch den Fachbereich IuM der Fachhochschule Bielefeld, werden diese Straßenleuchten auf Ihre verschiedenen Eigenschaften, wie Beleuchtungsstärke und spektrale Werte untersucht und ausgewertet, um die Leuchten miteinander vergleichen zu können.

Die Aufnahme der verschiedenen Messwerte erfolgte in der Zeit vom 28.06.2011 bis zum 24.11.2011. Dieser Zeitraum der Messungen entstand durch die Lieferzeiten der LED-Leuchten und die Ersatzbeschaffung der teilweise bereits defekt gelieferte LED-Straßenleuchten.

Lageplan

Leuchtenübersicht nach Herstellern

- 1 Trilux
- 2 Vulkan
- 3 Siteco
- 4 Bega
- 5 Hella
- 6 Hess
- 7 Schröder
- 8 Indal
- 9 Trilux
- 10 HSW Stadtfeld
- 11 WE-EF
- 12 Philips
- 13 Philips
- 14 Hellux



Begriffe

Farbtemperatur

Die Farbtemperatur stellt vereinfacht die spektralen Eigenschaften und die Intensität einer Lichtquelle dar. Sie gibt die Temperatur an, auf die ein planckscher Strahler (schwarzer Körper) erhitzt werden muss, damit dieser die ähnlichste Lichtfarbe, wie die Lichtquelle emittiert. Die empfundene Farbe des Lichtes reicht vom rot/gelben Bereich (niedrige Farbtemperatur), bis in den hellblauen Bereich (hohe Farbtemperatur). Die Farbtemperatur wird in Kelvin (K) angegeben, wobei $0\text{ K} = -273,15\text{ °C}$ entsprechen. [Bae06]

Dominante Wellenlänge

Die dominante Wellenlänge oder auch die empfundene Wellenlänge, beschreibt die Wellenlänge des Lichtes, die das menschliche Auge, bei der Betrachtung einer Lichtquelle empfindet. [CIE07]

Maximale Wellenlänge

Die maximale Wellenlänge beschreibt das Maximum der Intensität des ausgestrahlten Lichtes. Je höher die Farbtemperatur eines Strahlers, desto kürzer ist die Wellenlänge des emittierten Lichts. Das menschliche Auge ist in der Lage, Wellenlängen im Bereich von 380 nm bis 780 nm, wahrzunehmen. [Hei11]

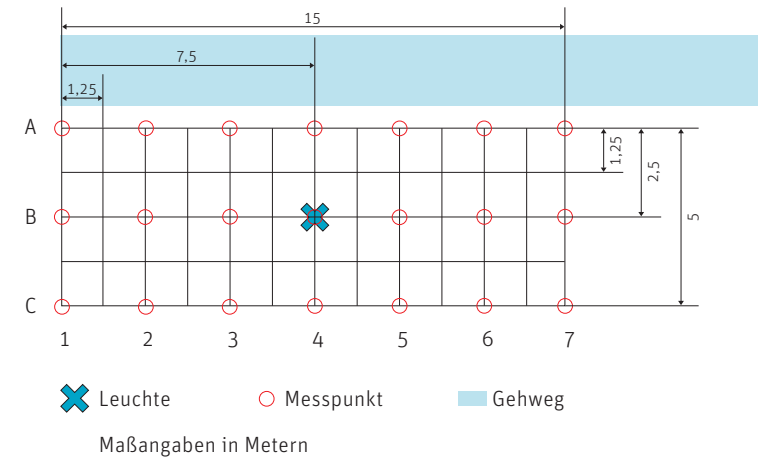
Farbwiedergabe-Index (Ra)

Der Farbwiedergabe-Index Ra beschreibt die Qualität der Farbwiedergabe einer Lichtquelle. Je höher dieser Wert, desto besser ist auch die Farbwiedergabe. Die idealste Farbwiedergabe tritt bei einem Wert von $Ra = 100$ ein. [Hei11]

CIE- Normfarbsystem

Das CIE-Normfarbsystem beschreibt die Farbwirkung, der durch das menschliche Auge aufgenommenen Strahlung, welche von einer Lichtquelle emittiert wird. Es beinhaltet alle, für den Menschen wahrnehmbaren Farben. Die Grundfarben, aus denen sich theoretische alle erkennbaren Farbtöne darstellen lassen, sind rot, grün und blau. Von besonderer technischer Bedeutung ist die sogenannte Black-Body Kurve. Auf dieser Kurve sind verschiedene Farbtemperaturen dargestellt. Durch mathematische Berechnungen lassen sich die x- und y-Koordinaten für eine gewünschte Lichtfarbe im CIE-Normfarbsystem berechnen und sich daraus dann die Zusammensetzung durch die Grundfarben bestimmen. [Bae06]

