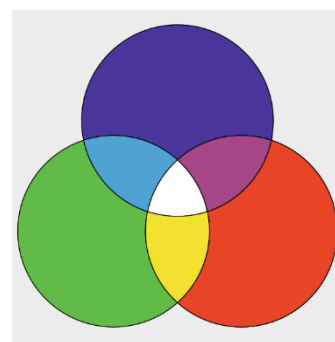
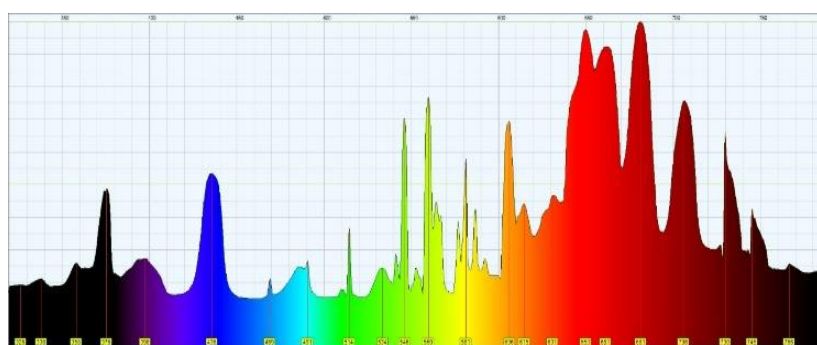


Bericht über Vermessung verschiedener Leuchtmittel

Wilhelm, DL6DCA, 20.05.2023 V 1.1



In meinem Bericht zum Aufbau meines Spektrometers [1] hatte ich ja angekündigt verschiedene Leuchtmittel einmal messtechnisch zu untersuchen. Das ist zwischenzeitlich erfolgt und ich möchte hier die Ergebnisse vorstellen.

Was habe ich womit gemessen?

Vorweg wieder der Gefahrenhinweis: Aufbau und Inbetriebnahme der in diesem Bericht beschriebenen Schaltungen / Geräte dürfen nur durch fachkundige Personen durchgeführt werden. Es besteht bei Kontakt mit Gleich- und Wechselspannungen sowie bei Hochfrequenzfeldern die Gefahr eines lebensgefährlichen Stromschlags bzw. von Verbrennungen. Diese können auch zu dauerhaften körperlichen und psychischen Schäden führen.

Ganz besondere Vorsicht ist bei der Messung mit einem Trenntransformator geboten. Bei Berührung beider Phasen kann es tödlich enden, es schützt in diesem Fall kein FI- / RCD-Schalter!

Vom Autor wird keinerlei Haftung übernommen!

1a Leistungsmessung

Als erstes habe ich die elektrische Leistung, also die Stromaufnahme gemessen. Hört sich einfach an, ist es aber nicht. Wenn man nur mittels Amperemeter den Strom misst und entsprechend der Formel $P=U \times I$ die Leistung bestimmt, bekommt man außer der echten Wirkleistung auch die Scheinleistung ($\cos \varphi$) als Gesamtergebnis. Da die in den Leuchtmitteln verbauten Schaltregler nur einen Teil der Sinuswelle der Netzspannung nutzt, ist eine detailliertere Betrachtung erforderlich, um die echte Wirkleistung, und damit die mit dem Stromlieferanten abzurechnende Leistung, bestimmen zu können. Dank moderner Elektronik mit

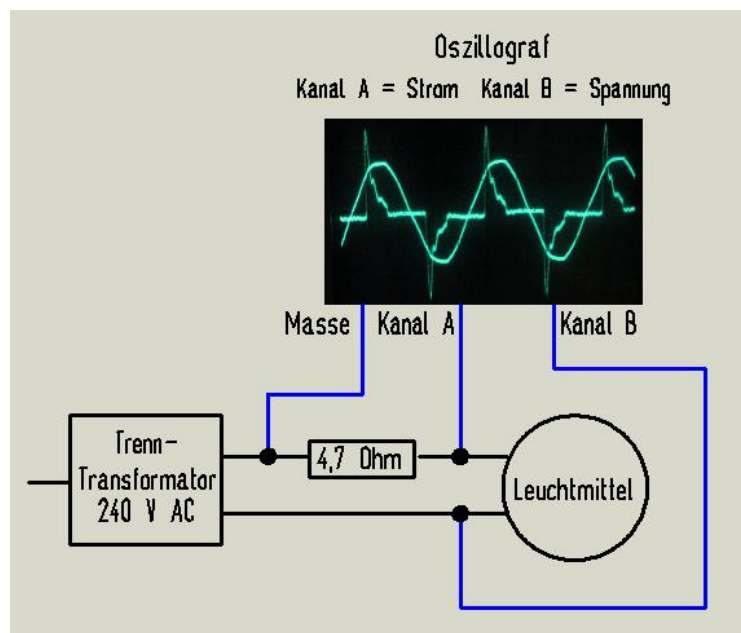
integrierten Rechnern ist dieses aber kein Problem. Ein preiswerter Power Monitor aus Fernost für ca. 24,-€ liefert diese Angaben, indem auch der sogenannte Power Faktor PF bestimmt wird. Ein PF von 1 bedeutet, dass nur Wirkleistung, quasi ohmscher Verbraucher, vorliegt. Bei PF unter 1 ist die angezeigte Gesamtleistung mit dem Faktor zu multiplizieren um dann die Wirkleistung zu bekommen, der Rest ist Scheinleistung. Als Beispiel mag hier die alte Glühlampe als fast rein ohmscher Verbraucher dienen (die Glühwendel ist eine sehr kleine Induktivität), der einen PF von 0,99 hat, die LED-Leuchtmittel mit ihrem internen Vorschaltgerät liegen durchschnittlich bei PF 0,58.



Power Monitor aus Fernost

1b Strommessung

Zusätzlich habe ich mittels Oszillograf über einen 4,7 Ω Widerstand den Stromverlauf im Vergleich zum Spannungsverlauf festgestellt. Die Darstellung ist nicht skaliert sondern dient nur der Veranschaulichung. Hier erfolgte die Spannungsversorgung natürlich über einen Trenntransformator -siehe Gefahrenhinweis!-.

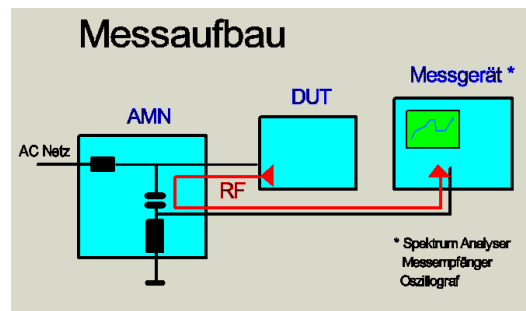


Messaufbau Strom / Spannung

1c EMV-Messung

Als nächstes habe ich eine EMV Messung hinsichtlich unerwünschter HF-Abstrahlungen über die Zuleitung vorgenommen, wie ich sie bereits in meinem Bericht zum Selbstbau eines Artificial Network beschrieben habe [2]. Die rote Linie zeigt die max. zulässige Störstrahlung für den Haushalt an.

Hinweis: Bei den Screenshots vom Spektrum Analyser CMU200 wird unten links die Centerfrequenz mit 2015 MHz angezeigt. Tatsächlich sind es aber 15 MHz. Die Anzeige kommt zustande, da der CMU200 erst ab 10 MHz anzeigen kann und dieses Problem durch einen vorgesetzten Mischer überwunden wird. Die Eingangsfrequenz (also das Messsignal) wird mit 2000 MHz gemischt, sodass dann die 2015 MHz anstelle von 15 MHz als ZF angezeigt werden.



Messaufbau Störstrahlung

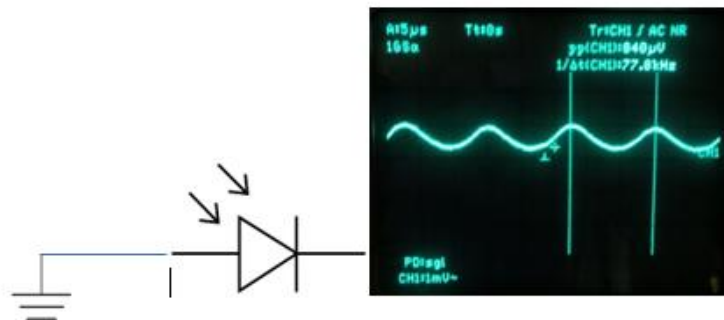
Für die 12 V Gleichspannung Leuchtmittel erfolgte der Messaufbau anstelle des AMN mit einer selbstgebauten $5\ \mu\text{H}$ DC LISN (Line Impedance Stabilization Network). Es ist eine ähnliche Schaltung wie das AMN, aber auf Gleichspannungsversorgung abgestellt. Nähere Angaben findet man im Internet [3].



5 μH DC LISN

1d Messung ob Flimmern vorliegt

Da die Spannungs- / Stromaufbereitung bei der LED-Beleuchtung über eine Art Schaltnetzteil vorgenommen wird, kann es je nach Schaltungsaufwand in der DC Siebung mehr oder weniger zum Flimmern des Lichtes kommen. Wenngleich das Auge es nicht direkt erkennt, so ist dennoch festgestellt worden, dass der Mensch hierauf durch Ermüdung reagieren kann. Um dieses Flimmern festzustellen habe ich eine Fotodiode an einen Oszillografen angeschlossen und damit das Licht des Leuchtmittels detektiert. Vorversuche haben ergeben, dass der simple Aufbau bis in den MHz Bereich funktioniert. Leider kann ich den Bildschirm des Oszillografen nicht elektronisch auslesen und bitte die etwas unscharfen Fotos zu entschuldigen.

