

Bericht LED Test

Jan Wohland und Keno Riechers

21. Juli 2014



Inhaltsverzeichnis

1 abstract	1
2 Einleitung	1
2.1 Physikalische Grundlagen: Was ist die Beleuchtungsstärke?	1
2.2 Verwendetes Luxmeter	2
2.3 Verwendete Leuchtmittel	2
2.4 Beschreibung der Versuchsanordnung	3
3 Datenauswertung	5
3.1 Nützlichkeit der verwendeten Lampenschirme	8
3.2 Vergleich LED zu CFL	9
3.2.1 5 LEDs	10
3.2.2 7 LEDs	11
3.2.3 9 LEDs	11
3.2.4 12 LEDs	11
3.3 Vergleich mit dem deutschen Minimalwert	11
3.4 Subjektiver Eindruck und Vorschlag zur weiteren Vorgehensweise	12

1 abstract

Am 22. und 23.06.2013 wurde bei einer Schulelektrifikation von SEWA in der Schule von Sambin im Ort Saguebtenga (Burkina Faso) eine Vergleichsmessung der Ausleuchtung unter Verwendung von CFL bzw. LED Lampen vorgenommen. Es wurden unterschiedlich viele LEDs getestet und mit einer 5 CFL umfassenden Standardinstallation verglichen. Bis einschließlich 7 LEDs ergeben sich Verschlechterungen. 9 LEDs erreichen im Mittel deutlich bessere Werte als die klassischen Installationen, auch die weiter streuenden Minimalwerte sind vergleichbar mit den Mittelwerten der CFL-Installation. Mit 12 LEDs könnte die Beleuchtung der Räume signifikant verbessert werden. Durch die Energieeinsparungen beim Umstieg auf 9 bzw. 12 LEDs kann das System 75% bzw. 31% länger genutzt werden. Außerdem wurde die Verwendung von provisorischen Lampenschirmen aus Plastik ausgewertet, welche die Ausleuchtung des Raumes verschlechtern und zukünftig nicht weiter verwendet werden sollten.

Es werden zwei LED-Installation mit 9 Leuchtmitteln in 2014 als Langzeittest vorgeschlagen, um den Nutzereindruck und die Langlebigkeit der LEDs unter lokalen Bedingungen zu eruieren.

Im Vergleich zur deutschen DIN-Norm für Klassenräume liegen alle Beleuchtungsstärken mindestens eine Größenordnung unterhalb der Vorgaben.

2 Einleitung

2.1 Physikalische Grundlagen: Was ist die Beleuchtungsstärke?

Bei der Beleuchtungsstärke E_v handelt es sich um eine fotometrische Größe. Das bedeutet, dass die spektralen Wahrnehmungseigenschaften des menschlichen Auges berücksichtigt werden. Das menschliche Auge ist nur in der Lage Licht bestimmter Wellenlängen (etwa von 380nm bis 780nm) wahrzunehmen und zudem findet die Wahrnehmung nichtlinear statt, eine Verdopplung des einfallenden Lichtstrom ϕ_e entspricht also nicht einer Verdopplung der wahrgenommenen Helligkeit. Zum Beispiel wird ein grüner Lichtstrom einer bestimmten Stärke als heller empfunden als ein roter Lichtstrom der gleichen Stärke.

Die Beleuchtungsstärke E_v besitzt die Einheit Lumen und ist definiert als

$$E_v = \frac{\partial \phi_v}{\partial A}, \quad (1)$$

wobei ϕ_v der Lichtstrom mit der Einheit Lumen ist. Lässt man der Einfachheit halber die differentielle Schreibweise weg, so ergibt sich die Beleuchtungsstärke als Lichtstrom pro Fläche. Anschaulich formuliert: Für die Anwendungen bei SEWA ist dies die relevante Größe weil sie die einfallende wahrgenommene Lichtmenge auf einem Tisch angibt. An der Formel wird zudem ersichtlich, dass der Lichtstrom abhängig von den geometrischen Begebenheiten ist. Die Entfernung zwischen dem Messpunkt und der Leuchtmittel ist essentiell. Aber auch die Reflektion an Wänden, der Decke und den Stahlträgern ist relevant. Aus diesem Grund lässt sich das Problem nicht einfach analytisch lösen.