Messfeld nach DIN EN 12193



Um vergleichbare Messbedingungen zu schaffen, wurde im Vorfeld der Messungen, ein Messfeld, mit einer Länge von 15 m und einer Breite von 5 m festgelegt. Zu diesem Messfeld ist, zur Messung der Beleuchtungsstärke, das Rechenraster (schwarzes Gitternetz) nach Norm [DIN12193] berechnet worden. Um eine optimale Anzahl an Messpunkten zu

erhalten, wird in Übereinstimmung, mit der genannten Norm [DIN12193], nur jeder zweite Punkt in der Länge des Rechenrasters als Messpunkt verwendet. Somit ergibt sich für jede Leuchte ein Messfeld mit 21 Messpunkten. Das Messfeld um die jeweilige Leuchte ist möglichst parallel zum Gehweg ausgerichtet.

Hinweise

Die nachfolgenden Werte, welche die einzelnen Leuchtentypen charakterisieren, wurden im Rahmen der Studienarbeit „Erste messtechnische Untersuchungen von moderner und energiesparsamer Beleuchtungstechnik am Beispiel des „Klimaparks Rietberg“ [HEL12], messtechnisch ermittelt.

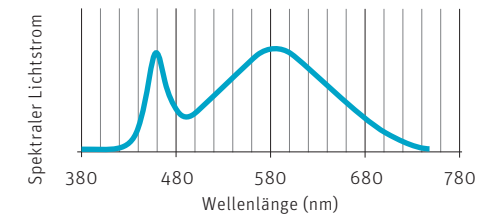
Die einzelnen Messungen wurden nach Norm [DIN13201] bei nächtlicher Dunkelheit und trockenem Bodenbelag durchgeführt. Im folgenden Kapitel ist eine Übersicht, der verschiedenen LED-Leuchten, sowie die in den verschiedenen Messungen erzielten Messwerte, dargestellt.

Datum	Hersteller	Bezeichnung	Umgebungstemperatur (°C)
28.06.2011	Trilux	9821	21,5
28.06.2011	Siteco	Citylight LED	21,5
28.06.2011	Trilux	Convia	21,5
28.06.2011	Indal	Stela Square	21,5
28.06.2011	Hess	Sera 600	21
28.06.2011	Bega	8100	21
10.11.2011	Philips	Triangel	8,5
10.11.2011	Vulkan	Krefeld	8,5
10.11.2011	HSW Stadtfeld	Solar	8,5
10.11.2011	WE-EF	VFL540	8,5
10.11.2011	Hella	ESL Square	8,5
24.11.2011	Philips	CitySpirit 470	6,5
24.11.2011	Hellux	740 Konus	6,5
24.11.2011	Schröder	Calla LED	6,5

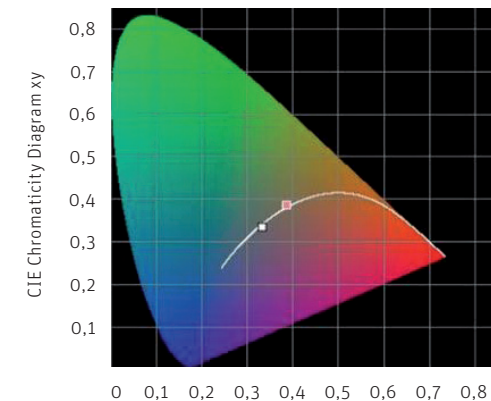
Verwendete Straßenleuchten:

1 Trilux – 9821

Lichtspektrum

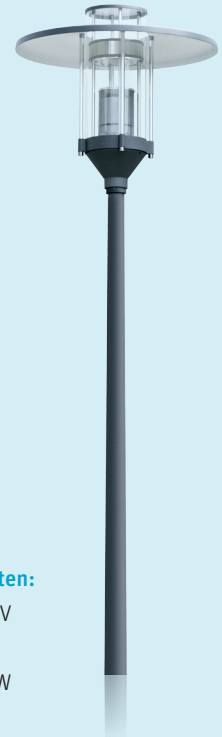


Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	0,66	1,89	5,54	10,83	5,05	1,71	0,83
B	0,71	2,47	8,83	8,03	10,60	2,42	1,00
C	0,63	1,75	4,92	9,04	5,03	1,97	0,90



Elektrische Daten:

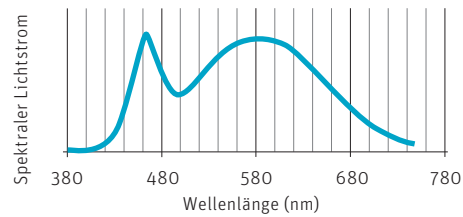
Spannung: 227 V
Strom: 130 mA
Leistung: 29,5 W

Lichttechnische Daten:

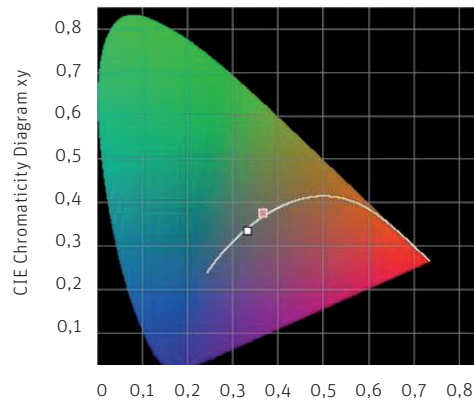
Farbtemperatur: 3.893 K
Dominante Wellenlänge: 578,5 nm
Maximale Wellenlänge: 581,5 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 79,0
CRI x: 0,3867
CRI y: 0,3849

2 Vulkan – Krefeld 3456

Lichtspektrum



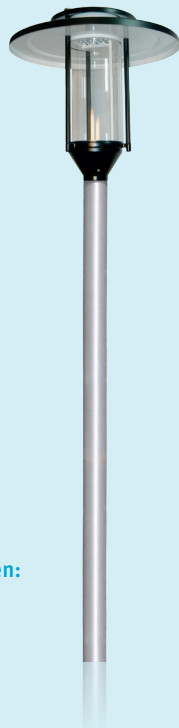
Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	1,57	2,74	5,23	7,96	3,90	1,67	1,75
B	2,62	6,27	13,26	0,53	10,62	3,73	1,49
C	1,37	2,43	5,04	5,24	6,01	2,32	0,75*

* verschatteter Messpunkt, Wert nicht aussagekräftig



Elektrische Daten:

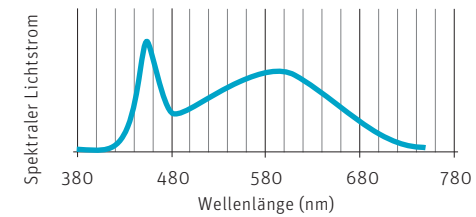
Spannung: 231 V
Strom: 157 mA
Leistung: 36,3 W

Lichttechnische Daten:

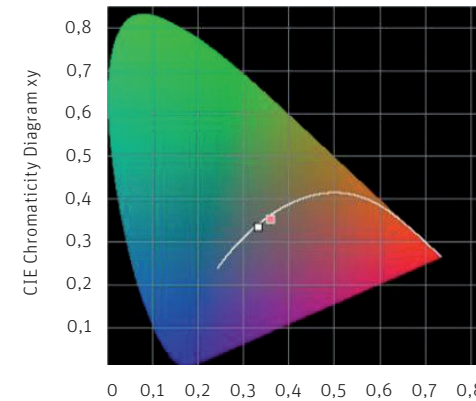
Farbtemperatur: 4.306 K
Dominante Wellenlänge: 576,4 nm
Maximale Wellenlänge: 463,7 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 85,6
CRI x: 0,3690
CRI y: 0,3740

3 Siteco – Citylight LED

Lichtspektrum

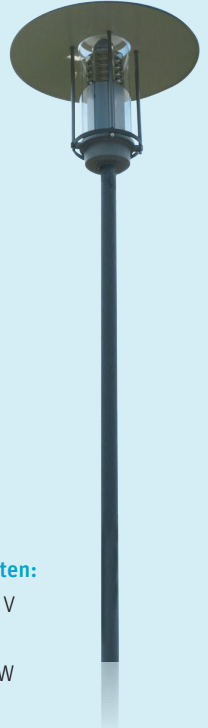


Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	4,73	12,24	14,13	10,05	15,30	12,09	4,42
B	2,72	7,14	9,55	2,41	8,57	6,13	5,50
C	1,02	1,01	1,15	1,60	1,00	0,58	0,40



Elektrische Daten:

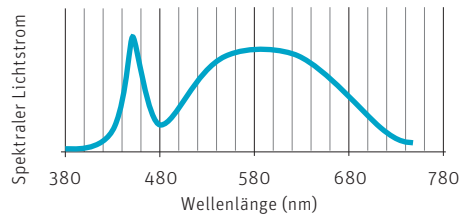
Spannung: 226 V
Strom: 160 mA
Leistung: 36,2 W

Lichttechnische Daten:

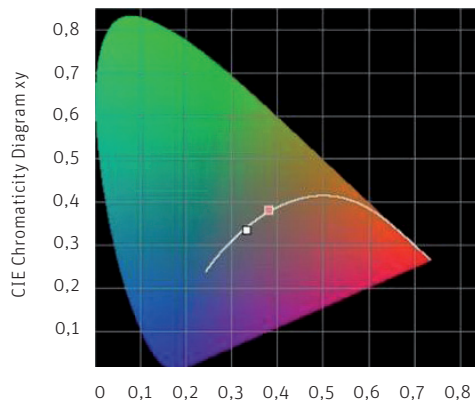
Farbtemperatur: 4.447 K
Dominante Wellenlänge: 582,3 nm
Maximale Wellenlänge: 454,5 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 88,5
CRI x: 0,3603
CRI y: 0,3525