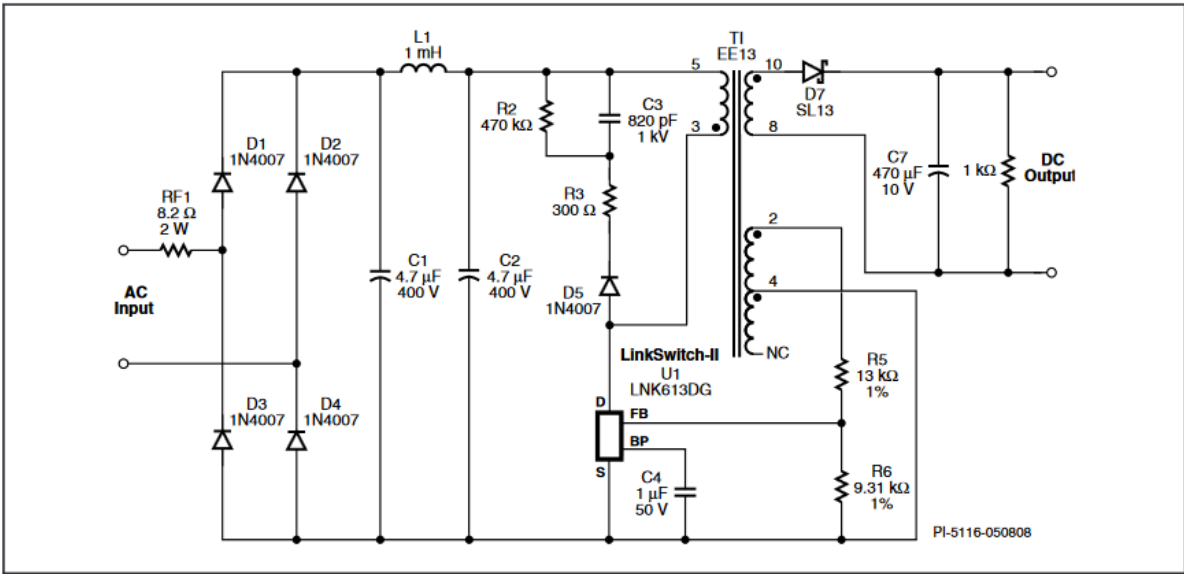


Messaufbau Fotodiode und Oszillograf

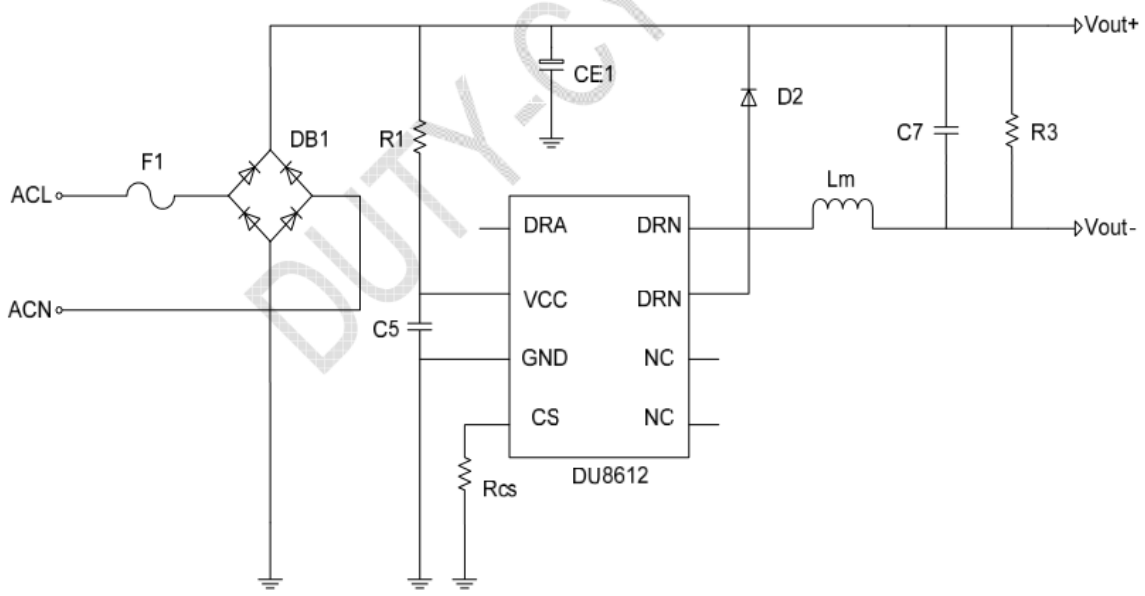


Fotodiode im Gehäuse mit BNC-Anschluss

Zur Vervollständigung des Themas hier einmal zwei Schaltungsbeispiele von in LED-Leuchtmitteln verbauten Halbleitern zur Spannungsversorgung. Bei der ersten Schaltung handelt es sich um ein Schaltnetzteil, wo über die Spannung die Leistung geregelt wird. Die zweite Schaltung stellt im Wesentlichen eine Konstantstromquelle dar.

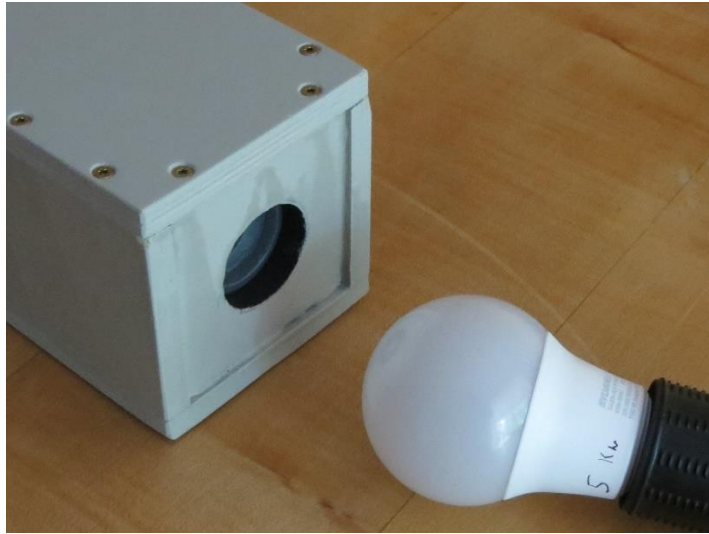


Schaltkreis LNK603 [4]



Schaltkreis DU8612 [5]

1e Messung des optischen Spektrums



Spektrometer mit Leuchtmittel

Das Spektrum der Leuchtmittel habe ich mit dem schon beschriebenen Spektroskop ermittelt [1].

Wie schon an anderer Stelle beschrieben, kann das menschliche Auge Licht im sichtbaren Bereich von ca. 400 nm bis 800 nm wahrnehmen. Für das Farbsehen ist es wichtig, dass auch im Licht die entsprechenden Farben / Wellenlängen vorhanden sind, da sie dann entsprechend vom angestrahlten Farbkörper zum Auge reflektiert werden. Fehlt die Farbe im Licht oder ist sie nur untergeordnet vorhanden, kommt es zu Farbverfälschungen. Nicht umsonst ist es scheinbar bis heute Standard, beim Kauf von Textilien den Bereich des Ladenlokals aufzusuchen, wo natürliches Licht zur Verfügung steht oder gar vor die Tür zu gehen. Wie bei den folgenden Messergebnissen zu sehen ist, kommt die gute alte Glühlampe dem natürlichen Sonnenlicht am nächsten. Dagegen sind bei Leuchtstoffröhren nur einzelne spektrale Anteile erkennbar, die dann zu der beschriebenen Farbverfälschung führen. Zum Schluss dieses Berichtes werde ich noch auf einige Fundstellen hinweisen, wo die Anforderungen an eine gute Beleuchtung beschrieben sind.

1f Messung der Farbtemperatur in °K

Die Farbtemperatur ist entscheidend, ob das Licht des Leuchtmittels als kalt oder warm empfunden wird. Wenn die Blautöne überwiegen, erscheint das Licht subjektiv als kalt. Ein hoher Anteil an roten Tönen wird als warm empfunden. Während kaltes Licht optimal für Arbeitsplätze ist, wird warmes Licht für den Wohn- / Entspannungsbereich bevorzugt.

Die Messung erfolgte mit einem RGBW200 Color-Spectrum-Analyser, der als Bausatz von der Firma ELV angeboten wird [6]. Abstand zwischen Leuchtmittel und Messkopf 65 cm bei dunklem Raum.



Messgerät RGBW200



Exemplarische Displayansicht

Im Messgerät kommt ein RGBW Sensor VEML 6040 der Firma Vishey [7] zum Einsatz. Dieser Baustein verfügt über vier Sensoren. Der Rotsensor erfasst den Bereich um 645 nm, der Grünsensor den um 575 nm und der Blausensor den um 460 nm. Der Weißsensor erfasst den Bereich von etwa 400 nm bis über 750 nm. Durch einen kleinen Rechner wird die Intensität der einzelnen Sensoren festgestellt und durch ein komplexes Berechnungsprogramm die Farbtemperatur K und auch die Helligkeit -in LUX- berechnet. Obwohl es einen USB-Anschluss gibt, der eine serielle Datenübertragung zulässt, habe ich leider kein Auswerteprogramm für einen PC gefunden.

1g Lichtstärkemessung

Der Lichtstrom Φ ist das Maß für die Lichtleistung einer Lampe und gibt die gesamte von einer Lichtquelle nach allen Seiten abgegebene Strahlungsleistung, bewertet mit der spektralen Augenempfindlichkeit, wieder. Der Lichtstrom wird in **Lumen (lm)** angegeben. Gemessen wird er in einer nach dem Konstrukteur benannten Ulbricht-Kugel. Hierbei handelt es sich um eine Kugel die innen weiß mit Bariumsulfat gestrichen ist und in der durch totale Reflektion aller Lichtstrahlen eine homogene Lichtverteilung stattfindet; sogenannte Integration. Die Intensität kann dann mittels Sensor gemessen werden. Kein Leuchtmittel kann den nur theoretisch existierenden gleichmäßig nach allen Richtungen scheinenden Leuchtpunkt nachbilden. Es ist immer zumindest die Fassung im Weg. Aber auch die Anordnung des Glühwendels bzw. der Einzel-LED`s bringt immer eine verzerrte Abstrahlung mit sich. Das wird durch die Ulbricht-Kugel korrigiert.

Die vom Lichtstrom erzeugte Beleuchtungsstärke E auf einer Fläche wird dann in **Lux lx** gemessen.

Da ich über keine Ulbrichtkugel verfüge, kann ich nur mittels Luxmeter die Beleuchtungsstärke messen, um dann annäherungsweise den Lichtstrom mittels eines Rechenfaktors (3,5 bei 65 cm Abstand) zu ermitteln. Wie bei der Bestimmung der Farbtemperatur habe ich auch hier mit einer Entfernung von 65 cm zwischen Leuchtmittel und Sensor Luxmeter gemessen. Dabei habe ich das Leuchtmittel durch Drehung so in Stellung gebracht, dass der höchste Wert angezeigt wird. Von Genauigkeit kann man hierbei aber nicht sprechen.

Insgesamt ist die Lichttechnik eine sehr umfassende Thematik. Eine ausführliche und gut beschriebene Ausarbeitung findet man bei [8].

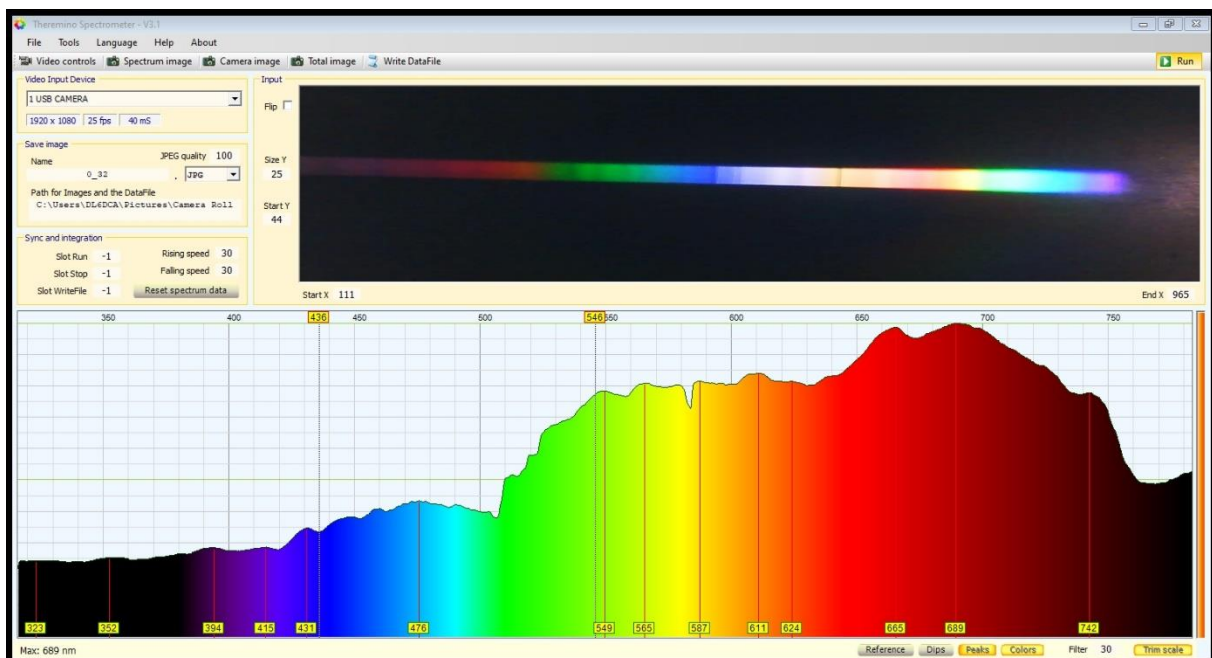


Luxmeter der Firma Dr-meter

Vorab noch ein paar Worte zur Wahl der richtigen Beleuchtung. Bei den Leuchtmitteln werden häufig die Begriffe Tageslicht, Warmweiß und Kaltweiß genannt. Neuerdings entsprechend der EU-Verordnungen unter Nennung einer Zahl mit dem Zusatz K. Gemeint ist hier die sogenannte Farbtemperatur, wobei das K für Kelvin, also eine Temperaturangabe, steht.