Der Lichtstrom ϕ_v ist bereits eine fotometrische Größe, deswegen erbt die Beleuchtungsstärke diese Eigenschaft. Er ist definiert als

$$\phi_v = K_m \int_{380nm}^{780nm} \frac{\partial \phi_e}{\partial \lambda} V(\lambda) d\lambda. \quad (2)$$

Dabei stellt ϕ_e den einfallenden Lichtstrom dar (als nicht fotometrische Größe). Das Integral über den sichtbaren Bereich verknüpft die einfallende Strahlung mit der wellenlängenspezifischen Wahrnehmung des Auges $V(\lambda)$. K_m ist eine Konstante.

Die DIN-Norm 5035 schreibt für deutsche Klassenräume eine Beleuchtungsstärke von 300 Lux als Minimum vor. Um die später vorgestellten Messwerte mit dieser Vorgabe vergleichen zu können, ist die so genannte Stevensche Potenzfunktion wichtig. Sie spiegelt das nichtlineare Wahrnehmungsverhalten des Auges wieder und ist ein empirischer Versuch die Empfindungsgröße E mit der Reizintensität R in Zusammenhang zu bringen:

$$E = c \cdot R^\kappa. \quad (3)$$

Dabei sind c und κ Konstanten. Für optische Reize ist $\kappa \approx 0,33$. Vergleichen wir nun zwei Situationen miteinander, von denen die ersten eine 10fach höhere Reizintensität aufweist, so ergibt sich etwas mehr als eine Verdoppelung der Empfindungsgröße wie die folgende kurze Rechnung zeigt.

$$\frac{E(10R)}{E(R)} = \frac{c \cdot (10 \cdot R)^\kappa}{c \cdot (R)^\kappa} = 10^\kappa \approx 2,15 \quad (4)$$

2.2 Verwendetes Luxmeter

Es wurde das Heavy Duty Digital Light Meter (Model HD400) der Firma Extech Instruments verwendet. Das Gerät basiert auf einer Silizium-Photodiode und einem Spektralfilter, um nur die Wellenlängen des sichtbaren Lichtes zu berücksichtigen. In dem verwendeten Messintervall bis zu 400 Lux hat das Gerät eine Auflösung von 0,1 Lux und eine Messunsicherheit

$$u_g = 5\% \text{ des Messwertes} + 1 \text{ Lux}. \quad (5)$$

Das Luxmeter kann bis 40°C betrieben werden, während der Messungen lag die Temperatur im Raum deutlich unterhalb dieser Schwelle.

2.3 Verwendete Leuchtmittel

Die klassischen Installationen wurden mit Gleichstrom CFL Lampen der Firma Phocos aufgebaut. SEWA verwendet Lampen unterschiedlicher Leistung. In den meisten

Fällen wurden allerdings die im Test verwendeten Lampen von 11 W verwendet. Nach Herstellerangaben beträgt die Lebensdauer 8000 Stunden.

Die LED Installationen wurden mit Wechselstrom LEDs der Firma Globe betrieben. Die LEDs haben eine Leistungsaufnahme von 3,5W und eine Farbtemperatur von 3000K. Die Lebensdauer wird mit 10 000 Stunden beziffert.



Abbildung 1: Links ist eine verwendete LED, rechts eine CFL-Lampe mitsamt Lampenschirm dargestellt.

2.4 Beschreibung der Versuchsanordnung

Die Messungen wurde in einer von SEWA elektrifizierten Schule in Saguebtenge durchgeführt¹. In dem Schulgebäude befinden sich drei Klassenräume von denen zwei mit Licht ausgestattet wurden. Die Helligkeitsmessungen wurden nur in einem der beiden Räume durchgeführt, da beide sich geometrisch ähneln.