4 Bega – 8100 K4

Lichtspektrum

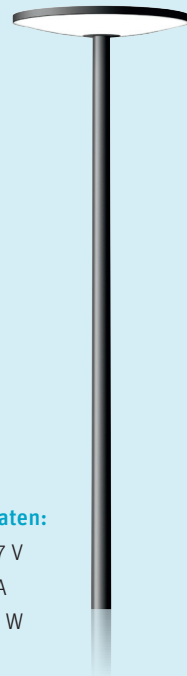


Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	1,23	3,53	10,71	18,50	10,37	2,98	1,27
B	1,31	4,60	18,40	36,20	19,12	4,62	1,44
C	1,23	3,52	10,65	18,48	10,74	3,82	1,26



Elektrische Daten:

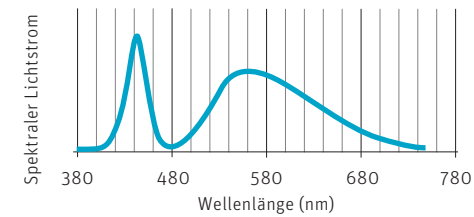
Spannung: 227 V
Strom: 130 mA
Leistung: 29,5 W

Lichttechnische Daten:

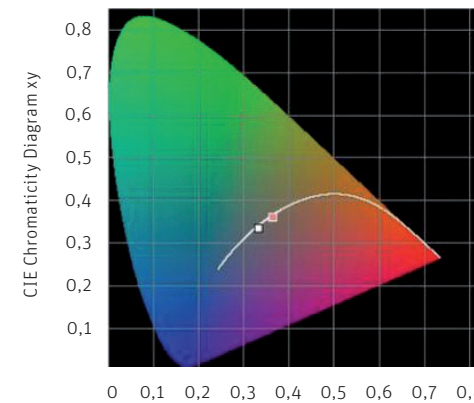
Farbtemperatur: 3.967 K
Dominante Wellenlänge: 578,6 nm
Maximale Wellenlänge: 449,9 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 85,7
CRI x: 0,3826
CRI y: 0,3804

5 Hella – Eco StreetLine Square

Lichtspektrum



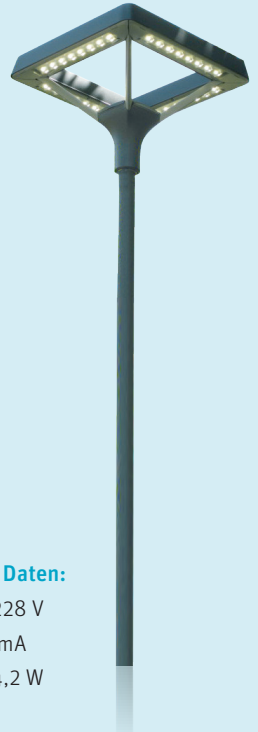
Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	10,34	15,59	21,70	25,20	23,40	12,77	4,49*
B	9,97	13,85	18,62	16,33	15,72	8,41	2,15*
C	3,72	4,90	7,12	7,33	1,40*	2,12*	1,01*

* verschatteter Messpunkt, Wert nicht aussagekräftig



Elektrische Daten:

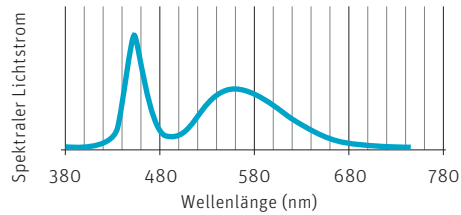
Spannung: 228 V
Strom: 160 mA
Leistung: 34,2 W

Lichttechnische Daten:

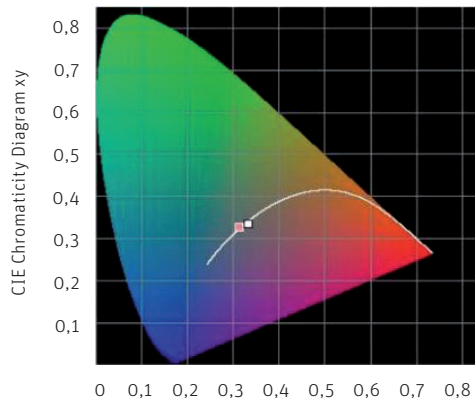
Farbtemperatur: 4.352 K
Dominante Wellenlänge: 580,1 nm
Maximale Wellenlänge: 442,2 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 67,1
CRI x: 0,3646
CRI y: 0,3599

6 Hess – Sera 600

Lichtspektrum



Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	5,49	7,54	12,78	16,74	11,89	6,83	4,71
B	7,13	16,77	31,80	52,10	32,78	18,04	8,14
C	1,28	1,97	3,05	2,02	3,61	2,85	2,22