Die Messergebnisse im Einzelnen

Vorab einmal das Spektrum der Sonne an einem bewölkten Tag zum Vergleich mit den folgenden Messergebnissen. Man sieht deutlich die fehlenden Blauanteile im Spektrum. Hinzu kommt, dass ich kaum eine freie Sicht zur Sonne habe, wo nicht angrenzende Gebäudeflächen durch Reflexion sowie Bäume mit ihrem Laub zu einer Verfälschung führen. Hinzu kommt, dass das Spektrometer nur in der Wellenlänge, nicht aber in der Intensität kalibrierbar ist.



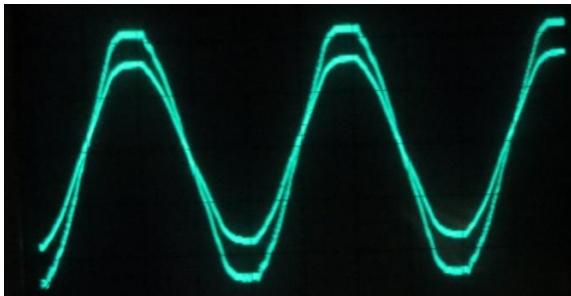
Sonnenlicht an einem bewölkten Tag

Messobjekt #1

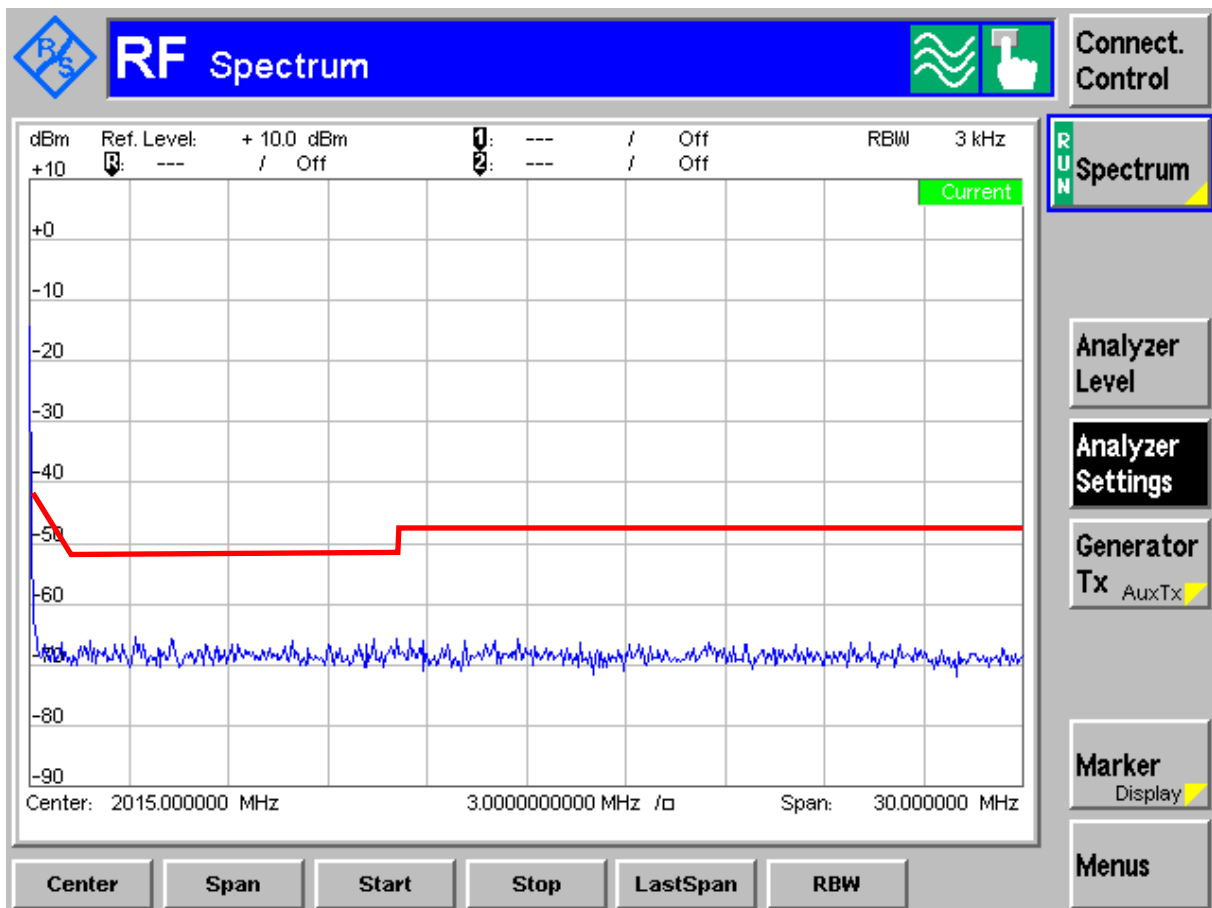
40 Watt Glühlampe matt der Firma Phillips



	Herstellerangabe	gemessener Wert	
Wirkleistung	40 Watt	41,29 Watt	bei 240V AC
Scheinleistung		0,42 Watt	bei 240V AC
Gesamtleistung		41,71 Watt	bei 240V AC
		0,99 PF	
Farbtemperatur	2600 °K	2512 °K	
Lichtstrom	430 lm	420 lm	
Beleuchtungsstärke		120 lx	65 cm Abstand



Strom- / Spannungsmessung



EMV-Messung zul. Werte werden unterschritten



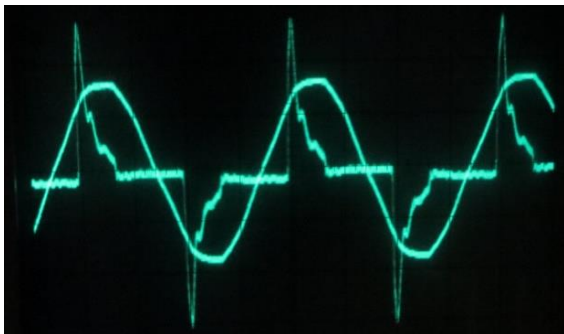
Optisches Spektrum Leuchtmittel # 1

Messobjekt #2

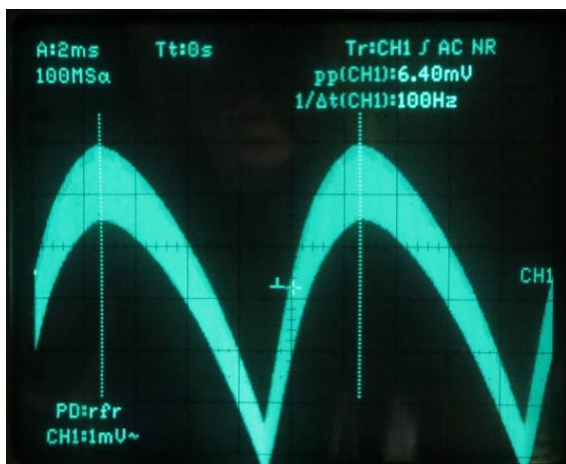
12 W Energiesparlampe der Firma Kess



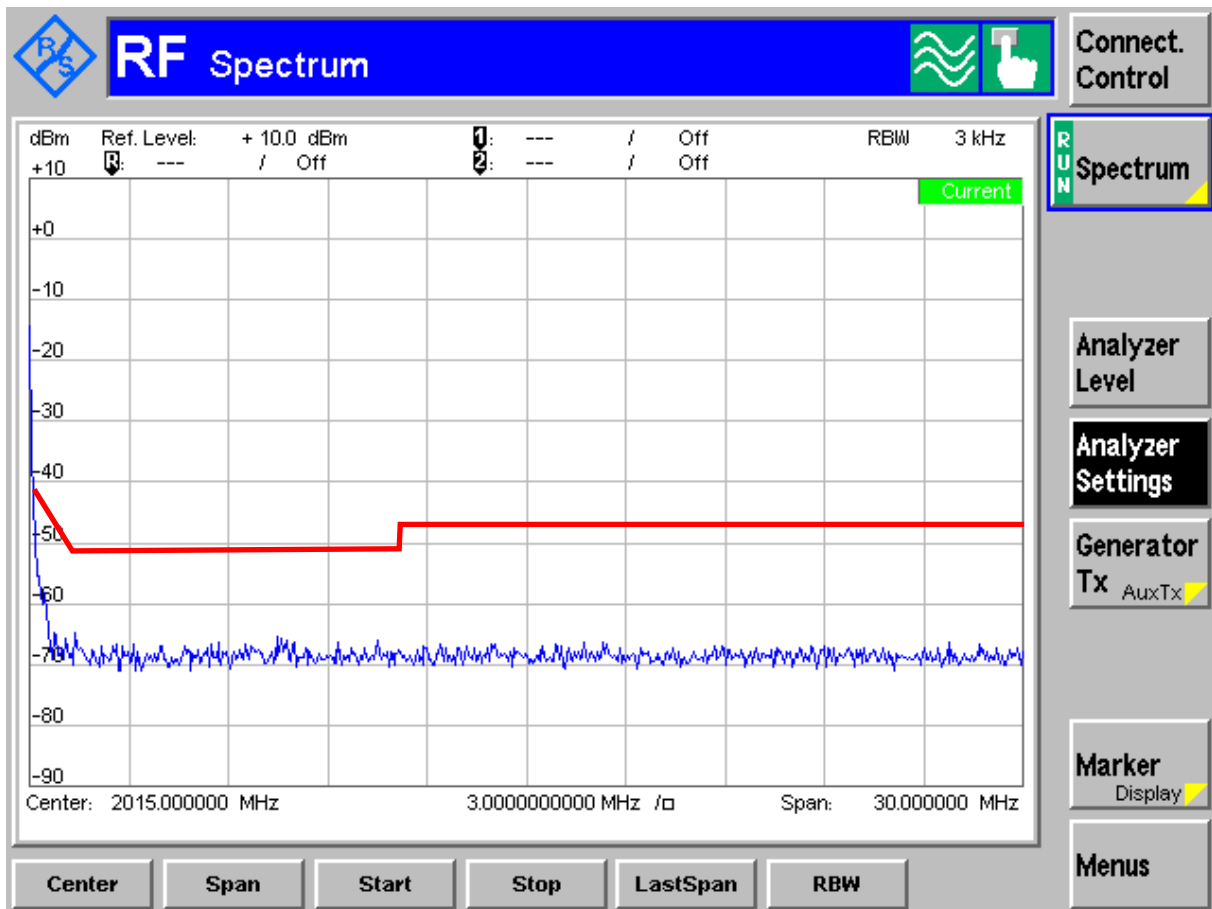
	Herstellerangabe	gemessener Wert	
Wirkleistung	12 Watt	12,70 Watt	bei 240V AC
Scheinleistung		7,46 Watt	bei 240V AC
Gesamtleistung		20,16 Watt	bei 240V AC
		0,63 PF	
Farbtemperatur	k.A.	4482 °K	
Lichtstrom	650 lm		
Beleuchtungsstärke		100 lx	65 cm Abstand