Der Raum ist 9 Meter lang und 7,5 Meter breit². Das Dach ist angeschrägt und aus Metall gefertigt. An der tiefsten Stelle befindet sich das Dach in 3,85m Höhe, 70 cm darunter befindet sich eine Konstruktion aus T-Trägern. Dazwischen, also in etwa 4 Meter Höhe wurden die Leuchtmittel angebracht. Für die Positionierung der Leuchtmittel sei auf die Abb. 2 verwiesen.

¹Aufgrund bizarrer lokaler Begebenheiten ist diese Schule nach dem Nachbardorf benannt und heißt Schule von Sambin.

²Je nach Klassenstufe werden dort zwischen 50 und 106 (!) SchülerInnen unterrichtet.

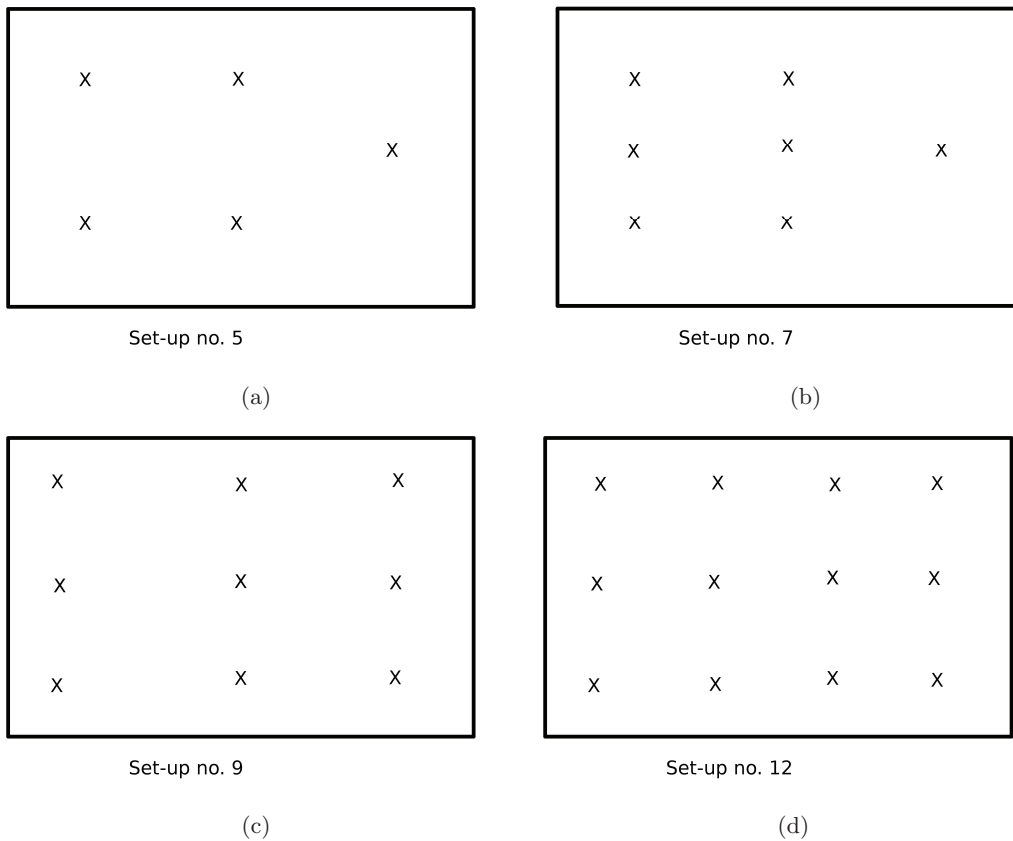


Abbildung 2: Dargestellt ist die Geometrie des Klassenraumes. Jeweils an der kurzen Seite des Raumes befindet sich eine Tafel. Die Kreuze symbolisieren die angebrachten Leuchtmittel. Für die Abstände der Reihen von rechts nach links gilt: die erste Reihe ist 2m, die zweite Reihe etwa 3,75m, die dritte Reihe 6,75m und die letzte Reihe 8,25m von der rechten Wand entfernt. Bei den Installationen mit weniger als 12 LEDs fällt die letzte Reihe weg, die anderen 3 Reihen wurden aber nicht verschoben. In vertikaler Richtung gilt, dass die obere und untere Linie 1,7m von der jeweiligen Wand entfernt sind und die mittlere Reihe in der Raummitte (3,75m von der Wand entfernt) positioniert ist.

Mit dem Luxmeter wurde an 40 zufällig ausgewählten Stellen im Raum, sowie an 8 Punkten pro Tafel die Lichtstärke gemessen.

Für die Messungen im Raum wurde ein Fotostativ verwendet an dessen Halterung die Photodiode des Luxmeters befestigt wurde (siehe Abb. 3). Die Höhe wurde auf 1m eingestellt, wobei es sich in etwa um die typische Höhe zum Lesen handelt. Somit wird die Lichtstärke an der Stelle gemessen, die für die Fragestellung (Mit welcher Konfiguration können Schüler in dem Raum am besten Arbeiten?) am angepassten erscheint. Die

Messpunkte wurden mit Kreide auf dem Boden markiert, sodass bei den verschiedenen Leuchtmittelkonfigurationen immer am selben Ort gemessen werden konnte.