Elektrische Daten:

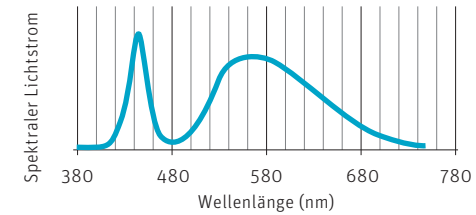
Spannung: 226 V
Strom: 160 mA
Leistung: 36,2 W

Lichttechnische Daten:

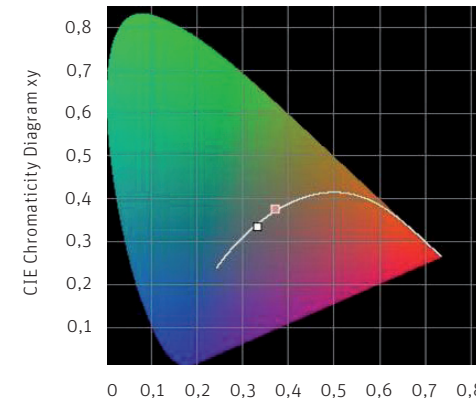
Farbtemperatur: 6.418 K
Dominante Wellenlänge: 486,5 nm
Maximale Wellenlänge: 451,4 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 67,2
CRI x: 0,3147
CRI y: 0,3260

7 Schröder – Calla LED

Lichtspektrum



Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	8,49	8,51	10,08	9,84	8,99	7,23	7,14
B	8,85	8,15	10,07	1,91	8,73	7,00	6,64
C	5,13	6,08	7,76	6,25	7,24	5,60	4,68



Elektrische Daten:

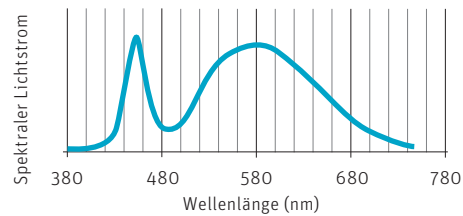
Spannung: 221 V
Strom: 150 mA
Leistung: 33,2 W

Lichttechnische Daten:

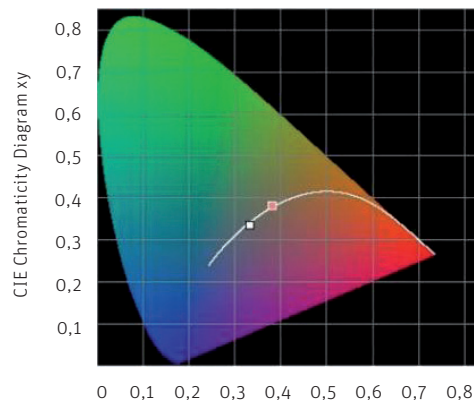
Farbtemperatur: 4.181 K
Dominante Wellenlänge: 577,8 nm
Maximale Wellenlänge: 446,8 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 67,6
CRI x: 0,3732
CRI y: 0,3739

8 Indal – Stela Square

Lichtspektrum

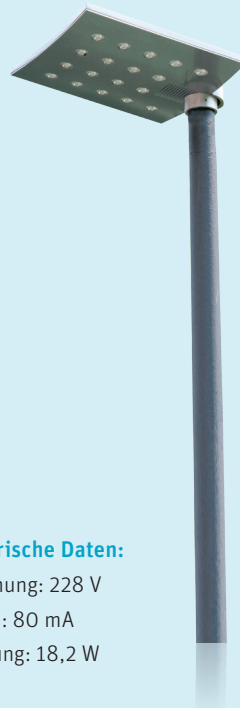


Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	7,89	10,49	19,80	15,55	18,09	11,66	8,30
B	7,12	9,93	21,87	24,00	23,12	9,30	6,92
C	2,18	5,51	6,83	4,67	7,12	5,98	3,01



Elektrische Daten:

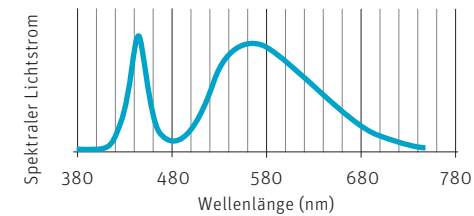
Spannung: 228 V
Strom: 80 mA
Leistung: 18,2 W

Lichttechnische Daten:

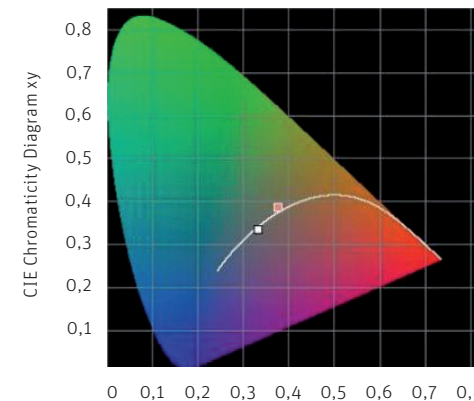
Farbtemperatur: 3.973 K
Dominante Wellenlänge: 578,6 nm
Maximale Wellenlänge: 449,9 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 75,9
CRI x: 0,3823
CRI y: 0,3802