Strom- / Spannungsmessung



Schwaches 100 Hz Flimmern erkennbar



EMV-Messung zul. Werte werden unterschritten



Optisches Spektrum Leuchtmittel # 2

Man sieht sehr deutlich, dass kein kontinuierliches Spektrum vorliegt

Messobjekt #3

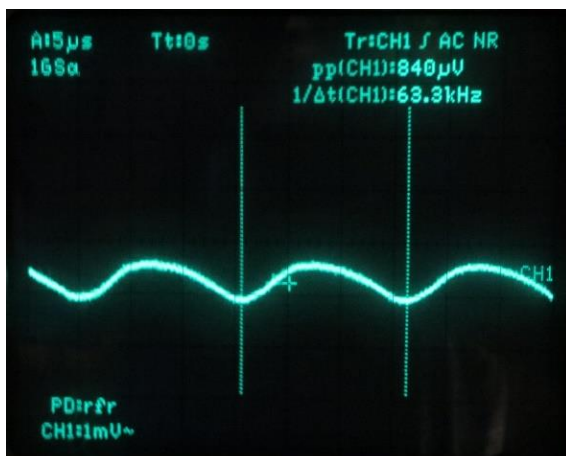
8 W LED-Leuchtmittel Firma Phillips, Warmlicht



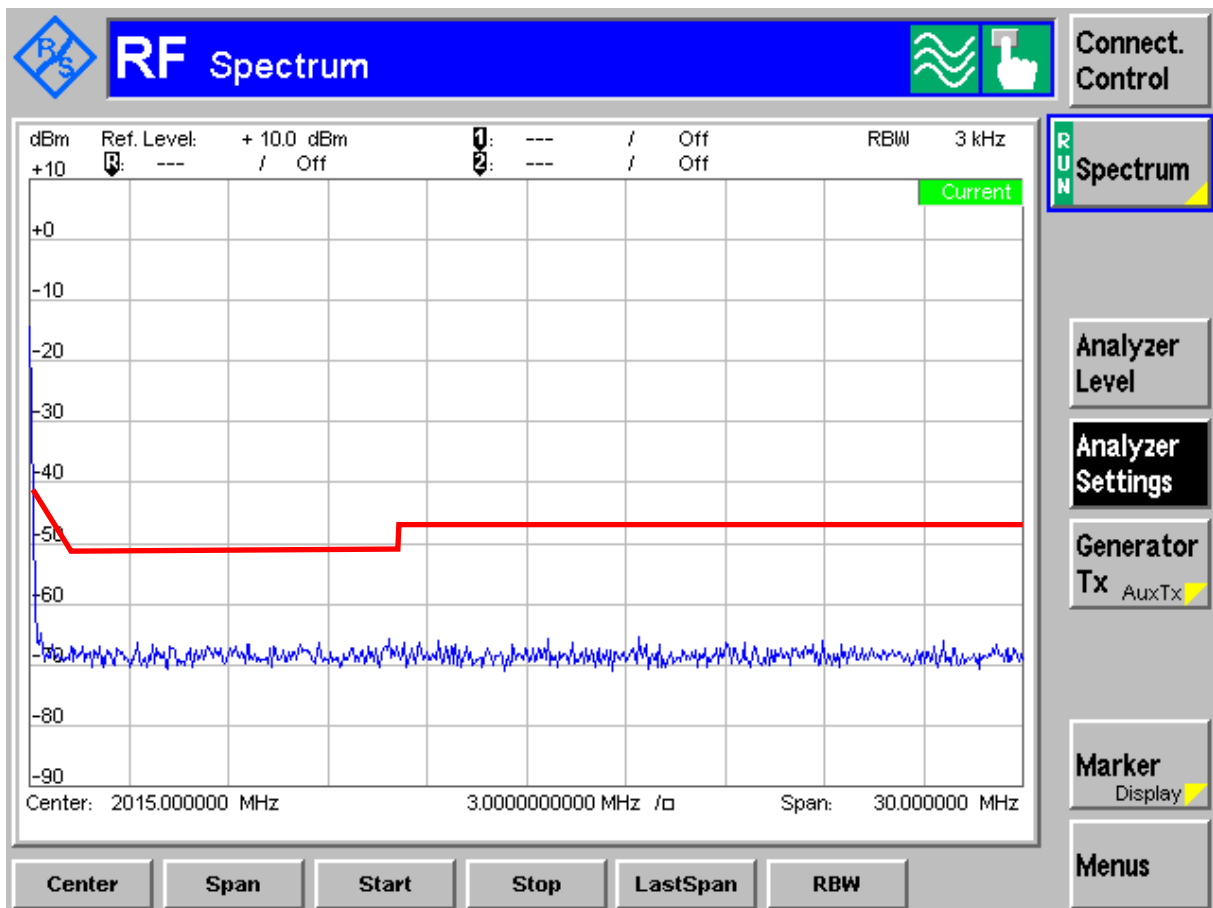
	Herstellerangabe	gemessener Wert	
Wirkleistung	8 Watt	8,29 Watt	bei 240V AC
Scheinleistung		6,00 Watt	bei 240V AC
Gesamtleistung		14,29 Watt	bei 240V AC
		0,58 PF	
Farbtemperatur	2700	4100 °K	
Lichtstrom	806 lm		
Beleuchtungsstärke		240 lx	65 cm Abstand



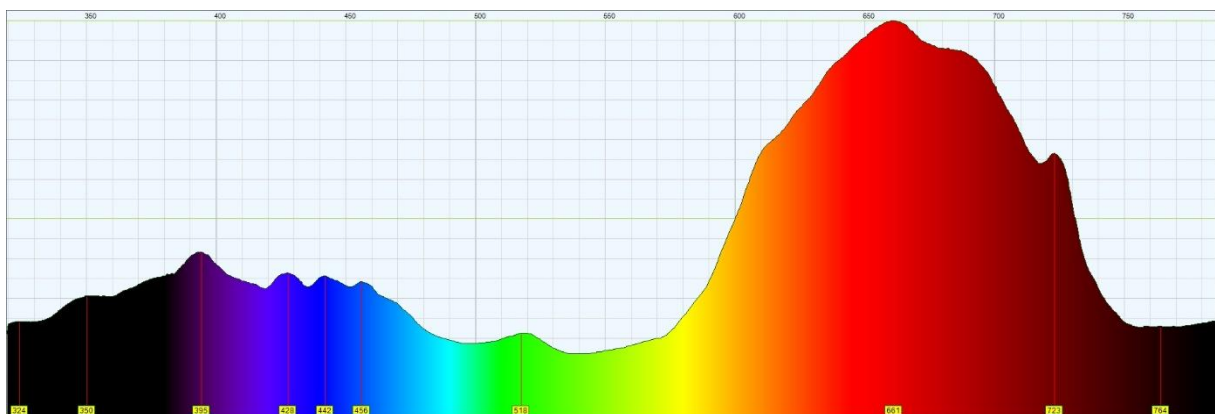
Strom- / Spannungsmessung



Flimmern 63,3 kHz sehr schwach



EMV-Messung zul. Werte werden unterschritten



Optisches Spektrum Leuchtmittel # 3

Messobjekt #4

6,5 W Osram, Warmlicht

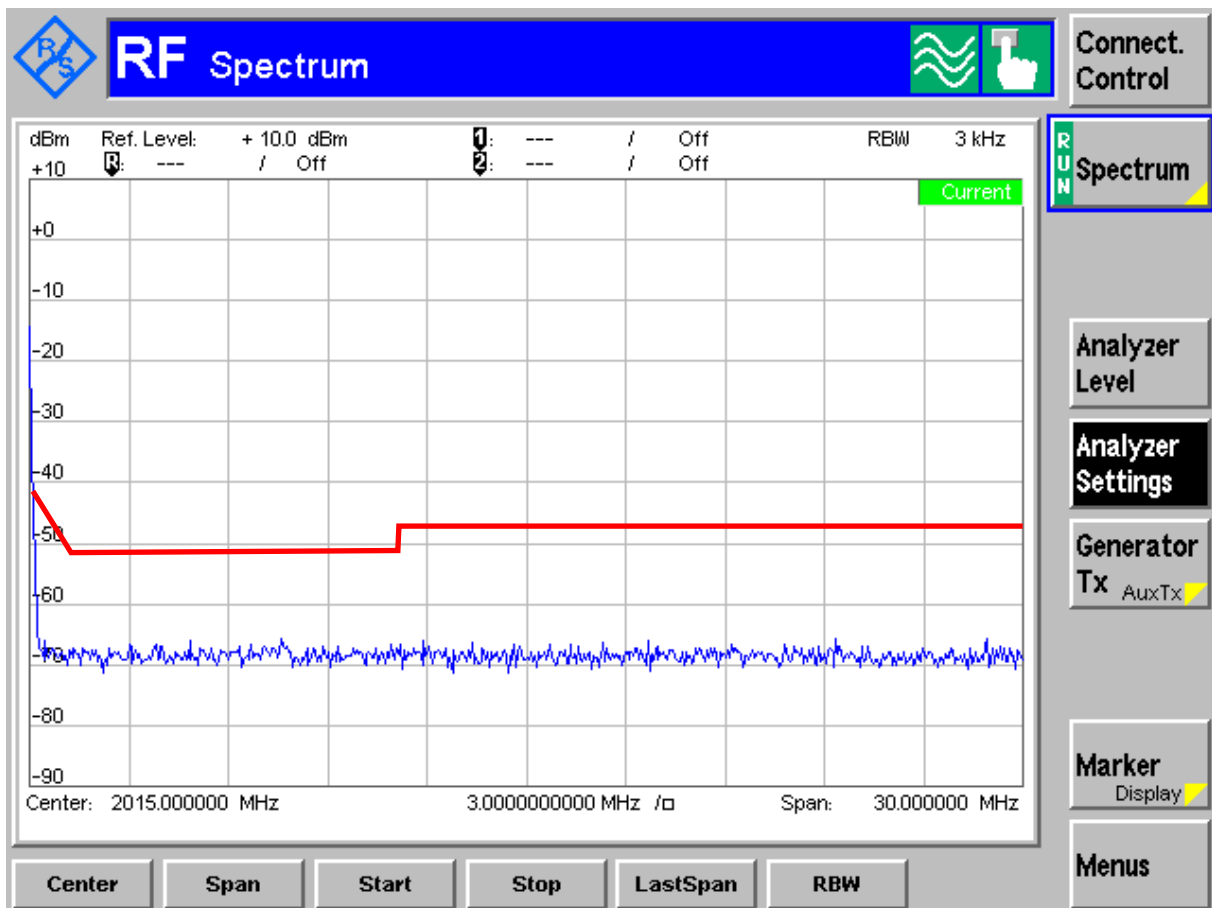


	Herstellerangabe	gemessener Wert	
Wirkleistung	6,5 Watt	6,61 Watt	bei 240V AC
Scheinleistung		2,10 Watt	bei 240V AC
Gesamtleistung		8,71 Watt	bei 240V AC
		0,76 PF	
Farbtemperatur	2700 °K	4019 °K	
Lichtstrom	806 lm	665 lm	
Beleuchtungsstärke		190 lx	65 cm Abstand