Abbildung 3: Luxmeter Extech HD400 mit verwendetem Stativ als Halterung der Fotodiode.

Auf den beiden Tafel, die an den beiden kürzeren Raumwänden angebracht sind, wurden 8 Punkte markiert und dort wurde parallel zur Tafel, also vertikal zum Boden, gemessen.

3 Datenauswertung

Bei dem Vergleich der Messergebnisse der verschiedenen Installationen wurden drei Aspekte betrachtet:

- Anstieg des Mittelwerts der Beleuchtungsstärke
- Anstieg der minimalen Beleuchtungsstärke im Raum (Bei Verschlechterung des Minimums: Ausschluss der Konfiguration)
- Berücksichtigung der Inhomogenität der Ausleuchtung

Die letzten beiden Aspekte sind im vorliegenden Fall relevant, denn aufgrund des schmaleren Lichtkegels der LEDs im Vergleich zu den beinahe in alle Richtungen emittierenden CFLs kann es zu starken Schwankungen im Raum kommen, wenn die Dichte der Leuchtmittel nicht ausreichend hoch ist.

Eine ideale Installation würde sich durch ein hohes arithmetisches Mittel, eine geringe Standardabweichung und einen Minimalwert in der Nähe des arithmetischen Mittels auszeichnen. Eine solche Installation würde garantieren, dass der Raum in allen Punkten gut ausgeleuchtet ist. Eine große Standardabweichung, sowie ein sehr geringes Minimum

weisen auf eine inhomogene Ausleuchtung hin. Sogar trotz eines angestiegenen Mittelwertes könnte sich dadurch die Ausleuchtung für einen einzelnen Arbeitsplatz deutlich verschlechtern.

Der folgenden Tabelle sind unsere Messergebnisse zu entnehmen, die nun interpretiert werden. Die Messunsicherheiten des Luxmeters wurden nicht weiter berücksichtigt, da die internen Schwankungen im Datensatz, also zwischen den verschiedenen Orten im Raum, größer sind. Wie die folgenden Argumente zeigen gilt dies sowohl für die Minimalbetrachtungen bei denen sich nur der Fehler der Einzelmessung auswirkt als auch für die Mittelwerte, bei denen sich die Unsicherheiten der Einzelmessungen in die berechnete Größe fortsetzen.