9 Trilux – Convia

Lichtspektrum



Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	5,11	10,19	17,51	19,00	17,93	10,58	5,31
B	5,32	12,82	24,30	26,60	24,00	12,00	4,94
C	2,51	6,04	7,21	4,70	7,44	5,51	2,39



Elektrische Daten:

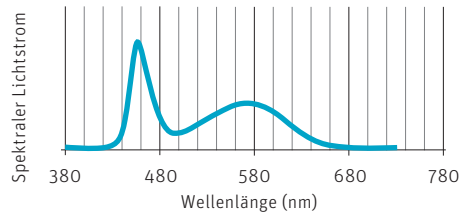
Spannung: 227 V
Strom: 120 mA
Leistung: 27,2 W

Lichttechnische Daten:

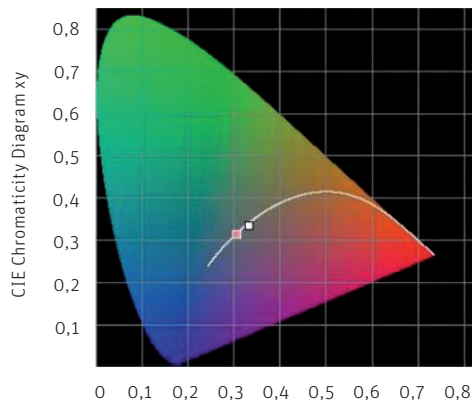
Farbtemperatur: 4.161 K
Dominante Wellenlänge: 575,6 nm
Maximale Wellenlänge: 446,8 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 67,0
CRI x: 0,3769
CRI y: 0,3863

10 HSW Stadtfeld – Solar

Lichtspektrum

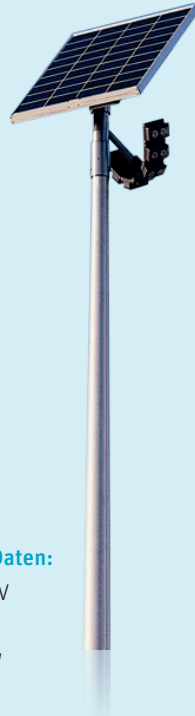


Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	3,33	3,34	2,21	1,94	1,57	2,10	1,74
B	1,67	4,75	4,00	4,07	6,13	5,93	2,57
C	0,92	0,45	0,62	0,67	0,53	0,37	0,29



Elektrische Daten:

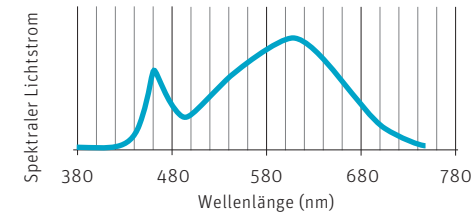
Spannung: 0 V
Strom: 0 mA
Leistung: 0 W

Lichttechnische Daten:

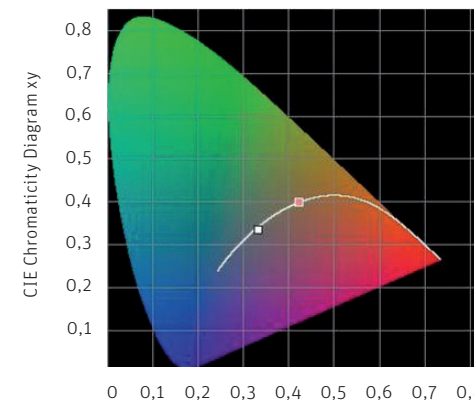
Farbtemperatur: 7.030 K
Dominante Wellenlänge: 480,8 nm
Maximale Wellenlänge: 456,0 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 73,0
CRI x: 0,3067
CRI y: 0,3125

11 WE-EF – VFL 540

Lichtspektrum

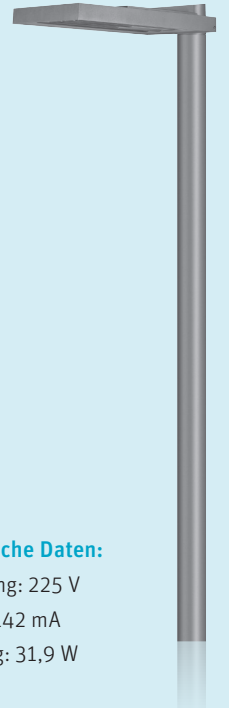


Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	8,04	13,70	20,10	22,80	19,40	13,96	7,98
B	6,04	11,23	23,60	31,90	21,40	9,00	5,52
C	0,55	0,87	1,77	1,56	1,75	0,81	0,50