Strom- / Spannungsmessung

Flimmern nicht nachweisbar



EMV-Messung zul. Werte werden unterschritten



Optisches Spektrum Leuchtmittel # 4

Messobjekt #5

5 W LED Sylvana, Kaltlicht



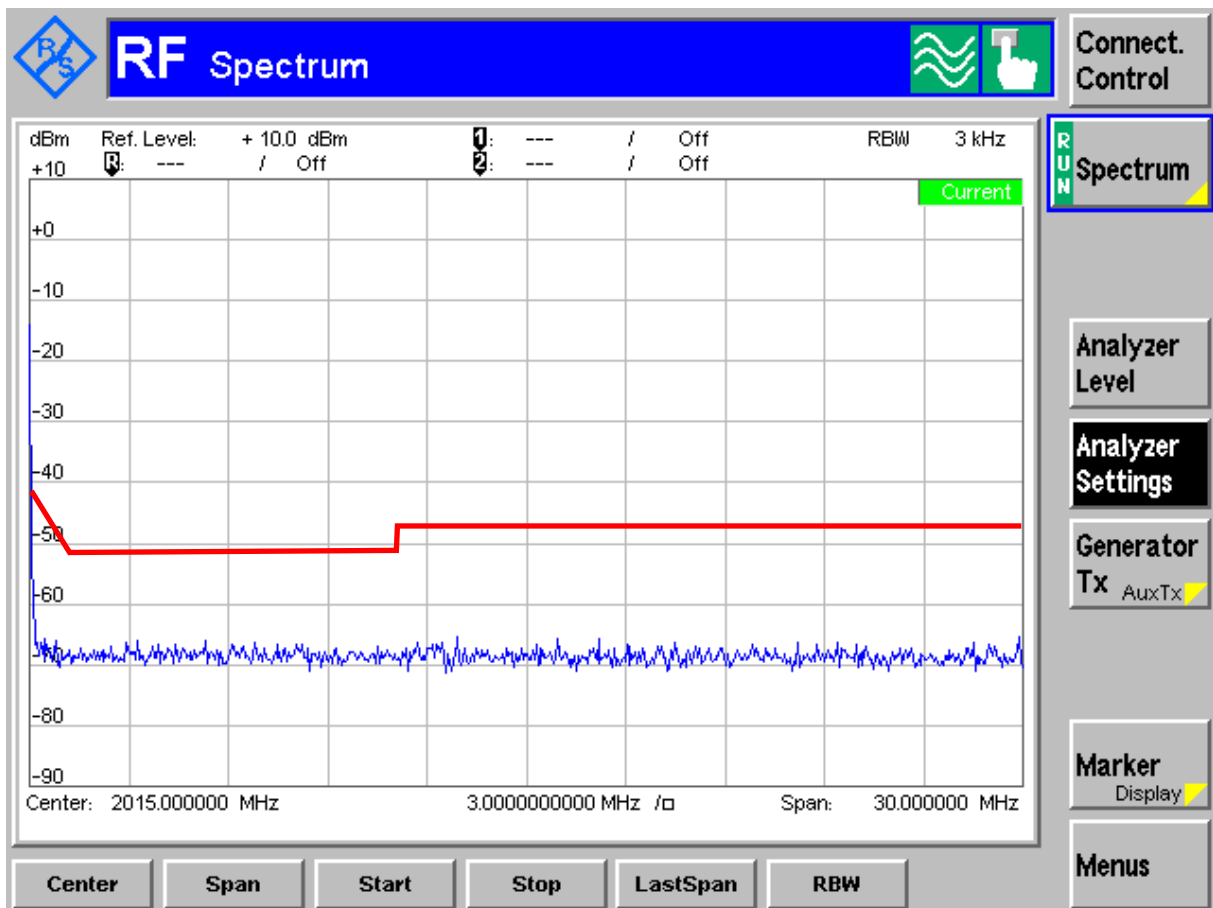
	Herstellerangabe	gemessener Wert	
Wirkleistung	4,9 Watt	4,92 Watt	bei 240V AC
Scheinleistung		3,57 Watt	bei 240V AC
Gesamtleistung		8,49 Watt	bei 240V AC
		0,58 PF	
Farbtemperatur	6500	6300 °K	
Lichtstrom	470 lm	455 lm	
Beleuchtungsstärke		130 lx	65 cm Abstand



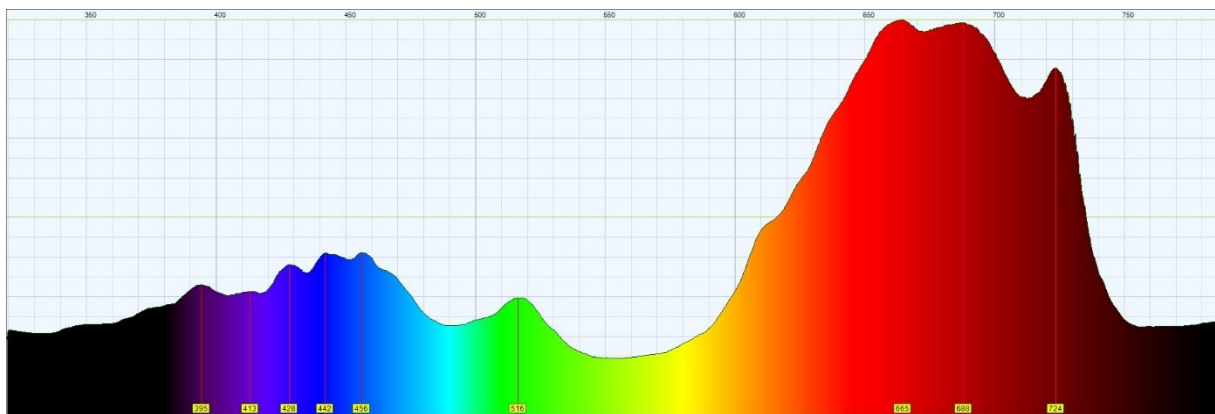
Strom- / Spannungsmessung



Flimmern 80 kHz, schwach



EMV-Messung zul. Werte werden unterschritten



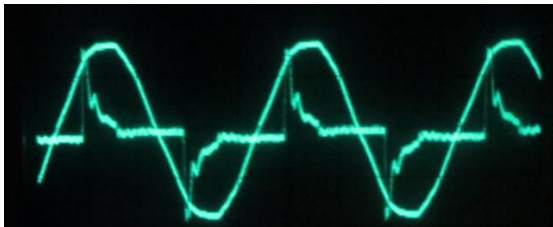
Optisches Spektrum Leuchtmittel # 5

Messobjekt #6

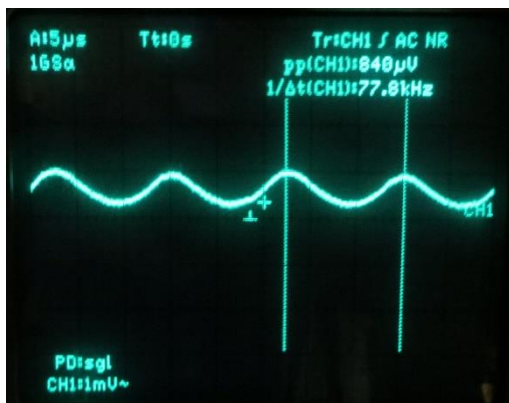
7 W Energiesparlampe Ikea, Warmlicht



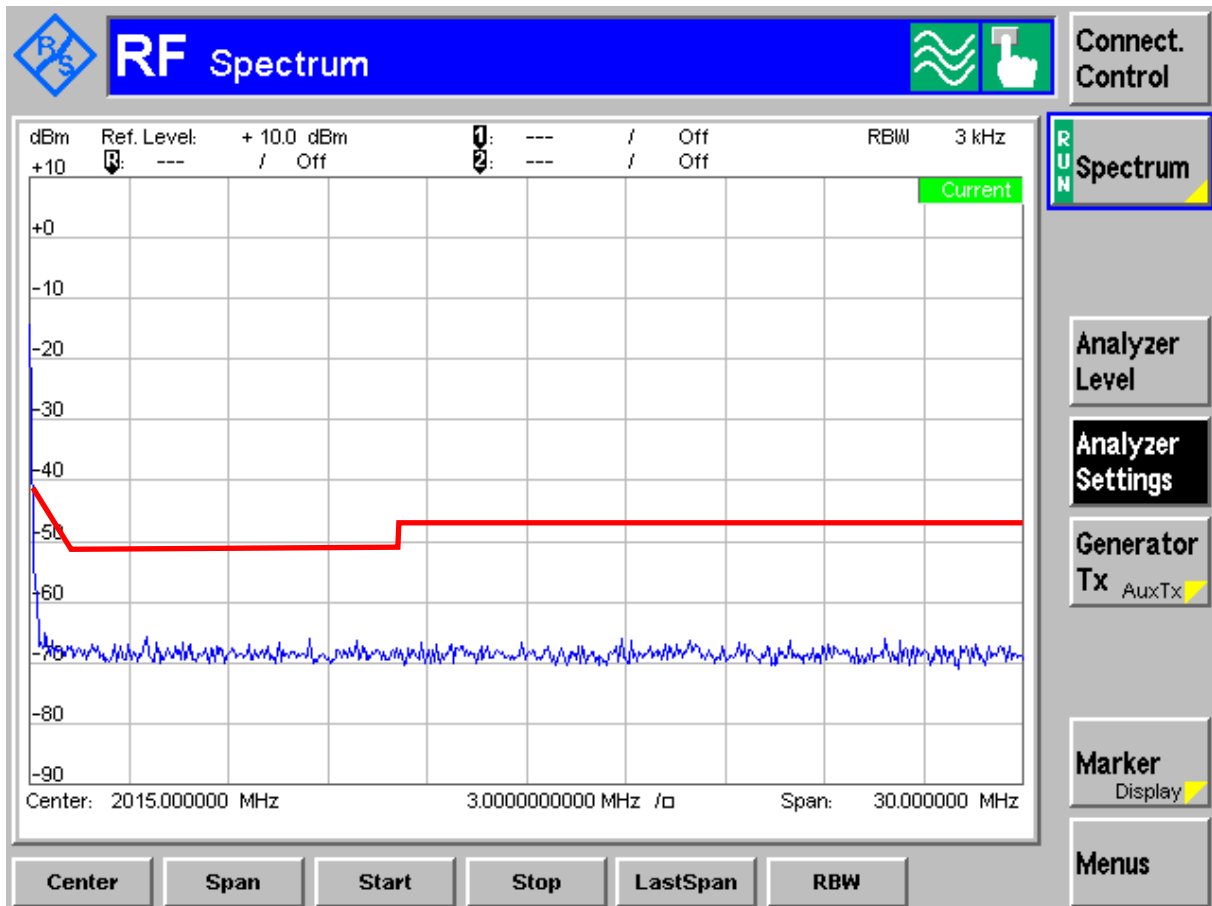
	Herstellerangabe	gemessener Wert	
Wirkleistung	7 Watt	7,00 Watt	bei 240V AC
Scheinleistung		4,29 Watt	bei 240V AC
Gesamtleistung		11,29 Watt	bei 240V AC
		0,62 PF	
Farbtemperatur	k.A.	4635 °K	
Lichtstrom	315 lm	350 lm	
Beleuchtungsstärke		100 lx	65 cm Abstand