Bezüglich der Minimalwerte ist die Messunsicherheit nur bei den Installationen mit wenigen LEDs signifikant (relative Unsicherheit in der Größenordnung von eins). Diese Installationen kommen jedoch grundsätzlich nicht als Alternative in Betracht weil die minimale Beleuchtungsstärke, unabhängig von der Berücksichtigung der Fehler, zu gering ist.

Für den Mittelwert

$$\langle x \rangle = \frac{\sum_i x_i}{N} \quad (6)$$

der Größe x_i mit N Einträgen ergibt sich die fortgepflanzte Unsicherheit

$$u_{\langle x \rangle} = \sqrt{\sum_i \left[\frac{\partial \langle x \rangle}{\partial x_i} \right]^2} \quad (7)$$

$$= \sqrt{\sum_i \left[\frac{u_{x_i}}{N} \right]^2} \quad (8)$$

$$= \frac{1}{N} \sqrt{\left[\sum_i u_{x_i} \right]^2} \quad (9)$$

$$< \frac{1}{N} \sqrt{\sum_i 9 \text{ Lux}^2} \quad (10)$$

$$< 0.5 \text{ Lux} \quad (11)$$

die im konkreten Fall deutlich kleiner ist als die Differenzen zwischen den verschiedenen Mittelwerten. In der Abschätzung wurde der maximale Messfehler $\max(u_{x_i}) = 3 \text{ Lux}$ verwendet, der tatsächliche fortgepflanzte Fehler ist also noch geringer.

	5 LEDs	7 LEDs	9 LEDs	12 LEDs	5 CFL ohne Lampenschirm	5 CFL mit Lampenschirm
Raum						
arithmetisches Mittel	9,6	15,7	20,5	29,3	10,8	8,7
Standardabweichung	2,5	4,3	5,5	6,5	1,5	1,6
relative Standardabweichung	0,26	0,28	0,27	0,22	0,14	0,19
Maximalwert	14,0	22,2	29,5	39,3	13,0	10,7
Minimalwert	3,2	5,3	10,7	15,0	6,7	4,4
Tafel						
arithmetisches Mittel	2,1	5,5	8,8	14,3	7,0	4,8
Standardabweichung	1,7	2,2	1,9	3,7	2,1	2,0
relative Standardabweichung	0,81	0,40	0,21	0,26	0,31	0,43
Maximalwert	6,5	9,0	13,7	19,3	10,0	7,9
Minimalwert	0,0	2,0	6,7	8,2	3,2	0,8

Tabelle 1: Beleuchtungsstärken in Lux abhängig von der Art und Anzahl der verwendeten Leuchtmittel. Mit relativer Standardabweichung ist der Quotient $\frac{STABW}{\text{arithmetisches Mittel}}$ gemeint.

3.1 Nützlichkeit der verwendeten Lampenschirme

SEWA hat vor Ort Lampenschirme verwendet, die aus abgeschnittenen grauen Plastiktrichtern bestehen (siehe Abb. 4). Den Daten ist eindeutig zu entnehmen, dass die Verwendung dieser Lampenschirme die Ausleuchtung verschlechtert. Die gemessenen Mittelwerte im Raum und an der Tafel sinken signifikant während die relative Standardabweichung im wesentlichen gleich bleibt. Es wird also auch keine Homogenisierung der Ausleuchtung erreicht.

Eine schlüssige Erklärung für dieses Ergebnis besteht darin, dass die verwendeten Lampenschirme stärker absorbieren als das Gebäudedach. Die eigentliche Intention der Schirme, das Reflektieren der nach oben gerichteten Strahlung, wird also nicht erreicht. Sofern keine stark reflektierenden Lampenschirme einer hellen Farbe (idealerweise weiß) gefunden werden können, sollten zukünftig gar keine Lampenschirme mehr verbaut werden.



Abbildung 4: Dargestellt ist die verwendete CFL-Art sowohl mit als auch ohne Lampenschirm. Solche oder ähnliche Lampenschirme aus dunklem Plastik sollten nicht weiter benutzt werden, da sie die Ausleuchtung verschlechtern.