Elektrische Daten:

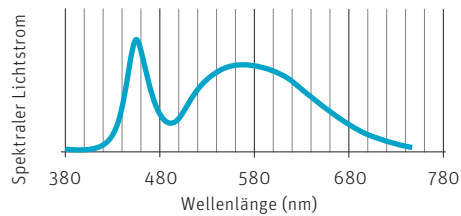
Spannung: 225 V
Strom: 142 mA
Leistung: 31,9 W

Lichttechnische Daten:

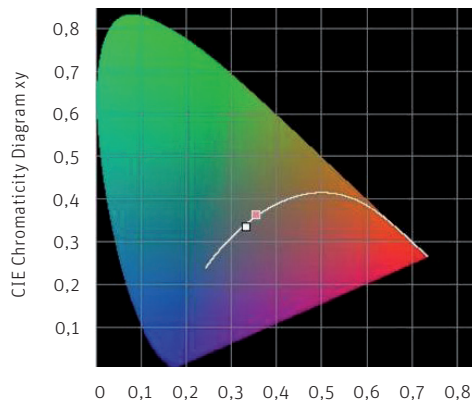
Farbtemperatur: 3.169 K
Dominante Wellenlänge: 582,2 nm
Maximale Wellenlänge: 602,9 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 85,3
CRI x: 0,4250
CRI y: 0,3992

12 Philips – CitySpirit 470

Lichtspektrum



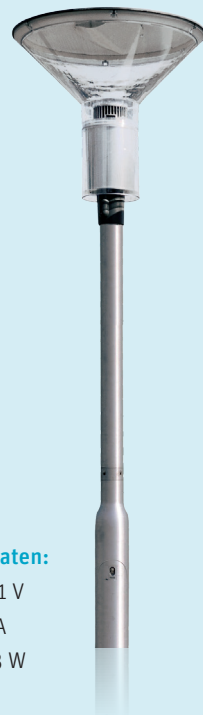
Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	5,07	7,71	10,18	12,84	10,52	7,74	*
B	3,83	7,01	10,75	8,17	12,44	8,54	*
C	0,98	1,74	3,73	5,33	3,88	2,94	*

* Messpunkt durch Umgebungsbedingungen nicht erfassbar



Elektrische Daten:

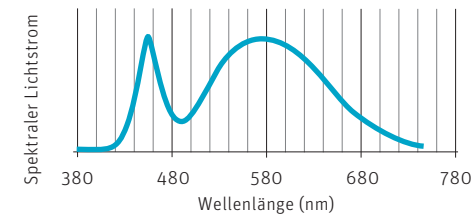
Spannung: 221 V
Strom: 110 mA
Leistung: 24,3 W

Lichttechnische Daten:

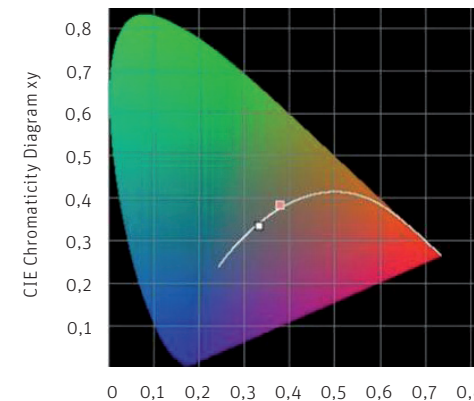
Farbtemperatur: 4.641 K
Dominante Wellenlänge: 575,1 nm
Maximale Wellenlänge: 454,5 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 80,8
CRI x: 0,3563
CRI y: 0,3625

13 Philips – Triangel LED gine

Lichtspektrum

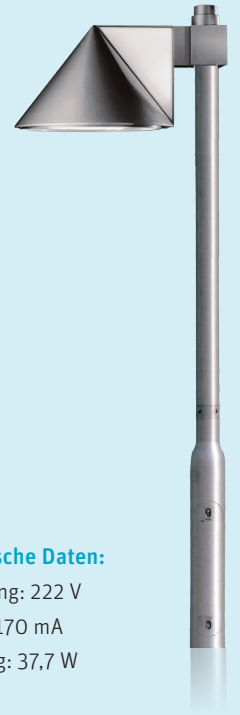


Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	5,64	16,14	41,80	66,00	46,40	18,93	6,81
B	4,55	14,04	50,30	103,10	60,80	18,33	5,49
C	1,56	3,05	6,68	5,10	6,71	3,43	1,72



Elektrische Daten:

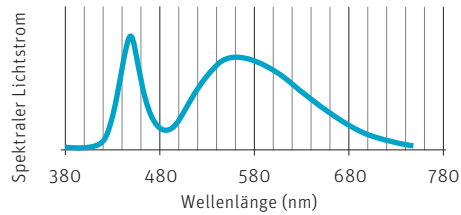
Spannung: 222 V
Strom: 170 mA
Leistung: 37,7 W