Strom- / Spannungsmessung



Flimmern 77,8 kHz schwach



EMV-Messung zul. Werte werden unterschritten



Optisches Spektrum Leuchtmittel # 6

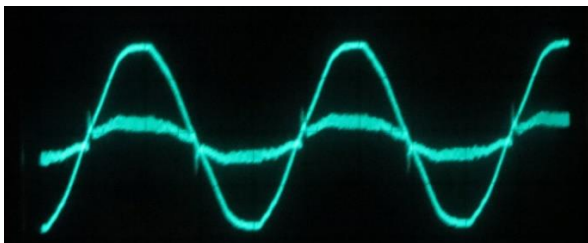
Messobjekt #7

6 W LED Ikea Reflektor, Warmlicht



	Herstellerangabe	gemessener Wert	
Wirkleistung	6 Watt	6,72 Watt	bei 240V AC
Scheinleistung		0,51 Watt	bei 240V AC
Gesamtleistung		7,23 Watt	bei 240V AC
		0,93 PF	
Farbtemperatur	k.A.	3702 °K	
Lichtstrom	400 lm		
Beleuchtungsstärke		1950 lx ¹	65 cm Abstand

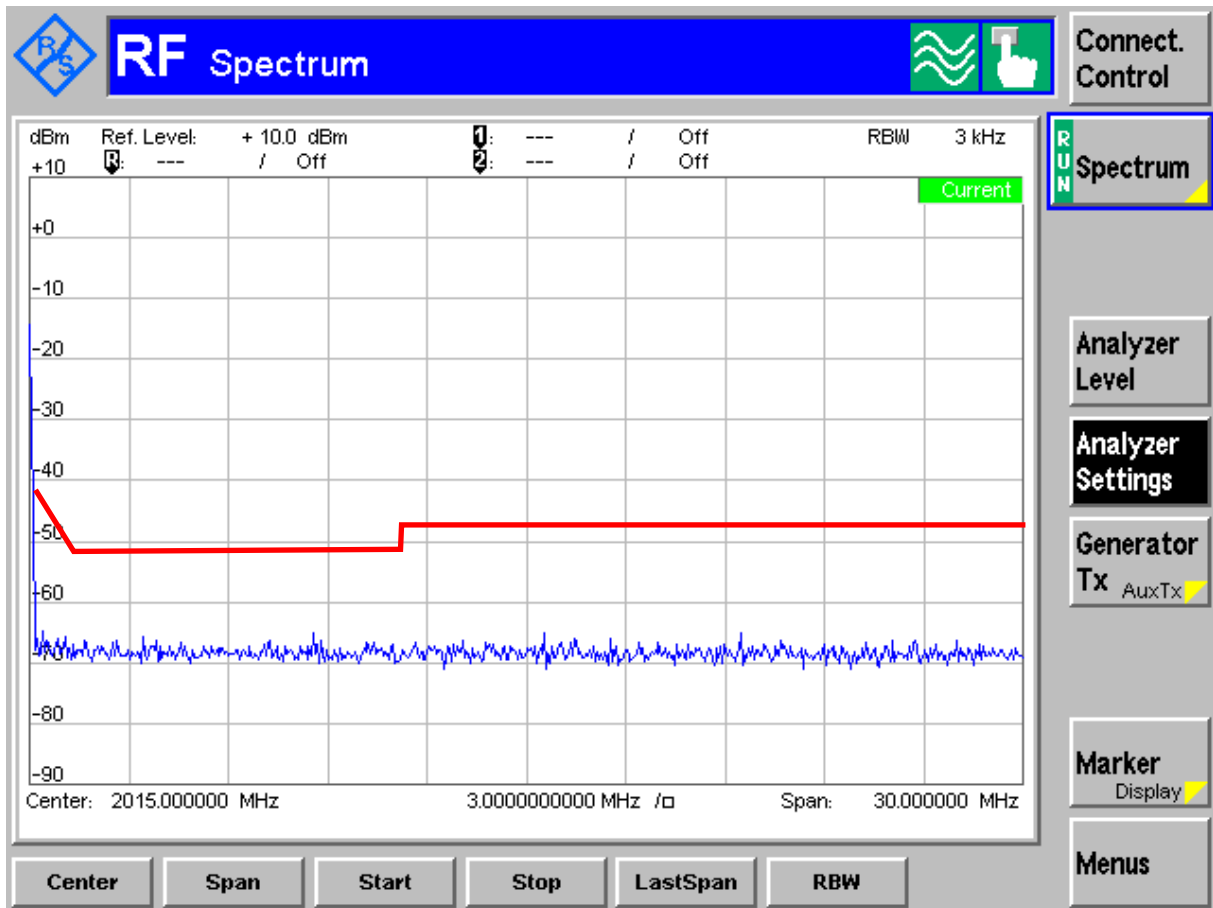
¹ Die hohe Lux-Zahl kommt durch den Aufbau als Reflektor



Strom- / Spannungsmessung



Flimmern 100 Hz sehr gering



EMV-Messung zul. Werte werden unterschritten



Optisches Spektrum Leuchtmittel # 7

Messobjekt #8

4,5 W LED Reflektor Müller Licht, Warmlicht

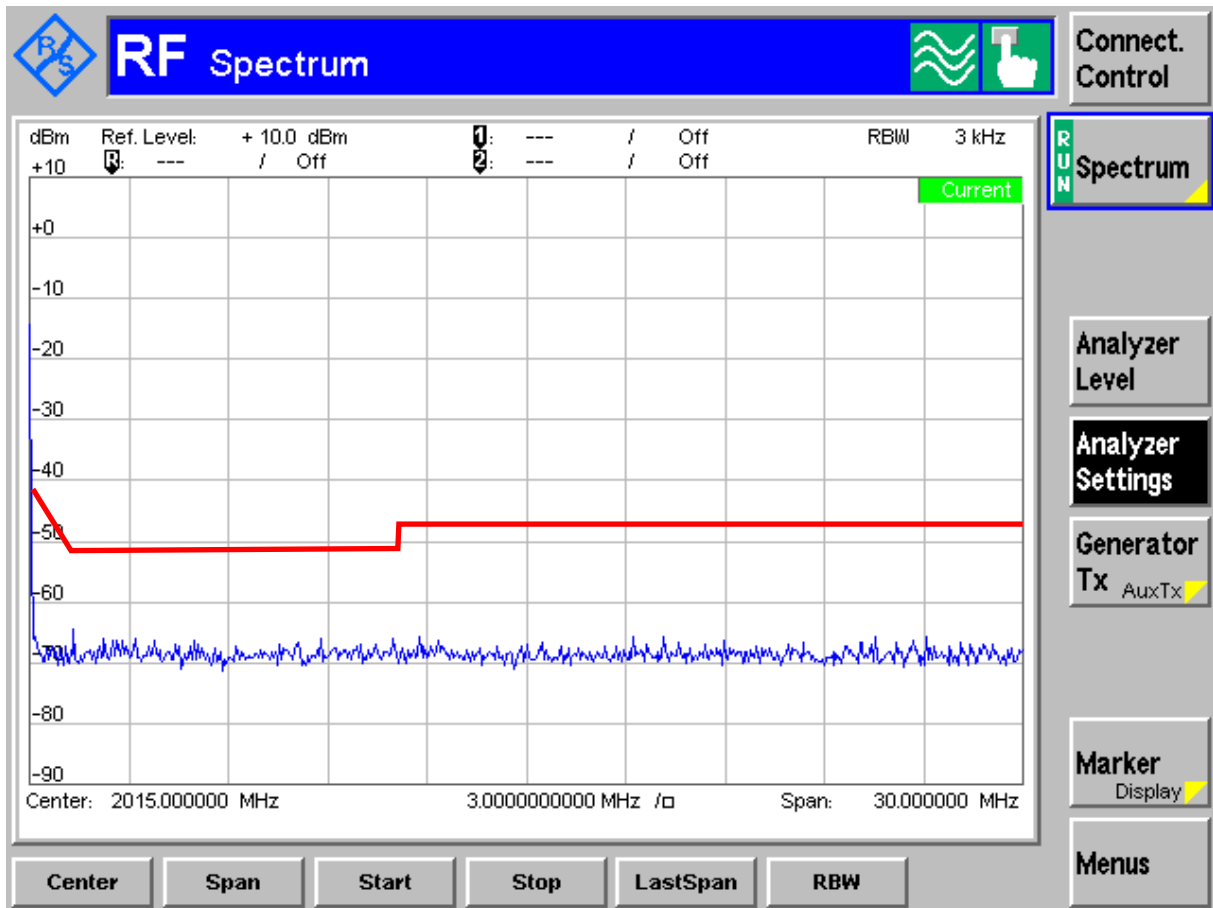


	Herstellerangabe	gemessener Wert	
Wirkleistung	4,5 Watt	4,61 Watt	bei 240V AC
Scheinleistung		3,62 Watt	bei 240V AC
Gesamtleistung		8,23 Watt	bei 240V AC
		0,56 PF	
Farbtemperatur	2700 °K	3190 °K	
Lichtstrom	245 lm		
Beleuchtungsstärke		250 lx	65 cm Abstand