3.2 Vergleich LED zu CFL

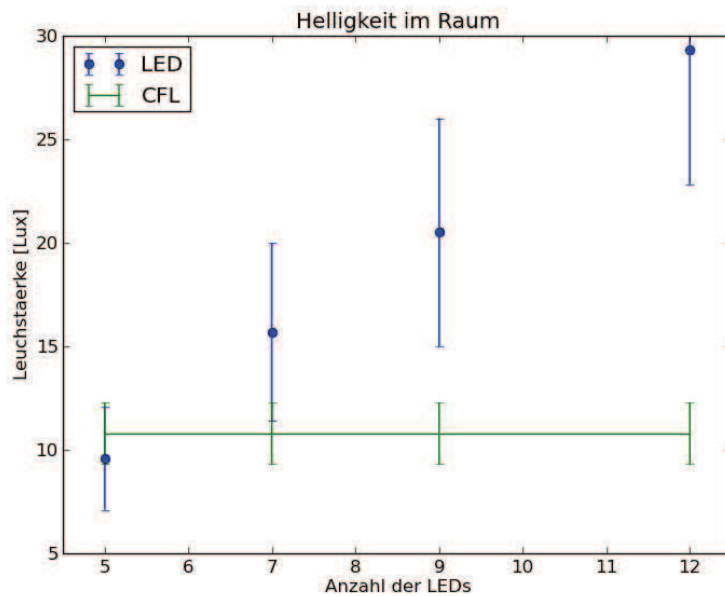


Abbildung 5: Arithmetischer Mittelwert über jeweils 40 Einzelmessungen der Beleuchtungsstärke im Raum. Der Fehlerbalken gibt die Standardabweichung an und stellt somit einen Indikator für die Unterschiedlichkeit der Helligkeiten an verschiedenen Punkten dar. Die CFL Daten beziehen sich in jedem Fall auf die Messung mit 5 Lampen ohne Lampenschirm und ist unabhängig von der Anzahl der verwendeten CFLs. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Variabilität der LED Ausleuchtung größer ist als jene der CFLs, was auf den schmaleren Lichtkegel zurückgeführt werden kann. Ab 7 Leuchtmitteln sind die LEDs den CFL gleichwertig, ab 9 LEDs kann man eine deutliche Verbesserung der Ausleuchtung feststellen.

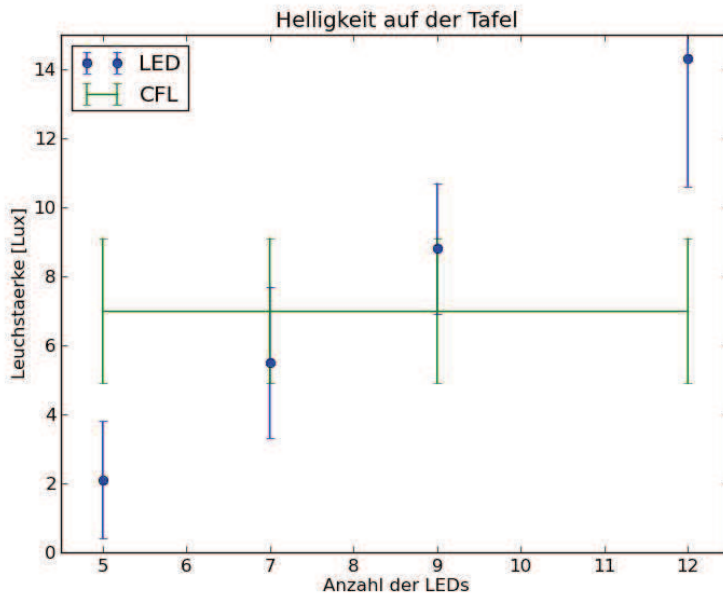


Abbildung 6: Arithmetischer Mittelwert über jeweils 16 Einzelmessungen (8 pro Tafel, zwei Tafeln pro Raum). Zur Erklärung der Fehlerbalken und der CFL Daten siehe vorherige Abbildung. Auf der Tafel wird erst ab 9 LEDs im Mittel eine Beleuchtungsstärke erreicht, die oberhalb der CFL Konfiguration liegt.