Lichttechnische Daten:

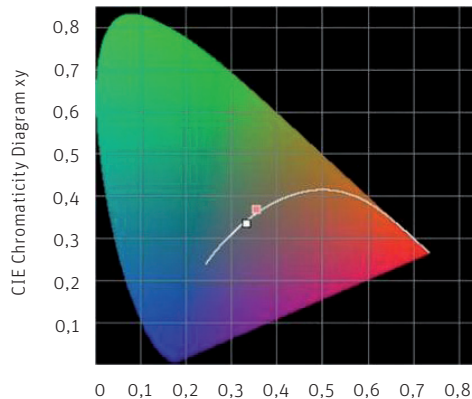
Farbtemperatur: 4.031 K
Dominante Wellenlänge: 577,7 nm
Maximale Wellenlänge: 454,5 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 77,0
CRI x: 0,3806
CRI y: 0,3818

14 Hellux – 740 Konus

Lichtspektrum



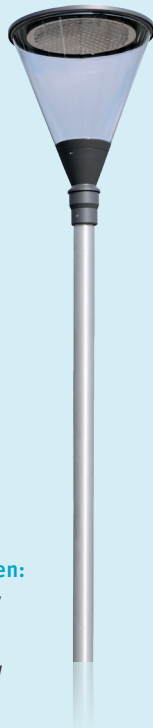
Darstellung der Farbtemperatur im CIE-Normfarbsystem



Messwerte der Beleuchtungsstärke (Angaben in lx)

	1	2	3	4	5	6	7
A	3,89	6,83	8,66	10,14	8,58	6,54	3,64
B	4,04	7,47	10,21	11,01	10,07	7,47	4,17
C	2,45	3,90	5,83	*	5,87	3,91	2,45

* Messpunkt durch Umgebungsbedingungen nicht erfassbar



Elektrische Daten:

Spannung: 222 V
Strom: 110 mA
Leistung: 24,4 W

Lichttechnische Daten:

Farbtemperatur: 4.675 K
Dominante Wellenlänge: 573,5 nm
Maximale Wellenlänge: 448,4 nm
Farbwiedergabeindex Ra: 72,4
CRI x: 0,3559
CRI y: 0,3662

Zusammenfassung

Leuchte	Lichtstrom* [lm]	Farbtemperatur [K]	Leistung [W]	Lichtausbeute [lm/W]
Trilux – 9821	2.000	3.893	29,5	67,8
Vulkan – Krefeld 3456	1.920	4.306	36,3	52,9
Siteco – Citylight LED	1.570	4.447	36,2	43,4
BEGA – 8100	2.300	3.967	29,5	78,0
Hella – ESL Square	1.600	4.352	34,2	46,8
Schröder – CALLA LED	3.150	4.181	36,2	87,0
Hess – Sera 6000	3.000	6.418	33,2	90,4
Indal – Stela Square	2.250	3.973	18,2	123,6
Trilux – Convia LED	2.400	4.161	27,2	88,2
HSW Stadtfeld – Solar	400	7.030	0,0**	..**
WE-EF – VFL 540	2.330	3.169	31,9	73,0
Philips – CitySpirit 470	1.694	4.641	24,3	69,7
Philips – Triangel LED	2.068	4.031	37,7	54,9
Hellux – 740 Konus	2.850	4.675	24,4	116,8

* laut Herstellerangaben

** autarke Solarleuchte

Quellenverzeichnis

- [CIE07] Internationale Beleuchtungskommission: Technical Report „Measurement of LEDs“, CIE 127:2007, 2007
- [DIN12193] Deutsches Institut für Normung: Licht und Beleuchtung – Sportstättenbeleuchtung, DIN EN 12193:2007, Beuth, 2007
- [DIN13201] Deutsches Institut für Normung: Straßenbeleuchtung, DIN EN 13201-4:2003, Beuth, 2003
- [BAE06] Roland Baer: Grundlagen Beleuchtungstechnik, Huss, 2006
- [HE111] Roland Heinz: Grundlagen der Lichterzeugung, Highlight, 2011
- [HEL12] Sascha Held: Erste messtechnische Untersuchungen moderner und energiesparsamer Beleuchtungstechnik am Beispiel des Klimaparks Rietberg, 2012
- [PHI11] [http://images.philips.com/is/image/PhilipsConsumer/LP_CF_2TR480_EU-CLP-global001wid=370&hei=370&\\$jpgla rge\\$, letzter Zugriff: 10.12.2011](http://images.philips.com/is/image/PhilipsConsumer/LP_CF_2TR480_EU-CLP-global001wid=370&hei=370&$jpgla rge$, letzter Zugriff: 10.12.2011)