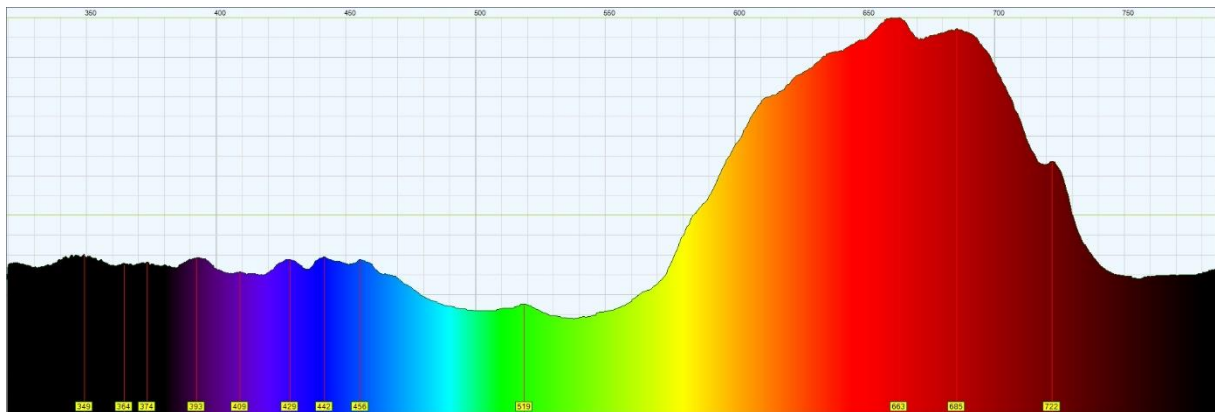


Strom- / Spannungsmessung

Flimmern nicht nachweisbar



EMV-Messung zul. Werte werden unterschritten



Optisches Spektrum Leuchtmittel # 8

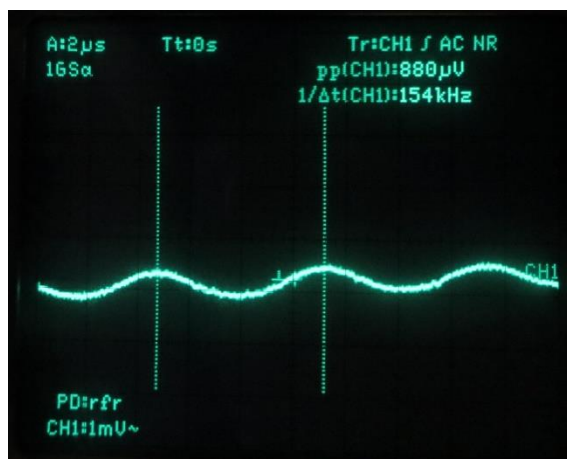
Messobjekt #9

5 W LED Müller Licht Reflektor, Warmlicht

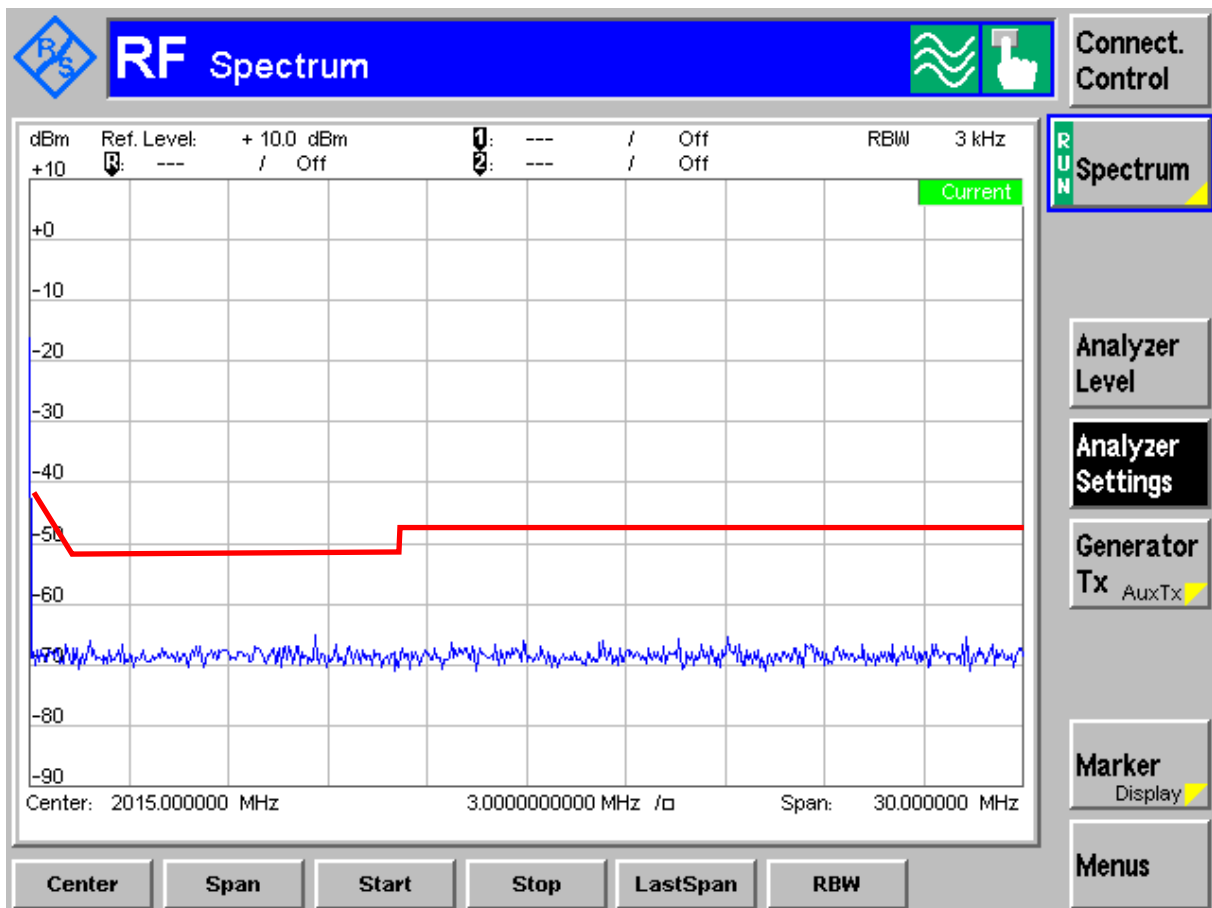


	Herstellerangabe	gemessener Wert	
Wirkleistung	5 Watt	5,14 Watt	bei 12 V DC
Scheinleistung			
Gesamtleistung			
Farbtemperatur	2700	3684 °K	
Lichtstrom	280 lm		
Beleuchtungsstärke		1905 lx ¹	65 cm Abstand

¹ Reflektor



Flimmern 150 kHz sehr schwach



EMV-Messung zul. Werte werden unterschritten



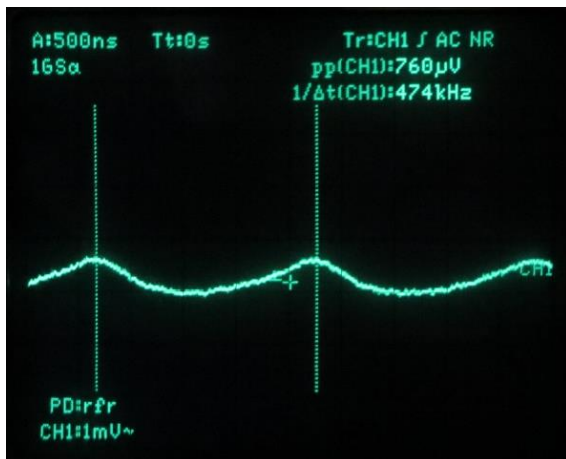
Optisches Spektrum Leuchtmittel # 9

Messobjekt #10

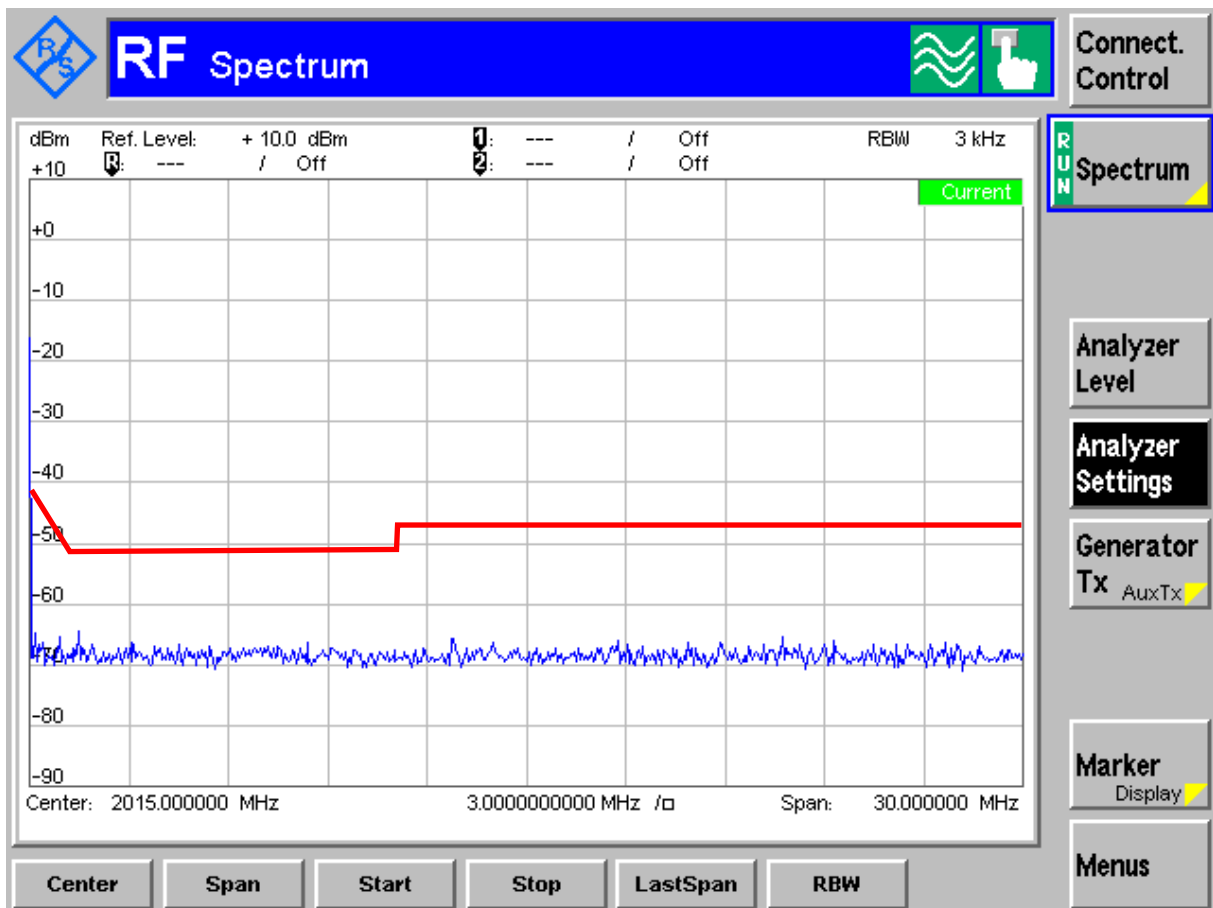
3 W LED China, Warmlicht



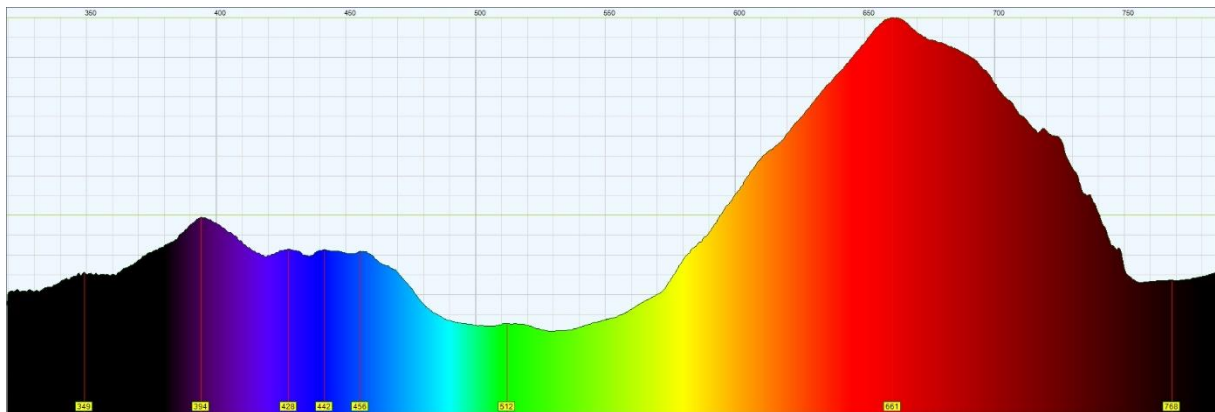
	Herstellerangabe	gemessener Wert	
Wirkleistung	3 Watt	1,80 Watt	bei 12 V DC
Scheinleistung			
Gesamtleistung			
Farbtemperatur	4000 °K	4261 °K	
Lichtstrom	300 lm		
Beleuchtungsstärke		68 lx	65 cm Abstand