Generell fällt bei der Verwendung der LEDs auf, dass die Leuchtstärke lokal viel stärker schwankt als dies bei den CFL der Fall ist. Die relative Standardabweichung liegt für alle LED Konfigurationen zwischen 0,22 und 0,28 während sie für die CFL Installation (ohne Lampenschirm) bei 0,14 liegt. Dieser Unterschied ist bei den Tafelmessungen noch deutlicher, wobei die relative Standardabweichung der LED Konfigurationen dort mit der Anzahl der LEDs stark fällt.

Dies ist Ausdruck des kleineren Abstrahlwinkels der LEDs, der zu einer weniger homogenen Ausleuchtung des Raumes führt. In der homogeneren Ausleuchtung des Raumes liegt ein prinzipieller Vorteil der CFLs.

3.2.1 5 LEDs

Während die Standard-CFL Installation einen Mittelwert von 10,8 Lux und eine relative Standardabweichung von 0,14 mit sich bringt, ergibt sich bei 5 LEDs eine etwa doppelt so große relative Standardabweichung bei einem vergleichbaren Mittelwert. Auch der Minimalwert der LED Messung (3,2 Lux) ist deutlich geringer als jener der CFL Messung (6,7 Lux).

Der kleine Abstrahlwinkel der LEDs macht sich auch bei den Tafelmessungen bemerkbar. Im direkten Vergleich zwischen 5 LEDs und 5 CFLs ist der Mittelwert bei den CFLs

drei Mal so groß wie bei den LEDs. Gleichzeitig ist die relative Standardabweichung etwa um einen Faktor drei kleiner. Der Minimalwert bei den LEDs geht sogar bis auf 0,0 Lux herunter. Folglich ist die Installation einer Anlage bestehend aus 5 LEDs in jedem Fall abzulehnen.

3.2.2 7 LEDs

Mit sieben LEDs übersteigt der Mittelwert im Raum den Mittelwert der CFL-Konfiguration um mehr als eine Standardabweichung der LED Verteilung. Trotzdem gibt es deutliche Ausreißer nach unten; Der Minimalwert von 5,3 Lux mit den LEDs liegt unter den 6,7 Lux bei Verwendung der CFL. Die Ausleuchtung auf der Tafel verschlechtert sich, der Mittelwert sinkt ab und die Beleuchtungsstärken sind breiter gestreut. Insbesondere der Minimalwert fällt mit 2 Lux äußerst gering aus. Unter der Prämisse keine Teilleistung des Systems zu verschlechtern, sollte auch eine Installation von 7 LEDs nicht durchgeführt werden.

3.2.3 9 LEDs

Bei der Verwendung von neun LEDs verbessert sich die Ausleuchtung im Raum im Vergleich zur klassischen CFL Installation. Der Mittelwert der Ausleuchtung verdoppelt sich, sogar der Minimalwert dieser LED Konfiguration erreicht fast den Mittelwert der CFL Installation (Differenz von 0,1 Lux). Auf der Tafel steigt der Mittelwert etwas an (etwa 30%) und erneut liegt der Minimalwert der LED-Konfiguration nahe des Mittelwertes der CFL Anordnung. Mit der Installation von 9 LEDs kann die Ausleuchtung insgesamt also auf mindestens dem gleichen Niveau gehalten werden. Im Raum ergeben sich deutliche Verbesserungen.

9 LEDs verbrauchen 31,5 Watt, reduzieren die Leistungsaufnahme des Gesamtsystems um 43% und ermöglichen somit das System 75% länger zu nutzen.