Flimmern 47,4 kHz sehr schwach

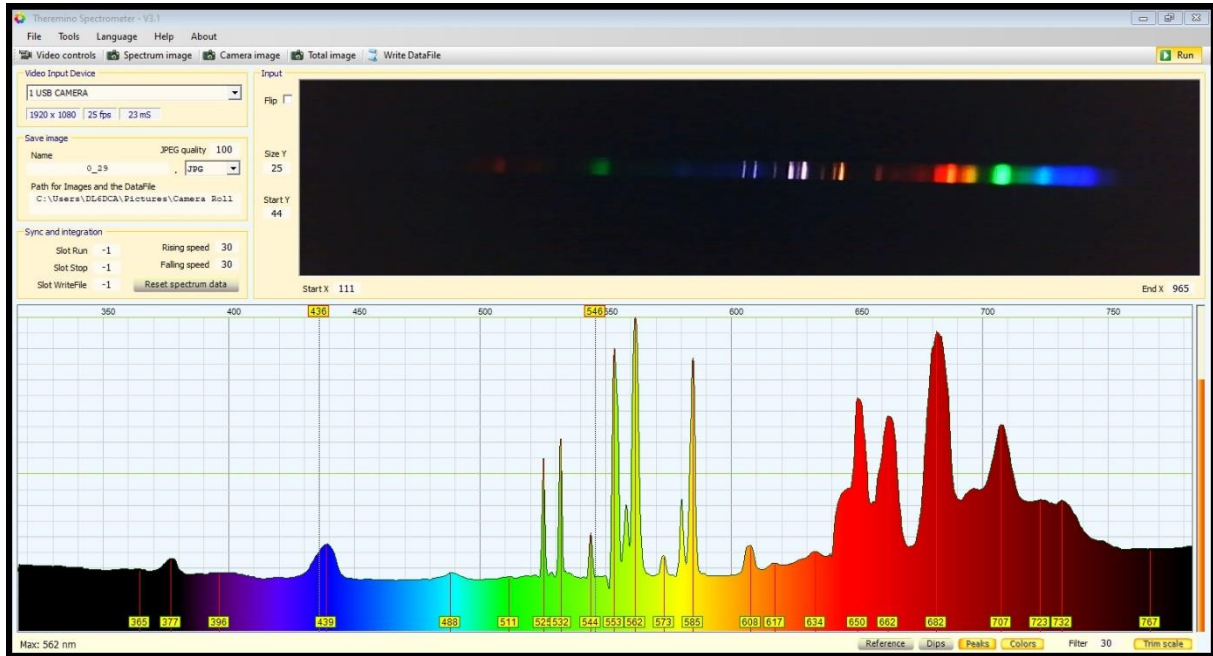


EMV-Messung zul. Werte werden unterschritten

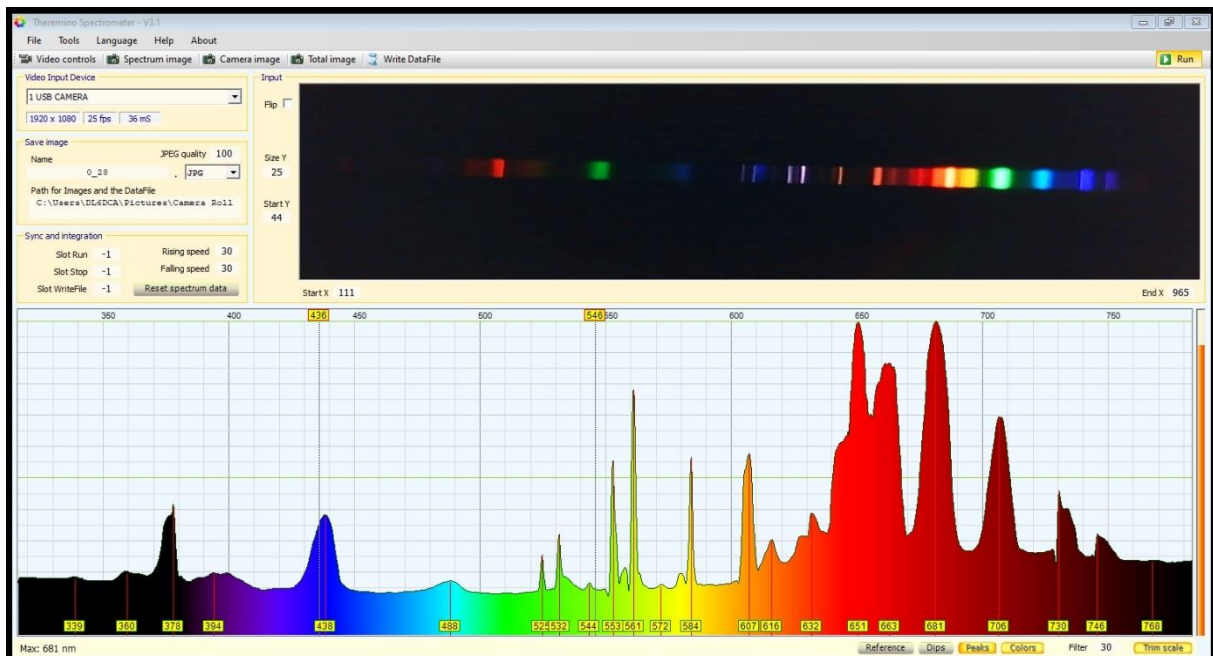


Optisches Spektrum Leuchtmittel # 10

Zur Abrundung habe ich noch zwei Leuchtstoffröhren, die jeweils in einer Kunststoffwanne im Keller verbaut sind, hinsichtlich des Lichtspektrums gemessen:



1,20 m Leuchtstoffröhre Tageslicht



60 cm Leuchtstoffröhre Warmlicht

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass das Licht der guten alten Glühlampe dem Sonnenlicht am Nächsten kommt. Die modernen LED-Leuchtmittel sind etwas Rot lastig, also warm, weisen aber im Gegensatz zu Energiesparlampen und Leuchtstoffröhren ein durchaus homogenes Spektrum auf.

Die von den Herstellern angegebenen Daten entsprechen auch mit geringen Abweichungen den selbst ermittelten. Die Abweichungen können aber, soweit sie die Optik betreffen, durchaus meinen Messmöglichkeiten zugeordnet zugeordnet werden. Die geringen elektrischen Abweichungen dürften im Rahmen der normalen Streuung in der Massenproduktion liegen. Ausnahme ist hier wohl das Leuchtmittel # 10, aber das scheint bei Fernostprodukten normal zu sein bzw. entspricht meiner Erfahrung mit Gütern aus dieser Region.

Alle Leuchtmittel halten die EMV-Werte ein, bzw. unterschreiten sie deutlich.

Geringes Flimmern konnte bei den meisten Leuchtmitteln messtechnisch nachgewiesen werden, liegt aber nicht im bedenklichen Bereich. Es sind die Reste der verbauten Schaltungen zur Spannungs- / Stromregelkreise.

Was hat mir das Ganze jetzt gebracht? Es war sehr interessant und informativ sich einmal mit dem Licht zu beschäftigen, da es ja wesentlicher Bestandteil unseres Lebens ist. Dümmer bin ich dadurch nicht geworden.

Die Broschüre der Firma Gossen [8] kann ich empfehlen, da dort alles Wesentliche um das Thema Licht / Beleuchtung in gut verständlicher Form erklärt wird.

Bei den im Anhang benannten Youtube Beiträgen kann man sich den internen Aufbau diverser Leuchtmittel genauer ansehen.

Zum Abschluss noch ein technischer Hinweis bei den 12 V Leuchtmitteln. Beim Kauf ist darauf zu achten, ob sie nur mit DC oder AC / DC betrieben werden können. Beim AC Betrieb mittels Transformator kann es vorkommen, dass dann die Spannung zu hoch ist. Als Beispiel mag eine Beleuchtung mit 5 x 20 W Halogenleuchtmittel dienen, wo der Transformator 100 Watt liefern muss und entsprechend ausgelegt ist. Wenn jetzt 5 x 8 W LED-Leuchtmittel eingebaut werden, kann es sein, dass der Transformator nicht entsprechend auf 12 V AC abfällt, sondern eine Überspannung liefert. Dadurch kann die Lebensdauer verkürzt werden.

Bei elektronischen Vorschaltgeräten kann es passieren, dass die Leuchtmittel sehr stark flimmern / brummen, da einige Schaltnetzteil Konstruktionen einen Mindeststrom für eine gute Regelung benötigen. Hier hilft dann nur ein neues Vorschaltgerät.

Über Rückfragen, Anmerkungen, Verbesserungsvorschläge würde ich mich freuen. Kontakt bitte per Mail dl6dca@darcd.de oder Ortsfrequenz 144,575MHz.

73 de Wilhelm DL6DCA

- [1] https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/o/ortsverbaende/38/Downloads/Bau_eines_Spektrometers.pdf
- [2] https://www.darc.de/fileadmin/filemounts/distrikte/o/ortsverbaende/38/Downloads/Aufbau_eines_Artificial_Mains_Network_Endf.pdf
- [3] <https://dl2ocb.de/selbstbau-lisn-5uh-fuer-dc-bis-60v-10a/>
- [4] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/438854/POWERINT/LNK603.html>
- [5] <https://datasheetspdf.com/pdf-file/1105229/Duty-CycleSemiconductor/DU8612/1>
- [6] https://de.elv.com/elv-farb-spektrometer-mit-vishay-sensor-rgbw200-komplettbausatz-152503?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=Gads_de&refid=Gads&Gads_Suche&gad=1&gclid=CjwKCAjw36GjBhAkEiwAK-wlWyYd5nhH-Y1HiPYpaxQxO0l0d7E0eoqMrfk0k5J7yLB2U2naeYZf0VhoCFJAQAvD_BwE
- [7] <https://www.vishay.com/docs/84276/veml6040.pdf>
- [8] https://gossen-photo.de/wp-content/uploads/DL/LMT/Kompendium_der_Lichtmesstechnik_DE.pdf

Fundstellen mit ergänzenden Informationen:

<https://de.wikipedia.org/wiki/Farbtemperatur>

https://www.bs-ballasts.com/Workshop/N_Unzner/PDF/Lichtanalyse.pdf

Videos zum internen Aufbau:

<https://www.youtube.com/watch?v=PgzzwN1Gf0c>

<https://www.youtube.com/@Zerobrain/videos> - mehrere Videos -