3.2.4 12 LEDs

Die Installation von 12 LEDs stellt in jeder Hinsicht eine Verbesserung der Ausleuchtung dar. Der Mittelwert im Raum verdreifacht sich, jener auf der Tafel verdoppelt sich. Die Minimalwerte im Raum und auf der Tafel liegen jeweils oberhalb der Durchschnittswerte der klassischen Installation.

12 LEDs verbrauchen 42 Watt, reduzieren die Leistungsaufnahme um 24% und erhöhen die Nutzdauer um 31%.

3.3 Vergleich mit dem deutschen Minimalwert

Mithilfe der Stevenschen Potenzfunktion (siehe physikalische Grundlagen) lässt sich berechnen wie stark der Unterschied in den Beleuchtungsstärken subjektiv wahrgenommen wird. Unter Verwendung der arithmetisch gemittelten Beleuchtungsstärke ergeben sich die in der folgenden Tabelle dargestellten Ergebnisse.

$\frac{E(9 \text{ LEDs})}{E(\text{DIN-Norm})}$	$\frac{E(12 \text{ LEDs})}{E(\text{DIN-Norm})}$	$\frac{E(9 \text{ CFLs})}{E(\text{DIN-Norm})}$
0.41	0.46	0.33

Tabelle 2: Subjektiv wahrgenommene Unterschiede der Beleuchtungsstärke der verschiedenen Konfigurationen im Vergleich zur deutschen Vorgabe von 300 Lux. Dargestellt ist der Quotient aus der Empfindungsgröße bei der von SEWA umgesetzten Installation und der Empfindungsgröße bei 300 Lux. Zur Berechnung wurde das Stevensche Gesetz mit $\kappa = 0.33$ verwendet.

Die klassische SEWA Installation mit 5 CFLs ist subjektiv betrachtet also etwa 0.33 mal so gut wie von der DIN-Norm gefordert. Die 9 LED Installation erreicht bereits einen Faktor von 0.41 und die 12 LED Installation ist beinahe halb so gut wie sie in der BRD sein müsste.

3.4 Subjektiver Eindruck und Vorschlag zur weiteren Vorgehensweise

Abschließend sei angemerkt, dass der subjektive Eindruck von der Ausleuchtung eines Raumes sich stark von den hier gemessenen Werten unterscheiden kann. Die Lichtfarbe hat einen Einfluss auf die wahrgenommene Helligkeit, im ersten Moment waren alle Techniker und die beiden Autoren davon überzeugt, dass die LEDs weniger hell sind, auch wenn das Gegenteil der Fall ist.

Bei der LED-Verwendung fällt außerdem auf, dass die oberen Meter des Raumes überhaupt nicht ausgeleuchtet werden. Das ist zum Einen sehr effizient, weil die Energie nicht für die Beleuchtung des Daches verschwendet wird, sondern nach unten abgestrahlt wird um das Lesen zu ermöglichen. Zum anderen erzeugt dies aber den Eindruck, dass der Raum insgesamt weniger hell ist.

Allerdings sprechen die Faktenargumente klar für die Verwendung von LEDs. Man erreicht eine bessere Ausleuchtung der Tafeln und der Tische bei geringerem Energieverbrauch. Bei der Umstellung auf LEDs sollte aber wegen der subjektiven Komponenten (und weil keine Erfahrungen hinsichtlich der Langlebigkeit unter äquatornahen Bedingungen vorliegen) vorsichtig vorgegangen werden.

Es wird empfohlen zwei Testinstallationen mit jeweils 9 LEDs pro Raum in der nahen Zukunft umzusetzen. Bei der ersten sollte es sich um eine reine LED Installation handeln und zudem ein Spannungslogger für einen Langzeittest der Energiebilanz angebracht werden. Bei der zweiten wird vorgeschlagen einen Raum mit LEDs und einen zweiten Raum mit CFLs auszustatten und anschließend das Nutzerverhalten zu evaluieren. Neben der technischen Auswertung mittels eines weiteren Loggers ist dafür vor allem der direkte Kontakt mit den Nutzern, bspw. mittels Fragebögen, ideal.